movares smart urban engineering

Rapport

Raakvlakkenonderzoek Lelylijn en 380 kV-hoogspanningsverbinding Vierverlaten - Ens

EMC, kruisingen en beoogde spoorwegstationslocaties

Versie: 1.0
Status: Vrijgegeven
Datum: 14-02-2025
Kenmerk: --HS-RAP-24010989

Autorisatieblad

Raakvlakkenonderzoek Lelylijn en 380kV-hoogspanningsverbinding Vierverlaten - Ens

EMC, kruisingen en beoogde spoorwegstationslocaties

	Naam	Akkoord	Datum
Opgesteld door		V	11-02-2025
Gecontroleerd door		V	12-02-2025
Vrijgegeven door		V	14-02-2025

Versiehistorie

Versie	Naam	Datum	Korte toelichting
0.1		11-10-2024	Eerste conceptversie
0.2		13-12-2024	Feedback TenneT verwerkt, onderdelen kosten en aandachtspunten realisatie (bouw) toegevoegd.
0.3		19-12-2024	Kaarten vervangen en kleine tekstuele aanpassingen
0.4		07-02-2025	Tussentijdse ongecontroleerde conceptlevering om voortgang te laten zien
1.0		14-02-2025	Eerste definitieve versie met daarin tweede ronde feedback volledig verwerkt

Samenvatting

In deze notitie zijn de raakvlakken onderzocht tussen het bundelingstracéalternatief van de Lelylijn en tracéalternatieven 4 en 5 van de hoogspanningsverbinding Vierverlaten - Ens. Aandachtspunten zijn onderzocht op elektromagnetische beïnvloeding, kruisingen en invloed van de hoogspanningsverbinding op de stationslocaties.

Het tractie-energievoorzieningssysteem van de Lelylijn is één van de belangrijkste factoren voor elektromagnetische beïnvloeding tussen beide lijnen. Binnen dit onderzoek is uitgegaan van het worstcasescenario met 1500 V gelijkspanning. Alhoewel beide lijnen op verschillende locaties binnen 100 meter van elkaar parallel lopen, is uit onderzoek gebleken dat er geen directe belemmeringen zijn om elektromagnetische compatibiliteit te bereiken. Voorwaarde is wel dat er mitigerende maatregelen worden genomen. Met het nemen van de mitigerende maatregelen is een bundeling met een onderlinge afstand van 100 meter, en een onderlinge afstand van 50 meter over korte lengte, mogelijk. De mitigerende maatregelen dienen genomen te worden in zowel het hoogspanningssysteem, de koppelweg als in de spoorweginfrastructuur.

De bundeling tussen Emmeloord en Lemmer is niet dusdanig meegenomen in de studie naar inductieve beïnvloeding. Op deze locatie zijn beide tracés duidelijk nog niet op elkaar afgestemd en zal met de huidige tracés gesteld kunnen worden dat het niet mogelijk is. Dat heeft niet alleen met de inductieve beïnvloeding te maken, maar ook met onderhoudbaarheid gezien de geleiders van de 380 kV hoogspanningsverbinding boven het spoor lopen over grote lengtes. Wel is de inschatting dat hier voldoende ruimte is om beide tracés op voldoende afstand van elkaar te plaatsen.

Op verschillende locaties kruisen beide lijnen elkaar, vaak met flauwe hoeken, die vanuit elektromagnetische beïnvloeding en onderhoudbaarheid niet wenselijk zijn. Kruisingen kunnen in veel gevallen worden vermeden door kleine aanpassingen aan de tracéalternatieven van zowel de 380 kV-verbinding als de Lelylijn. De kruisingen die niet vermeden kunnen worden kunnen technisch haalbaar worden door een haakse hoek op te nemen bij een kruising met hoekmasten of het verhogen van de hoogspanningsgeleiders met hogere masten en extra masten zodat de veldlengte verkleint en de geleider minder doorhangt.

De stationslocaties vormen het grootste aandachtspunt. Dit geldt vooral bij de stations Heerenveen en Emmeloord bij een ligging ten oosten van de A6. Op deze locaties heeft de hoogspanningsverbinding met de ZRO-strook en magneetveldzone grote impact op de zoekgebieden naar stations.. Bovendien vergroot de hoogspanningsverbinding de ruimtelijke barrière van de Lelylijn en snelweg. Ook de zoekgebieden van Drachten en Joure worden geraakt door de ZRO-strook en magneetveldzone, maar in mindere mate waardoor een station nog wel gerealiseerd kan worden. Voor Heerenveen en Emmeloord zijn er meerdere varianten mogelijk en is het afhankelijk van de variant in hoeverre er aandachtspunten zijn. Voor een deel van de varianten zijn er oplossingen mogelijk met een kleine aanpassing aan de tracéalternatieven van beide verbindingen. Om bundeling met alle varianten van de Lelylijn te kunnen garanderen zijn er extra varianten nodig bij Emmeloord en Heerenveen. Bij Drachten en Joure kunnen de aandachtspunten opgelost kunnen worden door het beter op elkaar afstemmen van beide tracéalternatieven.

Bij het realiseren van de spoorverbinding in nabijheid van de hoogspanningsverbinding zijn vooral de kruisingen een aandachtspunt. Kruisingen tussen hoogspanningsverbindingen en spoorwegen komen vaker voor en zijn op te lossen door het tijdelijk uitzetten van de hoogspanningsverbinding en het toepassen van kortere stukken bovenleiding ter hoogte van de kruising. Ook is het aan te raden om niet meerdere kruisingen kort achter elkaar te plaatsen.

Inhoudsopgave

Inleiding **5**

1 Elektromagnetische compatibiliteit **9**

1.1 ProRail richtlijn RLN00398 9
1.2 Nabijheid van spoor- en 380 kV-hoogspanningstracéalternatieven 9
1.3 Uitgangspunten onderzoek EMC 10
1.4 Resultaten en conclusies 11

2 Kruisingen **16**

3 Stationslocaties **21**

3.1 Beoordelingsmethode 21
3.2 Leek 22
3.3 Drachten 23
3.4 Heerenveen 24
3.5 Joure 27
3.6 Lemmer 29
3.7 Emmeloord 30

4 Aandachtspunten realisatie (bouw) **33**

5 Kosten van maatregelen **34**

6 Conclusie **37**

6.1 Elektromagnetische beïnvloeding 37
6.2 Kruisingen 37
6.3 Stationslocaties 37
6.4 Aandachtspunten realisatie 38
6.5 Meerkosten van maatregelen 38

Bijlage 1 Raakvlakkenstudie met 25kV **39**

Bijlage 2 Studie EMC Parallelloop Lelylijn spoorlijn en 380 kV-hoogspanningsverbinding Vierverlaten - Ens **44**

Bijlage 3 Bijlage 3 Studie EMC Verkenning EMC van bundeling Lelylijn met 380 kV **45**

Colofon **46**

Inleiding

De verkenning 380 kV-hoogspanningsverbinding Vierverlaten - Ens (hierna: project 380 kV) en het MIRT onderzoek Lelylijn in samenhang met het NOVEX Ontwikkelperspectief Lelylijn zijn zogeheten raakvlakprojecten van elkaar vanwege de mogelijke samenloop van beide projecten. Voor beide projecten zijn nog verschillende alternatieve tracés in beeld. Het project 380 kV bevindt zich in de verkenningsfase die onderdeel uitmaakt van de projectprocedure. Het project Lelylijn bevindt zich in een fase eerder, in de MIRT-onderzoeksfase.
Vanuit de regio waarin beide projecten spelen hebben bestuurders de wens uitgesproken dat het project 380 kV de komst van de Lelylijn niet onmogelijk mag maken. De Lelylijn en de hieraan gerelateerde ontwikkelingen zijn namelijk, net als het project 380 kV-hoogspanningsverbinding Vierverlaten-Ens, projecten van nationaal belang. De tracéalternatieven van zowel de 380 kV-hoogspanningsverbinding als de Lelylijn die worden gebundeld langs de A6 en A7 staan hier centraal. Het gaat hierbij om een parallelloop van zowel 380 kV-hoogspanningsverbinding als Lelylijn met de A6/A7.

Voor de fase waarin het project 380 kV zich bevindt, is het noodzakelijk om voldoende inzicht te hebben in de raakvlakken tussen het project 380 kV en de Lelylijn. Bij mogelijke knelpunten moet zicht zijn op oplossingen zodat beide projecten doorgang kunnen vinden. Op het moment dat voor het project 380 kV een ontwerp-voorkeursbeslissing wordt genomen, dient deze beslisinformatie beschikbaar te zijn. Als onderdeel van deze beslisinformatie is het van belang om inzicht te krijgen in de technische haalbaarheid van de bundeling. Dit rapport geeft hierin inzicht.

Deze raakvlakkenstudie is een aanvulling op de door Movares opgestelde 'QuickScan: Kansen en bedreigingen voor Lelylijn en nieuwe 380 kV-hoogspanningsverbindingen'. De tracéalternatieven van zowel de Lelylijn als de 380 kV-hoogspanningsverbinding tussen Vierverlaten en Ens zijn naast elkaar gelegd en onderzocht op raakvlakken en aandachtspunten. Hierbij wordt zowel gekeken naar de elektromagnetische beïnvloeding tussen beide systemen en de fysieke ruimtelijke aandachtspunten. Wanneer blijkt dat de bundeling door een aandachtspunt niet technisch haalbaar of wenselijk is dan worden er mitigerende maatregelen genoemd.

Tracéalternatieven

Het tracéalternatief van de Lelylijn komt voor uit het MIRT-onderzoek. Het doel van het MIRT-onderzoek van de Lelylijn was om de reikwijdte van de oplossingen helder te krijgen: welke oplossingen zijn er voor het sneller verbinden van Noordelijk Nederland met de Randstad en het verbeteren van de regionale bereikbaarheid? Verschillende alternatieven zijn onderzocht zodat een goed beeld ontstaat van wat een Lelylijn kan opleveren, qua vervoerwaarde, qua bijdrage aan brede welvaart, en hoeveel zou een Lelylijn gaan kosten. Er zijn in deze fase drie basisalternatieven op hoofdlijnen uitgewerkt, waaronder het Bundelingsalternatief langs de A6/A7/A32. Bij het Bundelingsalternatief zijn bovendien drie varianten bekeken, waarbij het verschil zit in de passage van Heerenveen: bovenlangs, onderlangs of door Heerenveen.

Het doel van de 380 kV-hoogspanningsverbinding Vierverlaten – Ens is het vergroten van de capaciteit van het energienetwerk van Nederland. Dit omdat onder andere vanuit de Eemshaven steeds meer (duurzame) elektriciteit Nederland binnenkomt. In de verkenning 380 kV-hoogspanningsverbinding Vierverlaten - Ens zijn er aan de hand van werksessies en verdiepende gesprekken met de omgevingspartijen 5 tracéalternatieven naar voren gekomen. Tracéalternatieven 4 en 5 liggen (gedeeltelijk) gebundeld met de A6/A7. Deze alternatieven worden daarom nader onderzocht in deze raakvlakkenstudie.

In de raakvlakkenstudie is uitgegaan van de tracéalternatieven uit september 2024. Voor beide lijnen is enkel gekeken naar de alternatieven die veel samenloop hebben. In het geval van de Lelylijn gaat het om het tracéalternatief langs de A6-A7 en voor de hoogspanningsverbinding betreft het de tracéalternatieven 4 en 5 (zie Figuur 1). De tracéalternatieven zijn afkomstig uit de volgende onderzoeken:

- Hoogspanningsverbinding: notitie tracéontwikkeling 2.0
- Lelylijn: Onderzoek Lelylijn-alternatieven (vastgesteld in Stuurgroep Lelylijn, d.d. 13/09/2024)

Uitgangspunten en methode

Op het gebied van EMC is onderzoek gedaan naar de elektromagnetische beïnvloeding tussen de hoogspanningsverbinding en de tractie-energievoorziening van het spoor. Tractie-energievoorziening verwijst naar de energievoorziening die specifiek wordt gebruikt voor de aandrijving van elektrische treinen. De keuze van de tractie-energievoorziening van het spoor is mede maatgevend voor EMC. In dit raakvlakkenonderzoek is uitgegaan van het worstcasescenario van een 1500 Volt-gelijkstroomsysteem voor de Lelylijn. Dit systeem komt in Nederland het meeste voor op de landelijke spoorwegen. Het wordt echter als worstcasescenario gezien omdat op dit systeem de elektromagnetische beïnvloeding van de hoogspanningsverbinding het sterkst is.

Middels een GIS-analyse wordt onderzocht wat de aandachtspunten zijn bij het combineren van de lijnen met de huidige tracéalternatieven. Daarvoor is naar de volgende punten gekeken:

- Vanuit Elektromagnetische beïnvloeding is onderzoek gedaan naar locaties waar de lijnen binnen een afstand van 100 meter van elkaar komen te liggen. Daarbij is extra aandacht uitgegaan naar waar de lijnen binnen 50 meter van elkaar liggen. Deze afstanden zijn in de eerder opgestelde QuickScan naar voren gekomen als richtlijn waarbinnen bundeling over korte afstand mogelijk is.
- Er is onderzocht waar en op welke wijze de lijnen elkaar kruisen.
- Voor de beoogde stationslocaties is onderzocht welke fysieke ruimtelijke aandachtspunten er zijn. De beoogde stations zijn hiervoor met een zoekgebied van 1500 meter in de lengte en 300 meter in de breedte vanaf de spoorlijn onderzocht (150 meter aan weerszijden). Daar waar in dit gebied de hoogspanningsverbinding kruist is dit aangeduid. Hierbij is vooral gekeken naar waar de hoogspanningsverbinding met de ZRO-strook (35 m aan weerszijden) en de magneetveldzone (65 m aan weerszijden) het beoogde stationslocatie doorkruist.

Er is daarnaast ook onderzoek gedaan naar de aandachtspunten voor de realisatie die optreden wanneer de spoorlijn wordt gebouwd nabij en onder de 380 kV-hoogspanningsverbinding. Hiervoor zijn uitvoeringsdeskundigen ondervraagd voor een kwalitatieve beschouwing van effecten.

Voor alle aandachtspunten zijn beheersmaatregelen gegeven die uiteenlopen van kleinere technische maatregelen tot voorstellen van aanpassingen aan de tracéalternatieven. Verkabelen wordt ook genoemd als mitigerende maatregel, echter is dit een zeer complexe maatregel en onwenselijk voor een 380 kV-hoogspanningsverbinding. In het onderstaande tekstkader lichten we daarom de mitigerende maatregel toe. Daarnaast zijn de maatregelen beschouwd vanuit kostenoogpunt door kostenkengetallen te geven. Er is bewust niet gekozen voor het cumuleren van kosten omdat er teveel scenario's denkbaar zijn die sterk uiteen lopen in kosten. De kostenkengetallen geven echter wel een indicatief beeld.

Verkabeling
TenneT heeft een sterke voorkeur voor bovengrondse hoogspanningsverbindingen. In haar beleid stelt TenneT 'bovengronds tenzij...'. Met andere woorden: als er een bovengronds alternatief mogelijk is dan heeft dit altijd de voorkeur. Er zijn verschillende aandachtspunten bij het verkabelen van hoogspanningsverbindingen:

- Een ondergrondse verbinding kan moeilijk haar warmte kwijt waardoor de kabels niet op het volle vermogen kunnen draaien. De verkabeling is daardoor een bottleneck in het elektriciteitsnet.
- Bovendien is het stroomverlies groter en is de verbinding 10 keer zo gevoelig voor storingen. Bij een storing is de hersteltijd bij kabels ook langduriger.
- Er gelden nog steeds sterke eisen voor het bovengrondse ruimtegebruik om de verbinding zo onderhoudbaar mogelijk te houden.
- Ook liggen de kosten van een ondergrondse verbinding fors hoger: 2,5 tot 3 keer duurder.

Er zijn twee mogelijkheden om te verkabelen: een open ontgraving of via een boring. Beide opties hebben voor en nadelen. Bij een open ontgraving worden kabels op 1,2 tot 1,8 meter diepte gelegd en verbinding heeft een minimumbreedte van circa 16,5 meter inclusief ZRO-strook. Deze breedte kan echter variëren per situatie en is afhankelijk van bodemopbouw en EMC. Afhankelijk van het type infrastructuur kan een kruising lastig zijn. De bovenliggende infrastructuur moet namelijk opengebroken worden. Bij een kanaal kan dat niet. Een geboorde kabel is vanuit dat oogpunt interessanter. Dit type verkabeling zit op een grotere diepte en wordt via een mantelbuis geleid van het intrede- naar het uittredepunt. Echter zijn er op andere vlakken weer nadelen bij een geboorde kabel. Een geboorde kabel heeft nog meer te maken met vermogensbeperkingen omdat warmte niet goed weg kan. Daarnaast vraagt het ruimtelijk gezien ook meer bij de in- en uittredepunten. Hier is de bundel circa 25-40 m breed. De werkstrook bij een geboorde kabel is kleiner dan die van een open ontgraving met uitzondering van het in- en uittredepunt. Het opstijgpunt, waar de kabel overgaat naar de bovengrondse verbinding heeft een afmeting van 45x70 m.

Leeswijzer
Dit raakvlakkenonderzoek is opgedeeld in de volgende 6 hoofdstukken:

1. Elektromagnetische compatibiliteit: Hier is de elektromagnetische beïnvloeding toegelicht.
2. Kruisingen: In dit hoofdstuk worden de verschillende kruisingen beschreven tussen de 380 kV-tracéalternatieven en de Lelylijn.
3. Stationslocaties: Hier staat de impact van de 380 kV verbinding op de stationslocaties beschreven.
4. Aandachtspunten realisatie (bouw): Dit hoofdstuk geeft aan wat de aandachtspunten zijn bij realisatie van de Lelylijn in nabijheid van de hoogspanningsverbinding.
5. Kosten van maatregelen: Hierin wordt beschreven wat de invloed van de bundeling is op de kosten van de 380 kV verbinding en de Lelylijn
6. Conclusie: De conclusies van de technische haalbaarheid van de bundeling zijn in dit hoofdstuk gepresenteerd

Aanvullend op dit raakvlakkenonderzoek is door Sweco een studie uitgevoerd naar de ruimtelijke effecten van de tracéalternatieven van de hoogspanningsverbinding op de ontwikkelgebieden die verbonden zijn aan de Lelylijn.

Figuur 1: Kaartbeeld met de onderzochte tracéalternatieven en varianten van de hoogspanningsverbinding en Lelylijn

1 Elektromagnetische compatibiliteit

Het dichtbij elkaar plaatsen van een 380 kV-hoogspanningsverbinding en een spoorweg kan zorgen voor elektromagnetische beïnvloeding (hierna verkort tot EM-beïnvloeding). Wanneer de elektromagnetische beïnvloeding te groot wordt, kan dit leiden tot onveilige situaties, verstoring van de functionaliteit van de hoofdspoorweginfrastructuur en/of de treindienstregeling, of versnelde veroudering van de infrastructuur.[1]

1.1 ProRail richtlijn RLN00398

Om een ontoelaatbare EM-beïnvloeding van de spoorweg infrastructuur te voorkomen heeft ProRail de richtlijn [RLN00398] opgesteld. De richtlijn RLN00398 is van toepassing op hoogspanningslijnen en hoogspanningskabels – niet zijnde ProRail lijnen en kabels – met een nominale spanning van > 1 kV en een nominale bedrijfsfrequentie van ≤ 1 kHz op, onder of boven de hoofdspoorweginfrastructuur.
Tevens is de richtlijn van toepassing op hoogspanningslijnen en hoogspanningskabels – niet zijnde ProRail lijnen en kabels – in de zone buiten het terrein behorende tot de hoofdspoorweginfrastructuur, voor zover het betreft:

1. Het gebied als beschreven in artikel 19 van de Spoorwegwet;
2. Het gebied daarbuiten, voor zover genoemde lijnen en kabels elektromagnetische invloed hebben op de spoorweginfrastructuur.

De EM-beïnvloedingsmechanismen en bijbehorende criteria (B) zijn:

- Inductieve beïnvloeding (B1 t/m B6);
- Magnetische velden (B7 en B9);
- Elektrische velden (B8);
- Weerstandsbeïnvloeding (quick-scan eis 7).

Op het moment van schrijven is versie 003 van de RLN00398 de vigerende versie. ProRail werkt aan een update van de RLN00398. Ten tijde van het ontwerp van de nieuwe hoogspanningsverbindingen en / of de Lelylijn is het mogelijk dat er een nieuwe versie van de RLN00398 vigerend is. Deze nieuwe versie kan mogelijk minder streng zijn op bepaalde aspecten, of kan mogelijk strenger zijn op bepaalde aspecten, dan de huidige vigerende versie 003. Tegen de tijd dat de nieuwe versie van de RLN00398 wordt uitgebracht, kan beoordeeld worden wat de gevolgen zijn ten aanzien van de gestelde criteria in de RLN00398 (verzwakking of verzwaring van criteria).

1.2 Nabijheid van spoor- en 380 kV-hoogspanningstracéalternatieven

De RLN00398 beschouwt een aantal verschillende EM-beïnvloedingsmechanismen, en stelt criteria vast waaronder de optredende EM-beïnvloeding dient te blijven. De kaarten (Figuur 2, Figuur 3 en Figuur 4) op de volgende pagina's laten zien waar beide lijnen elkaar mogelijk kunnen beïnvloeden. Daarvoor is een buffer van 100 en 50 meter gehanteerd. Binnen deze buffers is de kans aanzienlijk dat er elektromagnetische beïnvloeding optreedt tussen een 380 kV-hoogspanningsverbinding en een spoorlijn met 1500 V gelijkspanning. Hoe nauwer de parallelloop, des te groter de beïnvloeding. In de RLN00398 wordt ervan uitgegaan dat elektromagnetische beïnvloeding op de spoorweginfrastructuur mogelijk is indien bij parallelloop de onderlinge afstand kleiner wordt dan 700 meter (bij 1500 V gelijkspanning). Voor de onderzochte tracéalternatieven en varianten is gekeken naar de afstand die beide lijnen binnen 50 en 100 meter van elkaar zitten. Dit is te zien in Tabel 1. Van de onderzochte tracéalternatieven heeft tracéalternatief 4 de meeste samenloop met de Lelylijn. Dit geldt vooral bij de noordelijke ligging langs de A6-A7. De volgende locaties hebben de meeste nabije samenloop:

- Tussen Emmeloord en Joure (tracéalternatief 4)
- Joure tot en met iets voorbij Heerenveen (tracéalternatieven 4 en 5)

De spoorlijn van Heerenveen tot Leeuwarden heeft geen parallelloop met tracéalternatieven 4 en 5 van de 380 kV-hoogspanningsverbinding. Op deze lijn zijn daarom ook geen aandachtspunten.

[1] ProRail: Technische voorschriften voor werken en werkzaamheden op, boven, onder en nabij de spoorweg

Tabel 1: Afstand waarin beide lijnen binnen 100 en 50 meter van elkaar parallellopen:

	Bundelingsalternatief Lelylijn	Bundelingsalternatief Lelylijn Met station Emmeloord oostelijk
380 kV Tracéalternatief 4	26000 m binnen 100 m buffer	30500 m binnen 100 m buffer
	11300 m binnen 50 m buffer	15800 m binnen 50 m buffer
380 kV Tracéalternatief 5	15100 m binnen 100 m buffer	15100 m binnen 100 m buffer
	5700 m binnen 50 m buffer	5700 m binnen 50 m buffer

1.3 Uitgangspunten onderzoek EMC

Voor het vaststellen van de elektromagnetische beïnvloeding van de 380 kV-hoogspanningsverbinding op de spoorlijn en het bepalen van de noodzaak en de omvang van mitigerende maatregelen zijn beïnvloedingsberekeningen nodig. In de volgende paragrafen worden de uitgangspunten vastgelegd die gehanteerd worden bij het uitvoeren van beïnvloedingsberekeningen.

1.3.1 Uitgangspunten Lelylijn

De volgende uitgangspunten worden gehanteerd:

- Het betreft een 2-sporig baanvak, m.u.v. enkele lokale (stations)emplacementen;
- De tractie-energievoorziening is 1500 Vdc;
- De gemiddelde onderstation afstand is 6 kilometer, er worden geen gekoppelde snelschakelaars toegepast;
- De treindetectie zal door middel van assentellers plaatsvinden;
- Ter plaatse van de aansluiting op het bestaande spoor kunnen nog DBGRS en/of EB-GRS spoorstroomlopen aanwezig zijn;
- De trein beïnvloeding zal door middel van ERTMS plaatsvinden;
- IB-kabels maximaal 5 kilometer lang voor assentellers, voor IB-kabels van objectcontrollerkasten maximaal 1 kilometer lang;
- IT-kabels als glasvezel uitgevoerd;
- 3 kV voedingspunten om de 12 kilometer;
- Dwarsverbindingen tussen beide sporen om de 2 kilometer;
- Modellering en beoordeling conform [RLN00398] v003;
- Bundeling met de 380 kV-hoogspanningsverbinding met een onderlinge afstand van 100 meter, en bij reizigersstationslocaties met een onderlinge afstand van 50 meter over 1,5 kilometer.

1.3.2 Uitgangspunten 380 kV-hoogspanningsverbinding

De volgende uitgangspunten worden gehanteerd:

- Mastbeeld is Moldau mast S+0;
- Veldlengte 400 meter;
- Maximale doorhang 14,0 meter;
- 2 circuits 380 kV;
- Maximale spanning 420 kV;
- Ontwerpstroom 4000 A;
- Kortsluitstroom op hoogspanningsstations niveau is 50 kA (1-fase kortsluiting) en 63 kA (3- fasen kortsluiting);
  N.B. Een toename van de 3-fasen kortsluitstroom, op hoogspanningsstations niveau, van 63 kA naar 80 kA heeft geen invloed op de mate van elektromagnetische beïnvloeding omdat de 1-fase kortsluitstroom dominant is ten opzichte van de 3-fasen kortsluitstroom in de mate van elektromagnetische beïnvloeding. De waarde van 50 kA is de maximale kortsluitstroom die door 1 fase van de hoogspanningsverbinding mag lopen.

- Uitschakeltijd van een kortsluiting is maximaal 100 ms (uitgaande dat de 1e trap niet faalt);
- Klokgetal optimalisatie toegepast;
- Fase transposities ten minste op 1/3e en 2/3e van de lengte van het tracéalternatief;
- Geen combinatie van 380 kV met 110 kV of 150 kV in dezelfde hoogspanningsmast, er worden geen combi-lijnen toegepast. Eventuele 110 kV of 150 kV hoogspanningsverbindingen die plaats moeten maken zullen worden verkabeld.
- Te hanteren homopolaire stroom bij het vaststellen van de inductieve beïnvloeding op het 1500 Vdc spoor is 0% en 5%.

1.4 Resultaten en conclusies

In bijlage 1 zit de notitie van de eerste verkennende studie. In deze notitie zijn een aantal van de in de RLN00398 gestelde criteria, ten aanzien van de elektromagnetische beïnvloeding op het spoor, onderzocht: criteria B7, B9 (magnetisch veld), B8 (elektrisch veld) en weerstandsbeïnvloeding.

In bijlage 3 zit een rapport van de tweede verkennende studie. In deze rapportage zijn de resterende in de RLN00398 gestelde criteria, ten aanzien van de elektromagnetische beïnvloeding op het spoor, onderzocht: criteria B1 t/m B6, deze criteria hebben allen betrekking op de inductieve beïnvloeding.

De onderzochte criteria B7 t/m B9 leveren geen belemmering op ten aanzien van de parallelloop (bundeling) tussen de Lelylijn en de 380 kV-hoogspanningsverbinding op een onderlinge afstand van 100 meter of 50 meter over korte lengte. Bij de bundeling zijn er voor de criteria B7, B9 (magnetisch veld), B8 (elektrisch veld) en weerstandsbeïnvloeding geen maatregelen nodig.

Bij een over het spoor kruisende hoogspanningslijn gelden er een aantal voorwaarden ten aanzien van het elektrisch veld, het magnetisch veld en de weerstandsbeïnvloeding. In het kruisende veld dienen de hoogspanningsgeleiders dusdanig hoog te hangen dat het 50 Hz elektrisch veld op 9,5 meter hoogte (d.w.z. 1 meter boven het hoogste punt van de bovenleiding van het spoor welke 8,5 meter bedraagt) onder de 10 kV/m blijft. Onder / nabij het kruisende veld dient bij voorkeur elektrische apparatuur in het spoor toegepast te worden dat voldoet aan de NEN-EN 50121-4, NEN-EN 50121-5 en/of RLN00007 (immuniteit 50 A/m). Bij het kruisende veld dient oudere / niet geteste elektrische apparatuur (immuniteit 10 A/m) op een afstand van (worst-case) ten minste 35,5 meter vanaf de hartlijn van de hoogspanningslijn geplaatst te worden. Een hoogspanningsmast of een aardpunt van een hoogspanningskabelmantel of mof dient op ten minste 31 meter vanaf het hart van het dichtstbijzijnde spoor te worden geprojecteerd.

Uit de tweede verkennende EMC studie volgt dat een bundeling tussen het hoogspanningslijn en de Lelylijn mogelijk is met een onderlinge afstand van 100 meter, waarbij op een beperkt aantal locatie de onderlinge afstand kan worden beperkt tot en onderlinge afstand van 50 meter. Dit kan echter niet over grote parallelloop lengtes. Er is in de verkenning uitgegaan van het beperken van de onderlinge afstand tot 50 meter over een lengte van 1,5 kilometer met tussen stukken van orde grootte 12 kilometer waar de onderlinge afstand 100 meter is. Over grotere lengtes teruggaan naar een onderlinge afstand van 50 meter zal leiden tot een sterke toename van de geïnduceerde spanningen en stromen, waarbij de in de RLN00398 gestelde criteria overschreden zullen worden. In de verkennende EMC studie is dit ook duidelijk zichtbaar, op de locaties waar de onderlinge afstand teruggaat naar 50 meter stijgen de geïnduceerde spanningen en stromen zeer sterk.
Voor IB-kabellengtes groter dan 1 kilometer, dus de kabels voor de assentellers, moet rekening gehouden worden met een maximale toepasbare kabellengte omdat anders tijdens een kortsluiting in het hoogspanningssysteem de spanning op ingangen van de apparatuur te hoog kan worden. Het toepassen van afgeschermde 2-zijdig geaarde bekabeling helpt om de lengte beperking te reduceren. Echter het toepassen van 2-zijdig geaarde bekabeling is in de 1500 Vdc omgeving nog geen gemeen goed.
Voor het voorkomen van de hoge aanraakspanningen op de kasten van de afnamepunten van het 3 kV / 75 Hz voedingssysteem (HS-kasten), dienen de HS-kasten voorzien te worden van een eigen aardelektrode, de mantel van de 3 kV kabel mag geen contact maken met de HS-kast. Dit is overigens een standaard maatregel die ook wordt toegepast in parallelloop gebieden met het 25 kV/ 50 Hz tractie-energievoorzieningssysteem van de Betuweroute en de HSL-Zuid.

Bundelen over grote parallelloop lengte op minder dan 100 meter onderlinge afstand zal leiden tot een sterke toename in de inductieve beïnvloeding op de spoorweginfrastructuur, en tot het overschrijden van in de RLN00398 gestelde criteria. Deze mitigerende maatregelen worden beschreven in de volgende paragraaf.

De bundeling tussen Emmeloord en Lemmer is niet dusdanig meegenomen in de studie naar inductieve beïnvloeding. Op deze locatie zijn beide tracés duidelijk nog niet op elkaar afgestemd en zal met de huidige tracés gesteld kunnen worden dat het niet mogelijk is. Dat heeft niet alleen met de inductieve beïnvloeding te maken, maar ook met onderhoudbaarheid gezien de geleiders van de 380 kV hoogspanningsverbinding boven het spoor lopen over grote lengtes. Wel is de inschatting dat hier voldoende ruimte is om beide tracés op voldoende afstand van elkaar te plaatsen.

1.4.1 Mitigerende maatregelen

Om ontoelaatbare EM-beïnvloeding te voorkomen zijn er mitigerende maatregelen nodig op 3 verschillende locaties:

1. Maatregelen bij de bron (de 380 kV-hoogspanningsverbinding) om de emissie te verlagen;

De bron is hier de 380 kV-hoogspanningsverbinding die een emissie van elektrische, magnetische en elektromagnetische velden naar de omgeving veroorzaakt. Maatregelen zijn erop gericht om de emissie van elektrische, magnetische en elektromagnetische velden van de bron naar de omgeving zo veel als mogelijk te beperken. Dit kunnen de volgende maatregelen zijn:

- Klokgetal optimalisatie;
- Fase transposities;
- Homopolaire stroom laag houden.

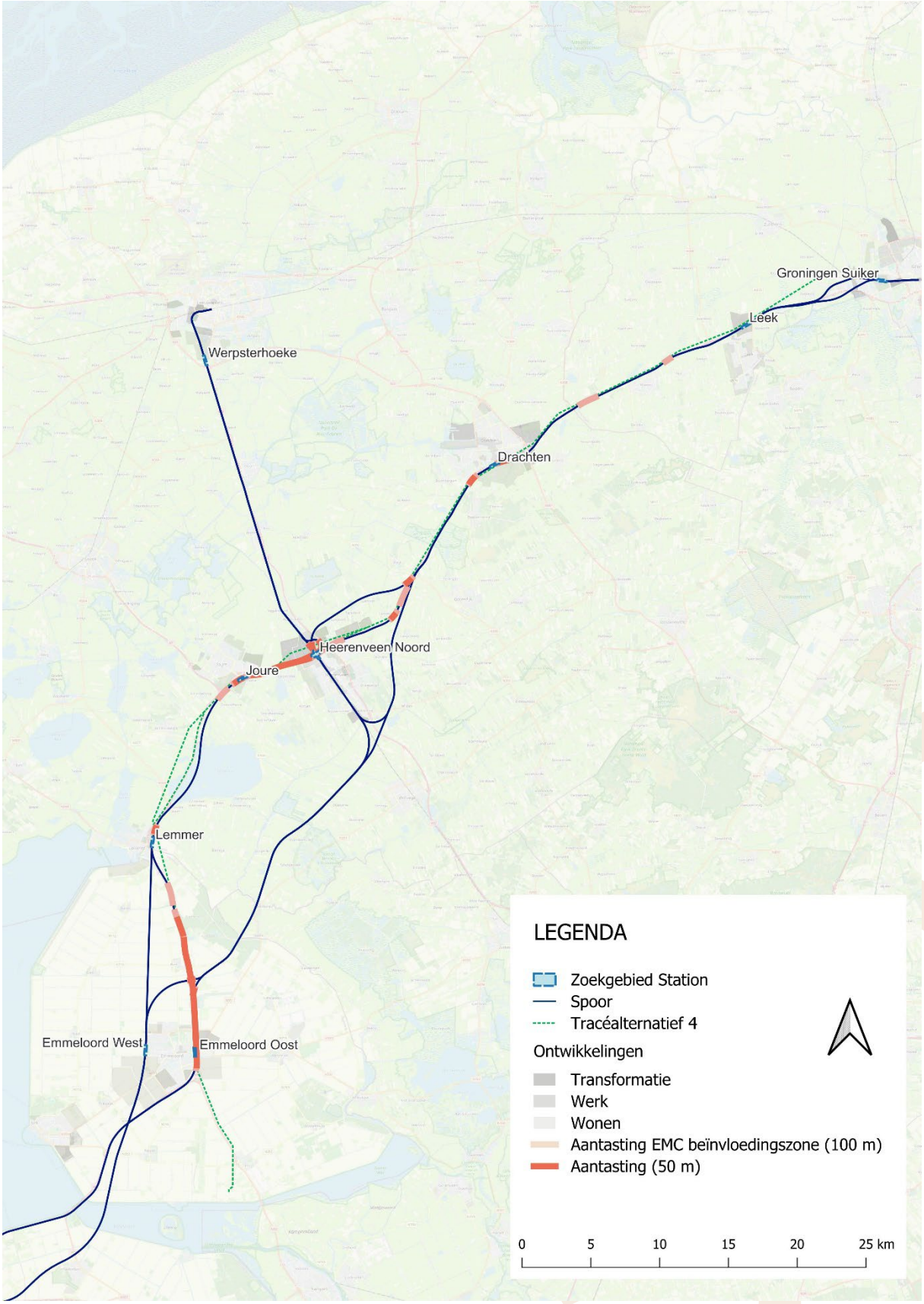
2. Maatregelen in de koppelweg;

Door maatregelen in de koppelweg te nemen, wordt de koppeling tussen de bron (de 380 kV-hoogspanningsverbinding) en het slachtoffer (de Lelylijn) minder sterk. De overdracht van de bron naar het slachtoffer neemt dan af waardoor de EM-beïnvloeding op het slachtoffer afneemt. Omdat het 50 Hz magnetisch veld, de bron van de inductieve beïnvloeding, slecht te dempen is, is de enige geschikte maatregel in de koppelweg het vergroten van de onderlinge afstand tussen de bron en het slachtoffer, dus tussen de 380 kV-hoogspanningsverbinding en de spoorlijn.
Het vergroten van de onderlinge afstand tussen de bron (de 380 kV-hoogspanningsverbinding) en het slachtoffer (de spoorweginfrastructuur). Bundelen op een onderlinge afstand van 100 meter is mogelijk.

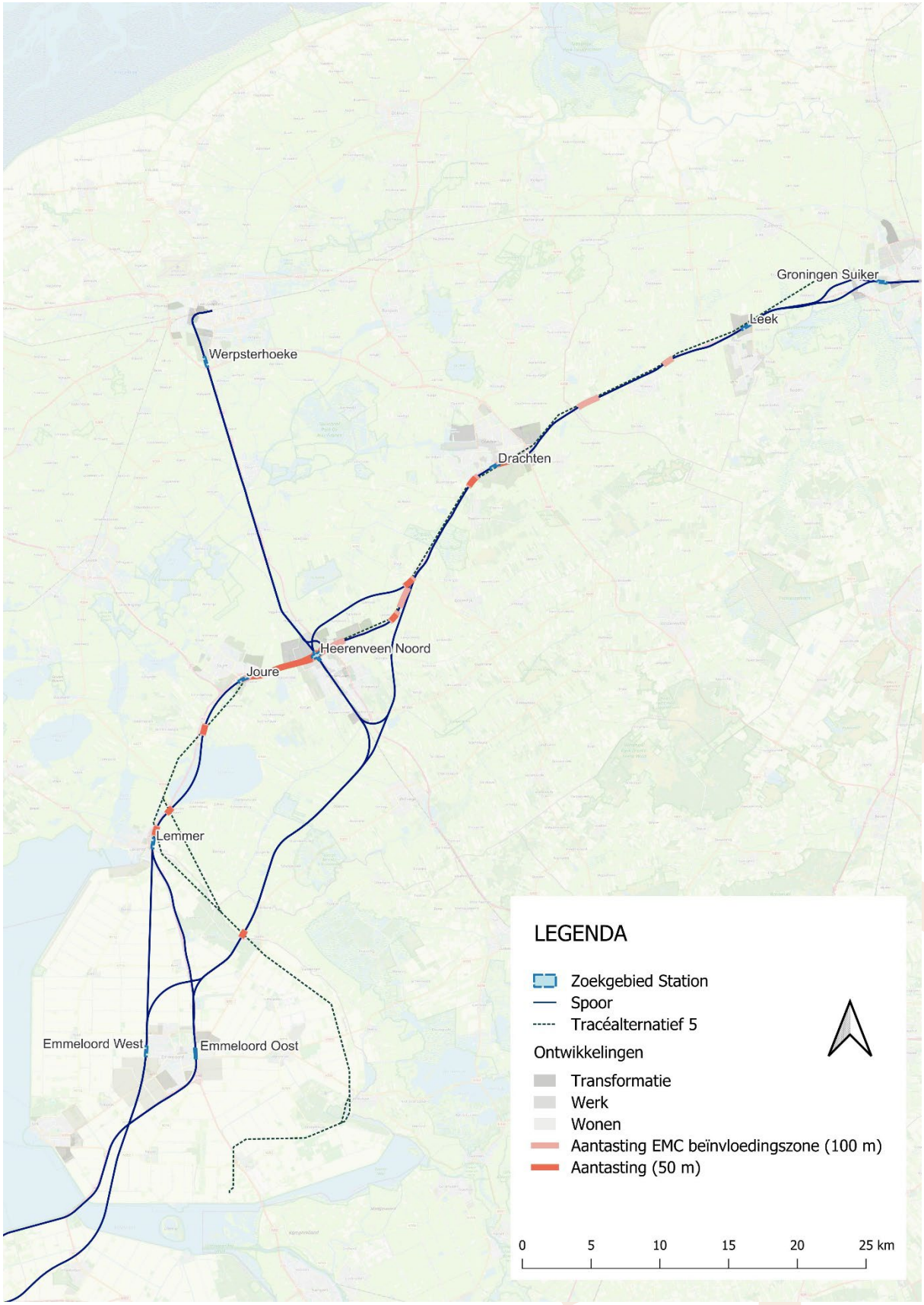
3. Maatregelen bij het slachtoffer (de spoorweginfrastructuur) om de immuniteit te verhogen.

Het slachtoffer is hier de spoorlijn die wordt blootgesteld aan de emissie van elektrische, magnetische en elektromagnetische velden door de 380 kV-hoogspanningsverbinding (de bron). Maatregelen bij het slachtoffer zijn erop gericht om de immuniteit van het slachtoffer te vergroten, zodat het slachtoffer (de spoorlijn) beter bestand is tegen de optredende elektrische, magnetische en elektromagnetische velden. Dit kunnen de volgende maatregelen zijn:

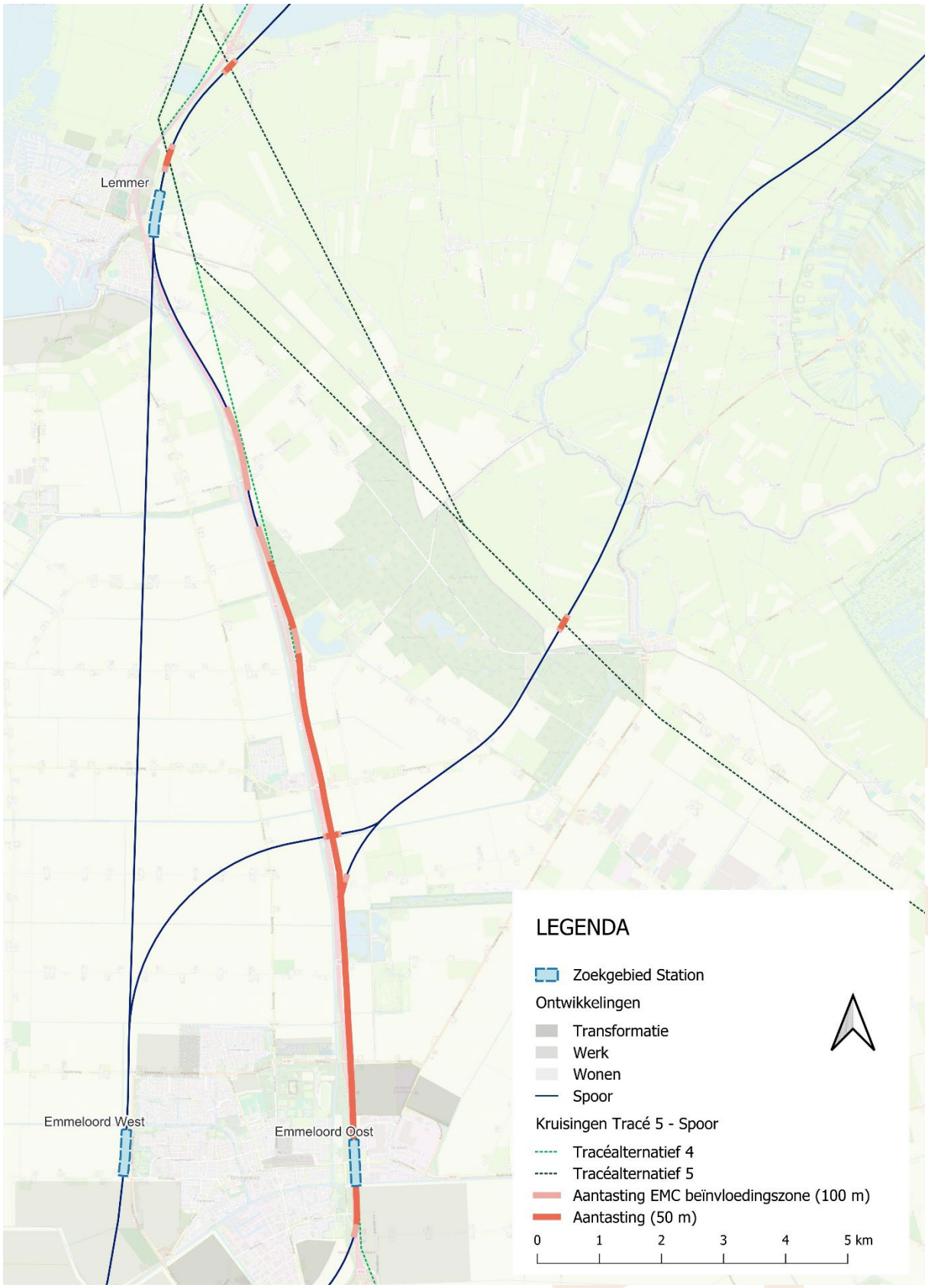
- Toepassen elektrische apparatuur met hoge immuniteit;
- Beperken van de afstand tussen 1500Vdc onderstations tot 6 km;
- Toepassen van capacitieve aarding bij elk 1500 Vdc onderstation;
- Toepassen van maximale kabellengte bekabeling, dit resulteert ook in een hoger aantal relaiskasten;
- Toepassen van 2-zijdiggeaarde bekabeling verlaagt de, op de bekabeling, geïnduceerde spanning zodat de maximale toepasbare kabellengte groter wordt;
- Lokaal aarden van de HS-kasten, indien nodig, van het 3 kV / 75 Hz voedingssysteem.



Figuur 2: Raakvlakken tussen Lelylijn en 380 kV-hoogspanningsverbinding alternatief 4 met station Emmeloord oostelijk



Figuur 3: Raakvlakken tussen Lelylijn en 380 kV-hoogspanningsverbinding alternatief 5



Figuur 4: Inzoom op het gebied tussen Emmeloord en Lemmer waar de meeste samenloop is. Station Emmeloord ligt oostelijk.

2 Kruisingen

Kruisingen van de 380 kV-hoogspanningsverbinding met het spoor vormen een aandachtspunt wanneer deze een flauwe hoek hebben. In dat geval bevinden zich hoogspanningsgeleiders voor een grotere lengte boven het spoor. Aanwezigheid van hoogspanningslijnen boven het spoor brengt risico's met zich mee en bemoeilijkt het beheer en onderhoud van beide lijnen. Hierbij kan gedacht worden aan een onveilige werkplek, ijs vallend van de geleiders op railvoertuigen en risico op breken van draden en daarmee mogelijke schade aan de bovenleiding van de Lelylijn. ProRail vindt daardoor kruisingen bij voorbaat ongewenst. Mocht het toch voorkomen dan adviseert ProRail een hoek aan te houden van 80 tot 100 graden. Met een dergelijke haakse hoek is de kruising het kortst en worden risico's kleiner. Er zijn voorbeelden waar de hoek minder haaks is. Tussen Amsterdam en Utrecht ter hoogte van Baambrugge is een kruising tussen spoor en hoogspanningsverbinding te vinden van minder dan 20 graden. Dit laat zien dat er mogelijkheden zijn om met ProRail het gesprek aan te gaan over het flauwer kruisen.

Afhankelijk van de tracéalternatieven van beide lijnen zijn er 7-14 kruisingen tussen de huidige tracéalternatieven (zie Tabel 2). Vooral bij het kiezen voor de zuidelijke ligging van de Lelylijn die niet langs Lemmer en Joure passeert zijn er beduidend minder kruisingen.

Tabel 2: Hoeveelheid kruisingen tussen tracéalternatieven 380 kV-verbinding en Lelylijn

	Lelylijn met station Emmeloord westelijk	Lelylijn met station Emmeloord oostelijk
Tracéalternatief 4	12 kruisingen	14 kruisingen
Tracéalternatief 5	7 kruisingen	7 kruisingen

Daarnaast valt het op dat veel van de kruisingen een kleine hoek hebben van vaak tussen de 5 en 25 graden. Zeker omdat er op enkele locaties meerdere kruisingen achter elkaar plaatsvinden kan dit een probleem vormen. Locaties die in het oog springen zijn het gebied tussen Emmeloord en Lemmer te zien in Figuur 5 (4 flauwe kruisingen), Joure in Figuur 6 (2-3 flauwe kruisingen), Heerenveen in Figuur 7 (3-5 kruisingen) en Drachten in Figuur 8 (2 flauwe kruisingen).

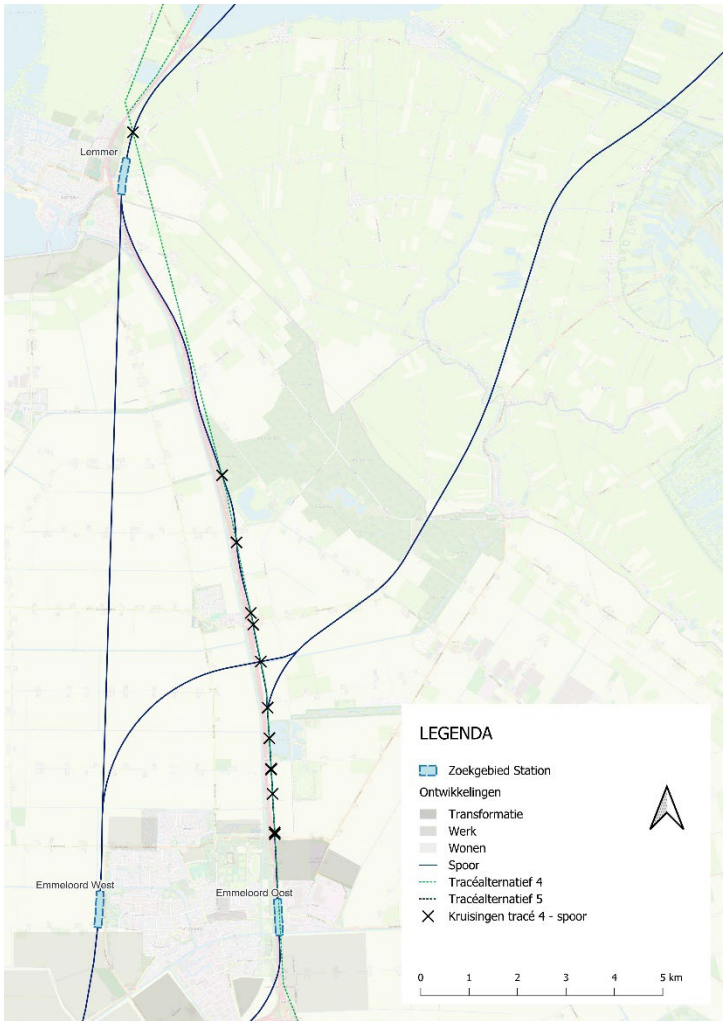
Bij de Lelylijnvariant met het station van Emmeloord aan de oostkant zijn er nog meer kruisingen. De bocht die de Lelylijn moet maken bij het op- en afrittencomplex van de A6 zorgt ervoor dat er 2 extra kruisingen nodig zijn bij het huidige tracéalternatief 4 van de 380 kV-hoogspanningsverbinding.

Het stuk tussen Emmeloord en Lemmer en het stuk ter hoogte van Heerenveen hebben nog een ander nadelig effect, namelijk dat daar de hoogspanningsgeleiders met de huidige tracéalternatieven boven het spoor komen te hangen voor een langer eind dan alleen de kruising. Vanuit veiligheid en beheer en onderhoud is dit zeer onwenselijk.

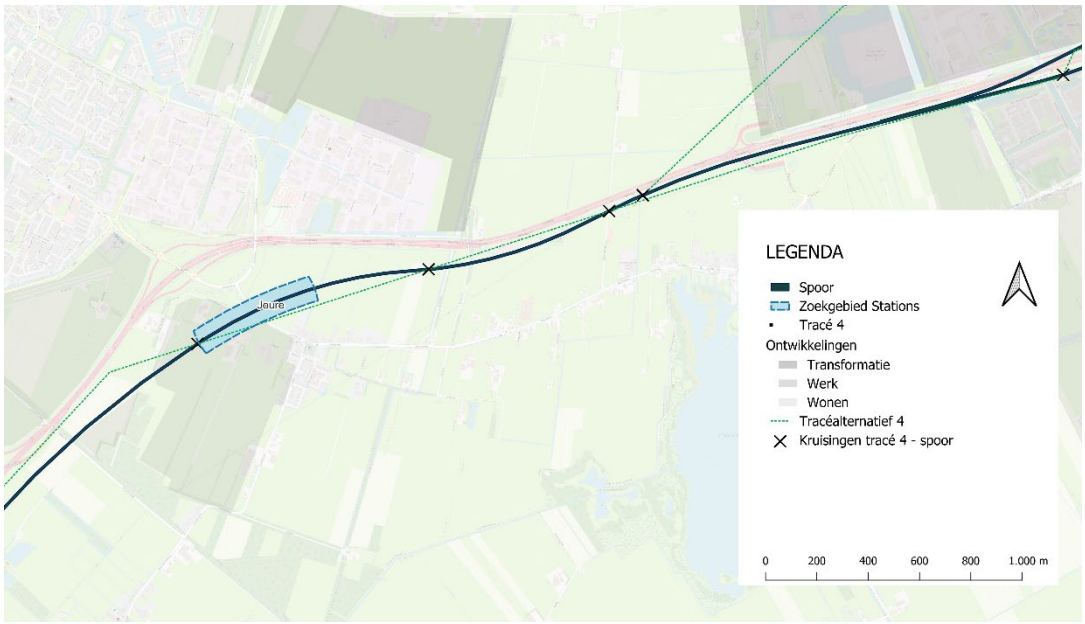
2.1.1 Mitigerende maatregelen

- Tracéalternatieven uitwijken zodat kruisingen worden vermeden. Op een aantal locaties waar gekruist wordt zijn er tracéaanpassingen aan één van de twee of beide lijnen denkbaar waardoor het aantal kruisingen reduceert. Bij het uitwijken van tracéalternatieven dient er wel onderzocht te worden of het daadwerkelijk mogelijk is. Daarbij dient rekening gehouden te worden met de projectuitgangspunten en traceringsprincipes. Met eenvoudige tracéaanpassingen kan het aantal kruisingen gereduceerd worden tot 2 kruisingen bij tracéalternatief 4 van de 380 kV-hoogspanningsverbinding en tot 3 kruisingen bij tracéalternatief 5. De volgende tracéaanpassingen worden voorgesteld:
    - Voorstel bij Drachten: omwisselen van tracéalternatieven 380 kV-verbinding en Lelylijn. Door het hoogspanningstracéalternatief tussen de Lelylijn en de snelweg te plaatsen vervallen de

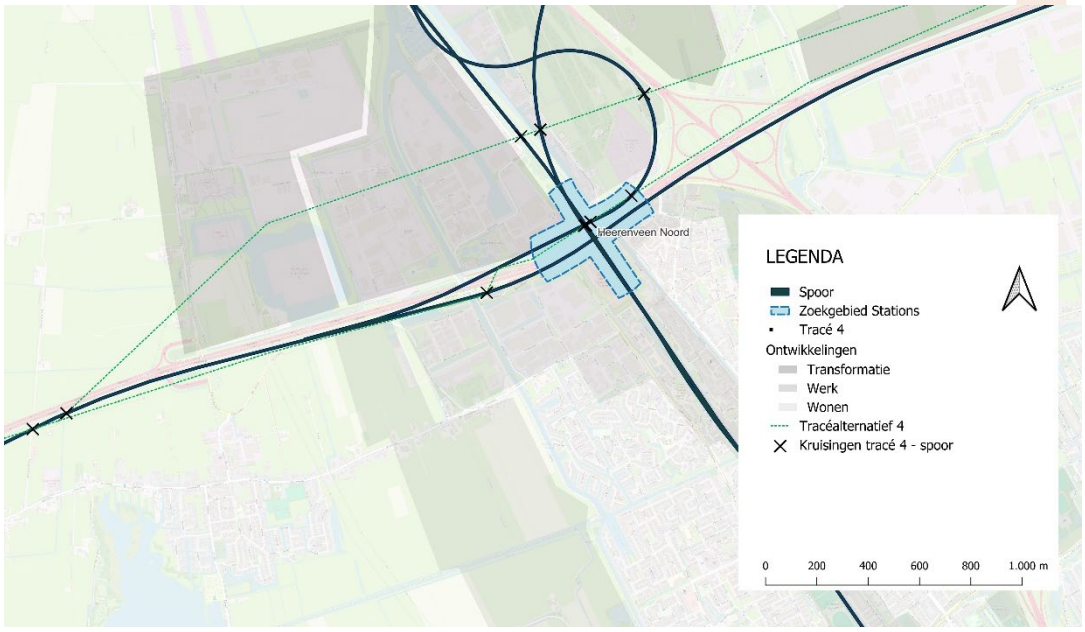
kruisingen ter hoogte van Drachten. Dit zorgt ervoor dat ook het ontwikkelgebied minder impact ondervindt van de hoogspanningsverbinding. Echter is het beoogde spoorwegstation bij omwisseling wel verder verwijderd van de bestaande kern van Drachten.
  - Voorstel bij Heerenveen: Keuze maken voor het noordelijke variant tracéalternatief 4 (enkele Moldau) met haakse kruisingen op de spoorlijn(en).
  - Voorstellen bij Joure: Hoogspanningstracéalternatief 4 ten noorden van de 380 kV-hoogspanningsverbinding situeren. Hoogspanningsalternatief 5 zuidelijker situeren ten oosten van Joure.
  - Voorstel gebied Emmeloord – Lemmer: De 380 kV-hoogspanningsverbinding meer ten oosten of ten westen van de Lelylijn te plaatsen. De afstand tot de Lelylijn bedraagt in ieder geval 100 meter. Bij een verdere oostelijke ligging van de 380 kV-hoogspanningsverbinding vervallen alle kruisingen. Bij een westelijke ligging van de 380 kV-hoogspanningsverbinding zijn nog steeds twee kruisingen nodig.
- Op locaties waar gekruist moet worden kan ervoor gekozen worden een haakse hoek op te nemen met de 380 kV-hoogspanningsverbinding. Dit heeft echter twee nadelen. Er zijn meer hoekmasten nodig, waardoor de kosten omhoog gaan. Daarnaast gaat deze mogelijkheid in tegen het principe van zoveel mogelijk rechtstand. Het maakt daarmee de landschappelijke inrichting rommeliger doordat er meer onderbrekingen zijn in de rechte structuren. TenneT streeft ernaar zoveel mogelijk in rechte lijnen te werken en afwijkingen te voorkomen. Dit geldt voor de richting, veldlengte, masttype en masthoogte.
- Bij de kruisingen kan een hogere mast geplaatst worden zodat de geleiders hoger boven het spoor passeren. Dit zorgt elektromagnetische beïnvloeding kleiner is tussen beide verbindingen. Hiermee maak je de onderhoudbaarheid van beide lijnen echter niet groter en heeft het een negatief effect op de landschappelijke inpassing door het contrast met de andere masten.
- Er kan ook gekozen worden voor een kleinere veldlengte tussen masten aan weerszijden van het spoor waardoor de doorhang van geleiders boven het spoor kleiner is. Ook hier geldt dat TenneT streeft naar het voorkomen van afwijkingen. De hoogte van de geleiders boven het spoor dient wel dusdanig te zijn dat voldaan wordt aan de eisen in de van toepassing zijnde normen en de ProRail richtlijn RLN00398.



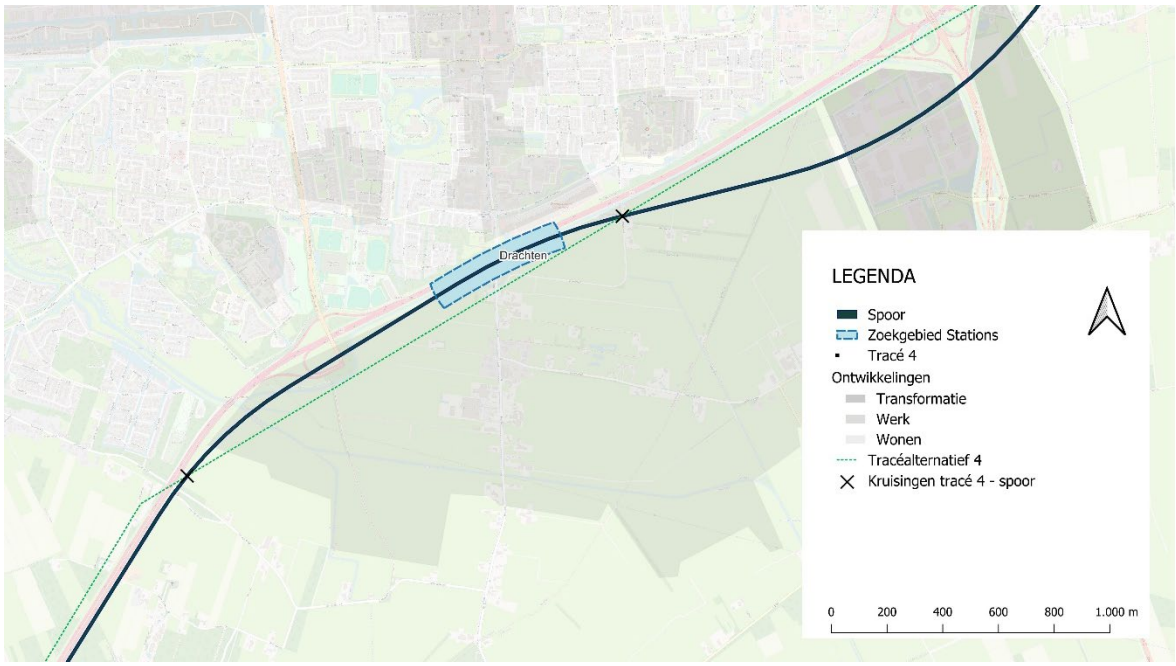
Figuur 5: Kruisingen tussen Emmeloord en Lemmer met hoogspanningstracéalternatief 4



Figuur 6: Flauwe kruisingen ter hoogte van Joure bij hoogspanningstracéalternatief 4



Figuur 7: Kruisingen ter hoogte van Heerenveen met hoogspanningstracéalternatief 4

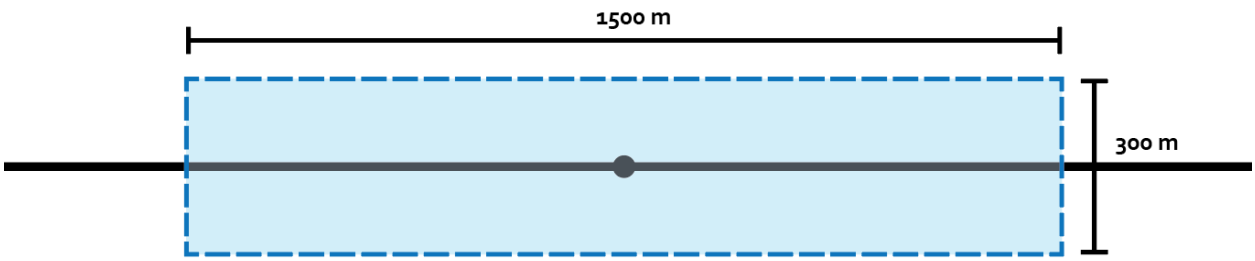


Figuur 8: Kruisingen ter hoogte van Drachten geldend voor beide hoogspanningstracéalternatieven

3 Stationslocaties

3.1 Beoordelingsmethode

In deze paragraaf worden de effecten van de 380 kV-hoogspanningsverbinding op de stationslocaties beoordeeld. De stationslocatie is gedefinieerd als zoekgebied gezien vanaf het punt van de stationslocatie. In de parallelrichting is aan weerszijden 750 meter gerekend (totaal 1500 meter) en haaks op het spoor 150 meter aan weerszijden (totaal 300 meter).



Figuur 9: Schematische weergave van de ruimtelijke bandbreedte van de stationslocatie

Voor elk van de stations locaties is vervolgens onderzocht in hoeverre de 380 kV-tracéalternatieven met de magneetveldzone of de ZRO-strook in de beoogde stationslocatie gesitueerd zijn. De beoordeling wordt gedaan op basis van de in Tabel 3 aangeduide aantasting van 380 kV-hoogspanningsverbinding op de stationslocatie.

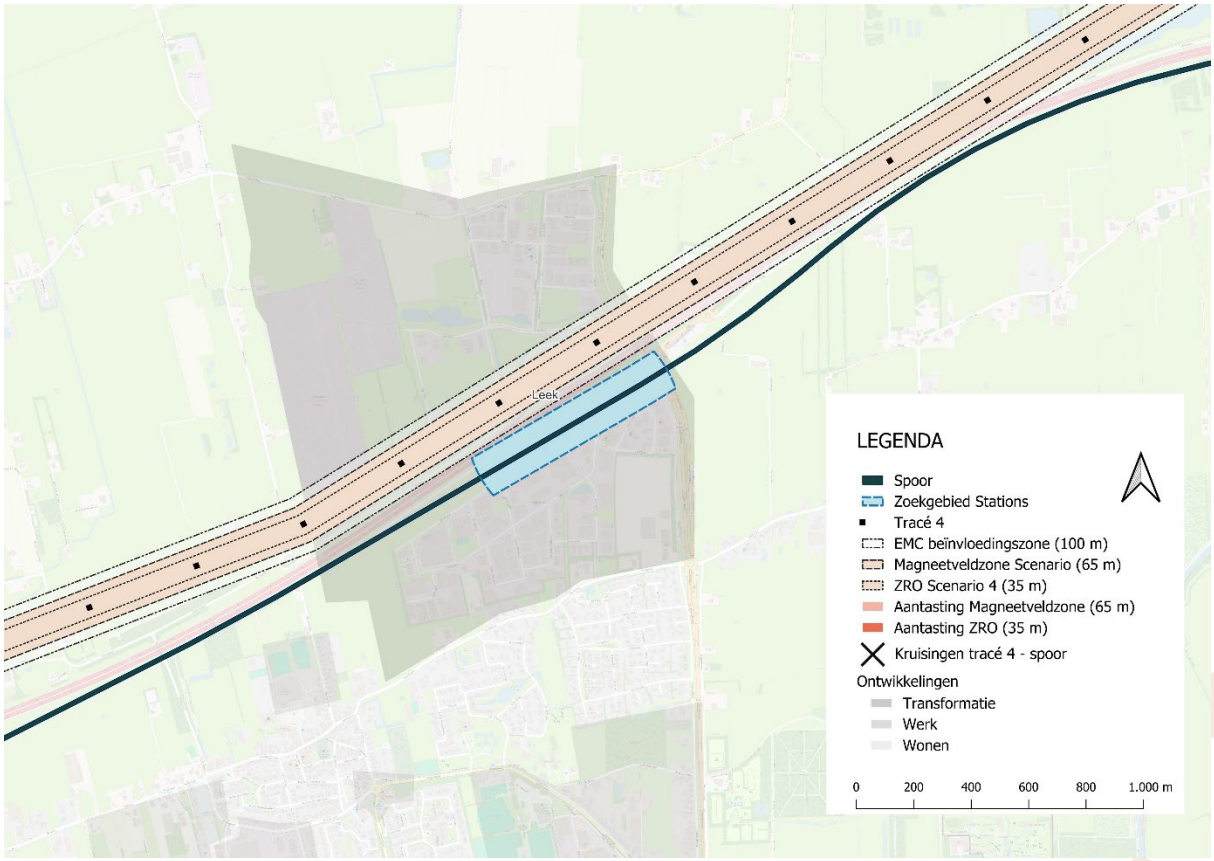
Tabel 3: Beoordelingstabel stationslocaties

Aantasting stationslocatie	Beoordeling
Geen	Geen impact
Minder dan 25 % van het oppervlak in slechts 1 van de hoeken van de stationslocatie.	De stationslocatie wordt beperkt door de 380 kV-verbinding, maar kan gerealiseerd worden
De hoogspanningsverbinding doorsnijdt de stationslocatie middendoor en/of er is dan 25 % van het oppervlak gesitueerd in de ZRO-strook en magneetveldzone	De 380 kV-verbinding heeft grote impact op het zoekgebied naar stations

3.2 Leek

Bij Leek is er geen overlap tussen de ZRO-strook en magneetveldzone van beide 380 kV-tracéalternatieven op het zoekgebied van het spoorwegstation. De 380 kV-hoogspanningsverbinding bevindt zich hier ten noorden van de snelweg terwijl de stationslocatie beoogd is ten zuiden van de snelweg (zie Figuur 10). Dit zorgt ervoor dat er voldoende afstand is tussen beide structuren. De 380 kV-verbinding heeft geen impact op het station van Leek.

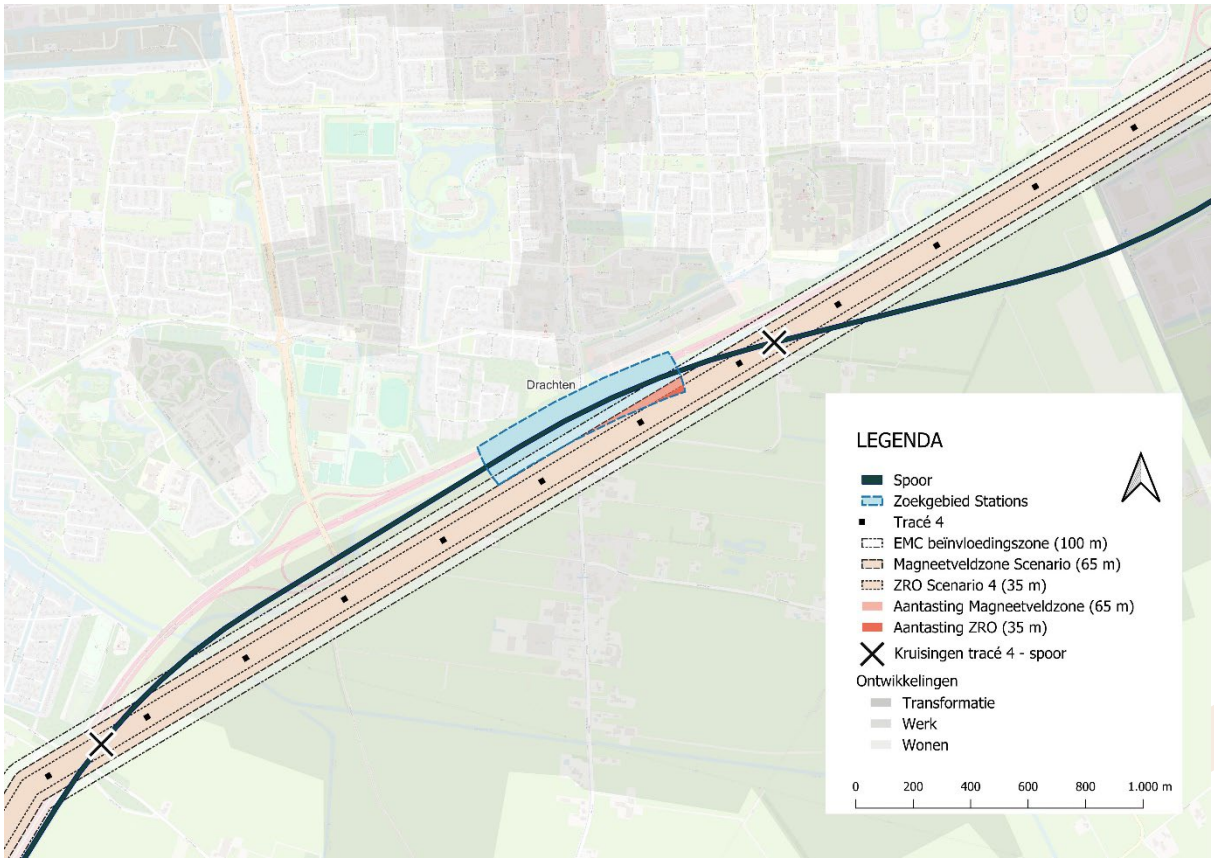
Voor Leek zijn daarom geen aanvullende maatregelen vereist.



Figuur 10: Raakvlakken tussen de Lelylijn en tracéalternatieven 4 en 5 van de 380 kV-hoogspanningsverbinding ter hoogte van Leek

3.3 Drachten

Voor het potentiële stationslocatie van Drachten zijn effecten zichtbaar. Het gaat hier om een geringe doorsnijding van een kleine hoek van het zoekgebied van het spoorwegstation (zie Figuur 11). Het effect op het stationslocatie is daardoor gering. De stationslocatie wordt beperkt door de 380 kV-verbinding, maar kan gerealiseerd worden. Wel zal de hoogspanningsverbinding op deze locatie een zeer aanwezige ruimtelijke structuur zijn tussen de beoogde stationslocatie en het gebied aan de zuidkant van Drachten.



Figuur 11: Raakvlakken tussen de Lelylijn en tracéalternatieven 4 en 5 van de 380 kV-hoogspanningsverbinding ter hoogte van Drachten

3.3.1 Mitigerende maatregelen

- Verplaatsen van het tracéalternatief van de hoogspanningsverbinding naar het zuiden zodat hij buiten het ontwikkelgebied blijft. Dit zal het tracéalternatief echter langer maken en kan vanuit ruimtelijk gezien rommeliger ogen doordat er meer hoeken in de lijn nodig zijn. Bij het uitwijken van tracéalternatieven dient er wel onderzocht te worden of het daadwerkelijk mogelijk is. Daarbij dient rekening gehouden te worden met de projectuitgangspunten en traceringsprincipes.
- Het omwisselen van de tracéalternatieven van de Lelylijn en de hoogspanningsverbinding is ook een optie. Daarbij zou de hoogspanningsverbinding altijd tussen de snelweg en het spoor liggen. Dit reduceert het aantal kruisingen en de impact op het ontwikkelgebied verkleind ten opzichte van de huidige samenstelling van bundelingsalternatieven. Ook zal het Lelylijntracéalternatief mogelijk iets korter worden. Een nadeel is echter dat er een grotere barriére ontstaat tussen het beoogde station de rest van Drachten.
- Verkabelen van de lijn zodat deze uit het zicht is en daardoor minder een ruimtelijke barrière is. Alhoewel dit een kostbare optie is kan het de ruimtelijke kwaliteit ten goede komen en de verbinding tussen het ontwikkelgebied, station en centrum versterken. Ook zorgt het verkabelen voor risico's voor leveringszekerheid, zeker als het gaat over meerdere verkabelingen in een tracéalternatief. Een gestuurde boring heeft de voorkeur omdat dit meer mogelijkheden houdt op het maaiveld.

3.4 Heerenveen

Het beoogde spoorwegstation van Heerenveen vormt de meest complexe inpassing voor de bundeling van beide verbindingen. Voor dit spoorwegstation zijn daarom ook nog veel verschillende varianten denkbaar. In vrijwel alle gevallen is voor de hoogspanningsverbinding gekozen voor een noordelijke ligging ten opzichte van de A7, terwijl de Lelylijn een zuidelijke ligging heeft. Ook vanuit de omgeving is dit de meest logische optie omdat ten zuiden van de A7 hoofdzakelijk woongebied is en ten noorden industrie en bedrijvigheid. Wel dient erbij vermeld te worden dat het onderzoek van de Lelylijn 3 opties verkent. Daarvan is optie 1 de ingetekende variant, ook wel de optie 'verdichten van de bestaande infrastructuur'. Er zijn volgens het onderzoek ook opties denkbaar die een grootschalige aanpassing aan de bestaande bebouwing en infrastructuur vereisen. Binnen deze variant is het nog niet duidelijk op welke hoogte de Lelylijn gesitueerd is. De Lelylijn kan met de bestaande infrastructuur (kanalen, spoorweg naar Leeuwarden en het klaverblad van de A7-A32) niet situeren op het maaiveld. Het onderzoek naar de Lelylijn noemt twee opties: ondergronds (-1) of bovengronds (+2).

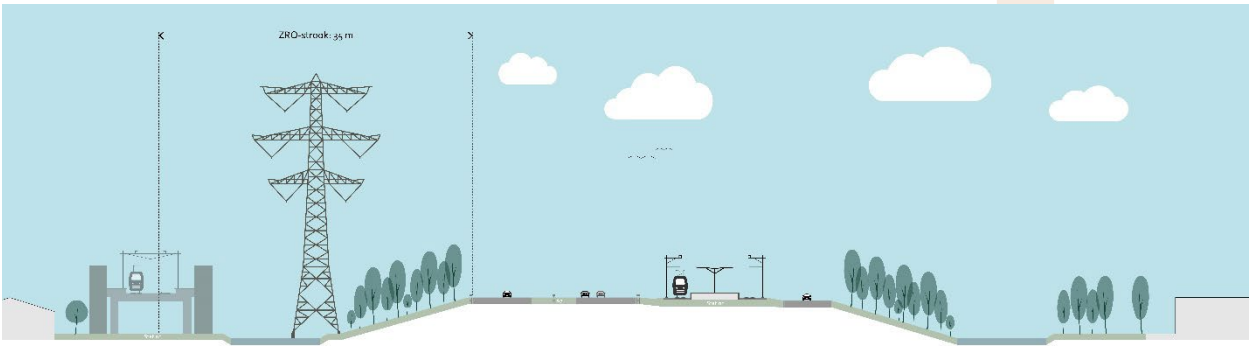
Wat de bundeling van beide infrastructuren bemoeilijkt is de aftakking van de Lelylijn naar Leeuwarden die langs de noordelijke oksel van het klaverblad loopt. Op deze plek is er een nauwe parallelloop en is het profiel (zie Figuur 12) te smal om beide lijnen op voldoende afstand van elkaar te houden. Als hier ook een spoorwegstation gerealiseerd wordt is het profiel te smal. In het kaartbeeld van Figuur 13 is te zien dat op deze locatie het potentiële stationslocatie wordt doorsneden door de ZRO-strook en de magneetveldzone van de hoogspanningsverbinding. Daarmee heeft de 380 kV-verbinding een grote impact op een station aan de noordzijde van de A7. Een station aan de zuidzijde wordt niet beperkt.

Bij de (volledig) ondergrondse optie van de Lelylijn is de impact van de hoogspanningsverbinding op het station en de Lelylijn beperkt omdat er voldoende (verticale) afstand is tussen de Lelylijn en de hoogspanningsverbinding. De ZRO-strook kan op het maaiveld grotendeels geborgd blijven. Het grootste aandachtspunt bij een station ten noorden van de A7 zijn de in- en uitgangen van het ondergrondse station. Deze vallen in de ZRO-strook en magneetveldzone.

Een bovengrondse ligging van de Lelylijn zorgt voor veel aandachtspunten. Allereerst is de afstand tussen de hoogspanningsgeleiders en de bovenleiding erg nauw bij de kruising van de verbindingen ten westen van het zoekgebied van het spoorwegstation. De elektromagnetische beïnvloeding zal hier te groot gaat zijn zonder maatregelen. Ook bij de nauwe samenloop van beide verbindingen liggen de bovenleiding en de hoogspanningsgeleiders op korte afstand van elkaar.

Tracéalternatief 4 van de hoogspanningsverbinding heeft een enkele Moldau variant die iets noordelijker gelegen is en door het industriegebied loopt. Bij de keuze voor deze variant zijn er geen effecten op het zoekgebied van het spoorwegstation.

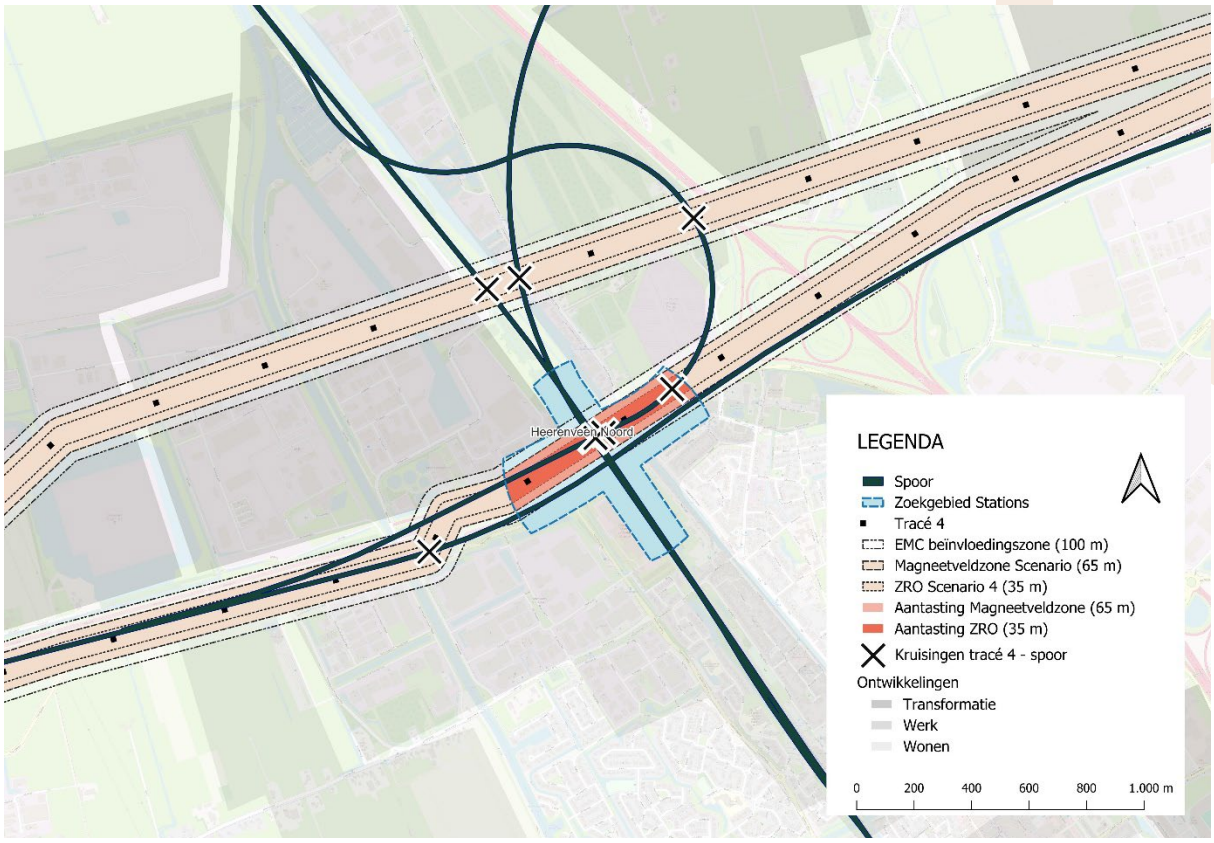
De conclusies voor de verschillende tracéalternatieven van de hoogspanningsverbinding en bovengrondse en ondergrondse opties van de Lelylijn worden overzichtelijk weergegeven in Tabel 4.



Figuur 12: Profiel van de bundeling met de Lelylijn zowel aan de zuidzijde van de A7 als de noordzijde met de boog naar Leeuwarden. Stations zijn ingetekend.

Tabel 4: Overzicht van aandachtspunten tussen verschillende tracéalternatieven van de hoogspanningsverbinding en de boven- en ondergrondse optie van de Lelylijn

	380 kV-tracéalternatief 4 en 5	Variant 380 kV tracéalternatief 4 (enkele Moldau)
Lelylijn op -1	Kruising tussen beide verbindingen is mogelijk.	Geen aandachtspunten.
Aftakking naar Leeuwarden op -1	Bundeling is haalbaar, maar een eventueel spoorwegstation aan de noordzijde van de A7 is niet mogelijk door de ZRO-strook.	Geen aandachtspunten.
Lelylijn op +2	Kruising ten westen van het beoogde station vraagt een dusdanig hoge hoogspanningsmast dat deze niet haalbaar is met een bovengrondse 380 kV-verbinding.	Geen aandachtspunten.
Aftakking naar Leeuwarden op +2	Door de hogere ligging van het spoor zal de EM-beïnvloeding te hoog zijn en is deze optie niet haalbaar.	Door hogere ligging in de boog vraagt de kruising om precieze inpassing zodat er voldoende afstand is tussen de bovenleiding en de geleiders van de 380 kV-verbinding. Er zijn geen aandachtspunten voor het station.



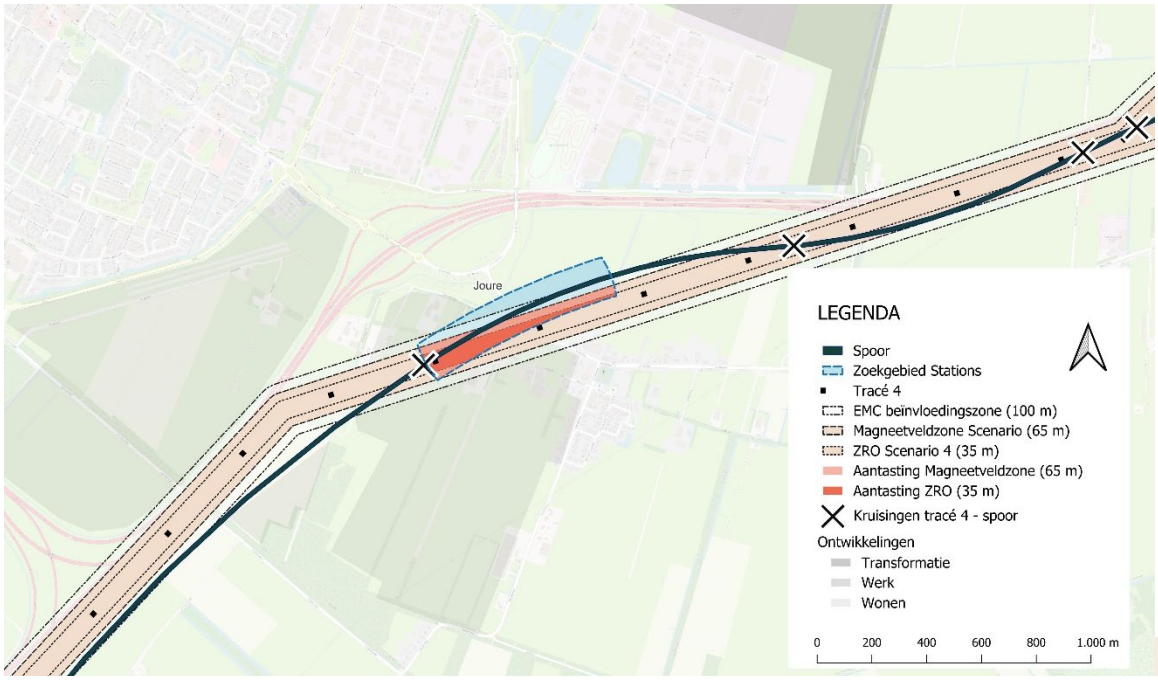
Figuur 13: Raakvlakken tussen de Lelylijn en tracéalternatieven 4 en 5 van de 380 kV-hoogspanningsverbinding ter hoogte van Heerenveen

3.4.1 Mitigerende maatregelen

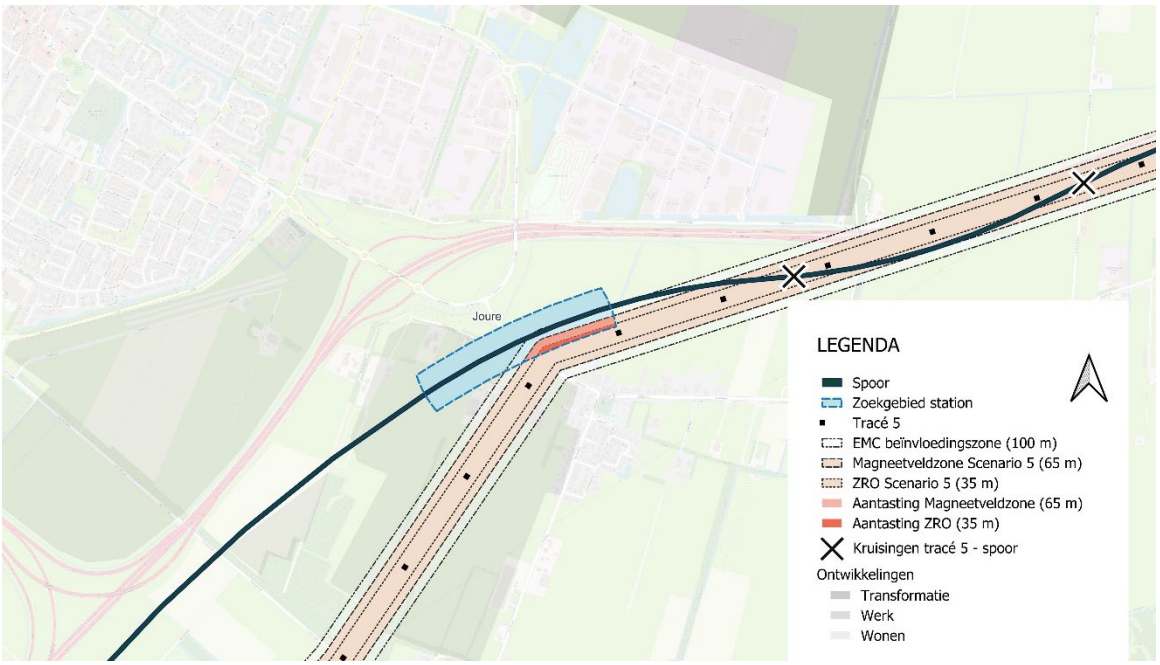
- Tracékeuze voor beide lijnen op elkaar afstemmen zodat ze hier niet overlappen. In beide gevallen zijn er keuzes mogelijk waarmee de invloed van beide lijnen op elkaar gereduceerd kunnen worden. Het meest voor de hand liggende voorstel is het kiezen voor de noordelijke (enkele Moldau) variant van tracéalternatief 4 van de 380 kV-hoogspanningsverbinding. Daarbij kan de Lelylijn strak gebundeld blijven met de snelweg.
- Een extra variant voor de 380 kV-hoogspanningsverbinding die met een grotere boog om Heerenveen gaat. Hierdoor behoudt de Lelylijn al haar mogelijkheden bij Heerenveen.
- In het geval van Heerenveen kan het verkabelen van de hoogspanningsverbinding een optie bieden. Dit dient echter wel te gaan om een gestuurde boring op enige diepte, zodat het magneetveld kleiner is en er daardoor meer mogelijk is op het maaiveld. Ook geldt er dat er bij parallelloop nog enige afstand van het spoor dient te zijn. Het advies is om minimaal 11 meter afstand tot het spoor te houden. Een kruising is mogelijk op voldoende diepte. Dit is echter een kostbare optie en zal het probleem ook niet volledig wegnemen. De bodemsamenstelling moet een verkabeling wel toestaan, niet bij elke samenstelling is dit mogelijk. Ook zorgt het verkabelen voor risico's voor leveringszekerheid, zeker als het gaat over meerdere verkabelingen in een tracéalternatief. Door het sterk verstedelijkte gebied is inpassing van de kabel ook lastiger vanuit in- en uittredepunten en ook op locaties waar moffen zijn. Meer informatie over verkabelen is te vinden in het tekstkader in de Inleiding van dit rapport.

3.5 Joure

Het zoekgebied naar het spoorwegstation van Joure wordt geraakt door de tracéalternatieven van de hoogspanningsverbinding (zie Figuur 14 en Figuur 15). In beide tracéalternatieven raakt de hoogspanningsverbinding het zoekgebied voor het spoorwegstation met zowel de magneetveldzone als de ZRO-strook. Dit zorgt ervoor dat de ontwikkeling van een station wordt beperkt door de hoogspanningsverbinding. Bij tracéalternatief 4 van de hoogspanningsverbinding wordt ca. de helft van het zoekgebied overlapt. Dit tracéalternatief heeft een grote impact op het zoekgebied naar stations. Tracéalternatief 5 beslaat met de ZRO-strook en de magneetveldzone slechts een klein deel van het zoekgebied en heeft maar een beperkte impact op het zoekgebied. Hier kan het station nog gerealiseerd worden, maar wordt aan 1 zijde beperkt.



Figuur 14: Raakvlakken tussen de Lelylijn en tracéalternatief 4 van de 380 kV-hoogspanningsverbinding ter hoogte van Joure



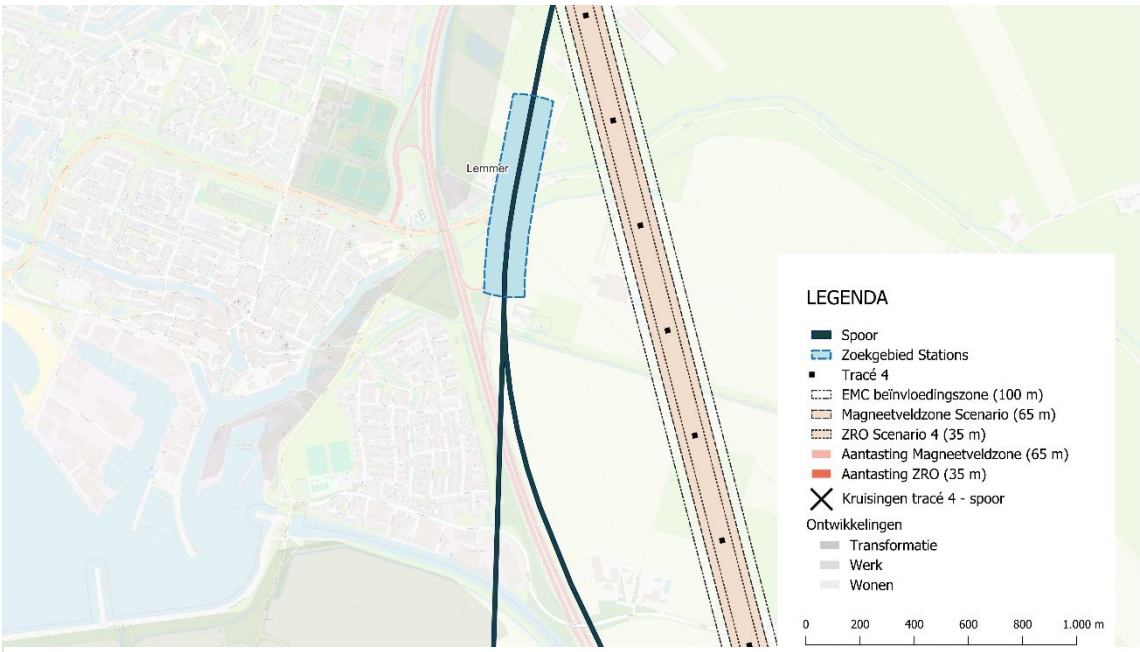
Figuur 15: Raakvlakken tussen de Lelylijn en tracéalternatief 5 van de 380 kV-hoogspanningsverbinding ter hoogte van Joure

3.5.1 Mitigerende maatregelen

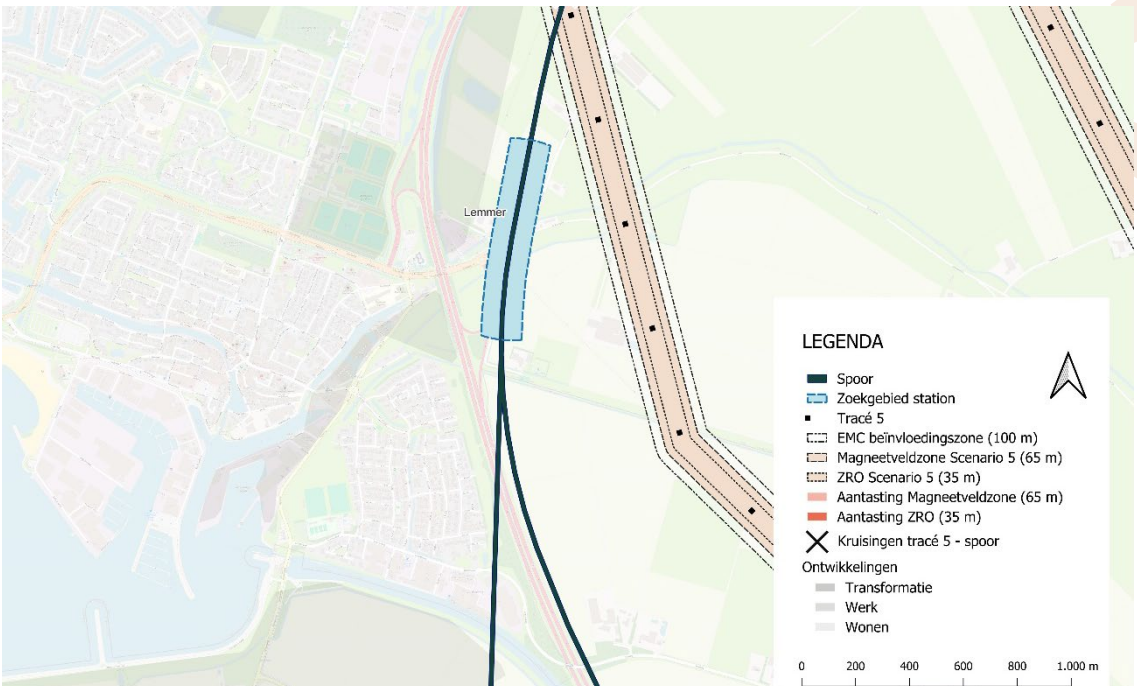
- Het verplaatsen van het hoogspanningstracéalternatief. In het zuiden lijkt voldoende ruimte te zijn en bovendien loopt er een bestaande 110kV hoogspanningsverbinding die geen overlap heeft met de Lelylijn. Bij het uitwijken van tracéalternatief dient er wel onderzocht te worden of het daadwerkelijk mogelijk is. Daarbij dient rekening gehouden te worden met de projectuitgangspunten en traceringsprincipes.
- Mocht er geen alternatieve tracéring van de 380 kV verbinding mogelijk zijn, dan kan verkabelen een optie zijn. De haalbaarheid van de verkabeling dient onderzocht te worden. Daarbij moet gekeken worden naar belastbaarheid van het net en geschiktheid van de locatie. Dit gaat echter nog steeds zorgen voor beperkingen aan het stationslocatie. Ook hier geldt dat bovenop ruimte moet blijven voor beheer en onderhoud aan de kabel, waardoor het stationslocatie nog steeds niet volledig benut kan worden. Ook dient er rekening gehouden te worden met de in- en uittredepunten van de kabels. Deze hebben een grotere ruimtelijke voetafdruk dan een enkele hoogspanningsmast en dienen ook ingepast te worden. Meer informatie over verkabelen is te vinden in het onderstaande tekstkader in de inleiding.

3.6 Lemmer

Het beoogde station van Lemmer heeft geen directe raakvlakken met één van de mogelijke hoogspanningsverbindingen. Dit is ook te zien in de onderstaande kaarten Figuur 16 en Figuur 17. De hoogspanningsverbinding bevindt zich in beide tracéalternatieven op meer dan 300 meter van het stationslocatie. De hoogspanningsverbinding heeft geen impact op het zoekgebied van het station. Er zijn daarom geen mitigerende maatregelen nodig voor station Lemmer.



Figuur 16: Raakvlakken tussen de Lelylijn en tracéalternatief 4 van de 380 kV-hoogspanningsverbinding ter hoogte van Lemmer



Figuur 17: Raakvlakken tussen de Lelylijn en tracéalternatief 5 van de 380 kV-hoogspanningsverbinding ter hoogte van Lemmer

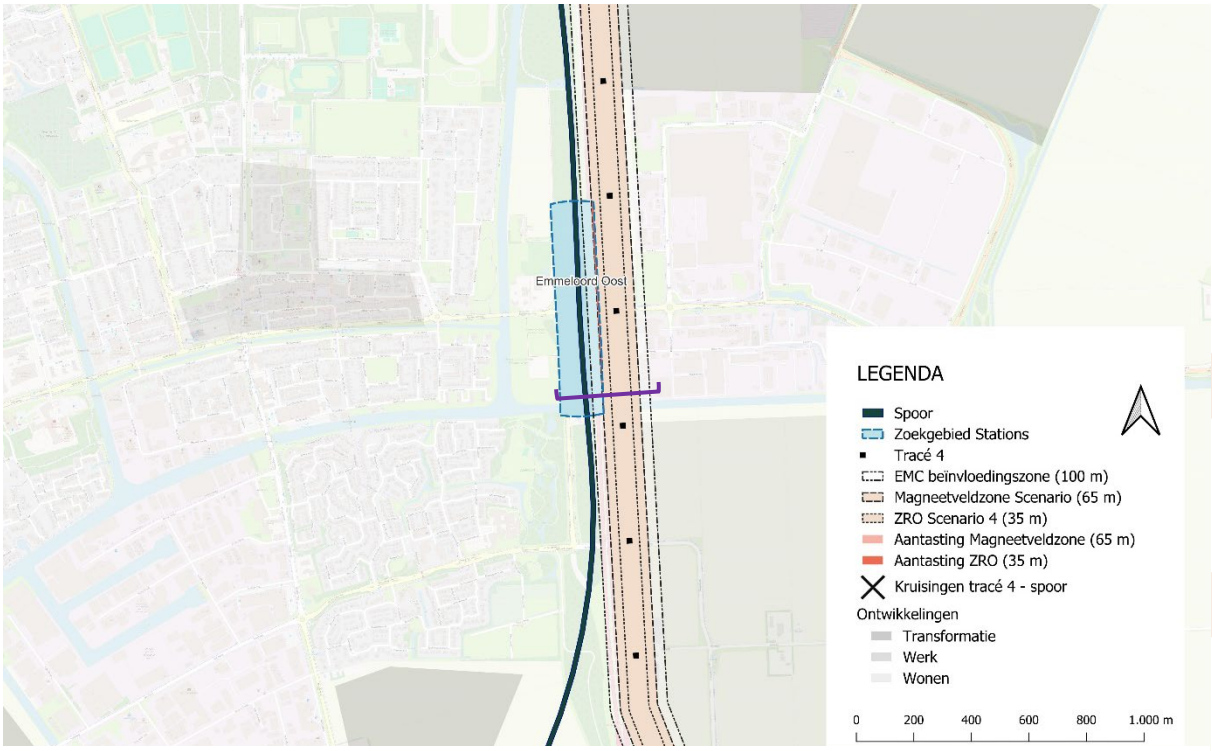
3.7 Emmeloord

Voor Emmeloord zijn er twee varianten voor de Lelylijn. Een station aan de oostzijde of de westzijde van de A6. Voor beide varianten worden in de volgende twee paragraven de raakvlakken van de bundeling toegelicht.

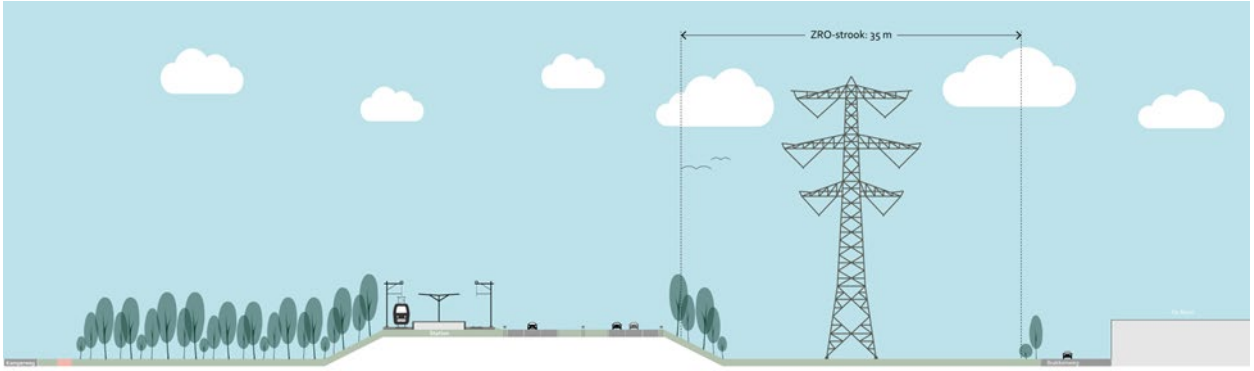
3.7.1 Station en Lelylijn ten westen van de A6

Voor de beoogde stationslocatie van Emmeloord is het afhankelijk van het tracéalternatief van de hoogspanningsverbinding of er raakvlakken optreden. Tracéalternatief 5 van de hoogspanningsverbinding is op grote afstand van het station ontworpen en heeft daardoor geen raakvlakken. Tracéalternatief 4 (zie de kaart op Figuur 18 en het profiel op Figuur 19) aan de andere kant loopt direct langs het spoor en heeft daardoor een direct raakvlak met de Lelylijn en de beoogde stationslocatie van Emmeloord. De magneetveldzone van de hoogspanningslijnen raakt de rand van het zoekgebied naar het spoorwegstation. In dit gebied wordt het afgeraden om gevoelige bestemmingen te plaatsen. Echter, bij nader beschouwen van de locatie is te zien dat de Lelylijn ten westen van de snelweg ligt en de hoogspanningsverbinding ten oosten. De magneetveldzone valt enkel boven de snelweg en heeft daardoor geen invloed op de stationslocatie. De bundeling van infrastructuur zorgt voor een grotere barrière met de rest van Emmeloord.

Bij deze tracéalternatieven zijn de effecten gering en worden er geen maatregelen voorgesteld.



Figuur 18: Raakvlakken tussen de Lelylijn en tracéalternatief 4 van de 380 kV-hoogspanningsverbinding ter hoogte van Emmeloord



Figuur 19: Profiel met Lelylijn inclusief perron aan de westzijde van de A6.

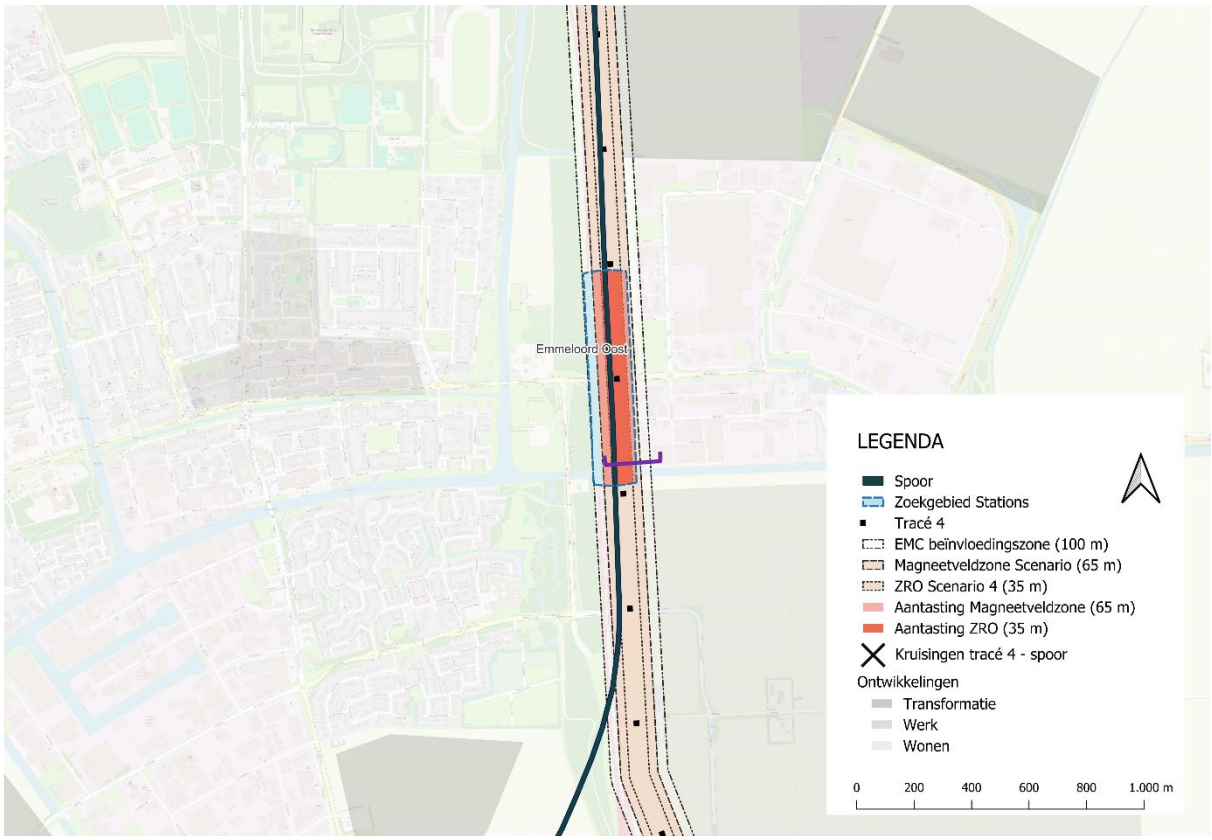
3.7.2 Station en Lelylijn ten oosten van de A6

De gemeente Noordoostpolder wenst een situering van de Lelylijn aan de oostzijde van de snelweg. Dit is nog niet opgenomen in het onderzoek van de Lelylijn tijdens de totstandkoming van dit raakvlakkenonderzoek. In deze raakvlakkenstudie is een mogelijke situatie geschetst met de Lelylijn inclusief station aan de oostkant. Dit is weergegeven in onderstaande kaart (Figuur 20) en profiel (Figuur 21).

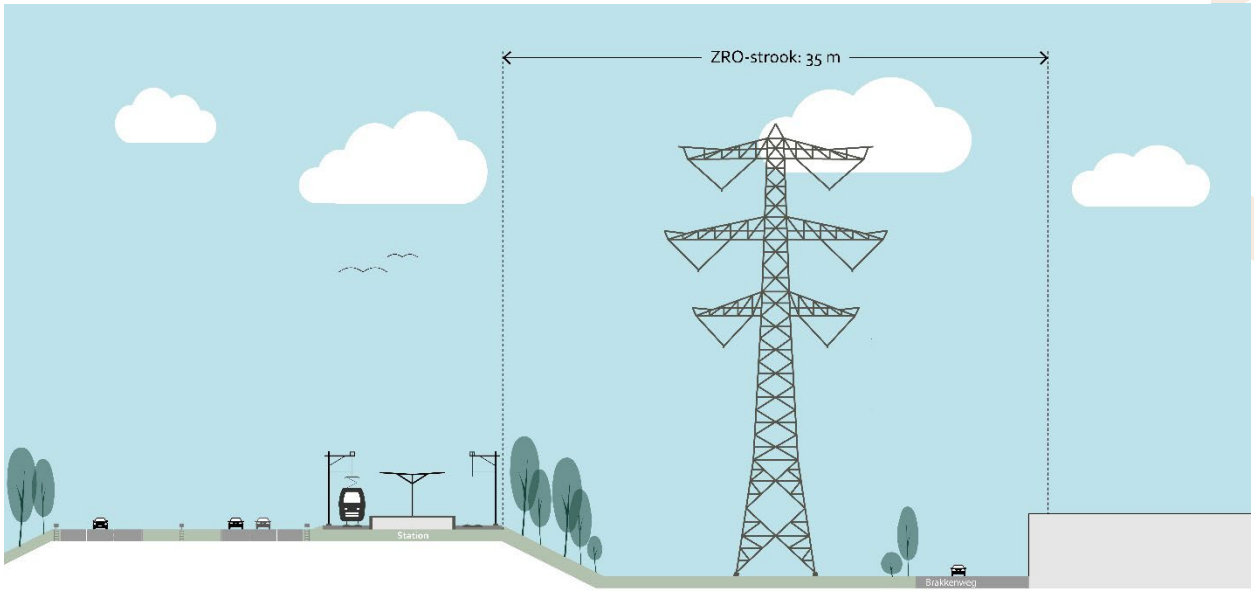
Met de huidige ligging van tracéalternatief 4 van de hoogspanningsverbinding is er grote overlap van de ZRO-strook en de magneetveldzone en het zoekgebied van het spoorwegstation. De hoogspanningsverbinding heeft daardoor grote impact op het zoekgebied. In deze configuratie hangen de hoogspanningsgeleiders nagenoeg boven de hoogspanningsverbinding waardoor het technisch door de hoge mate van EM-beïnvloeding niet haalbaar is.

Het profiel aan de oostzijde is nauw waardoor een bundeling van beide verbindingen alleen op korte afstand van elkaar mogelijk is. De afstand van de A6 tot de eerste gebouwen (het steunpunt van de Provincie Flevoland) is slechts 32 m. De eerstvolgende gebouwen bevinden zich op 75 tot 90 meter. De hoogspanningsverbinding kan ruimtelijk worden ingepast op 50 meter van het buitenste spoor, maar dit zorgt er wel voor dat de ZRO-strook over de bebouwing van het industriegebied loopt.

Om de bundeling te garanderen bij deze variant van de Lelylijn is het advies om een extra variant te maken van de 380 kV-hoogspanningsverbinding die volledig om Emmeloord gaat.



Figuur 20: Raakvlakken tussen de Lelylijn en tracéalternatief 4 van de 380 kV-hoogspanningsverbinding ter hoogte van Emmeloord met het station en Lelylijn aan de oostzijde van de snelweg.



Figuur 21: Profiel met Lelylijn inclusief perron aan de oostzijde van de A6. De hoogspanningsverbinding is oostelijker geplaatst dan in het kaartbeeld. De afstand van de A6 tot het eerste gebouw van Industrieterrein de Munt is 90 meter.

4 Aandachtspunten realisatie (bouw)

De realisatie van beide lijnen vindt niet gelijktijdig plaats. In de projectplanning van beide projecten wordt de hoogspanningsverbinding meerdere jaren eerder gebouwd dan de Lelylijn. De belangrijkste aspecten om rekening mee te houden liggen bij kruisen van de lijnen. Het gaat daarbij om de volgende werkzaamheden:

- Werkzaamheden aan bovenleidingportalen en bovenleidingen: Het installeren van hoge componenten zoals portalen en bovenleidingen kan de veilige afstand tot de hoogspanningslijnen verkleinen, wat risico's op elektrische overslag met zich meebrengt. Dit wordt als het voornaamste aspect gezien en zal als enige nader worden toegelicht.
- Grondwerk nabij masten: Graafwerkzaamheden voor de aanleg van spoorfunderingen kunnen de stabiliteit van hoogspanningsmasten beïnvloeden.
- Gebruik van zware machines nabij masten en hoogspanningslijnen: Hierbij kan aanrijdschade aan de hoogspanningslijnen of masten optreden.
- Onderhoudswerkzaamheden: Onderhoud aan zowel de spoorlijn als de hoogspanningsverbinding kan complex zijn, vooral als er beperkte toegang is tot de infrastructuur

4.1.1 Werkzaamheden aan de bovenleiding

Het trekken van de bovenleiding is een van de meest tijdrovende werkzaamheden. ProRail geeft de voorkeur aan lange stukken bovenleiding, wat het trekken ervan tot een meerdaagse taak maakt. Tijdens het plaatsen van de bovenleiding onder de hoogspanningsgeleiders is een tijdelijke uitschakeling van de 380 kV verbinding nodig waarin de 380 kV verbinding buiten bedrijf is. Voor kruisingen kan echter worden gekozen voor kortere stukken bovenleiding (bijvoorbeeld 50 meter voor en na de kruising). Dit maakt het mogelijk om de bovenleiding binnen een paar uur te trekken, passend binnen een buitendienstblok van vier uur.
Dit biedt voldoende tijd om aanzienlijke werkzaamheden uit te voeren, met name aan de hoge componenten zoals portalen en bovenleidingen. Om de uitschakeling van de 380kV-verbinding te vereenvoudigen, kunnen slimme voorwaarden worden gesteld. Bijvoorbeeld, deze momenten kunnen worden gepland tijdens daluren van de 380kV capaciteitsvraag, zoals overdag buiten de spitsuren.

Bij trajecten met meerdere kruisingen kan het noodzakelijk zijn om de bovenleiding in meerdere stukken op te knippen. Hoewel dit mogelijk is, is het niet wenselijk. Voor onderhoud en operationele efficiëntie is het beter om voldoende ruimte tussen de kruisingen te houden, zodat er vrij gewerkt kan worden. Dit betekent dat drie afzonderlijke kruisingen te verkiezen zijn boven één lange kruising met meerdere overgangen.

Bij de planning van het tracéalternatief van de Lelylijn moet rekening worden gehouden met voldoende ruimte tussen de kruisingen. Dit vergemakkelijkt zowel de bouw als het onderhoud, en voorkomt de noodzaak van lange, complexe kruisingen.

5 Kosten van maatregelen

In dit hoofdstuk wordt een schatting gegeven van de kosten van de belangrijkste maatregelen die zijn voorgesteld in de voorgaande hoofdstukken. De waardes zijn schattingen van kengetallen door verschillende kostendeskundigen van Movares. Er geldt een hoge onzekerheid bij de inschattingen aangezien de bouwactiviteiten in de toekomst pas plaatsvinden. Er kunnen verschillen zijn met het IEA kosten van het project VVL-ENS.

De onderstaande Tabel 5 geeft voor elke maatregel weer wat het kostenkengetal is met daarbij een toelichting wat het uitgangspunt is voor het kostenkengetal.

Tabel 5: Kostenkengetallen van maatregelen

Maatregel	Kostenkengetal	Eenheid	Toelichting
EMC			
Onderstation aan de spoorweg (Lelylijn)	€6.500.000	Per onderstation	Betreft de kosten van een onderstation met twee tractiegroepen en twee 10kV kabelverbindingen. Naar verwachting is er een onderstation nodig om de 6 km. Uit het onderzoek naar inductieve beïnvloeding moet nog blijken hoeveel extra onderstations geplaatst dienen te worden om de nauwe parallelloop technische mogelijk te maken.
Capacitieve aardingen aan de spoorweg (Lelylijn)	€100.000	Per capacitieve aarding	De capacitieve aarding is een condensatorbank met 2 gekoppelde aardelektrodes. Bij elk onderstation dient een capacitieve aarding geplaatst te worden.
Kruisingen			
Hogere hoogspanningsmasten	€150.000	Meerkosten per mast	Dit zijn de meerkosten van een hogere S+3 mast ten opzichte van de standaard S+0 mast. Voor een kruising dient aan beide zijden van het spoor een hogere mast geplaatst te worden.
Extra hoogspanningsmasten voor kortere veldlengtes	€1.000.000	Per hoogspanningsmast	Betreft een schatting van de stichtingskosten een extra mast in dezelfde lijn.
Hoogspanningshoekmast voor haakse kruisingen	€2.000.000	Per hoekmast	Bij elke kruising kan het verschillen hoeveel extra masten nodig zijn. Dit is afhankelijk van de hoek ten opzichte van het spoor en de afstand die de masten hebben tot het spoor. De hoeveelheid extra masten kan uiteenlopen van 1 tot 3 extra

			(hoek)masten. Een hoekmast kan maximaal een hoek van 120 graden maken. Een hoekmast is ongeveer 2 keer zo duur als een normale hoogspanningsmast.
Omleiding 380 kV-hoogspanningsverbinding	€7.000.000	Per km	Betreft het verlengen van de hoogspanningsverbinding. Per voorgestelde aandachtslocatie kan het verschillen van 50 m tot 500 m extra hoogspanningsverbinding.
Stationslocaties			
Omleiding 380 kV-hoogspanningsverbinding	€7.000.000	Per km	Zie bovenstaande toelichting.
Verkabelen van de 380 kV-hoogspanningsverbinding	€17.500.000 - €21.000.000	Per km	Ondergrondse aanleg is ongeveer 2,5 tot 3 keer zo duur. Hierbij is geen rekening gehouden met economische verliezen van het lagere rendement van de hoogspanningsverbinding door verkabeling.
Aandachtspunten realisatie (bouw)			
Tijdelijk uitschakelen van de 380 kV-hoogspanningsverbinding	€0 - €1.000.000	Per periode van 4 uur uitschakelen tijdens daluren	Het is te verwachten dat er economische schade optreedt bij het tijdelijk uitschakelen van de verbinding. Het is extra moeilijk in te schatten in verband met onzekerheid over hoeveelheid energie die door de verbinding gaat en prijs van energie in de toekomst. De schatting gaat uit van de hoeveelheid energie die in een normale situatie langs de verbinding zou gaan. Van tevoren plannen is zeer belangrijk en zal de kosten beïnvloeden. Tegelijkertijd op meerdere plekken werken zorgt ook voor een lager verlies.

Er zijn drie bundelingsscenario's doorgerekend waarin de meerkosten voor zowel de Lelylijn als de 380 kV verbinding geschat worden. In de scenario's zijn combinaties gemaakt van maatregelen. Het lage scenario gaat uit van wenselijkere uitgangspunten zoals het minimaliseren van kruisingen en kleine tracéaanpassingen aan de hoogspanningstracéalternatieven. Ook wordt er in het lage scenario uitgegaan van een Lelylijn die 200 km/u gaat. In die situatie is het aannemelijk dat er ook elke 6 km een onderstation nodig is en deze voor de bundeling geen meerkosten zijn. Er zijn twee hoge scenario's berekend waarbij een groot deel van de kruisingen behouden en zijn er veel hoekmasten nodig. In het ene hoge scenario wordt er een deel van de hoogspanningsverbinding verkabeld en in het andere scenario wordt er uitgegaan van een alternatieve tracering. De meerkosten van de bundelingsscenario's zijn te zien in Tabel 6.

Tabel 6: Schattingen van meerkosten voor beide verbindingen bij verschillende bundelingsscenario's.

	Laag scenario	Hoog scenario met verkabeling	Hoog scenario zonder verkabeling
Geschatte toename projectkosten Lelylijn	+ 0,005%	+ 0,7 %	+ 0,7 %
Geschatte toename projectkosten 380 kV-verbinding	+ 1%	+ 9%	+7 %

6 Conclusie

Middels dit raakvlakkenonderzoek is onderzocht wat de raakvlakken en aandachtspunten zijn tussen de projecten Lelylijn en de hoogspanningsverbinding tussen Vierverlaten en Ens.

Naar voren is gekomen dat er duidelijke aandachtspunten zijn, waarbij is gekeken naar de volgende onderwerpen:
- Elektromagnetische Beïnvloeding
- Kruisingen
- Invloed van de hoogspanningsverbinding op de stationslocaties
- Aandachtspunten realisatie (bouw)
- Kosten van mitigerende maatregelen

Voor alle onderdelen zijn aandachtspunten gevonden die mitigerende maatregelen of keuzes vereisen. Echter laat de studie zien dat de belemmeringen weggenomen kunnen worden door het nemen van mitigerende maatregelen en het op elkaar afstemmen van de tracéalternatieven en varianten.

De effecten van de hoogspanningsverbinding op de ontwikkelgebieden van de Lelylijn zijn onderzocht in een separate studie van Sweco. Deze aspecten kunnen besluitvorming nog beïnvloeden.

6.1 Elektromagnetische beïnvloeding

Het tractie-energievoorzieningssysteem van de Lelylijn is één van de belangrijkste factoren voor elektromagnetische beïnvloeding tussen beide lijnen. Binnen dit onderzoek is uitgegaan van het worstcasescenario met 1500 V gelijkspanning. Alhoewel beide lijnen op verschillende locaties binnen 100 meter van elkaar parallel lopen, is uit onderzoek gebleken dat er geen directe belemmeringen zijn om elektromagnetische compatibiliteit te bereiken. Voorwaarde is wel dat er mitigerende maatregelen worden genomen. Met het nemen van de mitigerende maatregelen is een bundeling met een onderlinge afstand van 100 meter, en een onderlinge afstand van 50 meter over korte lengte, mogelijk. De mitigerende maatregelen dienen genomen te worden in zowel het hoogspanningssysteem, de koppelweg als in de spoorweginfrastructuur.

De bundeling tussen Emmeloord en Lemmer is niet dusdanig meegenomen in de studie naar inductieve beïnvloeding. Op deze locatie zijn beide tracés duidelijk nog niet op elkaar afgestemd en zal met de huidige tracés gesteld kunnen worden dat het niet mogelijk is. Dat heeft niet alleen met de inductieve beïnvloeding te maken, maar ook met onderhoudbaarheid gezien de geleiders van de 380 kV hoogspanningsverbinding boven het spoor lopen over grote lengtes. Wel is de inschatting dat hier voldoende ruimte is om beide tracés op voldoende afstand van elkaar te plaatsen.

6.2 Kruisingen

De kruisingen tussen de lijnen vormt daarnaast een belangrijk aandachtspunt. Op verschillende locaties kruisen beide lijnen elkaar. Dit gebeurt vooral met flauwe hoeken, die zowel vanuit elektromagnetische beïnvloeding en onderhoudbaarheid niet wenselijk zijn. De keuze van tracéalternatieven en varianten zullen leidend zijn in de hoeveelheid kruisingen. Daarnaast zijn er kleine tracéaanpassingen denkbaar waardoor het aantal kruisingen verminderen. Bij het uitwijken van tracéalternatief dient er onderzocht te worden of het daadwerkelijk mogelijk is. Daarbij dient rekening gehouden te worden met de projectuitgangspunten en traceringsprincipes.

6.3 Stationslocaties

De stationslocaties vormen het grootste aandachtspunt. Dit geldt vooral bij de stations Heerenveen en Emmeloord bij een ligging ten oosten van de A6. Op deze locaties heeft de hoogspanningsverbinding met de ZRO-strook en magneetveldzone grote impact op de zoekgebieden naar stations. De hoogspanningsverbinding beperkt op deze locaties de ontwikkeling van het station. Bovendien vergroot de hoogspanningsverbinding de ruimtelijke barrière van de Lelylijn en snelweg. Ook de zoekgebieden van Drachten en Joure worden geraakt door

de ZRO-strook en magneetveldzone, maar in mindere mate waardoor een station nog wel gerealiseerd kan worden. Voor Heerenveen en Emmeloord zijn er meerdere varianten mogelijk en is het afhankelijk van de variant in hoeverre er aandachtspunten zijn. Voor een deel van de varianten zijn er oplossingen mogelijk met een kleine aanpassing aan de tracéalternatieven van beide verbindingen. Om bundeling met alle varianten van de Lelylijn te kunnen garanderen zijn er extra varianten nodig bij Emmeloord en Heerenveen. Bij Drachten en Joure kunnen de aandachtspunten opgelost kunnen worden door het beter op elkaar afstemmen van beide tracéalternatieven. Wanneer verplaatsen van tracéalternatieven geen optie is kan het verkabelen van de hoogspanningsverbinding een mogelijkheid bieden voor het verminderen van de barrièrevorming. De lengte van verkabeling dient te worden afgestemd tussen hoogspanningsverbinding, stationslocatie en ontwikkelgebied. Echter heeft het verkabelen van hoogspanningsverbindingen zeer veel nadelen zoals capaciteitsverlies en blijft er een brede strook waar niet op gebouwd mag worden.

6.4 Aandachtspunten realisatie

Bij het realiseren van de spoorverbinding in nabijheid van de hoogspanningsverbinding zijn vooral de kruisingen een aandachtspunt. Echter is dit op te lossen door het tijdelijk uitzetten van de hoogspanningsverbinding en het toepassen van kortere stukken bovenleiding ter hoogte van de kruising. Ook is het aan te raden om niet meerdere kruisingen kort achter elkaar te plaatsen.

6.5 Meerkosten van maatregelen

De nodige maatregelen zorgen voor meerkosten voor beide projecten. Voor de Lelylijn zijn deze ten opzichte van de totale projectkosten gering en naar verwachting minder dan 0,7% extra ten opzichte van de huidige verwachtte projectkosten voor het bundelingsalternatief. De meerkosten voor de 380 kV verbinding zijn procentueel hoger en worden geschat op 1 tot 9 % meer ten opzichte van de huidige verwachte projectkosten van de 380 kV verbinding.

Bijlage 1 Raakvlakkenstudie met 25kV

Inleiding
Het geëlektrificeerde gedeelte van het Nederlandse spoor maakt gebruik van 1500 V gelijkstroom, met uitzondering van de HSL's en de Betuweroute. De keuze voor 1500 V is meer dan 100 jaar geleden gemaakt. De reden voor 1500 V waren o.a., dat wisselstroom motoren in die tijd groot en zwaar waren waardoor de spanningen die in de Duitssprekende gebieden niet gewenst waren. Dit stroomsysteem heeft lang voordelen gehad. Echter zijn de belangrijkste argumenten komen te vervallen door de introductie van de semiconductors waardoor draaistroomtechnologie mogelijk werd.

Verschil tussen 1500 V en 25 kV
Er is een fundamenteel verschil tussen de bovenleiding spanning van 1500 V en 25 kV. In het huidige Nederlandse spoornet wordt gebruik gemaakt van 1500 V gelijkstroom. Als uitzondering hierop zijn de HSL-trajecten, de Betuweroute en de Havenspoorlijn. Bij deze trajecten wordt gebruik gemaakt van een hogere spanning, namelijk 25 kV 50 Hz wisselstroom. Deze spanning is meer dan 16 keer hoger dan de spanning op het normale spoor. Ook zijn er verschillen m.b.t. de manier van detecteren waar treinen zich bevinden evenals de manier van signaleren.

Op de 25 kV trajecten wordt o.a. gebruik gemaakt van ERTMS, waarbij er geen seinen meer langs het spoor staan maar de signalering in de cabine van de locomotief plaats vindt.

Voor- en nadelen van 25 kV
Lagere elektromagnetische beïnvloeding tussen infrastructuren
Het kiezen van 25 kV zorgt voor een landschap technisch voordeel. Wanneer er gekozen wordt voor 25 kV zorgt dit er voor, dat de tracering voor zowel de hoogspanningslijn VVL-ENS380 en de Lelylijn vanuit een EMC perspectief eenvoudiger wordt en beide projecten in elkaars nabijheid kunnen functioneren. Het huidige 1500V spoor is gevoelig voor EMC beïnvloeding vanuit de hoogspanningsverbindingen. ProRail geeft in haar eigen norm aan, dat er nader onderzoek dient plaats te vinden als hoogspanningsverbindingen binnen een afstand van 700 m van het spoor liggen. Spoorlijnen die met 25 kV gevoed worden, zijn volgens ProRail redelijk ongevoelig voor beïnvloeding, wanneer deze vergeleken worden met het 1500 V spoor. ProRail geeft namelijk aan, dat de afstand tussen het spoor en de hoogspanningsverbindingen niet minder mag zijn dan 11 m. De nauwere bundelmogelijkheid biedt veel meer mogelijkheden voor de tracering en daarmee het bundelen van de hoogspanningsverbinding en de Lelylijn.

Minder energieverliezen
Een ander groot voordeel van het gebruik van 25 kV is, dat de energieverliezen vele malen minder zijn dan bij de traditionele bovenleidingspanning. Dit is vooral belangrijk als er met hoge snelheden gereden wordt (HSL) of als er veel energie nodig is om grote massa's in beweging te krijgen (Betuweroute en havenspoorlijn). Zoals eerder genoemd is de spanning meer dan 16 keer zo hoog dan bij 1500 V. Deze spanning zorgt ervoor dat, bij gelijk vermogen, de stromen 16 keer zo laag kunnen zijn, wat de energieverliezen enorm reduceert. Energieverliezen kunnen berekend worden met $P=U\,I$. Waarbij deze met de formule $I=U/R$ omgeschreven kan worden naar $P=I^2R$. Bij gelijke snelheid, zal het verschil spanningsverschil tussen 25kV en 1500V ervoor zorgen, dat de energieverliezen nog maar 1/256 is bij gebruik van 25kV t.o.v. 1500V. In kader van de energietransitie is het in alle sectoren essentieel om onnodige energieverliezen te minimaliseren. Ook vanuit een maatschappelijk oogpunt zou dit zeer gewenst zijn. ProRail heeft in het verleden geconcludeerd dat 1500V gelijkstroom niet toekomst vast is. Daarom heeft ProRail zelf onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om het complete Nederlandse spoor om te bouwen naar 3000V gelijkstroom. Uit het onderzoek is gebleken, dat financieel gezien het project binnen enkele jaren terugverdiend zou zijn. Hoewel het financieel interessant is, zorgt dit in de praktijk voor problemen. Om landelijk 3000 V in te voeren, zou het complete spoornetwerk in fases omgebouwd moeten worden, waardoor er lange tijd geen treinen kunnen rijden. Landelijke ombouw is hierdoor niet haalbaar. Omdat hier nu een nieuw "alleenstaande" spoorlijn wordt gebouwd (vergelijkbaar met de HSL en Betuweroute), is het logisch om kiezen

voor 25 kV. Bij hogere snelheden stijgt het vanuit de bovenleiding opgenomen vermogen. Hierdoor stijgen de energieverliezen exponentieel. In het verleden heeft een ICE op de Hanzelijn rond de 200 km/h gereden onder 1500V, echter zorgt dit er voor dat de energie verliezen exponentieel stijgen. Vanuit de formule E=1/2mv^2 blijkt, dat het rijden met 200 km/h ipv 140 km/h ervoor zorgt dat de energie die nodig is, verdubbeld. Dit betekent, dat vanuit de doelstelling om van de Lelylijn een HSL te maken, de bedrijfsspanning 25 kV zal worden.

Vraag naar ander spoorwegmaterieel

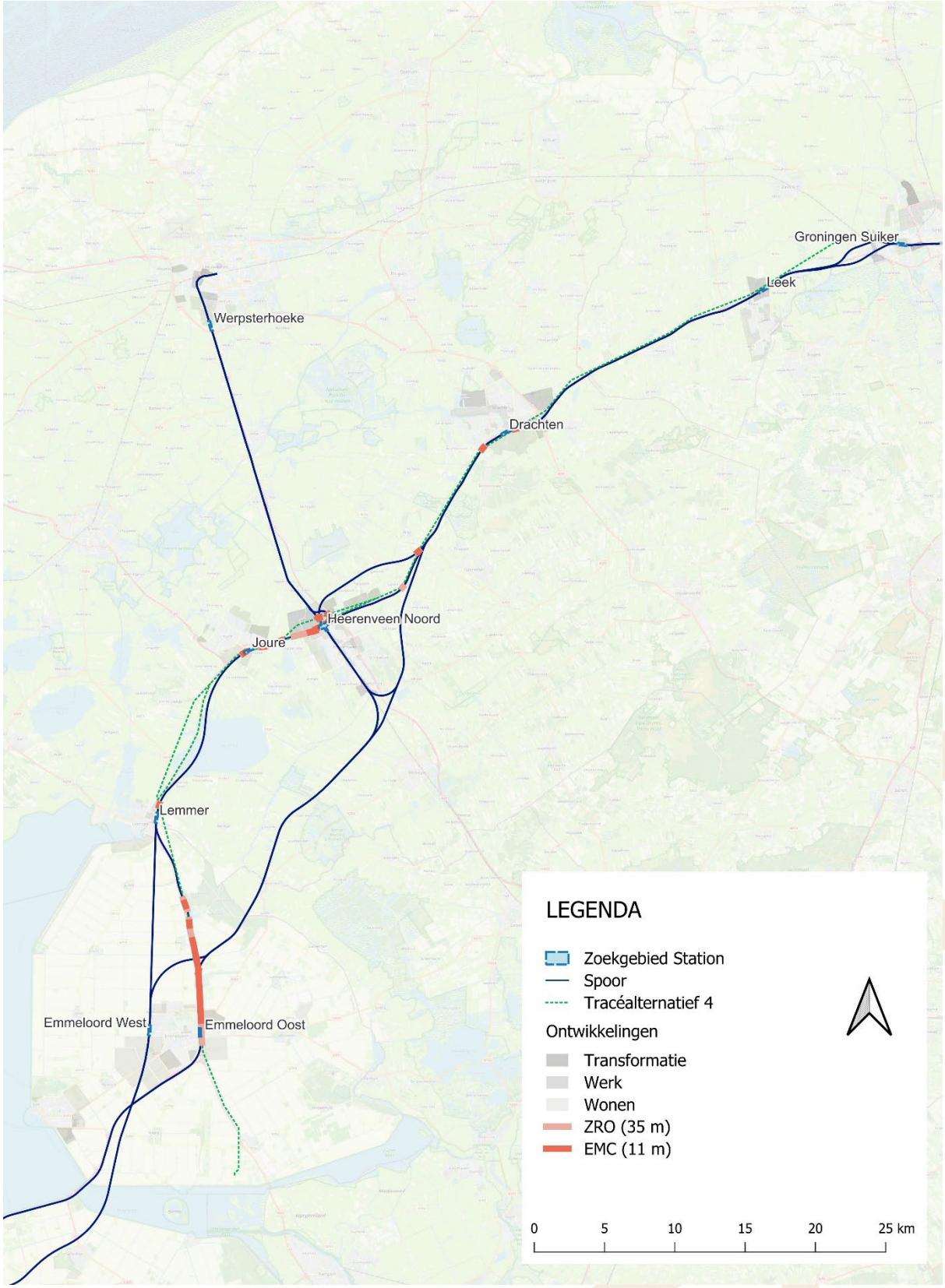
Er zijn ook nadelen aan het gebruik van 25 kV. Een van deze nadelen is dat er ander of aangepast materieel nodig is om op 25 kV trajecten te rijden. In heel Nederland, met uitzondering van de HSL, Betuweroute en Havenspoorlijn, is de bovenleidingspanning 1500V. Om te kunnen rijden op 25 kV is materieel nodig dat hiervoor geschikt is. Op het moment van schrijven is de concessie voor het hoofdnet gegund aan de Nederlandse Spoorwegen (NS) en heeft de volgende treinen in dienst die geschikt zijn om te functioneren onder 25 kV: ICNG, TRAXX en Vectron. Het is de verwachting dat het aantal treinen dat geschikt is voor meerdere stroomtypen gaat stijgen. Concessies staan niet meer vast voor de levensduur van het materieel, waardoor vervoerders vaker kiezen voor materieel dat elders inzetbaar is. Hierdoor is het aannemelijk dat nieuw materieel vaker geschikt is, of geschikt gemaakt kan worden voor 25 kV.

Spanningssluizen

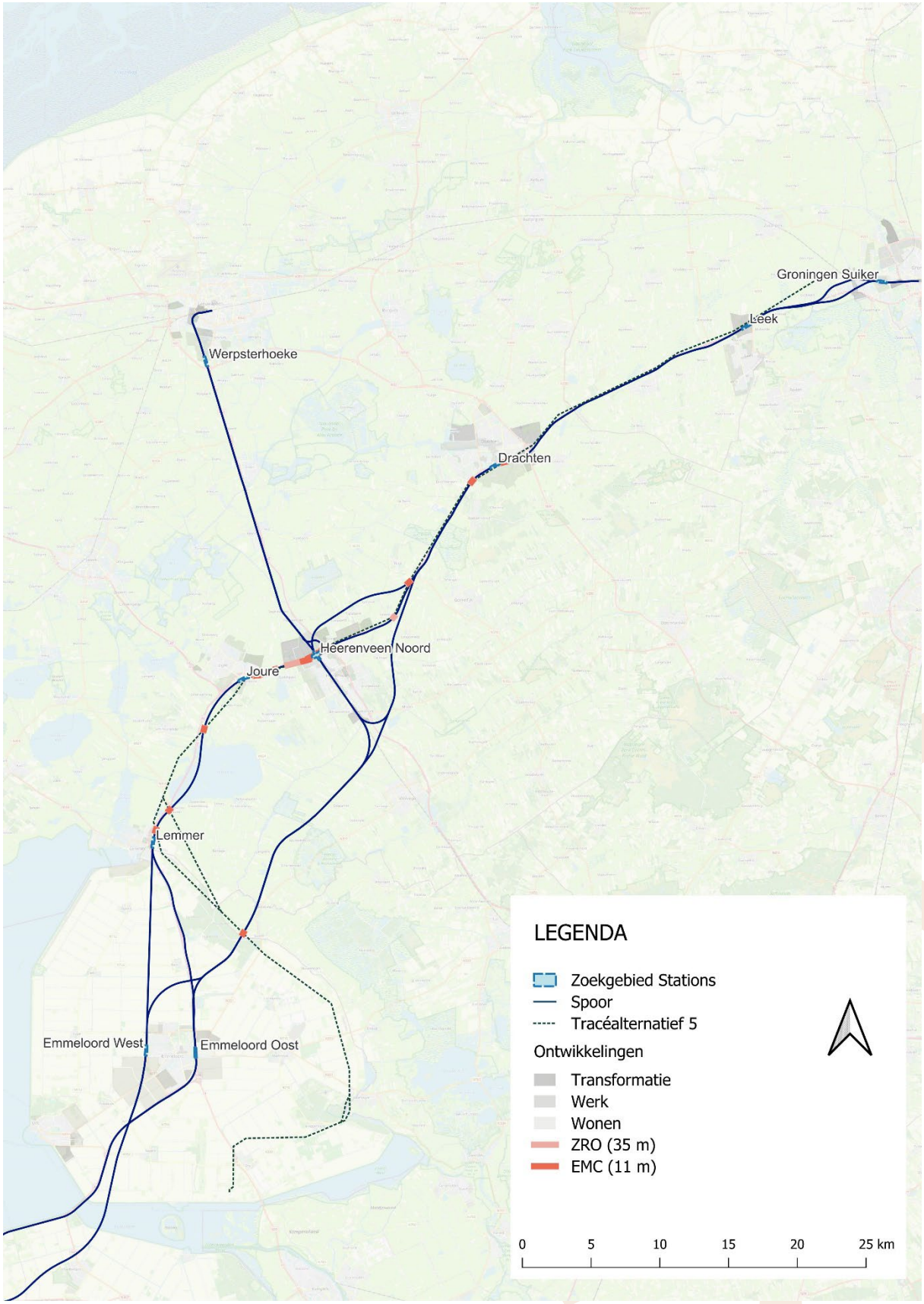
Buiten materieel is er ook een infrastructureel nadeel van het 25 kV gebruik. Er zijn namelijk spanningssluizen nodig om treinen van het van het ene spanningssysteem over te laten gaan op het andere systeem. Zo worden spanningssluizen bij de Nederlandse grenzen al decennia toegepast bij alle geëlektrificeerde grensovergangen (3000V gelijkstroom naar België en 15 kV wisselstroom naar Duitsland). Binnen Nederland worden spanningssluizen sinds het begin van dit millennium toegepast bij de HSL's en bij de Betuweroute. Het verschil van deze spanningssluizen met die van de grenzen is, dat treinen al rijdend omschakelen. Onderhand worden dergelijke systemen door heel Europa ingezet, waardoor er geen praktische belemmeringen meer hoeven zijn bij de implementatie van deze systemen.

Raakvlakkenanalyse

Zoals reeds bij de voordelen genoemd, zijn er voordelen voor de bundeling. Wanneer er gebruik gemaakt wordt van 1500V zijn er mitigerende maatregelen nodig, om te zorgen dat het spoor van ProRail niet ontoelaatbaar wordt beïnvloed. Parallellopen met afstanden van 100 m of 50 m als de lengte zeer kort is, zorgt er al voor dat er mitigerende maatregelen nodig zijn. Het gevolg hiervan is, dat bundeling van beide projecten in het landschap wordt gecompliceerd indien ProRail gebruik gaat maken van 1500V. Er moet immers afstand gehouden worden tussen het spoor en de lijn. Het is niet zo dat de hoogspanningslijn ervoor zal zorgen dat de Lelylijn onmogelijk gemaakt wordt, echter zal 1500V het wel compliceren.
Wanneer er gekozen wordt voor 25 kV, zal dit ervoor zorgen dat de hoogspanningslijn dichter bij het spoor geplaatst kan worden. Voor spoorlijnen onder 25 kV hanteert ProRail een afstand van 11 m tussen spoor en hoogspanningsverbinding. Hierdoor kan de hoogspanningslijn bijna tegen het spoor geplaatst worden. Dit heeft als voordeel, dat tracering veel eenvoudiger wordt en bundeling van beide projecten veel eenvoudiger is. Omdat 25 kV spoorlijnen relatief ongevoelig zijn voor 50 Hz EMC beïnvloeding, zorgt de keuze van 25 kV ervoor dat beide projecten vanuit een EMC oogpunt "geen last" van elkaar zullen hebben. In de praktijk betekend dit, dat voor de tracering beide projecten vanuit een EMC perspectief van elkaar losgekoppeld zullen worden.
Op Figuur 22 en Figuur 23 is te zien wat de raakvlakken zijn bij een 25 kV variant. Met name bij het 380 kV-tracéalternatief 4 zijn nog steeds sterke raakvlakken in het gebied tussen Emmeloord en Lemmer. In het hoofdrapport werd al geconcludeerd dat beide verbindingen hier op veel plekken direct boven elkaar gesitueerd zijn. Tegelijkertijd worden er op deze plek ook mogelijkheden geschetst om de beide lijnen beter op elkaar af te stemmen. Bij 25 kV wordt deze afstemming gemakkelijker omdat deze een nauwere bundeling aan kan. Daarnaast geldt bij beide tracéalternatieven van de hoogspanningsverbinding dat Heerenveen nog een knelpunt is en dat er kruisingen te zien zijn. Ook op deze plekken wordt het makkelijker bij 25kV om de bundeling in te passen.



Figuur 22 Raakvlakken EMC tussen Lelylijn met 25 kV wisselspanning en 380 kV-hoogspanningsverbinding alternatief 4 met de Lelylijn ten oosten van de A6 bij Emmeloord



Figuur 23: Raakvlakken EMC tussen Lelylijn met 25 kV wisselspanning en 380 kV-hoogspanningsverbinding alternatief 5

Conclusie
De keuze van 25 kV als bovenleidingspanning is vanuit meerdere oogpunten gewenst. Zo zorgt dit ervoor dat de energieverliezen drastisch afnemen, wat vanuit de maatschappij en energietransitie zeer gewenst is. Ook landschappelijke bundeling van de Lelylijn en de hoogspanningslijn is veel eenvoudiger, met landschappelijke voordelen.

Bijlage 2 Studie EMC Parallelloop Lelylijn spoorlijn en 380 kV-hoogspanningsverbinding Vierverlaten - Ens

ADVIESNOTA

AAN	TenneT TSO B.V.
VAN	
TELEFOON	
OPSTELLER	
CONTROLEUR	
KENMERK	C24-HPR-HS-ADV-24004369
PROJECTNUMMER	M0005773 - fase 400
STATUS	Vrijgegeven
VERSIE	1.0
ONDERWERP	Parallelloop Lelylijn spoorlijn en 380 kV hoogspanningsverbinding Vierverlaten - Ens
DATUM	6 februari 2025

1. Inleiding

Bij de tracering van de Lelylijn is de wens uitgesproken om zoveel als mogelijk te bundelen met andere bestaande en nieuwe infrastructuur. Hierbij valt te denken aan het bundelen met wegen en met hoogspanningsverbindingen, om de doorsnijding van het landschap zoveel als mogelijk op 1 plek te laten plaatsvinden, en niet op meerdere plaatsen doorsnijdingen van het landschap te creëren.
Bij de bundeling van de Lelylijn met hoogspanningsverbindingen gaat het met name om de (gedeeltelijke) bundeling met de nieuwe 380 kV hoogspanningsverbinding Vierverlaten – Ens en de (gedeeltelijke) bundeling met nieuwe 380 kV hoogspanningsverbinding Diemen – Lelystad – Ens.
Bij het bundelen van spoorlijnen met een 1500 Vdc tractie-energievoorziening en hoogspanningsverbindingen wordt het aspect elektromagnetische compatibiliteit (EMC) erg belangrijk. De bundeling mag er niet toe leiden dat de elektrotechnische systemen elkaar ontoelaatbaar elektromagnetisch (EM) beïnvloeden, en/of dat er zeer kostbare mitigerende maatregelen nodig zijn om een geconstateerde ontoelaatbare EM-beïnvloeding te reduceren tot toelaatbare waarden.

2. ProRail richtlijn RLN00398

Om een ontoelaatbare EM-beïnvloeding van de spoorweg infrastructuur te voorkomen heeft ProRail de richtlijn [RLN00398] opgesteld. De richtlijn RLN00398 is van toepassing op hoogspanningslijnen en hoogspanningskabels – niet zijnde ProRail lijnen en kabels – met een nominale spanning van > 1 kV en een nominale bedrijfsfrequentie van ≤ 1 kHz op, onder of boven de hoofdspoorweginfrastructuur. Tevens is de richtlijn van toepassing op hoogspanningslijnen en hoogspanningskabels – niet zijnde ProRail lijnen en kabels – in de zone buiten het terrein behorende tot de hoofdspoorweginfrastructuur, voor zover het betreft:

1. Het gebied als beschreven in artikel 19 van de Spoorwegwet;
2. Het gebied daarbuiten, voor zover genoemde lijnen en kabels elektromagnetische invloed hebben op de spoorweginfrastructuur.

De RLN00398 beschouwt een aantal verschillende EM-beïnvloedings-mechanismen, en stelt criteria vast waaronder de optredende EM-beïnvloeding dient te blijven.

De EM-beïnvloedingsmechanismen en bijbehorende criteria (B) zijn:

- Inductieve beïnvloeding (B1 t/m B6);
- Magnetische velden (B7 en B9);
- Elektrische velden (B8);
- Weerstandsbeïnvloeding (quick-scan eis 7).

Op het moment van schrijven is versie 003 van de RLN00398 de vigerende versie. ProRail werkt aan een update van de RLN00398. Ten tijde van het ontwerp van de nieuwe hoogspanningsverbindingen en / of de Lelylijn is het mogelijk dat er een nieuwe versie van de RLN00398 vigerend is. Deze nieuwe versie kan mogelijk minder streng zijn op bepaalde aspecten, of kan mogelijk strenger zijn op bepaalde aspecten, dan de huidige vigerende versie 003.
Tegen de tijd dat de nieuwe versie van de RLN00398 wordt uitgebracht, kan beoordeeld worden wat de gevolgen zijn ten aanzien van de gestelde criteria in de RLN00398 (verzwakking of verzwaring van criteria).

3. Voorkomen van ontoelaatbare EM-beïnvloeding

Om een ontoelaatbare EM-beïnvloeding te voorkomen zijn er maatregelen mogelijk op 3 verschillende locaties:

1. Maatregelen bij de bron;
2. Maatregelen in de koppelweg;
3. Maatregelen bij het slachtoffer.

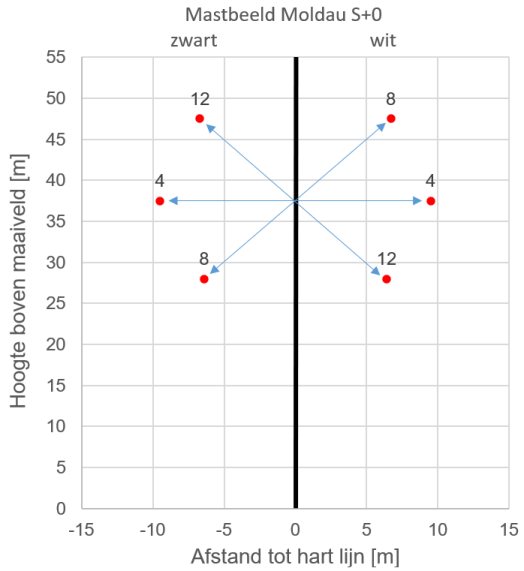
3.1 Maatregelen bij de bron

De bron is hier de hoogspanningsverbinding die een emissie van elektrische, magnetische en elektromagnetische velden naar de omgeving veroorzaakt. Maatregelen zijn erop gericht om de emissie van elektrische, magnetische en elektromagnetische velden van de bron naar de omgeving zo veel als mogelijk te beperken.
Het 50 Hz magnetisch veld is de bron van de inductieve beïnvloeding. De inductieve beïnvloeding speelt de grootste rol in het al dan niet bereiken van EMC. Daarom dient de emissie van met name het 50 Hz magnetisch veld naar de omgeving zo laag als mogelijk gehouden te worden.

3.1.1 Klokgetal optimalisatie

Door het optimaliseren van de klokgetallen in de beide circuits van de hoogspanningsverbinding, zullen, bij het in bedrijf zijn van de beide circuits van de hoogspanningsverbinding, de magnetische velden van de beide circuits elkaar zoveel als mogelijk opheffen (elkaar uitdoven). Dit resulteert in een lagere emissie van het magnetisch veld naar de omgeving. Hierdoor zal de inductieve beïnvloeding van de omgeving beperkt worden waardoor EMC sneller wordt bereikt.

Voor een Moldau mastbeeld is de optimale klokgetal combinatie zodanig dat de klokgetallen van beide circuits gespiegeld zijn ten opzichte van het centrum van de mast zoals is weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1: Klokgetal optimalisatie Moldau.

Indien één van de beide circuits uit bedrijf is voor onderhoud, en het resterende circuit alleen nog stroom voert, vervalt het effect van klokgetal optimalisatie omdat er geen uitdovend effect van het ene circuit op het andere circuit meer kan optreden.

3.1.2 Fase transposities

Door het toepassen van fase transposities in de circuits van de hoogspanningsverbinding op ten minste 1/3e en 2/3e deel van de lengte van de hoogspanningsverbinding wordt de hoogspanningsverbinding meer symmetrisch gemaakt. Hierdoor zal het aandeel van de stroom dat door aarde loopt beperkt worden, de stromen in elk van de drie fasen zullen in amplitude meer gelijk aan elkaar worden, en de onderlinge fasehoeken zullen de 120° meer benaderen. Hierdoor zal de emissie van het 50 Hz magnetisch veld naar de omgeving gereduceerd worden.
Bij het toepassen van de fase transposities dient bij het roteren van de klokgetallen de klokgetal optimalisatie (zie paragraaf 3.1.1) in stand gehouden te worden.

3.1.3 Homopolaire stroom laag houden

Een belangrijke factor in de inductieve beïnvloeding op spoorlijnen is de homopolaire stroom. De RLN00398 eist dat er gerekend wordt met een vast percentage voor de homopolaire stroom. Dit is 0%, 5% en 10% van de nominale stroom. Er hoeft alleen met 10% homopolaire stroom gerekend te worden voor niet getransponeerde combi-lijnen. Voor alle andere soorten hoogspannings-verbindingen hoeft alleen met 0% en 5 % homopolaire stroom gerekend te worden. Door het niet toepassen van combi-lijnen, hoeft er conform de RLN00398 niet gerekend te worden met 10% homopolaire stroom. Hierdoor zal de berekende inductieve beïnvloeding op de spoorlijn duidelijk lager uitvallen.

Bij het traceren van de nieuwe 380 kV hoogspanningslijn dient deze niet gecombineerd te worden met eventueel aanwezige bestaande 110 kV of 150 kV

hoogspanningslijnen. Bestaande 110 kV of 150 kV hoogspanningslijnen die geamoveerd dienen te worden omdat deze voor het tracé van de nieuwe 380 kV hoogspanningsverbinding in de weg staan, dienen verkabeld te worden.

3.2 Maatregelen in de koppelweg

Door maatregelen in de koppelweg te nemen, wordt de koppeling tussen de bron en het slachtoffer minder sterk. De overdracht van de bron naar het slachtoffer neemt dan af waardoor de EM-beïnvloeding op het slachtoffer afneemt.
Omdat het 50 Hz magnetisch veld, de bron van de inductieve beïnvloeding, slecht te dempen is, is de enige geschikte maatregel in de koppelweg het vergroten van de onderlinge afstand tussen de bron en het slachtoffer, dus tussen de hoogspanningsverbinding en de spoorlijn. Echter met het vergroten van de onderlinge afstand wordt het streven naar bundeling minder.

3.3 Maatregelen bij het slachtoffer

Het slachtoffer is hier de spoorlijn die wordt blootgesteld aan de emissie van elektrische, magnetische en elektromagnetische velden door de hoogspanningsverbinding (de bron).
Maatregelen bij het slachtoffer zijn erop gericht om de immuniteit van het slachtoffer te vergroten, zodat het slachtoffer (de spoorlijn) beter bestand is tegen de optredende elektrische, magnetische en elektromagnetische velden.

3.3.1 Toepassen elektrische apparatuur met hoge immuniteit

Elektrische apparatuur kan gevoelig zijn voor beïnvloeding door een 50 Hz magnetisch veld. ProRail hanteert met het criterium B7 een immuniteitswaarde van 10 A/m voor oudere / niet geteste elektrische apparatuur. Voor elektrische apparatuur dat voldoet aan de [NEN-EN 50121-4], [NEN-EN 50121-5] en/of [RLN00007] geldt een immuniteitswaarde van 50 A/m.
Er dient elektrische apparatuur met een hoge immuniteit toegepast te worden in de gebieden waar de elektrische apparatuur dicht bij de hoogspanningsverbinding (waar hogere waarden van het 50 Hz magnetisch veld voorkomen) toegepast wordt.

Voor de treindetectie dient gekozen te worden voor een treindetectie systeem dat ongevoelig is voor het 50 Hz magnetisch veld (B7) en voor de spanning tussen de spoorstaven en aarde (B1 en B2).
Dit betekent dat gekozen dient te worden voor een treindetectiesysteem zoals bijvoorbeeld assentellers in plaats van GRS spoorstroomlopen als treindetectiesysteem.

Wel dient rekening gehouden te worden met het feit dat waar de nieuwe Lelylijn aansluit op bestaande sporen, nog wel EB-GRS of DB-GRS spoorstroomlopen aanwezig kunnen zijn. Een mogelijke ontoelaatbare beïnvloeding van die EB-GRS en DB-GRS spoorstroomlopen dient onderzocht te worden aan de hand van de RLN00398. En EB-GRS spoorstroomlopen dienen, indien nodig, omgebouwd worden naar DB-GRS spoorstroomlopen. DB-GRS spoorstroomlopen hebben een hogere immuniteit dan EB-GRS spoorstroomlopen, maar zijn ook duurder omdat er meer componenten nodig zijn. Er kan ook voor gekozen worden om de assentellers wat verder door te trekken het aansluitende spoor op.

3.3.2 Beperken van de afstand tussen 1500Vdc onderstations

De onderstation afstand in een 1500 Vdc tractie energievoorzieningssysteem is orde 5 – 7 kilometer. Bij het ontwerpen van een 1500 Vdc tractie energievoorzieningssysteem kan ook gekozen worden voor het toepassen van gekoppelde snelschakelaars. De onderstation afstand kan dan toenemen tot orde 12 kilometer.
In de RLN00398 is het criterium B5 vastgelegd. Dit criterium stelt een limiet aan de maximaal toelaatbare 50 Hz spanning tussen de bovenleiding en de spoorstaven.

De spanning tussen de bovenleiding en de spoorstaven ontstaat als gevolg van het 50 Hz magnetisch veld dat inkoppelt in de lus die gevormd wordt door de afstand tussen de bovenleiding en spoorstaven en de afstand tussen 2 voedende onderstations. Hierbij stelt de RLN00398 dat rekening gehouden moet worden met het sperren van een onderstation (P7).
Door het sperren van een onderstation, verdubbelt de afstand tussen de 2 voedende onderstations naar 10 – 12 kilometer, of naar 24 kilometer bij gekoppelde snelschakelaars.
De 50 Hz spanning tussen de bovenleiding en de spoorstaven kan laag gehouden worden door het oppervlak van de lus, waar het 50 Hz magnetisch veld inkoppelt, klein te houden. Omdat de hoogte van de bovenleiding boven het spoor niet verlaagd kan worden, is het beperkt houden van de afstand tussen 1500 Vdc onderstations de mogelijkheid om de 50 Hz spanning tussen de bovenleiding en de spoorstaven beperkt te houden. Het toepassen van 1500 Vdc onderstations om de 5 – 7 km heeft de voorkeur boven het toepassen 1500 Vdc onderstations met gekoppelde snelschakelaars om de 12 kilometer.

3.3.3 Toepassen van capacitieve aarding

Als gevolg van de inductieve beïnvloeding van een hoogspanningsverbinding op een spoorlijn ontstaan er geïnduceerde 50 Hz spanningen tussen de spoorstaven en aarde, en tussen aders van bekabeling en aarde. Dit wordt de common mode spanning genoemd. De RLN00398 stelt met criterium B6 en B3 een limiet aan de geïnduceerde common mode spanning op spoorstaven en op de bekabeling.

De spanning tussen de spoorstaven en aarde kan gereduceerd worden door het spoor te aarden. Het aarden van het spoor heeft tevens een reducerend effect op de spanning tussen aders van de bekabeling en aarde.
Omdat het spoor met een 1500 Vdc tractie energievoorzieningssysteem zal worden uitgevoerd, is het aspect van het voorkomen van een DC zwerfstroom in de bodem ook erg belangrijk. Een DC zwerfstroom kan erg corrosief werken op bijvoorbeeld metalen buisleidingen of de wapening van betonconstructies.
Voor DC (0 Hz) mag het spoor daardoor niet geaard worden, maar dient zwevend te blijven. Voor 50 Hz dient het spoor wel geaard te worden om de 50 Hz spanning tussen de spoorstaven en aarde te beperken.

Het toepassen van capacitieve aarding aard het spoor voor 50 Hz, en laat het spoor zwevend voor 0 Hz. Een capacitieve aarding is feitelijk een condensator tussen de spoorstaven en aarde. Door het toepassen van capacitieve aarding van het spoor wordt de 50 Hz spoorstaaf aarde spanning (B6) beperkt, en wordt tevens de 50 Hz spanning tussen aders van de bekabeling en aarde (B6 en B3) gereduceerd.

Door het toepassen van assentellers als treindetectie geldt er geen minimale afstand tussen capacitieve aardingen, zoals er bij de toepassing van GRS spoorstroomlopen wel geldt in de vorm van een minimale afstand tussen dwarsverbindingen tussen de sporen. Bij het toepassen van assentellers kunnen daardoor meer capacitieve aardingen geplaats worden (indien nodig) dan bij de toepassing van GRS spoorstroomlopen.

3.3.4 Toepassen van maximale kabellengte bekabeling

Indien het toepassen van capacitieve aarding een onvoldoende effect heeft in het reduceren van de 50 Hz spanning tussen aders van de bekabeling en aarde, kan ervoor gekozen worden om een maximale kabellengte vast te leggen. Dit betekent wel het toepassen van meer relaiskasten en herhaalrelais.

3.3.5 Toepassen van 2-zijdig geaarde bekabeling

In de 1500 Vdc spoorwegomgeving wordt veel gebruik gemaakt van onafgeschermde bekabeling, of van 1-zijdig geaarde afgeschermde bekabeling. Bij onafgeschermde bekabeling, of bij 1-zijdig geaarde afgeschermde bekabeling is de geïnduceerde spanning tussen aders in de bekabeling hoger dan wanneer er 2-zijdig geaarde afgeschermde bekabeling wordt toegepast.

Heden ten dage wordt er nog geen 2-zijdig geaarde afgeschermde bekabeling toegepast in verband met zorgen over het lopen van te grote DC zwerfstroom over 2-zijdig geaarde afscherming van de kabel, waardoor deze thermisch overbelast zou kunnen worden, en DC zwerfstroomcorrosie van de aardelektrodes.
Tevens wordt voor beveiligingsfuncties nog veelal onafgeschermde bekabeling toegepast om het overbruggen van veiligheidsvoorwaarde als gevolg van een 2-voudige ader-aardscherm fout te voorkomen. Het dubbelpolig inlezen voorkomt ook het overbruggen van veiligheidsvoorwaarde als gevolg van een 2-voudige aardfout in de bekabeling.

Tegen de tijd dat de Lelylijn wordt aangelegd verdient het toepassen van 2-zijfdig geaarde afgeschermde bekabeling de voorkeur. Nieuwe elektr(on)ische systemen zouden dit mogelijk moeten kunnen maken. Wel dient dan beoordeeld te zijn dat het toepassen van 2-zijdig geaarde bekabeling geen ontoelaatbaar effect heeft op de levensduur van de aardelektrodes.

4. Uitgangspunten onderzoek EMC

Voor het vaststellen van de elektromagnetische beïnvloeding van de hoogspanningsverbinding op de spoorlijn en het bepalen van de noodzaak en de omvang van mitigerende maatregelen zijn beïnvloedingsberekeningen nodig. In de volgende paragrafen worden de uitgangspunten vastgelegd die gehanteerd worden bij het uitvoeren van beïnvloedingsberekeningen.

4.1 Uitgangspunten Lelylijn spoorlijn

De volgende uitgangspunten worden gehanteerd:

- Het betreft een 2-sporig baanvak, m.u.v. enkele lokale (stations)emplacementen;
- De tractie energievoorziening is 1500 Vdc;
- De gemiddelde onderstation afstand is 6 kilometer, er worden geen gekoppelde snelschakelaars toegepast;

- De treindetectie zal door middel van assentellers plaatsvinden;
- Ter plaatse van de aansluiting op het bestaande spoor kunnen nog DB-GRS en/of EB-GRS spoorstroomlopen aanwezig zijn;
- De trein beïnvloeding zal door middel van ERTMS plaatsvinden;
- Modellering en beoordeling conform [RLN00398] v003;
- Bundeling met de 380 kV hoogspanningsverbinding met een onderlinge afstand van 100 meter, en bij reizigersstationslocaties met een onderlinge afstand van 50 meter over 1,5 kilometer.

4.2 Uitgangspunten 380 kV hoogspanningsverbinding

De volgende uitgangspunten worden gehanteerd:

- Mastbeeld is Moldau mast S+0;
- Veldlengte 400 meter;
- Maximale doorhang 14,0 meter;
- 2 circuits 380 kV;
- Maximale spanning 420 kV;
- Ontwerpstroom 4000 A;
- Kortsluitstroom op hoogspanningsstations niveau is 50 kA (1-fase kortsluiting) en 63 kA (3- fasen kortsluiting);
  N.B. Een toename van de 3-fasen kortsluitstroom, op hoogspanningsstations niveau, van 63 kA naar 80 kA heeft geen invloed op de mate van elektromagnetische beïnvloeding omdat de 1-fase kortsluitstroom dominant is ten opzichte van de 3-fasen kortsluitstroom in de mate van elektromagnetische beïnvloeding. De waarde van 50 kA is de maximale kortsluitstroom die door 1 fase van de hoogspanningsverbinding mag lopen;
- Uitschakeltijd van een kortsluiting is maximaal 100 ms (uitgaande dat de 1e trap niet faalt);
- Klokgetal optimalisatie toegepast;
- Fase transposities ten minste op 1/3e en 2/3e van de lengte van het tracé;
- Geen combinatie van 380 kV met 110 kV of 150 kV in dezelfde hoogspanningsmast, er worden geen combi-lijnen toegepast. Eventuele 110 kV of 150 kV hoogspanningsverbindingen die plaats moeten maken zullen worden verkabeld.
- Te hanteren homopolaire stroom bij het vaststellen van de inductieve beïnvloeding op het 1500 Vdc spoor is 0% en 5%.

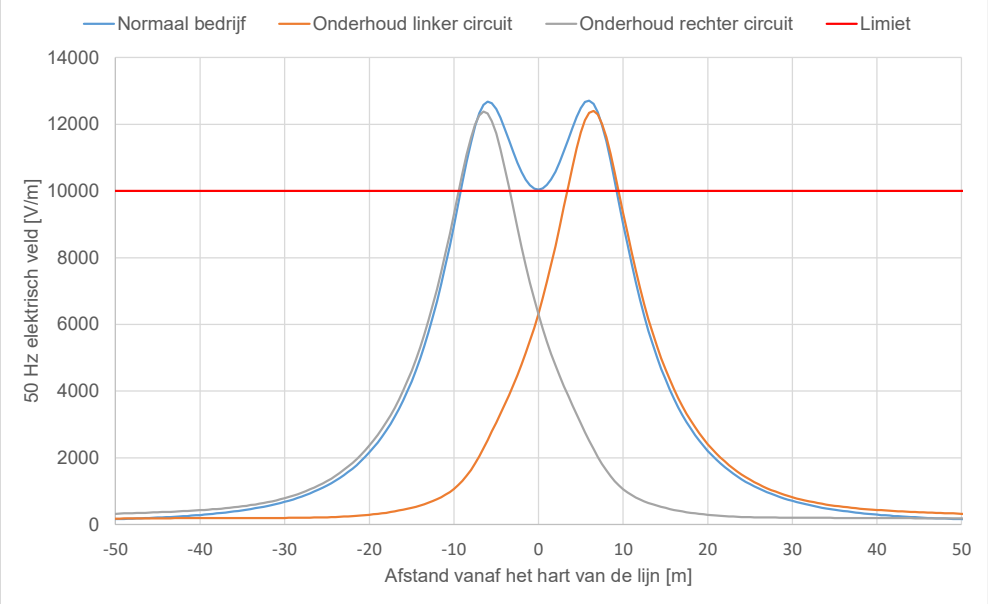
5. Beïnvloedingsberekeningen

De inductieve beïnvloedingsberekeningen (B1 t/m B6) worden in een later stadium uitgevoerd. In dit memo zijn het 50 Hz magnetisch veld (B7) de 50 Hz magnetische fluxdichtheid (B9) en het 50 Hz elektrisch veld berekend (B8). Tevens wordt het risico op weerstandsbeïnvloeding afgeschat.

5.1 B8 Elektrisch veld

Voor de waarde van het B8 criterium wordt verwezen naar de [RLN00398]. Deze bedraagt 10 kV/m op 1 meter boven het hoogste punt van het spoorwegsysteem. In de RLN00398 is in bijlage 1 het hoogste punt voor een draagkabel en versterkingsleiding gegeven als + 8,5 meter. 1 meter boven het hoogste punt betekent daarmee een hoogte van + 9,5 meter waarop het 50 Hz elektrisch veld kleiner of gelijk aan 10 kV/m dient te zijn.

In Figuur 2 is het berekende 50 Hz elektrisch veld op 9,5 meter hoogte weergegeven. Het 50 Hz elektrisch veld is berekend met de uitgangspunten in paragraaf 4.2.



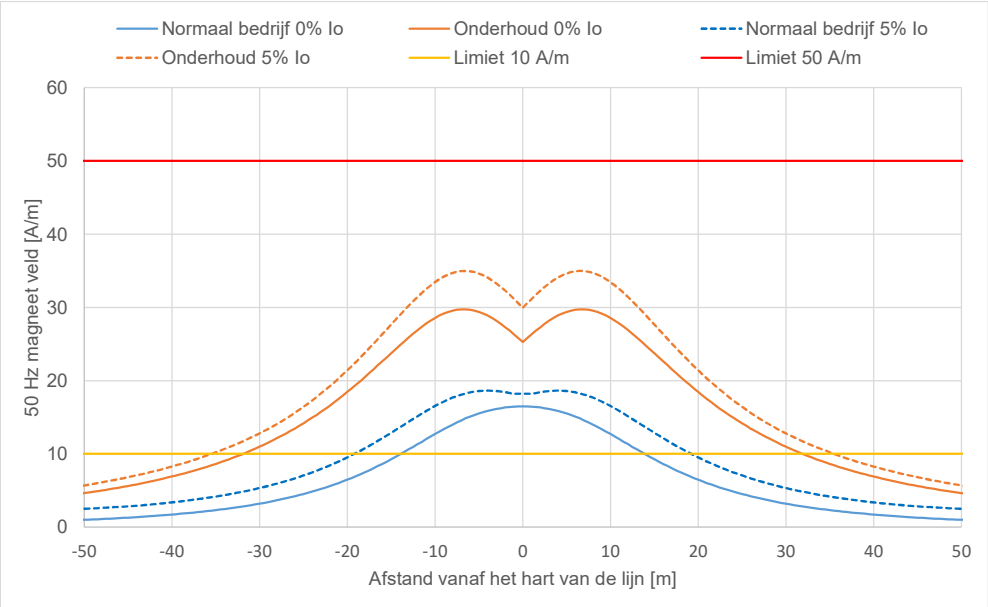
Figuur 2: 50 Hz elektrisch veld op 9,5 meter hoogte voor veldlengte 400 met S+0 Moldau mastbeeld.

Uit Figuur 2 volgt dat het 50 Hz elektrisch veld onder de grens van 10 kV/m ligt bij een afstand van ten minste 9,5 meter vanaf het hart van de hoogspanningslijn.
Een bundeling van de hoogspanningslijn met de Lelylijn met een onderlinge afstand van 100 meter of 50 meter levert ten aanzien van het 50 Hz elektrisch veld geen belemmering op.
Onder de hoogspanningslijn op minder dan 9,5 meter vanaf het hart van de hoogspanningslijn wordt het 50 Hz elektrisch veld wel groter dan 10 kV/m. Bij het kruisen van de hoogspanningslijn over het spoor dienen de geleiders hoger te hangen dan de uitgangspunten in paragraaf 4.2.
Er dient bij het kruisen van een hoogspanningslijn over het spoor ook voldaan te worden aan de [NEN-EN 50431] normserie, welke eisen stelt aan de minimale hoogte van hoogspanningsgeleiders boven het spoor.

5.2 B7 Magnetisch veld

Voor de waarde van het B7 criterium wordt verwezen naar de [RLN00398].
Deze bedraagt 10 A/m voor oudere / niet geteste elektrische apparatuur. Voor elektrische apparatuur dat voldoet aan de NEN-EN 50121-4, NEN-EN 50121-5 en/of RLN00007 geldt een immuniteitswaarde van 50 A/m.

In Figuur 3 is het berekende 50 Hz magnetisch veld op 2,0 meter hoogte, zijnde de bovenkant van een relaiskast, weergegeven. Het 50 Hz magnetisch veld is berekend met de uitgangspunten in paragraaf 4.2.



Figuur 3: 50 Hz magnetisch veld op 2,0 meter hoogte voor veldlengte 400 met S+0 Moldau mastbeeld.

Uit Figuur 3 volgt dat het 50 Hz magnetisch veld onder de grens van 10 A/m ligt bij een afstand vanaf het hart van de hoogspanningslijn van ten minste 32,0 meter bij 0% homopolaire stroom, en een afstand van ten minste 35,5 meter bij 5% homopolaire stroom.
Een bundeling van de hoogspanningslijn met de Lelylijn met een onderlinge afstand van 100 meter of 50 meter levert ten aanzien van het 50 Hz magnetisch veld geen belemmering op.

Onder de hoogspanningslijn op minder dan 35,5 meter vanaf het hart van de hoogspanningslijn wordt het 50 Hz magnetisch veld wel groter dan 10 A/m. Bij het kruisen van de hoogspanningslijn over het spoor dienen de geleiders hoger te hangen dan de uitgangspunten in paragraaf 4.2.
Er dient bij het kruisen van een hoogspanningslijn over het spoor ook voldaan te worden aan de NEN-EN 50431 normserie, welke eisen stelt aan de minimale hoogte van hoogspanningsgeleiders boven het spoor.

De hoogspanningsverbinding dient bij voorkeur zodanig ontworpen te worden dat in het kruisende veld het 50 Hz magnetisch veld niet groter wordt dan 10 A/m om een ontoelaatbare EM-beïnvloeding van oudere / niet geteste elektrische apparatuur te voorkomen.
Evenzo dient de spoorlijn bij voorkeur zodanig ontworpen te worden dat bij het kruisen onder de hoogspanningslijn door, er geen oudere / niet geteste elektrische apparatuur wordt geplaatst in het gebied waar het 50 Hz magnetisch veld groter kan worden dan 10 A/m. Op basis van Figuur 3 betekent dit dat er (worst case) geen oudere / niet geteste elektrische apparatuur geplaatst dient te worden op minder dan 35,5 meter vanaf de hartlijn van de hoogspanningslijn die over het spoor kruist.

Uit Figuur 3 volgt dat het 50 Hz magnetisch veld nergens de grens van 50 A/m overschrijdt. Het toepassen van elektrische apparatuur dat voldoet aan de NEN-EN 50121-4, NEN-EN 50121-5 en/of RLN00007 levert geen belemmering op ten aanzien van het 50 Hz magnetisch veld, en verdient daarmee de voorkeur.

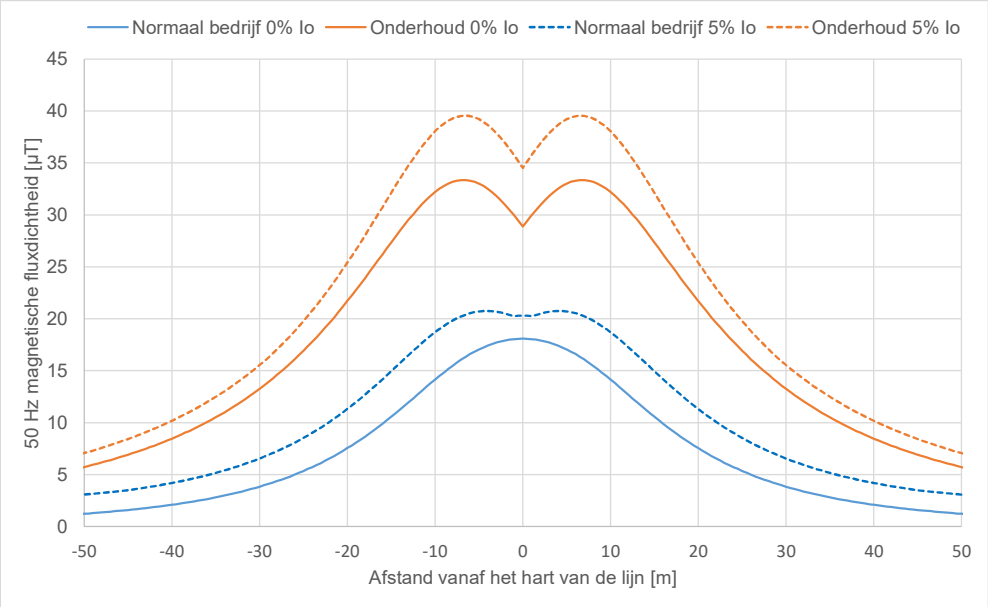
Bij het aanleggen van een nieuwe spoorlijn met assentellers en ERTMS dient ernaar gestreefd te worden om elektrische apparatuur toe te passen dat voldoet aan de NEN-EN 50121-4, NEN-EN 50121-5 en/of RLN00007.

5.3 B9 Magnetische fluxdichtheid

Voor de waarde van het B9 criterium wordt verwezen naar de [RLN00398]. Deze bedraagt 100 µT op 1 meter boven maaiveld.

N.B. B = µ • H, waardoor geldt dat 100 µT ≈ 79,6 A/m is in lucht.

In Figuur 4 is de berekende 50 Hz magnetische fluxdichtheid op 1,0 meter hoogte weergegeven. De 50 Hz magnetische fluxdichtheid is berekend met de uitgangspunten in paragraaf 4.2.



Figuur 4: 50 Hz magnetische fluxdichtheid op 1,0 meter hoogte voor veldlengte 400 met S+0 Moldau mastbeeld.

Uit Figuur 4 volgt dat, op basis van de uitgangspunten in paragraaf 4.2, de 50 Hz magnetische fluxdichtheid nergens groter wordt dan 100 µT. Een bundeling van de hoogspanningslijn met de Lelylijn met een onderlinge afstand van 100 meter of 50 meter levert ten aanzien van de 50 Hz magnetische fluxdichtheid geen belemmering op, ook niet bij een kruising van de hoogspanningslijn over het spoor.

5.4 Weerstandsbeïnvloeding

Voor de weerstandsbeïnvloeding is geen Bx-criterium in de RLN00398 vastgelegd. Bij de quick-scan eis 7 in paragraaf 5.1 (t.b.v. hoogspanningslijn) of paragraf 5.2 (t.b.v. van hoogspanningskabel) van de RLN00398 wordt gesteld dat, indien een

hoogspanningsmast, of aardpunt van een hoogspanningskabelmantel of mof, meer dan 31 meter van het hart van het dichtstbijzijnde spoor is verwijderd, er geen risico is op ontoelaatbare weerstandsbeïnvloeding.

Bij het traceren van de hoogspanningsverbinding, danwel het traceren van de spoorlijn dient een hoogspanningsmast of een aardpunt van een hoogspanningskabelmantel of mof op ten minste 31 meter vanaf het hart van het dichtstbijzijnde spoor te worden geprojecteerd.
Indien de afstand tussen een hoogspanningsmast of aardpunt van een hoogspanningskabel en het dichtstbijzijnde spoor minder dan 31 meter wordt, kan een detailberekening van de werkelijke grootte van de potentiaaltrechter worden gemaakt.
Indien er een detail berekening van de grootte van de potentiaaltrechters nabij het spoor wordt uitgevoerd, zijn de van toepassing zijnde criteria voor weerstandsbeïnvloeding weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1: Criteria voor weerstandsbeïnvloeding.

Beïnvloed object	Criterium	tijdsduur	Norm / richtlijn	Omschrijving
Mens	785 V	100 ms	[NEN-EN 50122-1]	Aanraakspanning op spoorstaven en bekabeling.
Bekabeling isolatie	1200 + Uo V	< 5 s	[NEN 1010]	De spanning over de isolatie van bekabeling mag tijdens een kortsluiting (≤ 5 sec) niet meer bedragen dan 1200 + Uo V, waarbij Uo de werkspanning in de bekabeling is. Uo wordt worst case als 0 V beschouwd.

5.5 B1 t/m B6 Inductieve beïnvloeding

In een later stadium zullen er berekeningen voor de inductieve beïnvloeding van de hoogspanningsverbinding op het spoor worden uitgevoerd. De inductieve beïnvloedingsberekeningen zullen op basis van de uitgangspunten in paragraaf 4.1 en paragraaf 4.2 worden uitgevoerd. De toetsing zal op basis van de [RLN00398] v003 worden uitgevoerd.

6. Conclusie

Uit de generieke berekeningen voor de criteria B7, B8 en B9 volgt dat er ten aanzien van de bundeling van de hoogspanningslijn met de Lelylijn met een parallelloop op een onderlinge afstand van 100 meter of 50 meter over korte lengte geen enkele belemmering ten aanzien van de criteria B7, B8, B9 en weerstandsbeïnvloeding oplevert.

In een later stadium zullen er berekeningen voor de inductieve beïnvloeding van de hoogspanningsverbinding op het spoor worden uitgevoerd ten behoeve van de criteria B1 t/m B6.

Bij het kruisen van de hoogspanningslijn over het spoor / het spoor onder de hoogspanningslijn door is er aandacht nodig voor de criteria B7 en B8. Er zijn maatregelen nodig omdat de criteria B7 en B8 op basis van de generieke

uitgangspunten van in paragraaf 4.1 en paragraaf 4.2 onder / nabij de hoogspanningslijn worden overschreden.

In het kruisende veld dienen de hoogspanningsgeleiders dusdanig hoog gehangen te worden dat het 50 Hz elektrisch veld op 9,5 meter hoogte (d.w.z. 1 meter boven het hoogste punt van de bovenleiding van het spoor welke 8,5 meter bedraagt) onder de 10 kV/m blijft.

Onder / nabij het kruisende veld dient bij voorkeur elektrische apparatuur in het spoor toegepast te worden dat voldoet aan de NEN-EN 50121-4, NEN-EN 50121-5 en/of RLN00007 (immuniteit 50 A/m).
Bij het kruisende veld dient oudere / niet geteste elektrische apparatuur (immuniteit 10 A/m) op een afstand van (worst-case) ten minste 35,5 meter vanaf de hartlijn van de hoogspanningslijn geplaatst te worden.

Een hoogspanningsmast of een aardpunt van een hoogspanningskabelmantel of mof dient op ten minste 31 meter vanaf het hart van het dichtstbijzijnde spoor te worden geprojecteerd, of als een hoogspanningsmast of een aardpunt van een hoogspanningskabelmantel of mof dichter bij het spoor geplaatst wordt dient er door middel van een berekening aangetoond te worden dat de potentiaaltrechter bij het spoor aan de gestelde eisen voldoet.

7. Literatuur

Referentie	Bron
[NEN 1010]	Elektrische installaties voor laagspanning, Nederlandse implementatie van de HD-IEC 60364-reeks, 2020.
[NEN-EN 50121-4]	Spoorwegen en soortgelijk geleid vervoer - Elektromagnetische compatibiliteit - Deel 4: Emissie en immuniteit van sein- en telecommunicatie-apparatuur. 2016.
[NEN-EN 50121-5]	Spoorwegen en soortgelijk geleid vervoer - Elektromagnetische compatibiliteit - Deel 5: Emissie en immuniteit van vastopgestelde voedingsinstallaties en apparatuur, 2015.
[NEN-EN 50122-1]	NEN-EN 50122-1, Spoorwegen en soortgelijk geleid vervoer – Vaste installaties - Elektrische veiligheid, aarding en retourstromen - Deel 1: Eisen in verband met bescherming tegen elektrische schok, d.d. september 2022.
[NEN-EN 50341]	NEN-EN 50341 serie, Overhead electrical lines exceeding AC 1 kV.
[RLN00007]	EMC-eisen aan apparatuur nabij alle geëlektrificeerde en niet-geëlektrificeerde baanvakken in beheer bij ProRail, versie 007, d.d. 01-08-2020.
[RLN00398]	Richtlijn, Beleid elektromagnetische beïnvloeding van hoogspanningsverbindingen op de hoofdspoorweg-infrastructuur, versie 003, d.d. 01-11-2021.

Met vriendelijke groet,

ADVIESNOTA

Bijlage 3 Bijlage 3 Studie EMC Verkenning EMC van bundeling Lelylijn met 380 kV

movares smart urban engineering

Rapport

Verkenning EMC van bundeling Lelylijn met 380 kV

Versie: 1.0
Status: Vrijgegeven
Datum: 14-01-2025
Kenmerk: C24-HPR-HS-RAP-24010296

Autorisatieblad

Verkenning EMC van bundeling Lelylijn met 380 kV hoogspanningsverbinding VVL-ENS

EMC studie conform RLN00398

	Naam	Akkoord	Datum
Opgesteld door		✓	10-10-2025
Gecontroleerd door		✓	14-10-2025
Vrijgegeven door		✓	14-10-2025

Versiehistorie

Versie	Naam	Datum	Korte toelichting
0.1		31-12-2024	Initiële versie
0.2		10-01-2025	Interne review verwerkt
1.0		14-01-2025	Vrijgegeven versie

Samenvatting

Deze studie verkent de mogelijkheden van de bundeling van de toekomstige Lelylijn spoorlijn met de toekomstige 380 kV hoogspanningslijn Vierverlaten – Ens (VVL-ENS). Er bestaat de wens tot bundeling op een onderlinge afstand van 100 meter tussen de Lelylijn en de 380 kV hoogspanningslijn VVL-ENS.

Uit de uitgevoerde EMC studie volgt dat het mogelijk is om de Lelylijn met een 1500 Vdc tractie-energievoorzieningssysteem, en de 380 kV hoogspanningslijn VVL-ENS te bundelen op een onderlinge afstand van 100 meter, en bij reizigersstations locaties op een onderlinge afstand van 50 meter over een lengte van 1500 meter.
Er dienen wel mitigerende maatregelen genomen worden. Deze mitigerende maatregelen zijn hieronder opgesomd.

Mitigerende maatregelen
Bij de berekeningen in hoofdstuk 5 is rekening gehouden met de volgende mitigerende maatregelen:

- Een 1500 Vdc onderstation om de 6 km.
- Capacitieve aarding bij elk 1500 Vdc onderstation.

Voor het criterium B3 dienen voor de 1-zijdig geaarde IB-kabels van de assentellers (deze kunnen langer zijn dan 1 km met een maximum lengte van 5 km) één van de volgende maatregelen genomen te worden, afhankelijk van de werkelijke lengte van de 1-zijdig geaarde IB-kabel van de assentellers:

- 2-zijdig aarden van de IB-kabel;
- Beperken van de lengte van de IB-kabel door herhaal relais toe te passen;
- Beperken van de lengte van de IB-kabel door extra objectcontroller kasten toe te passen.

Voor het criterium B6 dienen voor de 3kV-kabel voor de HS-kasten die in het gebied staan waar de continue spanning groter is dan 60 V, de maatregel van OVS00017, eis 186 en bijlage 3.3.3. genomen te worden. Dit betreft het loshalen van de HS-kast van de mantel van de 3kV-kabel, en de HS-kast van een eigen aardelektrode te voorzien. Er is in deze studie uitgegaan van een 3-kV kabellengte van 12 km tussen de aardpunten bij de 3-kV voedingspunten.

Voor het criterium B6 wordt het risico op een hoge aanraakspanning op de spoorstaven, IB-kabel en 3kV-kabel tijdens een kortsluiting door ProRail geaccepteerd. Een uitgevoerde risico analyse laat zien dat het optredende risico klein is. Er is in deze studie worst-case uitgegaan van een 1-fase kortsluitstroom van 50 kA en een 3-fasen kortsluitstroom van 63 kA.

Inhoudsopgave

1 Inleiding 5

2 RLN00398 quick-scan 6

3 Uitgangspunten 7

3.1 Uitgangspunten ProRail 7
3.2 Uitgangspunten 380 kV hoogspanningslijn 9

4 Berekende configuraties 11

5 Resultaten van de berekening 13

5.1 B1 EB-GRS 13
5.2 B2 DB GRS 13
5.3 B3 Spanning aders infra apparatuur 13
5.4 B4 Psofometrische stoorspanning 15
5.5 B5 Spanning bovenleiding – spoorstaven 15
5.6 B6 Aanraakspanning op kabelmantels en op spoorstaven 16
5.7 B7 Magneetveld railinfra apparatuur 17
5.8 B8 Elektrisch veld werknemers 17
5.9 B9 magnetisch veld werknemers 17
5.10 Weerstandsbeïnvloeding 17

6 Mitigerende maatregelen 18

7 Conclusie 19

8 Afkortingenlijst 20

9 Literatuur 21

Colofon 22

Bijlage 1 Model 23

Bijlage 2 Mastbeeld 24

Bijlage 3 Grafieken van spanning en stroom 25

1 Inleiding

De richtlijn RLN00398 is van toepassing op hoogspanningslijnen en hoogspanningskabels – niet zijnde ProRail lijnen en kabels – met een nominale spanning van > 1 kV en een nominale bedrijfsfrequentie van ≤ 1 kHz op, onder of boven de hoofdspoorweginfrastructuur. Tevens is de richtlijn van toepassing op hoogspanningslijnen en hoogspanningskabels – niet zijnde ProRail lijnen en kabels – in de zone buiten het terrein behorende tot de hoofdspoorweginfrastructuur, voor zover het betreft:

1. Het gebied als beschreven in artikel 19 van de Spoorwegwet;
2. Het gebied daarbuiten, voor zover genoemde lijnen en kabels elektromagnetische invloed hebben op de spoorweginfrastructuur.

Deze richtlijn bevat de eisen aan de hoogspanningsverbindingen in beheer bij derden en geeft een onderbouwing van deze eisen. Deze onderbouwing vloeit voort uit de eisen voor de veiligheid voor personen die zich op of nabij de spoorbaan bevinden en uit de RAMSHE eisen aan de systemen en apparatuur van de hoofdspoorweginfrastructuur.

Bij aanpassingen aan één van beide infrastructuren moet de richtlijn toegepast worden.

1.1 De studie

Deze studie verkent de mogelijkheden van de bundeling van de toekomstige Lelylijn spoorlijn met de toekomstige 380 kV hoogspanningslijn Vierverlaten – Ens (VVL-ENS).
Omdat voor beide verbindingen nog geen definitief tracé bekend is, alleen de wens voor bundeling is bekend, wordt er in de studie gebruik gemaakt van een fictief spoortracé en een fictief hoogspanningstracé die onderling gebundeld zijn. De fictieve tracés zijn gemaakt met de wens tot bundeling op een onderlinge afstand van 100 meter tussen de Lelylijn en de hoogspanningslijn VVL-ENS. Bij reizigersstation locaties wordt de onderlinge afstand verkleind tot 50 meter over een afstand van 1500 meter. In het simulatiemodel zijn 4 reizigersstation locaties opgenomen.

2 RLN00398 quick-scan

Omdat de wens bestaat om het tracé van de nieuwe Lelylijn spoorlijn en de nieuwe 380 kV hoogspanningslijn VVL-ENS te bundelen, zal niet worden voldaan aan de quick-scan eis 5a voor hoogspanningslijnen van een onderlinge afstand van meer dan 700 meter. Daardoor kan een ontoelaatbare beïnvloeding vanuit de nieuwe 380 kV hoogspanningslijn op de nieuwe Lelylijn spoorlijn nog niet op voorhand uitgesloten worden.
In dit rapport wordt een studie gedaan naar de mogelijkheid tot bundeling van beide infrastructuren.

3 Uitgangspunten

In deze EMC detail studie worden de in dit hoofdstuk beschreven uitgangspunten toegepast.

3.1 Uitgangspunten ProRail

Voor de railinfrastructuur van ProRail zijn de uitgangspunten in Tabel 1 van toepassing.

Tabel 1: Uitgangspunten ProRail railinfrastructuur.

Uitgangspunt	Waarde
Gebruikte versie van de RLN00398 richtlijn	Versie 003
Geocode van het betroffen spoor	Lelylijn
Kilometering van het beschouwde gebied, start [km] tot eind [km]	0 – 68,495
Lengte gemodelleerd gebied	0 – 68,495
Korte beschrijving van de spoorlay-out	Dubbelsporig
Toegepast type treindetectie op beschouwde gebied	Assentellers in combinatie met ERTMS op Lelylijn EB/DB-GRS op aansluitende sporen
ES-lassen niet elektrisch overbrugd [km]	n.v.t.
Toegepast type tractie-energievoorziening	1500 Vdc met een OS om de 6 km
Locaties onderstations: [Naam OS], [km OS]	Elke 6,0 km een OS, met 1e OS op km 1,250. Bij elk OS een ook capacitieve aarding. OS01, km 1,250 OS02, km 7,250 OS03, km 13,250 OS04, km 19,250 OS05, km 25,250 OS06, km 31,250 OS07, km 37,250 OS08, km 43,250 OS09, km 49,250 OS10, km 55,250 OS11, km 61,250 OS12, km 67,250
Locatie relaishuizen: [Naam RH], [km RH]	RH1, km 17,250 RH2, km 22,250 RH3, km 27,250
Locatie 3 kV voedingspunten: [Locatie], [km]	Elke 12,0 km een 3kV voedingspunt met 1e op km 7,250 bij OS2. Bij de even OS-en een 3kV voedingspunt. OS02, km 7,250 OS04, km 19,250 OS06, km 31,250 OS08, km 43,250 OS10, km 55,250 OS12, km 67,250

Uitgangspunt	Waarde
Locatie Soulé doorslagveiligheden: [Locatie], [km]	OS01, km 1,250 OS02, km 7,250 OS03, km 13,250 OS04, km 19,250 OS05, km 25,250 OS06, km 31,250 OS07, km 37,250 OS08, km 43,250 OS09, km 49,250 OS10, km 55,250 OS11, km 61,250 OS12, km 67,250
Aardingswijze IB- en 3 kV-kabels	IB-kabel 1-zijdig conform uitgangspunt P12 3kV-kabel 2-zijdig conform uitgangspunt P9
Locatie aardpunt IB-kabel: [kabel nr.], [km]	IB-kabel t.b.v. assentellers is maximaal 5,0 km lang, en 1-zijdig geaard. IB-1, km 17,250 – 22,250, 5,000 km, aarding op km 17,250 IB-2, km 22,250 – 27,250, 5,000 km, aarding op 22,250
Locatie aardpunt 3kV-kabel: [kabel nr.], [km] en [km]	3-kV kabel van even OS naar even OS. Dat is telkens 12,000 km kabellengte. 3kV-1, km 7,250 – 19,250, 12,000 km 3kV-2, km 19,250 – 31,250, 12,000 km 3kV-3. Km 31,250 – 43,250, 12,000 km 3kV-4, km 43,250 – 55,250, 12,000 km 3kV-5, km 55,250 – 67,250, 12,000 km
Overige relevante kenmerken ProRail infrastructuur	Een capacitieve aarding bij elk 1500 Vdc onderstation. Dwarsverbindingen tussen beide sporen om de 2 km, beginnend bij OS1 en eindigend bij OS12. En een dwarsverbinding bij de beide karakteristieke afsluitingen aan het begin en het einde van het model. Er wordt geen koper IT-kabel toegepast, IT-kabels zijn als glasvezel uitgevoerd. Alleen een IB-kabel en 3kV kabel. IB-kabels zijn maximaal 5,0 km lang. 3kV-kabel telkens tussen de even OS-en. Elke 3kV-kabels is 12 km lang.
Gebruikte OR-bladen	n.v.t.
Gebruikte Voeding TBB tekeningen	n.v.t.
Gebruikte schakelschema's	n.v.t.
Gebruikte BBK tekeningen, of andere GIS informatie bronnen voor spoor lay-out	https://service.pdok.nl/prorail/spoorwegen/wfs/v1_0

De specifieke waarden voor de verschillende model parameters zijn genoemd in Tabel 2.

Tabel 2: Specifieke model parameters voor ProRail infrastructuur.

Parameter	Waarde
K1 in [Ohm.m]	66,1 Ohm.m
K2 in [Ohm.m]	66,1 Ohm.m
Afleidweerstand van 1 spoorstaaf in [Ohm.km]	2,5 en 10 en 100 Ohm.km
Onderstation impedantie in [Re + j Im Ohm]	0,007 + j 0,082 Ohm conform [RLN00398] P6
Materieel impedantie in [Re + j Im Ohm]	0,052 + j 0,193 Ohm conform [UP Betuweroute]

De toegepaste karakteristieke afsluitingen zijn genoemd in Tabel 3.

Tabel 3: Toegepaste karakteristieke afsluitingen in model van ProRail infrastructuur.

Geocode	Locatie [km]	Aantal sporen	Karakteristieke afsluitimpedantie [Ohm]		
			2,5 Ohm.km	10 Ohm.km	100 Ohm.km
Lelylijn oost	0,0	7	0,289+0,272i	0,578+0,544i	1,827+1,72i
Lelylijn west	68,495	2	0,543+0,507i	1,086+1,013i	3,433+3,204i

3.2 Uitgangspunten 380 kV hoogspanningslijn

Voor de toekomstige 380 kV hoogspanningslijn zijn de uitgangspunten in Tabel 4 gebruikt.

Tabel 4: Uitgangspunten 380 kV Hoogspanningslijn.

Uitgangspunt	Waarde
Naam hoogspannings-verbinding	Vierverlaten – Ens380 (VVL-ENS380)
Soort verbinding	Hoogspanningslijn
Tracé	Zie bijlage 1
Aantal circuits	2
Type aansluiting	N-1
Spanningsniveau in [kV]	380 kV
Ontwerpstroom per circuit in [A]	4000 A
1-fase kortsluitstroom en afschakeltijd in [kA] / [ms]	50 kA / 0,1 s
3-fasen kortsluitstroom en afschakeltijd in [kA] / [ms]	63 kA / 0,1 s
Mastbeeld	So Moldau (zie bijlage 2) In de modellering worden alleen So masten toegepast Veldlengte 400 m Doorhang 14,0 m In de modellering wordende geleiders op de gemiddelde hoogte geplaatst gebaseerd op de veldlengte van 400 meter, de worst case doorhang van 14,0 meter en de ophanghoogte van de geleiders in de So masten (zie bijlage 2).
Type geleider	Fase (4x): AMS620 Lamifil
Type bliksemgeleider / OPGW	Bliksem (1x): Hawk ACSR 7-26 / 39/242 OPGW (1x): OPGW 226-al2-38-a20sa

Uitgangspunt	Waarde
Sterpuntsaarding HS-net	Geaard sterpunt, vermaasd HS-net
Aardverspreidingsweerstand hoogspanningsstations	Vierverlaten380, 0,1 Ohm Ens380, 0,1 Ohm
Belasting situaties	50% - 50% 2000 A – 2000 A 0% - 100%, 100% - 0% 0 A – 4000 A, 4000 A – 0A
Klokgetallen	Kijkend van oost naar west (VVL naar ENS) 4 12 8 8 12 4
Transposities	Ja Op 1/3e en 2/3e van het tracé VVL-ENS380 Omdat er slechts een deel van de hoogspanningslijn wordt gemodelleerd, wordt er in het simulatiemodel worst case vanuit gegaan dat er geen fase transpositie in het gemodelleerde deel zit.
Wijze van modelleren uit bedrijf zijnd circuit	2-zijdig geaard bij onderhoud
Homopolaire stroom I_0 in [%]	0% en 5% Het betreft geen combi-lijn, tevens wordt de lijn VLL-ENS380 getransponeerd

4 Berekende configuraties

Aan de hand van paragraaf 3.1 en 3.2 dient bepaald te worden welke criteria B1 t/m B9 van toepassing zijn in deze EMC studie. In de onderstaande Tabel 5 is per criterium aangegeven of het criterium van toepassing is, inclusief een motivatie.

Tabel 5: Te berekenen configuraties.

Criterium	Van toepassing	Motivatie
B1	Nee	De Lelylijn wordt voorzien van ERTMS met assentellers.
B2	Nee	De Lelylijn wordt voorzien van ERTMS met assentellers.
B3	Ja	De spanning op bekabeling wordt berekend.
B4	Nee	Voor normale verbindingen is de psofometrische stoorspanning nooit maatgevend.
B5	Ja	De bovenleiding – spoorstaaf spanning wordt berekend.
B6	Ja	De aanraakspanning op bekabeling en op de spoorstaven wordt berekend.
B7	Nee	Behandeld in [Quick-scan 2.0]
B8	Nee	Behandeld in [Quick-scan 2.0]
B9	Nee	Behandeld in [Quick-scan 2.0]
Weerstands-beïnvloeding	Nee	Behandeld in [Quick-scan 2.0]

De bovengenoemde criteria B3, B5, B6 zullen door middel van detail berekeningen gecontroleerd worden.

Naast bedrijfstoestanden zonder faalwijzen, worden de in Tabel 6 genoemde faalwijzen in de ProRail railinfrastructuur toegepast.

Tabel 6: Te hanteren faalwijzen.

Faalwijze	Toegepast	Motivatie
FP1	Ja	Het spoor is geëlektrificeerd met 1500 Vdc
FP2	Nee	FP1 is maatgevend
FP3	Ja	Het spoor is geëlektrificeerd met 1500 Vdc
P7	Ja	Het spoor is geëlektrificeerd met 1500 Vdc
Afleidweerstand spoorstaaf	Ja	2,5 en 10 en 100 Ohm.km

Naast normaal bedrijf zonder faalwijzen, worden de volgende bedrijfstoestanden / faalwijzen in de ProRail of TenneT infrastructuur toegepast. In Tabel 7 zijn de te berekenen configuraties weergegeven.

Tabel 7: Te berekenen configuraties.

Nr.	Bedrijfstoestand
1	Normaal bedrijf met 0% Io
2	Normaal bedrijf met faalwijze (aardfout en/of P7) in ProRail infrastructuur met 0% Io
3	Normaal bedrijf met 5% I_0
4	Normaal bedrijf met faalwijze (aardfout en/of P7) in ProRail infrastructuur met 5% I_0

Nr.	Bedrijfstoestand
5	Onderhoud met 0% Io
6	Onderhoud met faalwijze (aardfout en/of P7) in ProRail infrastructuur met 0% Io
7	Onderhoud met 5% I_0
8	Onderhoud met faalwijze (aardfout en/of P7) in ProRail infrastructuur met 5% I_0
9	1-fase kortsluiting in verbinding VVL-ENS380
10	1-fase kortsluiting in verbinding VVL-ENS380, met faalwijze in ProRail infrastructuur
11	3-fasen kortsluiting in verbinding VVL-ENS380
12	3-fasen kortsluiting in verbinding VVL-ENS380, met faalwijze in ProRail infrastructuur

De berekende waarden in de tabellen worden weergegeven met een kleurcodering blauw, groen, oranje, paars en rood. De betekenis hiervan is als volgt:

- Blauw: berekende waarde < 20% van het criterium (zie G2 in RLN00398);
- Groen: berekende waarde ≥ 20% en < 50% van het criterium;
- Oranje: berekende waarde ≥ 50% en < 80% van het criterium;
- Paars berekende waarde ≥ 80% en < 100% van het criterium;
- Rood: berekende waarde ≥ 100% van het criterium.

5 Resultaten van de berekening

In dit hoofdstuk zijn de resultaten van de berekeningen weergegeven.

5.1 B1 EB-GRS

Niet van toepassing.
De Lelylijn wordt voorzien van ERTMS met assentellers.

Op de aansluitende bestaande spoorweginfrastructuur te Groningen, Lelystad en Heerenveen kunnen wel EB-GRS spoorstroomlopen aanwezig zijn. Tegen de tijd dat het tracé van de Lelylijn en de 380 kV hoogspanningslijn bekend zijn, kan in detail naar de aansluitende bestaande spoorweginfrastructuur gekeken worden.
Deze rapportage richt zich op de mogelijkheid tot bundeling van de Lelylijn spoorlijn en de 380 kV hoogspanningslijn VVL-ENS.

N.B. Om een eventuele ontoelaatbare beïnvloeding van EB-GRS spoorstroomlopen op de aansluitende bestaande spoorweginfrastructuur te mitigeren kan gedacht worden aan het ombouwen van EB-GRS secties naar DB-GRS secties of het plaatsen van een capacitieve aarding bij de aansluiting op de bestaande spoorweginfrastructuur om de spoorstaaf – aarde spanning te reduceren.

5.2 B2 DB GRS

Niet van toepassing.
De Lelylijn wordt voorzien van ERTMS met assentellers.

Op de aansluitende bestaande spoorweginfrastructuur te Groningen, Lelystad en Heerenveen kunnen wel DB-GRS spoorstroomlopen aanwezig zijn. Tegen de tijd dat het tracé van de Lelylijn en de 380 kV hoogspanningslijn bekend zijn, kan in detail naar de aansluitende bestaande spoorweginfrastructuur gekeken worden.
Deze rapportage richt zich op de mogelijkheid tot bundeling van de Lelylijn spoorlijn en de 380 kV hoogspanningslijn VVL-ENS.

N.B. Om een eventuele ontoelaatbare beïnvloeding van DB-GRS spoorstroomlopen op de aansluitende bestaande spoorweginfrastructuur te mitigeren kan gedacht worden aan het plaatsen van een capacitieve aarding bij de aansluiting op de bestaande spoorweginfrastructuur om de spoorstaaf – aarde spanning te reduceren.

5.3 B3 Spanning aders infra apparatuur

Voor de waarde van het B3 criterium wordt verwezen naar de [RLN00398].
De maximale spanning op aders van kabels mag maximaal 150 V continue en 650 V / 0,1 s bedragen.

Voor de Lelylijn spoorlijn wordt ervan uitgagaan dat er ERTMS met assentellers zal worden toegepast. Voor de communicatie zal dan van glasvezel gebruik gemaakt worden, lange koperverbindingen voor communicatie zullen niet aanwezig zijn.
Langs de baan zullen objectcontrollerkasten toegepast worden. Vanuit de objectcontrollerkasten kunnen koper kabels in beide richtingen lopen. Daarbij is de maximale kabellengte 1 km per richting.
Voor assentellers geldt er een uitzondering, de maximale kabellengte is maximaal 5 km per richting [••••••••].

De objectcontrollerkasten krijgen wel voeding via koperkabels vanuit het voedingsnet langs de baan. Vooralsnog wordt uitgegaan van een 3kV-voedingssysteem, maar het zou in de toekomst ook een 10kV-voedingssysteem kunnen worden.

De maximaal optredende spanning op aders van kabels, met een lengte van maximaal 5 km, en 1-zijdig geaard, zijn per configuratie weergegeven in Tabel 8.
In Bijlage 3 zijn de grafieken van de spanningsverdeling weergegeven.

Tabel 8: Maximale spanning op aders van kabels (B3).

Nr.	Bedrijfstoestand	Vcm IB-kabel [V]		
		2,5 Ohm.km	10 Ohm.km	100 Ohm.km
1	Normaal, 0% Io	9,8	10,1	10,0
2	Normaal, 0% Io, faalwijze	9,8	10,0	9,9
3	Normaal, 5% Io	40,0	40,1	39,5
4	Normaal, 5% Io, faalwijze	40,0	40,1	39,6
5	Onderhoud, 0% Io	53,3	54,3	52,8
6	Onderhoud, 0% Io, faalwijze	53,3	54,0	53,1
7	Onderhoud, 5% Io	23,5	24,2	23,4
8	Onderhoud, 5% Io, faalwijze	23,4	24,0	23,5
9	1-fase KSL	3041	3060	3002
10	1-fase KSL, faalwijze	3040	3056	3012
11	3-fasen KSL	1001	1013	987
12	3-fasen KSL, faalwijze	1001	1011	992

Uit Tabel 8 en Bijlage 3 volgt dat bij continu bedrijf de spanning op de 5 km lange IB-kabel onder de waarde van 150 V blijft.

Uit Tabel 8 en Bijlage 3 volgt dat bij een 1-fase kortsluiting en een 3-fasen kortsluiting de spanning op de 5 km lange, 1-zijdig geaarde, IB-kabel boven de waarde van 650 V uit komt.
Voor de kortsluitstroom is worst case gerekend met een maximale kortsluitstroom van 50 kA voor een 1-fase kortsluiting en een maximale kortsluitstroom van 63 kA voor een 3-fasen kortsluiting.

Voor de situatie bij een 1-fase kortsluiting en een 3-fasen kortsluiting is in Tabel 9 weergegeven wat de maximale lengte van een IB-kabel mag zijn tijdens een 1-fase of 3-fasen kortsluiting.

Uit Tabel 9 volgt dat voor de kabels aan objectcontrollerkasten geen lengtebeperking geldt. Deze kabels zijn immers maximaal 1 km lang.

Uit Tabel 9 volgt dat voor de kabels van de assentellers, die maximaal 5 km lang kunnen zijn, wel een lengtebeperking geldt.
Bij een 3-fasen kortsluiting is de maximale lengte 3,21 km voor 1-zijdig geaarde kabels. Een mitigerende maatregel kan 2-zijdige aarding zijn, het toepassen van een herhaal relais of het toepassen van extra object controllerkasten om de kabellengte te beperken. Hierbij moet opgemerkt worden dat er worst case is uitgegaan van een 3-fasen kortsluitstroom van 63 kA.
Bij een 1-fase kortsluiting is de maximale lengte 1,06 km voor 1-zijdig geaarde kabels. Een mitigerende maatregel kan (afhankelijk van de benodigde lengte van de kabel) 2-zijdige aarding zijn, het toepassen van een herhaal relais of het toepassen van extra object controllerkasten om de kabellengte te beperken. Hierbij moet opgemerkt worden dat er worst case is uitgegaan van een 1-fase kortsluitstroom van 50 kA.

Uit Tabel 8 blijkt dat de beïnvloeding bij onderhoud met 5% Io kleiner is dan de beïnvloeding bij onderhoud met 0% Io.
Bij onderhoud is 1 circuit uit bedrijf, en zijn de geleiders van dit circuit 2-zijdig geaard. Het zijn hierdoor extra retourgeleiders geworden. De stroom door de 2-zijdig geaarde geleiders van het circuit dat uit bedrijf is, blijkt met 5% Io in het in bedrijf zijnde circuit, groter maar wel symmetrischer te zijn dan de stroom door de 2-zijdig geaarde

geleiders wanneer 0% Io in het in bedrijf zijnde circuit loopt. De stroom door de bliksemdraden is bij onderhoud met 5% Io groter dan de stroom door de bliksemdraden met 0% Io. Echter is de stroom door de bodem met 5% Io juist kleiner dan de stroom door de bodem met 0% Io. Er loopt met 5% Io meer stroom door de bliksemdraden en de 2-zijdig geaarde fase geleiders, en minder stroom door de bodem. Dit levert uiteindelijk de situatie op dat bij onderhoud met 5% Io de beïnvloeding lager uitvalt dan bij onderhoud met 0% Io.

Bij normaal bedrijf is de stroom door de bliksemgeleiders met 5% Io ook groter dan met 0% Io. Maar bij normaal bedrijf is de stroom door de bodem met 5% Io ook groter dan met 0% Io. Bij onderhoud, waarbij de geleiders van 1 circuit 2-zijdig zijn geaard, neemt met 5% Io de stroom door de bodem juist af ten opzichte van 0% Io.

Tabel 9: Lengte beperking voor IB-kabels.

Lengte beperking IB-kabel in [km]	1-zijdig geaarde IB-kabel			2-zijdig geaarde IB-kabel		
	2,5 Ohm.km	10 Ohm.km	100 Ohm.km	2,5 Ohm.km	10 Ohm.km	100 Ohm.km
1-fase kortsluiting 50 kA	1,07	1,06	1,08	2,14	2,12	2,16
3-fasen kortsluiting 63 kA	3,25	3,21	3,28	geen	geen	geen

5.4 B4 Psofometrische stoorspanning

Niet van toepassing.
Voor normale verbindingen is de psofometrische stoorspanning nooit maatgevend.

5.5 B5 Spanning bovenleiding – spoorstaven

Voor de waarde van het B5 criterium wordt verwezen naar de [RLN00398].
De maximale bovenleiding-spoorstaaf spanning mag maximaal 16 V bedragen voor beschikbaarheid en mag maximaal 40 V bedragen voor veiligheid.

De maximaal optredende spanning tussen bovenleiding en spoorstaaf is per configuratie weergegeven in Tabel 10.
In Bijlage 3 zijn de grafieken van de spanningsverdeling weergegeven.

Tabel 10: Maximale bovenleiding – spoorstaaf spanning (B5).

Nr.	Bedrijfstoestand	Vcm BVL - spoorstaaf [V]		
		2,5 Ohm.km	10 Ohm.km	100 Ohm.km
1	Normaal, 0% Io	3,9	2,6	1,5
2	Normaal, 0% Io, faalwijze	4,4	4,5	4,5
3	Normaal, 5% Io	13,9	8,4	4,0
4	Normaal, 5% Io, faalwijze	13,9	8,4	4,0
5	Onderhoud, 0% Io	17,5	11,1	6,4
6	Onderhoud, 0% Io, faalwijze	18,3	18,7	18,9
7	Onderhoud, 5% Io	8,0	5,9	5,2
8	Onderhoud, 5% Io, faalwijze	12,3	12,6	12,8

Uit Tabel 10 en Bijlage 3 volgt dat bij normaal bedrijf de waarde van 16 v niet overschreden wordt. Bij onderhoud bedrijf wordt de waarde van 16 V licht overschreden. De waarde van 40 V wordt niet overschreden.
Er moet opgemerkt worden dat op de Lelylijn geen EB-GRS spoorstroomlopen toegepast zullen worden, maar ERTMS met assentellers. Alleen op de aansluitende bestaande spoorweginfrastructuur kunnen EB-GRS spoorstroomlopen aanwezig zijn.

5.6 B6 Aanraakspanning op kabelmantels en op spoorstaven

Voor de waarde van het B6 criterium wordt verwezen naar de [RLN00398].
De maximale aanraakspanning op spoorstaven of bekabeling mag maximaal 60 V continue en 785 V / 0,1 s bedragen.

De maximaal optredende spoorstaaf – aarde spanning is per configuratie weergegeven in Tabel 11.
In Bijlage 3 zijn de grafieken van de spanningsverdeling weergegeven.

Tabel 11: Maximale spoorstaaf – aarde spanning (B6).

Nr.	Bedrijfstoestand	Vcm spoorstaaf - aarde [V]		
		2,5 Ohm.km	10 Ohm.km	100 Ohm.km
1	Normaal, 0% Io	4,3	7,8	9,9
2	Normaal, 0% Io, faalwijze	4,3	7,8	9,9
3	Normaal, 5% Io	16,2	31,6	39,9
4	Normaal, 5% Io, faalwijze	16,2	31,6	39,9
5	Onderhoud, 0% Io	25,2	42,5	53,3
6	Onderhoud, 0% Io, faalwijze	25,2	42,5	53,3
7	Onderhoud, 5% Io	17,5	26,3	30,8
8	Onderhoud, 5% Io, faalwijze	17,5	26,3	30,8
9	1-fase KSL	1257	2463	3089
10	1-fase KSL, faalwijze	1257	2463	3089
11	3-fasen KSL	415	808	1010
12	3-fasen KSL, faalwijze	415	808	1010

Uit Tabel 11 en Bijlage 3 volgt dat bij continu bedrijf de spoorstaaf – aarde spanning onder de waarde van 60 V blijft.

Uit Tabel 11 en Bijlage 3 volgt dat bij een kortsluiting de spoorstaaf – aarde spanning boven de waarde van 785 V komt. Hierbij moet opgemerkt worden dat er worst case is uitgegaan van een 1-fase kortsluitstroom van 50 kA en van een 3-fasen kortsluitstroom van 63 kA.
Een kortstondige overschrijding tijdens kortsluiting wordt door ProRail acceptabel geacht op basis van een uitgevoerde [Risico-evaluatie]. De kans dat er een kortsluiting in de hoogspanningslijn optreedt is klein, en de kans dat gelijktijdig de spoorstaaf wordt aangeraakt in het gebied waar de spanning groter is dan 785 V is eveneens klein. Dit geeft gezamenlijk een klein risico, welke door ProRail geaccepteerd wordt.

De maximaal optredende spanning op IB-kabels en op de mantel van 3kV-kabels is per configuratie weergegeven in Tabel 12.
In Bijlage 3 zijn de grafieken van de spanningsverdeling weergegeven.

Tabel 12: Maximale spanning IB-kabel en aarde en maximale spanning 3kV-kabelmantel en aarde (B6).

Nr.	Bedrijfstoestand	Vcm IB-kabel [V]			Vcm 3kV-kabel [V]		
		2,5 Ohm.km	10 Ohm.km	100 Ohm.km	2,5 Ohm.km	10 Ohm.km	100 Ohm.km
1	Normaal, 0% Io	9,8	10,1	10,0	10,8	13,2	14,7
2	Normaal, 0% Io, faalwijze	9,8	10,0	9,9	10,8	13,2	14,7
3	Normaal, 5% Io	40,0	40,1	39,5	38,8	48,4	55,3
4	Normaal, 5% Io, faalwijze	40,0	40,1	39,6	38,8	48,4	55,3
5	Onderhoud, 0% Io	53,3	54,3	52,8	63,2	76,2	85,4
6	Onderhoud, 0% Io, faalwijze	53,3	54,0	53,1	63,2	76,2	85,4
7	Onderhoud, 5% Io	23,5	24,2	23,4	32,7	38,2	42,0
8	Onderhoud, 5% Io, faalwijze	23,4	24,0	23,5	32,7	38,2	42,0
9	1-fase KSL	3041	3060	3002	3050	3790	4345
10	1-fase KSL, faalwijze	3040	3056	3012	3050	3790	4345
11	3-fasen KSL	1001	1013	987	1104	1356	1543
12	3-fasen KSL, faalwijze	1001	1011	992	1103	1356	1543

Uit Tabel 12 en Bijlage 3 volgt dat bij continu bedrijf de common mode spanning op de IB-kabel onder de waarde van 60 V blijft.

Uit Tabel 12 en Bijlage 3 volgt dat bij continu bedrijf de common mode spanning op de 3kV-kabel bij normaal bedrijf onder de waarde van 60 V blijft.
Tijdens onderhoud bedrijf komt de common mode spanning op de 3kV-kabel wel boven de waarde van 60 V. Hierbij is uitgegaan van een kabellengte van de 3kV-kabel van 12 km.
In de gebieden waar de common mode spanning boven de waarde van 60 V uit komt, kan op plaatsen waar een HS-kast staat de mantel, en daarmee de hoge common mode spanning, worden aangeraakt.
Als mitigerende maatregel kan de standaard maatregel voor parallelloop baanvakken met 25 kV / 50 Hz spoor toegepast worden. Dit betreft de maatregel in eis 186 en bijlage 3.3.3 van het [OVS00017]. Deze maatregel houdt in dat de mantel van de 3kV-kabel van de HS-kast wordt losgenomen, en dat de HS-kast een eigen lokale aarding, door middel van een aardelektrode, krijgt.

Uit Tabel 12 en Bijlage 3 volgt dat bij een kortsluiting de common mode spanning op de IB-kabel en op de 3kV-kabel boven de waarde van 785 V komt. Hierbij moet opgemerkt worden dat er worst case is uitgegaan van een 1-fase kortsluitstroom van 50 kA en van een 3-fasen kortsluitstroom van 63 kA.
Een kortstondige overschrijding tijdens kortsluiting wordt door ProRail acceptabel geacht op basis van een uitgevoerde [Risico-evaluatie]. De kans dat er een kortsluiting in de hoogspanningslijn optreedt is klein, en de kans dat gelijktijdig de IB-kabel of mantel van de 3kV-kabel wordt aangeraakt in het gebied waar de spanning groter is dan 785 V is eveneens klein. Dit geeft gezamenlijk een klein risico, welke door ProRail geaccepteerd wordt.

5.7 B7 Magneetveld railinfra apparatuur

Is behandeld in het document [Quick-scan 2.0].

5.8 B8 Elektrisch veld werknemers

Is behandeld in het document [Quick-scan 2.0].

5.9 B9 magnetisch veld werknemers

Is behandeld in het document [Quick-scan 2.0].

5.10 Weerstandsbeïnvloeding

Is behandeld in het document [Quick-scan 2.0].

6 Mitigerende maatregelen

Bij de berekeningen in hoofdstuk 5 is rekening gehouden met de volgende mitigerende maatregelen:

- Een 1500 Vdc onderstation om de 6 km.
- Capacitieve aarding bij elk 1500 Vdc onderstation.

Voor het criterium B3 dienen voor de 1-zijdig geaarde IB-kabels van de assentellers (deze kunnen langer zijn dan 1 km met een maximum lengte van 5 km) één van de volgende maatregelen genomen te worden, afhankelijk van de werkelijke lengte van de 1-zijdig geaarde IB-kabel van de assentellers:

- 2-zijdig aarden van de IB-kabel;
- Beperken van de lengte van de IB-kabel door herhaal relais toe te passen;
- Beperken van de lengte van de IB-kabel door extra objectcontroller kasten toe te passen.

Voor het criterium B6 dienen voor de 3kV-kabel voor de HS-kasten die in het gebied staan waar de continue spanning groter is dan 60 V, de maatregel van OVS00017, eis 186 en bijlage 3.3.3 genomen te worden. Dit betreft het loshalen van de HS-kast van de mantel van de 3kV-kabel, en de HS-kast van een eigen aardelektrode te voorzien. Er is in deze studie uitgegaan van een 3-kV kabellengte van 12 km tussen de aardpunten bij de 3-kV voedingspunten.

Voor het criterium B6 wordt het risico op een hoge aanraakspanning op de spoorstaven, IB-kabel en 3kV-kabel tijdens een kortsluiting door ProRail geaccepteerd. Een uitgevoerde risico analyse laat zien dat het optredende risico klein is. Er is in deze studie worst-case uitgegaan van een 1-fase kortsluitstroom van 50 kA en een 3-fasen kortsluitstroom van 63 kA.

7 Conclusie

In deze studie is de mogelijkheid verkent van de bundeling van de toekomstige Lelylijn spoorlijn met de toekomstige 380 kV hoogspanningslijn Vierverlaten – Ens (VVL-ENS). Er bestaat de wens tot bundeling op een onderlinge afstand van 100 meter tussen de Lelylijn en de 380 kV hoogspanningslijn VVL-ENS.

Uit de, in hoofdstuk 5, uitgevoerde EMC studie volgt dat het mogelijk is om de Lelylijn spoorlijn met een 1500 Vdc tractie-energievoorzieningssysteem, en de 380 kV hoogspanningslijn VVL-ENS te bundelen op een onderlinge afstand van 100 meter, en bij reizigersstations locaties op een onderlinge afstand van 50 meter over een lengte van 1500 meter.
Om deze bundeling mogelijk te maken dienen wel mitigerende maatregelen genomen te worden. Deze mitigerende maatregelen staan beschreven in hoofdstuk 6.

8 Afkortingenlijst

Afkorting	Betekenis
A	Ampère, eenheid stroomsterkte
BVL	Bovenleiding
DB-GRS	Dubbel Benige GRS (General Railway Signal company) spoorstroomloop
EB-GRS	Enkel Benige GRS (General Railway Signal company) spoorstroomloop
EM	ElektroMagnetisch
EMC	ElektroMagnetische Compatibiliteit
ES-las	Elektrische scheidingslas
fw	Faalwijze
HSP	Hoogspanning
Hz	Hertz, eenheid frequentie
IB-kabel	Interlokale blokkabel
Icm	Common mode stroom
Io	Homopolaire stroom
IT-kabel	Interlocale Telecomkabel
kar	karakteristieke afsluiting
km	kilometer, eenheid lengte
kV	kilo Volt, eenheid spanning
ms	milli seconde, eenheid tijd
OR	Ontwerp Retour
OS	Onderstation
RH	Relaishuis
RK	Relaiskast
V	Volt, eenheid spanning
Vcm	Common mode spanning
Vdc	Gelijkspanning

9 Literatuur

Referentie	Bron
[OVS00017]	Ontwerpvoorschrift Railinfravoedingen (RIV), versie 005, d.d. 01-03-2023.
[Quick-scan 2.0]	Parallelloop Lelylijn spoorlijn en 380 kV hoogspanningsverbinding Vierverlaten – Ens, kenmerk C24-HPR-HS-ADV-24004369versie 0.2, d.d. 26-06-2024.
[Risico-evaluatie]	Risico-evaluatie kortsluiting in nabijgelegen hoogspanningsinfrastructuur irt aanraakspanningen, kenmerk EMC2022-1487792765-1086, d.d. 19-12-2022.
[RLN00398]	Richtlijn, Beleid elektromagnetische beïnvloeding van hoogspanningsverbindingen op de hoofdspoorweg-infrastructuur, versie 003, d.d. 01-11-2021.
[UP Betuweroute]	Uitgangspunten EM-beïnvloeding Betuweroute – Bestaande ProRail infrastructuur, versie 4.2, d.d. 23-06-2011.
[••••••••]	e-mail van •••••••• aan ••••••••, RE: afstand tussen relaishuizen bij nieuwe spoorlijn, d.d. 23-09-2024, 12:23 uur.

Colofon

Opdrachtgever	TenneT TSO B.V.
Uitgave	Movares Nederland B.V.
Telefoon	
Ondertekenaar	
Projectnummer	M0005773-400
Kenmerk	C24-HPR-HS-RAP-24010296

© 2025, Movares Nederland B.V.

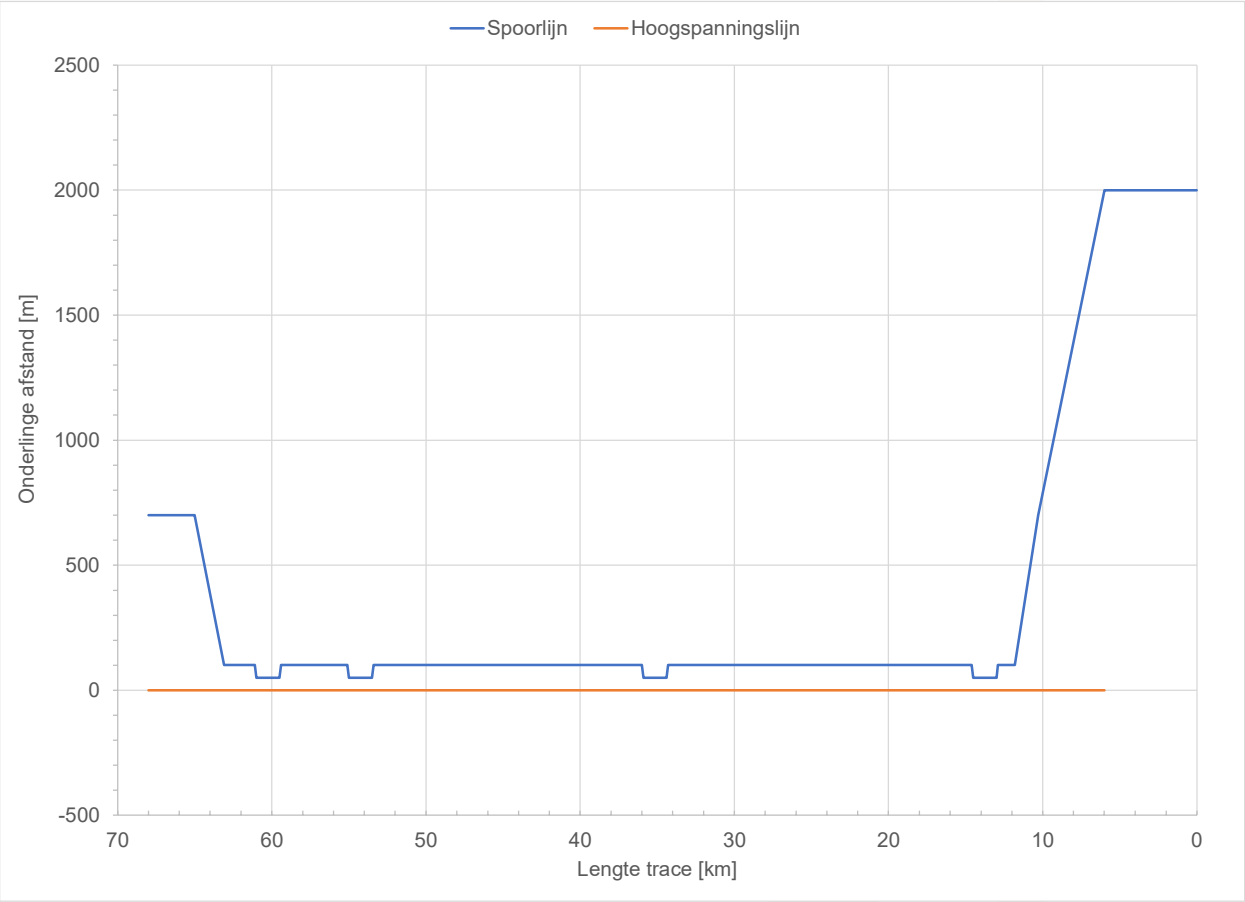
Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming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

Bijlage 1 Model

Omdat voor de Lelylijn spoorlijn en de 380 kV hoogspanningslijn VVL-ENS nog geen definitief tracé bekend is, en alleen de wens voor bundeling bekend is, wordt er in de studie gebruik gemaakt van een fictief spoortracé en een fictief hoogspanningstracé die onderling gebundeld zijn. De fictieve tracés zijn gemaakt met de wens tot bundeling op een onderlinge afstand van 100 meter tussen de Lelylijn en de hoogspanningslijn VVL-ENS. Bij reizigersstation locaties wordt de onderlinge afstand verkleind tot 50 meter over een afstand van 1500 meter. In het simulatiemodel zijn 4 reizigersstation locaties opgenomen.
In Figuur 1 is een schematische weergave van de onderlinge afstanden tussen de hoogspanningslijn en het spoor gegeven.

De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd bij het maken van het simulatiemodel:

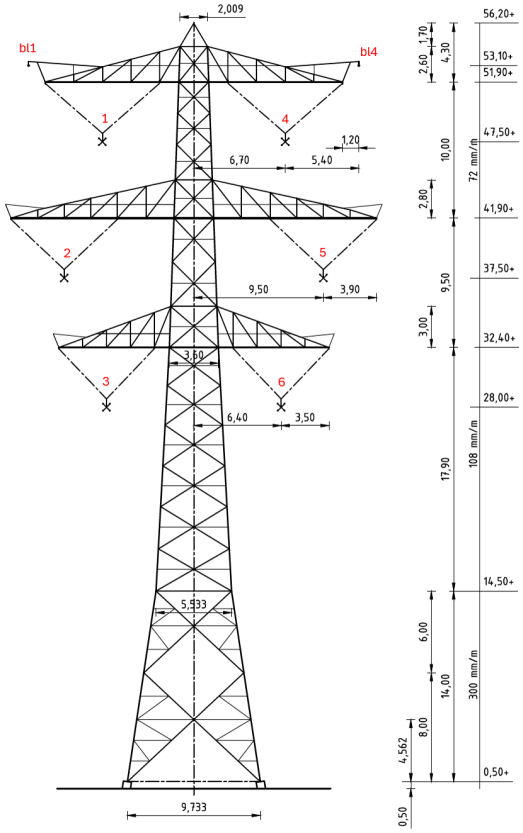
- Elke 6 km een 1500 Vdc onderstation;
- Bij elk 1500 Vdc onderstation een capacitieve aarding;
- Om de 2 km een dwarsverbinding tussen beide sporen, en aan het begin en einde van het model;
- De 3kV-kabels zijn 12 km lang, 2-zijdig geaard, en lopen van even genummerd OS naar even genummerd OS;
- De IB-kabels zijn 5 km lang, en 1-zijdig geaard;
- Karakteristieke afsluiting aan begin en einde.



Figuur 1: Schematische weergave van de onderlinge afstanden in het simulatiemodel. Hoogspanningslijn (rood), spoorlijn (blauw).

Bijlage 2 Mastbeeld

Het toegepaste mastbeeld is voor de gehele gemodelleerde 380 kV hoogspanningslijn So Moldau.
De veldlengte is 400 meter. De worst case doorhang is 14,0 meter. Het mastbeeld van de So Moldau mast is weergegeven in Figuur 2.



Figuur 2: Mastbeeld van Moldau So mast.

De geleider ophanghoogte in de mast is weergegeven in Tabel 13. De geleider hoogte op het laagste punt van de zeeg is weergegeven in Tabel 13.

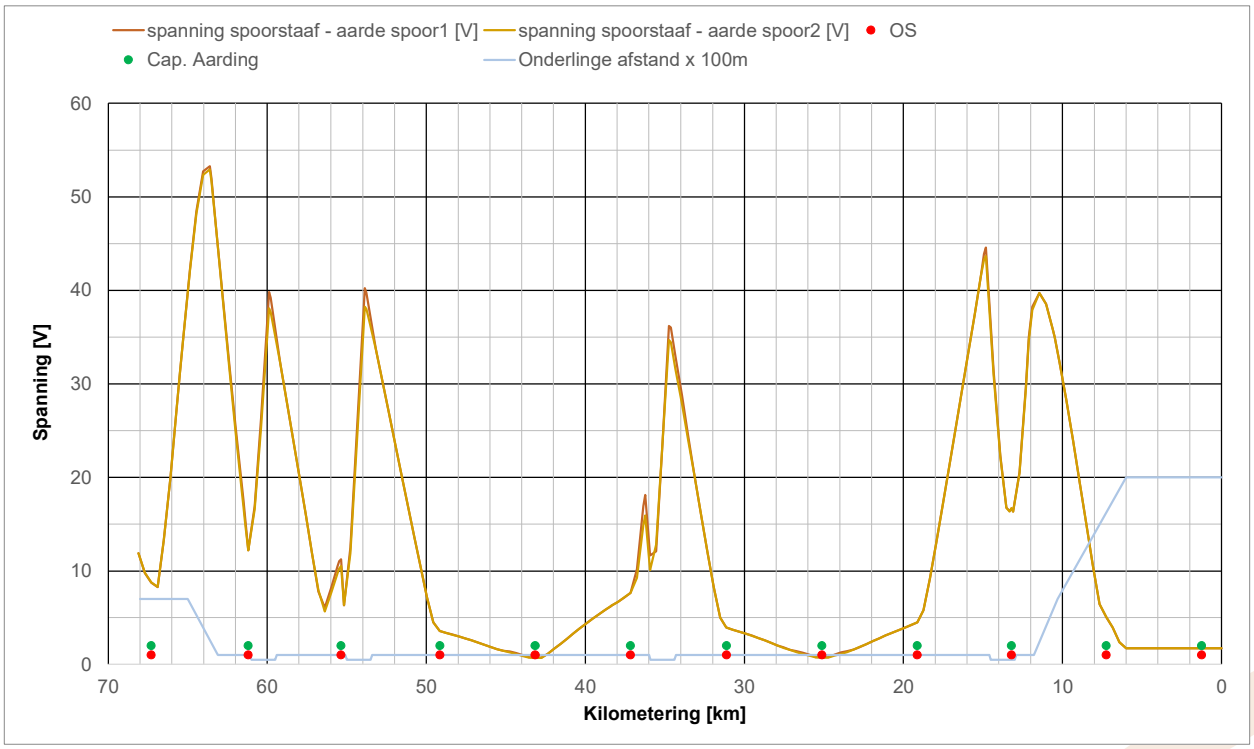
Tabel 13: Geleider ophangpunten in mast en geleider hoogte op laagste punt van de zeeg.

Fase	Ophanghoogte mast		Laagste punt van de zeeg	
	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
1	-6,7	47,5	-6,7	33,5
2	-9,5	37,5	-9,5	23,5
3	-6,4	28,0	-6,4	14,0
4	6,7	47,5	6,7	33,5
5	9,5	37,5	9,5	23,5
6	6,4	28,0	6,4	14,0
Bl1 (OPGW)	-12,1	53,2	-12,1	39,2
Bl4 (Bliksem)	12,1	53,2	12,1	39,2

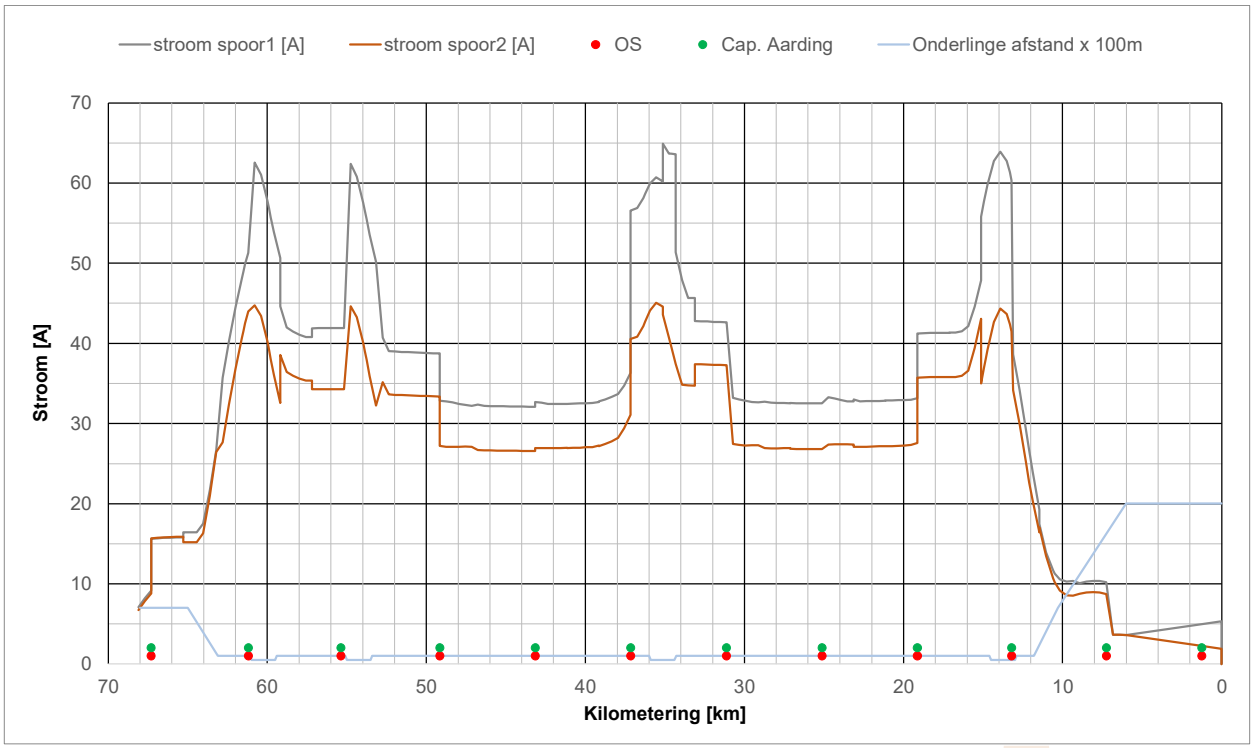
Bijlage 3 Grafieken van spanning en stroom

3.1 Continu bedrijf

In deze paragraaf zijn de max-hold grafieken weergegeven voor 5% Io.

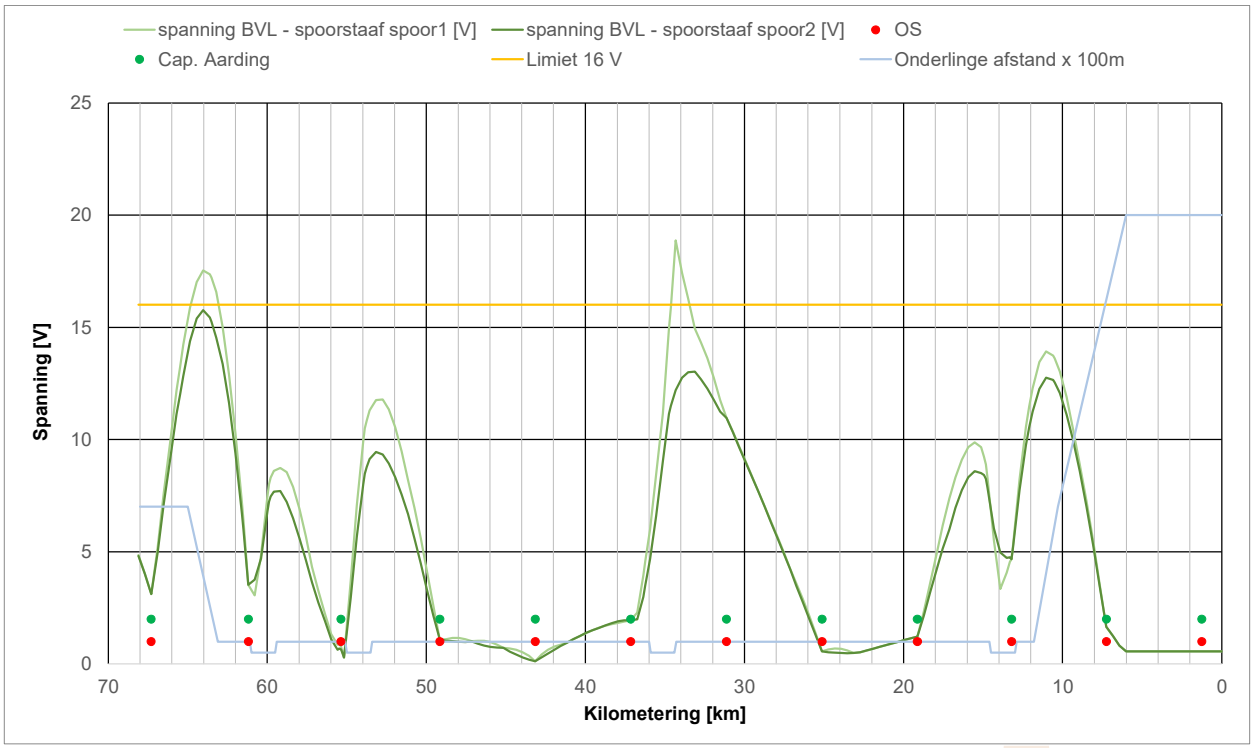


Figuur 3: Spoorstaaf – aarde spanning bij continu bedrijf.

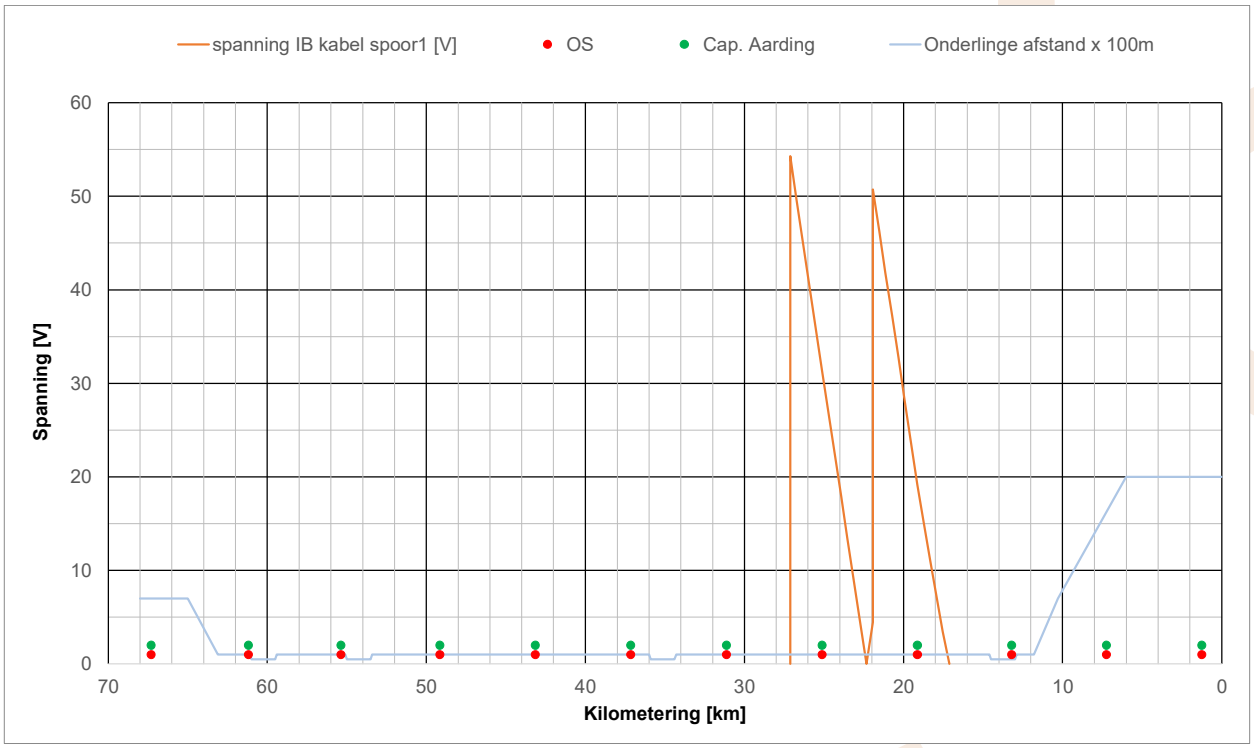


Figuur 4: Stroom door een spoor bij continu bedrijf.

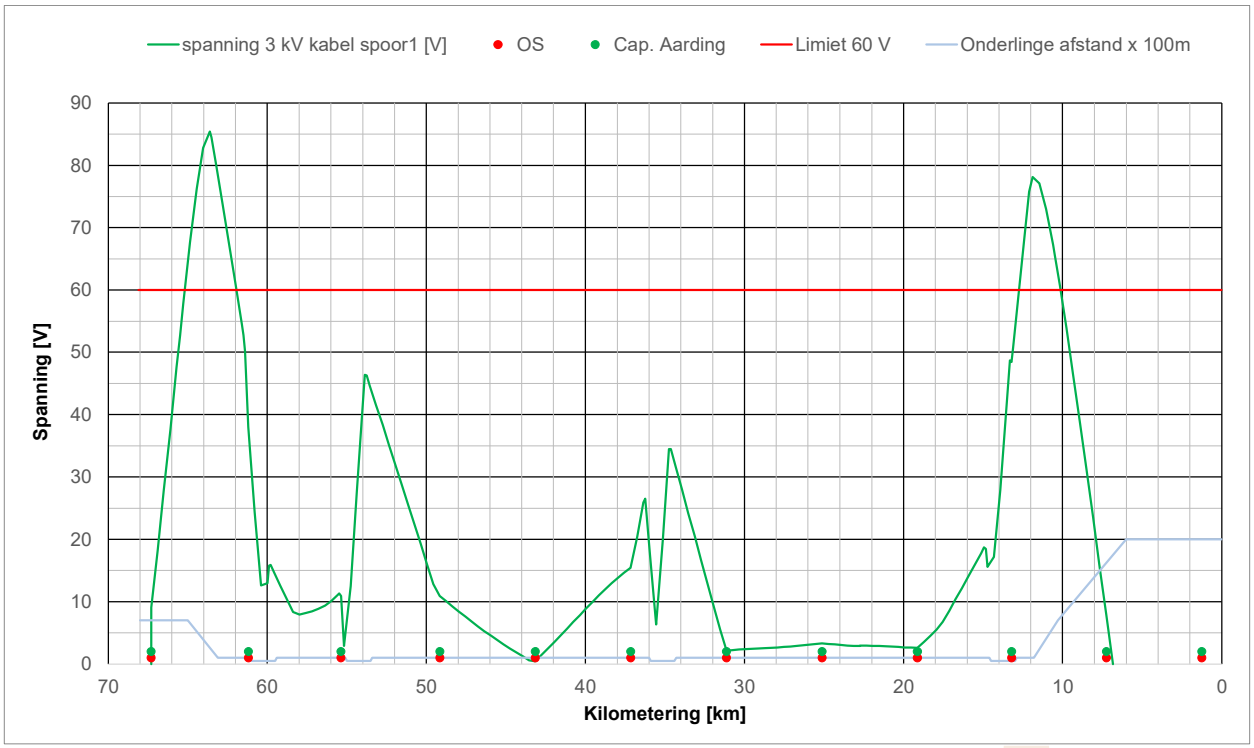
Het verschil in de grootte van de stroom door spoor 1 en door spoor 2 wordt veroorzaakt door de lange parallelloop tussen de hoogspanningslijn en het spoor op korte onderlinge afstand. Hierdoor is de koppeling met het dichter bij de hoogspanningslijn gelegen spoor 1 sterker dan de koppeling met spoor 2, waardoor de stroom door spoor 1 groter is dan de stroom door spoor 2, die iets verder weg ligt vanaf de hoogspanningslijn. Dit is het duidelijkste te zien bij de stukken waar de onderlinge afstand van 100 meter terug gaat naar 50 meter. Hier wordt het verschil in de stroom door spoor 1 en door spoor 2 nog groter dan het verschil op de delen waar de onderlinge afstand 100 meter is.



Figuur 5: Spanning tussen bovenleiding en spoorstaven bij continu bedrijf.



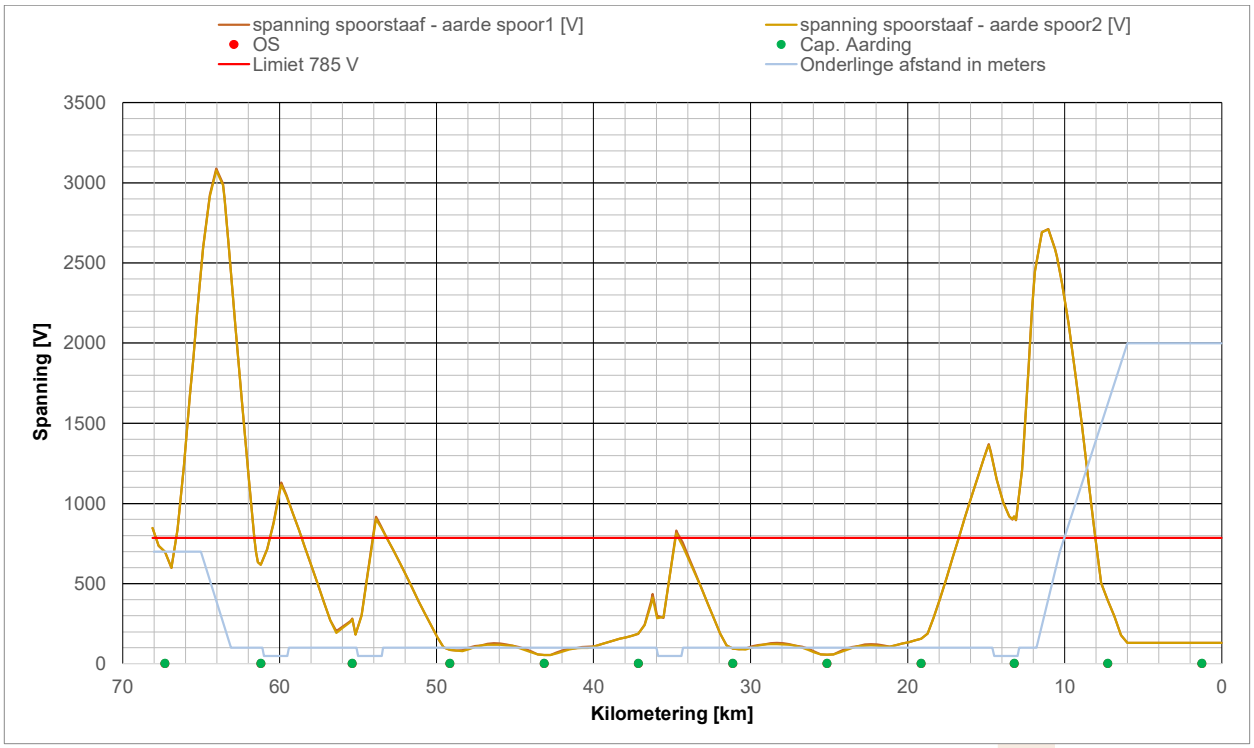
Figuur 6: Spanning op IB-kabel bij continu bedrijf. IB-kabel 1 van km 17,250 naar km 22,250, IB-kabel 2 van km 22,250 naar km 27,250.



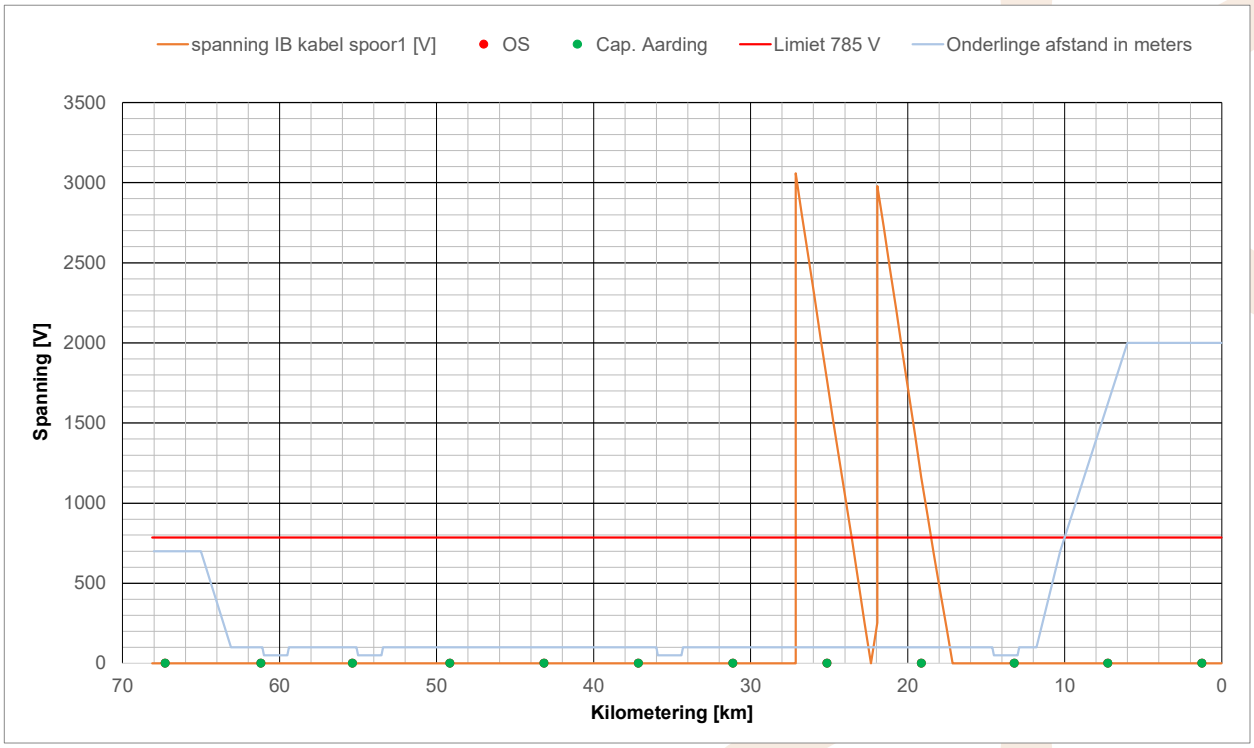
Figuur 7: Spanning op 3kV-kabelmantel bij continu bedrijf.

3.2 1-fase kortsluiting

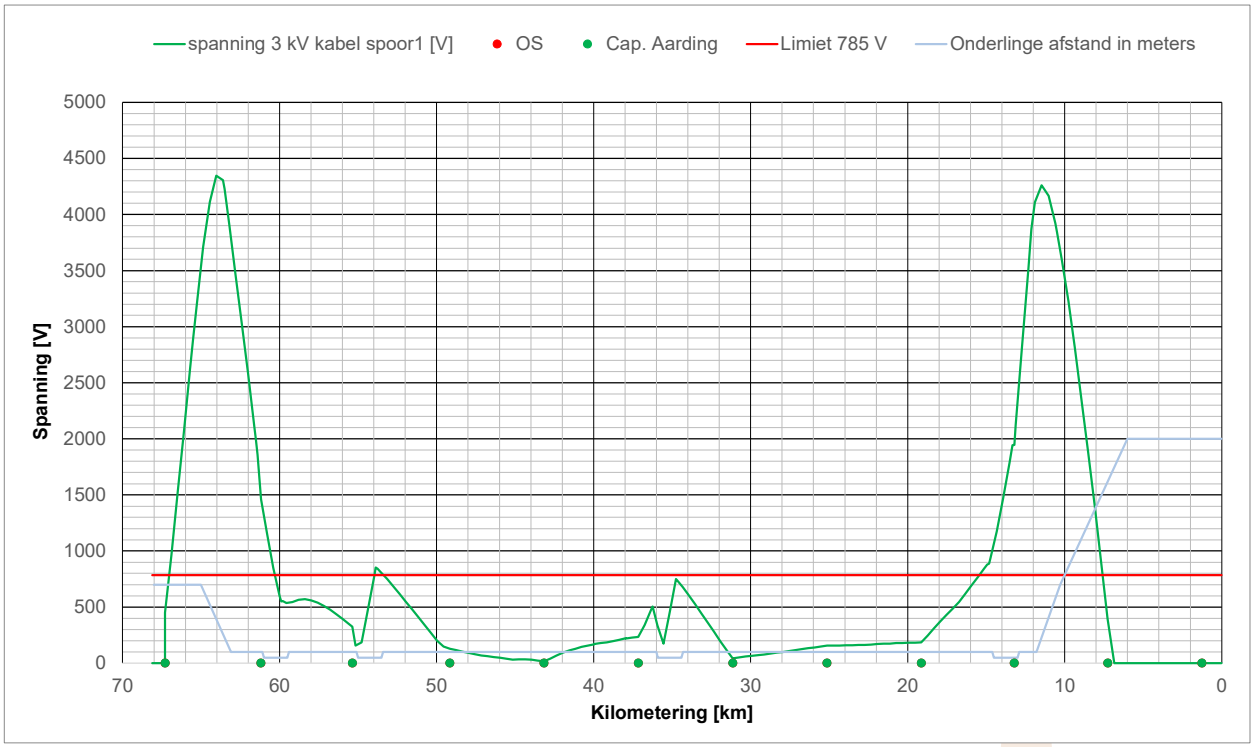
In deze paragraaf zijn de max-hold grafieken weergegeven voor 1-fase kortsluiting.



Figuur 8: Spoorstaaf – aarde spanning bij 1-fase kortsluiting.



Figuur 9: Spanning op IB-kabel bij 1-fase kortsluiting. IB-kabel 1 van km 17,250 naar km 22,250, IB-kabel 2 van km 22,250 naar km 27,250.



Figuur 10: Spanning op 3kV-kabelmantel bij 1-fase kortsluiting.

movares

smart
urban
engineering

Colofon

Opdrachtgever	TenneT TSO B.V. Postbus 428 6800 AK Arnhem
Uitgave	Movares Nederland B.V. Jaarbeursboulevard 280 3521 BC Utrecht
Telefoon	+31 (0)30 - 265 55 55
Projectnummer	M0005773
Kenmerk	--HS-RAP-24010989

© 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