

# Bolsward 110

Rapportage Magneetveldberekeningen en beïnvloeding buisleidingen

TenneT T.S.O. B.V.

24 november 2020

Project Bolsward 110  
Opdrachtgever TenneT T.S.O. B.V.

Document Rapportage Magneetveldberekeningen en beïnvloeding buisleidingen  
Status Definitief 02  
Datum 24 november 2020  
Referentie 116227/20-017.853

Projectcode 116227  
Projectleider ing. I.J.M. de Beer  
Projectdirecteur K.A. Haans MSc

Auteur(s) ir. F.A.W. Kok  
Gecontroleerd door dr. ir. H. Droogendijk, ing. I.J.M. de Beer  
Goedgekeurd door ing. I.J.M. de Beer

Paraaf



Adres V.O.F. ACT TWB  
Postbus 133  
7400 AC Deventer

Het kwaliteitsmanagementsysteem is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

Niets uit dit document mag worden veeelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Geen aansprakelijkheid wordt aanvaardt voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door geleverde document.

## INHOUDSOPGAVE

<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>5</b>
1.1	De aanleiding	5
1.2	Het voornemen	5
1.3	Het doel en scope	6
1.4	Gebruikte documentatie	7
1.5	Leeswijzer	8
<b>2</b>	<b>CONTEXT</b>	<b>9</b>
2.1	Beleidskader	9
2.2	Relatie tot MER	9
<b>3</b>	<b>MAGNEETVELDCONTOUR: INVOERGEGEVENS</b>	<b>11</b>
3.1	Algemeen	11
3.1.1	Analyse	11
3.2	Aansluiting A7 - Station Bolsward	11
3.2.1	Open ontgraving	12
3.2.2	Gestuurde boring	13
3.2.3	Persingen	14
3.2.4	Overgangsgebieden	14
3.3	110 kV Station	15
3.4	Aansluiting station - bestaande lijnen	16
3.4.1	Gestuurde boring	17
3.4.2	Open ontgraving	17
3.4.3	Overgangsgebieden	17
<b>4</b>	<b>MAGNEETVELDCONTOUR: BEREKENING</b>	<b>19</b>
4.1	Aansluiting A7 - Station Bolsward	19
4.2	Station Bolsward	19
4.2.1	Uitgangspunten	19
4.2.2	Berekening	21
4.3	Aansluiting station - bestaande lijnen	21

4.3.1	Wijziging november 2020	22
4.3.2	Simulatiegegevens	22
<b>5</b>	<b>MAGNEETVELDCONTOUR: RESULTATEN</b>	<b>23</b>
5.1	Aansluiting A7 - Station Bolsward	23
5.2	Station Bolsward	24
5.3	Aansluiting station - bestaande lijnen	25
<b>6</b>	<b>BEÏNVLOEDING VAN BUISLEIDINGEN: METHODE</b>	<b>27</b>
6.1	Beïnvloedingsmechanismen	27
6.2	Capacitieve beïnvloeding	27
6.3	Weerstandbeïnvloeding	27
6.4	Inductieve beïnvloeding	28
6.5	Thermische beïnvloeding	31
6.6	Mechanische beïnvloeding	31
<b>7</b>	<b>BEÏNVLOEDING VAN BUISLEIDINGEN: RESULTATEN</b>	<b>32</b>
7.1	Inductieve beïnvloeding	32
7.1.1	Stap 1: Veilige afstanden	32
7.1.2	Stap 2: Unity Check	34
<b>8</b>	<b>CONCLUSIES</b>	<b>36</b>
8.1	Berekening 0,4 microTesla magneetveldcontour	36
8.2	Onderzoek beïnvloeding buisleidingen (NEN 3654)	37
	<a href="#">Laatste pagina</a>	37
	<b>Bijlage(n)</b>	<b>Aantal pagina's</b>
I	Opstellingstekening BWD110 Concept rev.03 2020-05-11 met kabels	1
II	Overzichtstekening 0,4 microTesla magneetveldcontour	1

# 1

## INLEIDING

### 1.1 De aanleiding

In de provincie Friesland worden in het kader van de energietransitie duurzame energiebronnen zoals windturbines en zonneparken gebouwd. De provincie Fryslân heeft zich tot doel gesteld om in 2020 530,5 MW aan windenergie te realiseren. Het grootste initiatief is Windpark Fryslân met een geïnstalleerd vermogen van 380 MW. De provincie heeft daarnaast ook het doel om in 2020 500 MW decentrale zonne-energie op te wekken.

Als netbeheerder heeft TenneT wettelijk de verantwoordelijkheid om grootschalige energie-initiatieven aan te sluiten op het landelijke elektriciteitsnet. Uit onderzoek van TenneT is gebleken dat bij de ontwikkeling van de nieuwe energie-initiatieven in Friesland een netversterking nodig is om de betrouwbaarheid en continuïteit van het hoogspanningsnet te blijven borgen. Als onderdeel van de netversterking is de realisatie van een nieuw 110 kV-hoogspanningsstation noodzakelijk. Het 110 kV-hoogspanningsstation moet op het bestaande hoogspanningsnet worden aangesloten. Naast het nieuwe station zijn daarom ook 110 kV-kabelcircuits nodig om de aansluiting op het bestaande net mogelijk te maken.

Voorafgaand aan dit onderzoek is een Milieueffectrapportage (MER) en Integrale Effecten Analyse (IEA) opgesteld. In het MER zijn 15 kansrijke locaties onderzocht, die zijn teruggebracht naar de 5 meest kansrijke locaties. Na de IEA is de locatie Klaverweg, aan de noordwestzijde van Bolsward, als voorkeurslocatie geselecteerd. Op basis van het MER, de IEA en op advies van de gemeente Súdwest-Fryslân en provincie Fryslân heeft de minister de voorkeurslocatie vastgesteld.

### 1.2 Het voornemen

TenneT wil het nieuwe 110 kV hoogspanningsstation, Bolsward 110, realiseren in westelijk Friesland om duurzame energie-initiatieven, zoals het Windpark Fryslân (hierna WPF), aan te kunnen sluiten op het Nederlandse energienet. Het projectgebied ligt ten noordwesten van Bolsward en sluit aan op het industrieterrein De Marne. In afbeelding 1.1 is het concept ontwerp voor het toekomstig hoogspanningsstation en het tracé van de kabelverbinding weergegeven. Het nieuwe hoogspanningsstation wordt via ondergrondse kabelcircuits aangesloten op het bestaande 110-kV net. Daarnaast is er ruimte gereserveerd voor ondergrondse kabelcircuits van WPF.

Afbeelding 1.1 Projectgebied Bolsward 110 (bron: TenneT, november 2020)



### 1.3 Het doel en scope

Het doel van het project is het realiseren van:

- 1 een 110 kV hoogspanningsstation 'Bolsward 110' met een maximale oppervlakte van 2,2 hectare. De indeling van het station is momenteel in hoofdlijnen bekend (zie afbeelding 1.1);
- 2 een ondergrondse kabelverbinding van de moflocatie naast de A7 naar het station bestaande uit vier kabelcircuits;
- 3 een ondergrondse kabelverbinding bestaande uit zes kabelcircuits van het noordoosten van het nieuwe station via een opstijgpunt 'ingelust'<sup>1</sup> naar de bestaande hoogspanningsverbindingen ten noorden van Bolsward;
- 4 een toegangsweg naar de stationslocatie vanaf de Witmarsumerweg.

Om het 110 kV hoogspanningsstation en de aanleg van de kabelverbinding (incl. de aansluiting van WPF en het bestaande 110 kV-net) planologisch mogelijk te maken, wordt het rijksinpassingsplan (RIP) 'Netversterking Westelijk Friesland' opgesteld. Gelijktijdig met het opstellen van het RIP worden de benodigde (hoofd)vergunningen aangevraagd.

Inhoudelijk bestaat de scope van dit onderzoek uit twee delen:

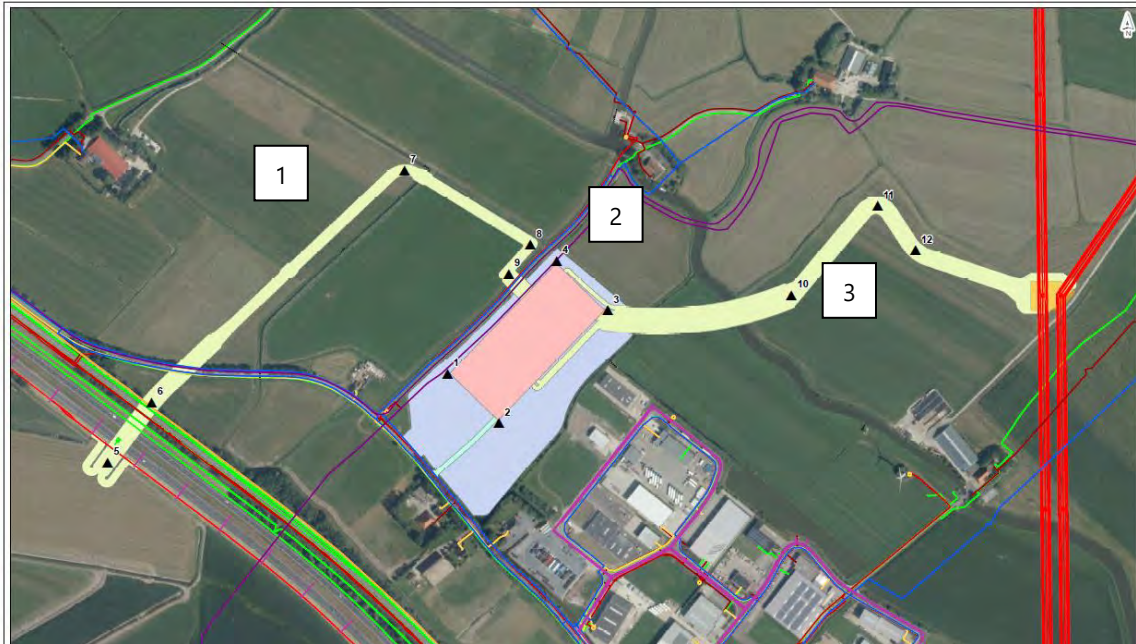
- berekening van de 0,4 microTesla magneetveldcontour van het nieuwe hoogspanningsstation en de aansluiting;
- onderzoek naar beïnvloeding van buisleidingen conform NEN 3654. Hierbij wordt de inschatting tot en met stap 2 'Unity Check' uitgevoerd. Indien in voorkomend geval een aanvullende stap nodig blijkt te zijn, dan wordt hiervoor een aanbeveling gedaan.

Qua scope beschouwt dit rapport de volgende onderdelen (zie afbeelding 1.2):

- 1 aansluiting A7 – Station Bolsward (ten westen van het station, geel in afbeelding 1.2)
- 2 het nieuw aan te leggen station Bolsward (lichtrood in afbeelding 1.2);
- 3 aansluiting Station Bolsward – bestaande lijnen (ten oosten van het station, geel in afbeelding 1.2) Herbayum-Marnezijl en Sneek-Marnezijl waaronder het opstijgpunt.

<sup>1</sup> Inlussen is het opnemen van een nieuw hoog- of middenspanningsstation in het net door een bestaand circuit als het ware door te knippen en daarna om te leiden in een soort grote U.

Afbeelding 1.2 Overzicht van de scope van het onderzoek



Het berekenen van de magneetvelden van de bestaande lijnen zelf behoort uitdrukkelijk niet tot de scope, omdat de stroom niet wijzigt en de masten niet verplaatst worden. Echter worden de magneetvelden van de bestaande lijnen wel meegenomen in de inschatting van de nieuwe onderdelen zoals hierboven aangegeven.

De scope van dit onderzoek betreft zowel het nieuw aan te leggen 110 kV station als de aansluiting daarvan op het bestaande hoogspanningsnet.

Gelijktijdig met het hoogspanningsstation van TenneT ontwikkelt Liander een 20 kV-transformatorstation. In het concept ontwerp is het transformatorstation van Liander ten zuidoosten van het hoogspanningsstation van TenneT voorzien. Het station van Liander wordt niet meegenomen in het RIP en valt buiten de scope van dit onderzoek.

#### Ontwerpwijziging november 2020

In november 2020 is er een wijziging geweest van het ontwerp van de aansluiting. De wijziging betreft het opstijgpunt waarvan een detail ontwerp beschikbaar is gekomen. Deze wijziging heeft ertoe geleid dat enkele delen van de berekening en het voorliggende rapport zijn aangepast. In hoofdstuk 3 wordt er dieper op ingegaan wat deze wijziging inhoudt en hoe deze is verwerkt.

## 1.4 Gebruikte documentatie

Bij het tot stand komen van rapport zijn de volgende documenten gebruikt:

- hoofdrapport Milieueffectrapportage Netversterking westelijk Friesland, V.O.F. ACT TWB, referentie 109753/19-13.103, definitief d.d. 12 augustus 2019;
- integrale Effecten Analyse 110 kV-station incl. kabeltracés Westelijke Friesland, TenneT TSO, definitief 01 d.d. 17 mei 2019;
- afwegingsnotitie voorkeursalternatief Netversterking westelijk Friesland, BRO, rapportnummer P01825, d.d. 24 juni 2019
- document 'Handreiking voor het berekenen van de specifieke magneetveldzone bij bovengrondse hoogspanningslijnen, RIVM, versie 4.1, 26 oktober 2015;
- notitie 'Afspraken ondergrondse kabels en hoogspanningstations', RIVM, 3 november 2011;

- Ruimtelijke en (net)technische uitgangspunten t.b.v. het nieuwe 110 kV-hoogspanningsstation en de hiervoor benodigde kabelcircuits in westelijk Friesland (Bolsward 110), toegezonden door TenneT op 2 april 2020 (intern gebruik);
- lijngegevens van de lijnen Herbayum-Marnezijl (zwarte en witte circuit), Sneek-Marnezijl en Rauwerd-Marnezijl, toegezonden door TenneT op 14 mei 2020;
- 'Opstellingstekening BWD110 Concept rev.03 2020-05-11 met kabels.pdf', toegezonden door TenneT op 15 mei 2020;
- norm 'NEN 3654 Wederzijdse beïnvloeding van buisleidingen en hoogspanningssystemen', 6 februari 2014;
- tekening van het aangepaste opstijgpunt: 'RTE098-144 Concept overzicht OSP Bolsward Westergoawei 110kV (BWW)'.pdf, toegezonden door TenneT op 18 november 2020.

## 1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 'context' is de context van het onderzoek in dit rapport nader beschreven. Verder bestaat het rapport - zoals beschreven in paragraaf 1.2 - uit twee delen.

Het eerste deel betreft de berekening van de 0,4 microTesla-zone. Hoofdstukken 3 'magneetveldcontour: invoergegevens', 4 'magneetveldcontour: berekening' en 5 'magneetveldcontour: resultaten' gaan voor dit onderdeel respectievelijk in op de invoergegevens, de berekening en de resultaten.

Hoofdstukken 6 'beïnvloeding van buisleidingen: methode' en 7 'beïnvloeding van buisleidingen: methode' omschrijven de methode en de resultaten voor het NEN 3654 gedeelte.

In hoofdstuk 8 'conclusies' is een gezamenlijke conclusie opgenomen.



# 2

## CONTEXT

### 2.1 Beleidskader

De RIVM Handreiking is onderdeel van het vigerende overheidsbeleid met betrekking tot de magneetvelden van bovengrondse hoogspanningslijnen. In dit beleid wordt gesteld om zoveel als redelijkerwijs mogelijk te voorkomen dat nieuwe situaties ontstaan waarin mensen langdurig worden blootgesteld aan magneetvelden boven de 0,4 microTesla jaargemiddeld. De reden hiervoor is dat er een zwak statistisch verband is vastgesteld tussen de langdurige blootstelling aan magneetvelden met deze veldsterktes en een verhoogd risico op kinderleukemie. De RIVM Handreiking schrijft de rekenregels voor om de specifieke magneetveldzone, d.w.z. de zone waarbinnen het jaargemiddelde veld groter is dan 0,4 microTesla, te berekenen.

Het omschreven overheidsbeleid is een advies en er is daarmee geen wettelijke verplichting om hieraan te voldoen voor bovengrondse hoogspanningslijnen. Feitelijk is het advies ook niet van toepassing voor ondergrondse hoogspanningskabels en hoogspanningsstations. TenneT kiest er echter voor om de 0,4 microTesla zone wel te (laten) berekenen indien het bevoegd gezag hierom verzoekt en daarbij zoveel mogelijk de rekenregels uit de RIVM Handreiking te hanteren. Hierbij wordt tevens gebruik gemaakt van de notitie van het RIVM met betrekking tot rekenmethodiek voor de 0,4 microTesla magneetveldcontour bij ondergrondse kabels en hoogspanningsstations. Ook hier geldt dat het niet wettelijk verplicht is om de notitie te volgen en dat de notitie strikt genomen alleen geldt voor de 380 kV randstad verbinding. Echter worden de rekenregels c.q. uitgangspunten wel zo veel mogelijk over genomen, en wordt er melding van gemaakt als de hier gebruikte methode afwijkt van hetgeen beschreven in de betreffende notitie. De NEN 3654 omschrijft hoe moet worden vastgesteld dat buisleidingen en hoogspanningssystemen elkaar nadelig beïnvloeden uit oogpunt van (aanraak)veiligheid en corrosie. Aangezien er nieuwe hoogspanningsinfra aangelegd gaat worden, moet worden nagegaan of deze de bestaande buisleidingen mogelijkerwijs aantasten.

### 2.2 Relatie tot MER

In 2019 is opdracht van TenneT de Milieu Effecten Rapportage (MER) opgesteld. In die fase waren er meerdere varianten mogelijk waarvan de milieueffecten in kaart zijn gebracht. Als onderdeel van het MER is onderzoek naar de magneetvelden gedaan.

In het betreffende rapport zijn, hoofdzakelijk, de volgende twee zaken berekend c.q. onderzocht:

- het berekenen van de breedte van de 0,4 microTesla magneetveldcontour voor de verschillende soorten ondergrondse kabels;
- een inschatting van de 0,4 microTesla magneetveldcontour rondom een hoogspanningsstation waarvan de locatie nog nader te bepalen was.

Inhoudelijk is voorliggend rapport een vervolg op het MER. De variantkeuze is gemaakt en daarmee is er meer detailinformatie beschikbaar of de plaatsing van de componenten en de precieze indeling van het hoogspanningsstation.

De (breedte van de) 0,4 microTesla contour van de ondergrondse kabels is reeds berekend. Wanneer de parameters (zoals diepte en onderliggende afstand van de kabels) hetzelfde zijn zullen deze resultaten aangehouden worden. In andere gevallen zijn de uitgangspunten gewijzigd. In dat geval wordt er een herberekening uitgevoerd als onderdeel van dit rapport.

# 3

## MAGNEETVELDCONTOUR: INVOERGEGEVENS

### 3.1 Algemeen

Zoals omschreven in paragraaf 1.3 'het doel en scope' bestaat de scope van het onderzoek naar de 0,4 microTeslacontour uit drie onderdelen:

- 1 aansluiting A7 – Station Bolsward (ten westen van het station);
- 2 het nieuw aan te leggen station Bolsward;
- 3 aansluiting Station Bolsward – bestaande lijnen (ten oosten van het station) Herbayum-Marnezijl en Sneek-Marnezijl waaronder het opstijgpunt.

Voor deel 1 geldt dat de breedte van de 0,4 microTesla magneetveldcontour van de kabels met gestuurde boring reeds berekend is tijdens de MER-fase. De resultaten van de toen uitgevoerde berekeningen worden in dit rapport hergebruikt, aangezien de configuratie van deze kabelverbinding niet is veranderd. Voor de open ontgraving is er echter wel een afwijking ten opzichte van het MER, waardoor een herberekening vereist is. Dit wordt verder omschreven in paragraaf 3.2.1 'open ontgraving'

Deel 2 betreft de berekening van het nieuw aan te leggen station Bolsward. De berekening wordt uitgevoerd met het *in-house* ontwikkelde rekenmodel genaamd *PlusFields*. Dit model is geverifieerd door het RIVM en voldoet aan de zogenaamde pluskwalificatie 'situaties met beïnvloeding'.

Voor deel 3 geldt dat, net zoals bij deel 1, de kabels met gestuurde boring overeenkomen met hetgeen reeds berekend is in het MER. Voor de open ontgraving wordt net zoals bij deel 1 een herberekening uitgevoerd. Daarnaast wordt er ook een 'opstijgpunt' gerealiseerd waarbij de kabels aansluiten op het bestaande 110 kV hoogspanningsnet. Om de invloed op de magneetveldcontour van dit opstijgpunt te berekenen, worden de magneetvelden van de bestaande lijnen ook meegenomen. Voor de berekening van dit opstijgpunt en de bestaande lijnen wordt gebruik gemaakt van het rekenmodel *PlusFields*.

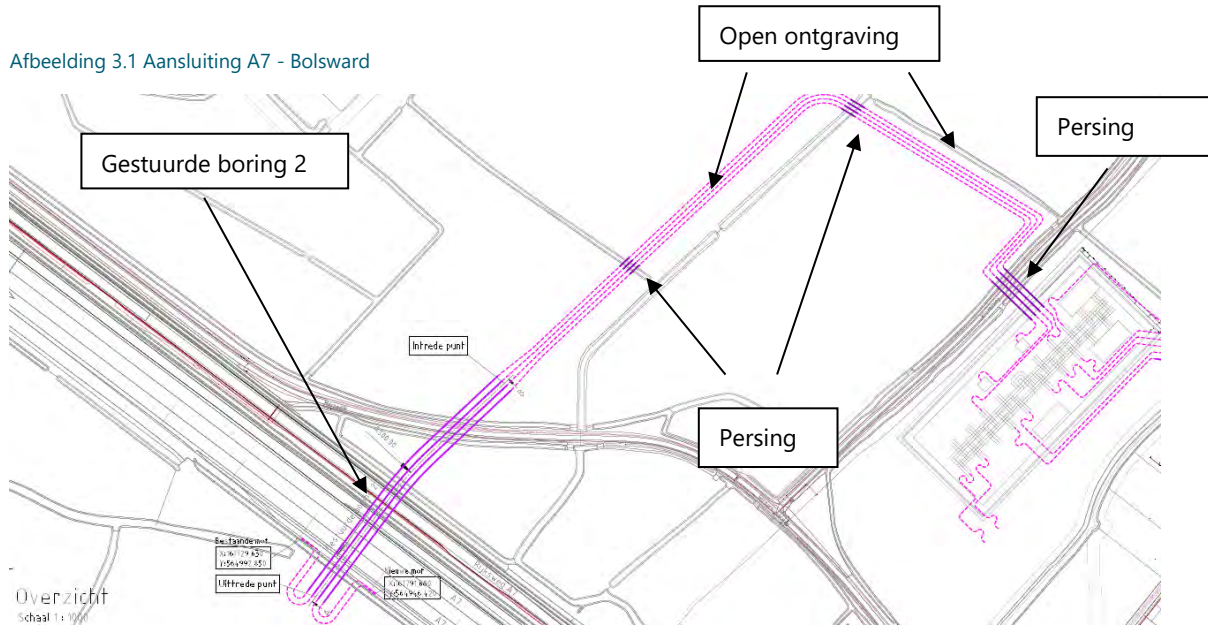
#### 3.1.1 Analyse

Door de 0,4 microTesla magneetveldcontour te berekenen van de onderdelen zoals omschreven in paragraaf 3.1 'algemeen', wordt een totaalbeeld gecreëerd van de magneetveldcontour in het projectgebied. Dit alles wordt samengevoegd in een tekening waarbij de magneetveldcontour worden ingepast. Vanuit deze tekening wordt vervolgens bepaald of er gevoelige bestemmingen binnen de contour liggen.

### 3.2 Aansluiting A7 - Station Bolsward

De aansluiting A7 - Station Bolsward bestaat uit verschillende delen. Het deel aan de noordwestzijde van het station bestaat uit een open ontgraving. Waar de kabels onder de A7 passeren is er een gestuurde boring, binnen dit project 'gestuurde boring 2' genaamd. De passage van de klaverweg is tevens een gestuurde boring. Voor het passeren van de watergangen en/of kabels en leiding wordt gebruik gemaakt van een persing. Zie afbeelding 3.1 waar de kabels in paars zijn weergegeven.

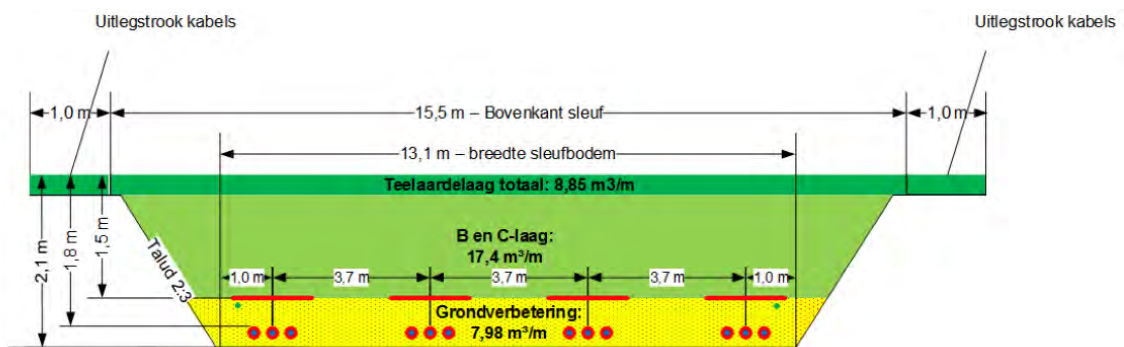
Afbeelding 3.1 Aansluiting A7 - Bolsward



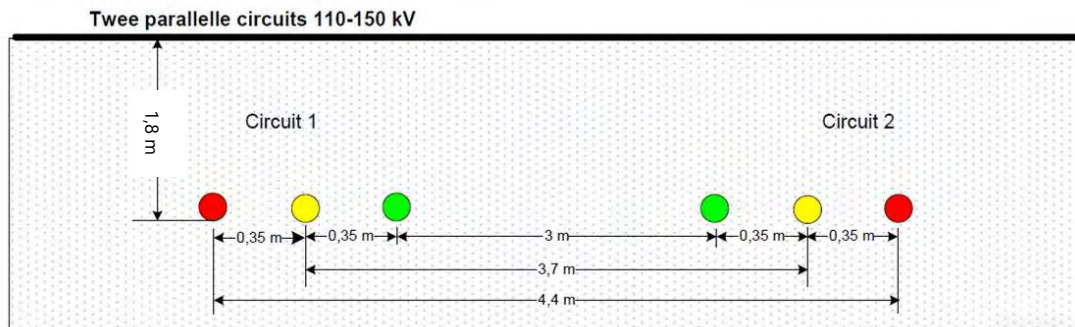
### 3.2.1 Open ontgraving

De breedte van de 0,4 microTesla magneetveldcontour voor de open ontgraving is reeds berekend in het kader van de MER. De afmetingen tijdens deze fase zijn weergegeven afbeelding 3.2. De afmetingen gebruikt in deze MER zijn nog steeds van kracht (zie afbeelding 3.3). In de MER is uitgegaan van een 'gespiegelde' klokgetal configuratie (bijvoorbeeld 2-6-10 10-6-2). Op aangeven van TenneT wordt in dit rapport gebruik gemaakt van een afwijkende configuratie, namelijk de 'niet-gespiegelde' configuratie (2-6-10 2-6-10). De reden hiervoor is dat de precieze configuratie nog niet duidelijk is en daarom de worst-case genomen dient te worden. De worst-case is hierbij de configuratie die de breedste magneetveldcontour oplevert. Er is bekend uit berekeningen dat dit de 'niet-gespiegelde' configuratie is.

Afbeelding 3.2 Sleufprofiel 4 circuits, open ontgraving



Afbeelding 3.3 Doorsnede open ontgraving (twee circuits) uit MER-rapport. De verschillende kleuren geven de verschillende fases weer



Samenvattend wordt er dus een herberekening uitgevoerd met dezelfde afmetingen als bekend uit de MER, met het verschil dat de klokgetalconfiguratie (2-6-10 2-6-10) wordt gehanteerd. Voor dit deel betreft het een herberekening van de (breedte van de) 0,4 microTesla magneetveldcontour voor 4 circuits.

### 3.2.2 Gestuurde boring

De breedte van de 0,4 microTesla magneetveldcontour voor de gestuurde boring is reeds berekend in het kader van de MER. Uit analyse is gebleken dat de uitgangspunten die destijds zijn gebruikt nog steeds gelden, ook voor de klokgetalconfiguratie. De breedte is afhankelijk van de diepte van de ligging van de kabels. De diepte van de kabels varieert over de lengte zoals weergegeven in afbeelding 3.4.

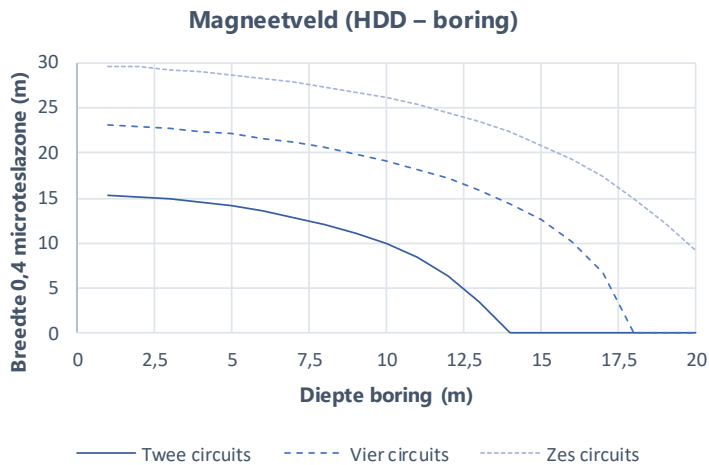
Afbeelding 3.4 Diepteprofiel gestuurde boring 2



Uitgangspunt is dat het hoogste punt van de boring ligt op -1,8 m onder het maaiveld. De 'worst-case' benadering is dus dat de gehele lengte op -1,8 m diepte ligt. Met deze aanname kan de waarde zoals berekend in de MER gebruikt worden. In afbeelding 3.5 is de breedte van de 0,4 microTesla-zone weergegeven voor verschillende dieptes en aantallen circuits. Hieruit is de breedte van de 0,4 microTesla magneetveldcontour 25 m aan weerszijden voor vier circuits op 1,8 m diepte gezien vanuit de hartlijn.

Het RIVM hanteert een meer gedetailleerde rekenmethode voor dergelijke situaties. Gemakshalve wordt gekozen voor de beschreven worst-case benadering, gezien de afstand tot omliggende gevoelige locaties groot is. Als blijkt dat er wel gevoelige locaties binnen deze breedte liggen, dan is het mogelijk om deze meer gedetailleerde berekening uit te voeren.

Afbeelding 3.5 Berekende 0,4 microteslazone voor diverse dieptes van een gestuurde boring (uit MER rapport)



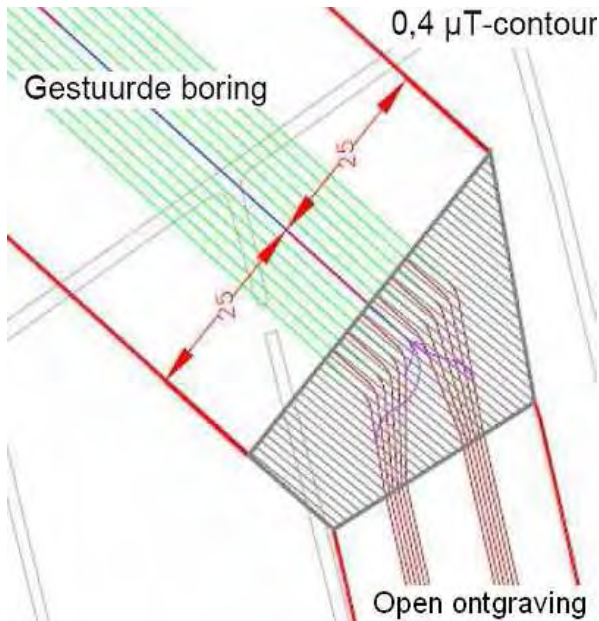
### 3.2.3 Persingen

Voor het kruisen van o.a. kabels en leidingen worden persingen gebruikt. Qua geometrie van de kabels is deze identiek aan die van de gestuurde boring. Daarom zijn dezelfde resultaten uit de MER van toepassing.

### 3.2.4 Overgangsgebieden

Voor de overgangsgebieden tussen gestuurde boring en open ontgraving zijn in de RIVM notitie 'Afspraken ondergrondse kabels en hoogspanningsstations' uitgangspunten gegeven. Zoals weergegeven in afbeelding 3.6 wordt hierbij gebruikt gemaakt van een 'overgangsvak' tussen de twee situaties. In dit onderzoek wordt er een worst-case benadering toegepast waarbij de breedte van de meest breedte contour van de twee configuraties wordt genomen als maatgevend voor dit overgangsgebied. De reden hiervoor is dat er maar beperkt informatie beschikbaar is over de maatvoering van deze overgangsgebieden. Daarnaast zal de worst-case benadering in beginsel altijd voldoen daar deze breder uitvalt dan hetgeen geschetst in de RIVM notitie. In het geval dat er gevoelige locaties binnen het overgangsgebied vallen, is een detail berekening mogelijk als vervolg.

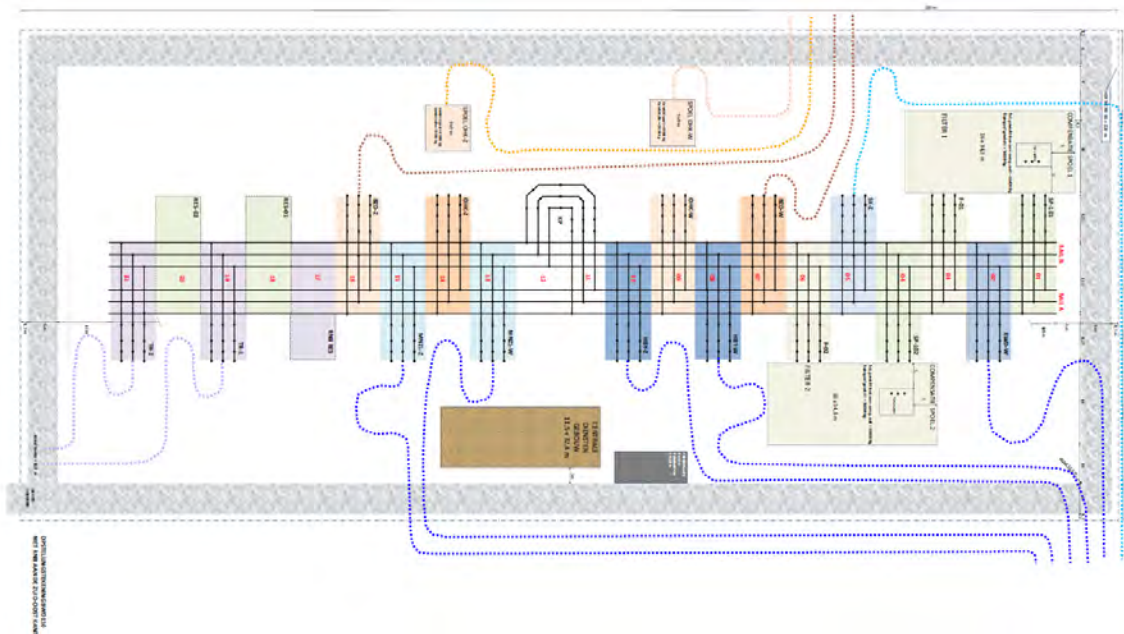
Afbeelding 3.6 Bovenaanzicht van het overgangsgedebied en de bijbehorende 0,4 microTesla contour. bron: RIVM notitie 'afspraken ondergrondse kabels en hoogspanningsstations'



### 3.3 110 kV Station

Voor het station is het document 'Opstellingstekening BWD110 Concept rev.02 2020-04-02 Met kabels.pdf', gebruikt als uitgangspunt voor de magneetveldberekeningen. In deze opstellingstekening zijn de verschillende aansluitingen op het station aangegeven en gedimensioneerd. Zie afbeelding 3.7. In bijlage I is het stationsbeeld opgenomen voor betere leesbaarheid.

Afbeelding 3.7 Configuratie station Bolsward (gekanteld), zie bijlage I voor verbeterde leesbaarheid



Voor het station heeft TenneT de aangesloten vermogens doorgegeven op 9 april 2020 zoals weergegeven in Tabel 2.1. Conform de RIVM handreiking wordt hieruit de ontwerpstroom berekend met de formule

$$I_{ontw} = \frac{S_{ontw}}{\sqrt{3}U_{ontw}}$$

waarbij  $I_{ontw}$  staat voor de ontwerpstroom in Ampère,  $S_{ontw}$  staat voor het vermogen in Volt\*Ampère en  $U_{ontw}$  voor de spanning in Volt.

Tevens wordt voor de rekenstroom voor alle onderdelen een belastingpercentage van 50 % gehanteerd ten opzichte van de betreffende ontwerpstroom, zoals voorgeschreven in de handreiking en notitie RIVM.

Tabel 3.1 Vermogens en rekenstromen van de verschillende velden

Veld	Afkorting	Aangesloten vermogen (MVA / MVAr*)	Ontwerpstroom (A)	Rekenstroom (A)
Rauwerd Wit	RWD W	120	630	315
Sneek Zwart	SK Z	120	630	315
Breezanddijk Wit	BZD W	120	1260	630
Herbayum Wit	HBY W	120	630	315
Oudehaske Wit	OHK W	120	1260	630
Filterveld 1*	-	50*	262	131
Filterveld 2*	-	50*	262	131
	BZD W	240	1260	630
Herbayum Zwart	HBY Z	120	630	315
	OHK W	240	1260	630
Marnezijl Wit	MNZL W	240	1260	630
Marnezijl Zwart	MNZL Z	240	1260	630
Oudehaske zwart	OHK Z	240	1260	630
Breezanddijk zwart	BZD Z	240	1260	630
Regionale Netbeheerder (Liander) veld 2	RNB veld 2	80	420	210
Regionale Netbeheerder (Liander) veld 1	RNV veld 1	80	420	210

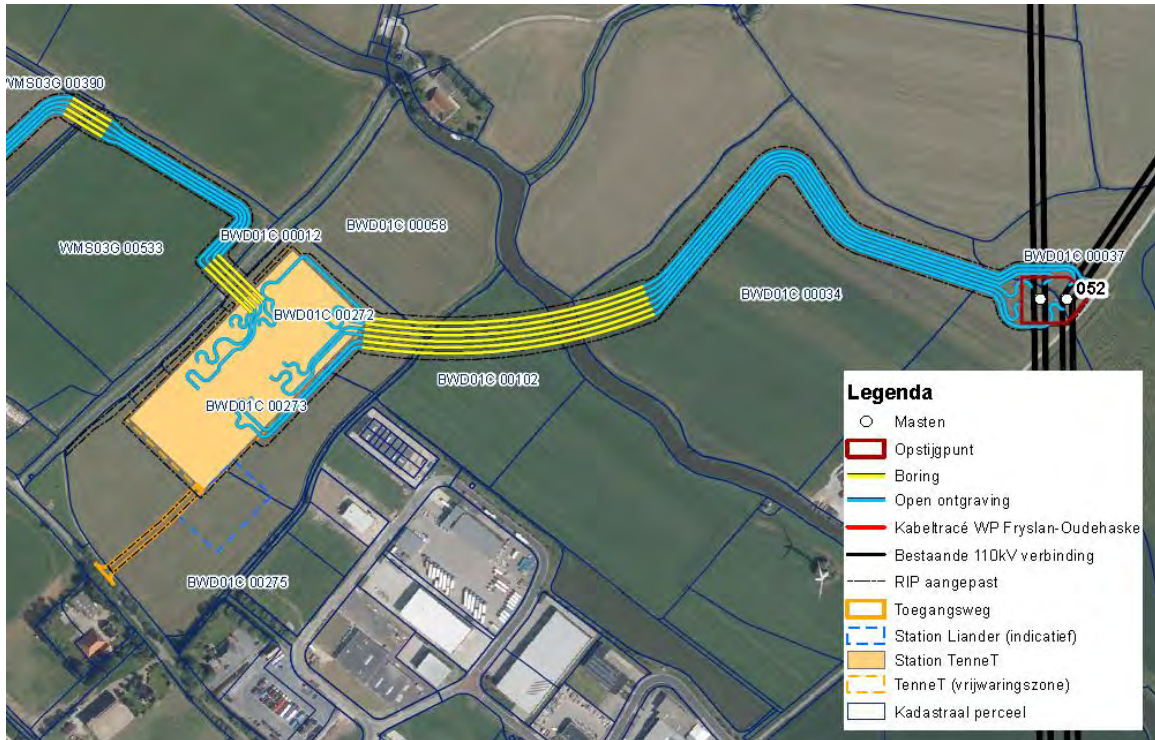
\* Voor de filtervelden wordt de MVAr vermeld, d.w.z. het reactieve vermogen dat maatgevend is voor het produceren van magnetische velden (dit in tegenstelling tot het vermogen dat daadwerkelijk geleverd wordt door de spoel).

### 3.4 Aansluiting station - bestaande lijnen

De aansluiting tussen Station Bolsward en de bestaande lijnen bestaat uit verschillende delen. De bestaande lijnen zijn (van west naar oost): Herbayum-Marnezijl (witte en zwarte circuit), Rauwerd-Marnezijl (witte circuit) en Sneek-Marnezijl (zwarte circuit). Deze worden met totaal zes circuits verbonden aan het station Bolsward. De verbinding bestaat uit vier circuits naar het station en twee terugkerende circuits (gezien vanuit de bestaande lijnen). De verbinding bestaat aan de noordoostzijde van het station uit een gestuurde boring onder de Wytmarsumer Feart door, genaamd 'Gestuurde boring 1'. Oostelijk van de gestuurde boring worden de kabels als open ontgraving aangelegd. Zie afbeelding 3.8 waarin de kabels zijn weergegeven in paars. Ten slotte is er het opstijgpunt, waar de kabels vanuit de grond opstijgen naar de masten 45 en 52 van de bestaande 110 kV hoogspanningslijnen.



Afbeelding 3.8 Aansluiting station - bestaande lijnen. Bron: TenneT



### 3.4.1 Gesteurde boring

Voor de gestuurde boring is er opnieuw sprake van een variërende diepte. Het diepteprofiel is weergegeven in afbeelding 3.9. wordt opnieuw uitgegaan van een worst-case van -1,8 m diepte. Afbeelding 3.5 laat zien dat dit een breedte van 30 m aan weerszijden (gezien vanuit de hartlijn) geeft voor zes circuits.

Afbeelding 3.9 Diepteprofiel gestuurde boring 1



### 3.4.2 Open ontgraving

Zoals omschreven in paragraaf 3.2.1 'open ontgraving' wordt er een herberekening uitgevoerd voor de open ontgravingen waarbij de klokgetalconfiguratie anders is dan in het MER. Voor dit deel wordt deze herberekening uitgevoerd voor 6 circuits.

### 3.4.3 Overgangsgebieden

Voor de overgangsgebieden tussen gestuurde boring en open ontgraving zijn in de RIVM notitie 'Afspraken ondergrondse kabels en hoogspanningsstations' uitgangspunten gegeven. Zoals weergegeven in afbeelding 3.6 wordt hierbij gebruikt gemaakt van een 'overgangsvak' tussen de twee situaties. In dit onderzoek wordt er een worst-case benadering toegepast waarbij de breedte van de meest breedte contour van de twee configuraties wordt genomen als maatgevend voor dit overgangsgebied.

De reden hiervoor is dat er maar beperkt informatie beschikbaar is over de maatvoering van deze overgangsgedieden. Daarnaast zal de worst-case benadering in beginsel altijd voldoen daar deze breder uitvalt dan hetgeen geschetst in de RIVM notitie. In het geval dat er gevoelige locaties binnen het overgangsgedied vallen, is een detail berekening mogelijk als vervolg.

# 4

## MAGNEETVELDCONTOUR: BEREKENING

### 4.1 Aansluiting A7 - Station Bolsward

Zoals omschreven in paragraaf 3.2 'aansluiting a7 - station bolsward' worden de gestuurde boringen geen berekening uitgevoerd. De waarden zoals berekend voor de MER zijn van toepassing voor de worst-case beschouwing.

Voor de herberekening van de open ontgraving wordt gebruik gemaakt van het programma WB-FIELD versie 1.2 (hetzelfde programma en dito methodiek die ook voor de MER zijn gebruikt). Dit programma berekent het magnetische veld door superpositie van de magnetische velden van de geleiders op tweedimensionale wijze.

### 4.2 Station Bolsward

#### 4.2.1 Uitgangspunten

Voor de stationsberekening zijn een aantal aannames c.q. uitgangspunten gebruikt. Zoals omschreven in paragraaf 2.1 'beleidskader' wordt de RIVM Handreiking evenals de RIVM notitie (2011) zo veel mogelijk toegepast. De handreiking geeft de rekenregels om de magneetveldzone te berekenen voor bovengrondse hoogspanningslijnen. Omdat de stations situatie in een aantal opzichten anders is, zijn er aanvullende uitgangspunten nodig om de berekening uit te voeren, zoals degene opgenomen in de notitie omtrent de rekenmethodiek voor de 0,4 microTesla magneetveldcontour bij ondergrondse kabels en hoogspanningstations. Daarnaast dient de station-situatie gemodelleerd te worden in *PlusFields*, hetgeen een aantal restricties geeft. Zo kunnen er alleen rechte lijnen worden gemodelleerd en moet de stroomrichting en fase bekend zijn. Daar waar deze niet bekend zijn, moet een aanname worden gedaan. De uitgangspunten die Witteveen+Bos gebruikt voor de stationsberekening worden hieronder uiteengezet.

#### Kabelposities

De indeling van het station is overgenomen uit het document 'Opstellingstekening BWD110 Concept rev.03 2020-05-11 met kabels.pdf'. De positionering van alle kabels is hiermee bepaald door de lengtes uit het digitale document uit te lezen. De maatvoering is hiermee accuraat tot op circa 0,5 m. Voor de doeleinden van dit onderzoek wordt dit als voldoende beschouwd. Daarbij geldt dat de uiteindelijke breedte van de 0,4 microTesla magneetveldcontour wordt afgerond op 5 m conform de RIVM Handreiking. Dit laatste is in afwijking van de RIVM notitie, maar geeft wel een ruimere worst-case benadering van de magneetveldcontour. Hierdoor is de invloed van eventuele wijzigingen van de stationsconfiguratie op de magneetveldcontour meer beperkt.

#### Afmetingen station

Met deze methode is de onderlinge afstand tussen de fases bepaald op 2,35 m. Deze waarde is consistent gehouden voor alle onderlinge faseafstanden.

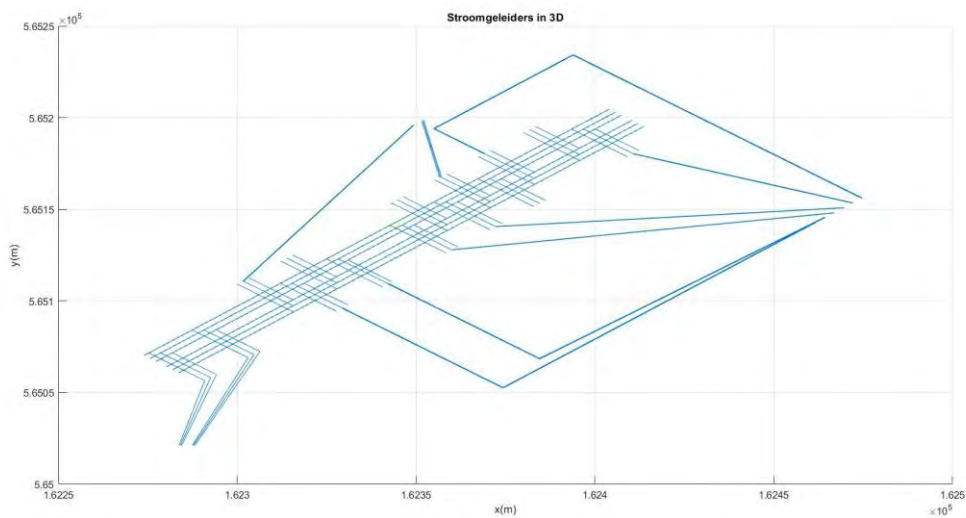
Voor de hoogtes van de kabels zijn 3 waardes gehanteerd conform het document '00453-01-10502 Veldoverzicht veld 5'.pdf':

- de Rails A en B zijn ingevoerd op 6,8 m hoogte;
- de velden zijn ingevoerd op 4,25 m hoogte;
- de kabelaan sluitingen zijn ingevoerd op -1,2 m binnen het station.

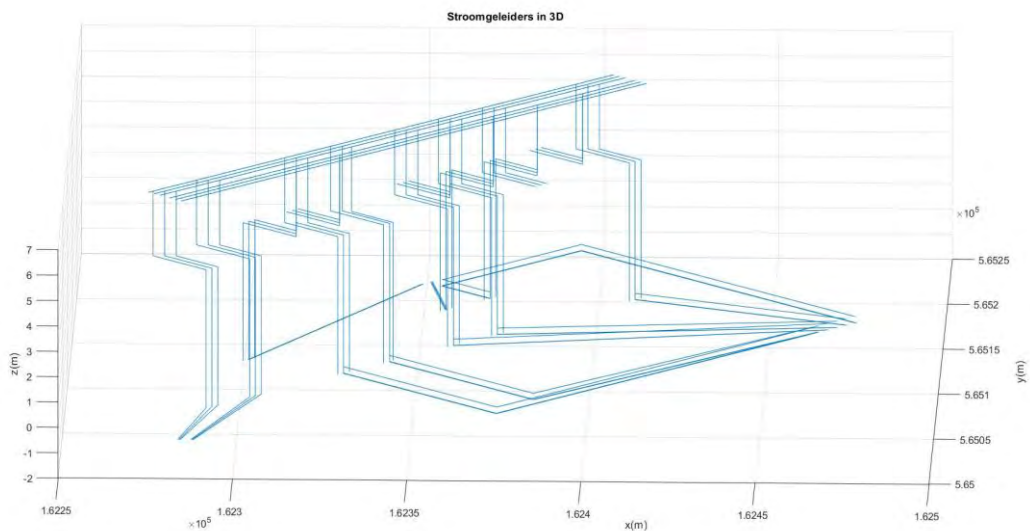
De verschillende hoogtes zijn in het model met elkaar verbonden met rechte verticale lijnen.

De kabelaan sluitingen, weergegeven met stippellijnen in afbeelding 3.7, zijn omgezet in rechte lijnen. Hierbij is een versimpeling gebruikt om het rekenmodel niet te zwaar te belasten met het oog op benodigde rekentijd. Verondersteld wordt dat het afgelegd pad van beperkte invloed is op de totale magneetveldcontour, tenzij de realiteit zeer sterk afwijkt van het model. In afbeelding 4.1 en afbeelding 4.2 is het gemodelleerde station met een deel van de aanliggende aansluitingen weergegeven.

Afbeelding 4.1 Bovenaanzicht van de stationskabels



Afbeelding 4.2 3D zijaanzicht van de stationskabels



### Positionering aansluiten buiten station

De positionering van de ondergrondse kabels buiten het station is gedaan door de RD-coördinaten van de hoekpunten uit te lezen vanuit de bijhorende GIS-bestanden. Hierbij is het midden van de kabelstrook op de hoekpunten van de kabels als maatgevend genomen. Conform de RIVM notitie is alleen het segment meegenomen tot het hek van het station (of in sommige gevallen iets ruimer genomen).

### Translatie naar RD-coördinaten

Om de stationsconfiguratie te combineren met de aansluitingen daarbuiten, is er een rotatie en translatie uitgevoerd om de stationscoördinaten per kabel om te rekenen naar RD-coördinaten. Hierbij wordt de linkerboven c.q. de noordwestelijke hoek van het station als (0,0) genomen. De RD-coördinaat van dit punt is bepaald als (162379,99 ; 565236,22). Vervolgens is met behulp van de GIS-tekening bepaald dat het station gerooteerd staat met  $-44^\circ$  (in wiskundige notatie, i.c. 44 graden met de klok mee).

### Stroomrichting en fase

De richting en fase van de stromen is van grote invloed op het totale magneetveld, aangezien dit mede bepaalt of de magneetvelden bij elkaar optellen of elkaar juist verminderen. Gezien het grote aantal lijnen/kabels is het niet zinvol om per lijn/kabel de verschillende mogelijkheden te berekenen, aangezien het totaal aantal mogelijk configuraties zeer groot is. Hierbij is derhalve gebruik gemaakt van een aantal vuistregels om de stroomrichting en fase zo te gebruiken dat er een realistische 'worst-case' inschatting wordt gemaakt.

Deze vuistregels zijn:

- de fases zijn overal geconfigureerd als 2-6-10, zoals aangegeven door TenneT;
- er wordt verondersteld dat, wanneer alle stroomrichtingen van de velden dezelfde kant op staan, het totale magneetveld het grootste is. Uit voorbeeldberekening en eerdere ervaring blijkt dat een tegensymmetrische opstellen van de velden een kleiner magneetveld oplevert. Met andere woorden het magneetveld is het grootste wanneer alle stromen dezelfde kant op lopen (gegeven de 2-6-10 klokgetal configuratie). Wanneer er tegengestelde stromen zouden zijn zou dit effectief een 10-6-2 configuratie geven voor de betreffende kabels/lijnen. Dit principe is toegepast om alle veldstromen van west naar oost te laten lopen;
- de stroomrichting van de rails is (haaks op de veldrichtingen) is ook van belang. Conform de RIVM notitie zijn de configuraties berekend waarbij de rails resp. ++ en -- als stroomrichting hebben.

## 4.2.2 Berekening

### Simulatiegegevens

Het rekenmodel werkt met een Finite Element Methode (FEM). Hierbij wordt iedere kabel in N stukjes gedeeld, waarbij de contributie van deze delen gesomd wordt tot het totaal. In dit onderzoek wordt  $N=100$  gebruikt met een rastergrootte van 0,1 m. Dat wil zeggen dat het magneetveld op 'pixels' met een tussenafstand van 0,1 m berekend wordt. Witteveen+Bos schat in dat deze waardes zorgen voor een voldoende accurate berekening.

## 4.3 Aansluiting station - bestaande lijnen

Zoals omschreven in paragraaf 3.2 wordt voor de gestuurde geen berekening uitgevoerd. De waardes zoals berekend voor het MER zijn van toepassing.

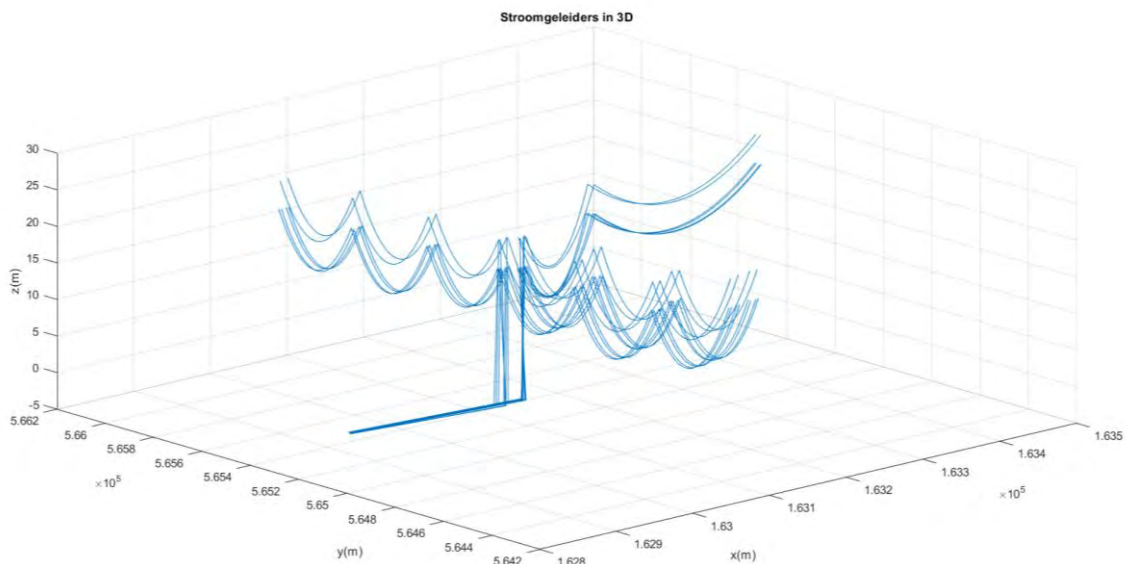
Voor de herberekening van de open ontgraving wordt gebruik gemaakt van het programma WB-FIELD versie 1.2 (hetzelfde programma en dito methodiek die ook voor de MER zijn gebruikt). Dit programma berekent het magnetische veld door superpositie van de magnetische velden van de geleiders op tweedimensionale wijze.

Voor het opstijgpunt is een 3D model opgesteld voor de berekening in *PlusFields*. De gegevens van de bestaande hoogspanningslijnen zijn hiervoor gebruikt. *Ten tijde van schrijven is er nog geen detailontwerp van het opstijgpunt beschikbaar. Hierom is het uitgangspunt gehanteerd dat alle lijnen recht naar beneden gaan vanaf de huidige mastpositie. Hierbij is een afstand van 5 m gehanteerd tussen de heen- en retourgaande lijnen (van en naar het station).* Voor de ondergrondse kabels zijn de dwarsprofielen van de open ontgraving gehanteerd (zie afbeelding 4.3 voor het 3D-model van het opstijgpunt).

### 4.3.1 Wijziging november 2020

Zoals beschreven in hoofdstuk 1 heeft er in november 2020 een wijziging plaatsgevonden. Deze wijziging betreft dat er details van het opstijgpunt beschikbaar zijn gekomen. Het hierboven *in cursief* beschreven uitgangspunt is daarmee niet meer geldig. De nieuwe gegevens van het opstijgpunt zijn opnieuw in het rekenmodel ingevoerd als inputparameters en de berekening is opnieuw uitgevoerd. Buiten het wijzigen van deze geometrische input gegevens zijn alle andere factoren voor de berekening identiek gebleven.

Afbeelding 4.3 3D aanzicht van het opstijgpunt (november 2020)



Voor wat betreft de stroomrichtingen van de bestaande lijnen is door TenneT aangegeven dat de twee westelijke circuits Herbayum - Marnezijl (wit en zwart) dezelfde richting op lopen, evenals de twee oostelijke circuits Rauwerd-Marnezijl (witte circuit) en Sneek-Marnezijl (zwarte circuit). De onderlinge stroomrichting van de westelijke en oostelijke circuits kan wel verschillen. Om deze reden wordt de berekening uitgevoerd voor zowel de +/+ als de +/- configuratie. Een berekening van de andere twee configuraties, te weten de -/+ en de -/- configuratie is niet nodig aangezien dit feitelijk dezelfde configuraties zijn als de eerste twee.

### 4.3.2 Simulatiegegevens

In dit onderzoek wordt  $N=100$  gebruikt met een rastergrootte van 1 m. Dat wil zeggen dat het magneetveld op 'pixels' met een tussenafstand van 1 m berekend wordt. Ingeschat is dat deze waarden zorgen voor een voldoende accurate berekening.

# 5

## MAGNEETVELDCONTOUR: RESULTATEN

In dit deel staan puntsgewijs de uitkomsten van het onderzoek opgesomd. Voor een totaalbeeld zie de overzichtstekening in Bijlage II waarin de 0,4 microTesla magneetveldcontour is ingetekend.

Uit Bijlage II wordt geconcludeerd dat er geen gevoelige bestemmingen zijn die binnen de worst-case 0,4 microTesla magneetveldcontour vallen zoals deze in dit rapport is berekend

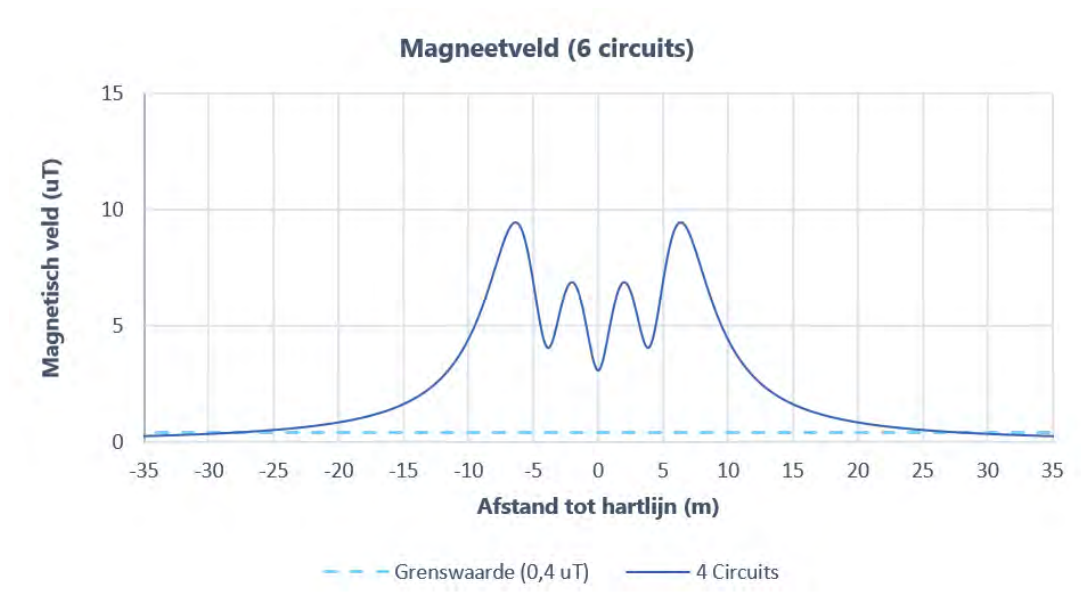
De berekeningen zijn uitgevoerd op maandag 25 mei 2020.

### 5.1 Aansluiting A7 - Station Bolsward

Voor de gestuurde boring is een worst-case breedte van 25 m aan weerszijden van toepassing (ook gezien vanuit de hartlijn).

Voor de open ontgraving is een herberekening uitgevoerd met de worst-case fase configuratie. Het resultaat van deze herberekening is weergegeven in afbeelding 5.1. Hieruit volgt dat de breedte van de 0,4 microTesla magneetveldcontour 30 m is aan weerszijden gezien vanuit de hartlijn.

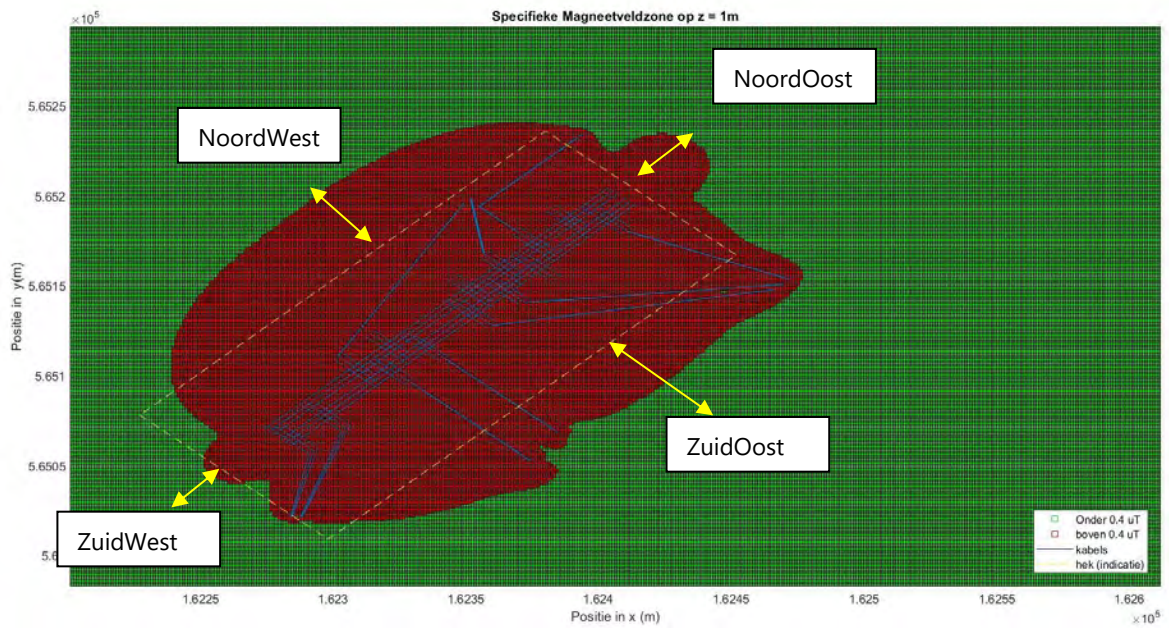
Afbeelding 5.1 Profiel van het magneetveld voor open ontgraving met 4 circuits (herberekend)



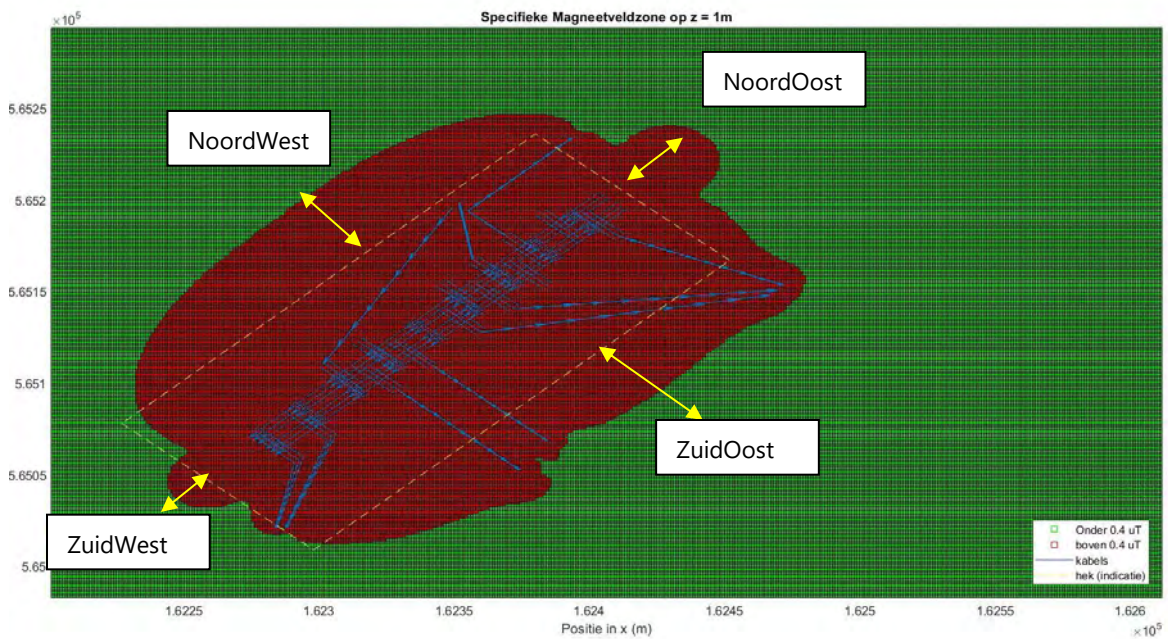
## 5.2 Station Bolsward

Met het rekenmodel *PlusFields* in Matlab R2017b is de 0,4 microTesla magneetveldcontour voor het nieuwe station 110 kV Bolsward berekend. Het resultaat voor de twee configuraties is weergegeven in afbeelding 5.2 en afbeelding 5.3. In tabel 5.1 zijn daarnaast de uitkomsten van de verschillende configuraties weergegeven. De afstanden zijn gerekend vanaf het hekwerk van het station.

Afbeelding 5.2 Resultaat van de berekening van de 0,4 microTesla magneetveldcontour, ++ configuratie. Een indicatie van het hek van het station is weergegeven met gele stippellijnen



Afbeelding 5.3 Resultaat van de berekening van de 0,4 microTesla magneetveldcontour, -- configuratie. Een indicatie van het hek van het station is weergegeven met gele stippellijnen





Tabel 5.1 Resultaten magneetveldberekening per zijde

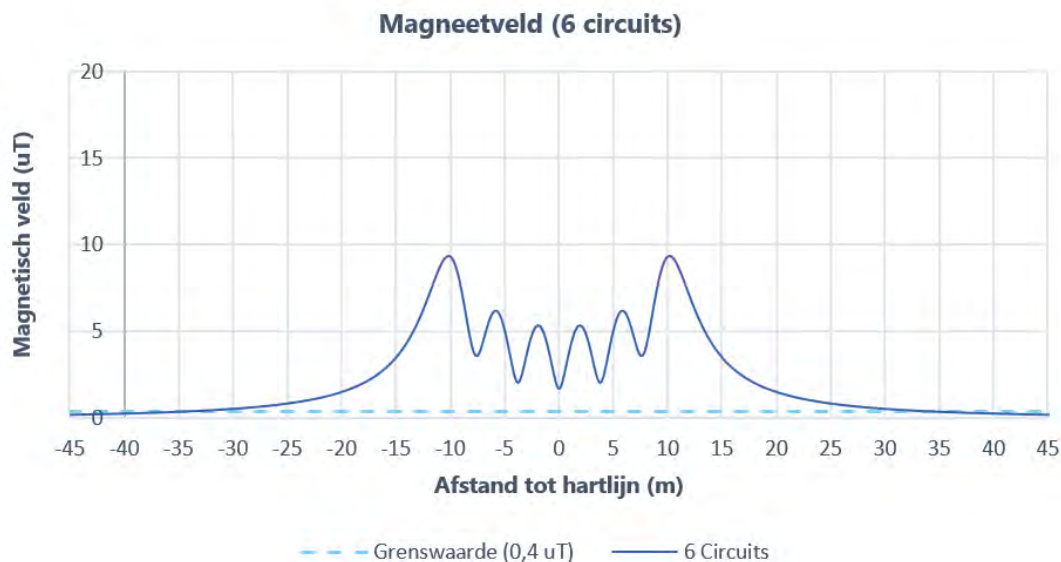
	NoordWest	NoordOost	ZuidOost	ZuidWest
++	35	35	50	15
--	35	35	50	15
Worst-case	35	35	50	15

### 5.3 Aansluiting station - bestaande lijnen

Voor de breedte van de 0,4 microTesla magneetveldcontour van de gestuurde boring is een worst-case benadering van 30 m van toepassing zoals berekend in het MER.

Voor de open ontgraving is een herberekening uitgevoerd met de worst-case fase configuratie. Het resultaat van deze herberekening is weergegeven in afbeelding 5.4. Hieruit volgt dat de breedte van de 0,4 microTesla magneetveldcontour 35 m is aan weerszijden gezien vanuit de hartlijn.

Afbeelding 5.4 Profiel van het magneetveld voor open ontgraving met 6 circuits (herberekend)



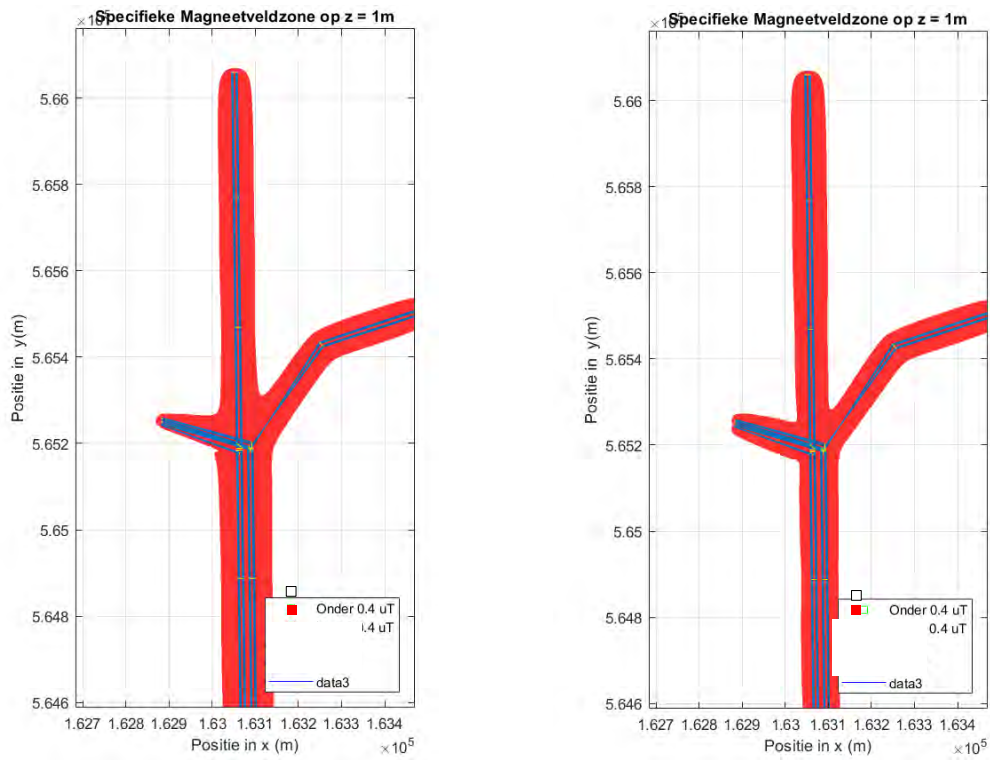
De resultaten van de berekening van het opstijgpunt zijn weergegeven in afbeelding 5.5 op de volgende pagina.

Ter vergelijking is in afbeelding 5.6 de bestaande situatie weergegeven zonder het opstijgpunt. Hiermee is vastgesteld dat er geen significante bijdrage is van het opstijgpunt aan de 0,4 microTesla magneetveldcontour, anders dan het optellen van de breedtes van de open ontgraving en de bestaande lijnen.

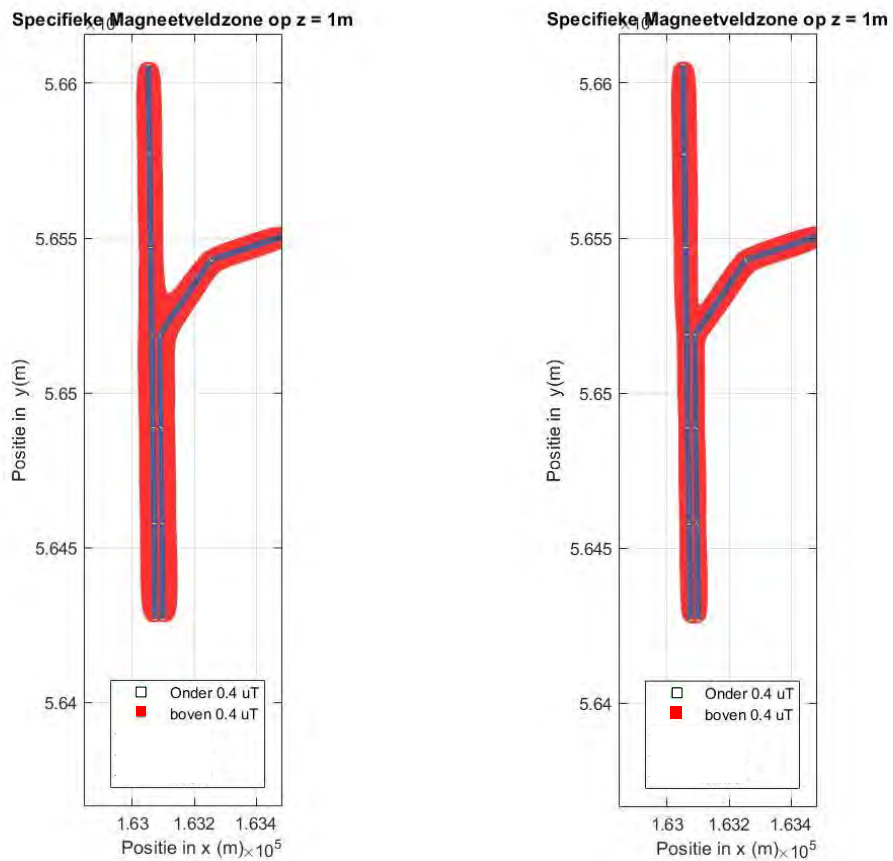
Gezien de grote afstand tussen het opstijgpunt en de meest nabijgelegen woning (groter dan 150 m) leidt het opstijgpunt er niet toe dat woningen binnen de specifieke magneetveldzone vallen.

De herberekening van het opstijgpunt, met de detailgegevens verkregen in november 2020, leidt tot dezelfde conclusie als hierboven beschreven.

Afbeelding 5.5 Berekening 0,4 microTesla magneetveldcontour van het opstijgpunt, ++ (links) en +/- configuratie (rechts) (november 2020)



Afbeelding 5.6 De 0,4 microTesla magneetveldcontour van de bestaande lijnen (ter vergelijking), ++ (links) en +/- configuratie (rechts)



# 6

## BEÏNVLOEDING VAN BUISLEIDINGEN: METHODE

### 6.1 Beïnvloedingsmechanismen

Conform de norm NEN 3654 - 'Wederzijdse beïnvloeding van buisleidingen en Hoogspanningssystemen' is onderzoek uitgevoerd naar de beïnvloeding tussen het nieuw aan te leggen station en de aansluiting ervan, en de reeds bestaande kabels en leidingen in de omgeving.

In de norm NEN 3654 wordt onderscheid gemaakt tussen de volgende mechanismen waarmee beïnvloeding kan optreden:

- capacatieve beïnvloeding;
- weerstandsbeïnvloeding;
- inductieve beïnvloeding;
- thermische beïnvloeding;
- mechanische beïnvloeding.

In de navolgende paragrafen worden deze mechanismen beschouwd voor de specifieke situatie van het nieuw aan te leggen station Bolsward.

### 6.2 Capacatieve beïnvloeding

Capacatieve beïnvloeding wordt veroorzaakt door elektrische velden nabij hoogspanningssystemen. Bij ondergrondse hoogspanningskabels of ondergrondse buisleidingen is er vanwege de afschermdende werking van omringende grond geen sprake van hoge elektrische velden rondom de buisleiding.

Capacatieve beïnvloeding treedt alleen op als een metalen buisleiding boven de grond geïsoleerd is opgesteld. Er wordt verondersteld dat dit niet het geval is binnen het projectgebied. Derhalve is er geen risico op capacatieve beïnvloeding.

### 6.3 Weerstandsbeïnvloeding

Indien een stroom uit een installatie naar de bodem wegvloeit, ontstaat door de weerstand die de stroom in de bodem ondervindt een potentiaalverloop in de bodem. Rond het intredepunt in de bodem ontstaat hier de zogenoemde 'potentiaaltrechter'.

Voor de twee elementen binnen het projectgebied, te weten het hoogspanning (HSP) station en de ondergrondse kabels, geeft de NEN 3654 het stappenplan zoals weergegeven in afbeelding 6.1 stappen.

Afbeelding 6.1 Stappen met betrekking tot weerstandbeïnvloeding uit NEN 3654

Tabel 3 (einde)	Stap 1	Stap 2	Stap 3	Stap 4
<b>HSP-kabels</b>	Alleen in geval van afstand buisleiding tot hart kabeltracé < 30 m dan is vervolgstap noodzakelijk.	Alleen in geval van afstand buisleiding tot aarding kabelsysteem < 30 m dan is vervolgstap noodzakelijk.	Alleen in het geval van star/effactief geaard net en bekleding leiding bitumen/PE/epoxy en afstand tot aarding kabelsysteem < 30 m of slecht isolerende kabelmantels <sup>a)</sup> en afstand tot hart kabeltracé < 10 m dan is vervolgstap noodzakelijk.	Gedetailleerde berekening inclusief vaststelling van de potentiaaltrechter.
<b>HSP-stations<sup>b)</sup></b>	Alleen in geval van afstand buisleiding tot grens HSP-station < 500 m dan is vervolgstap noodzakelijk.	Alleen in geval van afstand buisleiding tot grens HSP-station < halve omtrek grens HSP-station dan is vervolgstap noodzakelijk.	Alleen in het geval van star/effactief geaard net en bekleding leiding bitumen en afstand grens HSP-station < halve omtrek grens HSP-station of afstand grens HSP-station < een derde van omtrek grens HSP-station dan is vervolgstap noodzakelijk.	Gedetailleerde berekening inclusief vaststelling van de potentiaaltrechter.

Voor zowel de HSP-kabels als het HSP-station zijn er buisleidingen die voldoen aan de criteria voor stap 2. Voor de kabels zijn dit in ieder geval de kruisende buisleidingen. Voor het station zijn dit de buisleidingen op minder dan 315 m afstand.

De benodigde vervolgstap is om na te gaan of er sprake is van een star/effactief geaard net en bekleding met bitumen. Deze vervolgstap valt echter buiten de scope van dit onderzoek.

## 6.4 Inductieve beïnvloeding

Inductieve beïnvloeding ontstaat door de elektromagnetische koppeling tussen de hoogspanningssystemen en een (metalen) buisleiding. Bij deze koppeling wordt door de stroom in het hoogspanningssysteem een spanning in de buisleiding geïnduceerd.

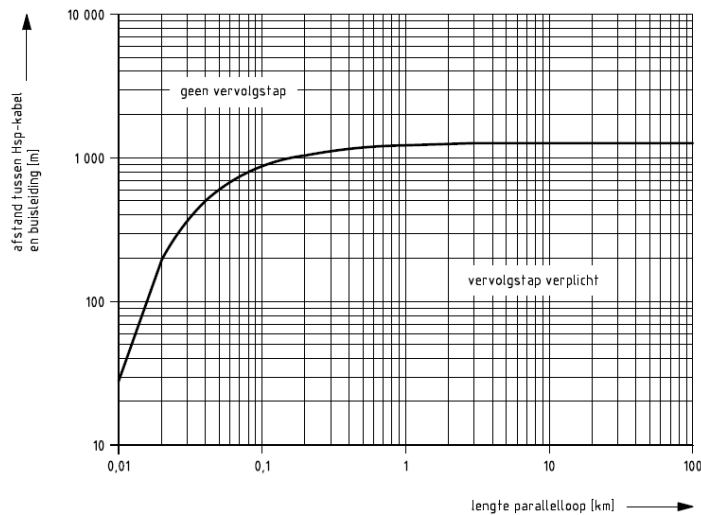
De inductieve beïnvloeding wordt grotendeels bepaald door de mate waarin de hoogspanningskabel parallel ligt aan de betreffende buisleiding. Hiertoe heeft de NEN 3654 rekenregels opgesteld om deze 'parallelloop' te bepalen. Zie afbeelding 6.2 waarin de stappen voor inductieve beïnvloeding zijn weergegeven.

Tabel 4 — Criteria voor inductieve beïnvloeding

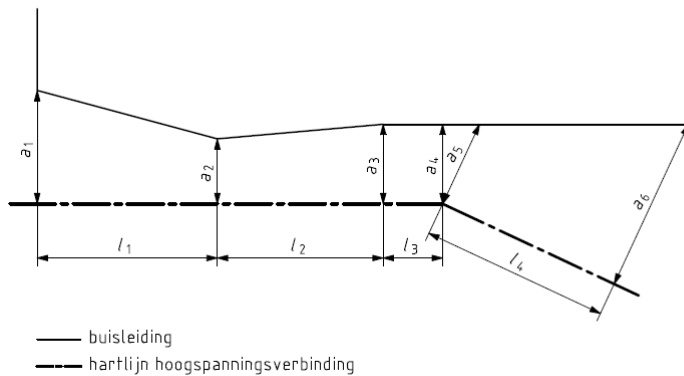
	Stap 1	Stap 2	Stap 3	Stap 4
<b>HSP-kabels</b>	Alleen in geval punt zich onder de lijn in de grafiek van figuur 2 bevindt dan is vervolgstap noodzakelijk.	Alleen in geval 'Unity Check' <sup>b)</sup> $\geq 1$ dan vervolgstap noodzakelijk.	Studie op hoofdlijnen: resultaat 'Unity Check' <sup>b)</sup> bijstellen indien uitgangspunten gunstiger zijn dan aannamen in stap 2.	Gedetailleerde berekening inclusief vaststelling te treffen maatregelen.
<b>TEV-systemen</b>	Alleen in geval punt zich onder de lijn in de grafiek van figuur 4 bevindt dan is vervolgstap noodzakelijk.	Alleen in geval 'Unity Check' <sup>b)</sup> $\geq 1$ dan vervolgstap noodzakelijk.	Studie op hoofdlijnen: resultaat 'Unity Check' <sup>b)</sup> bijstellen indien uitgangspunten gunstiger zijn dan aannamen in stap 2.	Gedetailleerde berekening inclusief vaststelling te treffen maatregelen.
<p>OPMERKING a) Als lengte van de parallelloop (l) bij het HSP-station behoort ter indicatie de lengte van de langste parallelle zijde van het HSP-stations terrein te worden aangehouden. Voor bepaling van de afstand tot het HSP-station (a) behoort het hekwerk van het HSP-station als indicatieve begrenzing te worden gebruikt. Voor de constanten K1 en K2 worden de waarden van de configuratie L05 uit tabel C.1 gebruikt.</p> <p>OPMERKING b) 'Unity Check' conform bijlage C.</p>				

Dit schema wordt gebruikt om te bepalen of dit voor de buisleidingen in de omgeving van het nieuwe station Bolsward ook het geval is. Hoe de parallelloop en onderlinge afstand bepaald worden is weergegeven in afbeelding 6.3 en afbeelding 6.4.

Afbeelding 6.3 Criteria voor inductieve beïnvloeding door hoogspanningskabels (stap 1 uit de NEN 3654)



Afbeelding 6.4 Rekenregels NEN 3654 voor de parallelloop en de onderlinge afstand



Maatgevende lengte:  $l = l_1 + l_2 + l_3 + l_4$

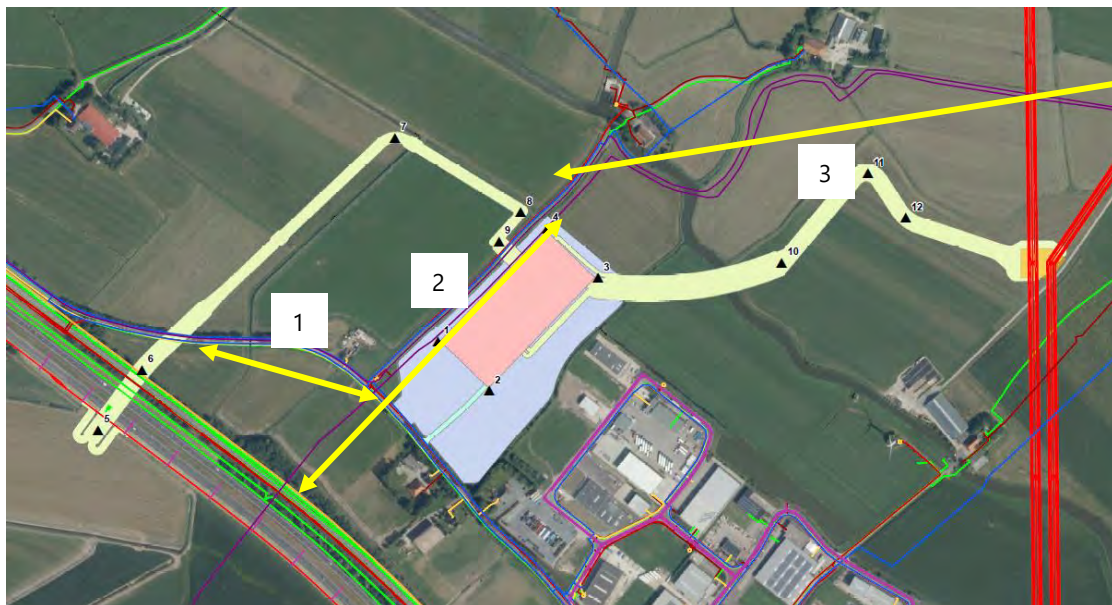
Maatgevende afstand:  $a = \frac{0,78}{l} \left( l_1 \frac{a_1 + a_2}{2} + l_2 \frac{a_2 + a_3}{2} + l_3 \frac{a_3 + a_4}{2} + l_4 \frac{a_5 + a_6}{2} \right)$

Het projectgebied met de kabels en leidingen ingetekend is weergegeven in afbeelding 6.5. De gehanteerde aanpak is om een inschatting van de situaties met de grootste parallelloop en de kleinste onderlinge afstand te selecteren. Vervolgens kan analyse gedaan worden of er risico is op ontoelaatbare inductieve beïnvloeding bij deze situaties. Indien dit het geval is, kunnen de vervolgstappen bepaald worden en kunnen eventueel nog mee situaties geanalyseerd worden. Zo niet, kan gesteld worden dat de situaties met kleine parallelloop en/of grotere onderlinge afstand ook geen ontoelaatbare risico's met zich meebrengen.

In afbeelding 6.5 zijn de drie situaties aangegeven die onderwerp vormen van de eerste analyse. Deze drie delen zijn aangegeven met gele pijlen in de afbeelding:

- 1 Riolering, water en data, parallelloop met ondergrondse kabels west van het station.
- 2 Riolering en water, parallelloop met ondergrondse kabels west van het station.
- 3 Riolering op druk, parallelloop met ondergrondse kabels aan oostzijde van het station (gehele station tot opstijgpunt.).

Afbeelding 6.5 Projectgebied Station Bolsward met kabels en leidingen



In hoofdstuk 7 wordt de berekening uitgevoerd om te bepalen of er vervolgstappen nodig zijn voor deze drie situaties.

## 6.5 Thermische beïnvloeding

Thermische beïnvloeding betreft het lokaal opwarmen van buisleidingen in de omgeving vanwege aanwezigheid van het hoogspanningssysteem. De NEN 3654 geeft aan dat dit effect alleen optreedt bij minder dan 10 m afstand tussen de hoogspanningskabel en de buisleiding. Stap 2 geeft aan dat er alleen vervolg nodig is indien er lokaal een temperatuurverhoging van tenminste 5 graden wordt veroorzaakt.

Aanbevolen wordt om na te gaan of er sprake is van 5 graden temperatuurverhoging ten gevolge van de hoogspanningskabels. Als dit het geval is, zijn er mogelijk vervolgstappen nodig. Deze vervolgstappen zijn alleen noodzakelijk voor de situaties waarbij de onderlinge afstand minder dan 10 m is. In beginsel is hiervan sprake bij alle kruisingen tussen de kabels en bestaande buisleidingen.

## 6.6 Mechanische beïnvloeding

Mechanische beïnvloeding betreft de beïnvloeding door aanraking wanneer een hoogspanningsmast omvalt. Aangezien het tracé geen nieuwe hoogspanningsmasten betreft is dit mechanisme niet van toepassing.

# 7

## BEÏNVLOEDING VAN BUISLEIDINGEN: RESULTATEN

### 7.1 Inductieve beïnvloeding

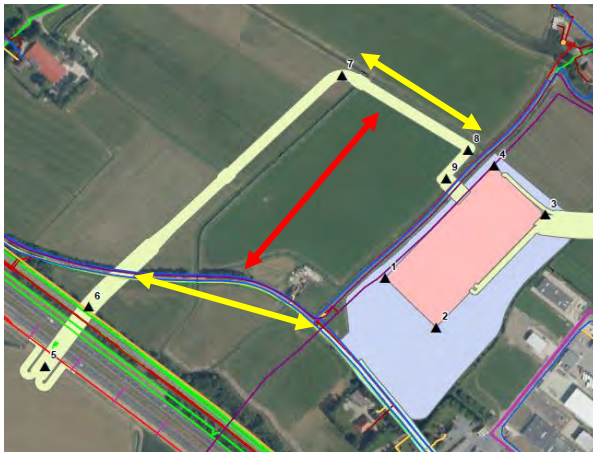
In afbeelding 6.5 zijn drie situaties aangegeven die onderwerp vormen voor nadere berekening. Deze drie situaties zullen hieronder worden onderzocht conform rekenregels van de NEN 3654. Stap 1 'Veilige afstanden' betreft toetsing aan de grafiek weergegeven in afbeelding 6.3. Stap 2 betreft het uitvoeren van een 'Unity Check' berekening.

#### 7.1.1 Stap 1: Veilige afstanden

In stap 1 wordt een berekening uitgevoerd om de parallelloop en de onderlinge afstand te berekenen conform de NEN 3654. De berekening van deze gegevens is niet in dit rapport opgenomen maar is wel beschikbaar op aanvraag.

##### Segment 1

Afbeelding 7.1 Indicatie van de parallelloop (geel) en de onderlinge afstand (rood) voor situatie 1



Uit berekening conform formules uit Bijlage C van de NEN 3654 volgt dat:

$l = 205 \text{ m}$  (parallelloop)

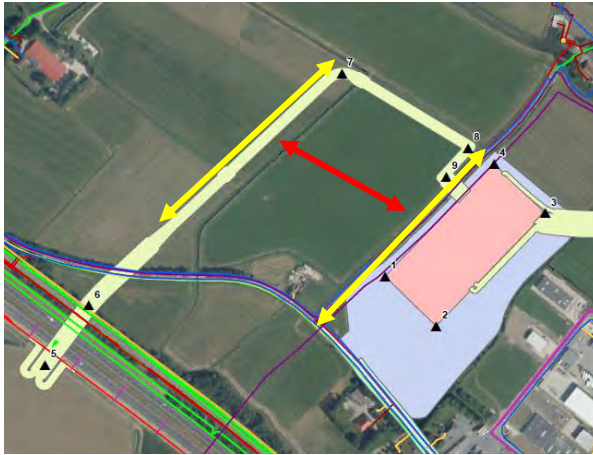
$a = 275 \text{ m}$  (onderlinge afstand)

Op basis hiervan wordt vastgesteld dat de vervolgstap verplicht is (zie afbeelding 7.4)



## Segment 2

Afbeelding 7.2 Indicatie van de parallelloop (geel) en de onderlinge afstand (rood) voor situatie 2



Uit berekening conform formules uit Bijlage C van de NEN 3654 volgt dat:

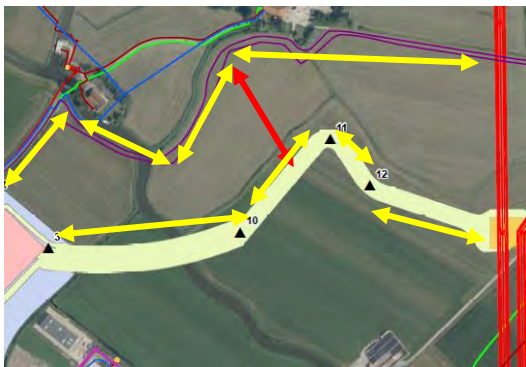
$l = 320 \text{ m}$  (parallelloop)

$a = 205 \text{ m}$  (onderlinge afstand)

Op basis hiervan wordt vastgesteld dat de vervolgstap verplicht is (zie afbeelding 7.4).

## Segment 3

Afbeelding 7.3 Indicatie van de parallelloop (geel) en de onderlinge afstand (rood) voor situatie 3



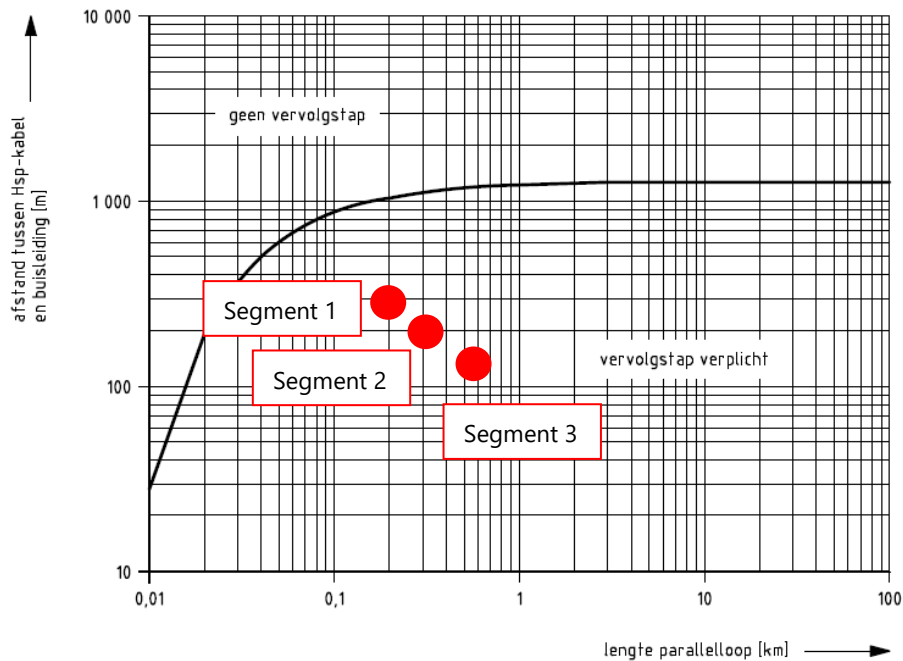
Uit berekening conform formules uit Bijlage C van de NEN 3654 volgt dat:

$l = 715 \text{ m}$  (parallelloop)

$a = 135 \text{ m}$  (onderlinge afstand)

Op basis hiervan wordt vastgesteld dat de vervolgstap verplicht is (zie afbeelding 7.4).

Afbeelding 7.4 Stap 1 van de NEN 3654 voor de drie segmenten, met daarin aangegeven positie van de drie segmenten



### 7.1.2 Stap 2: Unity Check

Voor alle drie de segmenten wordt de 'Unity Check' berekening uitgevoerd. Zie onderstaande formule, waarbij  $UC$  staat voor Unity Check,  $l$  staat voor de lengte van de parallelloop in km,  $a$  staat voor de onderlinge hart-tot-hart afstand in m.  $K1$  is een constante afhankelijk van het hoogspanningssysteem.  $K2$  is het beïnvloedingsgebied van het hoogspanningssysteem in m.  $K1$  en  $K2$  zijn verschillend voor een viertal bedrijfstoestanden die kunnen optreden. Deze situaties zijn respectievelijk: normaal bedrijf, corrosie (van de buisleiding), éénfasekortsluiting en onderhoud. Zie tabel 7.1.

De NEN 3654 maakt alleen distinctie tussen 10-50 kV en 150 kV - 400 kV. Daarom is de laatste van deze twee gebruikt als worst-case.

$$UC = l \times K1 \times (\log(K2) - \log(a))$$

Tabel 7.1 Verschillende waardes voor  $K1$  en  $K2$

	Normaal bedrijf	Corrosie	Eénfasekortsluiting	Onderhoud (N-1)
$K1$	0,528	0,330	10,296	0,528
$K2$	383	370	1290	383

Tabel 7.2 Uitkomsten Unity Check voor de drie situaties in verschillende bedrijfstoestanden. De waardes groter dan 1 zijn rood gemarkeerd

	Normaal bedrijf	Corrosie	Eénfasekortsluiting	Onderhoud (N-1)
Situatie 1	0,02	0,01	1,42	0,02
Situatie 2	0,05	0,03	2,63	0,05
Situatie 3	0,17	0,10	7,22	0,17

Uit de berekening van de drie segmenten blijkt dat de Unity Checks kleiner zijn dan 1 voor normaal bedrijf, corrosie en onderhoud. Voor die bedrijfstoestanden zijn geen vervolgmaatregelen nodig. Voor éénfasekortsluiting zijn alle drie de unity checks groter dan 1.

Strikt genomen betekent dit dat er, op basis van stap 2 uit de NEN 3654, een risico is op beïnvloeding van buisleidingen bij éénfasekortsluiting van kabels in het projectgebied. Stap 3 betreft het uitvoeren van een verdere analyse om de UC omlaag te brengen. Stap 4 betreft een detailberekening waarbij de effectieve spanning op de buisleiding wordt bepaald.

Beide omschreven stappen vallen buiten de scope van dit onderzoek. Het advies aan TenneT is daarom om vervolgstappen uit te voeren conform NEN 3654 om dit risico (verder) te beheersen. In het kader van risicoafweging zou de kans van optreden en het effect ervan ook meegenomen kunnen worden.

Daarnaast kan er gesteld worden dat, aangezien ingeschat is dat dit de drie voornaamste segmenten voor dit onderzoek zijn, er verder ook geen sprake is van ontoelaatbare inductieve beïnvloeding binnen het projectgebied. Voor de situatie met éénfasekortsluiting is het niet aannemelijk dat er nog een situatie is met  $UC > 1$ , daarnaast zullen eventuele mitigerende maatregelen onder dezelfde noemer vallen en daarmee beheerst worden.

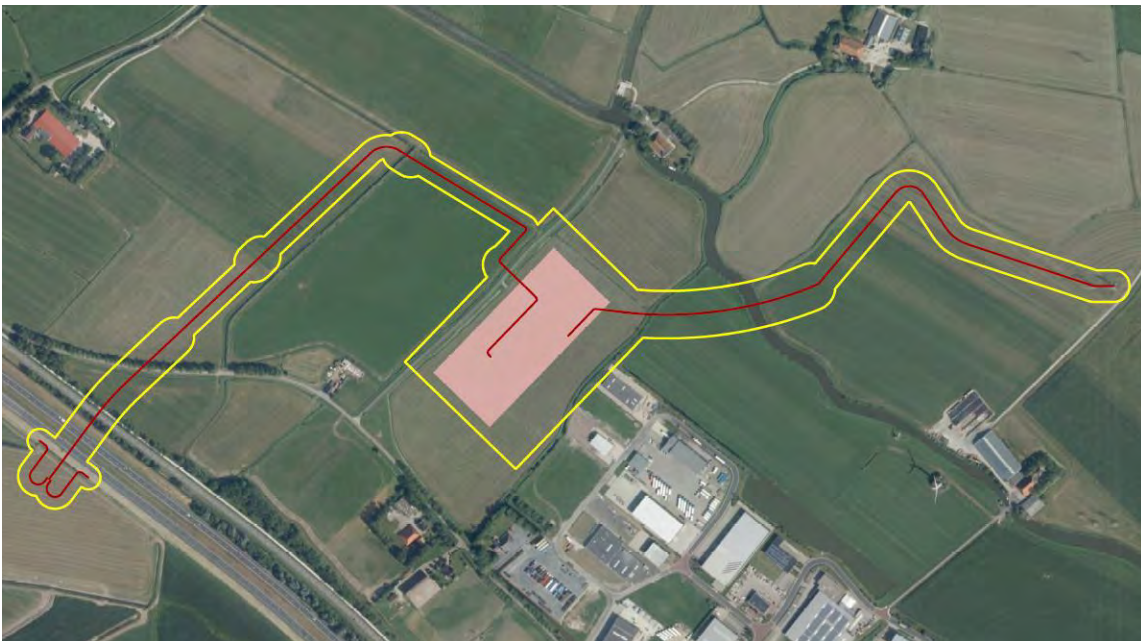
# 8

## CONCLUSIES

### 8.1 Berekening 0,4 microTesla magneetveldcontour

Voor het nieuw aan te leggen station Bolsward en de aansluitingen naar bestaande hoogspannings-infra is de 0,4 microTesla magneetveldcontour berekend. Het resultaat van deze worst-case berekening is weergegeven in afbeelding 8.1 en bijlage II.

Afbeelding 8.1 0,4 microTesla magneetveldcontour van het station en de aansluiting ervan. De worst-case magneetveldcontour is weergegeven met de gele lijnen. De rode lijnen geven de hartlijn van de kabels weer. In roze is het station weergegeven



Uit dit resultaat blijkt dat er, door de aanleg van het station zoals omschreven in dit rapport, geen nieuwe situaties ontstaan waarbij mensen langdurig worden blootgesteld aan magneetvelden boven de 0,4 microTesla jaargemiddeld; er is geen sprake van overlap tussen de magneetveldcontour en gevoelige bestemmingen (o.a. woningen, crèches, scholen en kinderopvangplaatsen).

## 8.2 Onderzoek beïnvloeding buisleidingen (NEN 3654)

Conform de NEN 3654 is de beïnvloeding van buisleidingen binnen het projectgebied onderzocht voor de nieuw aan te leggen infra.

Uit het onderzoek volgt dat er in dit project mogelijk (ongewenste) weerstandsbeïnvloeding tussen kabels en leidingen en het hoogspanningsstation en de ondergrondse kabels optreedt. Geadviseerd wordt hiertoe om stap 3 'beschouwen aarding en buisbekleding' uit de NEN 3654 uit te voeren.

Daarnaast volgt uit de analyse van thermische beïnvloeding het advies om na te gaan of er sprake is van een temperatuurverhoging van meer dan 5 graden Celsius bij de ondergrondse kabels. Indien het geval is, zijn mogelijk vervolgstappen nodig voor de situaties waarbij de onderlinge afstand tussen de kabels en buisleidingen minder dan 10 m is.

Uit de 'Unity Check' voor inductieve beïnvloeding volgt dat er alleen een risico voor de toestand waar er bij één van de driefase kabels kortsluiting optreedt. Het advies aan TenneT luidt om na te gaan of er verzachtende omstandigheden zijn die reden geven om de Unity Check-berekening aan te passen. Als dit niet of onvoldoende het geval is, is een detailberekening vereist.

Van ontoelaatbare capacatieve beïnvloeding en mechanische beïnvloeding is geen sprake



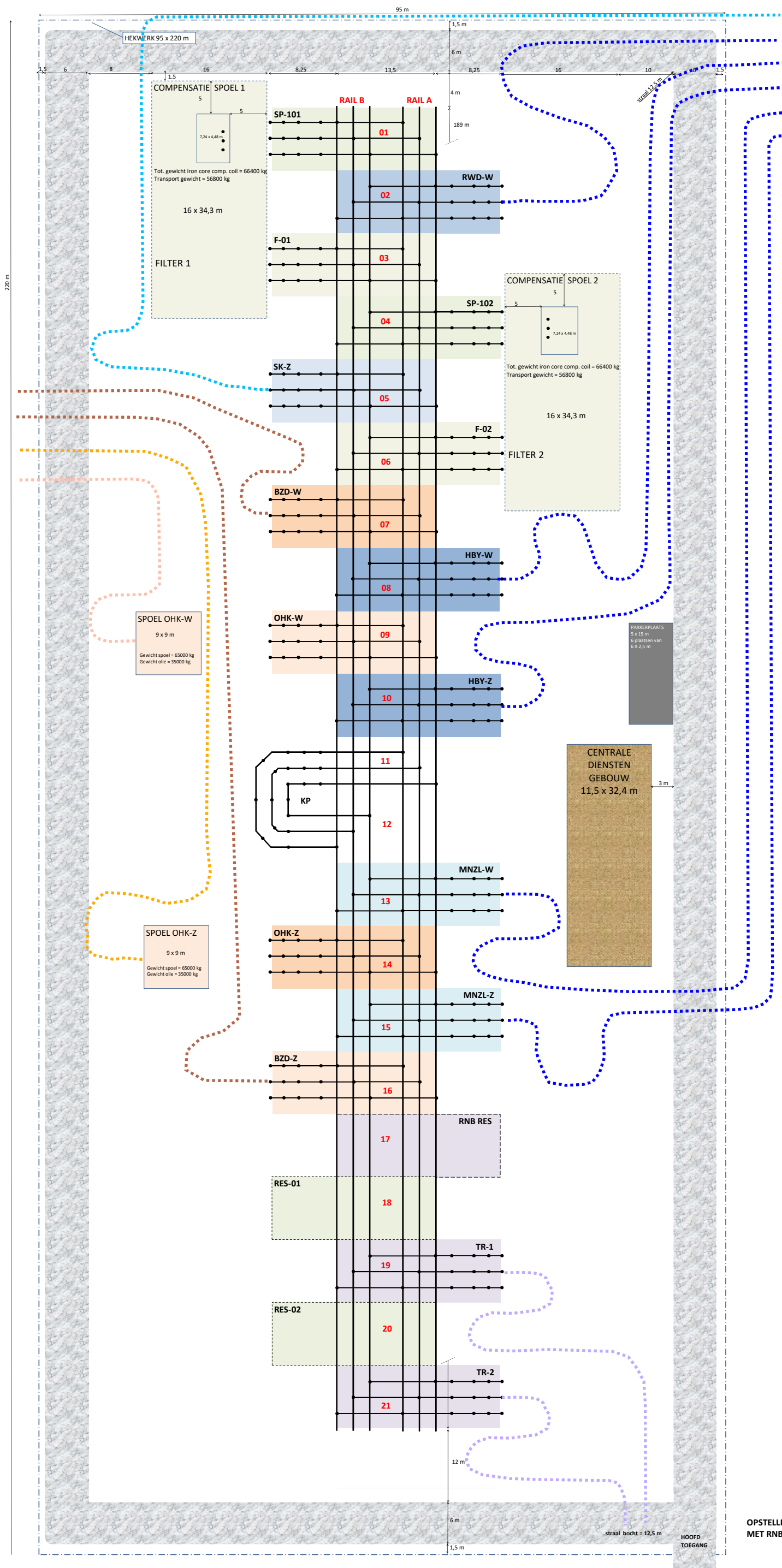
Bijlage(n)







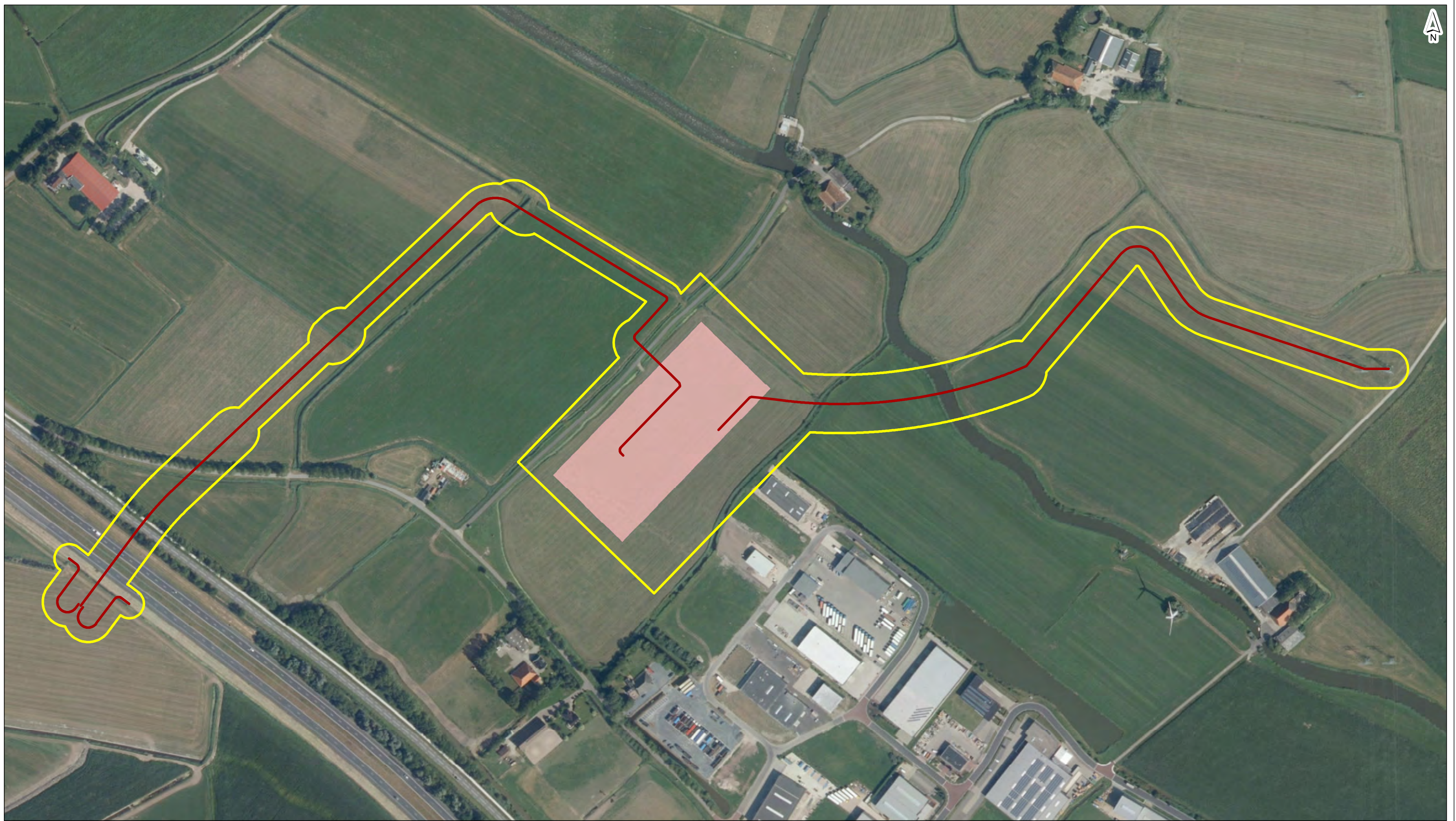
**BIJLAGE: OPSTELLINGSTEKENING BWD110 CONCEPT REV.03 2020-05-11 MET KABELS**



OPSTELLINGSTEKENING BWD110  
 MET RNB AAN DE ZUID-OOST KANT



**BIJLAGE: OVERZICHTSTEKENING 0,4 MICROTESLA MAGNEETVELDCONTOUR**



- hartlijn kabels
- magneetveldzone (worst-case)
- ligging stationslocatie (concept)

getekend: ing. C.Y. Vredevoort  
 gecontroleerd: ir. F.A.W. Kok  
 goedgekeurd: ing. I.J.M. de Beer  
 versie: concept 1  
 datum: 28-05-2020  
 tekeningnr: 0

**Conditionerende onderzoeken Bolsward 110**

**Magneetveldonderzoek  
Specifieke magneetveldzone station bolsward 110 kV**

opdrachtgever: TenneT TSO  
 projectnaam: Conditionerende onderzoeken Bolsward 110  
 projectcode: 116227

formaat: A3 liggend  
 schaal: 1:3750

