



Rapport

Nieuwe 380kV- hoogspanningsve rbinding Diemen - Ens

Versie: 3.0

Status: Definitief

Datum: 8-12-2025

Documentnummer: 002.902.20 1596923



Autorisatieblad

Nieuwe 380kV-hoogspanningsverbinding Diemen - Ens

Notitie Toelichting Netberekeningen

	Naam	Akkoord	Datum
Opgesteld door	[REDACTED]	✓	24-7-2025
Gecontroleerd door	[REDACTED]	✓	27-11-2025
Vrijgegeven door	[REDACTED]	✓	8-12-2025

Versiehistorie

Versie	Naam	Datum	Korte toelichting
2.1	[REDACTED]	24-7-2025	Laatst gecontroleerd versie
2.2	[REDACTED]	27-11-2025	Omgezet naar Movares huisstijl
3.0	[REDACTED]	8-12-2025	Vrijgegeven document

Inhoudsopgave

Management samenvatting	4
1 Introductie	8
1.1 Aanleiding van deze notitie	8
1.2 Doel van deze notitie	9
1.3 Leeswijzer	10
2 Netberekeningen	11
2.1 Doorgerekende configuraties	11
2.2 Uitgangspunten netberekeningen	14
2.3 Resultaten netberekeningen	15
3 Beoordeling varianten	18
3.1 Beoordelingsmethodiek	18
3.2 Varianten Diemen – Almere – Lelystad	20
3.2.1 Variant zuid-1: paars-paars	22
3.2.2 Variant zuid-2: paars-groen incl. compenserende maatregelen	24
3.2.3 Variant zuid-3: paars-geel incl. compenserende maatregelen	26
3.2.4 Variant zuid-4: paars-groen/geel incl. reconstructie bestaand	29
3.2.5 Vergelijking varianten zuid	32
3.3 Varianten Lelystad - Ens	33
3.3.1 Variant noord-1: paars	35
3.3.2 Variant noord-2: paars-groen	37
3.3.3 Variant noord-3: paars-grijs incl. compenserende maatregelen	39
3.3.4 Variant noord-4: paars-grijs incl. reconstructie bestaand	41
3.3.5 Vergelijking varianten noord	43
4 Planologische effecten	44
5 Omgevingseffecten	45
5.1 Varianten Diemen – Almere – Lelystad	45
5.2 Varianten Lelystad - Ens	46
6 Andere effecten	48
6.1 Technische maak- en haalbaarheid	48
6.2 Doorlooptijd	48
6.3 Kosten	48
Samenvatting en conclusies	50
7 Verklarende woordenlijst techniek	54
Colofon	65

Management samenvatting

Waarom zijn er netberekeningen uitgevoerd?

Rond 2030 ontstaat er een transportknelpunt op de bestaande 380kV-verbinding tussen Diemen en Ens. Daarom moet de capaciteit verdubbeld worden om te voorkomen dat het elektriciteitsnet overbelast raakt. Netberekeningen zijn essentieel om te beoordelen of het beoogde systeemontwerp van de nieuwe verbinding het toekomstige knelpunt kan oplossen. Deze berekeningen voorspellen of de effectieve transportcapaciteit van de gehele verbinding voldoende toeneemt én of de kwaliteit en stabiliteit van het net daarbij gegarandeerd blijven.

Welke onderzoeksalternatieven en scenario's zijn onderzocht?

Vanwege de intensieve aard van de netberekeningen is de mate waarin alternatieven de knelpunten in het elektriciteitsnet oplossen (het doelbereik) van de verschillende onderzoeksalternatieven in twee iteratiestappen onderzocht.

Stap 1 was de initiële beoordeling van het oplossend vermogen van de globale alternatieve routes die gepresenteerd zijn in de Notitie Reikwijdte en Detailniveau (NRD); in deze stap zijn indicatieve netberekeningen uitgevoerd. Deze netberekeningen zijn uitgevoerd voor vijf volledige onderzoeksalternatieven (opgebouwd uit een noordelijk- en zuidelijk deeltracé van dezelfde kleur), waaruit bleek dat alleen de alternatieven blauw, paars en groen de overbelasting oplossen zonder mitigerende maatregelen en daarbij gepland onderhoud mogelijk houden.

Uit de aanvullende onderzoeken is gebleken dat het direct positioneren van het 380kV station nabij het 150kV station noodzakelijk is om het knelpunt rondom Almere (Buiten) op te lossen. Dit betekent dat een locatie nabij Almere Buiten net-technisch gezien de meest optimale positie is, en daarmee het inlussen van de bestaande 380kV verbinding het meest evident is.

Daarnaast bleek dat de impact van 380kV-verkabeling groot was.

In stap 2 heeft TenneT voor een aantal kansrijke alternatieven (op basis van de concept-effectbeoordeling en het regioadvies) zijn aanvullende netberekeningen uitgevoerd. Dit geeft inzicht in het doelbereik van deze alternatieven. Er zijn drie bovengrondse tracévarianten doorgerekend: een bundeling met de bestaande 380kV-verbinding (alternatief paars), een combinatie van paars, groen en grijs en een combinatie van alternatief paars en geel (het regioadvies). In meest recente netberekeningen zijn ook nieuwe inzichten uit de 150kV-netvisie van TenneT en Liander meegenomen. In de netvisie is naar voren gekomen dat er noodzaak is voor een tweede deelnet in de buurt van Lelystad om verwachte netcongestie op te lossen.

Conclusies en implicaties van de netberekeningen

1. Verbinding Diemen-Almere-Lelystad-Ens zeer zwaar belast

De belangrijkste conclusie uit de netberekeningen is dat zowel de bestaande als de nieuwe verbinding in het doorgerekende scenario voor 2035 zeer zwaar belast zal zijn, maar er zijn wel duidelijke verschillen zichtbaar tussen de tracés. De belasting loopt uiteen van circa 70 tot 90% in normale bedrijfsvoering afhankelijk van de doorgerekende scenario's. Uit de netberekeningen is gebleken dat de paarse tracévariant de beste verdeling van belasting tussen de verbindingen biedt. Dit betekent dat het percentage van de belasting op beide verbindingen zo gelijk mogelijk is. Hiermee is een scenario met het laagste percentage (70%) een oplossing die het knelpunt zo efficiënt mogelijk oplost en daarmee een groter doelbereik heeft en dus een toekomstvaste oplossing is.

Uiteindelijk zal ook in alle doorgerekende configuraties op bepaalde momenten in het doorgerekende jaar de maximale belasting op alle circuits de N-1 grens bereiken. Dit houdt in dat er in het doorgerekende scenario bij uitval van één circuit (door storing of onderhoud) een risico bestaat, dat op dat moment niet het volledig

elektrisch vermogen getransporteerd kan worden over de verbindingen. Het doorgerekende scenario heeft op de langere termijn wel een grotere onzekerheid vanwege toekomstige ontwikkelingen, bijvoorbeeld de plannen van de regio, zoals woningbouw, bedrijventerreinen of initiatieven met duurzame opwek. Deze ontwikkelingen hebben invloed op wanneer het knelpunt daadwerkelijk gaat optreden. Daarom is het niet precies te voorspellen wanneer dit moment zal plaatsvinden, maar het wordt verwacht binnen de komende 20 jaar. Daarom is het belangrijk om te kiezen voor de configuratie waar de stroomverdeling over bestaand en nieuw zo gelijk mogelijk is, om verdere uitbreidingen en nieuwe projecten voor TenneT zo lang mogelijk te voorkomen. Het is daarom van groot belang dat binnen dit project gekozen wordt voor een oplossing die ervoor zorgt dat de toegevoegde capaciteit zo efficiënt mogelijk wordt ingezet.

2. Maatregelen die risico op overbelasting verlagen:

voor een efficiënte benutting van de capaciteit is het essentieel dat de stroom gelijkmatig wordt verdeeld over zowel de bestaande als de nieuwe verbindingen. Hiervoor moeten de verbindingen dezelfde weerstand hebben, wat kan worden bereikt door ze even lang te maken. Bij voorkeur zijn de tracé-lengtes van alle nieuwe circuits dus gelijk aan de lengtes van de bestaande circuits. Indien dit niet mogelijk blijkt, kan men compenserende maatregelen nemen. Een gangbare compenserende maatregel is om seriespoelen te plaatsen in de kortste verbinding, om de weerstand te verhogen. Echter, als het verschil in weerstand te groot is, is dit niet meer mogelijk. Het is technisch wel mogelijk om met dwarsregeltransformatoren, binnen bepaalde grenzen, ervoor te zorgen dat de elektriciteit gelijkmatig verdeeld wordt. Dit betekent het volgende voor de doorgerekende tracés:

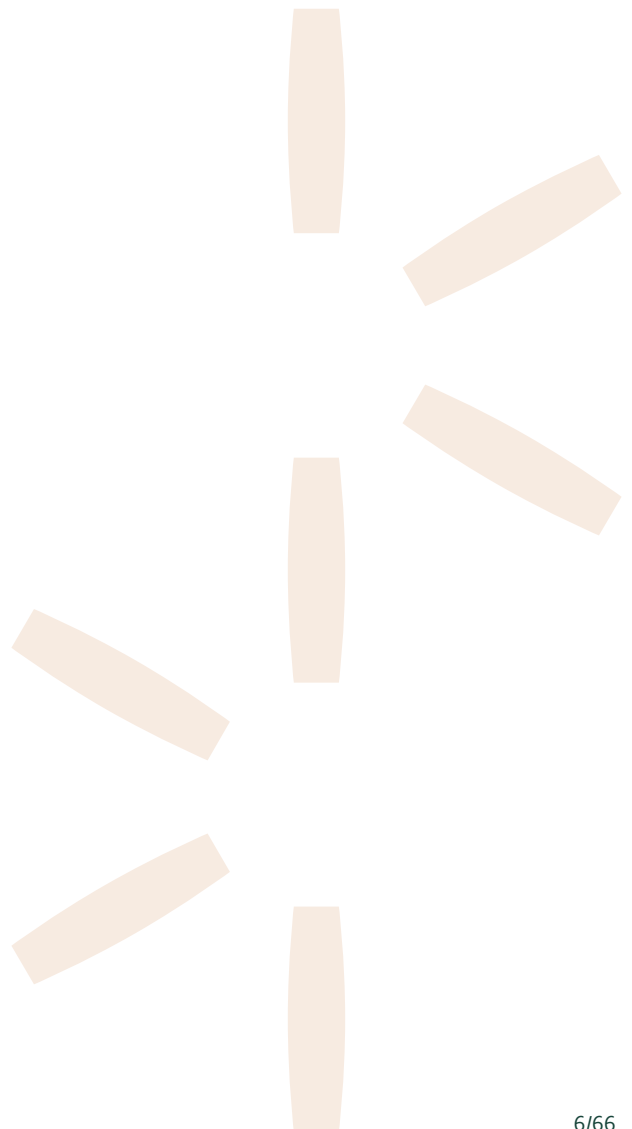
- de paarse configuratie is net-technisch de optimale configuratie, omdat de lengte van de bestaande en nieuwe verbinding ongeveer gelijk zijn, waardoor de weerstand ook gelijk is en de elektriciteit zich goed verdeelt over de bestaande en nieuwe verbinding;
- de paars-gele of paars-groene/grijze configuraties zijn ook net-technisch mogelijk, mits de weerstanden van de bestaande en nieuwe verbinding gelijk gemaakt worden. Dit kan door bijvoorbeeld het "omleggen" van de bestaande verbinding parallel aan de nieuwe verbinding, ook wel reconstructie genoemd, of de weerstand te beïnvloeden door het nemen van compenserende maatregelen (seriespoelen of dwarsregeltransformatoren).
- de twee koppelingen aan het 380kV-net bij Lelystad moeten direct naast elkaar komen, omdat er anders een knelpunt ontstaat op de 380kV-verbinding tussen het bestaande en het nieuwe station Lelystad. Een knelpunt tussen deze twee koppelingen is niet acceptabel, omdat dit knelpunt niet meer opgelost kan worden met extra circuits. Er is namelijk geen ruimte meer op het LLS380-bestaand voor het aansluiten van meer circuits. Dit betekent dat zowel de bestaande koppeling (loadpocket) als de nieuwe koppeling op een nieuw 380kV-station moet komen. Deze twee loadpockets moeten aan elkaar gekoppeld worden om het vermogen te kunnen transporteren. Vanwege o.a. vermogensverlies kan dat niet met een lijnverbinding tussen twee losse stations, maar wel met een koppeling tussen de rails van twee stations (een zogenoemde langskoppeling). Hierdoor zal het nieuwe station LLS een groter oppervlak beslaan dan in eerste instantie het uitgangspunt was. Voor één pocket is een nieuw station van 15 hectare nodig; bij twee pockets gaat dat om circa 30 hectare;
- het aansluiten van zowel de nieuwe als de bestaande verbinding op station Almere-Zeewolde heeft grote positieve effecten op de betrouwbaarheid en de beschikbare capaciteit van het onderliggende 150kV-net in de regio Almere-Zeewolde vanwege een betere verdeling van de stromen over de verbindingen. Dit zorgt voor een groter doelbereik en een robuuster elektriciteitsnet wat resulteert in een betrouwbaardere stroomvoorziening voor de gebruikers richting de toekomst. Andersom zijn er juist grote risico's voor het doelbereik en de betrouwbaarheid als alleen één verbinding op het nieuwe station wordt aangesloten. Door te bundelen met de bestaande verbinding (keuze paarse alternatief) zou een aansluiting van zowel de bestaande als de nieuwe verbinding op station Almere-Zeewolde mogelijk zijn.

Nader beschouwde varianten

Op basis van de netberekeningen zijn een aantal net-technische varianten met verschillende compensatiemaatregelen verkend. Deze varianten zijn een combinatie van de doorgerekende configuraties en scenario's en de mitigerende maatregelen die noodzakelijk zijn. De mitigerende maatregelen zijn namelijk niet meegenomen in de netberekeningen.

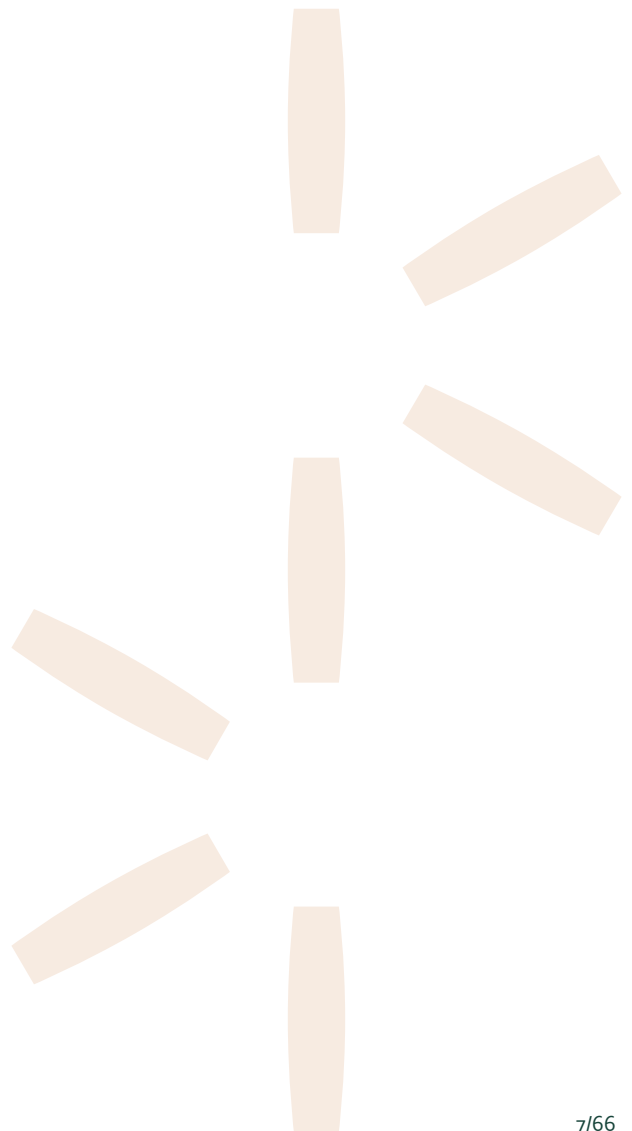
De paarse alternatieven (zuid-1 en noord-1) die de bestaande verbinding volgen worden het beste beoordeeld vanuit net-technisch oogpunt vanwege een relatief laag risico op overbelasting van de verbinding en het hoogspanningsnet en geen noodzaak voor compensatiemaatregelen. Andere varianten brengen hogere risico's met zich mee. Dit zijn negatieve risico's op het gebied van nettechniek en/of nieuwe effecten op het gebied van technische maak- en haalbaarheid, doorlooptijd, kosten, planologie en/of omgeving. Deze risico's komen door het toepassen van seriespoelen, dwarsregeltransformatoren, of aanpassingen aan de bestaande verbinding.

Vooraf de varianten waarbij dwarsregeltransformatoren nodig zijn vanwege het grote lengteverschil, zuid-3 paars-geel en noord-3 paars-grijs, kennen zeer hoge risico's op verschillende net-technische criteria. Dwarsregeltransformatoren hebben onder andere nadelige effecten op leveringszekerheid (lage betrouwbaarheid en -beschikbaarheid), planologische inpassing (benodigde ruimte) en omgeving (geluid).



Conclusie

Het paarse alternatief (zuid-1 en noord-1) biedt de meest efficiënte benutting van capaciteit met lage risico's voor nettechniek doordat er geen compenserende maatregelen noodzakelijk zijn. Hierdoor zijn er ook minimale nieuwe negatieve effecten op technische maakbaarheid, doorlooptijd, kosten, planologie en omgeving. Andere varianten hebben hogere risico's op het gebied van nettechniek en negatieve effecten op diverse aspecten. Voor de benodigde transportcapaciteit tussen Diemen en Ens is het bundelen met de bestaande verbinding, het paarse alternatief, in combinatie met het dubbel aansluiten bij Almere-Zeewolde net-technisch de meest doeltreffende oplossing voor het knelpunt in het elektriciteitsnet.



1 Introductie

1.1 Aanleiding van deze notitie

Rond 2030 ontstaat er een transportknooppunt op de bestaande 380kV-verbinding tussen Diemen en Ens. Daarom moet deze verdubbeld worden om te voorkomen dat het elektriciteitsnet overbelast raakt. Het is belangrijk voor het ontwerpen, plannen en beheren van een elektriciteitsnet om netberekeningen uit te voeren. Hierbij wordt gekeken naar de volgende aspecten:

- verdeling van elektrische vermogensstromen, ook wel loadflow genoemd;
- spanningskwaliteit
- redundantie (N-0, N-1 en N-2);
- en storings- en betrouwbaarheidsanalyses.

Als uit de netberekeningen blijkt dat niet wordt voldaan aan het N-1 criterium, wordt er ook niet voldaan aan de projectdoelstelling voor de oplossing van het knelpunt.

Uitleg net-technische berekeningen (N-0, N-1 en N-2)

TenneT voert diverse netberekeningen uit. De berekeningen gebruiken dezelfde informatie als in het investeringsplan, zoals gepubliceerd in 2024, van TenneT. Hierbij wordt berekend wanneer de transportcapaciteit niet meer voldoet in de volgende situaties.

- N-0 veilig – het elektriciteitsnetwerk kan in ongestoorde toestand veilig vraag en aanbod faciliteren zonder dat apparatuur en verbindingen overbelast raken;
- N-1 veilig – het elektriciteitsnetwerk kan bij optreden van uitval veilig vraag en aanbod faciliteren zonder dat overige apparatuur en verbindingen overbelast raken;
- N-2 veilig – het elektriciteitsnetwerk kan tijdens onderhoud en bij het tegelijkertijd optreden van uitval veilig vraag en aanbod faciliteren zonder dat overige apparatuur en verbindingen overbelast raken.

Als uit de netberekeningen blijkt dat niet wordt voldaan aan het N-1 criterium, wordt er ook niet voldaan aan de projectdoelstelling voor de oplossing van het knelpunt.

Loadflowberekeningen

Elektriciteit volgt de weg van de minste weerstand. Hiermee verdeelt elektriciteit zich niet evenredig/ gelijkmatig over het net. Dit is vergelijkbaar met water; een rivier baant zich altijd de gemakkelijkste weg door een landschap. Dit kan ongewenste effecten met zich meebrengen. Voor elektriciteit geldt dit eveneens. Een langere verbinding heeft een hogere weerstand. Als de weerstand op de nieuwe verbinding groter wordt dan de bestaande verbinding zal de elektriciteit vooral de bestaande verbinding proberen te volgen, waardoor die overbelast wordt.

In de verkenningsfase zijn in de Integrale Effectanalyse (IEA) de verschillende alternatieven in twee iteratiestappen onderzocht, zie voor meer toelichting hierover paragraaf 1.4 van het hoofdrapport IEA.

Stap 1 is de beoordeling van de maak- en haalbaarheid, in deze stap zijn als onderdeel van de beoordeling indicatieve loadflow berekeningen uitgevoerd. Deze loadflow berekeningen zijn uitgevoerd voor vijf volledige tracés (dezelfde kleur via Diemen, via Lelystad, tot aan Ens): blauw, paars, groen, geel en oranje. In deze netberekening is gekeken hoe de stroom zich verdeelt tussen de bestaande en nieuwe verbinding, met alle circuits in bedrijf (N-0 situatie) en bij gepland onderhoud of storing/uitval aan één circuit (N-1 situatie). Uit deze beoordeling bleek dat alle combinaties de overbelasting oplossen in de situatie dat alle circuits in bedrijf zijn (N-0). Alleen bij de alternatieven blauw, paars en groen wordt de overbelasting opgelost in een situatie bij gepland onderhoud of storing (N-1). Bij de gele en oranje alternatieven bleek dat er grote maatregelen getroffen zouden moeten worden om het verschil in weerstand te compenseren. Daarbij bereikte het gele alternatief een kritisch

punt in termen van maakbaarheid met de beoogde compensatiemaatregelen (seriespoelen). Deze berekeningen worden verder beschreven in paragraaf 7.4.1 van het IEA Deelrapport Techniek.

In **stap 2** volgt een beeld van welke varianten voor de nieuwe verbinding en nieuwe hoogspanningsstations het meest kansrijk zijn. Ook heeft de regio hierover geadviseerd. Voor naar verwachting kansrijke alternatieven zijn aanvullende netberekeningen uitgevoerd. Dit geeft inzicht in de mate waarin alternatieven de knelpunten in het elektriciteitsnet oplossen (het doelbereik). Er zijn drie bovengrondse tracévarianten doorgerekend: een bundeling met de bestaande 380kV-verbinding (alternatief paars), een combinatie van paars, groen en grijs en een combinatie van alternatief paars en geel. In deze netberekeningen zijn ook de nieuwste inzichten uit de 150kV-netvisie van TenneT en Liander (zie tekstkader) meegenomen en is onderzocht hoe dit net-technisch mogelijk is.

150kV-netvisie Flevoland

TenneT heeft samen met de regionale netbeheerders in 2024 voor alle provincies een netvisie opgesteld. Deze netvisies zijn strategische plannen gericht op de jaren 2040 en 2050. Hierin wordt rekening gehouden met toekomstige ontwikkelingen om te zorgen dat het elektriciteitsnet kan voldoen aan de groeiende vraag- en aanbod van elektriciteit, mede door de energietransitie. In de netvisie van Flevoland is gebleken dat een tweede deelnet in de buurt van Lelystad nodig is ten behoeve van de regionale elektriciteitsvoorziening en om netcongestie in de regio op te lossen. Het 150kV-hoogspanningsnet gaat namelijk opgedeeld worden in kleinere deelgebieden. Deze zogenaamde loadpockets krijgen elk een eigen koppeling met het 380kV-hoogspanningsnet, waardoor elektriciteit beter af- en aangevoerd kan worden. In de 150kV-netvisie Flevoland is gebleken dat de groei van opwek en afname van elektriciteit zo groot wordt dat er in de Flevopolder drie koppelingen nodig zijn: één bij Almere en twee bij Lelystad. Bij Lelystad moeten dus twee koppelingen komen met het 380kV-net, wat betekent dat er twee stations nodig zijn.

1.2 Doel van deze notitie

De netberekeningen en de resultaten zijn complex. Naar aanleiding van de aanvullende berekeningen is deze notitie geschreven. Hierin worden de conclusies en implicaties van de netberekeningen toegelicht. Daarna wordt beschreven welke varianten er zijn n.a.v. de netberekeningen, binnen de kaders van de IEA die eerder zijn geanalyseerd. Om de varianten goed met elkaar te kunnen vergelijken zijn de benodigde mitigerende maatregelen meegenomen en zijn de varianten beoordeeld op verschillende net-technische aspecten.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk	Welke informatie bevat dit?
1. Management samenvatting	- Kort samenvattend overzicht van de gehele notitie.
2. Introductie	- Aanleiding en doel van deze notitie - Wat leest u waar?
3. Netberekeningen	- Wat zijn de resultaten uit de aanvullende netberekeningen? - Wat zijn de conclusies uit de netberekeningen?
4. Varianten	- Welke varianten zijn er naar aanleiding van de netberekeningen? - Net technische beoordeling van de varianten
5. Planologische effecten	- Wat zijn de planologische effecten van de verschillende varianten?
6. Omgevingseffecten	- Wat zijn de effecten op de omgeving van de verschillende varianten?
7. Andere effecten	- Wat zijn de effecten op technische maak- en haalbaarheid, doorlooptijd en kosten?
8. Samenvatting en conclusies	- Samenvatting en conclusies van de netberekeningen en de beoordeelde varianten
9. Verklarende woordenlijst techniek	- Begrippenlijst van technische termen

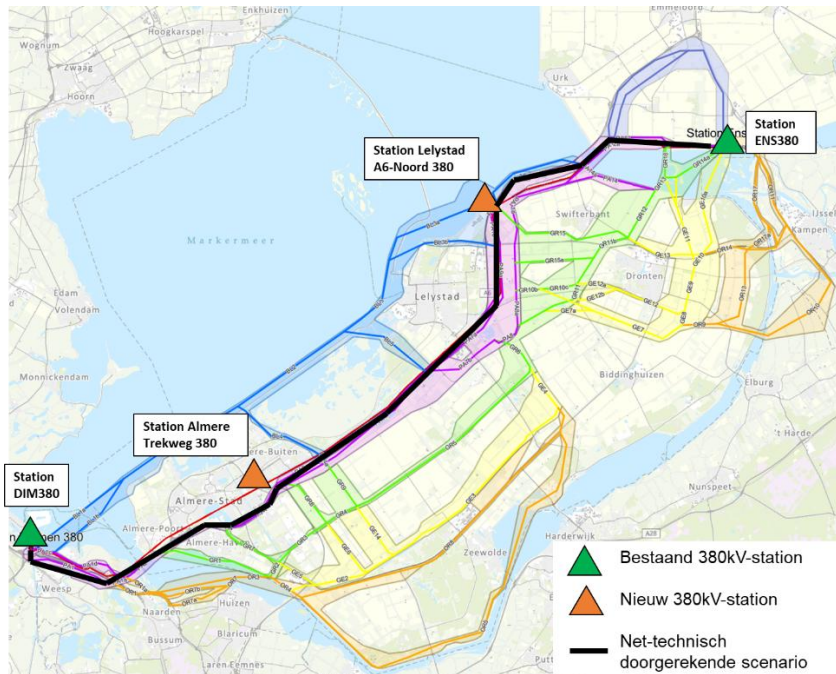
2 Netberekeningen

2.1 Doorgerekende configuraties

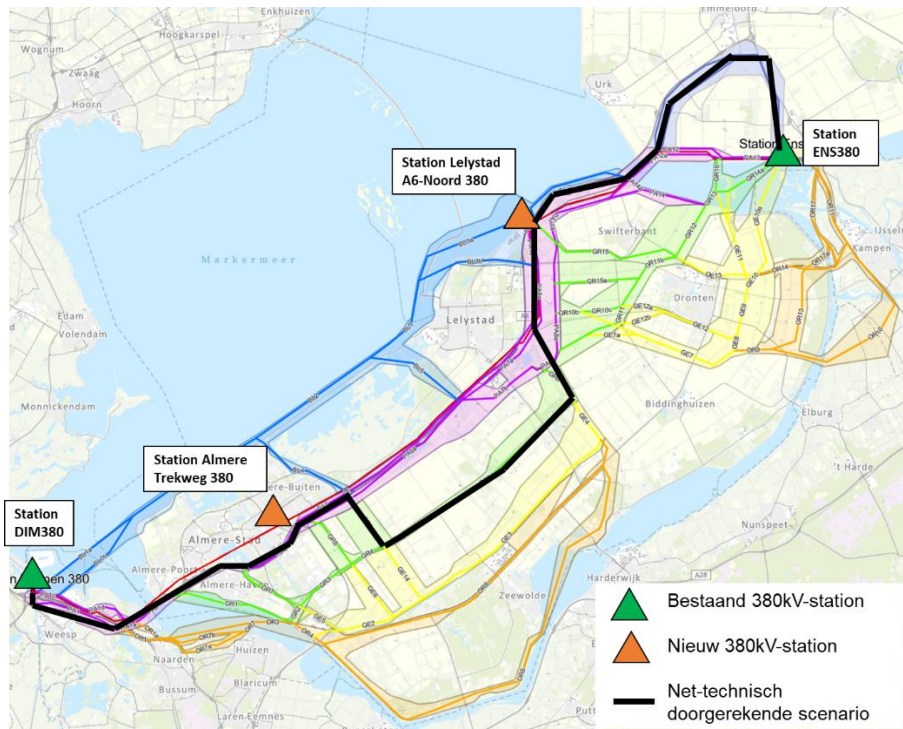
Voor een aantal kansrijke alternatieven (op basis van de concept-effectbeoordeling en het regioadvies) zijn aanvullende netberekeningen uitgevoerd. Voor deelgebied Zuid is er daarom geen specifiek onderzoek gedaan naar alternatief oranje en blauw; alternatief blauw is om andere redenen niet kansrijk (zie H4.2 en H5 van het IEA hoofdrapport), terwijl alternatief oranje op basis van de indicatieve netberekeningen al weinig kansrijk was. Voor deelgebied Noord is geen specifiek onderzoek gedaan naar alternatieven blauw, geel en oranje; alternatief blauw en geel zijn om andere redenen niet kansrijk (zie H4.2 en H5 en het IEA hoofdrapport), terwijl alternatief oranje en de langere varianten via tracé geel op basis van de indicatieve netberekeningen al weinig kansrijk waren.

In de aanvullende netberekeningen van begin 2025 is de invloed op het net berekend van drie doorgerekende configuraties:

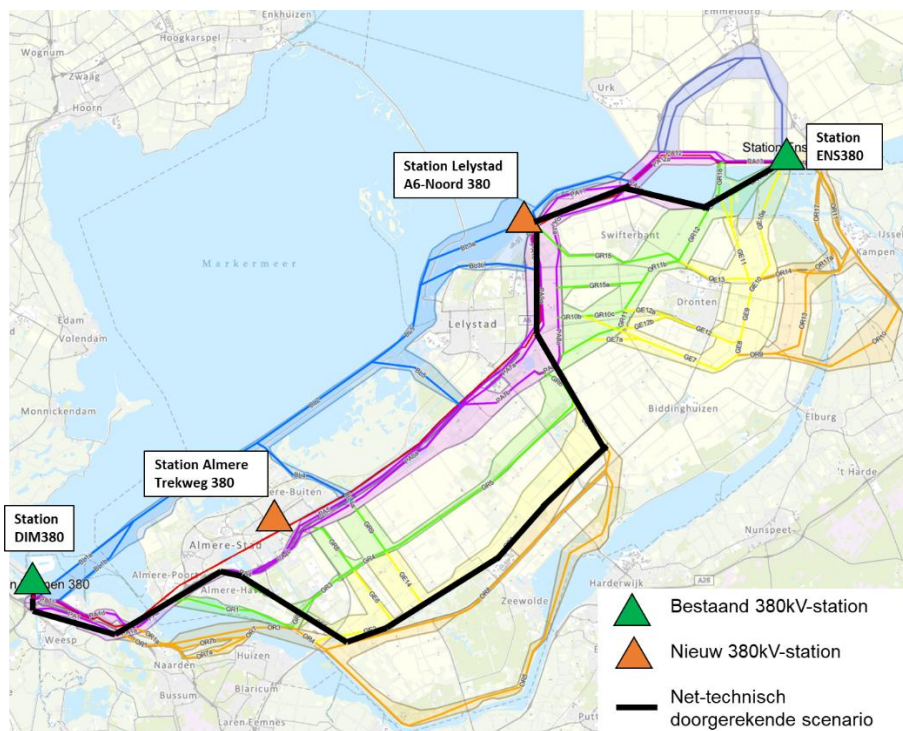
1. een bundeling met de bestaande 380kV-verbinding, alternatief paars (zie figuur 3.1);
2. een combinatie van paars en groen, om de Oostvaardersplassen te vermijden, voor het deel Diemen – Lelystad en het alternatief grijs voor het deel tussen Lelystad – Ens (zie figuur 3.2). Dit aangepaste scenario is gebaseerd op mogelijke mitigatie i.v.m. de technische maakbaarheid van de compenserende maatregelen voor geel en mogelijke problemen met vergunningen op het vlak van ecologie, natuurzoo en werelderfgoed;
3. de regioadviezen van de provincie Flevopolder, Overijssel en gemeente Dronten zijn een combinatie van alternatief paars en geel (zie figuur 3.3).



Figuur 2.1: bundeling met de bestaande 380kV-verbinding, alternatief paars. De zwarte lijn is het doorgerekende scenario.



Figuur 2.2 een combinatie van paars-groen tussen Diemen – Lelystad en grijs tussen Lelystad – Ens. De zwarte lijn is het doorgerekende scenario.



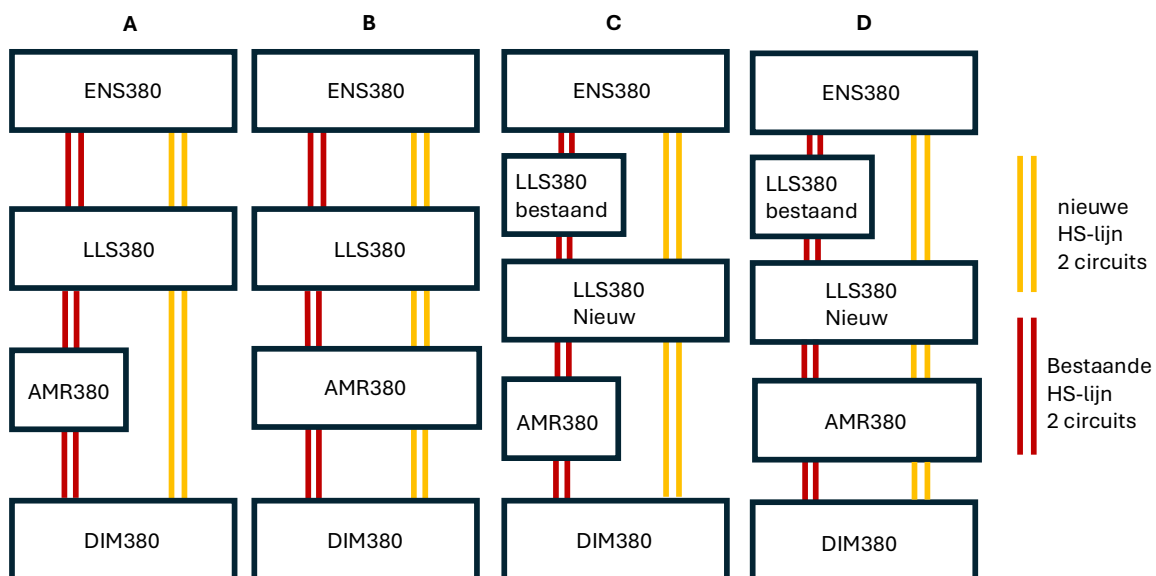
Figuur 2.3: een combinatie van paars en geel. De zwarte lijn is het doorgerekende scenario.

Bij de verschillende tracévarianten is ook onderzocht wat de invloed is van de verschillende manieren van aansluiten van de stations. Voor het station Almere is onderzocht wat de invloed is van het aansluiten van enkel

de bestaande verbinding of zowel de bestaande als de nieuwe verbinding. Daarnaast is onderzocht hoe het extra deelnet uit de netvisie gekoppeld moet worden op het 380kV-net in de buurt van Lelystad.

De mogelijke scenario's voor de configuraties die hierdoor ontstaan, zijn weergegeven in Figuur 2.4. Dit zijn de verschillende scenario's:

- scenario A: twee loadpockets op een nieuwe locatie Lelystad, met een koppeling die open en dicht kan en station Almere enkel op de bestaande verbinding aangesloten;
- scenario B: twee loadpockets op een nieuwe locatie Lelystad, met een koppeling die open en dicht kan en station Almere op zowel de bestaande als de nieuwe verbinding aangesloten;
- scenario C: één loadpocket op de bestaande locatie Lelystad, één loadpocket op een nieuwe locatie Lelystad en station Almere op enkel de bestaande verbinding aangesloten;
- scenario D: één loadpocket op de bestaande locatie Lelystad, één loadpocket op een nieuwe locatie Lelystad en station Almere op zowel de bestaande als de nieuwe verbinding aangesloten.



Figuur 2.4: de verschillende scenario's die (indien mogelijk) per tracévariant zijn doorgerekend in de aanvullende netberekeningen.

2.2 Uitgangspunten netberekeningen

- De netberekening maakt gebruik van de load-flow berekenmethode van het investeringsplan (IP), inclusief:
 - Jaarrond (8760 uur) loadflow simulatie
 - Verschillende bedrijfsscenario's, waaronder normale bedrijfsvoering (N-0) en onderhoud/storingsscenario's (N-1 en N-2).
 - Ontwikkelscenario: Nationale Drijfveer 2024 (ND)
 - Rekenjaar: 2035
 - De belastinggebieden van het hoogspanningsnet in de regio's DIM, ALR en LLS zijn bijgewerkt met het belastingprofiel van Liander (voorspeld voor het jaar 2035) en van Stedin (voorspeld voor het jaar 2040, 2035 niet beschikbaar)
 - De deelnet verdeling uit de 150kV-netvisie
- De geografische ligging in Figuur 2.1, Figuur 2.2 en Figuur 2.3 is voor de beeldvorming, in de netberekeningen zijn de scenario's gebruikt en de afstanden van de verbinding tussen de verschillende stations. Zie Tabel 2-1. In de netberekeningen is onderzocht hoe de stroom zich verdeelt bij de verschillende lengtes.
- In de netberekeningen zijn mitigerende maatregelen, zoals compensatie (seriespoelen en dwarsregeltransformatoren) niet meegenomen in de berekeningen.

Tabel 2-1 lijst van de doorgerekende afstanden tussen DIM-LLS en LLS-ENS

Naam configuratie	Afstand DIM-LLS (km)	Stationslocatie LLS	Afstand LLS-ENS (km)
Paars (in de netberekeningen: "Regioadvies aangepast B")	53	L1 A6 Noord	20
Paars-groen en grijs (in de netberekeningen: "Regioadvies aangepast A")	62	L1 A6 Noord	31
Paars-geel (in de netberekeningen: "Regioadvies")	68	L1 A6 Noord	20

2.3 Resultaten netberekeningen

Alle verbindingen worden zwaar belast in het onderzochte scenario (Nationale Drijfveren 2035 uit IP2024). In het doorgerekende jaar 2035 zal zowel de bestaande als de nieuwe verbinding zwaar belast zijn, maar er zijn wel duidelijke verschillen tussen de tracés. De belasting loopt uiteen van circa 70 tot 90% in normale bedrijfsvoering (N-o).

Wat betekenen deze percentages?

Deze percentages zijn de percentages gebruikte capaciteit van de verbinding(en) op het uur waarop het getransporteerde vermogen het grootste is in het doorgerekende jaar. Deze percentages horen bij een situatie van 1 uur op een dag waarbij er veel elektriciteit moet worden getransporteerd. Bijvoorbeeld een dag met veel opwek (zon en wind) tijdens een moment dat er weinig afname is (vakantie) of een dag met weinig opwek in het westen van Nederland en de Noordzee waardoor er veel vermogen van Eemshaven en/of Noorwegen, Denemarken of Noord Duitsland moet komen.

Zoals in de aanleiding beschreven volgt elektriciteit de weg van de minste weerstand. In de netberekeningen wordt gesproken over een optimale configuratie als de stroom zich zo goed mogelijk verdeelt over de verbindingen, dat is bij de configuratie paars, waarbij beide verbindingen op zowel Almere als Lelystad worden ingelust. Uiteindelijk zal ook in deze optimale configuratie op bepaalde momenten in het doorgerekende jaar de maximale belasting op alle circuits de N-1 grens bereiken. Dit houdt in dat er in het doorgerekende scenario bij uitval van één circuit (door storing of onderhoud) een risico bestaat, dat op dat moment niet het volledig elektrisch vermogen getransporteerd kan worden over de verbindingen. Dit knelpunt in transportvermogen treedt alleen op wanneer de lijnbelasting tijdens de uitval de resterende maximale capaciteit overschrijdt.

De resultaten van de onderzochte combinaties kunnen als volgt worden samengevat:

- de paarse configuratie is net-technisch de optimale configuratie, omdat de lengtes van de bestaande en nieuwe verbinding ongeveer gelijk zijn, waardoor de weerstand ook gelijk is en de elektriciteit zich goed verdeelt over de bestaande en nieuwe verbinding;
- De gele, groene en grijze configuraties zijn ook net-technisch mogelijk, mits de weerstanden van de bestaande en nieuwe verbinding gelijk gemaakt worden. Dit kan door bijvoorbeeld het "omleggen" van de bestaande verbinding parallel aan de nieuwe verbinding, ook wel reconstructie genoemd, of de weerstand te beïnvloeden door het nemen van compenserende maatregelen (seriespoelen of dwarsregeltransformatoren). Gelijke weerstand is belangrijker dan de kortste lengte. Als de weerstanden niet gelijk zijn (of gelijk gemaakt worden) zijn er transportbeperkingen door ongelijke belasting van de bestaande en nieuwe verbinding. De nieuwe verbinding zal niet tot het maximum kunnen worden benut, maar slechts tot een bepaald percentage. Hierdoor zal de verdeling over de bestaande en nieuwe verbinding nooit optimaal worden, slechts zo goed als mogelijk. Dit kan een probleem zijn in een situatie waarin onderhoud wordt gepleegd of er storing/uitval is aan één circuit (N-1). Daarnaast kan het voorkomen dat er bij een storing in één van de overige circuits acuut belasting moet worden afgeschakeld;
- bij de paars-gele en de paars-grijze configuratie is het verschil in weerstand te groot om dit te compenseren met seriespoelen. In die situatie zijn dwarsregeltransformatoren noodzakelijk om ervoor te zorgen dat de elektriciteit gelijkmatig verdeeld wordt, zelfs als deze verbindingen verschillende weerstanden hebben. In dit geval zouden deze transformatoren geplaatst worden bij het nieuwe hoogspanningsstation Almere. In de netberekeningen zijn de grootte en de net-technische consequenties van compenserende maatregelen, zoals seriespoelen en dwarsregeltransformatoren nog niet meegenomen in de berekeningen;

- het aansluiten van zowel de nieuwe als de bestaande verbinding op station Almere-Zeewolde heeft grote positieve effecten op de betrouwbaarheid en de beschikbare capaciteit van het onderliggende 150kV-net in de regio Almere-Zeewolde vanwege een betere verdeling van de stromen over de verbindingen. Dit zorgt voor een groter doelbereik. Andersom zijn er juist grote risico's voor het doelbereik en de betrouwbaarheid als alleen één verbinding op het nieuwe station wordt aangesloten.
- De twee koppelingen aan het 380kV-net bij Lelystad moeten direct naast elkaar komen, omdat er anders een knelpunt ontstaat op de 380kV-verbinding tussen LLS380-bestaand en het nieuwe station. Een knelpunt tussen deze twee koppelingen is niet acceptabel, omdat dit knelpunt niet meer opgelost kan worden met extra circuits. Er is namelijk geen ruimte meer op het LLS380-bestaand voor het aansluiten van meer circuits. Dit betekent dat zowel de bestaande koppeling (loadpocket) als de nieuwe koppeling op een nieuw 380kV-station moet komen. Deze twee loadpockets moeten aan elkaar gekoppeld worden om het vermogen te kunnen transporteren. Vanwege o.a. vermogensverlies kan dat niet met een lijnverbinding tussen twee losse stations, maar wel met een koppeling tussen de rails van twee stations (een zogenoemde langskoppeling). Hierdoor zal het nieuwe station LLS een groter oppervlak beslaan dan in eerste instantie het uitgangspunt was. Voor één pocket is een nieuw station van 15 hectare nodig; bij twee pockets gaat dat om circa 30 hectare. Daarnaast moet er een koppeling blijven tussen het 380kV-net en het bestaande 150kV-station LLS. Dit heeft o.a. te maken met de koppeling naar het regionale net en de maxima centrale (opweklocatie). De in het voorkeursalternatief aangegeven voorkeurslocatie, locatie L-1 voor één groot station Lelystad, wordt hiermee onderschreven.

Randvoorwaarden bij een reconstructie van de bestaande verbinding

Als de bestaande verbinding wordt omgelegd is het aannemelijk dat de nieuwe en bestaande verbinding (deels) naast elkaar worden gerealiseerd. In deze situatie gelden afstandseisen: de verbindingen moeten op voldoende afstand van elkaar staan dat bij een calamiteit de masten van de ene verbinding niet op de andere verbinding kunnen vallen. Dit noemen we de valafstand en deze bedraagt ongeveer 80 meter.

Conclusie netberekeningen

De belangrijkste conclusie uit de netberekeningen is dat zowel de bestaande als de nieuwe verbinding in het doorgerekende scenario voor 2035 zeer zwaar belast zal zijn, maar er zijn wel duidelijke verschillen zichtbaar tussen de tracés, zoals dat de belastingverschillen in de normale bedrijfsvoering uiteenlopen van circa 70% op de nieuwe verbinding terwijl de bestaande verbinding -op delen- al tot 100% wordt belast. Deze verschillen ontstaan door een verschil in 'weerstand' welke op hun beurt voornamelijk worden veroorzaakt door lengte verschillen (de nieuwe verbinding is op secties duidelijk langer) maar ook door verschillen in mastbeeld; geleiders in een Moldaumast hebben gemiddeld een grotere 'weerstand' omdat ze gemiddeld hoger hangen dan geleiders in een Donaumast.

Dit zijn de belangrijkste conclusies:

- de paarse configuratie is net-technisch de optimale configuratie;
- de gele, groene en grijze configuraties zijn ook net-technisch mogelijk, mits de weerstanden van de bestaande en nieuwe verbinding gelijk gemaakt worden;
- het aansluiten van zowel de nieuwe als de bestaande verbinding op station Almere-Zeewolde heeft grote positieve effecten op de betrouwbaarheid en de beschikbare capaciteit;
- de twee koppelingen aan het 380kV-net bij Lelystad moeten direct naast elkaar komen, omdat er anders een knelpunt ontstaat op de 380kV-verbinding tussen LLS380-bestaand en het nieuwe station.

Uiteindelijk zal ook in de optimale configuratie op bepaalde momenten in het doorgerekende jaar de maximale belasting op alle circuits de N-1 grens bereiken. Dit houdt in dat er in het doorgerekende scenario bij uitval van één circuit (door storing of onderhoud) een risico bestaat, dat op dat moment niet het volledig elektrisch vermogen getransporteerd kan worden over de verbindingen. Dit geldt voor alle configuraties en betekent dat de grenzen van de transportcapaciteit in zicht komen. Het doorgerekende scenario heeft op de langere termijn wel een grotere onzekerheid vanwege toekomstige ontwikkelingen, bijvoorbeeld de plannen van de regio, zoals woningbouw, bedrijventerreinen of initiatieven met duurzame opwek. Deze ontwikkelingen hebben invloed op wanneer het knelpunt daadwerkelijk gaat optreden. Daarom is het niet precies te voorspellen wanneer dit moment zal plaatsvinden, maar het wordt verwacht binnen de komende 20 jaar. Daarom is het belangrijk om te kiezen voor de configuratie waar de stroomverdeling over bestaand en nieuw zo gelijk mogelijk is, om verdere uitbreidingen en nieuwe projecten voor TenneT zo lang mogelijk te voorkomen. Het is daarom van groot belang dat binnen dit project gekozen wordt voor een oplossing die ervoor zorgt dat de toegevoegde capaciteit zo efficiënt mogelijk wordt ingezet.

Om te zorgen dat de elektriciteit zich gelijk verdeelt over de bestaande en nieuwe verbinding moet de weerstand (impedantie) tussen beide verbindingen gelijk zijn of gelijk gemaakt worden. Om een gelijke weerstand te bereiken, moeten de verbindingen even lang zijn of gemaakt worden of moeten er maatregelen worden genomen om het lengteverschil te compenseren. Deze maatregelen hebben verschillende net-technische effecten. In het volgende hoofdstuk worden de verschillende net-technische varianten verkend op het gebied van nettechniek. De capaciteit van deze varianten is hetzelfde, maar hoeveel van deze capaciteit gebruikt wordt in 2035 varieert zoals hierboven beschreven. Daarnaast verschillen deze varianten ook op andere aspecten die in de volgende hoofdstukken worden toegelicht.



3 Beoordeling varianten

In dit hoofdstuk worden verschillende net-technische varianten beoordeeld op het gebied van nettechniek. Deze varianten zijn een gevolg van de doorgerekende configuraties en scenario's en de mitigerende maatregelen die noodzakelijk zijn. De mitigerende maatregelen zijn namelijk niet meegenomen in de netberekeningen. In dit hoofdstuk is de opsplitsing gemaakt voor het zuidelijke deel, Diemen-Almere-Lelystad, en het noordelijke deel, Lelystad-Ens.

3.1 Beoordelingsmethodiek

Om de varianten vanuit net-techniek, inclusief de mitigerende maatregelen, met elkaar te vergelijken is gekeken naar vijf cruciale aspecten, samengevat onder de binnen TenneT gebruikelijke Engelse term RAMSS:

- Reliability (Betrouwbaarheid);
- Availability (Beschikbaarheid);
- Maintainability (Onderhoudbaarheid);
- Safety (Veiligheid);
- Security (Beveiliging).

Daarnaast is beoordeeld vanuit nettechniek en toekomstvastheid. Hieronder wordt elk criterium toegelicht:

Tabel 3-1 Criteria van de beoordeling nettechniek

Criterion:	Beoordeling op basis van:
Reliability (Betrouwbaarheid)	Risicoanalyse op basis van expert judgement, met inachtneming van: <ul style="list-style-type: none"> • betrouwbaarheid van de verschillende onderdelen, wat wordt uitgedrukt in de gemiddelde tijd tot falen (Mean Time To Failure = MTTF); • en de combinatie van de betrouwbaarheden van verschillende onderdelen bepaalt hoe betrouwbaar de hele verbinding is.
Availability (Beschikbaarheid)	Risicoanalyse op basis van expert judgement, met inachtneming van: <ul style="list-style-type: none"> • gemiddelde tijd tot falen (MTTF) en gemiddelde tijd tot reparatie na een storing (Mean Time To Repair = MTTR); • de MTTR hangt sterk af van het type component, de beschikbaarheid van reserveonderdelen, en de organisatorische context.
Maintainability (Onderhoudbaarheid)	Risicoanalyse op basis van expert judgement aan de hand van: <ul style="list-style-type: none"> • het aantal componenten en de complexiteit van de componenten.
Safety (Veiligheid)	Risicoanalyse op basis van expert judgement aan de hand van verschillende aspecten, zoals genoemd in het integraal veiligheidsplan.
Security (Beveiliging)	Risicoanalyse op basis van de beveiliging van het gehele 380kV-net.
Nettechniek	Risicoanalyse op basis van expert judgement, met inachtneming van: <ul style="list-style-type: none"> • een analyse van het elektriciteitsnet als geheel. Het hele net is met elkaar verbonden en bepaalde keuzes binnen dit project, voor deze verbinding, hebben impact op de kwaliteit van het elektriciteitsnet als geheel;

	<ul style="list-style-type: none"> en hierin is meegenomen de verdeling van vermogensstromen in het net (loadflow) en doelmatigheid/efficiëntie.
Toekomstvastheid	<p>Risicoanalyse op basis van expert judgement, met inachtneming van:</p> <ul style="list-style-type: none"> hoe goed de nieuwe verbinding wordt benut; of er extra verliezen zullen zijn door compenserende maatregelen; en de ruimte voor uitbreiding van (onderliggende) netten na 2035.

Er zijn een aantal criteria die niet per variant verder worden beschreven, maar wel terugkomen in de vergelijking van de varianten, namelijk Safety en Security:

- Voor het criterium Safety (Veiligheid) is er in deze notitie een algemene indicatieve beoordeling opgenomen. Deze beoordeling bestaat uit veel verschillende aspecten welke zijn opgenomen in het integraal veiligheidsplan. Op basis hiervan is een gemiddelde opgenomen in deze notitie.
- Voor het criterium Security (Beveiliging) is er geen onderscheid tussen de varianten. Het toevoegen van componenten, zoals een dwarsregeltransformator of seriespoel, brengt geen extra Security risico's met zich mee.

Beoordeling

De verschillende criteria worden beoordeeld met verschillende risicoprofielen, van een zeer hoog tot zeer laag risico. In deze beoordeling is uitgegaan van een volledig bovengrondse verbinding. Onderstaand zijn de risicoprofielen weergegeven.

Tabel 3-2: Legenda beoordeling

Niet mogelijk	Niet mogelijk
Onbeheersbaar	Onbeheersbaar risico, niet acceptabel voor TenneT
--	Zeer hoog risico
-	Hoog risico
0	Neutraal risico
+	Laag risico
++	Zeer laag risico

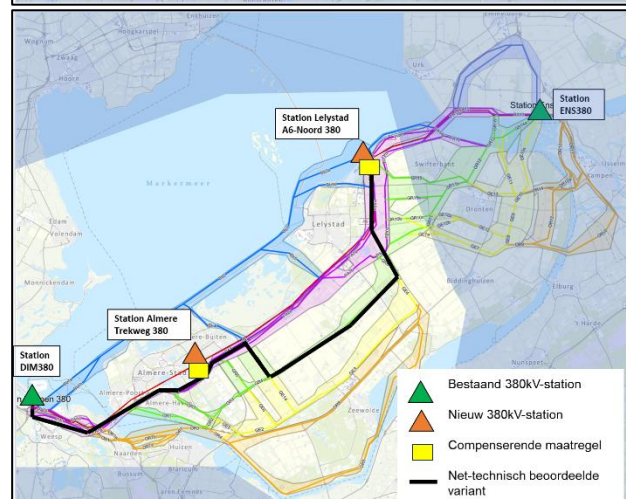
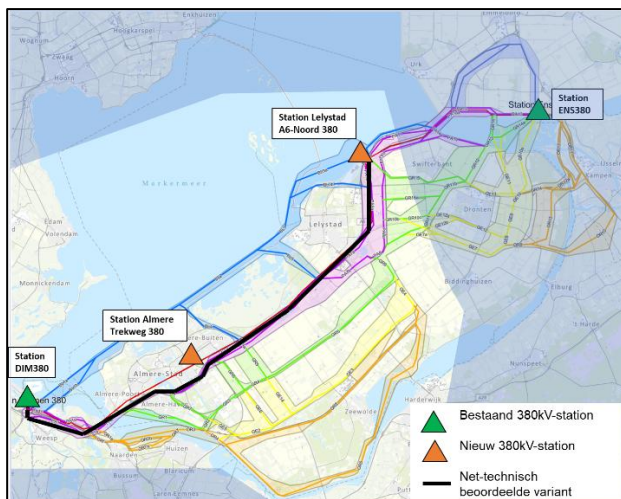
In hoofdstuk 5, 6 en 7 worden de effecten beschreven op planologie, omgeving en andere effecten (technische maak- en haalbaarheid, doorlooptijd en kosten).

3.2 Varianten Diemen – Almere – Lelystad

Op basis van de drie doorgerkende configuraties in de netberekeningen zijn er verschillende varianten voor het tracé tussen Diemen, Almere en Lelystad. Zoals beschreven in hoofdstuk 3 zijn er bij een combinatie van paars en groen of paars en geel mitigerende maatregelen noodzakelijk. Dit kunnen compenserende maatregelen zijn of een reconstructie van de bestaande verbinding. Daarom zijn er vier net-technische varianten voor het tracé verkend voor het deel tussen Diemen, Almere en Lelystad:

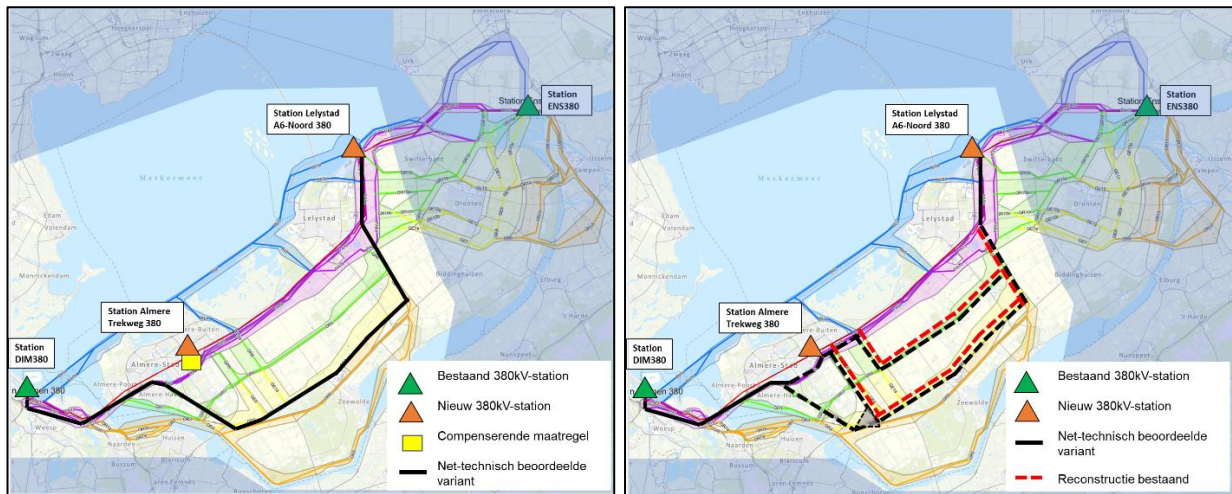
1. het volgen van het parse alternatief langs de bestaande verbinding;
2. een combinatie van paars en groen inclusief compenserende maatregelen;
3. een combinatie van paars en geel inclusief grote compenserende maatregelen;
4. een combinatie van paars en groen of geel en het verplaatsen (reconstructie) van de bestaande verbinding.

Bij drie van de vier varianten wordt het nieuwe hoogspanningsstation Almere/Zeevolde aangesloten op de bestaande en de nieuwe verbinding. Enkel bij variant 3, paars-geel, is dit niet mogelijk omdat er o.a. door bestaande bebouwing en natuur geen geschikte locatie is voor het hoogspanningsstation Almere waar de beide verbindingen langskomen.



Figuur 3.1: variant 1: paars-paars

Figuur 3.2: variant 2: paars-groen incl. compenserende maatregelen



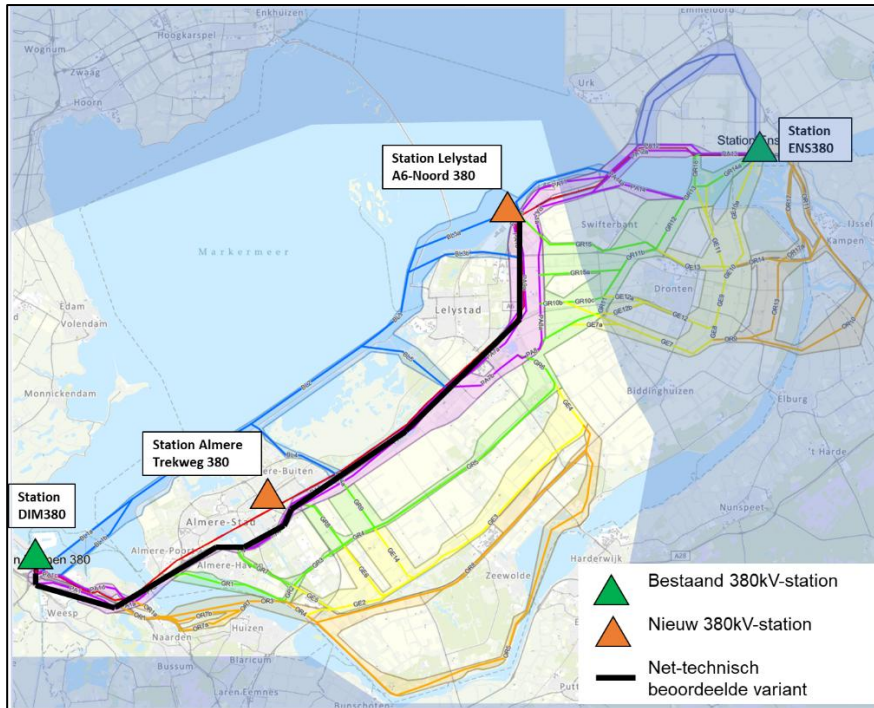
Figuur 3.3: variant 3 paars-geel incl. compenserende maatregelen Figuur 3.4: variant 4: paars-geel/groen incl reconstructie (de opties zijn gestippeld)

Niet net-technische effecten van compenserende maatregelen (variant 2 en 3), zoals geluid, kosten en fysieke ruimte worden beschouwd in hoofdstuk 5, 6 en 7 van deze notitie.

Bij variant 4 zijn er verschillende opties mogelijk, deze staan uitgewerkt in paragraaf 4.2.4. Bij deze variant is de verwachting dat indien de optie van reconstructies verder wordt uitgewerkt er tegen beperkingen vanuit technische maak en haalbaarheid aan wordt gelopen. Deze toelichting staat beschreven in hoofdstuk 5.

3.2.1 Variant zuid-1: paars-paars

Bij de paarse optie kunnen beide verbindingen worden aangesloten op hoogspanningsstation Almere en zijn de lengtes bijna gelijk. Dit zorgt ervoor dat de weerstand bijna hetzelfde is, waardoor er geen compenserende maatregelen nodig zijn.



Figuur 3.5 Variant zuid-1: paars-paars

Reliability (Betrouwbaarheid)

Er is slechts een klein verschil in lengte (2,6 km) tussen de bestaande en nieuwe verbinding, waarvoor geen compenserende maatregelen noodzakelijk zijn. Bovendien volgt deze verbinding de bestaande verbinding en is dit ook de kortste verbinding. Daarom zijn de risico's voor de betrouwbaarheid van de verbinding zeer laag (++).

Availability (Beschikbaarheid)

Het toevoegen van meer componenten zorgt voor een verhoging in elementen die storingen of technische problemen kunnen veroorzaken. Omdat er bij variant 1 geen extra componenten worden toegevoegd of er iets verandert aan de bestaande verbinding, heeft dit geen invloed op de beschikbaarheid. Daarnaast is de bestaande verbinding aangetoond beschikbaar, waardoor de beschikbaarheid van de bestaande en nieuwe verbindingen samen vergelijkbaar is met die van alleen de bestaande verbinding (voor de dubbele belasting). Daarom worden de risico's voor de beschikbaarheid beoordeeld als een zeer laag risico (++).

Maintainability (Onderhoudbaarheid)

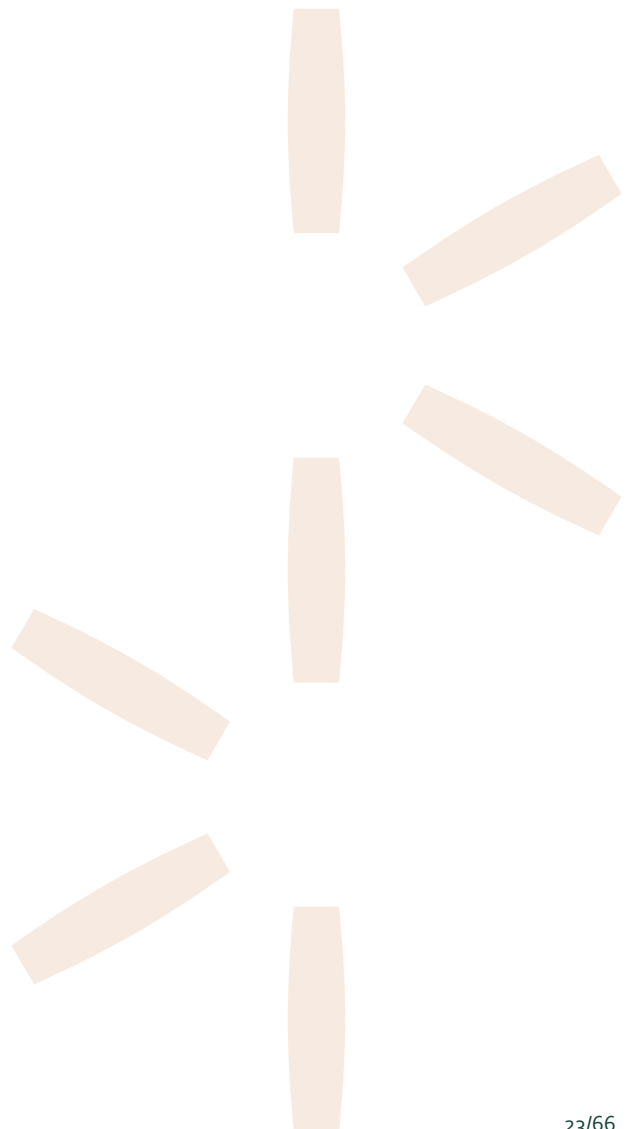
Het toevoegen van meer componenten maakt het onderhoud ingewikkelder en zorgt voor meer onderhoudswerk. Omdat er geen extra componenten worden toegevoegd, heeft dit geen invloed op de onderhoudbaarheid. Om die reden zijn de risico's voor de onderhoudbaarheid van deze variant beoordeeld als een zeer laag risico (++).

Nettechniek

De beoordeling vanuit nettechniek heeft te maken met optimale benutting van het elektriciteitsnet als geheel. Bij variant 1 zijn de lengtes van de bestaande en nieuwe verbinding bijna gelijk. Dit zorgt ervoor dat de elektriciteit gelijkmatig verdeeld wordt tussen de twee verbindingen, zoals gebleken is in de netberekeningen. Daarom is het risico voor nettechniek zeer laag (++).

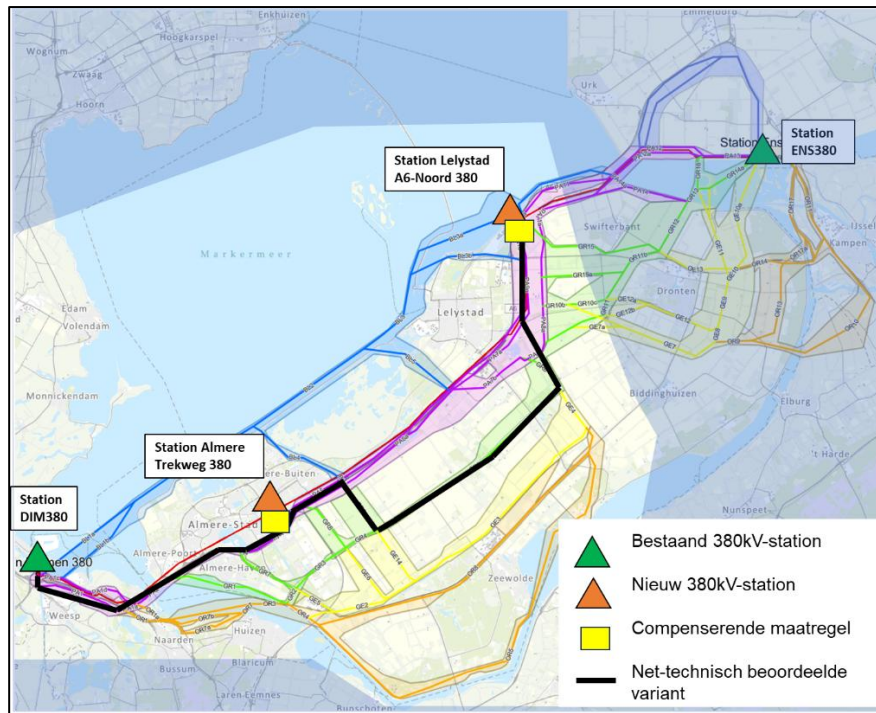
Toekomstvastheid

De toekomstvastheid van een variant hangt af van hoe goed de nieuwe verbinding wordt benut en de ruimte voor uitbreiding van (onderliggende) netten na 2035. Uit de netberekeningen blijkt dat beide verbindingen ook bij optie paars al in 2035 zwaar belast zullen zijn. Bij deze variant worden echter de bestaande en nieuwe verbindingen aangesloten bij Almere en zijn de lengtes van de verbindingen bijna gelijk. Hierdoor zijn er geen compenserende maatregelen nodig, wordt de capaciteit zo efficiënt mogelijk benut, en blijft er de meeste ruimte over voor toekomstige ontwikkelingen op het net. Daarmee is het risico op vroegtijdig overschrijden van de maximale transportcapaciteit als zeer laag (++) beoordeeld.



3.2.2 Variant zuid-2: paars-groen incl. compenserende maatregelen

Bij de paars-groene variant zijn de lengtes van de verbindingen niet gelijk en zijn er compenserende maatregelen nodig. Door het toevoegen van seriespoelen in de bestaande verbinding kan de weerstand gelijk worden gemaakt en beide verbindingen kunnen op hoogspanningsstation Almere worden aangesloten.



Figuur 3.6: Variant zuid-2: paars – groen incl. compenserende maatregelen

Reliability (Betrouwbaarheid)

Bij deze variant is er een verschil van 11,7 km in lengte tussen de bestaande en nieuwe verbinding. Hierdoor zijn seriespoelen nodig om de weerstand te verhogen op de bestaande verbinding om de stroom goed te verdelen. Deze onderdelen verminderen de betrouwbaarheid van de verbinding. Daarom zijn de risico's voor de betrouwbaarheid van de verbinding hoog (-).

Availability (Beschikbaarheid)

Het toevoegen van meer componenten zorgt voor een verhoging in elementen die storingen of technische problemen kunnen veroorzaken. Omdat het risico op falen en de reparatietijd van seriespoelen aanzienlijk is, heeft dit invloed op de beschikbaarheid. Daarom worden de risico's beoordeeld als een hoog risico (-).

Maintainability (Onderhoudbaarheid)

Het toevoegen van meer componenten maakt het onderhoud ingewikkelder en zorgt voor meer onderhoudswerk. Omdat er veel extra componenten worden toegevoegd, heeft dit een negatieve invloed op de onderhoudbaarheid. Daarom worden de risico's beoordeeld als een hoog risico (-).

Nettechniek

De beoordeling vanuit nettechniek heeft te maken met optimale benutting van het elektriciteitsnet als geheel. De lengte of het toevoegen van compenserende maatregelen beïnvloeden het verlies in de verbinding. Bij deze variant zijn de lengtes van de bestaande en nieuwe verbinding niet gelijk en zijn er seriespoelen nodig. Deze hebben een beperkte negatieve invloed op het net. De totale absolute weerstand wordt namelijk groter. Echter bij deze variant worden zowel de bestaande als de nieuwe verbinding aangesloten op hoogspanningsstation Almere, wat door flexibiliteit een positief effect heeft op de nettechniek. Daarom krijgt deze variant de beoordeling neutraal (o).

Toekomstvastheid

De toekomstvastheid van een variant hangt af van hoe goed de nieuwe verbinding wordt benut en de ruimte voor uitbreiding van (onderliggende) netten na 2035. Uit de netberekeningen blijkt dat beide verbindingen al in 2035 zwaar belast zullen zijn. Bij deze variant worden echter de bestaande en nieuwe verbindingen aangesloten op hoogspanningsstation Almere, maar zijn de lengtes van de verbindingen niet gelijk, waardoor er wel extra maatregelen nodig zijn. Echter hebben seriespoelen geen grote impact op de benutting van de verbinding. Daarom krijgt deze variant de beoordeling neutraal (o).

Hieronder zijn twee foto's te zien waarop te zien is hoe een seriespoel er uitziet.



Figuur 3.7: Een seriespoel links met een koelunit rechts

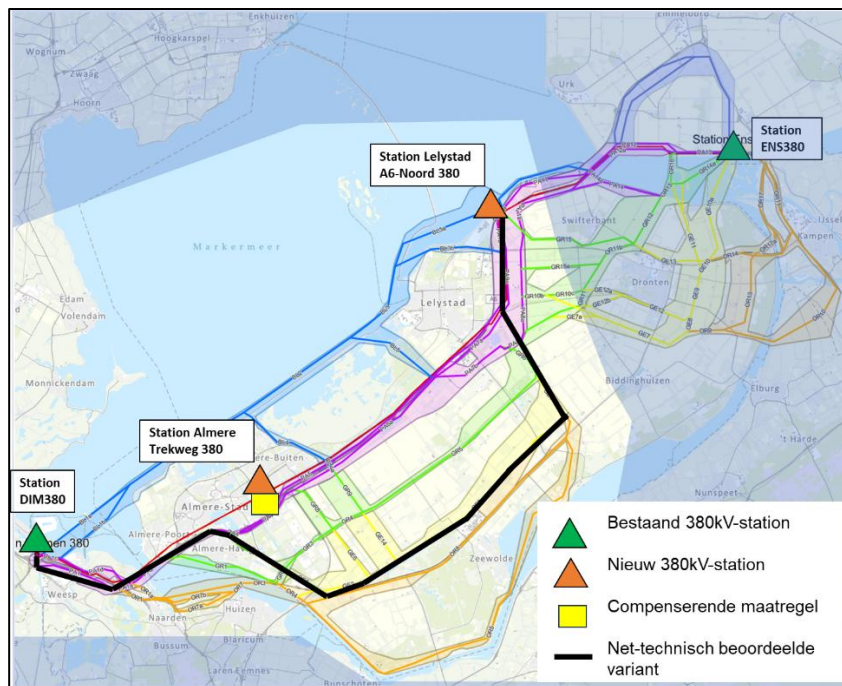


Figuur 3.8: Twee seriespoelen (één per circuit)

3.2.3 Variant zuid-3: paars-geel incl. compenserende maatregelen

Bij de variant paars-geel incl. compenserende maatregelen kan enkel de bestaande verbinding worden aangesloten op hoogspanningsstation Almere en zijn de lengtes niet gelijk. Daarom zijn er compenserende maatregelen nodig om dit technisch mogelijk te maken en dit heeft hoge risico's.

Normaal gesproken worden, als compenserende maatregel, seriespoelen geplaatst in de kortste verbinding om de weerstand te verhogen. Echter, als het verschil in weerstand te groot is, zoals bij paars-geel, is dit niet meer mogelijk. Het is wel mogelijk om met dwarsregeltransformatoren ervoor te zorgen dat de elektriciteit gelijkmatig verdeeld wordt. Zelfs als deze verbindingen verschillende weerstanden hebben. In dit geval zouden deze dwarsregeltransformatoren geplaatst worden bij het nieuwe hoogspanningsstation Almere, omdat er gestuurd moet worden op de kortste verbinding (bestaand).



Figuur 3.9: Variant zuid-3: regioadvies incl. compenserende maatregelen

Reliability (Betrouwbaarheid)

Er is een groot verschil in lengte tussen de bestaande en nieuwe verbinding bij deze variant. Om het verschil in weerstand te compenseren zijn er dwarsregeltransformatoren nodig. Vanwege de maximale capaciteit van een dwarsregeltransformator (2.000 A) en dat ze per circuit geplaatst moeten worden, zijn er meerdere dwarsregeltransformatoren nodig. Om een capaciteit van 4.000 A per circuit te bereiken, moeten er twee DRT's parallel worden geplaatst die tegelijkertijd moeten werken. Voor de bestaande verbinding (2 circuits) zijn dus 4 DRT's nodig. Daarnaast zijn er twee reserve DRT's nodig voor een situatie met onderhoud of storingen. De betrouwbaarheid van de DRT's is lager dan van een lijn en seriespoel. Daarom verminderen DRT's de betrouwbaarheid van de verbinding aanzienlijk, waardoor de risico's voor de betrouwbaarheid van de verbinding zeer hoog (-) zijn.

Availability (Beschikbaarheid)

Een draad of mast kan veel sneller worden vervangen dan een dwarsregeltransformator. Een dwarsregeltransformator heeft een levertijd van meer dan twee jaar en kan vanwege zijn unieke toepassing slechts beperkt op voorraad gehouden worden. Daarom zijn de risico's voor beschikbaarheid beoordeeld met een zeer hoog risico (-).

Maintainability (Onderhoudbaarheid)

Het toevoegen van meer componenten maakt het onderhoud ingewikkelder en zorgt voor meer onderhoudswerk. Daarnaast is het onderhoud voor een dwarsregeltransformator zeer specialistisch werk. Dit heeft dus veel invloed op de onderhoudbaarheid. Om die reden zijn de risico's voor deze variant zeer hoog (-).

Nettechniek

De beoordeling vanuit nettechniek heeft te maken met optimale benutting van het elektriciteitsnet als geheel. De lengte of het toevoegen van compenserende maatregelen beïnvloeden het vermogensverlies in de verbinding. Het vergroten van een absolute weerstand leidt namelijk tot extra netverliezen. Dwarsregeltransformatoren worden ingezet om overbelasting van de bestaande verbinding te voorkomen. Zonder compenserende maatregelen zullen de elektriciteitsstromen door de nieuwe verbinding niet tot het maximum kunnen worden benut, maar slechts tot minder dan 70%. Hierdoor zal de verdeling over de bestaande en nieuwe verbinding nooit optimaal worden, slechts zo goed als mogelijk. Met het toevoegen van de DRT wordt deze verdeling wel optimaal. Daarnaast is de toegevoegde weerstand bij een DRT beperkt, dus heeft het toevoegen een laag risico voor de optimale benutting van het net. Daarentegen is het niet aansluiten op hoogspanningsstation Almere wel een hoog risico, omdat dit minder flexibiliteit biedt. Bijvoorbeeld in het geval van uitval van de bestaande verbinding biedt het minder flexibiliteit waar het vermogen vandaan komt voor het deernet bij Almere. Daarom krijgt deze variant de beoordeling neutraal risico (o).

Toekomstvastheid

Het plaatsen van dwarsregeltransformatoren en het niet aansluiten van de nieuwe verbinding op Almere hebben beide een negatieve invloed op toekomstvastheid. Vanwege de DRT is de verbinding minder flexibel voor toekomstige uitbreidingen van het transportvermogen. Daarnaast wordt door het niet dubbel aan te sluiten op hoogspanningsstation Almere de toekomstvastheid van het benodigde vermogen op het onderliggende net bij Almere beperkt. Daarom zijn de risico's voor toekomstvastheid zeer hoog (-).

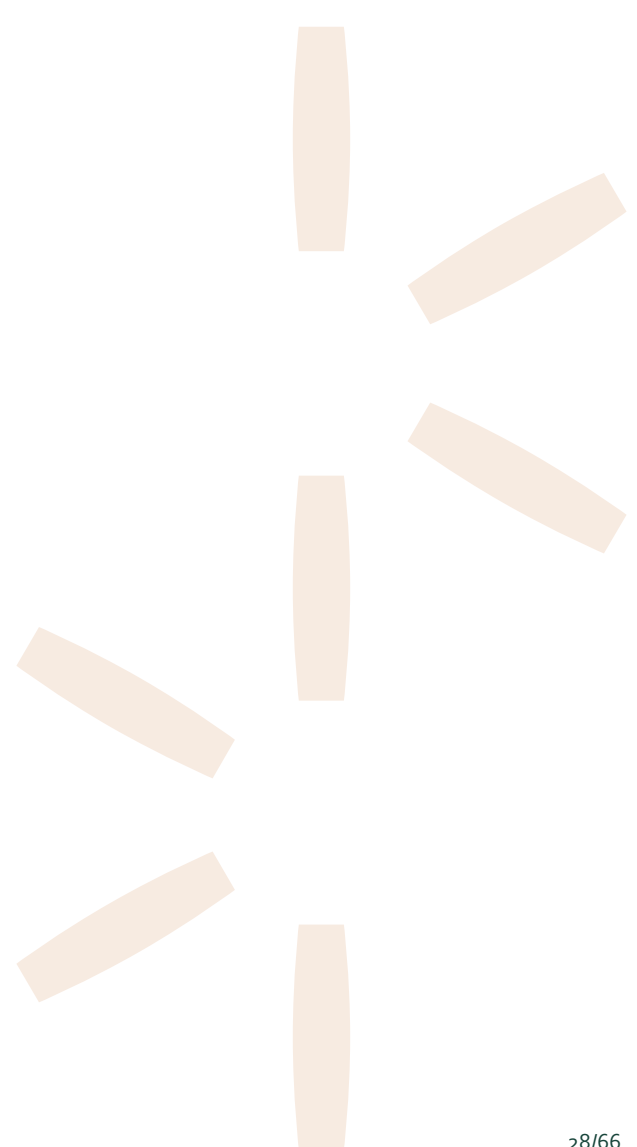
Een dwarsregeltransformator heeft zoals genoemd een significant negatieve invloed op de verschillende (net)technische criteria. Daarnaast neemt het ook veel ruimte in beslag. Voor hoogspanningsstation Almere is een specifiek concept-vlekkenplan gemaakt waarop de dwarsregeltransformator is toegevoegd, zie onderstaande figuur. Op de volgende pagina is ook een foto te zien die laat zien hoe groot een 1-fase dwarsregeltransformator is (voor dit project zijn er 6 stuks 3x1-fase dwarsregeltransformatoren nodig).



Figuur 3.10: Specifiek-concept vlekkenplan Almere inclusief dwarsregeltransformator



Figuur 3.11 Een voorbeeld van 1-fase dwarsregeltransformator

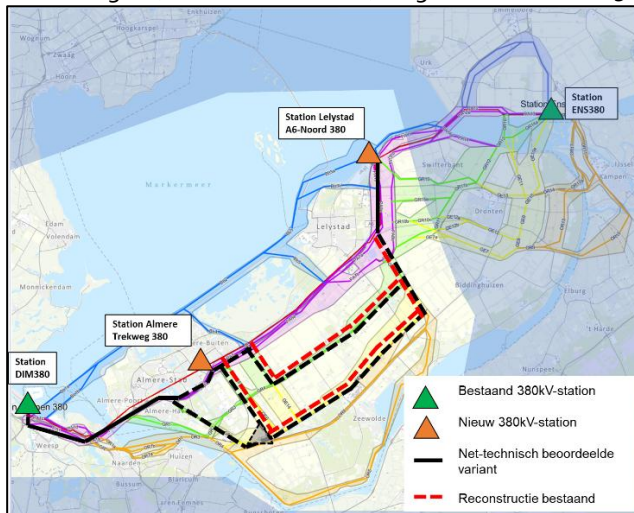


3.2.4 Variant zuid-4: paars-groen/geel incl. reconstructie bestaand

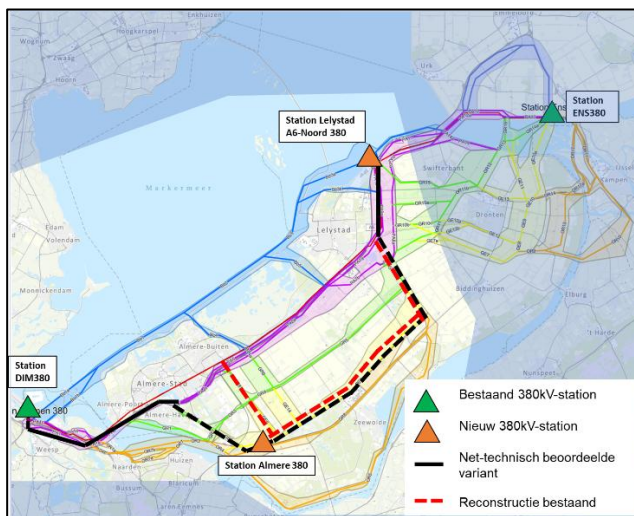
Indien vanuit bovenregionale belangen (zoals N2000 of UNESCO) uitgeweken moet worden, kan het verplaatsen van de bestaande verbinding (reconstructie) een variant zijn. Hierbij zijn een aantal verwachte reconstructies beschreven.

Voor de groene of gele opties is het namelijk mogelijk om zonder compenserende maatregelen de weerstand gelijk te maken. Namelijk door het combineren met het verplaatsen (een reconstructie) van de bestaande verbinding. Met de reconstructie worden de lengtes gelijk gemaakt, waardoor ook de weerstand gelijk wordt. Het is echter belangrijk om op te merken dat er niet in elke corridor genoeg ruimte is om twee verbindingen naast elkaar te plaatsen. Bij GR7 kunnen geen twee masten naast elkaar in de corridor, maar bij GR1, GR8 en GR9 kan dat wel, daarom worden in onderstaande figuur enkel 'reële' opties weergegeven binnen de bestaande corridors.

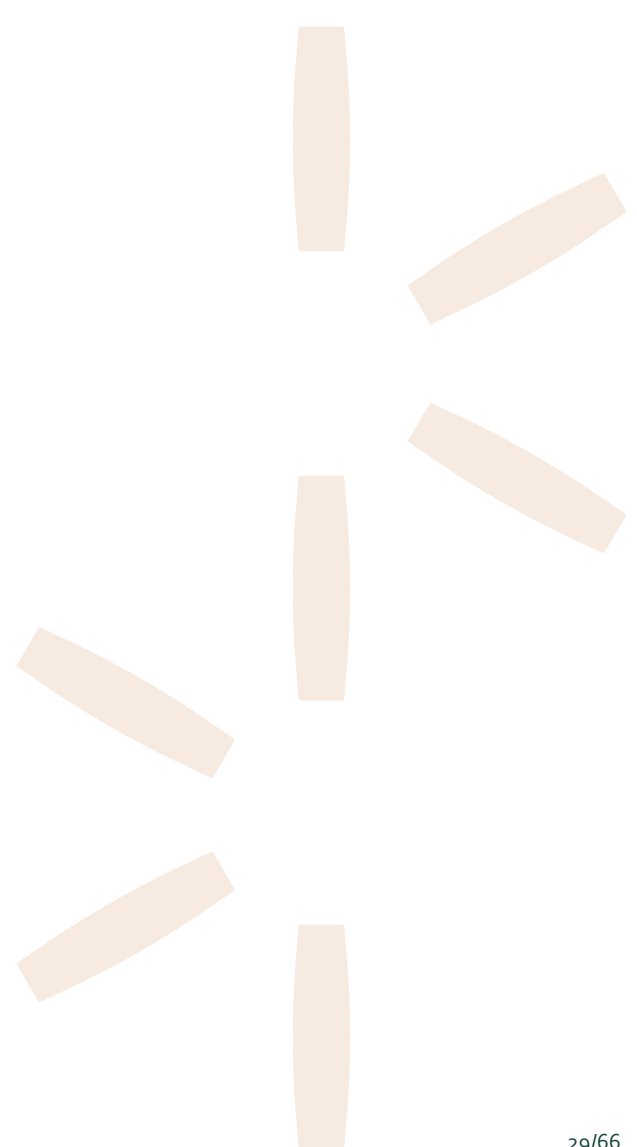
De locatie van het 380kV-station Almere kan worden verplaatst, afhankelijk van de gekozen route. Indien er gekozen wordt voor een andere locatie dan locatie AZ-1, Almere Trekweg, moet er wel rekening worden gehouden met dat er vanwege netcongestie op het onderliggende net een 150/20kV-station nodig is op de locatie AZ-1. En dat er dan dus meerdere stations gebouwd moeten worden, een 380/150kV station waar beide verbindingen (bestaand en nieuw) langs komen en het 150/20kV station bij Almere Trekweg.

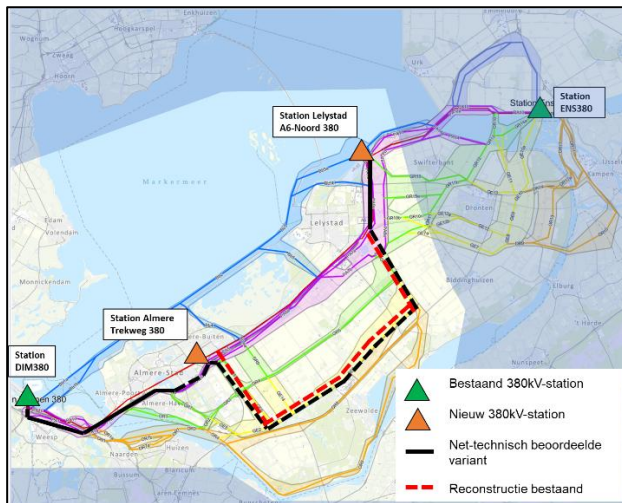


Figuur 4.12: De varianten voor reconstructie langs groen en geel

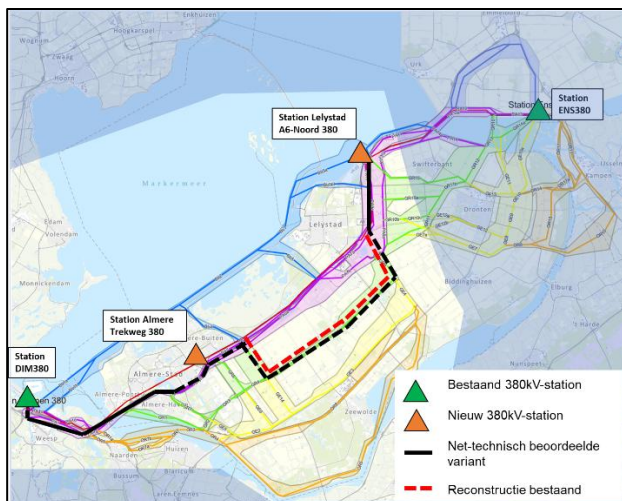


Figuur 3.12: Variant zuid-4 optie 1 met station Almere op AZ-5 of AZ-6





Figuur 4.14: Variant zuid-4 optie 2 met station Almere op AZ-1



Figuur 3.13: Variant zuid-4 optie 3 met station Almere op AZ-1.

Reliability (Betrouwbaarheid)

Door de reconstructie zal de lengte zo gelijk mogelijk gemaakt worden tussen de bestaande en nieuwe verbinding. Dit betreft niet de kortste route van de varianten. Daarom zijn de risico's voor de betrouwbaarheid van de verbinding in het kader van nettechniek beoordeeld als laag (+).

Availability (Beschikbaarheid)

Het toevoegen van meer componenten zorgt voor een verhoging in elementen die storingen of technische problemen kunnen veroorzaken. Omdat er bij variant 4 alleen zeer betrouwbare en gestandaardiseerde componenten worden toegevoegd, heeft dit beperkt invloed op de beschikbaarheid. Daarom worden de risico's voor de beschikbaarheid beoordeeld als een laag risico (+).

Maintainability (Onderhoudbaarheid)

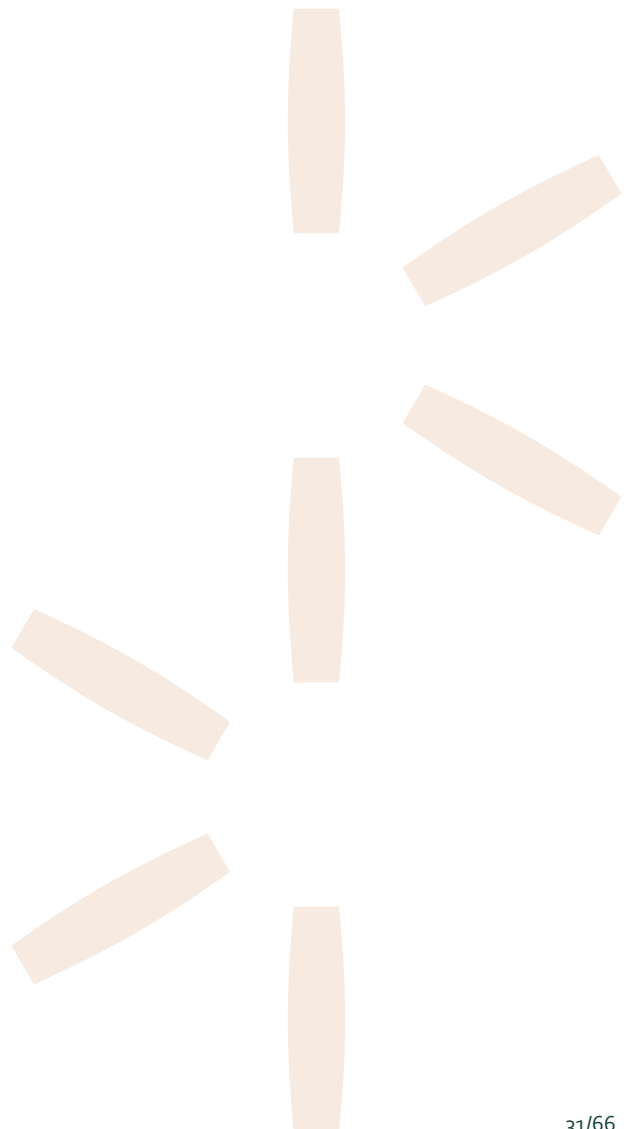
Het toevoegen van meer componenten maakt het onderhoud ingewikkelder en zorgt voor meer onderhoudswerk. Omdat er bij variant 4 alleen bekende en gestandaardiseerde componenten worden toegevoegd, heeft dit weinig invloed op de onderhoudbaarheid. Om die reden zijn de risico's voor de onderhoudbaarheid van deze variant beoordeeld als een laag risico (+).

Nettechniek

De beoordeling vanuit nettechniek heeft te maken met optimale benutting van het elektriciteitsnet als geheel. De lengte of het toevoegen van compenserende maatregelen beïnvloeden het vermogensverlies in de verbinding. Door de reconstructie zal de lengte zo gelijk mogelijk gemaakt worden tussen de bestaande en nieuwe verbinding. Dit zorgt ervoor dat de elektriciteit gelijkmatig verdeeld wordt tussen de twee verbindingen. Uit de netberekeningen is gebleken dat gelijke weerstand veel belangrijker is dan de kortste lengte. Daarom is het risico voor nettechniek zeer laag (++). Indien het station Almere op een andere locatie komt dan Almere Trekweg dan heeft dat wel invloed op het onderliggende net, dit is niet meegenomen in de beoordeling.

Toekomstvastheid

De toekomstvastheid van een variant hangt af van hoe goed de nieuwe verbinding wordt benut en de ruimte voor uitbreiding van (onderliggende) netten na 2035. Uit de netberekeningen blijkt dat beide verbindingen al in 2035 zwaar belast zullen zijn. Bij deze variant worden echter de bestaande en nieuwe verbindingen aangesloten bij Almere en zijn de lengtes van de verbindingen bijna gelijk. Hierdoor zijn er geen compenserende maatregelen nodig, wordt de capaciteit efficiënt benut, en blijft er ruimte over voor toekomstige ontwikkelingen op het net. Enkel door de langere lengte is de verbinding minder flexibel voor toekomstige uitbreidingen van het transportvermogen. Daarom krijgt deze variant de beoordeling laag (+) risico.



3.2.5 Vergelijking varianten zuid

In onderstaande tabel zijn de net-technische beoordelingen samengevat per variant.

Tabel 3-3 Net-technische beoordeling varianten

Criteria	1: Paars - paars	2: Paars-groen incl. compenserende maatregelen	3: Paars-geel incl. compenserende maatregelen	4: Paars-groen/geel incl. reconstructie bestaand ¹
Reliability (Betrouwbaarheid)	++	-	--	+
Availability (Beschikbaarheid)	++	-	--	+
Maintainability (Onderhoudbaarheid)	++	-	--	+
Safety (Veiligheid) ²	+	o	-	o
Security (Beveiliging)	o	o	o	o
Nettechniek	++	o	o	++
Toekomstvastheid	++	o	--	+

Tabel 3-4: Legenda beoordeling

--	Zeer hoog risico
-	Hoog risico
o	Neutraal risico
+	Laag risico
++	Zeer laag risico

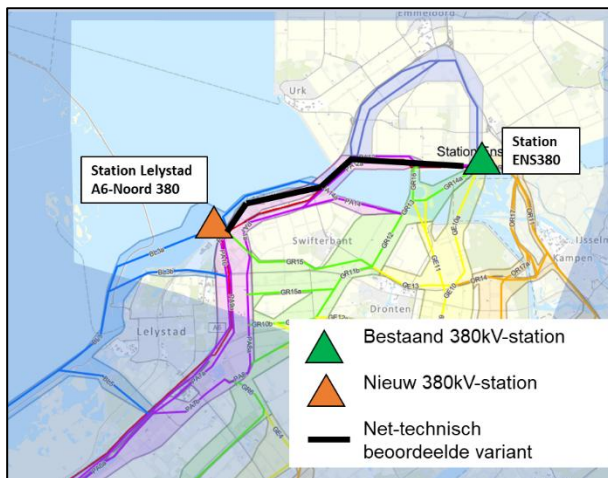
¹ De beoordeling is een net technische beoordeling en de technische beoordeling kan anders zijn. Een reconstructie vraagt om nader onderzoek.

² Beoordeling is indicatief en wordt opgenomen in het integrale veiligheidsplan

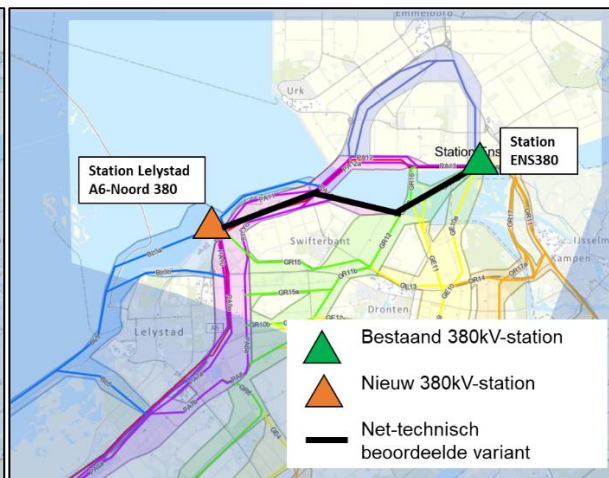
3.3 Varianten Lelystad - Ens

Op basis van de drie doorgerkende configuraties in de netberekeningen zijn er verschillende varianten voor het tracé tussen Lelystad en Ens. Zoals beschreven in hoofdstuk 3 zijn er bij een combinatie van paars en grijs mitigerende maatregelen noodzakelijk. Dit kunnen compenserende maatregelen zijn of een reconstructie van de bestaande verbinding. Daarom zijn er vier net-technische varianten voor het tracé verkend voor het deel tussen Lelystad en Ens:

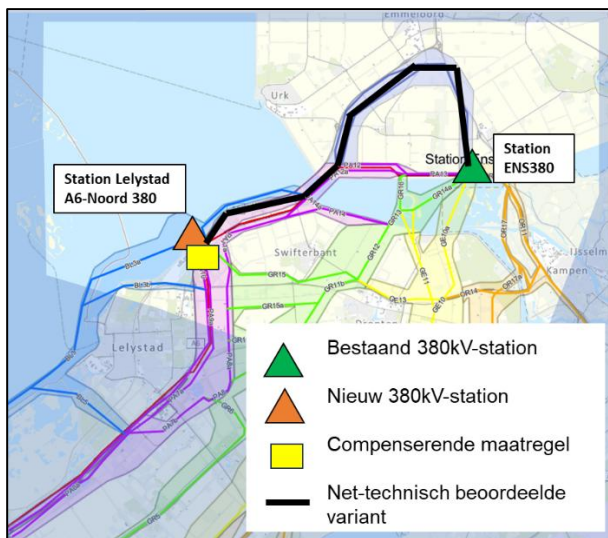
1. het volgen van het parse alternatief langs de bestaande verbinding;
2. een combinatie van paars en groen over de Hanzeplaat in het Ketelmeer;
3. een combinatie van paars en grijs inclusief grote compenserende maatregelen;
4. een combinatie van paars en grijs en het verplaatsen (reconstructie) van de bestaande verbinding langs de nieuwe verbinding.



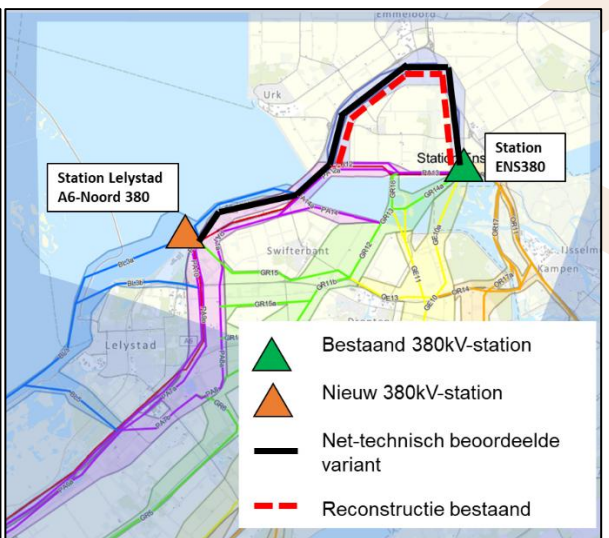
Figuur 3.14 Variant noord-1: paars



Figuur 3.15 Variant noord-2: paars-groen



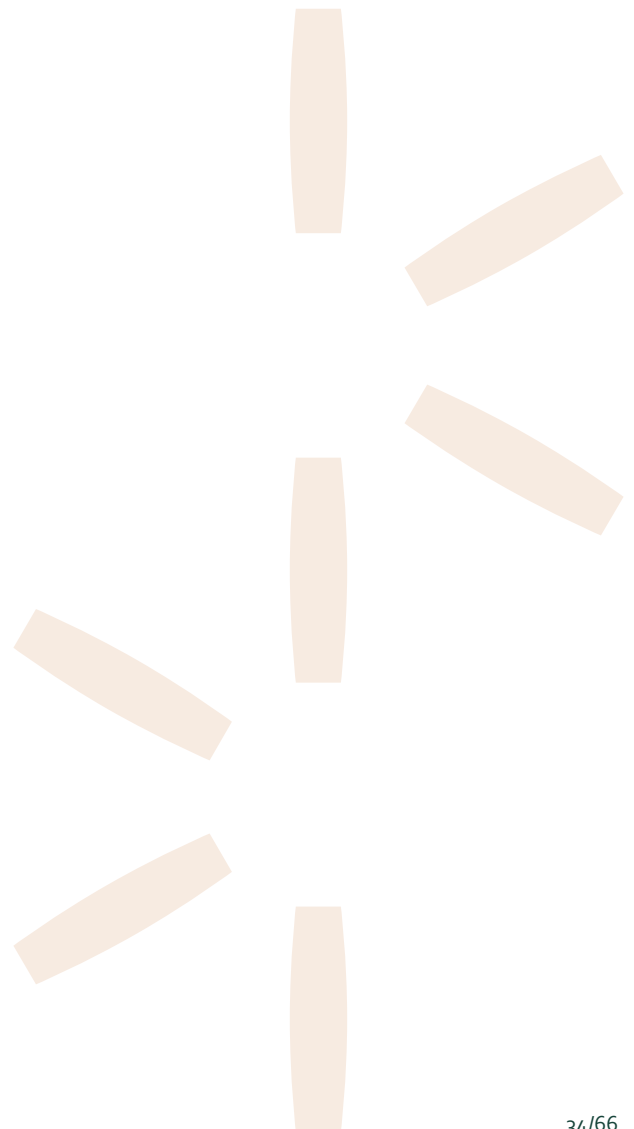
Figuur 3.16 Variant noord-3: paars-grijs incl. compenserende maatregelen



Figuur 3.17 Variant noord-4: paars-grijs incl. reconstructie bestaand

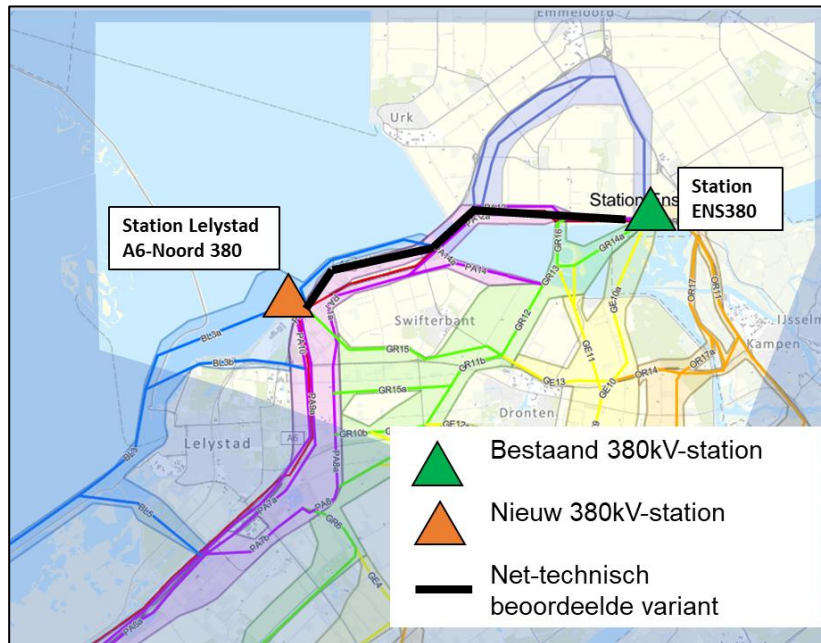
Niet net-technische effecten van compenserende maatregelen (variant 3), zoals o.a. geluid, kosten en fysieke ruimte worden beschouwd in hoofdstuk 5, 6 en 7 van deze notitie.

Bij variant 4 zijn er diverse opties beschikbaar. Het is te verwachten dat, wanneer de optie van reconstructies verder wordt uitgewerkt, er beperkingen zullen optreden op het gebied van technische maak- en haalbaarheid. Deze toelichting staat beschreven in hoofdstuk 7.



3.3.1 Variant noord-1: paars

Bij de paarse optie wordt de bestaande verbinding gevolgd en zijn de lengtes gelijk. Dit zorgt ervoor dat de weerstand hetzelfde is, waardoor er geen compenserende maatregelen nodig zijn.



Figuur 3.18 Variant noord-1: paars

Reliability (Betrouwbaarheid)

Deze variant volgt de bestaande verbinding en is ook de kortste verbinding. Daarom zijn de risico's voor de betrouwbaarheid van de verbinding zeer laag (++).

Availability (Beschikbaarheid)

Het toevoegen van meer componenten zorgt voor een verhoging in elementen die storingen of technische problemen kunnen veroorzaken. Omdat er bij variant 1 geen extra componenten worden toegevoegd of er iets veranderd aan de bestaande verbinding, heeft dit geen invloed op de beschikbaarheid. Daarnaast heeft de bestaande verbinding aangetoond een goede beschikbaarheid te hebben. Daarom worden de risico's voor de beschikbaarheid beoordeeld als een zeer laag risico (++).

Maintainability (Onderhoudbaarheid)

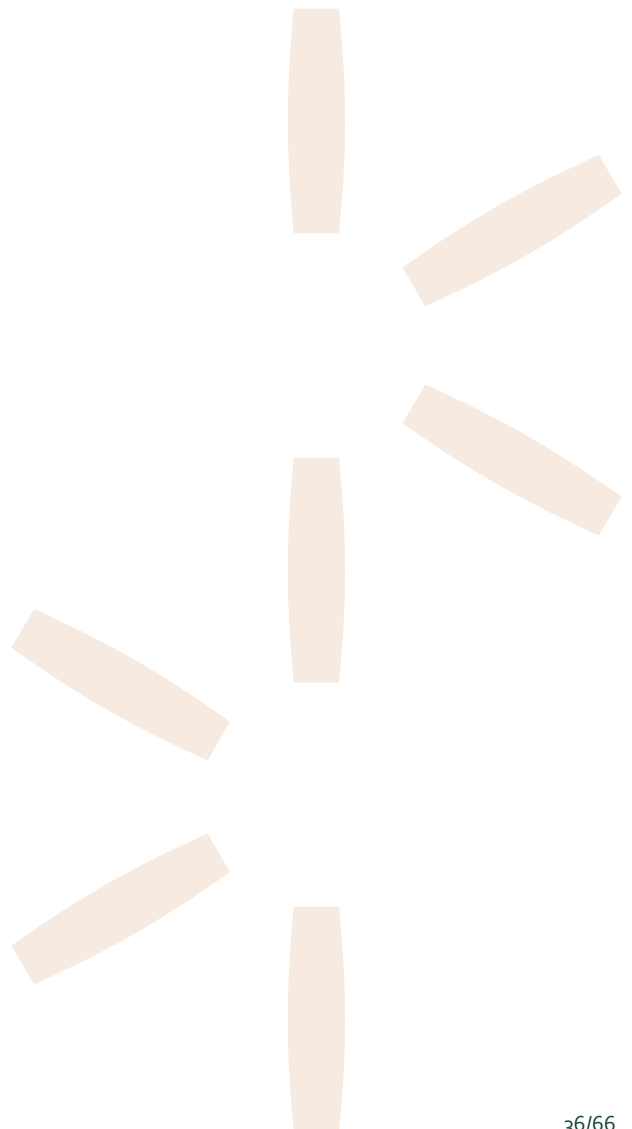
Het toevoegen van meer componenten maakt het onderhoud ingewikkelder en zorgt voor meer onderhoudswerk. Omdat er geen extra componenten worden toegevoegd, heeft dit geen invloed op de onderhoudbaarheid. Om die reden zijn de risico's voor de onderhoudbaarheid van deze variant beoordeeld als een zeer laag risico (++).

Nettechniek

De beoordeling vanuit nettechniek heeft te maken met optimale benutting van het elektriciteitsnet als geheel. Bij variant 1 zijn de lengtes van de bestaande en nieuwe verbinding gelijk. Dit zorgt ervoor dat de elektriciteit gelijkmatig verdeeld wordt tussen de twee verbindingen, zoals gebleken is in de netberekeningen. Daarom is het risico voor nettechniek zeer laag (++).

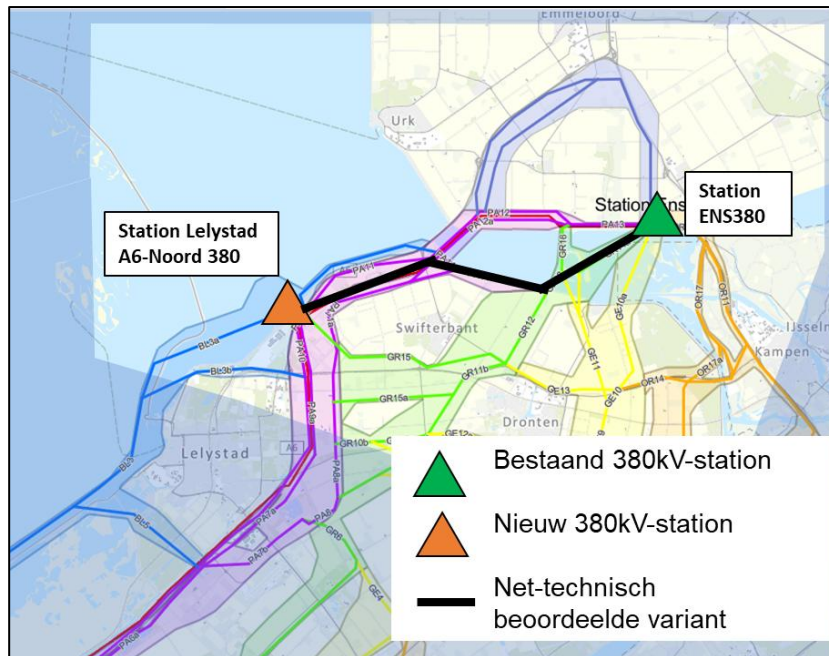
Toekomstvastheid

De toekomstvastheid van een variant hangt af van hoe goed de nieuwe verbinding wordt benut en de ruimte voor uitbreiding van (onderliggende) netten na 2035. Uit de netberekeningen blijkt dat beide verbindingen ook bij optie paars al in 2035 zwaar belast zullen zijn. Bij deze variant zijn de lengtes van de verbindingen gelijk. Hierdoor zijn er geen compenserende maatregelen nodig, wordt de capaciteit zo efficiënt mogelijk benut, en blijft er het meeste ruimte over voor toekomstige ontwikkelingen op het net. Daarom krijgt deze variant de beoordeling zeer laag (++).



3.3.2 Variant noord-2: paars-groen

Bij de paarse-groene optie wordt eerst de bestaande verbinding gevolgd en loopt de verbinding daarna over de Hanzeplaat in het Ketelmeer naar station Ens. De lengtes van de nieuwe en bestaande verbinding zijn gelijk. Dit zorgt ervoor dat de weerstand hetzelfde is, waardoor er geen compenserende maatregelen nodig zijn.



Figuur 3.19 Variant noord-2: paars-groen

Reliability (Betrouwbaarheid)

Er is geen verschil in lengte tussen de bestaande en nieuwe verbinding, waardoor er geen compenserende maatregelen noodzakelijk zijn. Daarom zijn de risico's voor de betrouwbaarheid van de verbinding zeer laag (++).

Availability (Beschikbaarheid)

Het toevoegen van meer componenten zorgt voor een verhoging in elementen die storingen of technische problemen kunnen veroorzaken. Omdat er bij deze variant geen extra componenten worden toegevoegd of er iets veranderd aan de bestaande verbinding, heeft dit geen invloed op de beschikbaarheid. De reparatietijd van masten op water is langer, maar dat is een beperkt negatief risico vanwege de lage uitvalkans van een mast. Daarom worden de risico's voor de beschikbaarheid beoordeeld als een laag risico (+).

Maintainability (Onderhoudbaarheid)

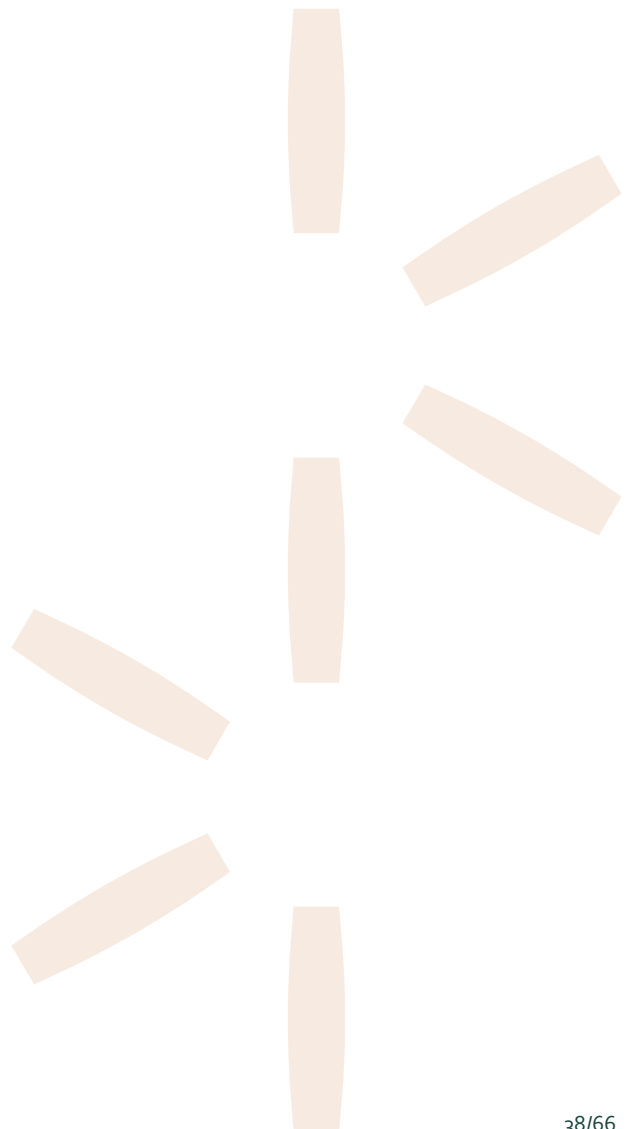
Het toevoegen van meer componenten maakt het onderhoud ingewikkelder en zorgt voor meer onderhoudswerk. Omdat er geen extra componenten worden toegevoegd, heeft dit geen invloed op de onderhoudbaarheid. De verbinding heeft wel een groter aantal masten op het water en op de Hanzeplaat, wat een beperkt negatief risico op onderhoudbaarheid. Om die reden zijn de risico's voor de onderhoudbaarheid van deze variant beoordeeld als een laag risico (+).

Nettechniek

De beoordeling vanuit nettechniek heeft te maken met optimale benutting van het elektriciteitsnet als geheel. Bij variant 2 zijn de lengtes van de bestaande en nieuwe verbinding bijna gelijk. Dit zorgt ervoor dat de elektriciteit gelijkmatig verdeeld wordt tussen de twee verbindingen, zoals gebleken is in de netberekeningen. Daarom is het risico voor nettechniek zeer laag (++).

Toekomstvastheid

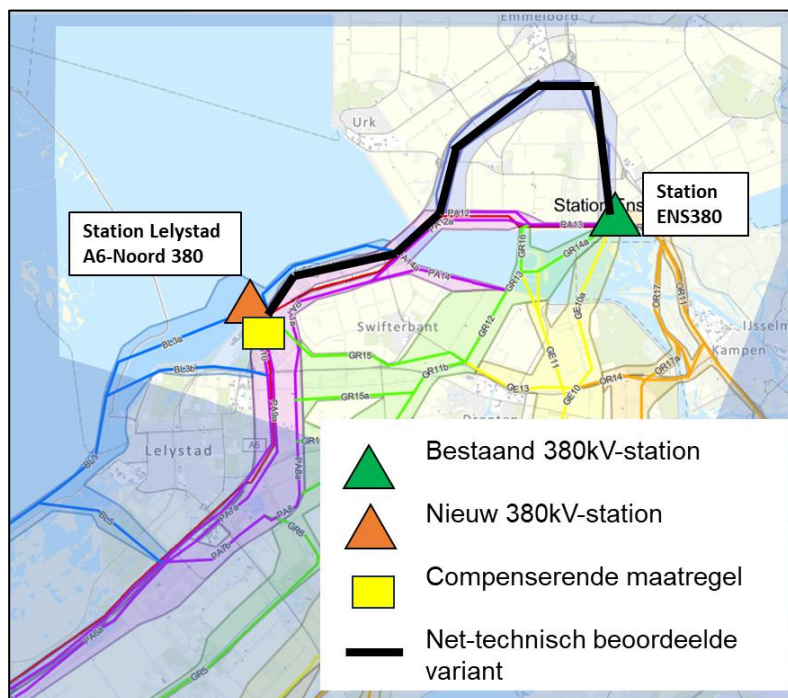
De toekomstvastheid van een variant hangt af van hoe goed de nieuwe verbinding wordt benut en de ruimte voor uitbreiding van (onderliggende) netten na 2035. Uit de netberekeningen blijkt dat beide verbindingen al in 2035 zwaar belast zullen zijn. Bij deze variant zijn de lengtes van de verbindingen gelijk. Hierdoor zijn er geen compenserende maatregelen nodig, wordt de capaciteit zo efficiënt mogelijk benut, en blijft er het meeste ruimte over voor toekomstige ontwikkelingen op het net. Daarom krijgt deze variant de beoordeling zeer laag (++).



3.3.3 Variant noord-3: paars-grijs incl. compenserende maatregelen

Bij de variant paars-grijs incl. compenserende maatregelen zijn de lengtes niet gelijk. Daarom zijn er compenserende maatregelen nodig om dit technisch mogelijk te maken en dit heeft hoge risico's.

Normaal gesproken worden als compenserende maatregel seriespoelen geplaatst in de kortste verbinding om de weerstand te verhogen. Echter, als het verschil in weerstand te groot is, zoals bij paars-grijs, is dit niet meer mogelijk. Het is wel mogelijk om met dwarsregeltransformatoren ervoor te zorgen dat de elektriciteit gelijkmatig verdeeld wordt. Zelfs als deze verbindingen verschillende weerstanden hebben. In dit geval zouden deze dwarsregeltransformatoren geplaatst kunnen worden bij het nieuwe hoogspanningsstation Lelystad, omdat er gestuurd moet worden op de bestaande verbinding en er geen ruimte is bij station Ens. Uit berekeningen kan blijken dat het plaatsen van de DRT's in het midden van de verbinding ook mogelijk is, maar het is wenselijk om deze op één van de stations te plaatsen



Figuur 3.20 Variant noord-3: paars-grijs incl. compenserende maatregelen

Reliability (Betrouwbaarheid)

Er is een groot verschil in lengte tussen de bestaande en nieuwe verbinding bij deze variant. Om het verschil in weerstand te compenseren zijn er dwarsregeltransformatoren nodig. Vanwege de maximale capaciteit van een dwarsregeltransformator (2.000 A) en dat ze per circuit geplaatst moeten worden, zijn er meerdere dwarsregeltransformatoren nodig. Om een capaciteit van 4.000 A per circuit te bereiken, moeten er twee DRT's parallel worden geplaatst die tegelijkertijd moeten werken. Voor de bestaande verbinding (2 circuits) zijn dus 4 DRT's nodig. Daarnaast is er één reserve nodig voor een situatie met onderhoud. De betrouwbaarheid van de DRT's is lager dan van een lijn en seriespoel. Daarom verminderen DRT's de betrouwbaarheid van de verbinding aanzienlijk. Daarom zijn de risico's voor de betrouwbaarheid van de verbinding zeer hoog (--).

Availability (Beschikbaarheid)

Een draad of mast kan veel sneller worden vervangen dan een dwarsregeltransformator. Een dwarsregeltransformator heeft een levertijd van meer dan twee jaar en kan vanwege zijn unieke toepassing slechts beperkt op voorraad gehouden worden. Daarom zijn de risico's voor beschikbaarheid beoordeeld met een zeer hoog risico (--).

Maintainability (Onderhoudbaarheid)

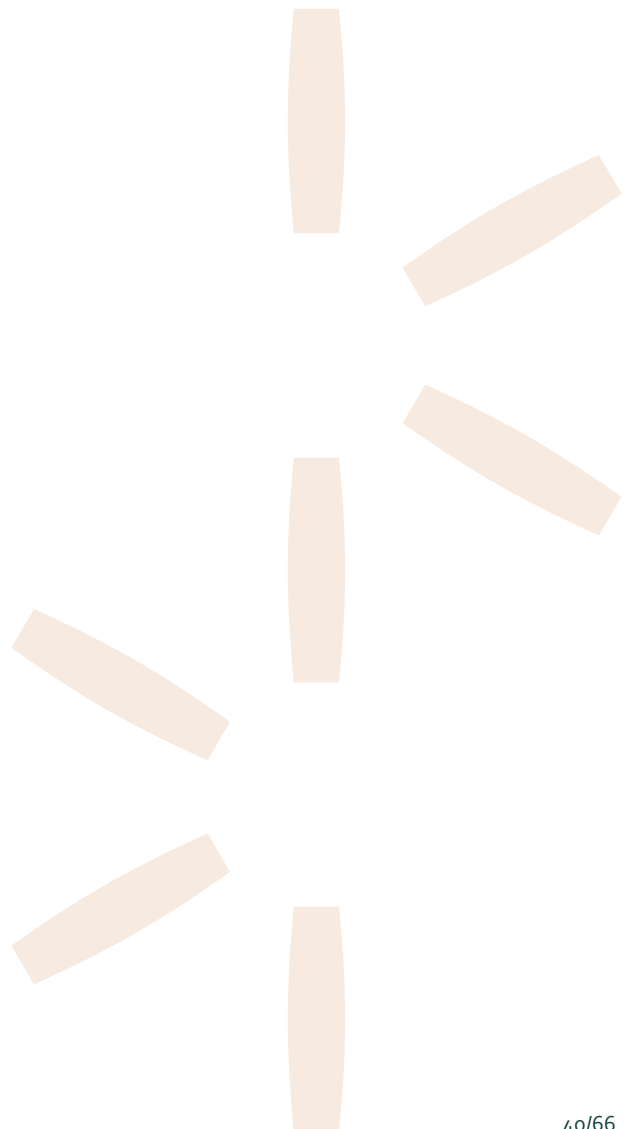
Het toevoegen van meer componenten maakt het onderhoud ingewikkelder en zorgt voor meer onderhoudswerk. Daarnaast is het onderhoud voor een dwarsregeltransformator zeer specialistisch werk. Dit heeft dus significante invloed op de onderhoudbaarheid. Om die reden zijn de risico's voor deze variant zeer hoog (--).

Nettechniek

De beoordeling vanuit nettechniek heeft te maken met optimale benutting van het elektriciteitsnet als geheel. De lengte of het toevoegen van compenserende maatregelen beïnvloeden het vermogensverlies in de verbinding. Het vergroten van een absolute weerstand leidt namelijk tot extra netverliezen. Dwarsregeltransformatoren worden ingezet om overbelasting van de bestaande verbinding te voorkomen. Zonder compenserende maatregelen zal de nieuwe verbinding niet tot het maximum kunnen worden benut, maar slechts tot minder dan 70%. Hierdoor zal de verdeling over de bestaande en de nieuwe verbinding nooit optimaal worden. Met het toevoegen van DRT's wordt deze verdeling wel optimaal. Daarnaast is de toegevoegde weerstand bij een DRT beperkt, daarom krijgt deze variant de beoordeling laag risico (+).

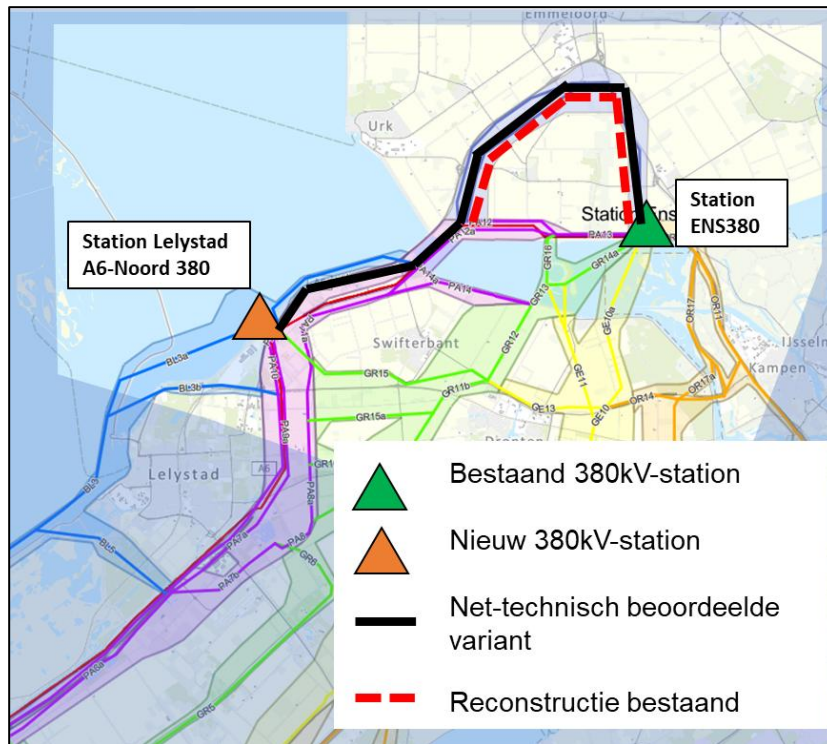
Toekomstvastheid

Het plaatsen van dwarsregeltransformatoren en de langere lengte zorgen voor een beperkt risico op het gebied van toekomstvastheid. Vanwege de DRT is de verbinding minder flexibel voor toekomstige uitbreidingen van het transportvermogen. Daarom zijn de risico's voor toekomstvastheid laag (+).



3.3.4 Variant noord-4: paars-grijs incl. reconstructie bestaand

Voor de grijze optie is het ook mogelijk om zonder compenserende maatregelen de weerstand gelijk te maken. Namelijk door het combineren met het verplaatsen of het amoveren van gedeelten van de bestaande verbinding (reconstructie). Met de reconstructie worden de lengtes van verbindingen gelijk gemaakt, waardoor de weerstand van de verbindingen theoretisch gezien gelijk wordt. De grijze corridor heeft voldoende ruimte voor het plaatsen van twee masten naast elkaar.



Figuur 3.21 Variant noord-4: paars-grijs incl. reconstructie bestaand

Reliability (Betrouwbaarheid)

Door de reconstructie zal de lengte zo gelijk mogelijk gemaakt worden tussen de bestaande en nieuwe verbinding. Dit betreft niet de kortste route van de varianten. Daarom zijn de risico's voor de betrouwbaarheid van de verbinding in het kader van nettechniek beoordeeld als laag (+).

Availability (Beschikbaarheid)

Het toevoegen van meer componenten zorgt voor een verhoging in elementen die storingen of technische problemen kunnen veroorzaken. Omdat er bij variant 4 alleen zeer betrouwbare en gestandaardiseerde componenten worden toegevoegd, heeft dit beperkt invloed op de beschikbaarheid. Daarom worden de risico's voor de beschikbaarheid beoordeeld als een laag risico (+).

Maintainability (Onderhoudbaarheid)

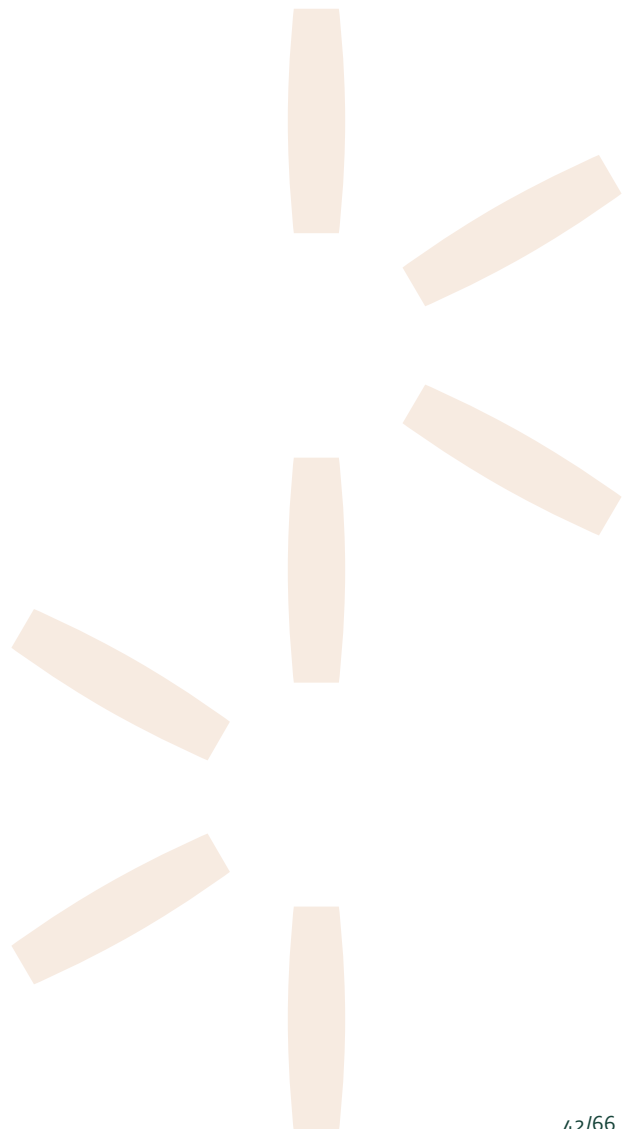
Het toevoegen van meer componenten maakt het onderhoud ingewikkelder en zorgt voor meer onderhoudswerk. Omdat er bij variant 4 alleen bekende en gestandaardiseerde componenten worden toegevoegd, heeft dit weinig invloed op de onderhoudbaarheid. Om die reden zijn de risico's voor de onderhoudbaarheid van deze variant beoordeeld als een laag risico (+).

Nettechniek

De beoordeling vanuit nettechniek heeft te maken met optimale benutting van het elektriciteitsnet als geheel. De lengte of het toevoegen van compenserende maatregelen beïnvloeden het vermogensverlies in de verbinding. Bij variant 4 zijn de lengtes van de bestaande en nieuwe verbinding bijna gelijk. Dit zorgt ervoor dat de elektriciteit gelijkmatig verdeeld wordt tussen de twee verbindingen. Uit de netberekeningen is gebleken dat gelijke weerstand veel belangrijker is dan de kortste lengte. Daarom is het risico voor nettechniek zeer laag (++).

Toekomstvastheid

De toekomstvastheid van een variant hangt af van hoe goed de nieuwe verbinding wordt benut en de ruimte voor uitbreiding van (onderliggende) netten na 2035. Uit de netberekeningen blijkt dat beide verbindingen al in 2035 zwaar belast zullen zijn. Bij deze variant zijn de lengtes van de verbindingen bijna gelijk. Hierdoor zijn er geen compenserende maatregelen nodig, wordt de capaciteit efficiënt benut, en blijft er ruimte over voor toekomstige ontwikkelingen op het net. Daarom krijgt deze variant de beoordeling laag (+) risico.



3.3.5 Vergelijking varianten noord

In onderstaande tabel zijn de net-technische beoordelingen samengevat per variant.

Tabel 3-5 Net-technische beoordeling varianten

Criteria	1: Paars	2: Paars-groen	3: Paars-grijs incl. compenserende maatregelen	4: Paars-grijs incl. reconstructie bestaand ³
Reliability (Betrouwbaarheid)	++	++	--	+
Availability (Beschikbaarheid)	++	+	--	+
Maintainability (Onderhoudbaarheid)	++	+	--	+
Safety (Veiligheid) ⁴				
Security (Beveiliging)	o	o	o	o
Nettechniek	++	++	+	++
Toekomstvastheid	++	++	+	+

Tabel 3-6: Legenda beoordeling

--	Zeer hoog risico
-	Hoog risico
o	Neutraal risico
+	Laag risico
++	Zeer laag risico

³ De beoordeling is een net technische beoordeling en de technische beoordeling kan anders zijn. Een reconstructie vraagt om nader onderzoek.

⁴ Beoordeling is indicatief en wordt opgenomen in het integrale veiligheidsplan

4 Planologische effecten

In voorgaande paragrafen zijn de mogelijke technische verbindingen tussen Diemen, Lelystad en Ens besproken. De effecten van de routes die hiervoor gevolgd worden zijn beschreven en beoordeeld in het plan-MER. In het plan-MER is uitgegaan van een enkele verbinding (behalve bij alternatief Noord-Grijs), en een reguliere indeling van hoogspanningsstations. De in dit rapport besproken technische varianten hebben mogelijk andere of toegevoegde effecten. Deze effecten worden per oplossing in dit hoofdstuk besproken.

Effecten van reconstructie

Bij reconstructie wordt de huidige verbinding verwijderd en een nieuwe verbinding aangelegd op een andere plek.

De effecten van het aanleggen en het gebruik van een verbinding zijn onderzocht en beschreven in het plan-MER. Op het moment dat er twee verbindingen naast elkaar aangelegd worden kunnen effecten versterkt worden doordat een grotere doorsnijding van het landschap en de omgeving plaatsvindt. Mogelijke versterkte effecten zijn:

- het verdubbelen van de doorsnijding door landschappelijke structuren als bomenrijen en dijken die van cultuurhistorisch belang zijn kan ervoor zorgen dat het landschap(selement) niet meer als zodanig herkenbaar is;
- het verindustrialiseren van het landschap door dominante aanwezigheid van een gebundelde verbinding;
- het vergroten van de effecten op gebruiksfuncties als landbouw en recreatie;
- grotere doorsnijdingen van natuurgebieden met groter verlies van habitats;
- meer uitstoot van stoffen met lokale achteruitgang van luchtkwaliteit tot gevolg;
- aanvullende effecten door geluidsproductie tijdens de aanlegfase

Ook het verwijderen van een hoogspanningsverbinding heeft effecten. Hiervoor zijn werkzaamheden nodig die tijdelijk voor effecten zorgen op het huidige gebruik van het gebied, en met geluid en uitstoot van stoffen effecten op de leefomgeving kunnen hebben.

Effecten van compenserende maatregelen

Compenserende maatregelen moeten getroffen worden op een station. Hiervoor is aanvullende ruimte nodig, dit heeft effecten op het gebruik in de directe omgeving, en mogelijke andere waarden van natuur, landschap of archeologie in de omgeving. Deze effecten van ruimtebeslag zijn beschreven in het plan-MER. De installatie zelf kan geluid produceren. Afhankelijk van de locatie van de installatie binnen het station en het geluidsniveau van de installatie kan dit voor omwonenden te horen zijn en voor aanvullende effecten op de leefomgeving zorgen.

5 Omgevingseffecten

In zijn algemeenheid spelen vanuit de omgeving bij een hoogspanningsverbinding zorgen rondom gezondheid (met name ten aanzien van elektromagnetische velden), waardedaling van woningen en de ruimtelijke inpassing van de verbinding en hoogspanningsstations. Bij een hoogspanningsstation is bovendien geluid een belangrijk zorgpunt bij omgevingspartijen. Dit is ook uitgebreid beschreven in het deelrapport Omgeving behorende bij de IEA. In de volgende paragrafen zijn de varianten omschreven die beschouwd zijn vanuit nettechniek met hun impact voor de omgeving.

5.1 Varianten Diemen – Almere – Lelystad

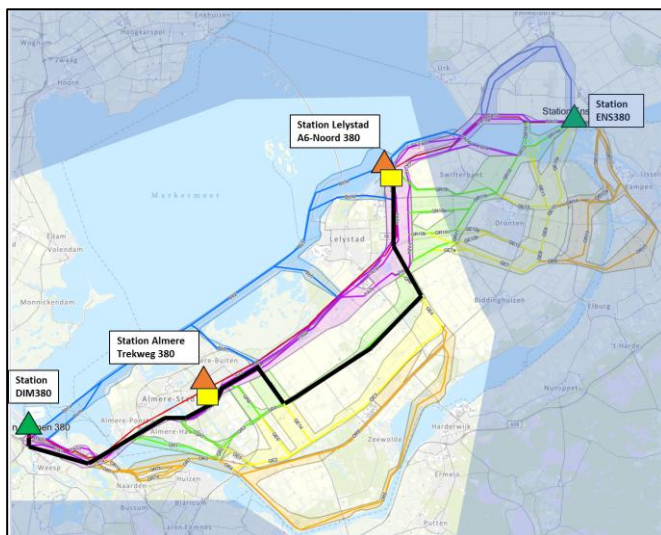
Voor de vier varianten voor het tracé van de nieuwe verbinding die zijn verkend bij de netberekeningen ligt de focus op de nieuwe situatie die kan ontstaan en wat dan de aandachtspunten zijn.

1. het volgen van het paarse alternatief

Vanuit omgevingsperspectief zijn hier geen aanvullende zorgen anders dan reeds benoemd in het deelrapport Omgeving van de IEA. Wel heeft deze variant het voordeel van dat er geen extra compenserende maatregelen benodigd zijn en er zo geen extra impact is op de omgeving op het vlak van geluid of bijvoorbeeld ruimtelijke inpassing. Ook is er minder grond benodigd. Ook de impact in relatie tot het 150 kV net dat nodig is voor de netversterking Almere – Zeewolde is optimaal en heeft dus minder omgevingsimpact tot gevolg.

2. een combinatie van paars en groen inclusief seriespoelen als compenserende maatregel

Deze variant heeft vanuit omgevingsperspectief een nadeel en dat is dat er sprake is van compenserende maatregelen in de vorm van spoelen. Dit betekent extra geluidsbelasting en dus een negatief effect. Ook landschappelijk gezien is het negatief.



3. het volgen van paars en geel inclusief dwarsregeltransformatoren als compenserende maatregel

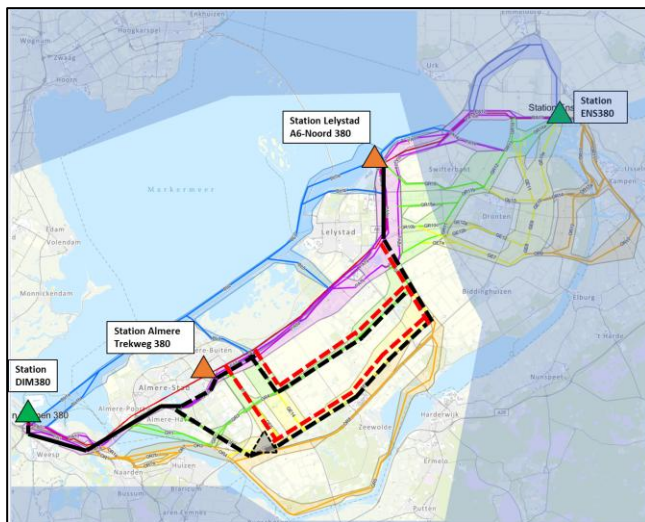
Deze variant heeft de grootste impact vanuit omgevingsperspectief gezien. Door het toepassen van de compenserende maatregelen zoals dwarsregeltransformatoren is extra ruimte benodigd voor het station dat anders een andere functie had kunnen behouden. Daarnaast levert dit extra geluidsproductie op wat een negatief effect heeft op de omgeving. Ook vanuit landschappelijk perspectief heeft dit extra impact voor omwonenden.

4. een combinatie van paars en groen of geel en een reconstructie van de bestaande verbinding

Dit is een zeer ingrijpende variant voor de omgeving. Er dient rekening gehouden te worden met een dubbele rij masten op sommige tracédelen, wat met name voor agrariërs een extra belemmering oplevert of op kan leveren en impact heeft op de bedrijfsvoering. Aanvullend kan het station Almere op een andere locatie komen, wat betekent dat het 150 kV gedeelte alsnog gerealiseerd dient te worden op AZ-1 en er vanuit het 150 kV netwerk geen sprake is van optimale inrichting en dus extra impact op de omgeving i.v.m. de impact van de benodigde kabelverbindingen.

Een positief punt kan zijn dat de bestaande verbinding verwijderd kan worden. Op het tracé van de oorspronkelijke verbinding verdwijnt dan de bestaande ruimteclaim en landschappelijke impact, wat in die omgeving als positief kan worden ervaren. Anderzijds biedt het verdwijnen van de oorspronkelijke hoogspanningslijn mogelijkheden voor nieuwe ruimtelijke ontwikkelingen die op hun beurt tot weerstand in de omgeving kunnen leiden.

Tot slot: In het plangebied bevinden zich meerdere ontwikkelingen die ook ruimte claimen. Te denken valt aan de nieuwe kazerne van Defensie en woningbouw (Oosterwold fase 2).



5.2 Varianten Lelystad - Ens

Voor de vier varianten voor het tracé van de nieuwe verbinding die zijn verkend bij de netberekeningen ligt de focus op de nieuwe situatie die kan ontstaan en wat dan de aandachtspunten zijn.

1. het volgen van het paarse alternatief langs de bestaande verbinding

Vanuit omgevingsperspectief zijn hier geen aanvullende zorgen anders dan reeds benoemd in het deelrapport Omgeving van de IEA. Wel heeft deze variant het voordeel van dat er geen extra compenserende maatregelen benodigd zijn en er zo geen extra impact is op de omgeving op het vlak van geluid of bijvoorbeeld ruimtelijke inpassing. Ook is er minder grond benodigd.

2. een combinatie van paars en groen over de Hanzeplaat in het Ketelmeer

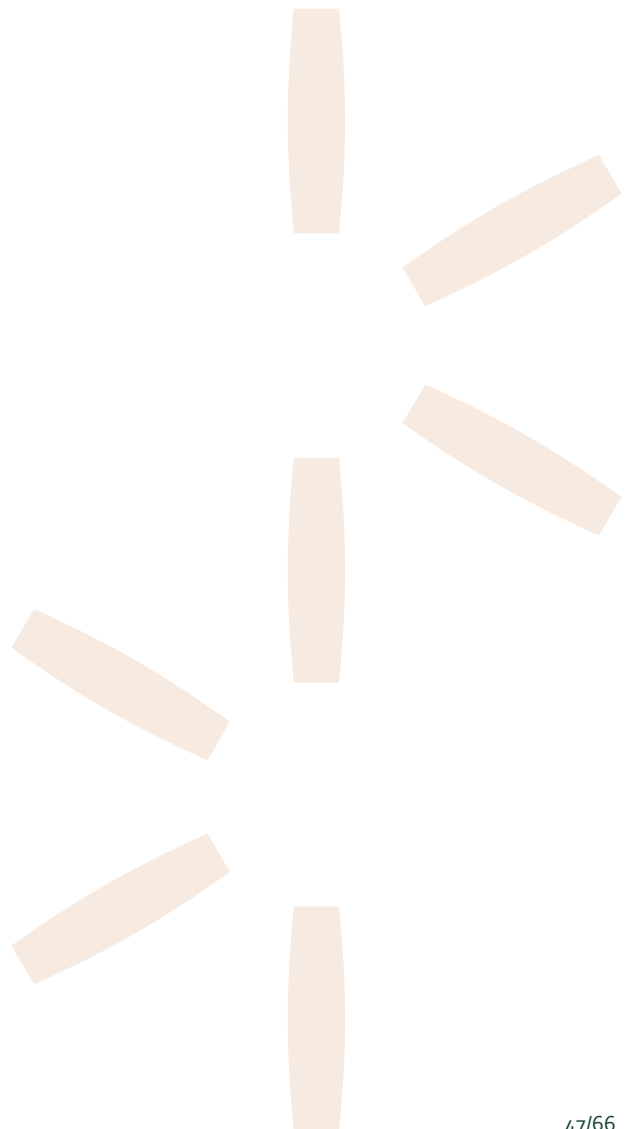
Vanuit omgevingsperspectief zijn hier geen aanvullende zorgen anders dan reeds benoemd in het deelrapport Omgeving van de IEA. Los van de bezwaren van een extra, impactvolle oversteek van het Ketelmeer, heeft deze variant het voordeel van dat er geen extra compenserende maatregelen benodigd zijn en er zo geen extra impact is op de omgeving op het vlak van geluid of bijvoorbeeld ruimtelijke inpassing. Ook is er minder grond benodigd.

3. een combinatie van paars en grijs inclusief grote compenserende maatregelen

Deze variant heeft de grootste impact vanuit omgevingsperspectief gezien. Schokland wordt zo omgeven door hoogspanningsverbindingen, de Noordoostpolder wordt langs de A6 doorsneden, wat een grote landschappelijke en functionele (op de landbouw) impact heeft. Zeker aan de oostzijde van Schokland in combinatie met/cumulatie van de verbinding VVL-ENS. Door het toepassen van de compenserende maatregelen zoals dwarsregeltransformatoren is daarnaast extra ruimte benodigd voor het station dat anders een andere functie had kunnen behouden. Daarnaast levert dit extra geluidsproductie op wat een negatief effect heeft op de omgeving. Ook vanuit landschappelijk perspectief heeft dit extra impact voor omwonenden.

4. een combinatie van paars en grijs en het verplaatsen (reconstructie) van de bestaande verbinding langs de nieuwe verbinding

Dit is een zeer ingrijpende variant voor de omgeving. Er dient rekening gehouden te worden met een dubbele rij masten op sommige tracédelen, wat met name voor agrariërs een extra belemmering oplevert of op kan leveren en impact heeft op de bedrijfsvoering. Zeker aan de oostzijde van Schokland in combinatie met/cumulatie van de verbinding VVL-ENS. Aanvullend wordt onderzocht of het net technisch een voordeel kan zijn om in de nabijheid van Emmeloord een nieuw 380kV station te ontwikkelen. Een positief punt kan zijn dat daar waar de verbinding geamoveerd wordt men blij is dat er een belemmering weg gaat (Werelderfgoed Schokland). Een positief punt kan zijn dat de bestaande verbinding, die door het werelderfgoed loopt, verwijderd kan worden. Op het tracé van de oorspronkelijke verbinding verdwijnt dan de bestaande ruimteclaim in het werelderfgoed waarmee en landschappelijke impact daar wegvalt, wat in die omgeving als positief kan worden ervaren. Tot slot: In dit deel van het plangebied bevinden zich meerdere ontwikkelingen die ook ruimte claimen. Te denken valt aan de ruimte voor een laagvliegebied (helikopters Defensie), de Lelylijn en natuurontwikkeling aan de zuidzijde van Schokland.



6 Andere effecten

Naast de beoordeelde net-technische risico's en de effecten op planologie en omgeving, zijn er ook nog andere effecten. De effecten die hier beschouwd worden zijn: technische maak- en haalbaarheid, doorlooptijd en kosten.

6.1 Technische maak- en haalbaarheid

De uitdaging op het vlak van technische maak- en haalbaarheid zit vooral in de varianten met compenserende maatregelen of reconstructie. Waarbij een seriespoel een vaker toegepaste maatregel is en daarom dit geen grote effecten heeft op de technische maak- en haalbaarheid.

De dwarsregeltransformator is ook een bekende maatregel, maar worden voornamelijk toegepast aan de grens in de verbindingen van de netten naar buurlanden om de vermogensuitwisseling tussen twee netten met gelijke spanning te kunnen beïnvloeden. Een toepassing zoals beschreven in deze notitie is er nog niet binnen in het Nederlandse 380kV-net en daarom zal dit nog verder uitgewerkt moeten worden. Daarom is er wel een negatief effect op technische maak- en haalbaarheid.

De technische maak- en haalbaarheid van een reconstructie zal ook een uitdaging zijn. Dit komt onder andere door de verschillende masttypes. De bestaande lijn bestaat uit Donau masten en de nieuwe standaard is Moldau. Zoals in het deelrapport techniek staat beschreven, dient in het geval van een reconstructie van de bestaande 380kV-lijn dit met Donau masten te worden uitgevoerd. De overgang tussen Donau en Moldau lijkt voor nu ook mogelijk, maar moet nog nader worden onderzocht.

De oversteek over de Hanzeplaat is vanuit net-techniek een goede oplossing, maar biedt op het gebied van onderhoud en technische maak- en haalbaarheid uitdagingen waardoor deze variant onbeheersbare risico's oplevert, zoals reeds beschreven in de IEA deelrapport techniek.

6.2 Doorlooptijd

De effecten op de doorlooptijd zijn in relatie tot het optreden van het knelpunt op de bestaande verbinding en de totale doorlooptijd tot de IBN-datum (in bedrijf name) van de nieuwe verbinding. Bij de variant zuid-1: paars en noord-1: paars wordt de bestaande verbinding gevolgd en blijft de bestaande verbinding ongewijzigd. De tijd gaat alleen naar de nieuwe verbinding. Dit geldt ook voor noord-2: paars-groen, alleen zal daar de realisatie van meer masten op het water en op de Hanzeplaat een negatief effect hebben op de doorlooptijd.

Het toepassen van seriespoelen (bij zuid-2: paars-groen) en dwarsregeltransformatoren (bij zuid-3: paars-geel en noord-3: paars-grijs) hebben een negatief effect vanwege de lange levertijd van circa 2 jaar. De reconstructie van de bestaande verbinding (bij zuid-4 en noord-4) heeft ook een zeer negatief effect op de doorlooptijd, vanwege de benodigde tijd voor het onderzoeken, het ontwerpen en realiseren van de reconstructie (VNB's).

6.3 Kosten

De kosten van de variant zuid-1: paars en noord-1: paars zijn het meest gunstig in vergelijking met de andere opties, omdat de bestaande verbinding ongewijzigd blijft en de investering alleen naar de nieuwe verbinding gaat. Dit geldt ook voor noord-2: paars-groen, alleen zal daar de realisatie van meer masten op het water en op de Hanzeplaat een negatief effect hebben op de kosten.

Bij variant zuid-2: paars-groen zijn de kosten van de seriespoelen aanzienlijk. De varianten zuid-3: paars-geel en noord-3: paars-grijs hebben zeer hoge kosten, met een indicatie van circa 300 miljoen euro, vanwege de extra componenten zoals dwarsregeltransformatoren en de benodigde functionele ruimte. Bij de variant zuid-4 en noord-4 nemen de kosten toe door de reconstructie van de bestaande verbinding. De exacte kosten zijn afhankelijk van de gekozen route en de benodigde aanpassingen in de bestaande infrastructuur. De kosten van een additioneel 150kV/20kV station indien van toepassing bij zuid-4 optie 1 zijn hierbij niet meegerekend en moeten mogelijk worden meegenomen.



Samenvatting en conclusies

Conclusies en implicaties van de netberekeningen

De belangrijkste conclusie uit de netberekeningen is dat zowel de bestaande als de nieuwe verbinding in het doorgerekende scenario voor 2035 zeer zwaar belast zal zijn, maar er zijn wel duidelijke verschillen zichtbaar tussen de tracés, zoals dat de belastingverschillen in de normale bedrijfsvoering uiteenlopen van ca. 70% op de nieuwe verbinding terwijl de bestaande verbinding -op delen- al tot 100% wordt belast.

Dit zijn de belangrijkste conclusies:

- de paarse configuratie is net-technisch de optimale configuratie;
- de gele, groene en grijze configuraties zijn ook net-technisch mogelijk, mits de weerstanden van de bestaande en nieuwe verbinding gelijk gemaakt worden;
- het aansluiten van zowel de nieuwe als de bestaande verbinding op station Almere-Zeewolde heeft grote positieve effecten op de betrouwbaarheid en de beschikbare capaciteit;
- de twee koppelingen aan het 380kV-net bij Lelystad moeten direct naast elkaar komen, omdat er anders een knelpunt ontstaat op de 380kV-verbinding tussen LLS380-bestaand en het nieuwe station.

Uiteindelijk zal ook in de optimale configuratie op bepaalde momenten in het doorgerekende jaar de maximale belasting op alle circuits de N-1 grens bereiken. Dit houdt in dat er in het doorgerekende scenario bij uitval van één circuit (door storing of onderhoud) een risico bestaat, dat op dat moment niet het volledig elektrisch vermogen getransporteerd kan worden over de verbindingen. Dit geldt voor alle configuraties en betekent dat de grenzen van de transportcapaciteit in zicht komen. Het doorgerekende scenario heeft op de langere termijn wel een grotere onzekerheid vanwege toekomstige ontwikkelingen, bijvoorbeeld de plannen van de regio, zoals woningbouw, bedrijventerreinen of initiatieven met duurzame opwek. Deze ontwikkelingen hebben invloed op wanneer het knelpunt daadwerkelijk gaat optreden. Daarom is het niet precies te voorspellen wanneer dit moment zal plaatsvinden, maar het wordt verwacht binnen de komende 20 jaar. Daarom is het belangrijk om te kiezen voor de configuratie waar de stroomverdeling over bestaand en nieuw zo gelijk mogelijk is, om verdere uitbreidingen en nieuwe projecten voor TenneT zo lang mogelijk te voorkomen. Het is daarom van groot belang dat binnen dit project gekozen wordt voor een oplossing die ervoor zorgt dat de toegevoegde capaciteit zo efficiënt mogelijk wordt ingezet.

Om te zorgen dat de elektriciteit zich gelijk verdeelt over de bestaande en nieuwe verbinding moet de weerstand (impedantie) tussen beide verbindingen gelijk zijn of gelijk gemaakt moet worden. Om een gelijke weerstand te bereiken, moeten de verbindingen even lang zijn of gemaakt worden of moeten er maatregelen worden genomen om het lengteverschil te compenseren. Deze maatregelen hebben verschillende net-technische risico's.

Nader beschouwde varianten

Op basis van de netberekeningen zijn een aantal net-technische varianten met verschillende compensatiemaatregelen verkend. Deze varianten zijn een combinatie van de doorgerekende configuraties en scenario's en de mitigerende maatregelen die noodzakelijk zijn. De mitigerende maatregelen zijn namelijk niet meegenomen in de netberekeningen.

Op basis van de resultaten van de netberekeningen van begin 2025 zijn er vier net-technische varianten voor het tracé van de nieuwe verbinding verkend voor het zuidelijke zuid tussen Diemen, Almere en Lelystad:

1. het volgen van het paarse alternatief langs de bestaande verbinding;
2. een combinatie van paars en groen inclusief compenserende maatregelen;
3. een combinatie van paars en geel inclusief grote compenserende maatregelen;
4. een combinatie van paars en groen of geel en het verplaatsen (reconstructie) van de bestaande verbinding.

Bij drie van de vier varianten wordt het nieuwe hoogspanningsstation Almere/Zeevolde aangesloten op de bestaande en de nieuwe verbinding. Enkel bij variant 3, paars-geel, is dit niet mogelijk omdat er o.a. door bestaande bebouwing en natuur geen geschikte locatie is voor het hoogspanningsstation Almere waar de beide verbindingen langskomen.

Voor het noordelijke deel tussen Lelystad en Ens zijn ook vier net-technische varianten verkend:

1. het volgen van het paarse alternatief langs de bestaande verbinding;
2. een combinatie van paars en groen over de Hanzeplaat in het Ketelmeer;
3. een combinatie van paars en grijs inclusief grote compenserende maatregelen;
4. een combinatie van paars en grijs en het verplaatsen (reconstructie) van de bestaande verbinding langs de nieuwe verbinding.

Net-technische beoordeling

Varianten zuid-1 en noord-1 (het volgen van het paarse alternatief langs de bestaande verbinding) worden het beste beoordeeld vanuit net-techniek. Deze varianten hebben zeer lage risico's, omdat de lengtes van de bestaande en nieuwe verbinding bijna gelijk zijn en geen compenserende maatregelen nodig zijn. Variant zuid-2 heeft een verhoogd risico's door seriespoelen die de betrouwbaarheid, beschikbaarheid en onderhoudbaarheid verminderen. Variant noord-2 (een combinatie paars en groen over de Hanzeplaat in het Ketelmeer) scoort minder goed op het gebied van beschikbaarheid en onderhoudbaarheid vanwege een aantal masten op het water. De varianten zuid-3 en noord-3 hebben sterk verhoogde risico's door de noodzaak van dwarsregeltransformatoren. Het verplaatsen van de bestaande verbinding, bij zuid-4 en noord-4, heeft lage risico's voor betrouwbaarheid, beschikbaarheid, onderhoudbaarheid en toekomstvastheid en op het gebied van Nettechniek zelfs een zeer laag risico.

Naast de beoordeelde net-technische effecten, zijn er ook andere effecten. In deze notitie zijn de volgende effecten beschouwd: planologie, omgeving, technische maak- en haalbaarheid, doorlooptijd en kosten.

Bij reconstructie, waarbij een bestaande verbinding wordt vervangen door een nieuwe op een andere locatie, kunnen negatieve effecten op de planologie optreden, zoals aantasting van landschapselementen, verstoring van natuur, en toename van geluid en uitstoot. Ook het verwijderen van bestaande verbindingen veroorzaakt tijdelijke hinder. Compenserende maatregelen op stations vragen extra ruimte en kunnen invloed hebben op de omgeving, zoals geluidsoverlast en aantasting van natuur- of archeologische waarden.

Ook zijn de effecten van de varianten op de omgeving beschouwd. Bij hoogspanningsverbindingen zijn er zorgen vanuit de omgeving over gezondheid, waardedaling en ruimtelijke inpassing, en geluid is een belangrijke zorg bij hoogspanningsstations. De varianten met de dwarsregeltransformatoren heeft de grootste impact door extra ruimte en geluid. Het paarse alternatief geeft geen extra zorgen en heeft het minste grondoppervlak nodig. De reconstructies zijn ingrijpend door de dubbele masten en impact op agrariërs en de seriespoelen hebben een negatief effect vanwege de extra geluidsbelasting. De oversteek over het Ketelmeer over de Hanzeplaat geeft geen extra zorgen, maar is een impactvolle oversteek zoals eerder beschreven in deelrapport Omgeving van de IEA. De combinatie van paars en grijs heeft de grootste impact vanuit omgevingsperspectief. Schokland wordt bij deze varianten omgeven door hoogspanningsverbindingen en de Noordoostpolder wordt langs de A6 doorsneden, wat een grote landschappelijke en functionele impact heeft, vooral op de landbouw.

De technische maak- en haalbaarheid van de verschillende varianten hangt af van de noodzaak voor compenserende maatregelen of reconstructie. Seriespoelen hebben weinig invloed, terwijl dwarsregeltransformatoren een negatief effect hebben vanwege hun lange levertijd. Reconstructies zijn zeer uitdagend door VNB's en verschillende masttypes, wat ook nog verder uitgewerkt dient te worden.

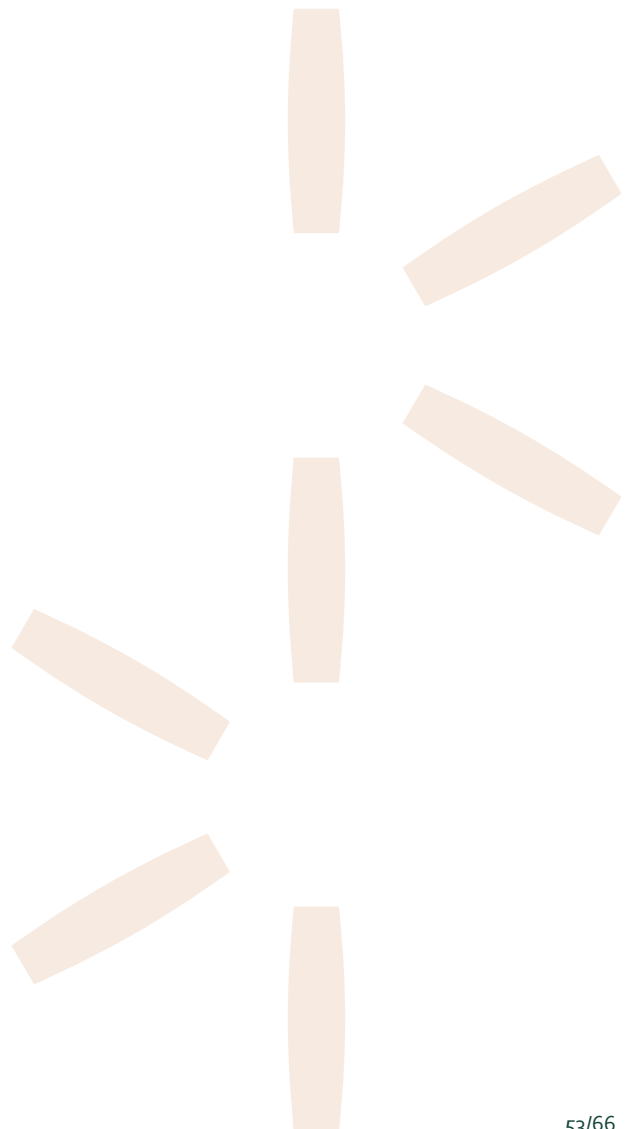
De doorlooptijd en kosten variëren per variant. Bij de varianten zuid-1: paars en noord-1: paars blijft de bestaande verbinding ongewijzigd, waardoor de tijd en kosten alleen naar de nieuwe verbinding gaan. Bij noord-2: paars-groen heeft de realisatie van meer masten op het water en op de Hanzeplaat een negatief effect op de doorlooptijd en kosten. Het toepassen van seriespoelen (bij zuid-2: paars-groen) heeft een beperkte invloed op de doorlooptijd, maar de kosten zijn aanzienlijk. Het toepassen van dwarsregeltransformatoren (bij zuid-3: paars-geel en noord-3: paars-grijs) heeft een zeer negatief effect op de doorlooptijd vanwege de lange levertijd van circa 2 jaar, en de kosten zijn zeer hoog, met een indicatie van ca. 300 miljoen euro. De reconstructie van de bestaande verbinding (bij zuid-4 en noord-4) heeft ook een zeer negatief effect op de doorlooptijd, vanwege de benodigde tijd voor het onderzoeken, ontwerpen en realiseren van de reconstructie. De kosten nemen toe door de reconstructie van de bestaande verbinding, afhankelijk van de gekozen route en benodigde aanpassingen in de bestaande infrastructuur.

Conclusie nader beschouwde varianten

Het volgen van de bestaande verbinding, zuid-1 paars en noord-1 paars waarbij beide verbindingen op zowel Almere als Lelystad worden ingelust, is de variant waarbij de toegevoegde capaciteit zo efficiënt mogelijk wordt ingezet. Bij deze variant zal de capaciteit van de nieuwe verbinding zo lang mogelijk voldoende blijven. De andere effecten, zoals de andere technische effecten, de planologische en omgevingseffecten zijn voor deze variant grotendeels laag.

Compenserende maatregelen hebben zeer negatieve effecten op net-technische aspecten. Daarom hebben de varianten met seriespoelen of dwarsregeltransformatoren hogere risico's. Uit de analyse blijkt wel dat er geen ontoelaatbare risico's zijn. Deze varianten hebben ook uitdagingen op het gebied van technische maakbaarheid, doorlooptijd, kosten, planologie en omgeving. Reconstructie van de bestaande verbinding is net-technisch een oplossing met weinig risico's, maar heeft aanzienlijke negatieve effecten op het gebied van technische maak- en haalbaarheid, doorlooptijd, kosten, planologie en omgeving.

Voor de benodigde transportcapaciteit tussen Diemen en Ens is het bundelen met de bestaande verbinding, het paarse alternatief, in combinatie met het dubbel aansluiten bij Almere-Zeewolde net-technisch de meest doeltreffende oplossing voor het knelpunt in het elektriciteitsnet.



7 Verklarende woordenlijst techniek

Elektriciteitsnet

Een elektriciteitsnet is een netwerk van verbindingen en knooppunten waarover grote hoeveelheden elektrische energie met hoge efficiëntie over lange afstanden kan worden getransporteerd.

Netbeheerder

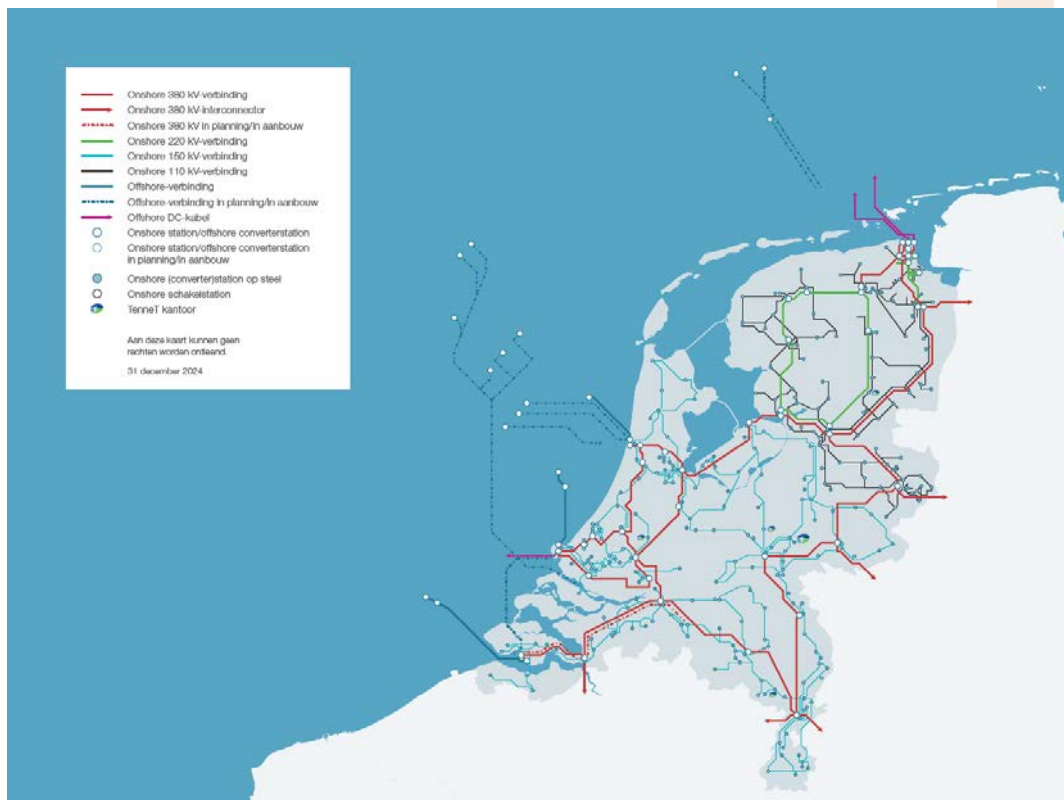
De instantie die (op basis van wettelijke regels) verantwoordelijk is voor het beheer van het hoogspanningsnet. In Nederland is TenneT de landelijke netbeheerder en zijn er verschillende regionale netbeheerders. TenneT beheert het net met een spanningsniveau hoger dan 100 kV, en de regionale netbeheerders het net met een lagere spanning.

Ringnet

Een ringnet is een distributienetwerk waarin elektriciteit in een lusvormige structuur wordt getransporteerd. Elk punt in de ring heeft meerdere paden om elektriciteit te ontvangen en door te geven. Dit ontwerp zorgt voor redundantie (back-up) en flexibiliteit in het geval van een storing, omdat elektriciteit in beide richtingen kan stromen.

Landelijke ring

Het hoogspanningsnet van TenneT is opgebouwd rondom een centrale ringstructuur. In deze ringstructuur zijn de hoogspanningsstations Diemen-Breukelen-Krimpen-Geertruidenberg-Eindhoven-Maasbracht-Dodewaard-Doetinchem-Hengelo-Zwolle-Ens-Lelystad-Diemen opgenomen en onderling verbonden door middel van 380kV-verbindingen.



Figuur 7.1: Kaart hoogspanningsnet

Koppeln

Een koppelnet koppelt de verschillende delen van een elektriciteitsnetwerk met elkaar, zodat elektriciteit tussen die delen uitgewisseld kan worden. Het zijn een soort schakels. De elektriciteit wordt via het koppelnet tussen verschillende regio's of landen getransporteerd.

(Load)pockets

De netbeheerders verdelen het elektriciteitsnet in loadpockets om te zorgen dat het net beheersbaar blijft. De elektriciteit binnen een loadpocket hoeft minder vaak over het koppelnet getransporteerd te worden waardoor er meer capaciteit op het koppelnet is om grote tekorten of overschotten te vervoeren.

Spanningskwaliteit

Elektriciteit moet voldoen aan een bepaalde kwaliteit, ook wel bekend als 'spanningskwaliteit'. De spanningskwaliteit van de Nederlandse elektriciteitsnetten behoort tot de beste ter wereld. Een belangrijk doel van de netbeheerders is ervoor te zorgen dat de spanning nu en in de toekomst goed blijft. Ze bewaken de spanningskwaliteit met honderden metingen en monitoren zo de impact van de energietransitie.

Spanning

Elektrische spanning verwijst naar het verschil in elektrische potentiaal tussen twee punten in een elektrisch circuit. Het wordt vaak aangeduid als elektrische spanning of kortweg spanning. Spanning wordt gemeten in volts (V). Het ontstaat als gevolg van een verschil in lading tussen twee punten, wat resulteert in een elektrisch veld. Dit elektrische veld heeft de neiging om elektrisch geladen deeltjes, zoals elektronen, te verplaatsen als er een geleidend pad tussen de punten is.

Spanning is een essentieel concept in de elektriciteitsleer omdat het de drijvende kracht is die elektrische stroom veroorzaakt. Een hogere spanning tussen twee punten zorgt voor een grotere kracht op de ladingen om te bewegen, wat resulteert in een hogere stroomsterkte als er een geleidende verbinding is tussen die punten. De nieuwe verbinding tussen Diemen, Lelystad en Ens krijgt een spanning van 380.000 V ofwel 380 kilovolt (380kV). Dit is het hoogste spanningsniveau in Nederland en wordt ook aangeduid als EHS (extrahoogspanning, 220kV en 380kV).

Stroom

Elektrische stroom is de beweging van elektrisch geladen deeltjes, zoals elektronen, door een geleidend materiaal, zoals een draad. Deze beweging van lading creëert een elektrische stroom. In het algemeen wordt elektrische stroom gegenereerd door het verschil in elektrische potentiaal (spanning) tussen twee punten, wat een elektrisch veld veroorzaakt dat de ladingen aandrijft om te bewegen. Stroom kan zowel doorgegeven worden door geleiders, zoals metalen, als door halfgeleiders en elektrolyten, afhankelijk van het type elektrisch circuit en de materialen die worden gebruikt. Elektrische stroom wordt gemeten in ampère (A).

Vermogen

Vermogen verwijst naar de snelheid waarmee elektrische energie wordt omgezet of overgedragen. Het wordt gemeten in watts (W). De hoeveelheid vermogen die door een hoogspanningsverbinding getransporteerd kan worden is het product van spanning en stroomsterkte en wordt uitgedrukt in MVA (megavolt-ampère; ofwel 1 miljoen voltampère).

Hoogspanningsstation

Plek waar één of meer hoogspanningsverbindingen zijn aangesloten op elkaar, op transformatoren of op een schakelveld bij een centrale.

Veld (hoogspanningsstation)

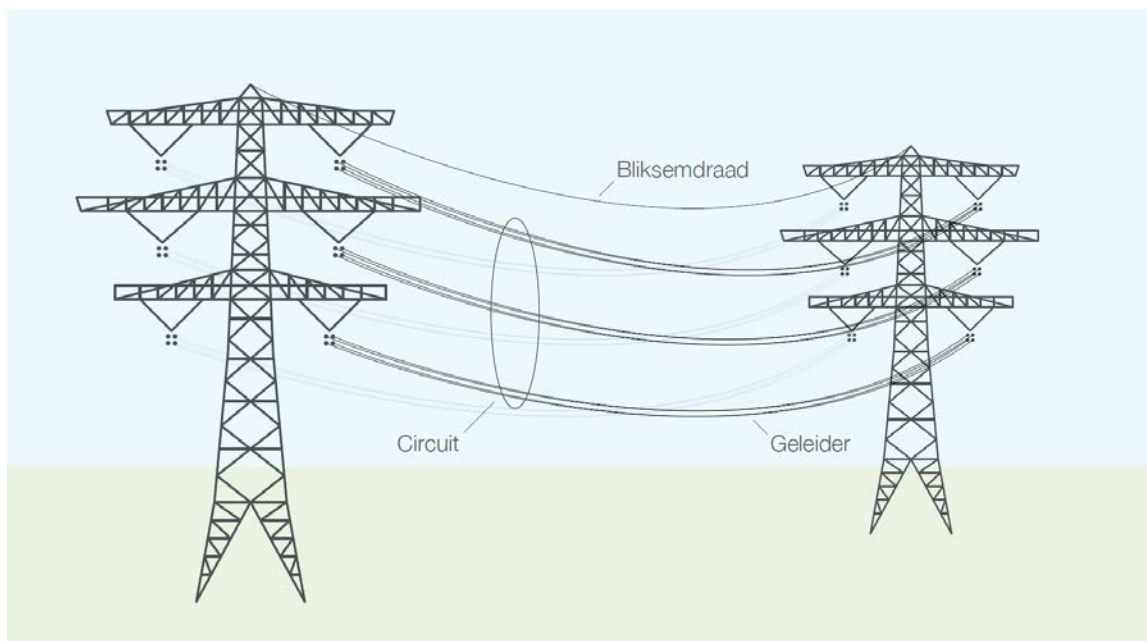
Op een hoogspanningsstation zijn meerdere aansluitingen waarop hoogspanningslijnen of kabels binnenkomen. Deze aansluitingen worden velden genoemd.

Hoogspanningsverbinding

Verbinding tussen twee punten waardoor elektriciteit getransporteerd kan worden. Bij hoogspanning kan het gaan om verschillende voltages: 110kV, 150kV, 220kV en 380kV. De hoogspanningsverbindingen zijn bedoeld om grote hoeveelheden elektriciteit te transporteren van de productielocaties naar de gebieden waar het verbruik plaatsvindt. Een hoogspanningsverbinding kan bovengronds of ondergronds zijn.

(Hoogspannings)lijnen

Hoogspanningslijnen zijn bovengrondse verbindingen in het elektriciteitsnet, waar hoogspanning op staat. De hoofdonderdelen van de hoogspanningslijnen zijn de masten en de geleiders. Hoogspanningslijnen worden geïsoleerd door de lucht en hebben om die reden geen buitenmantel.



Figuur 7.2: Hoogspanningslijnen

(Hoogspannings)kabels

Hoogspanningskabels zijn ondergrondse verbindingen in het elektriciteitsnet, waar hoogspanning op staat. Een kabel bestaat uit elektrisch geleidend materiaal (geleider) dat omhult wordt door elektrisch isolerend materiaal (isolatie). De geleider is gemaakt van aluminium of koper.

(Hoogspannings)kabels of lijnen.

Het geldende beleid is "Bovengronds, tenzij..." Er zitten namelijk een aantal nadelen aan een ondergrondse verbinding in het hoogspanningsnet.

Een ondergrondse verbinding:

- a. heeft een beperkte capaciteit qua belasting;
- b. is storingsgevoeliger (met name vanwege het langere reparatietraject);
- c. kan netkwaliteitsproblemen veroorzaken vanwege afwijkende impedantie, wat ook een negatieve invloed kan hebben op de gewenste vermogensverdeling tussen bestaande en nieuwe verbindingen.

ZRO-strook

De veiligheidszone rond een hoogspanningsverbinding waarvoor na de bouw beperkingen gelden: dit wordt geregeld in de Zakelijk Recht Overeenkomst (ZRO) met de perceeleigenaren van deze gronden. In de veiligheidszone mogen bijvoorbeeld geen bomen komen te staan en geen bouwwerken of gebouwen. De ZRO-strook moet altijd beschikbaar blijven voor onderhoud en bij calamiteiten.

Verkabeling

Een bovengrondse lijnverbinding kan worden vervangen door een ondergrondse kabelverbinding. Dit wordt verkabeling genoemd, dit gebeurt alleen als er op het tracé geen andere variant is. Het is ook mogelijk om een deel van een lijnverbinding te verkabelen, maar zoals eerdergenoemd is dit ongunstig. In het geval van de combinatie zal de verbinding bestaan uit een bovengrondse lijn- en ondergrondse kabelverbinding.

Opstijgpunt

Op de locatie waar een ondergrondse verbinding overgaat in een bovengrondse (of andersom) staat een opstijgpunt. In onderstaande afbeelding is hiervan een voorbeeld gegeven.



Figuur 7.3: Opstijgpunt 380kV-verbinding (foto van de verbinding Rilland-Tilburg).

AIS/GIS-hoogspanningsstations

De meeste 110, 150, 220 of 380kV-hoogspanningsstations van TenneT zijn gebaseerd op AIS, dit staat voor Air Insulated Switchgear. Dit is open bouw, waarbij de atmosferische lucht - door alles op grote afstand te houden - de isolatie vormt die ervoor moet zorgen dat de hoogspanning op de geleiders blijft en voorkomt dat de spanning overslaat of doorslaat naar niet gewenste onderdelen (zoals bij kortsluiting). AIS staat meestal in de openlucht, maar komt bij uitzondering ook voor in (grote) gebouwen. AIS is de standaard uitvoeringsvorm voor TenneT. GIS staat voor Gas Insulated Switchgear. Op een GIS-hoogspanningsstation zorgt SF6-gas in buizen (met een overdruk) voor de isolatie van de hoogspanning. Dat voorkomt dat er kortsluiting ontstaat naar het metalen omhulsel. GIS hoogspanningsinstallaties zijn daardoor veel compacter dan AIS en staan meestal in een gebouw.

Fundering

Een fundering koppelt een bouwwerk en aan de grond. De fundering voorkomt dat een bouwwerk in de grond wegzakt of door de wind wordt omgeblazen. Er zijn verschillende soorten funderingen die gebruikt worden bij het plaatsen van hoogspanningsmasten, afhankelijk van de mast en de ondergrond.



Figuur 7.4: Fundering van een vakwerkmast

Fasegeleiders

Fasegeleiders zijn de hoogspanningsdraden die in de masten hangen. Ze worden altijd in een set (circuit) van drie in de hoogspanningsmasten gehangen, zo kan er meer stroom door worden getransporteerd. Fasegeleiders zijn zelf ongeïsoleerde elektriciteitsdraden waar de hoogspanning op staat.

Circuit

Set van drie fase draden die samen een volwaardige eenheid vormen waarop driefasen-wisselspanning bedreven kan worden.

Isolatorkettingen

Isolatorkettingen dienen als isolatie tussen de spanningvoerende delen (de draden) en de geaarde delen (masten) van een hoogspanningslijn. Isolatorkettingen zorgen ervoor dat de fasegeleider opgehangen kan worden (aan de geaarde hoogspanningsmast) en dat de minimaal benodigde afstand tussen de fasegeleiders ook gehandhaafd kan worden. Hoe langer de isolator, hoe hoger de hoogspanning op de fasegeleider is. Aangezien lucht een minder goede isolator is dan bijvoorbeeld kunststof, worden de fasegeleiders onderling ver van elkaar gehouden. Bij 380kV-geleiders is dit ruim 4 meter.

Masten

Masten/hoogspanningsmasten dragen het bovengrondse elektriciteitsnet. De hoogspanningsdraden (fasegeleiders) worden hoog en buiten bereik in de masten opgehangen aan isolatoren. Ter bescherming tegen blikseminslag zijn erboven in de mast ook één of twee bliksem draden aangesloten.

Eind-, afspan-, hoek-, wissel en steunmasten

Masten hebben verschillende functies. Zo staat er aan het begin en eind van een bovengronds tracé een eindmast, ofwel afspanmast. In het tracé worden circa elke 5 km of plek waar het tracé een hoek maakt, ook de trekkrachten opgevangen door een hoekmast. Tussen deze hoekmasten staan weer steunmasten. Die zijn over het algemeen slanker dan de hoek- en eindmasten. Hoek-, eind- of afspanmasten zijn ontworpen om de geleiders hoog te houden en de trekkrachten op te vangen.

Steunmasten ondersteunen de geleiders en houden deze boven de grond wanneer er een lange afstand is te overbruggen. Steunmasten staan altijd tussen twee afspanmasten in.

De wisselmasten zijn ontworpen om de geleiders voor en na de mast van positie te wisselen.

Masttype en mastcodering

Er zijn verschillende masttypen: steunmast, hoekmast, eindmast, afspanmast en wisselmast. Het type mast wordt aangegeven met een mastcodering. Dat bestaat uit een letter (dat het masttype aangeeft) en een cijfer (hoogte-aanduiding). Bijvoorbeeld:

- S+0: de S staat voor steunmast, de 0 voor de hoogte in meters ten opzichte van de standaard
- S+3: deze mast is 3 meter hoger dan de standaardmast

- H+0: de H staat voor hoekmast, de 0 voor de hoogte in meters ten opzichte van de standaard

Uitvoeringsvorm

De uitvoeringsvorm geeft de vorm van een mast aan. Er zijn bijvoorbeeld vakwerkmasten en windtrackmasten. Het uitgangspunt voor dit project is om gebruik te maken van vakwerkmasten: hoogspanningsmasten, opgebouwd uit een open raamwerk van stalen spanten.

Mastfamilie

Er zijn verschillende mastenfamilies (daarbij gaat het over de vorm van de mast), zoals Donau en Moldau. Het uitgangspunt voor dit project is om gebruik te maken van Moldau masten. Een voorbeeld hiervan is te zien op onderstaande afbeelding.



Figuur 7.5: Visualisatie van een Moldau mast in het landschap (bron: projectatlas Zuid-West 380kV-oost).

Klokgetallen

De nieuwe verbinding tussen Diemen, Lelystad en Ens gebruikt wisselstroom met (een veelvoud van) drie fasegeleiders. De fasen in de drie geleiders lopen altijd een derde op elkaar voor of achter in het doorlopen van hun cyclus. Iedere fase krijgt een getal toegekend tussen 1 en 12. Telkens liggen deze getallen precies $\frac{1}{3}$ e bij elkaar vandaan. En net zoals op een klok volgen ze op elkaar, altijd dezelfde kant op. Zo kan de reeks 4, 8, 12 ontstaan, maar ook 2, 6, 10 of 1, 5, 9. Altijd vier als tussenruimte, telkens $\frac{1}{3}$ e uit elkaar.

Wisselmast

Op een wisselmast of fasewissel, worden de fasedraden van fysieke positie gewisseld. De functie van wisselmasten is om de drie fasedraden van elk circuit onderling van fysieke positie te laten wisselen. Dit wordt gedaan om het elektrisch gedrag van iedere fasedraad zo identiek mogelijk te houden. Dit wordt gedaan vanwege nettechnische redenen rond rendement en bewaking of om de beïnvloeding op externe infrastructuur te beperken.



Figuur 7.6: Wisselmast (bron: hoogspanningsnet.com)

Kabeleindsluiting (KES)

Een kabeleindsluiting maakt de overgang van een kabel (ondergronds) naar een lijn of naar een installatie in een hoogspanningsstation. De kabeleindsluiting ondersteunt de kabel en zorgt dat de kabelader veilig aangesloten is aan de geleider.



Figuur 7.7: Kabeleindsluiting (KES)

(Afspan)portaal

Daar waar de hoogspanningslijn eindigt, gaat deze een hoogspanningsstation binnen via afspanportalen of gaat deze via kabeleindsluitingen (ook wel opstijgpunt genoemd) over op een ondergrondse hoogspanningskabel. De geleiders (draden) uit de mast worden in een platvlak afgespannen op een metalen poortconstructie (ook wel portaal genoemd), zodat de geleiders correct aangesloten kunnen worden op het veld van het hoogspanningsstation of op de kabels bij een kabeleindsluiting. Van belang is dat de geleiders niet worden verwisseld en onderling voldoende afstand houden.



Figuur 7.8: Afspanportaal



Figuur 7.9: Portalen in serie.

VNB: voorziene niet beschikbaarheid

Vakterm voor een van tevoren voorziene onbeschikbaarheid, zoals gepland onderhoud, reparaties of uitbreiding van de infrastructuur, van een component, hoogspanningsverbinding, deel van een hoogspanningsstation en productie-eenheden. Als dit goed wordt gepland, heeft het geen invloed op de stroomvoorziening omdat andere delen van het systeem de belasting kunnen overnemen. Vanwege de hoge transportbelastingen van het net wordt het inplannen van de benodigde VNB's voor werkzaamheden steeds moeilijker.

Het tegenovergestelde is ONB, onvoorziene niet-beschikbaarheid. Dat is meestal een storing of calamiteit. Er is meestal geen directe invloed op de stroomvoorziening, maar de storing wordt zo snel als mogelijk is verholpen om het risico op een onderbreking te minimaliseren.

Greenfield/brownfield

Een greenfield-project betekent dat er vanaf de basis wordt gestart, meestal op een onontwikkeld terrein of met nieuwe infrastructuur. In het geval van TenneT kan dit bijvoorbeeld verwijzen naar het ontwerpen en bouwen van nieuwe hoogspanningsstations, -verbindingen of andere elektrische infrastructuur op een locatie waar nog geen dergelijke faciliteiten bestaan.

Het tegenovergestelde van een greenfield-project is een "brownfield"-project, waarbij bestaande infrastructuur wordt aangepast, uitgebreid of gemoderniseerd. Het gebruik van de termen "greenfield" en "brownfield" helpt bij het onderscheiden van projecten op basis van de mate van bestaande ontwikkeling of infrastructuur op een bepaalde locatie.

EMC

EMC staat voor Elektromagnetische Compatibiliteit. Het verwijst naar het vermogen van elektronische systemen om samen te werken in hun elektromagnetische omgeving zonder storing te veroorzaken bij andere systemen en zonder zelf last te hebben van andere systemen.

Magneetveldzone

Het voorzorgsbesluit van het rijk uit 2005 (met update in 2023) is erop gericht om, zo veel als redelijkerwijs mogelijk, te voorkomen dat burgers (volwassenen en kinderen) langdurig worden blootgesteld aan magneetvelden, die afkomstig zijn van de elektriciteits-infrastructuur. De magneetveldzone is de zone waarin het jaargemiddelde van het magneetveld hoger dan 0,4 microTesla is.

MicroTesla (μT)

Een miljoenste deel van een Tesla, de eenheid waarmee de sterkte van de magneetvelden worden uitgedrukt.

Redundantie (N-0, N-1 en N-2)

Redundantie is op te sommen in de volgende principes:

1. N-0 principe: Dit principe houdt in dat de lijnverbinding volledig operationeel is zonder enige uitval van componenten. Alle circuits van de verbinding functioneren naar behoren.
2. N-1 principe: Dit principe houdt in dat de lijnverbinding wanneer één enkele circuit uitvalt, onverwacht uit dienst wordt genomen of onderhouden wordt. De lijnverbinding moet in staat zijn om de uitval van één circuit op te vangen zonder dat dit leidt tot een stroomonderbreking
3. N-2 principe: Dit principe gaat een stap verder en analyseert de prestaties van de lijnverbinding bij de uitval van twee circuits tegelijkertijd. De lijnverbinding moet robuust genoeg zijn om deze dubbele uitval te kunnen opvangen zonder significante verstoringen.

Inductieve koppeling

Iedere elektrische geleider waardoor een wisselstroom loopt veroorzaakt een magnetisch veld. Wanneer een andere geleider zich binnen dit elektromagnetisch veld bevindt, zal ook door deze geleider een stroom gaan lopen. De grootte van de stroom hangt af van de afstand tussen de geleiders, maar ook de grootte van de stroom door de initiële geleider en de lengte van parallelloop.

Leveringszekerheid

Samenspel van het lange termijn evenwicht tussen vraag en aanbod van elektriciteit en de conditie van het elektriciteitsnetwerk. Is er in de markt op termijn voldoende aanbod mogelijk om aan de geschatte vraag naar stroom te voldoen en is er voldoende transportcapaciteit om de elektriciteit te transporten.

Bundelen

Het traceren, inpassen en/of bouwen van een nieuwe verbinding naast een bestaande hoogspanningsverbinding of naast andere bovenregionale infrastructuur.

Combineren

Het traceren, inpassen en/of bouwen van meerdere bestaande en nieuwe hoogspanningsverbindingen samen in één mast.

Natura 2000-gebied

Natura 2000 is een Europees netwerk van beschermde natuurgebieden op het grondgebied van de lidstaten van de Europese Unie. Het netwerk omvat alle gebieden die zijn beschermd op grond van de Vogelrichtlijn (1979) en de Habitatrichtlijn (1992).

NNN-gebied

NNN staat voor Natuurnetwerk Nederland. Een landelijk netwerk van grote en kleine bestaande en nog aan te leggen natuurgebieden die verbonden zijn door natuurverbindingen waarbinnen flora en fauna zich kunnen handhaven, verplaatsen en uitbreiden.





Colofon

Opdrachtgever

Uitgave Movares Nederland B.V.
Jaarbeursboulevard 280
3521 BC Utrecht

Telefoon +31 (0)30 - 265 55 55

Ondertekenaar Fedor Tillie
fedor.tillie@movares.nl

Documentnummer 002.902.20 1596923

Kenmerk -25015061

© 2025, Movares Nederland B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Movares Nederland B.V.

movares  smart
urban
engineering