AUTEUR	Projectteam Vierverlaten - Ens	**DATUM**	30 januari 2026
		VERSIE	Definitief
		REFERENTIE	002.806.00
		PAGINA	1 van 40

380 kV-hoogspanningsverbinding Vierverlaten – Ens

Technische Uitgangspunten bij Integrale effectenanalyse

Samenvatting

Voor het realiseren van een nieuwe hoogspanningsverbinding zijn eisen nodig waaraan deze verbinding moet voldoen om in de uiteindelijke situatie zijn functie goed te kunnen vervullen. In dit document zijn de project specifieke en technische eisen aan de verbinding op een rij gezet. Deze eisen leiden tot een oplossing die impact heeft op de omgeving. De impact is meegenomen in de Integrale Effectenanalyse door de uitgangspunten toe te passen als input voor berekeningen van diverse effecten.

Naast technische uitgangspunten wordt ook het bouwproces beschreven in stappen van de realisatie van een bovengrondse hoogspanningslijn van 380 kV en de aanleg van een ondergrondse 110 kV-verbinding. Naast de stappen van de bouw wordt ook ingegaan op de beïnvloeding van externe infrastructuur in de omgeving van een in bedrijf zijnde hoogspanningsverbinding.

Inhoudsopgave

Samenvatting **2**
1. Inleiding **4**
1.1 Aanleiding 4
1.2 Doel voorliggend rapport 5
1.3 Leeswijzer 6
2. Introductie tracéalternatieven en varianten **7**
3. Projecteisen **10**
3.1 Systeemeisen 10
3.2 Projectspecifieke eisen 11
3.3 Algemene projectspecifieke keuzes 12
4. Technische uitgangspunten **15**
4.1 Masttype (standaardisatie) 15
4.2 Veldlengtes 18
4.3 Onderlinge afstand 18
4.4 Zakelijk Recht Overeenkomst (ZRO) 19
4.5 Magneetveld 19
4.6 Kruisingen 19
4.7 Geleiderverliezen 21
4.8 Verkabeling 110 kV 21
5. Uitgangspunten bouw 380 kV- hoogspanningsverbinding bovengronds **22**
5.1 Beschrijving bouwwerk en wijze van uitvoering 22
5.2 Werkwegen en werkterreinen 22
5.3 Bouw funderingen 23
5.4 Bouw masten 25
5.5 Trekken geleiders 25
6. Uitgangspunten aanleg 110 kV- hoogspanningsverbinding ondergronds **30**
6.1 Aanleg van een kabeltracé middels open ontgraving 30
6.2 Aanleg van een kabeltracé middels boren 30
7. Beïnvloeding van externe infrastructuur **32**
7.1 Capacitieve beïnvloeding ten gevolge van het elektrisch veld 32
7.2 Inductieve beïnvloeding ten gevolge van het magnetisch veld 32
7.3 Weerstandsbeïnvloeding 33
7.4 Hoogfrequente beïnvloeding 33
7.5 Thermische beïnvloeding 33
7.6 Mechanische beïnvloeding 33
7.7 Beïnvloeding op spoorwegen 34
8. Bijlagen **35**
8.1 Verklarende woordenlijst en afkortingen 35

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

1.1.1 Een nieuwe hoogspanningsverbinding tussen hoogspanningsstations Vierverlaten en Ens

Het gebruik en transport van elektriciteit in Nederland neemt al decennialang toe. Het hoogspanningsnet in Nederland wordt zwaarder belast en door de energietransitie zet deze ontwikkeling de komende jaren sterk door. Noord-Nederland neemt hierin een belangrijke plaats in door:

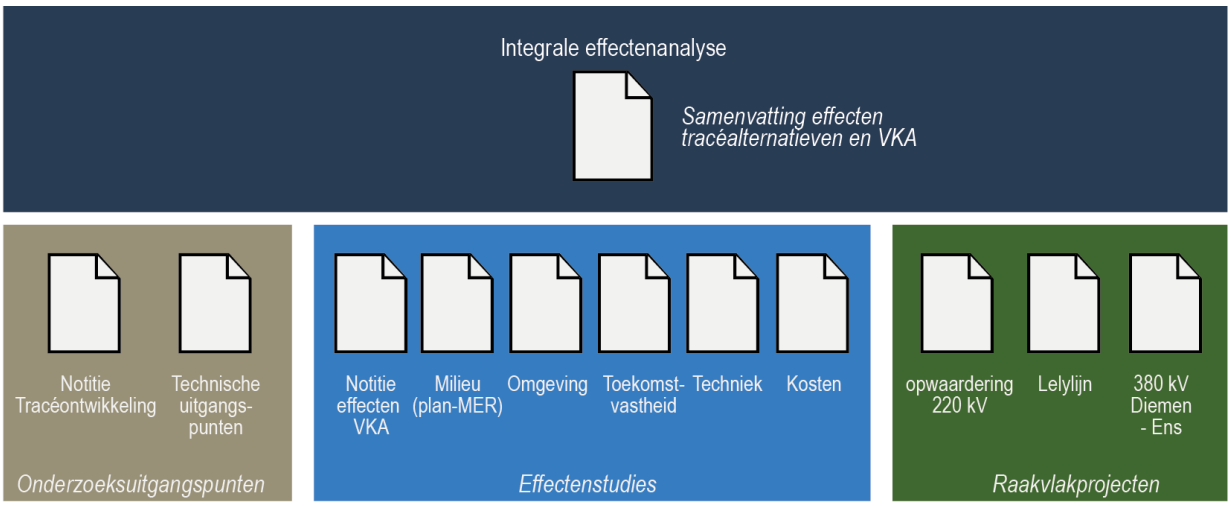
- de aanlanding van (nieuwe) windparken op de Noordzee;
- de verdergaande ontwikkeling van een grootindustrieel cluster met de doelstelling om te elektrificeren;
- de toename van het aantal verbindingen met het Europese elektriciteitsnet.

Om de energietransitie te kunnen faciliteren en knelpunten in het elektriciteitsnet te voorkomen is een nieuwe 380 kV-hoogspanningsverbinding nodig tussen de hoogspanningsstations Vierverlaten in de gemeente Groningen en Ens in de gemeente Noordoostpolder. Deze nieuwe verbinding lost knelpunten op die ontstaan door meer aanbod van duurzame opwek enerzijds en meer vraag naar elektriciteit van huishoudens en bedrijven anderzijds. Ook is de verbinding nodig om het internationale stroomtransport van en naar Duitsland en de rest van Europa beter te faciliteren. Ten slotte maakt de nieuwe verbinding ruimte vrij op het onderliggende net (het net met een spanningsniveau van 220 kV en lager).

TenneT is de initiatiefnemer voor de aanleg van de nieuwe 380 kV-hoogspanningsverbinding. De minister van Klimaat en Groene Groei is samen met de minister van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening het bevoegd gezag voor de besluitvorming over de ruimtelijke inpassing van de nieuwe hoogspanningsverbinding. Hiervoor wordt de projectprocedure uit de Omgevingswet gevolgd. De minister van Klimaat en Groene Groei coördineert tevens de vergunningverlening.

1.1.2 Integrale effectenanalyse

De aanleg en het in gebruik hebben van een hoogspanningsverbinding met bijbehorende infrastructuur heeft effecten op de fysieke leefomgeving. Bij het bepalen van het voorkeursalternatief voor een nieuwe hoogspanningsverbinding is het van belang om te onderzoeken welke effecten (kunnen) optreden.
De integrale effectenanalyse wordt opgesteld in de verkenningsfase van de projectprocedure. In deze fase wordt getrechterd naar één voorkeursalternatief in de voorkeursbeslissing. Als onderdeel van deze verkenningsfase worden vijf tracéalternatieven met elkaar vergeleken. Daarbij wordt gekeken naar effecten op milieu (plan-MER), omgeving (stakeholders), techniek, kosten en toekomstvastheid. De onderzoeken naar de effecten van de verschillende tracéalternatieven op deze thema’s zijn opgenomen in vijf verschillende effectstudies, die allen een bijlage vormen van de integrale effectanalyse. De effecten van het uiteindelijk gekozen VKA zijn in een aparte notitie effecten VKA samengevat. Ook deze notitie is een bijlage bij de integrale effectenanalyse. Voor de raakvlakken met de Lelylijn en de (mogelijke) opwaardering van de bestaande 220 kV-verbinding zijn daarnaast ook aparte analyses opgesteld. Figuur 1.1 geeft inzicht in de rapporten die ten grondslag liggen aan de integrale effectenanalyse. Na de voorkeursbeslissing wordt het voorkeursalternatief uitgewerkt tot een definitief tracé dat wordt vastgelegd in het projectbesluit.



Figuur 1.1: Integrale effectenanalyse inclusief achtergrondrapporten

1.2 Doel voorliggend rapport

In de integrale effectenanalyse worden de effecten van vijf tracéalternatieven, inclusief enkele varianten, voor de realisatie van de nieuwe hoogspanningsverbinding tussen Vierverlaten en Ens beschreven. Dit gebeurt voor alle relevante thema's die een relatie hebben met de mens, de fysieke leefomgeving of de uitvoerbaarheid. Voorliggend rapport beschrijft de technische uitgangspunten die zijn gebruikt bij het opstellen van de rapporten en legt onderzoeksuitgangspunten vast.

Definitie van technische uitgangspunten

In het vakgebied van Systems Engineering (het engineering-proces voor een gestructureerde, iteratieve aanpak om complexe systemen te ontwerpen en te beheren) wordt een technisch uitgangspunt vaak gedefinieerd als:

"Een vastgelegde, gedefinieerde en geaccepteerde randvoorwaarde, specificatie, of aanname die wordt gebruikt als basis voor ontwerpbeslissingen en systeemontwikkeling."

Belangrijke kenmerken van een technisch uitgangspunt:

1. Randvoorwaarde: Het legt beperkingen of eisen op waaraan een systeem moet voldoen.
2. Specifiek en meetbaar: Het moet duidelijk en controleerbaar zijn, zodat het kan worden getoetst.
3. Geaccepteerd door belanghebbenden: Het uitgangspunt is gevalideerd en overeengekomen door alle relevante stakeholders.
4. Statisch binnen een scope: Een technisch uitgangspunt blijft in principe ongewijzigd binnen een bepaalde projectfase, tenzij herziening noodzakelijk is door veranderde eisen of omstandigheden.

Voorbeelden:

- Een gebouw moet bestand zijn tegen een windkracht van 10 Beaufort.

- Het softwaresysteem moet voldoen aan de GDPR-richtlijnen.
- Het gewicht van een satelliet mag niet meer dan 500 kg bedragen.

Technische uitgangspunten vormen een essentieel onderdeel van het specificatie- en ontwerpproces binnen Systems Engineering, omdat ze een stabiele basis bieden voor het verdere ontwerp- en ontwikkeltraject.

Voor het opstellen van dit rapport is gewerkt vanuit de definitie zoals die hierboven is gedefinieerd. Daarnaast is dit rapport aangevuld met de uitgangspunten die zijn gebruikt in het plan-MER en bijlagen voor de uitgevoerde onderzoeken.

1.3 Leeswijzer

Het rapport Technische Uitgangspunten bij Integrale effectenanalyse bevat onderzoeksuitgangspunten voor de integrale effectenanalyse. Figuur 1.1 geeft dit goed weer.

In paragraaf 1.2 is de relevantie en definitie van technische uitgangspunten in relatie tot de nieuwe 380 kV-hoogspanningsverbinding Vierverlaten – Ens geïntroduceerd. In hoofdstuk 2 worden de tracéalternatieven en varianten beschreven. Vervolgens worden in hoofdstuk 3 de projecteisen voor deze nieuwe hoogspanningsverbinding weergeven. In hoofdstuk 4 technische uitgangspunten wordt onder meer ingegaan op de relevante technische kaders vanuit beleid en visies waaraan de nieuwe verbinding moet voldoen om zijn functie goed te kunnen vervullen.

In hoofdstuk 5 is uitgewerkt welke stappen er worden gezet bij het bouwen van bovengrondse 380 kV-hoogspanningsverbinding. Hoofdstuk 6 beschrijft welke technieken toegepast kunnen worden wanneer 110 kV-hoogspanningslijnen verkabeld worden om ruimte te maken voor de nieuwe 380 kV-hoogspanningslijnen.

In hoofdstuk 7 wordt beschreven welke vormen van beïnvloeding er kunnen zijn op externe infrastructuur bij het bedrijven van een nieuwe 380 kV-hoogspanningsverbinding.

2. Introductie tracéalternatieven en varianten

In de integrale effectenanalyse worden vijf tracéalternatieven onderzocht. Dit zijn zelfstandige tracéalternatieven die van Vierverlaten naar Ens lopen. Voor sommige tracéalternatieven zijn daarnaast enkele varianten opgesteld. Het gaat om delen van het tracéalternatief die om verschillende redenen een net wat andere ligging hebben gekregen. Dit levert de volgende tracéalternatieven en varianten op (zie figuur 2.1, de kleuren van de tracéalternatieven en varianten die op de kaart zijn weergegeven, zijn ter herkenning ook opgenomen bij de beschrijvingen):

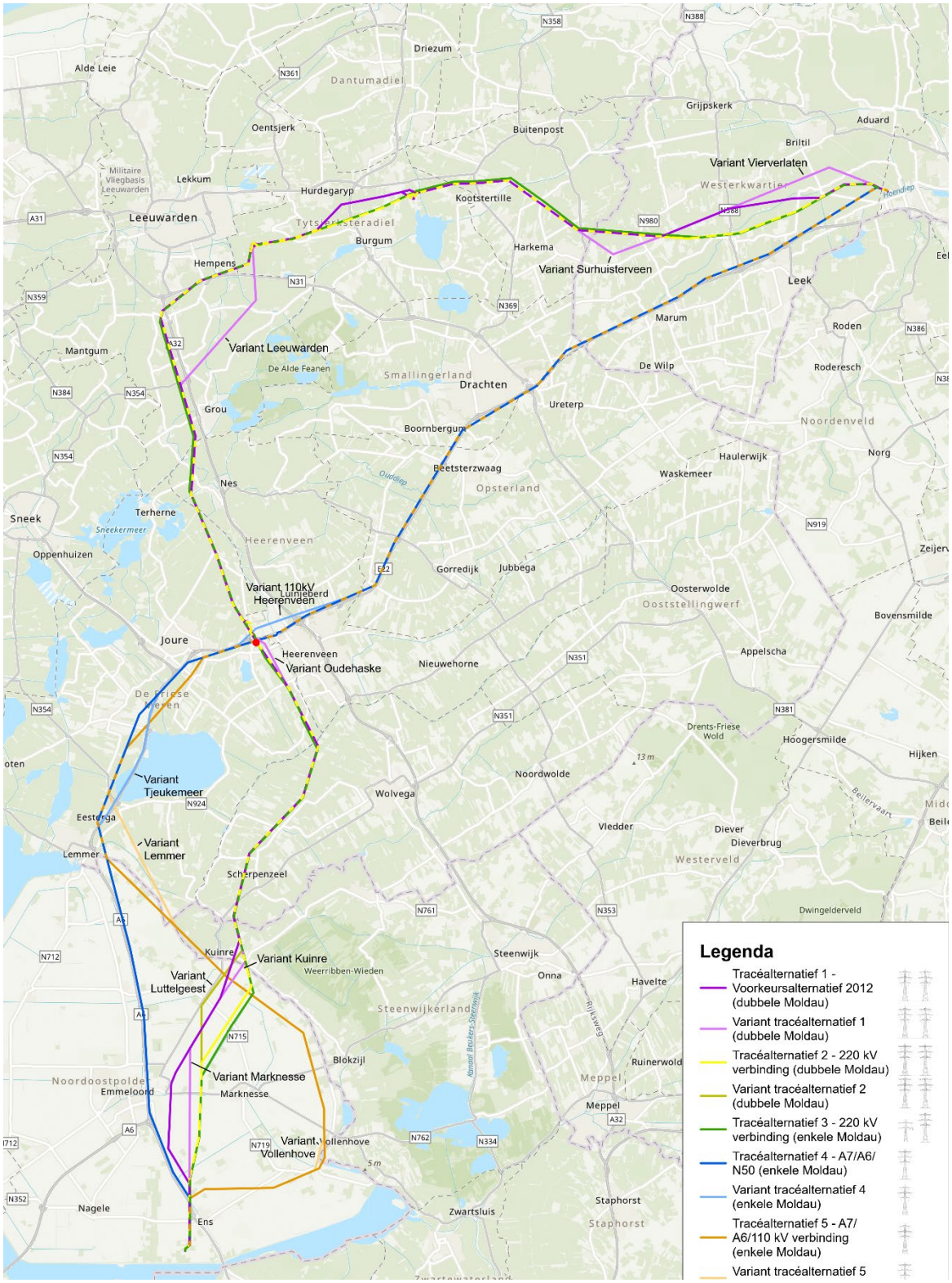
- Tracéalternatief 1 (dubbele Moldau[1]);
- - Varianten tracéalternatief 1 (dubbele Moldau);
- Tracéalternatief 2 – 220 kV-verbinding (dubbele Moldau);
- - Varianten tracéalternatief 2 (dubbele Moldau)
- Tracéalternatief 3 – 220 kV-verbinding (enkele Moldau);
- Tracéalternatief 4 – A7/A6/N50 (enkele Moldau);
- - Varianten tracéalternatief 4 (enkele Moldau);
- Tracéalternatief 5 – A7/A6/110 kV-verbinding[2] (enkele Moldau);
- - Varianten tracéalternatief 5 (enkele Moldau).

De tracéalternatieven worden uitgebreid beschreven in de Notitie tracéontwikkeling 380 kV-hoogspanningsverbinding Vierverlaten – Ens bij de integrale effectenanalyse. Zoals in figuur 2.1 te zien is, kan het tracé van een tracéalternatief in een noordelijk en een zuidelijk deel worden opgeknipt: het traject van Vierverlaten naar Oudehaske en vervolgens van Oudehaske naar Ens (het kruispunt is gemarkeerd met een rode stip). Naast de beoordeling voor het gehele tracéalternatief, krijgen deze twee delen van een alternatief ieder een eigen effectbeoordeling. Op die manier is alle informatie aanwezig om een goede afweging te kunnen maken, waarbij de combinatie van een noordelijk en een zuidelijk tracédeel mogelijk is.

Naast de vijf tracéalternatieven zijn er voor vier tracéalternatieven varianten samengesteld. Dit zijn relatief korte stukjes met een andere ligging dan het tracéalternatief. Voor de varianten wordt gekeken of deze leiden tot onderscheidende effecten ten opzichte van het betreffende tracéalternatief. Daarbij is elke keer de vraag: verandert de beoordeling van het betreffende tracéalternatief wanneer de onderscheidende onderdelen van de varianten worden toegepast voor dat deeltracé.

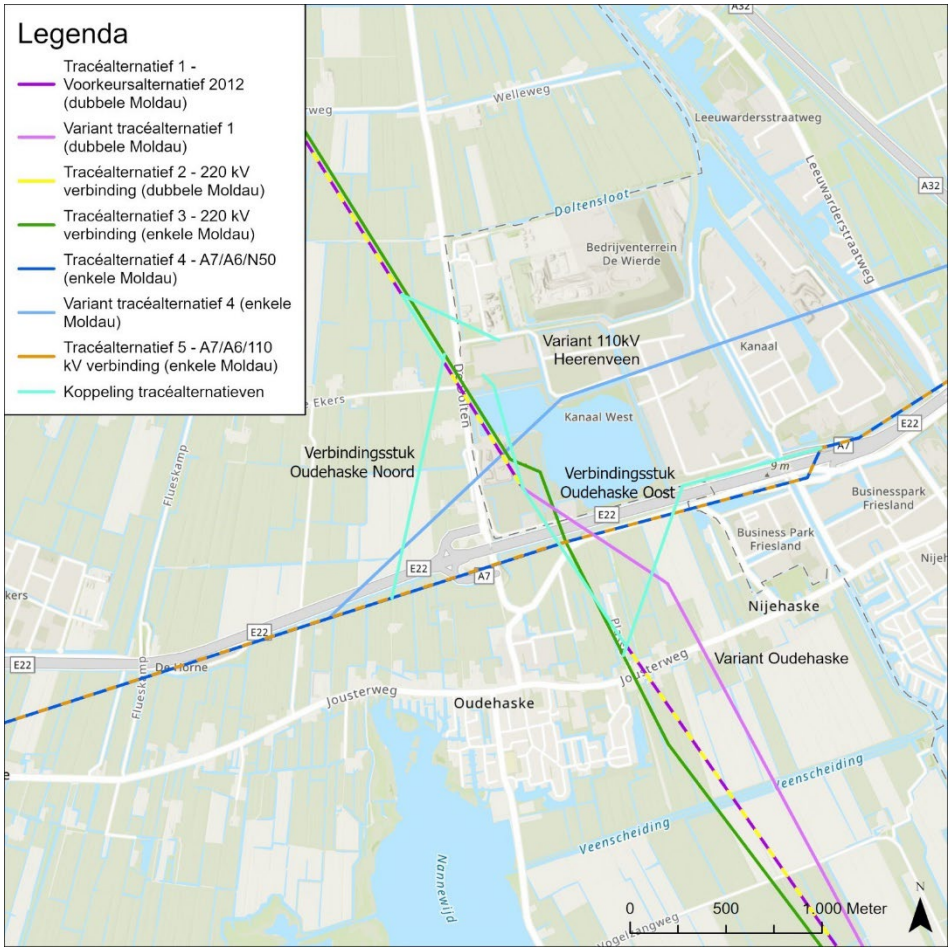
[1] De Moldaumast is het type mast dat wordt gebruikt voor een 380 kV-verbinding. Een dubbele Moldau betekent twee mastenrijen naast elkaar. In één mastenrij komt de huidige 220 kV-verbinding, in de andere mastenrij komt de nieuwe 380 kV-verbinding.

[2] Als de nieuwe 380 kV-verbinding het tracé van een bestaande 110 kV-verbinding volgt, dan wordt de bestaande 110 kV-verbinding op dat tracégedeelte in beginsel verkabeld. Daarbij is als uitgangspunt genomen dat de verkabelde 110 kV-verbinding nabij de nieuwe bovengrondse 380 kV-verbinding komt te liggen. Hoewel in principe de kabel ook een andere route kan volgen dan de bovengrondse verbinding, is de gedachte dat het samenlopen met de 380 kV-verbinding als voordeel heeft dat de meeste effecten beperkt blijven tot een beperkt gebied, waar bovendien nu al sprake is van beperkingen van de bestaande 110 kV-verbinding.



Figuur 2.1: Tracéalternatieven en varianten hoogspanningsverbinding Vierverlaten – Ens. De rode stip is het punt waar de tracéalternatieven elkaar ter hoogte van Oudehaske kruisen.

Tussen de tracéalternatieven ten noorden van Oudehaske en ten zuiden van Oudehaske zijn meerdere combinaties mogelijk. Deze tracéalternatieven dienen met elkaar verbonden te worden door middel van het verbindingsstuk Oudehaske Noord of verbindingsstuk Oudehaske Oost. In figuur 2.2 zijn deze verbindingsstukken weergegeven.



Figuur 2.2: Verbindingsstuk Oudehaske Noord en Oudehaske Oost

3. Projecteisen

De technische projecteisen komen veelal voort uit het beleid van TenneT en zijn op te delen in systeemeisen en projectspecifieke eisen. Daarnaast zijn er ook algemene projectspecifieke keuzes gemaakt ten behoeve van dit project, zie paragraaf 3.3.

3.1 Systeemeisen

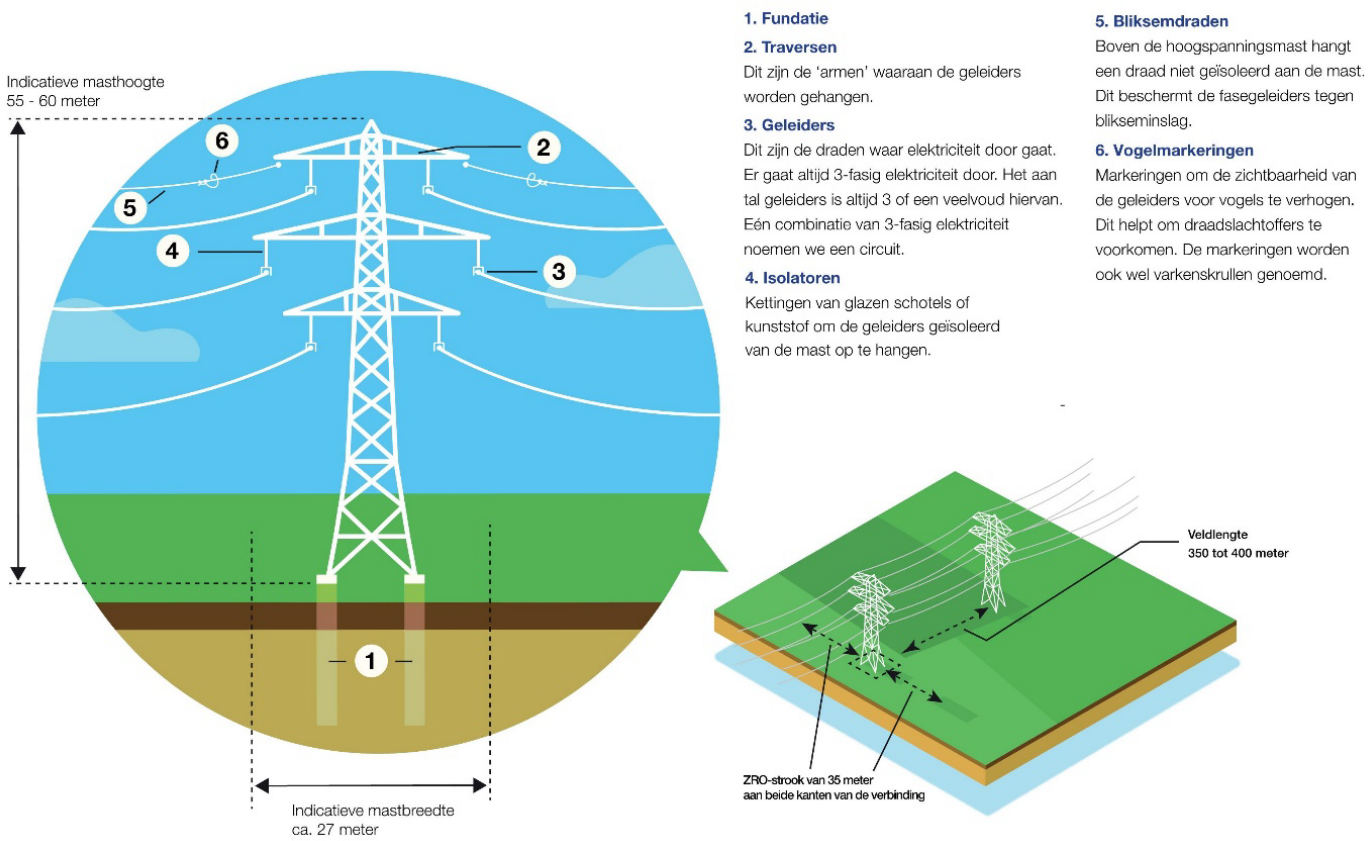
Project overstijgend

- Hoogspanningsstations Eemshaven 380 kV en Geertruidenberg 380 kV verbinden (Target Grid)
- Wisselstroomhoogspanningsverbinding die kan inlussen op de bestaande stations Vierverlaten en Ens en kan aansluiten op de aanwezige stations high voltage infrastructuur.

Project specifiek

Hieronder zijn de projectspecifieke eisen weergegeven waaraan het projectresultaat minimaal moet voldoen.

- De hoogspanningsstations Vierverlaten 380 kV en Ens 380 kV met elkaar verbinden d.m.v. een bovengrondse hoogspanningsverbinding , zie paragraaf 3.3.4
- Geen tussenliggende hoogspanningsstations realiseren
- Systeemspanning hoogspanningsverbinding is 380 kV wisselspanning, zie ook paragraaf 3.3.2
- Capaciteit per circuit: 4 kA continu-stroom
- Verbinding bestaande uit standaard vakwerkmasten type Moldau, zie ook paragraaf 4.1
- Gebruik van gestandaardiseerde geleiders, zie ook paragraaf 4.1.2
- Aansluiting op 380 kV-hoogspanningsstations Vierverlaten en Ens
- Uitvoering verbinding: bovengrondse hoogspanningslijn met 1 rij vakwerkmasten met respectievelijk 2 circuits 380 kV.
- Levensduur 50 jaar systeem, zie uitwerking hierna in paragraaf **Levensduur**.
    - Fundering 100 jaar
    - Masten 50 jaar
    - Geleiders & isolatoren 50 jaar
- Maximaal twee circuits met hetzelfde spanningsniveau in één mast, zie paragraaf 3.3.3 voor een toelichting hierop.
- De onderlinge afstand van twee parallelle hoogspanningsverbindingen is minimaal 50 meter.



Figuur 3.1: De geleider onderdelen in een hoogspanningsmast (visualisatie Moldaumast). Zie voor technische aspecten tabel 4.2

Levensduur

Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen onderdelen die aan slijtage onderhevig zijn en onderdelen die niet aan slijtage onderhevig zijn.

- Slijtage-gevoelige onderdelen zijn bijvoorbeeld: trillingsdempers, geleiders en isolatoren. Deze hebben een levensduur die varieert tussen de 25 en 50 jaar. Na deze periode zullen deze onderdelen vervangen moeten worden.
- De masten en funderingen zijn, mits goed onderhouden, niet aan slijtage onderhevig. Voor masten en funderingen wordt daarom ten aanzien van het ontwerp gewerkt met een referentieperiode van 50 jaar (masten) of 100 jaar (funderingen). De referentieperiode bepaalt de statistische kans van het optreden van de maximale wind- en ijsbelasting tijdens de levensduur van de mast. Hoe groter de referentieperiode, hoe zwaarder de maximale belasting. De referentieperiode zegt daarmee iets over het betrouwbaarheidsniveau van de mast en de kans op falen, maar staat los van de technische levensduur.

3.2 Projectspecifieke eisen

- IBN >2033. De hoogspanningsverbinding zal na 2033 in bedrijf worden genomen.

3.3 Algemene projectspecifieke keuzes

Algemene projectspecifieke keuzes zijn onderdeel van de technische uitgangspunten. Te denken valt aan toepassing van TenneT beleid.

3.3.1 110 kV ondergronds onderdeel project 380 kV-hoogspanningsverbinding Vierverlaten - Ens

Bij verzwaring van bestaande bovengrondse verbindingen wordt in beginsel uitgegaan van bovengronds verzwaren en niet ondergronds brengen. Nieuwe 110 kV- en 150 kV-verbindingen worden in beginsel ondergronds aangelegd. Als de nieuwe 380 kV-verbinding het tracé van een bestaande 110 kV-verbinding volgt, dan wordt de bestaande 110 kV-verbinding in beginsel (mits technisch realiseerbaar en vergunbaar) onder de grond gebracht. Dit wordt ‘verkabeling’ genoemd. Voor de 380 kV-tracéalternatieven waarbij verkabeling van 110 kV-verbinding aan de orde is, wordt de verkabeling meegenomen bij het bepalen van de effecten in de onderzoeken in het plan-MER. Voor de te verkabelen tracédelen is een ligging bepaald. Daarbij is als uitgangspunt genomen dat de verkabelde 110 kV-verbinding nabij de nieuwe bovengrondse 380 kV-verbinding komt te liggen. Uitgegaan is van 40 meter afstand (hart-op-hart) tussen de nieuwe 380 kV-verbinding en het tracé van de 110 kV-kabel. Hoewel in principe de kabel ook een andere route kan volgen dan de bovengrondse verbinding, is de gedachte dat het samenlopen met de 380 kV-verbinding als voordeel heeft dat de meeste effecten beperkt blijven tot een klein gebied. Of dit ook het geval is moet mede blijken uit de effectbeoordeling van het plan-MER. Om te bepalen aan welke zijde van het bovengrondse 380 kV-tracéalternatief de referentielijn komt te liggen is op basis van expert judgement een inschatting gemaakt, met bijbehorende aanlegmethodiek (open ontgraving of sleufloos). Ook is op basis van expert judgement ingeschat of de verbinding technisch haalbaar en realistisch is. Als er locaties zijn waar nu al kan worden gezien dat het niet technisch haalbaar/realistisch is, is het tracé aangepast. Zie voor meer informatie ook uitgangspunten “*Bovengronds, tenzij*” in paragraaf 3.3.4 en “*Sleufloos, tenzij*” in paragraaf 3.3.5.

3.3.2 Wisselstroom

Elektriciteitsnetten op land, ook de 380 kV-verbindingen, zijn overal ter wereld gebouwd op basis van wisselstroom, oftewel AC (alternating current). Gelijkstroom, oftewel DC (direct current), gedraagt zich anders dan de gebruikelijke wisselstroom. Hierdoor zijn kabels onder de grond voor super stroomsnelwegen met gelijkstroom wel een optie. Gelijkstroomverbindingen op land zijn alleen mogelijk voor transport over zeer grote afstanden en indien er onderweg geen aftakkingen nodig zijn naar het wisselstroomnet. Binnen het wisselstroomnet is het niet effectief om wisselspanning om te zetten in gelijkspanning en later weer van gelijkspanning in wisselspanning. Dit gaat gepaard met grote technische aanpassingen, onderhoudsuitdagingen en additionele stroomverliezen. Naast dat de kosten voor een additioneel gelijkstroom netwerk hoog zijn in vergelijking tot een wisselstroomnet vraag het aanleggen van een gelijkstroomnet ook veel extra ruimte voor nieuwe stations met omvormers en veel extra kabels in de grond. Het gebrek aan ruimte die in Nederland neemt dan alleen maar toe. Vanuit de betrouwbaarheid en robuustheid van het 220/380 kV-net is het daarom niet aanvaardbaar om een transportknelpunt in het hoogspanningsnet op te lossen met een DC-verbinding als daarvoor ook een AC-verbinding mogelijk is. Zie hiervoor ook het Ontwerp Programma Energiehoofdstructuur. Daarom is ook voor dit project gekozen voor wisselstroom (AC) in plaats van gelijkstroom (DC).

3.3.3 Combineren meerdere spanningsniveaus

Het combineren van verbindingen van verschillende spanningsniveaus dient zoveel mogelijk in twee aparte masten plaats te vinden. Het combineren van meerdere circuits in één mast kent namelijk (technische) nadelen. Hierbij gaat het om het combineren van een 380 kV en 220 kV-verbinding in één mast of het combineren van een 380 kV en 110 kV-verbinding in één mast. (Technische) nadelen hiervan zijn:

1. *Onderlinge elektromagnetische beïnvloeding:* Het combineren van meerdere circuits in één mast kent een sterke onderlinge elektromagnetische beïnvloeding, omdat de circuits[3] van verschillende verbindingen dicht bij elkaar hangen. Die beïnvloeding kan zodanig zijn dat bepaalde elektrische fenomenen (bijvoorbeeld asymmetrische spanningen in de circuits of (te) grote geïnduceerde stromen door geaarde delen in geval van onderhoud aan één of meer circuits) ontstaan die niet altijd met specifieke technische maatregelen opgelost kunnen worden. En als dergelijke fenomenen wel opgelost kunnen worden kan de oplossing weer andere nadelen hebben. Bijvoorbeeld uitbreiding en/of aanpassingen van hoogspanningsstations en/of meerdere zwaardere masten in de verbinding toepassen en/of substantiële kostenverhoging en/of verminderde netbeschikbaarheid.
2. *Onderhoud en beheer:* Daarnaast leidt het combineren van meerdere circuits in één mast ook tot meer afhankelijkheden bij onderhoud. Bij werkzaamheden moeten er vanuit veiligheidsoogpunt dan twee circuits uit bedrijf worden genomen in plaats van één circuit. Dit heeft invloed op de beschikbaarheid en betrouwbaarheid van het net. De kans op uitval neemt daardoor toe, omdat door het uit bedrijf moeten nemen van twee circuits in plaats van één de redundantie in het net tijdelijk minder is.

3.3.4 Afwegingskader 'bovengronds, tenzij'

Nieuwe hoogspanningsverbindingen in het landelijke transportnetwerk met een spanning van 220 kV en meer worden in beginsel bovengronds aangelegd. Dat geldt ook voor de nieuwe 380 kV-hoogspanningsverbinding tussen Vierverlaten en Ens. Dit ‘bovengronds, tenzij’ principe is ook verwoord in de Nationale Omgevingsvisie en het Programma Energie Hoofdstructuur. Een ondergrondse aanleg is alleen in uitzonderlijke gevallen te overwegen, namelijk wanneer een bovengrondse 220 / 380 kV-hoogspanningsverbinding leidt tot onaanvaardbare hinder, beperkingen of veiligheidsrisico’s voor functies en opgaven van (inter)nationaal belang (beperkend voor luchthavens, grote kanalen, rivieren, spoorlijnen, bestaande 220 / 380 kV-hoogspanningsverbindingen, Natura 2000-gebieden en Werelderfgoederen) waardoor een verbinding op een bepaalde locatie niet maakbaar is en/of er geen vergunning verleend kan worden. In dergelijke gevallen kan een ondergrondse aanleg op delen van een nieuwe 220/380 kV-hoogspanningsverbinding worden overwogen. Dit kan alleen als er geen andere realistische bovengrondse oplossingen mogelijk zijn en als uit elektrotechnisch onderzoek blijkt dat een ondergrondse verbinding gerechtvaardigd is vanuit het oogpunt van leveringszekerheid, betrouwbaarheid, operationele aspecten en meerkosten. Tevens mag dit niet leiden tot een aanpassing van de vereiste transportcapaciteit (geen aanpassing van de projectopdracht).

[3] Alle 380 kV-lijnen in het Nederlandse net zijn in principe redundant (dubbel) uitgevoerd. Dat houdt in dat er altijd tenminste twee circuits (zes draadbundels) zijn opgehangen in een verbinding.

3.3.5 Sleufloos tenzij

In het geval van ondergrondse aanleg van een (deel) van een hoogspanningsnet, is het toekomstige beleid voor de aanleg van hoogspanningskabels gericht op de uitgangspunten van sleufloze technieken, met als doel de verstoring van het oppervlak en de omgevingsimpact zoveel mogelijk te beperken. Het uitgangspunt is om alternatieve technieken te overwegen waarbij geen sleuf hoeft te worden gegraven voor de kabelaanleg. Dit beleid staat open voor de toepassing van drie sleufloze technieken:

1. Microtunneling;
2. Grondverdringende technieken (ook wel ploegen genoemd);
3. Gestuurde boringen (HDD's).

Van deze drie opties hebben microtunneling en grondverdringende technieken de voorkeur vanwege diverse voordelen. Echter, in de praktijk blijken deze technieken vaak niet toepasbaar, omdat ze enkel efficiënt kunnen worden ingezet wanneer volledige secties met één enkele techniek kunnen worden gerealiseerd. Dit is vaak niet haalbaar vanwege ondergrondse obstakels of technische beperkingen. Als gevolg daarvan wordt in de meeste gevallen gekozen voor gestuurde boringen (HDD), die flexibeler inzetbaar zijn.
Een nadeel van HDD ten opzichte van microtunneling en grondverdringende technieken is dat de kabels dieper worden aangebracht. Dit heeft een negatief effect op de thermische belastbaarheid en kan complicaties veroorzaken bij beheer en onderhoud.

Daarnaast is het belangrijk te benadrukken dat rond de in- en uittredepunten van de kabels een minimale open ontgraving van 50 meter noodzakelijk is. Dit is vereist om de aansluitingen, zoals moffen, te realiseren en om storingslussen aan te brengen die essentieel zijn voor de veiligheid en betrouwbaarheid van het netwerk. Moffen zijn verbindingen tussen twee kabels en storingslussen zijn extra stukken "overlengten" kabel die in een lus worden gelegd nabij het eindpunt van de kabel om voldoende kabel over te hebben bij een eventuele reparatie van de kabeleinden of bij verlegging van een deel van de kabel.

Het beleid "*Sleufloos, tenzij ...*" streeft naar een balans tussen technologische mogelijkheden en praktische uitvoerbaarheid, met als doel het versneld realiseren van ondergrondse verbindingen, terwijl verstoring van de omgeving wordt geminimaliseerd.

3.3.6 Verbinding uit één stuk

Waar gedeelten van bestaande 110 kV-verbindingen ondergronds worden gebracht[4] geldt dat wisselen tussen onder- en bovengronds (ook wel 'rupsen' genoemd) zoveel mogelijk vermeden dient te worden. Dat wil zeggen dat er geen verbinding wordt gerealiseerd die meerdere keren wisselt tussen bovengronds en ondergronds. In dergelijke gevallen dient nader onderzocht te worden of er een andere oplossing mogelijk is of dienen afzonderlijke ondergrondse delen samengevoegd te worden tot één langer ondergronds deel. Veelvuldig wisselen kan een situatie opleveren die ongewenst is voor de netstabiliteit en kan leiden tot een hogere kans op storingen.

[4] Indien de nieuwe 380 kV-verbinding het tracé van een bestaande 110 kV-verbinding volgt wordt de 110 kV-verbinding in beginsel verkabeld

4. Technische uitgangspunten

4.1 Masttype (standaardisatie)

Er bestaan verschillende typen masten, te weten:

- Steunmasten
- Afspanmasten; onderverdeeld in:
    - Hoekmasten geschikt voor verschillende lijnhoeken (type HA t/m HC)
    - Wisselmasten geschikt voor verschillende lijnhoeken (type WA en WB)
    - Eindmasten geschikt voor verschillende lijnhoeken (type EA en EB)

Zie de onderstaande paragraaf met een nadere uitleg.

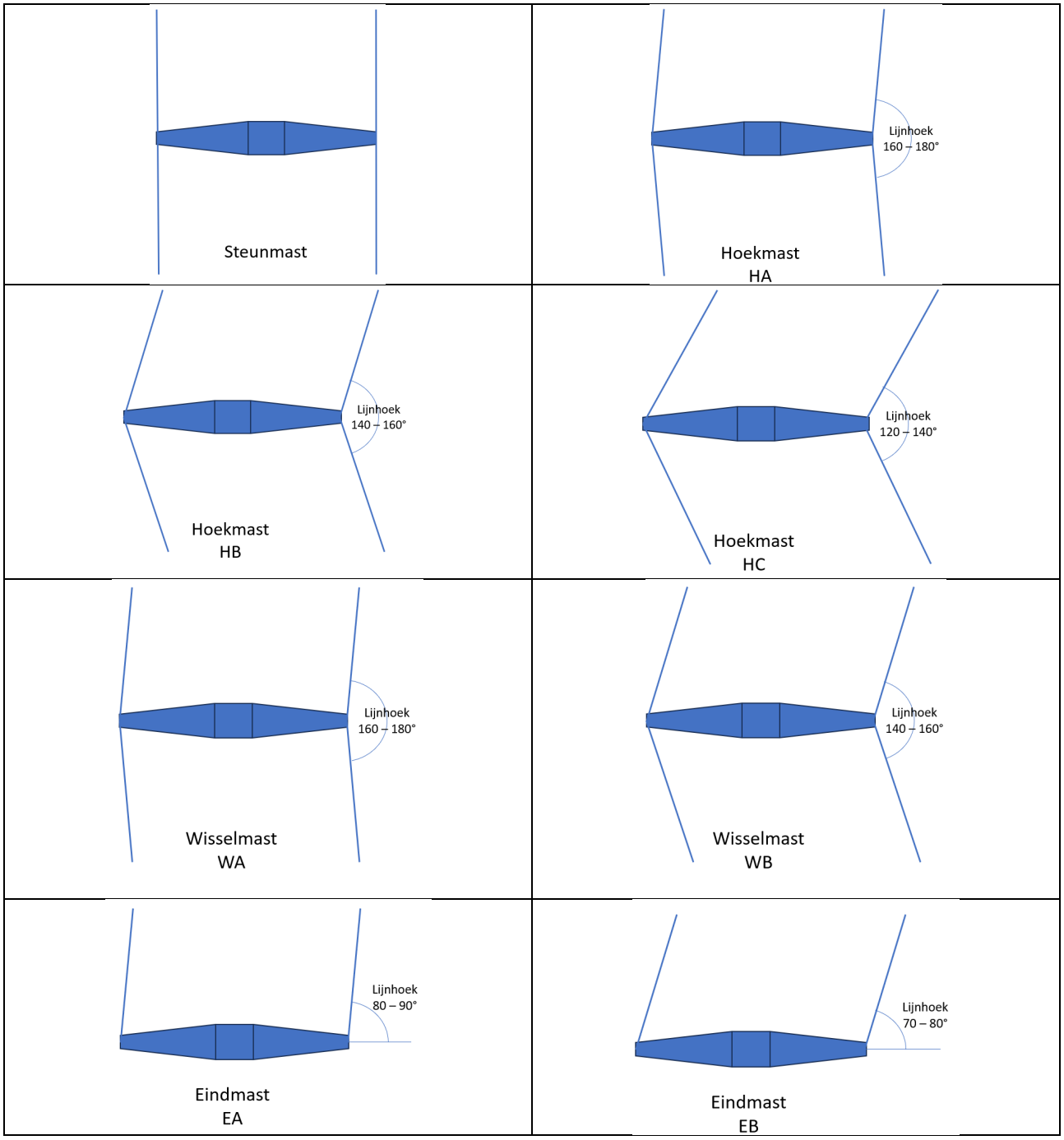
4.1.1 Uitleg masttypes en de verschillen

Steunmasten (ook wel draagmasten genoemd) hebben als functie om de geleiders te dragen. Ze houden de geleiders in de lucht, maar oefenen geen trekkracht uit op de geleiders. Bij een steunmast gaan de geleiders daarom ook altijd rechtdoor.

Daarnaast zijn er afspanmasten. Bij dit type masten worden de geleiders niet alleen in de lucht gehouden, maar ook strak gespannen. De isolatoren liggen daarom altijd horizontaal, in het verlengde van de geleiders. Afspanmasten zijn onder te verdelen in 3 categorieën:

- Hoekmasten. Hier maakt de hoogspanningslijn een knik in het tracé. Er zijn verschillende typen hoekmasten, afhankelijk van de grootte van de knik in het tracé (de lijnhoek). Voor de scherpste hoek wordt een HC-mast toegepast en voor minder scherpe hoeken zijn er HB en HA-masten.
- Wisselmasten. Dit zijn hoekmasten waar tevens een fasewisseling in aanwezig is. Hierbij wordt de onderste fasebundel aan de ene zijde van de mast doorverbonden met de middelste fasebundel aan de andere zijde, enz. Bij scherpe lijnhoeken is er onvoldoende ruimte voor deze fasewisseling, vandaar dat er alleen WA en WB-masten bestaan. Er is geen WC-mast voor een vergelijkbare lijnhoek als de HC mast.
- Eindmasten. Dit zijn masten bij het begin- en eindpunt van de verbinding, waar aan één zijde de hoogspanningslijn verder gaat naar de eerstvolgende mast en waar de geleiders aan de andere zijde zijn aangesloten op de hoogspanningsstations. Doordat deze masten vrijwel altijd dicht bij het station staan, is de trekkracht voor de geleiders naar het station veel lager dan de trekkracht in de geleiders die naar de eerstvolgende mast gaan. Een eindmast is daarom geschikt om permanent te worden blootgesteld aan een éénzijdige belasting. Een hoek- en wisselmast is daar niet geschikt voor (wel in een tijdelijke situatie zoals bij de bouw van de verbinding en het aanbrengen van de geleiders, maar niet permanent). Ook een eindmast is er in twee verschillende varianten, afhankelijk van de benodigde lijnhoek, namelijk EA en EB. Ook waar een hoogspanningslijn overgaat van masten naar portalen bijvoorbeeld bij een kruising met een andere hoogspanningsverbinding of bij een opstijgpunt worden eindmasten toegepast.

Tabel 4.1 op de pagina hierna bevat een schematisch bovenaanzicht van de verschillende typen masten.

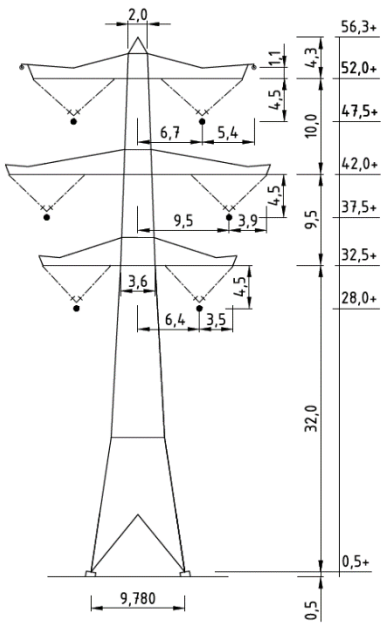
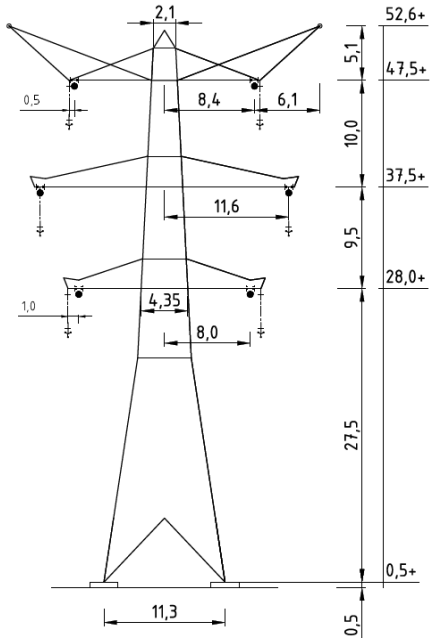


Tabel 4.1: schematische bovenaanzichten van de verschillende typen masten

Voor een nieuwe bovengrondse hoogspanningsverbinding wordt één mastfamilie toegepast vanuit zowel elektrotechnische als esthetische redenen. Deze standaardisatie zorgt ervoor dat alle masten tussen Vierverlaten en Ens een gelijke betrouwbaarheid en uniform uiterlijk kennen. Alleen bij zwaarwegende redenen kan hiervan af worden geweken, mits dit (net-)technisch mogelijk is. In het verleden zijn in Nederland verschillende masttypen toegepast voor een bovengrondse 380 kV-hoogspanningsverbinding. Uit

recent onderzoek is echter gebleken dat de recent ontwikkelde Moldau vakwerkmast het beste aan alle huidige eisen voldoet, onder andere met betrekking tot magneetvelden. Ze zijn goedkoper, duurzamer en het nieuwe type vakwerkmast 'Moldau' heeft het smalste magneetveld van alle vakwerkmasten. Met de Moldau masten kan een indicatieve magneetveldzone gerealiseerd worden zo smal als redelijkerwijs mogelijk is. Dit zorgt voor zo min mogelijk gevoelige gebouwen binnen deze magneetveldzone. De effecten van de magneetveldzones worden benoemd in het Deelrapport leefomgeving en gezondheid bij het milieueffectrapport.

In de onderstaande tabel zijn de meest voorkomende Moldau masten afgebeeld inclusief maatvoering met betrekking tot de benodigde indicatieve zakelijk recht strook (ZRO-strook) en indicatieve magneetveldzone. De mastenfamilie Moldau bestaat uit meerdere masten met verschillende hoogtes en verschillende typen zoals steunmast, hoekmast, eindmast en wisselmast.

Mastenfamilie Moldau	
Hoogte mast (type S+0_1A): 56,3 meter	Hoogte mast (type HC+0_1A): 52,6 meter
Breedte traverse (type S+0_1A): 26,8 meter	Breedte traverse (type HC+0_1A): 29,0 meter
	
Steunmast S+0_1A	Hoekmast HC+0_1A
Zakelijk recht strook 35 meter uit de hartlijn (totale breedte 70 meter)	
Indicatieve 0,4 µT (microTesla) magneetveldzone 65 meter uit de hartlijn	

Tabel 4.2 Karakteristieke gegevens van het Moldau masttype. Naast deze masten zijn ook masten met afwijkende hoogtes beschikbaar

NB: Afhankelijk van de grootte van de lijnhoek wordt een HA, HB of HC hoekmast toegepast. Deze hebben een gelijke hoogte, maar verschillen in breedte. De hier getoonde HC hoekmast heeft de grootste breedte. De getoonde afmetingen zijn nog niet definitief; er zijn nog kleine aanpassingen in het ontwerp mogelijk.

4.1.2 Geleider

De Moldau-masten maken gebruik van een AAAC882 geleider in 3-bundel per fase configuratie. Dit betekent dat iedere fase-bundel (6 stuks per mast in totaal, verdeeld over twee circuits aan weerszijde van de mast) bestaat uit 3 stuks AAAC882 geleiders. Dit is een geleider die gemaakt is uit een aluminium legering, zonder stalen kern, met een oppervlak van 882 mm2, de diameter is ongeveer 36 mm, oftewel 3,6 cm. De maximale lengte van deze geleider is 2.700 meter. Dat is de maximale lengte die van deze geleider op een haspel past. Verder is de mast voorzien van twee bliksemdraden, waarvan één is uitgerust met glasvezels ten behoeve van communicatie tussen de hoogspanningsstations en de bedieningscentra van TenneT.

4.2 Veldlengtes

Bij het traceren van een nieuwe hoogspanningsverbinding wordt gewerkt met een veldlengte van maximaal 400 meter. De veldlengte is de afstand tussen twee masten binnen dezelfde verbinding.
Bij het bundelen met de bestaande 220 kV-verbinding heeft het de voorkeur om “in de pas” te lopen met de bestaande hoogspanningsverbinding, zodat de masten van beide verbindingen naast elkaar staan. Dit geeft een rustiger beeld in het landschap. Doordat de veldlengte van bestaande 220 kV-verbindingen veelal 350 meter is, wordt in dat geval afgeweken van de standaard veldlengte van 400 meter. Bij de keuze voor een dubbele rij Moldau-masten of bij bundeling met de snelweg, wordt de standaard veldlengte van 400 meter toegepast.

4.3 Onderlinge afstand

Bij parallelloop van twee hoogspanningsverbindingen is de onderlinge afstand tussen de beide verbindingen een belangrijke parameter. Er zijn verschillende aspecten die een relatie hebben met deze afstand:

- Onderhoud: om onderhoud veilig te kunnen uitvoeren op één circuit wordt deze uit bedrijf genomen. Het uit bedrijf nemen wordt een Voorziene Niet Beschikbaarheid (VNB) genoemd. Dat wil zeggen dat bij het uit gebruik nemen van één circuit alle overige circuits in bedrijf kunnen blijven. Er is dan voldoende werkruimte, minimaal 50 meter, nodig tussen de verbindingen.
- Impact op de omgeving: hoe dichter de verbindingen bij elkaar staan, hoe minder ruimte in beslag genomen wordt (voor ZRO-breedte en magneetveldzone) en hoe makkelijker de verbinding inpasbaar is in de omgeving.
- Maakbaarheid: bij het intrekken van de geleiders is ruimte achter de mast nodig voor het opstellen van machines en geleiderhaspels. Bij lijnhoeken wordt deze verbinding beperkt door de andere verbinding, en hoe kleiner de onderlinge afstand, hoe groter de beperking in ruimte voor het opstellen van de machines.
- Leveringszekerheid: De kans op omvallen van masten is uiterst klein, maar desondanks dient er voor de meest kritieke verbindingen in het EHS-net (de landelijke ring en verbindingen met het buitenland) toch rekening mee te worden gehouden in de vorm van het omvalcriterium. Voor de verbinding Vierverlaten - Ens (die wel onderdeel is van het EHS-net maar geen onderdeel is van de landelijke ring) zijn de gevolgen minder groot, daarom is het omvalcriterium hier niet van toepassing. Bij een grotere onderlinge afstand, is de kans kleiner dat extreem weer of een andere externe oorzaak (explosie, neerstortend vliegtuig e.d.) beide verbindingen tegelijkertijd zal treffen.

- Onderlinge beïnvloeding: indien de circuits van verschillende verbindingen dicht bij elkaar zijn gepositioneerd, kunnen zij elkaar beïnvloeden. Dit geldt zowel in normaal bedrijf (ontstaan van asymmetrie) als tijdens onderhoud (induceren van stromen in geaarde circuits, wat nadelige gevolgen kan hebben voor lijnaarders, werkaarders en stap- en aanraakspanningen). Dit probleem wordt grotendeels ondervangen door het niet langer toepassen van combimasten, maar ook in geval van dicht op elkaar staande parallelle verbindingen kunnen deze beïnvloedingeffecten ontstaan.

Onderhoud is het maatgevende criterium en bepaalt dat de masten op een afstand van minimaal 50 meter hart-op-hart dienen te staan. Bij de beoordeling in de verschillende deelrapporten wordt 50 meter onderlinge afstand als uitgangspunt genomen. De masten parallel plaatsen met een onderlinge afstand van minimaal 50 meter maakt dat onderhoud in de toekomst veilig is uit te voeren. Om die reden is de minimale hart-op-hart afstand tussen masten 50 meter. Het verkleinen van de afstand is technisch niet haalbaar, dan wordt niet voldaan aan veiligheidseisen als er gewerkt moet worden aan de verbinding naast een andere in bedrijf zijnde verbinding en het vergroten van de afstand heeft een grote impact om de omgeving.

4.4 Zakelijk Recht Overeenkomst (ZRO)

In de nabijheid van een hoogspanningsverbinding kunnen risico's ontstaan bij activiteiten zoals bouwen, graaf- of hijswerkzaamheden, agrarische bewerkingen, enz. Om deze risico's te beperken wordt er een Zakelijk Recht Overeenkomst (ZRO) afgesloten met daarin afspraken over het grondgebruik. In deze overeenkomst wordt een strook vastgelegd waarin deze risico's kunnen optreden, in de volksmond ook wel ZRO-strook of belastende strook genoemd. De breedte van deze ZRO-strook is 70 meter (35 meter links en rechts van de hartlijn). Buiten deze strook is er geen risico op contact met de geleiders of overslag.

4.5 Magneetveld

Bij de gestandaardiseerde Moldau-mast wordt voor alle projecten 2 x 65 m aangehouden als indicatieve magneetveldzonebreedte. Als het tracé en alle mastlocaties en masthoogtes definitief zijn, zal de definitieve specifieke magneetveldzone worden berekend. De specifieke magneetveldzone is uiteindelijk bepalend bij het vaststellen of een woning of andere gevoelige bestemming zich in de magneetveldzone bevindt. Bij verhoogde masten zal de zone over het algemeen smaller zijn.

4.6 Kruisingen

4.6.1 220 kV-verbindingen

Onderlinge bovengrondse kruisingen van 220 kV en 380 kV-verbindingen zijn in beginsel niet toegestaan, tenzij op doelmatige wijze het risico ten aanzien van de leveringszekerheid door breuk van de ene verbinding en het effect op de onderliggende verbinding kan worden gemitigeerd. Hier zijn technische oplossingen voor. Bij een draadbreuk kan een meervoudige storing ontstaan, terwijl het transportnet alleen gegarandeerd robuust is tegen een enkelvoudige storing. Een dergelijke meervoudige storing kan leiden tot een “cascade”- effect van afvallende verbindingen met onvoorspelbare omvang. Binnen het project Vierverlaten - Ens is het onvermijdelijk dat er kruisingen met bestaande 220 kV-hoogspanningsverbindingen

worden gerealiseerd. Op die plekken moeten in ieder geval mitigerende[5] oplossingen worden toegepast. In het Deelrapport Techniek bij de Integrale effectenanalyse worden de kruisingen op de restrisico's beoordeeld.

4.6.2 110 kV-verbindingen

Bovengrondse kruisingen van 220/380 kV-verbindingen met bovengrondse 150/110 kV-verbindingen zijn, indien onvermijdbaar, toegestaan. De hoogste spanning dient hierbij altijd bovenlangs te kruisen. In het geval van een draadbreuk kan een storing in het regionaal deelnet ontstaan. Er is geen risico dat de gevolgen zich uitbreiden tot het landelijke net of zelfs daarbuiten. Daarnaast is er de mogelijkheid dat de 150-kV en 110 kV-verbindingen worden verkabeld, zodat een bovengrondse kruising wordt voorkomen.

4.6.3 Spoorwegen

Kruisingen met spoorwegen dienen bij voorkeur te gebeuren met een hoek tussen 80 en 100°, dus vrijwel haaks. Dit minimaliseert niet alleen het fysieke raakvlak, ook de elektromagnetische beïnvloeding wordt hiermee tot een minimum beperkt.

Bij een dergelijke vrijwel haakse kruising zijn er naar verwachting weinig tot geen maatregelen op EMC-gebied nodig. Bij andere kruisingshoeken zal er altijd een EMC-studie uitgevoerd moeten worden om te bepalen of en zo ja, welke maatregelen genomen moeten worden.
Daarnaast kunnen er vanuit ProRail aanvullende eisen zijn m.b.t. de locatie van de kruising (bijvoorbeeld niet in de directe nabijheid van relaishuizen, onderstations of andere vitale delen van de spoorweginfrastructuur).

Voor de hoogte boven het spoor dient de NEN-EN 50341-2-15 gevolgd te worden, aangevuld met de extra marge vanuit de eisenset van TenneT. Vanuit de norm is er ook een eis voor de hoogte van de geleiders bij geleiderbreuk in het naastgelegen veld[6]. Dat kan leiden tot verhoogde masten of een kortere veldlengte. Dit kan voorkomen worden door een hoekmast toe te passen aan weerszijde van de kruising.

4.6.4 Rijkswegen

Voor kruisingen met rijkswegen geldt eveneens dat deze bij voorkeur haaks gekruist moeten worden. Daarnaast dienen er bij voorkeur geen masten geplaatst te worden op gronden die aan alle zijden worden begrensd door verbindingsbogen of op- en afritten. Niet alleen vanwege de bereikbaarheid van de masten, maar ook doordat RWS deze gebieden wil kunnen benutten voor compenserende maatregelen, waterberging of andere doeleinden.

---

[5] De mitigerende oplossingen worden door TenneT in eigen beheer ontwikkeld.
[6] Bij breuk van een geleiderbundel valt de geleider niet alleen op de grond in het gedeelte tussen de twee masten waar de breuk optreedt, maar neemt ook de zeeg (doorhangen van de geleiders) toe in het hele deel tussen de twee hoekmasten waar de breuk optreedt. Dit wordt veroorzaakt doordat de isolatorkettingen in de betreffende steunmasten vrij kunnen bewegen en bij breuk wegdraaien vanaf de plek van de breuk. Door de gebroken geleider is de trekkracht immers afwezig aan de zijde van de breuk. Dit wegdraaien leidt tot een toename van de zeeg en is het grootst in het spanveld direct naast de breuk. Voor spoorwegen en rijkswegen is een specifieke eis voor deze situatie in de norm opgenomen.

Voor de hoogte boven de weg dient de NEN-EN 50341-2-15 gevolgd te worden, aangevuld met de extra marge vanuit de eisenset van TenneT. Vanuit de norm is er ook een eis voor de hoogte van de geleiders bij geleiderbreuk in het naastgelegen veld, zie ook de voetnoot in paragraaf 4.6.3. Dat kan leiden tot verhoogde masten of een kortere veldlengte. Dit kan voorkomen worden door een hoekmast toe te passen aan weerszijde van de kruising.

4.7 Geleiderverliezen

Geleiderverliezen zijn de energieverliezen die tijdens transport ontstaan. Door de elektrische weerstand van de geleiders gaat een klein deel van de getransporteerde energie verloren in de vorm van warmte. Er is altijd sprake van verliezen en deze zijn afhankelijk van de stroomsterkte en het type geleider dat wordt toegepast. Deze verliezen worden geleiderverliezen genoemd omdat ze met name ontstaan in de geleiders. Voor de geleiderverliezen wordt uitgegaan van de volgende waarden (deze waarden zijn gebaseerd op netbelasting prognoses voor steekjaar 2035):

- Voor de 380 kV-circuits bedragen de verliezen 0,77 GWh/km/jaar.
- Voor de 220 kV-circuits bedragen de verliezen 0,12 GWh/km/jaar (uitgaande van 220 kV-verbinding met Moldau-masten, zoals bij tracéalternatief 1 of 2).
- Voor de 220 kV-circuits bedragen de verliezen 0,19 GWh/km/jaar (uitgaande van de huidige 220 kV-verbinding met opwaardering naar 4000 A met 3-bundel Warsaw geleider).

4.8 Verkabeling 110 kV

Indien wordt gekozen voor het ondergronds aanbrengen van een 110 kV-verbinding moeten de belastbaarheidseisen worden geborgd. Deze zullen afhankelijk zijn van de specifieke behoefte rondom de betreffende 110 kV-verbinding, echter veelal gelden onderstaande uitgangspunten voor een 110 kV-verkabeling:

- De verbinding bestaat uit 1 kabel per fase.
- In open ontgraving worden de kabels dusdanig diep gelegd dat gronduitdroging niet hoeft te worden beschouwd. De kabels worden in een bed van schoonzand gelegd dat meestal typisch een maximale G-waarde kent van 0,5 K.m/W.
- De zwaarst toepasbare onshore kabel binnen het standaard assortiment binnen TenneT bedraagt een 3.500 mm² aluminium kabel.
- De werkstrook bedraagt minimaal 35 m.
- Een 110 kV-verbinding is doorgaans een redundante verbinding bestaande uit twee circuits, waarbij in normale bedrijfsomstandigheden het vermogen zich verdeelt over de beide verbindingen (50% - 50%). In een storingssituatie dient een enkele verbinding het gehele vermogen te kunnen dragen (0% - 100%).
- Het maximale gewenste vermogen bedraagt 300 MVA, (ofwel 1575 A).

Invloed van bodemcondities
Het voldoen aan de belastbaarheidseisen is afhankelijk van de grondcondities en de liggingsdiepte van de kabels, wat locatieafhankelijk is. Een lokale uitschieter met slechte bodemcondities kan bepalend zijn voor de gehele verbinding, zowel boven- als ondergronds. Per aanlegsituatie is een maximale benodigde G-waarde van de bodem benodigd om de belastbaarheid in het algemeen te borgen.

5. Uitgangspunten bouw 380 kV- hoogspanningsverbinding bovengronds

5.1 Beschrijving bouwwerk en wijze van uitvoering

De huidige 220 kV-hoogspanningsverbinding tussen Vierverlaten - Ens is onvoldoende voor de toekomstige behoefte om vermogen te transporteren. Hiervoor is de nieuwe 380 kV-hoogspanningsverbinding nodig. Er zijn vijf tracéalternatieven bepaald waarvan er uiteindelijk één de functie van transportverbinding moet gaan vervullen.

5.1.1 Algemene beschrijving van de werkzaamheden ten behoeve van het bouwwerk

Voor dit project worden de volgende werkzaamheden voorzien:

- Inventarisatie van kabels en leidingen.
- Uitvoeren van bodemonderzoeken, waaronder archeologie, verontreinigingen, bodemziektes, draagkracht (sonderingen), niet-gesprongen explosieven, grondwaterstanden.
- Uitvoeren ecologische voor- en veldonderzoeken en opstellen ecologische werkprotocollen en gerelateerde uitvoeringsplannen.
- Ontwerpen van de diverse constructies, zowel definitieve als tijdelijke.
- Opstellen van mastenboeken waarop de werkwegen en werkterreinen staan ingetekend benodigd voor de afstemming, berekening en verrekening van nadeelcompensatie voor perceeleigenaren en voor de aannemer die de werkwegen en werkterreinen gaat aanleggen.
- Aanbrengen van werkwegen en werkterreinen die nodig zijn voor de realisatie van de masten en het aanbrengen van de geleiders.
- Het bouwen van funderingen door te starten met het aanbrengen van paalfunderingen, het eventueel maken van bouwputten al dan of niet met gebruik van bouwkuipen en/of onderwaterbeton.
- Het maken van betonnen funderingspoeren (voor meerpaalsfunderingen).
- Het produceren van staalconstructies in fabrieken.
- Op de bouwplaats assembleren middels kranen van de staalconstructies van de vakwerkmasten.
- Plaatsen van hoogspanningsmasten conform programma standaardisatie vakwerkmasten;
- Het aanbrengen van de isolatoren en geleiders.
- Gelijktijdig met de bouw van de verbinding hoogspanningsstations en kabels aanpassen en/of uitbreiden.
- Testen en in bedrijf nemen van de nieuwe verbinding(en), zowel hoogspanningsverbinding bovengronds als eventueel nieuwe aangelegde of aangepaste kabelverbindingen.
- Afhankelijk van de tracékeuze eventueel amoveren van bestaande verbindingen.
- Beheren van de nieuwe assets die binnen het project of de deelprojecten zijn gerealiseerd.
- Slopen van de verbinding (einde levensduur van de nieuw te bouwen masten).

In de paragrafen hierna wordt uitgebreider beschreven welke werkzaamheden plaats vinden.

5.2 Werkwegen en werkterreinen

In overleg met perceeleigenaren wordt definitief bepaald waar werkwegen, werkterreinen en lieropstelplaatsen worden gerealiseerd. TenneT maakt vooraf een mastenboek en rentmeesters stemmen dit

met perceel eigenaren af. Als er definitieve afspraken zijn gemaakt met de perceeleigenaren en deze zijn goed vastgelegd door de rentmeesters neemt de sitemanager samen met de cultuurtechnisch toezichthouder de verantwoordelijkheid over van de rentmeester en zijn zij aanspreekpunt van de perceeleigenaar tijdens de realisatie. Werkwegen kunnen in vele vormen worden aangelegd. De meest voorkomende vorm is een geotextiel op de ondergrond met daarop een laag zand en daar bovenop rijplaten of stelconplaten. Variërende ondergronden kunnen aanleiding zijn voor lokaal maatwerk. Hetzelfde geldt voor de aanleg van werkterreinen en lieropstelplaatsen.

De afmetingen van het werkterrein dienen zodanig gekozen te zijn dat deze voldoende ruimte bieden voor de geplande werkzaamheden, uitlegruimte voor materialen, gescheiden opslag van grond (van verschillende grondlagen), opslag van overige materialen en overige activiteiten. Bij alle hoekmasten is ten behoeve van de geleidermontage extra ruimte benodigd voor de haspels en rem/liermachine, zie onderstaand figuur 5.3.

De afmeting van een werkterrein voor een vakwerkmast in een 380 kV-verbinding is ongeveer 70 x 90 meter. Op plekken waar gehaspeld moet worden is meer ruimte nodig. Daarnaast is ruimte nodig voor werkwegen. Daarom is uitgegaan van een ruimtebeslag van 1 hectare per mast.

Een globale inschatting voor de breedte van een veel voorkomende werkweg die niet aan een sloot grenst (en zonder bochten of passeerhaven) is een strook van 10 m. Deze strook bestaat uit: afrastering, greppel (t.b.v. snelle afvoer van water bij hevige regenval opdat op het aangrenzende perceel geen vernatting ontstaat), zandcunet omwikkeld met geotextiel en een rijbaan opgebouwd uit modulaire verharding (twee stelconplaten geeft 4,0 meter breedte en één stalen rijplaat 3,5 meter).

5.3 Bouw funderingen

5.3.1 Bovengronds aanlegfase - Type fundering

Hieronder is een afbeelding gegeven van een veel voorkomende fundering voor een vakwerkmast. Elke poot van de vakwerkmast is verbonden/ingestort met een x aantal palen. Bij steunmasten zijn dit meestal 1 of 2 palen per poot. En bij een hoekmast zijn dit er meestal 3 of 4. Bij de meerpaalsfundering (2, 3 of 4 palen) wordt de koppeling tussen de mastpoot en de funderingspalen gemaakt met een betonnen poer, die grotendeels onder maaiveld ligt.

Figuur 5.1: Hoogspanningsverbinding bovengronds (type Donaumasten)

5.3.2 Indicatie van paallengte/diepte en afmeting van de fundering

Omdat op dit moment nog niet bekend is waar de masten geplaatst zullen worden is de paallengte of diepte van de paalfunderingen in deze fase van het project nog niet bekend. De paalfunderingen zullen naar verwachting een paallengte hebben variërend tussen de 15 en 30 meter. Dit is nog een erg grove schatting. Om hier meer inzicht in te krijgen kunnen langs de verschillende tracés steekproeven genomen worden van sonderingen aanwezig in het Dinoloket. Wat voor vijf tracéalternatieven een zeer tijdrovend activiteit is. Dit wordt daarom nader onderzocht in het kader van de planuitwerkingsfase nadat het voorkeursalternatief bekend is.

De afmetingen van de funderingen zijn afhankelijk van de belasting die optreedt, een belangrijk aspect hierin is of het een hoekmast, steunmast of eindmast betreft.

5.3.3 Wijze van aanbrengen van palen

Een veel gebruikte paal is de prefab betonpaal. Dit is een grondverdringende paal die wordt ingeheid met een hydraulische hamer. Maar als dit paaltype niet mogelijk is omdat het bijvoorbeeld te veel trillingen of te veel geluid veroorzaakt voor de omgeving, kan uitgeweken worden naar een ander paaltype. Denk hierbij aan een Fundex of een Tubex grout injectiepaal, beide worden trillingvrij ingebracht met behulp van een schroevend ingebrachte stalen (hulp)buis.

5.4 Bouw masten

Na het gereedkomen van fundaties kan begonnen worden met de bouw van de masten. Uitgaande van een standaard Moldau-mast zal deze, op locatie, op een apart hiervoor ingericht werkterrein worden samengebouwd tot secties. De eerste sectie zal nadat de fundatie gereed is worden gemonteerd. De opvolgende samengebouwde secties worden in volgorde na samenbouwen op elkaar gemonteerd, waarna ook de traversen na samenbouwen aan het mastlichaam worden gemonteerd. Na het monteren van de mast zal de mast worden nagelopen en worden de delen waar de secties gemonteerd zijn nabehandeld ter verduurzaming. Aan de traversen worden vervolgens de isolatorkettingen gehangen.

5.5 Trekken geleiders

De werkzaamheden die kenmerkend zijn voor het trekken van de geleiders zijn hieronder uitgeschreven en vallen in hoofdlijnen op te delen in de volgende stappen:

- Ophangen van de isolatoren
- Intrekken van de geleiders

Figuur 5.2 Geleidermontage

Figuur 5.3: Het intrekken van de geleiders

5.5.1 Ophangen van de isolatoren

De werkzaamheden voor het ophangen van de isolatoren zijn doorgaans voorbehouden aan de lijnaannemer die de geleiders zal trekken en meestal ook de masten bouwt of dit aanstuurt. Nadat de mast is opgebouwd hangt de lijnaannemer de isolatorkettingen in de mast aan de traversen. Aan deze isolatorkettingen komen de geleiders te hangen.

Figuur 5.4: Ophangen isolatoren of isolatorkettingen

5.5.2 Het trekken van geleiders

De geleiders worden ingetrokken met behulp van rem- en liermachines op de grond en wielen die in de mast aan de traversen worden gehangen. De geleiders worden tussen twee hoekmasten getrokken. In het verlengde van deze masten staat een rem- of liermachine die ervoor zorgt dat de geleider gecontroleerd over de wielen naar de ander rem- of liermachine wordt geleid. De rem- en liermachines staan op zogenoemde lieropstelplaatsen, dit zijn werkterreinen die specifiek zijn aangelegd voor deze geleider werkzaamheden, die op een afstand gepositioneerd zijn van minimaal drie keer hoogte van de mast.
Dit betekent dat er rondom hoekmasten voldoende ruimte nodig is om de lieropstelling veilig te plaatsen. Indien nodig kan hiervan worden afgeweken mits met berekeningen wordt aangetoond dat de mastconstructie dit aankan.

Voordat de geleider wordt ingetrokken wordt er eerst een dunne voordraad ingetrokken. Die is licht en gemakkelijk in te trekken. Deze voordraad wordt gebruikt om een dikkere voordraad in te trekken totdat de sterkte is bereikt om de definitieve geleider mee in te trekken. Nadat de geleiders zijn ingetrokken worden deze gefixeerd en opgehangen aan de isolatorkettingen. De wielen worden weer verwijderd.

Waar andere infrastructuur wordt gekruist wordt vaak gewerkt met jukken. Dit zijn houten of stalen stellages aan weerszijden van de te kruisen infrastructuur die zorgen dat, mocht een geleider om wat voor reden dan ook doorzakken tijdens het intrekken, de geleider tijdelijk kan rusten en niet verder doorzakt. Hierdoor wordt de onderliggende infrastructuur beschermd.

Figuur 5.5: Voorbeeld van houten jukken

5.5.3 Ophangen van bundelafstandhouders en varkenskrullen

Figuur 5.6: Aanbrengen van bundelafstandhouders met invaarwagens

Het aanbrengen van draadmarkeringen

Na het intrekken van de geleiders en het inregelen, waarbij de geleiders op de juiste hoogte worden gebracht, worden de bundelafstandhouders en vogelmarkeringen geplaatst. De bundelafstandhouders wordt met invaarwagens geplaatst in de fasebundels. Deze componenten zorgen ervoor dat de drie geleiders waar de fasebundel uit bestaat, niet tegen elkaar aan slaan door de wind en voorkomen daarmee geluidsoverlast en schade aan de geleiders. De draadmarkeringen worden met een lijnfiets geplaatst in de bliksemdraden en vergroten de zichtbaarheid van deze relatief dunne geleiders voor vogels. Vaak worden hiervoor varkenskrullen gebruikt, maar ook andere vormen van vogelmarkeringen zijn mogelijk.

6. Uitgangspunten aanleg 110 kV- hoogspanningsverbinding ondergronds

Bij alle tracéalternatieven is er in beginsel (mits technisch realiseerbaar en vergunbaar) sprake van verkabelen van delen van de bovengrondse 110 kV-verbinding om zo ruimte te maken voor de nieuwe 380 kV-hoogspanningsverbinding. In dit hoofdstuk is in hoofdlijnen beschreven hoe 110 kV-kabels aangelegd kunnen worden. Hieronder wordt uitgelegd hoe de werkwijze middels open ontgraving en een van de meest voorkomende sleufloze techniek, boring, plaatsvindt.

6.1 Aanleg van een kabeltracé middels open ontgraving

De aanleg van kabeltracés verloopt volgens de opvolgende stappen:

- Inrichting werkterrein en uitvoeringsmethoden, zie paragraaf **6.2.1** sub paragraaf **Open ontgraving en kabelaanleg**
- Monteren van de kabeleinden zie paragraaf **6.2.2. Monteren van de kabeleinden**
- Testen en inbedrijfname, zie paragraaf **6.2.3 Testen en Inbedrijfname**
- Opruimen werkterreinen en cultuurtechnisch herstel, zie paragraaf **6.2.4 Opruimen werkterreinen en cultuurtechnische herstel**

6.2 Aanleg van een kabeltracé middels boren

In paragraaf 3.3.5 staat dat het toekomstige beleid gericht is op sleufloze technieken. Voor het schrijven van dit hoofdstuk is uitgegaan van de meest toegepaste techniek: Horizontal Directional Drilling (HDD). Ondanks dat het uitgangspunt ‘sleufloos tenzij’ is, ontkomt men er niet aan om rondom de in- en uittredepunten en moflocaties delen in open ontgraving uit te voeren. In de navolgende paragrafen wordt nader ingegaan op beide technieken.

Hieronder de stappen die worden doorlopen en opvolgend per stap nadere uitleg.

- Inrichting werkterrein en uitvoeringsmethoden
- Monteren van de kabeleinden
- Testen en inbedrijfname
- Opruimen werkterreinen en cultuurtechnisch herstel

6.2.1 Inrichting werkterrein en uitvoeringsmethoden

Inrichting van werkterreinen, gestuurd boren (HDD) en kabeltrek
Voor gestart kan worden werkwegen en werkterreinen aangelegd. Bij de methode boren worden er op diverse plaatsen boorwerkterreinen aangelegd. Door middel van boringen wordt ruimte gemaakt, waarna een mantelbuis in de bodem wordt getrokken. Deze mantelbuis vormt het beschermende omhulsel waarin de kabel uiteindelijk wordt getrokken. De maximale lengte van de boring is afhankelijk van de maximale lengte dat op de kabelhaspel past. Laatstgenoemde is weer afhankelijk van de dikte van de kabel, ofwel het kabeltype. Haspels kunnen niet oneindig groot gemaakt worden anders kunnen ze binnen Nederland niet meer over land getransporteerd worden.

Open ontgraving en kabelaanleg
Bij open ontgraving wordt veelal gewerkt met een open sleuf. Dit houdt in dat de bovengrondse teelaarde apart wordt gezet, evenals de onderliggende B- en C-laag. Er wordt een werkstrook ingericht met rijbaan en tijdelijke gronddepots, en er kan bemaling nodig zijn om grondwater af te voeren. Vervolgens kan de kabeltrek plaatsvinden. De sleuf kan eventueel aangevuld worden met backfill zand, waar opvolgend de uitgegraven grond wordt teruggebracht en de werkstrook wordt hersteld.

6.2.2 Monteren van de kabeleinden

Moffen
Op de locaties waar twee kabeluiteinden bij elkaar komen, worden de kabels met moffen aan elkaar verbonden. Dit gebeurt in mofputten. De moflocaties worden ingericht met een lasput, waarin gewerkt wordt onder droge omstandigheden. Vaak wordt een lascontainer geplaatst om een gecontroleerde werkomgeving te creëren.

Kabeleindsluitingen
Op de locaties waar de kabel binnen het hoogspanningsstation de bodem uitkomt, worden de kabels gemonteerd in kabeleindsluitingen. Dit geldt ook op plaatsen waar de kabel overgaat in een bovengrondse lijnverbinding en heet een opstijgpunt; ook hier worden de kabels met kabeleindsluitingen uitgevoerd.

6.2.3 Testen en Inbedrijfname

Alvorens de kabelverbinding in bedrijf wordt genomen is deze volledig beproefd.

Kabelmanteltest
Deze spanningsproef wordt uitgevoerd met 5 kV (DC) voor 5 min en beproefd of de buitenmantel van de kabel beschadigd is en wordt na elke kabeltrek uitgevoerd. Als deze erdoor slaat, dan is de kabel ergens aan de buitenzijde beschadigd en dient de locatie opgespoord te worden en te worden beoordeeld of het een lichte beschadiging betreft (op locatie te repareren) of een significante schade betreft (vervangen kabeldeel). Deze beproeving kan middels een meetkoffer plaatsvinden.

HS-test
Nadat de kabelverbinding volledig is gerealiseerd, incl. alle moffen en eindsluitingen kan de hoogspanningstest plaatsvinden en wordt de kabel gedurende 30 minuten beproefd met een spanning die tweemaal zo hoog is als de normale bedrijfsspanning. Voor deze beproeving dient er serieus materieel te worden geleverd (enkele vrachtwagens) en geldt er een elektrocutiegevaar. Deze beproeving wordt eenmalig bij oplevering uitgevoerd. Nadat deze testen succesvol zijn kan de kabelverbinding in bedrijf worden genomen.

6.2.4 Opruimen werkterreinen en cultuurtechnische herstel

Nadat de mofputten zijn afgewerkt en de werkwegen en werkterreinen zijn opgeruimd vindt het cultuurtechnisch herstel plaats. Dat wil zeggen dat de bodem weer in nette staat wordt opgeleverd aan de perceeleigenaar.

7. Beïnvloeding van externe infrastructuur

In dit hoofdstuk wordt kort beschreven welke Elektromagnetische (EM) beïnvloedingsmechanismen er zijn, en of deze van toepassing zijn bij een bovengrondse hoogspanningsverbinding. Een complete analyse op basis van normeringen, waaronder de norm NEN3654 (wederzijdse beïnvloeding van buisleidingen en hoogspanningssystemen) en de RLN00398, het onderzoek van de beïnvloeding van nabijgelegen spoor is een zeer uitgebreid onderzoek dat nog zal moeten worden uitgevoerd. Daarom wordt in deze fase van het project een risico-inschatting gemaakt van de beïnvloedingseffecten. Als kan worden aangenomen dat een eventuele beïnvloeding is op te lossen met mitigerende maatregelen in de externe infra of bij de TenneT hoogspanningsverbinding, dan is een tracé-aanpassing niet noodzakelijk. Een optimalisatie door bijvoorbeeld het tracé binnen de onderzochte zones rond de tracéalternatieven te verplaatsen is wel mogelijk.

Er is een aantal EM-beïnvloedingsmechanismen te onderscheiden, namelijk:
- Capacitieve beïnvloeding ten gevolge van het elektrisch veld;
- Inductieve beïnvloeding ten gevolge van het magnetisch veld;
- Weerstandsbeïnvloeding;
- Hoogfrequente beïnvloeding;
- Thermische beïnvloeding;
- Mechanische beïnvloeding.

7.1 Capacitieve beïnvloeding ten gevolge van het elektrisch veld

Tussen een spanningvoerende geleider en de aarde is een elektrisch veld aanwezig. De veldsterkte is het hoogst in de buurt van de geleiders. In verband met veiligheid worden er eisen gesteld aan de hoogte van het elektrisch veld. Als gevolg van een elektrisch veld kan een groot en niet geaard metalen object elektrisch opgeladen worden. Indien een mens dit object aanraakt, zal de opgebouwde lading via het menselijk lichaam naar de aarde worden afgevoerd. Deze ontlading kan voelbaar, pijnlijk en zelfs dodelijk zijn afhankelijk van de grootte van de opgebouwde lading. Bij het vasthouden van het metalen object zal er ook een volgstroom door het menselijk lichaam gaan lopen. Indien het object kan worden geaard is dat een eenvoudige oplossing. Het oplossen van capacitieve beïnvloeding met name bij warmtenet leidingen kan lastig zijn zonder verliezen.

7.2 Inductieve beïnvloeding ten gevolge van het magnetisch veld

Als gevolg van een stroom door de geleider is er een 50 Hz magneetveld rond de geleider aanwezig. Elektrische en elektronische apparatuur aanwezig in het 50 Hz magneetveld kunnen mogelijk verstoord raken door het magneetveld. In het algemeen zijn de gebieden waar een hoogspanningslijn staat publiek toegankelijk en voldoet het ontwerp aan de wettelijke eis dat het magneetveld niet boven 100 microTesla mag komen. Dit is één van de ontwerpcriteria van de standaardisatie van masten. TenneT houdt zich tevens aan het voorzorgbeleid gedefinieerd door het toenmalige ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) en de RIVM-handreiking voor het berekenen van de magneetveldzone bij bovengrondse hoogspanningslijnen. De indicatieve magneetveldzone, met een advieswaarde van jaargemiddeld 0,4

microTesla, bepaalt die afstand. Dit betekent dat er zo min mogelijk gevoelige gebouwen (o.a. woningen, scholen, kinderdagverblijven, crèches of woonvormen) komen te liggen in het gebied rond bovengrondse hoogspanningslijnen waarbinnen het jaargemiddelde magneetveld hoger kan zijn dan 0,4 microTesla. Bij het traceren wordt hier rekening mee gehouden. Als gevolg van het magneetveld worden spanningen geïnduceerd door metalen structuren die parallel lopen aan de hoogspanningsverbinding. Bij gesloten lussen kan er een kringstroom in de lussen gaan lopen. Dit is de inductieve beïnvloeding.

7.3 Weerstandsbeïnvloeding

Bij een 1-fase kortsluiting over een isolator in een mast zal een deel van de kortsluitstroom via de mast door de bodem terug naar de bron (de voedende hoogspanningsstations) vloeien. Bij de aarding van de mast zal de stroom naar de bodem uittreden. Als gevolg van de weerstand van de bodem en de stroom zal er een spanningsverschil in de bodem ontstaan. Hoe verder van het aardpunt, hoe kleiner de spanning. Dit afnemende verloop wordt de potentiaaltrechter genoemd. Een gevolg van dit fenomeen is dat er op een buisleiding van staal een te hoge spanning kan ontstaan als deze minder dan 50 meter van een mast verwijderd is.

7.4 Hoogfrequente beïnvloeding

Als gevolg van het hoge elektrische veld rond spanningvoerende geleiders kunnen er deelontladingen optreden (corona-effect). Deze deelontladingen zijn hoogfrequent en zouden mogelijk radio, telecom en radarinstallaties kunnen verstoren. Het effect van dit fenomeen is beperkt qua afstand en leidt over het algemeen niet tot significant nadelige beïnvloeding.

7.5 Thermische beïnvloeding

Elke (hoogspannings-)verbinding waar stroom doorheen loopt wordt warm. Deze beïnvloedingsvorm dient alleen beschouwd te worden bij hoogspanningskabels. Afhankelijk van de stroomsterkte en grondgesteldheid wordt de bodem iets opgewarmd. De opwarming van de grond dient binnen gestelde limieten te blijven zodat leidingen in de nabijheid (en de producten die erdoorheen stromen) niet te veel worden opgewarmd door de hoogspanningskabels. Hoewel de geleiders van een hoogspanningslijn ook warmte produceren is er geen beïnvloeding op overige infrastructuur. Een hoogspanningslijn waarbij de geleiders te zwaar belast worden gaat doorhangen. Dit mag niet leiden tot gevaarlijke situaties waarbij de afstand tot de ondergrond te gering wordt.

7.6 Mechanische beïnvloeding

Mechanische beïnvloeding raakt ook externe veiligheid. Een voorbeeld is het omvallen van een mast (bij realisatie, onderhoudswerkzaamheden of extreme weersomstandigheden). Indien een mast omvalt kan deze op een weg of snelweg terechtkomen of een nabijgelegen buisleiding doorboren. Een mast kan daarnaast niet boven op een buisleiding gebouwd worden, vanwege de fundering.

7.7 Beïnvloeding op spoorwegen

7.7.1 Beïnvloeding bij 1.500 V gelijkstroom (DC)

Spoorwegen zijn gevoelig voor elektromagnetische velden. Als een hoogspanningslijn binnen een afstand van 700 meter in de buurt van een spoorlijn (1.500V DC) loopt, moet onderzocht worden of er beïnvloeding optreedt. ProRail als beheerder van het spoorwegennet heeft hiervoor een richtlijn ‘Quick scan’. Als deze wordt ingevuld kan het resultaat zijn dat er geen verstorende beïnvloeding wordt verwacht of dat er met de ProRail richtlijn RLN00398 nader onderzoek moet plaatsvinden. Uit het gedetailleerde onderzoek op basis van de RLN00398 moet blijken wat de beïnvloeding inhoudt en welke mitigerende maatregelen getroffen kunnen worden. Deze maatregelen kunnen zowel bij de spoorweginstallaties als bij de hoogspanningslijn van TenneT zijn. Afhankelijk van de locatie kunnen mitigerende maatregelen negatieve gevolgen hebben voor de spoorweg en kan het onderzoek en de uitvoering van de maatregelen een lange doorlooptijd hebben. Om deze reden wordt dit specifiek gemeld in deze paragraaf. In het Raakvlakkenonderzoek Lelylijn en 380 kV-hoogspanningsverbinding Vierverlaten – Ens wordt dieper ingegaan op de mogelijke effecten van de Lelylijn.

8. Bijlagen

8.1 Verklarende woordenlijst en afkortingen

Belasting hoogspanningsverbindingen
De op een bepaald moment benutte capaciteit van de hoogspanningsverbinding.

Bevoegd gezag
Een of meer overheidsinstanties die bevoegd zijn om over de activiteit van de initiatiefnemer een besluit te nemen. Bij dit project zijn de ministers van Klimaat en Groene Groei en van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening het bevoegd gezag. Voor vergunningen zijn dat gemeenten, provincies, Rijkswaterstaat, waterschappen en een aantal ministeries.

Bovenregionale infrastructuur
Infrastructuur zoals snelwegen, kanalen, spoorverbindingen of energie-infrastructuur die twee of meer regio's met elkaar verbinden.

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

Circuit
Het hoogspanningsnet werkt met wisselstroom in drie fasen. Drie geleiders of geleidersbundels tezamen vormen een circuit: voor elke fase is er één geleiderbundel. Hoogspanningsverbindingen worden redundant uitgevoerd, dat betekent dat een storing of defect van een lijn niet tot stroomuitval zal leiden. Eén hoogspanningsverbinding bestaat daarom uit minimaal twee circuits van elk drie geleiders of geleiderbundels.

Combineren
Het op één mast aanbrengen van verschillende hoogspanningsverbindingen. Het combineren van een nieuwe verbinding met een bestaande verbinding betekent dat een nieuwe gecombineerde verbinding wordt gebouwd, waarna de bestaande verbinding kan worden verwijderd.

Corona-effect / Coronageluid
Onder bepaalde omstandigheden (hoge veldsterkte, mist) kunnen elektrostatische ontladingen in de verbinding optreden. Dit gaat gepaard met een licht knetterend geluid. Door de ontladingen kunnen luchtdeeltjes worden geïoniseerd.

Elektrisch veld
Een elektrisch veld ontstaat wanneer er een verschil is in spanning tussen een voorwerp en zijn omgeving.

Elektromagnetische velden
Het geheel van elektrische en magnetische velden.

EM-beïnvloeding of Elektromagnetische-beïnvloeding
De beïnvloeding van een systeem of apparaat door elektromagnetische velden. Hierdoor kan de werking worden verstoord of kan schade ontstaan.

Fase
Het spanningvoerende deel van een elektrische installatie. In hoogspanningsinstallaties die gebaseerd zijn op wisselspanning zijn er altijd drie fasen. Op iedere fase staat een sinusvormige wisselspanning, waarbij de sinussen per fase in de tijd zijn verschoven (faseverschil).

Geleider
De lijnen tussen de hoogspanningsmasten. Deze zijn gemaakt van hoofdzakelijk aluminium en geleiden de elektrische stroom tussen de hoogspanningsstations.

Geleiderbundel
Bij hogere stromen in een hoogspanningslijn zijn er meerdere geleiders nodig. Er wordt dan een bundel van 2, 3 of 4 geleiders gebruikt per fase.

Hoogspanningsstation
Plaats waar hoogspanningsverbindingen onderling zijn verbonden (en waar ook de koppeling mogelijk is met elektriciteitscentrales). Ook wel aangeduid als koppelstation of transformatorstation. Bij koppelingen tussen verbindingen met verschillende voltages zijn transformatoren noodzakelijk.

Hoogspanningsverbinding
Verbinding tussen twee punten waardoor elektriciteit getransporteerd kan worden. Bij hoogspanning gaat het om een spanning van 110 kV, 150 kV, 220 kV of 380 kV. De hoogspanningsverbindingen zijn bedoeld om grote hoeveelheden elektriciteit te transporteren van de productielocaties naar de gebieden waar het verbruik plaatsvindt.

Integrale Effectenanalyse (IEA)
De Integrale Effectenanalyse (IEA) is een rapport waarin de impact van de tracéalternatieven voor de nieuwe verbinding tussen Vierverlaten en Ens wordt beschreven en waarmee de tracéalternatieven integraal met elkaar worden vergeleken.

Kabel (hoogspanning)
Een geleider met een kunststof isolatielaag, geschikt om stroom te transporteren bij een hoge spanning. Een kabel kan ondergronds toegepast worden. Dan wordt gesproken over ‘verkabelen’.

Kilovolt (kV)
De eenheid waarin de spanning wordt uitgedrukt. 1 Kilovolt is 1.000 Volt.

Klokgetal
Een term die wordt gebruikt om het faseverschil tussen de drie fasen van een circuit aan te geven. Faseverschil verwijst naar het verschil in tijd tussen de spanning van de drie fasen in een wisselstroomcircuit.

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.

Leefomgeving
Kenmerken van de fysieke en sociale omgeving, die de gezondheidstoestand of de kwaliteit van de omgeving waarin de mens zich begeeft beïnvloeden.

Leveringszekerheid
De mate waarin alle partijen die zijn aangesloten op het hoogspanningsnet op elk moment de gewenste hoeveelheid elektrische energie kunnen afnemen of invoeden. Hiervoor is het nodig dat het hoogspanningsnet beschikt over voldoende transportcapaciteit, dat er voldoende redundantie is om geplande (onderhouds)werkzaamheden en ongeplande niet-beschikbaarheid (bijvoorbeeld door storingen) van delen van het net op te vangen en dat vraag en aanbod van elektrische energie in balans zijn. Redundantie betekent dat een storing of defect van een lijn niet tot stroomuitval zal leiden.

Lijn (hoogspanning)
Een geleider zonder isolatielaag, geschikt om hoog in een mast op te hangen (geïsoleerd van de aarde). Op die manier kan de lijn stroom transporteren bij een hoge spanning. Een lijn kan alleen bovengronds toegepast worden.

Magneetveld
Het natuurkundige verschijnsel dat ontstaat wanneer er elektrische stroom door een geleider loopt. De veldsterkte wordt uitgedrukt in micoTesla (µT).

Magneetveldzone
De zone rondom hoogspanningslijnen waarbinnen het jaargemiddelde magneetveld hoger kan zijn dan 0,4 microtesla.

Magnetische veldsterkte
De sterkte van het magnetisch veld. De magnetische veldsterkte wordt uitgedrukt in tesla (T). Bij lage veldsterkte, zoals in de buurt van hoogspanningslijnen, wordt de veldsterkte meestal uitgedrukt in microtesla (µT); een microtesla is een miljoenste deel van een tesla.

Mastvoet
Het ruimtebeslag van de mast op de grond.

Microtesla (µT)
Een miljoenste deel van een tesla, de eenheid waarmee magnetische velden worden uitgedrukt. Strikt genomen wordt met microtesla de magnetische inductie aangegeven, maar in de praktijk wordt dit vaak magnetische veldsterkte genoemd.

Milieueffectrapportage (mer)
Procedure voor de totstandkoming van en de besluitvorming over de milieueffectrapportage, zodat milieu een volwaardige rol krijgt bij de besluitvorming van ruimtelijke projecten. Ook wel mer-procedure.

Milieueffectrapport (MER)
Het rapport waarin de resultaten van de milieubeoordeling van de tracéalternatieven vastgelegd worden.

Milieuthema's
Onderdelen van het milieu waarop de effecten van de nieuw aan te leggen verbinding worden onderzocht en de alternatieven met elkaar worden vergeleken. De milieuthema’s die in MER onderzocht worden zijn opgenomen in het beoordelingskader.

Moflocaties
Dit zijn de locaties vanaf waar de kabels door de grond worden geboord. Op deze locaties worden twee stukken kabel aan elkaar gekoppeld.

Moldaumast
Nieuw ontwikkeld type vakwerkmast, waarbij het mastontwerp is geoptimaliseerd voor een zo smal mogelijke magneetveldzone. Een Moldaumast is geschikt voor 2 circuits van maximaal 380 kV.

Natura 2000-gebied
Natura 2000 is een netwerk van beschermde natuurgebieden binnen de lidstaten van de Europese Unie. Het doel van dit netwerk is om de achteruitgang van de biodiversiteit met alle lidstaten tegen te gaan. Deze gebieden zijn aangewezen omdat ze van internationaal belang zijn, bijvoorbeeld als overwinteringsplaats voor vogels. In Nederland zijn 166 gebieden aangemeld. Het netwerk omvat alle gebieden die zijn beschermd op grond van de Vogelrichtlijn (1979) en de Habitatrichtlijn (1992).

Netbeheerder
De instantie die (op basis van wettelijke regels) verantwoordelijk is voor het beheer van een elektriciteitsnetwerk. In Nederland is TenneT de landelijke netbeheerder voor het hoogspanningsnetwerk van 110kV en hoger. Voor het laag- en middenspanningsnetwerk (tot 110kV) zijn er regionale netbeheerders.

Notitie reikwijdte en detailniveau (NRD)
Eerste stap in de mer-procedure waarbij de reikwijdte en het detailniveau van het MER wordt aangegeven.

Omgevingswet
De Omgevingswet bundelt de wetgeving en regels voor ruimte, wonen, infrastructuur, milieu, natuur en water. En regelt daarmee het beheer en de ontwikkeling van de leefomgeving. Met de Omgevingswet wordt gestreefd naar integrale besluitvorming.

Opwaarderen
Het vergroten van de transportcapaciteit van een hoogspanningsverbinding door het vervangen van de geleiders. Afhankelijk van het gekozen type geleider zullen ook versterkingen van de mast en/of fundering worden uitgevoerd.

Plan-MER
Milieueffectrapport over de effecten op de fysieke leefomgeving van het plan (de verschillende alternatieven).

Planuitwerkingsfase
De planuitwerkingsfase volgt na het vaststellen van het voorkeursalternatief door de minister, de voorkeursbeslissing. In deze fase wordt het voorkeursalternatief (VKA) in detail uitgewerkt tot een ontwerp en een ruimtelijk-planologisch besluit (‘het projectbesluit’).

Projectbesluit
Besluit dat in de planuitwerkingsfase van het project opgesteld wordt op basis van de Omgevingswet. In het projectbesluit legt het bevoegd gezag vast op welke manier dit het project zal uitwerken. Er staat in elk geval in hoe het project eruit zal zien, welke maatregelen getroffen worden om het project te realiseren en welke maatregelen getroffen worden om nadelige gevolgen voor de omgeving te beperken.

Project-MER
Milieueffectrapport over de effecten op de fysieke leefomgeving van het project (het voorkeursalternatief).

Spanning
Potentiaalverschil tussen twee punten. De hoogte van de spanning wordt uitgedrukt in Volt (V). Het hoogspanningsnet in Nederland kent een spanning van 380.000 V ofwel 380 kiloVolt (380 kV).

Stroom
Elektrische stroom is beweging van elektronen (negatieve elektrische ladingen) in een geleider, bijvoorbeeld een metaaldraad die onder elektrische spanning staat. De intensiteit van de stroom of stroomsterkte wordt uitgedrukt in Ampère (A).

Tracé
De lijn door het landschap waar de nieuwe hoogspanningsverbinding wordt gesitueerd.

Tracéalternatieven
Mogelijke alternatieven die realistisch worden geacht op basis van de kansen en belemmeringen, de traceringsprincipes en een globale beoordeling van de IEA-thema's. Een tracéalternatief is een mogelijke manier waarop de nieuwe hoogspanningsverbinding kan worden gerealiseerd. Een tracéalternatief bestaat uit een tracé en een beschrijving van de vormgeving (welk type mast wordt gebruikt en is er sprake van combineren of bundelen).

Transportcapaciteit
De maximale hoeveelheid elektrisch vermogen die kan worden getransporteerd door een component of systeem. In dit rapport meestal gebruikt in de context van een hoogspanningsverbinding. Transportcapaciteit wordt uitgedrukt in MegaVoltAmpere (MVA). Daarnaast wordt de term capaciteit of transportcapaciteit ook gebruikt om de maximale stroomsterkte van de geleiders (in kilo Ampère of kA) aan te geven.

Uitlegstroken
Het gebied waar de mantelbuizen voor een gestuurde boring tijdelijk worden neergelegd.

Vakwerkmast
Traditionele hoogspanningsmast, bestaande uit een open raamwerk van stalen spanten.

Variant
Lokaal andere mogelijkheden binnen een alternatief.

Varkenskrul
Krulvormig object dat aan de bliksemdraden wordt vastgemaakt zodat de zichtbaarheid voor vogels vergroot wordt en de kans dat ze met een geleider in aanraking komt, verkleind wordt.

Verbinding
In het MER wordt onder een verbinding verstaan het geheel van masten en geleiders waarover onder hoge spanning elektriciteit kan worden getransporteerd tussen Vierverlaten en Ens.

Verbruik
De hoeveelheid elektriciteit die door gebruikers (zoals huishoudens en bedrijven) op een bepaald moment wordt afgenomen.

Verkabelen
Zie kabel (hoogspanning).

Vermogen
Maat voor de hoeveelheid energie per tijdseenheid. 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).

Voorkeursalternatief (VKA)
Het alternatief dat na zorgvuldige afweging van effecten op milieu, omgeving, techniek, kosten en toekomstvastheid de voorkeur heeft van het bevoegd gezag.

Voorkeursbeslissing
Het voorkeursalternatief wordt vastgesteld door het nemen van een voorkeursbeslissing door de ministers van Klimaat en Groene Groei en van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening. De voorkeursbeslissing wordt ter inzage gelegd (samen met de IEA).

Voornemen (of voorgenomen activiteit)
De ontwikkeling of activiteit die de initiatiefnemer van plan is om uit te voeren.

Weerstandsbeïnvloeding
Beïnvloeding van objecten in of op de grond in de buurt van een hoogspanningsmast, ten gevolge van stroom door de grond. Deze stroom veroorzaakt potentiaalverschillen door de elektrische weerstand van de bodem. Dit kan leiden tot schade of aanraakspanningen.

Wisselstroom
Wisselstroom (ook wel aangeduid als AC) is een elektrische stroom met periodiek wisselende stroomrichting. In zijn algemeenheid verstaat men onder wisselstroom de vorm van elektriciteit (elektrische energie) zoals die via het elektriciteitsnet geleverd wordt aan huishoudens en industrie. Het spanningsverschil, uitgedrukt in volt, wisselt volgens een sinusoïdale kromme met een frequentie van meestal 50 keer per seconde, oftewel 50 Hz.

Afkortingen

IEA
Integrale effectenanalyse

kA
Kiloampère

kV
Kilovolt

MER
Milieueffectrapport

mer
Milieueffectrapportage

MW
Megawatt

NRD
Notitie Reikwijdte en Detailniveau

VKA
Voorkeursalternatief

ZRO
Zakelijk Recht Overeenkomst