

D.6 002.678.20 1030750 10 Verguninningsrapportage

# Kruising A16 en Achterdijk

Vergunningsrapport Rijkswaterstaat en waterschap  
Brabantse Delta



## Verantwoording

**Titel:** Kruising A16 en Achterdijk  
**Onderwerp:** Vergunningsrapport Rijkswaterstaat  
**Projectnummer:** 51001237  
**Klant:** TenneT  
**Referentienummer:** NL22-648800269-23001  
**Versie:** D1

**Datum:** 29-04-2022

**Auteurs:**

**E-mailadres:**

**Gecontroleerd door:**

**Paraaf gecontroleerd:**

**Vrijgegeven door:**

**Paraaf vrijgegeven:**

# Inhoudsopgave

1.	Inleiding .....	5
1.1	Situatie .....	5
1.2	Leeswijzer .....	6
2.	Uitgangspunten .....	7
2.1	Gebruikte documenten .....	7
2.2	Vigerende normen en richtlijnen .....	7
2.3	Minimale dagmaat tot bestaande en nieuwe boringen .....	7
2.4	Horizontale afstand tot overige objecten .....	8
2.5	Diepteligging .....	9
2.6	Inwendige overdruk .....	10
2.7	Grondwaterstand .....	10
2.8	Belasting- en ondersteuningshoek .....	10
2.9	Importatiefactor .....	10
2.10	Geotechnische parameters .....	10
2.11	Boortechnische gegevens .....	12
2.12	Verkeersbelasting .....	12
2.13	Boogstralen .....	12
3.	Ontwerp .....	14
3.1	Gegevens HDD .....	14
3.2	Boorparameters .....	15
3.3	Intredepunt .....	15
3.4	Uittredepunt en uitlegstrook .....	15
4.	Berekeningsresultaten .....	17
4.1	Trekkrachtberekening .....	18
4.2	Sterkteberekening bedrijfsfase .....	18
4.3	Muddrukberekening .....	18
4.4	Implosie .....	19
4.5	Kwelweg .....	19
4.5.1	Kwel uit het eerste watervoerende pakket .....	19
4.5.2	Kwel tussen de peilgebieden .....	19
4.5.3	Kwelmaatregelen .....	21
5.	Risico's en aandachtspunten .....	22
6.	Conclusie .....	24
6.1	Algemeen .....	24
6.2	Uitkomsten ontwerp en berekening .....	24
	Bijlage 1 – Ontwerptekening .....	25

Bijlage 2 – Geotechnisch onderzoek .....	26
Bijlage 3 – Berekening D-Geo Pipeline .....	27

# 1. Inleiding

TenneT is voornemens om delen van de bovengrondse 150 kV-verbindingen binnen het projectgebied van Zuid-West 380 kV Oost ondergronds te verkabelen. Het projectgebied loopt vanaf Rilland aan de westzijde tot aan Tilburg aan de oostzijde. Bij het ondergronds brengen van de kabels moeten circa 45 kruisingen sleufloos worden uitgevoerd door middel van horizontaal gestuurde boringen (HDD's) en persingen.

Dit rapport betreft de kruising met de snelweg A16, de regionale compartimenteringskering in het beheer van waterschap Brabantse Delta en de Achterdijk. De kruising (met codering ZBH HDD1) is vergunningsplichtig bij Rijkswaterstaat met het ontwerp en berekeningen conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020, Richtlijn Boortechnieken en de keur van waterschap Brabantse Delta.

## 1.1 Situatie

De HDD's starten ten oosten van afrit 18 van de A16 in Zevenbergschen Hoek bij 150 kV hoogspanningsstation Zevenbergschen Hoek (zie figuur 1). Het tracé bestaat uit twee 150kV-circuits, waardoor twee afzonderlijke parallelle HDD-bundels moeten worden gemaakt. Eén bundel bestaat uit 4 mantelbuizen PE100 Ø315 mm SDR 11. In drie van de mantelbuizen wordt een hoogspanningskabel ingetrokken en één mantelbuis is beschikbaar als reserve.

De twee HDD's liggen naast elkaar, met een dagmaat van 5 meter tussen de boorgaten. De HDD's hebben een lengte van 358 m en een maximale diepte van circa NAP -25,0 m (hart van de boring). De twee HDD's kruisen van west naar oost: afrit 18 van Rijksweg A16, twee bovengrondse hoogspanningsverbindingen, Rijksweg A16, de oprit naar de A16, een regionale waterkering in het beheer van waterschap Brabantse Delta en de Achterdijk. Verder kruist het tracé verschillende kabels en leidingen, waaronder vier waterleidingen. Het tracé ligt tussen twee hoogspanningsmasten, te weten ZBH-MDK 150 kV mast 40A en GT-KRK 380 kV mast 33.



Figuur 1 Overzicht situatie ZBH HDD1

## 1.2 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 bevat de uitgangspunten, hoofdstuk 3 het ontwerp en de berekeningen, hoofdstuk 4 bevat de berekeningsresultaten, hoofdstuk 5 de risico's en aandachtspunten en hoofdstuk 6 de conclusies. Als bijlagen zijn toegevoegd de ontwerptekening, grondgegevens en de berekeningen.

## 2. Uitgangspunten

### 2.1 Gebruikte documenten

Bij het opstellen van de berekeningen is gebruik gemaakt van de volgende documenten:

- Ontwerptekening van ZBH HDD1, tekeningnummer ZBH HDD1 versie B, d.d. 28-04-2022 opgesteld door Sweco (bijlage 1).
- Geotechnisch onderzoek uit Dinoloket en GIS portal van Sweco (bijlage 2).
- Maaiveldhoogten zijn ontleend aan de Algemene Hoogtekaart van Nederland (AHN-3) en het 3D wegprofiel van Rijkswaterstaat.
- KLIC-levering 22O056318 opgevraagd d.d. 28-04-2022
- Legger waterkeringen waterschap Brabantse Delta, bekeken op 20-03-2022, website:  
<https://wsbd.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=fd76082880324620845b0001369d019a>
- Algemene regels van de Keur waterschap Brabantse Delta, 2020, hoofdstuk 16. Kabels en leiding in en nabij a-wateren en b-wateren.
- Tekeningen geluidsscherm HSL:
  - DOXZN-2018-00963, tekeningnummer B-2-5133-PR-20, As Built d.d. 30-07-2004 van Bouwcombinatie Brabant Noord;
  - DOXZN-2018-002169, tekeningnummer 0-2-DP-16-PL, As Built d.d. 14-05-2004 van Bouwcombinatie Brabant Noord.

### 2.2 Vigerende normen en richtlijnen

Het ontwerp van de boring voldoet aan:

- NEN 3650:2020;
- NEN 3651:2020;
- Keur en leggers van waterschap Brabantse Delta;
- Richtlijn boortechnieken juni 2019 v1.0 van Rijkswaterstaat;
- VELIN Richtlijn nr. 2017/6 Versie september 2019;
- Handboek Horizontaal Gestuurd Boren (BTL-rapport 50).

### 2.3 Minimale dagmaat tot bestaande en nieuwe boringen

- NEN 3650-1: 2020, bijlage F.4.3 stelt: De afstand (dagmaat) tussen een parallelleiding of -boring moet minimaal 5 m bedragen, tenzij wordt aangetoond dat een kleinere afstand toelaatbaar is.



- De minimale dagmaat tot bestaande en nieuwe boringen conform de Richtlijn Boortechneiken is:
  - o De minimale dagmaat bij een kruising met een bestaande HDD-boring is 5,0 meter, onafhankelijk van de grondslag;
  - o De minimale dagmaat in zandgrond bij parallelligging tot een bestaande HDD-boring is 5,0 meter;
  - o De minimale dagmaat in klei-/veengrond bij parallelligging tot een bestaande HDD-boring is 10,0 meter;
  - o Bij gelijktijdige uitvoering van meerdere HDD-boringen is het risico op schade minder groot omdat de ligging onderling beter bekend is en omdat kabels en leidingen nog niet in bedrijf zijn. In deze situatie kan de onderlinge dagmaat verkleind worden, zodanig dat stuurcorrecties onbelemmerd kunnen plaatsvinden. De vergunningaanvrager dient een afwijkende dagmaat te onderbouwen, waarbij aantoonbaar wordt gemaakt dat er geen risico ontstaat voor het rijkswaterstaatswerk.

De Richtlijn is specifiekier dan de NEN 3650, voor het ontwerp houden we daarom de Richtlijn Boortechneiken aan. De eerste NAP -17 m bestaat uit zand-, klei- en veenlagen, maar omdat de HDD's voor circa 70% in de pleistocene zandlaag liggen is een dagmaat van 5 m als uitgangswaarde genomen. De HDD's zullen daarnaast met een gyroscoop geboord worden, zodat de afwijkingen minimaal zijn.

## 2.4 Horizontale afstand tot overige objecten

In het ontwerp zijn de volgende afstanden gehanteerd:

- Voor de horizontale afstand van de HDD's hoogspanningsmastenroute van TenneT is aan maaiveld een afstand van minimaal 5 meter uit de teen van de mast gehanteerd. De funderingswijze van de mast 40A is bekend. De funderingspalen hebben een lengte van 19,5 m en een schoorstand van 4,06:1 (zie figuur 2). De gegevens voor mast 33 zijn niet bekend, aangenomen is dat het ontwerp gelijk zijn aan het ontwerp van mast 40A
  - o De dagmaat afstand op het maaiveld tussen de boring en de teen van mast ZBH-MDK-150-40A bedraagt 11,53 m. De HDD's liggen hier 12,90 m -mv. Rekening houdend met een schoring van 4:1 houden de HDD's een horizontale dagmaat van 5,00 m ten opzichte van de paalfundering. De dichtstbijzijnde HDD ligt hier circa 24,5 m -mv. De HDD's houden hier dus een verticale dagmaat van 5,0 m ten opzichte van de paalfundering. De dagmaat tussen de palen en de bovenste HDD bedraagt daarmee circa 7,0 m. Dit voldoet aan de eisen;
  - o De dagmaat afstand op het maaiveld tussen de boring en de teen van mast GT-KRK-380-33 bedraagt 11,58 m. De HDD's liggen hier 12,90 m -mv. Rekening houdend met een schoring van 4:1 houden de HDD's een dagmaat afstand van 5,05 m ten opzichte van de paalfundering. De dichtstbijzijnde HDD ligt hier circa 24,5 m -mv. De HDD's houden hier dus een verticale dagmaat van 5,0 m ten opzichte van de paalfundering. De dagmaat tussen de palen en de bovenste HDD bedraagt daarmee circa 7,0 m. Dit voldoet aan de eisen.

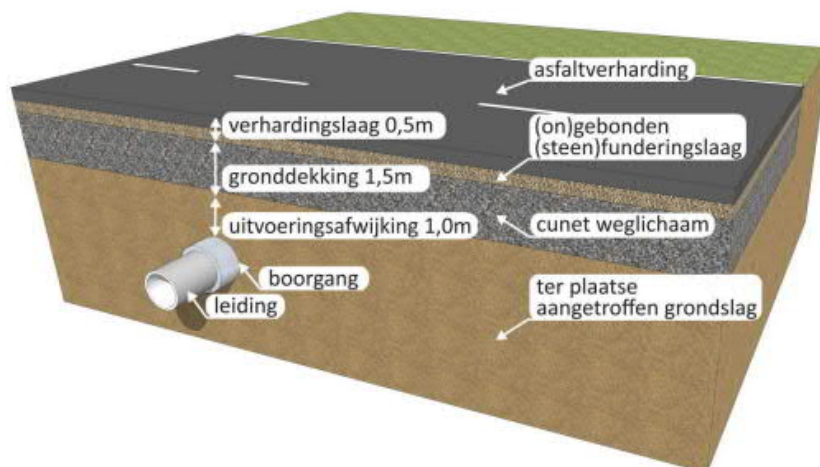
Paaldiameter: Ø406x8		Paalmaat: Puntpalen		N.B. maat $\varnothing$ 7000 op 800 +MV							
Mastnummer:	Masttype:	Paallengte: (in m)	A (in mm)	A $\sqrt{2}$ (in mm)	B (in mm)	B $\sqrt{2}$ (in mm)	Schoorstand:	Paalkophoogte: (in mm t.o.v. mv)	Lengte betonvulling: (in m)	Hoeveelheid beton (in m3) per mast	
40a	S+0	19,5	7070	9998	7279	10294	4,06:1	600	1,7	0,81	
Paaldiameter: Ø609x8		Paalmaat: injectie		N.B. maat $\varnothing$ 8000 op 800 +MV							
Mastnummer:	Masttype:	Paallengte: (in m)	A (in mm)	A $\sqrt{2}$ (in mm)	B (in mm)	B $\sqrt{2}$ (in mm)	Schoorstand:	Paalkophoogte: (in mm t.o.v. mv)	Lengte betonvulling: (in m)	Hoeveelheid beton (in m3) per mast	
38a	E+4	20	8096	11449	8384	11856	2,95:1	600	2	2,21	
39a	E+4	20	8096	11449	8384	11856	2,95:1	600	2	2,21	
41a	E+4	19	8096	11449	8384	11856	2,95:1	600	2	2,21	

Figuur 2 Informatie fundering 150 kV-lijn Geertruidenberg-Moerdijk

## 2.5 Diepteligging

De diepteligging dient aan de volgende eisen te voldoen:

- De HDD's dienen de kruin van de regionale waterkering te passeren met een dekking van minimaal 10 m en de teen met een dekking van minimaal 3,0 m (NEN 3551:2020 paragraaf 9.6.2).
  - De kruinhoogte van de regionale waterkering in het beheer van waterschap Brabantse Delta is circa NAP +2 m. De HDD's kruisen de regionale waterkering met een minimale afstand van 23,8 m.
- De HDD's dienen een minimale gronddekking te hebben ter plaatse van de verharding van 3 meter (in cohesieve grond) tussen de bovenkant verharding en de bovenkant boorgat (verhardingslaag 0,5 m + gronddekking 1,5 m + uitvoeringsafwijking 1,0 m) (zie figuur 3) (Richtlijn Boortechnieken 2019, paragraaf 2.4.1).
  - De op- en afrit van Rijksweg A16 en de Rijksweg A16 liggen op een minimale afstand van 12,4 m ten opzichte van de HDD's. Dit voldoet aan de eisen.
- De HDD's dienen een dagmaat van 5 meter afstand te hebben bij parallelligging tot of kruising met een bestaande HDD-boring (op basis van de Richtlijn Boortechnieken, zie paragraaf 2.3).
  - Het tracé kruist vier waterleidingen. De afstand tussen de HDD's en de waterleidingen is minimaal 10 m. De HDD's houden voldoende afstand.



Figuur 3 Schematische weergave gronddekking HDD boringen onder wegen (Richtlijn Boortechnieken, 2019)

## 2.6 Inwendige overdruk

Het betreft mantelbuizen. Er is dus niet gerekend met inwendige overdruk.

## 2.7 Grondwaterstand

Uit de BRO Grondwaterspiegeldiepte 2021 van DINOloket komt een minimale grondwaterstand van 0,95 m -mv. Voor deze rapportage nemen wij daarom een gemiddelde grondwaterstand aan van 0,95 m -mv.

## 2.8 Belasting- en ondersteuningshoek

Conform NEN3650-1:2020 paragraaf C.4.1.3 bedraagt voor een HDD de:

- belastingfactor voor trekkracht : 1,8;
- belastinghoek : 30°;
- ondersteuningshoek : 30°.

## 2.9 Importantiefactor

Voor de HDD is conform paragraaf 6.5 van NEN 3651 een importantiefactor van 1,0 gehanteerd.

## 2.10 Geotechnische parameters

De gebruikte geotechnische gegevens en parameters zijn gebaseerd op grondonderzoek uit Dinoloket en uit de Sweco-database met historisch grondonderzoek. De ID-nummers, dieptes en de afstanden tot het boortracé van de gebruikte boringen en sonderingen staan in tabel 2-1. De volledige boringen en sonderingen staan in bijlage 2 van deze rapportage. Op basis van dit grondonderzoek heeft Sweco een maatgevend bodemprofiel langs het geplande boortracé opgesteld. Dit bodemprofiel is gecontroleerd met behulp van het 3-D ondergrondmodel GeoTOP. Dit is een model van de grondlagen in de Nederlandse ondiepe ondergrond, opgesteld door de Geologische Dienst Nederland, onderdeel van TNO.

Tabel 2-1 Overzicht van het gebruikte grondonderzoek

ID-nummer	Type	Diepte [NAP m]	Afstand tot boortracé [m]
1114-S4	Sondering	-40	40
1114-S3	Sondering	-40	40
1114-S2	Sondering	-40	40
1114-S1	Sondering	-40	40
1114-S7	Sondering	-40	20
1115-S2	Sondering	-23	80
1115-S3	Sondering	-23	80
1115-S4	Sondering	-23	80
1115-S5	Sondering	-23	80

1115-S6	Sondering	-23	80
1115-S1	Sondering	-23	80
CPT22208	Sondering	-15	60
CPT22252	Sondering	-14	80
CPT22209	Sondering	-14	40
CPT22210	Sondering	-15	20

Uit het grondonderzoek blijkt dat de bovenkant van de vaste zandlaag zich bevindt op circa NAP -17,0 m in het geplande boortracé. Boven de zandlaag bestaat de grond uit wisselende zand-, klei- en veenlagen, zoals geobserveerd in de sonderingen. Vooral aan het zuidelijke uiteinde van het geplande boortracé bevinden zich meerdere sonderingen op korte afstand (op 20 à 40 m) van de boorlijn. Vanaf het middelpunt tot het noordpunt van de boorlijn zijn ook meerdere sonderingen beschikbaar, maar op relatief grotere afstand (grootweg 80 m). Deze twee groepen sonderingen laten zien dat de dieptes van de gevonden grondlagen enigszins variëren. Omdat voor een groot deel van het geplande boortracé de sonderingen ver van de boorlijn af liggen, kan het verloop in diepte van deze grondlagen dus met het beschikbare grondonderzoek niet met zekerheid vastgesteld worden. Hieruit concluderen we dat aanvullend grondonderzoek noodzakelijk is om een grondprofiel met grotere nauwkeurigheid vast te stellen.

Tabel 2-2 laat de in de berekeningen aangehouden grondparameters voor de in het grondonderzoek herkende grondlagen langs de noordkant van het profiel zien. Tabel 2-3 laat de in de berekeningen aangehouden grondparameters voor de in het grondonderzoek herkende grondlagen langs de zuidkant van het profiel zien. De grondparameters zijn opgesteld op basis van kennis en ervaring van de Nederlandse ondergrond en tabel 2b van NEN 9997-1+C2-2017. De stijfheidsmodulus E en ongedraineerde schuifsterkte  $S_u$  zijn gecorrigeerd met de conusweerstand conform CUR2003-7 (2003) en CUR162 (1992).

Tabel 2-2 Grondparameters gebruikt in de berekening langs de noordzijde van het profiel gebaseerd op sonderingen 1115-S1, 1115-S6, 1115-S5, 1115-S4, 1115-S3, 1115-S2, CPT22252 en CPT22210

Niveau bovenkant [m t.o.v. NAP]	Niveau onderkant [m t.o.v. NAP]	Lithologie	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_n$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]	$S_u$ top/bottom [kN/m <sup>2</sup> ]	E [kN/m <sup>2</sup> ]
0,1	-2,7	Zand; sterk siltig; kleiig	18	20	0,0	30,0	0,0	10000
-2,7	-3,9	Klei; sterk zandig	18	18	0,5	27,5	30,0	2000
-3,9	-4,6	Veen; slap	11	11	1,5	15,0	15,0	200
-4,6	-13,0	Zand; schoon; matig	18	20	0,0	32,5	0,0	30000
-13,0	-18,0	Klei; zwak zandig; matig	18	18	5,0	22,5	80,0	3000

-18,0	-30,0	Zand; schoon; vast	19	21	0,0	35,0	0,0	90000
-------	-------	-----------------------	----	----	-----	------	-----	-------

Tabel 2-3 Grondparameters gebruikt in de berekening langs de zuidzijde van het profiel gebaseerd op sonderingen 1114-S7, 1114-S1, 1114-S2, 1114-S3, 1114-S4, CPT22208 en CPT22209

Niveau bovenkant [m t.o.v. NAP]	Niveau onderkant [m t.o.v. NAP]	Lithologie	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_n$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]	$S_u$ top/bottom [kN/m <sup>2</sup> ]	E [kN/m <sup>2</sup> ]
-0,2	-2,0	Zand; sterk siltig; kleiig	18	20	0,0	30,0	0,0	10000
-2,0	-3,0	Klei; sterk zandig	18	18	0,5	27,5	30,0	2000
-3,0	-4,0	Veen; slap	11	11	1,5	15,0	15,0	200
-4,0	-6,0	Zand; schoon; matig	18	20	0,0	32,5	0,0	30000
-6,0	-7,0	Klei; sterk zandig	18	18	0,5	27,5	30,0	2000
-7,0	-13,0	Zand; schoon; matig	18	20	0,0	32,5	0,0	30000
-13,0	-17,0	Klei; zwak zandig; matig	18	18	5,0	22,5	80,0	3000
-17,0	-30,0	Zand; schoon; vast	19	21	0,0	35,0	0,0	90000

## 2.11 Boortechnische gegevens

De boortechnische parameters voor het ontwerp en de muddrukberendingen zijn betrokken uit het Handboek Horizontaal Gestuurd Boren (BTL-rapport 50), NEN 3650:2020 en NEN 3651:2020. De voor de berekeningen gehanteerde waarden zijn terug te vinden in de invoer van de muddrukberendingen in bijlage 3.

## 2.12 Verkeersbelasting

Ter plaatse van de kruising met de op- en afrit van de A16 en de A16 zelf is verkeersklasse I gehanteerd conform figuur C17 uit NEN3650-1:2020. Voor de Achterdijk is verkeersklasse II gehanteerd.

## 2.13 Boogstralen

Het beleid van TenneT is dat HDD's met een gyroscoop geboord worden. De minimaal mogelijke boogstraal van een gyroscoop bedraagt volgens leverancier Brownline 180 m.

In dit ontwerp is sprake van een horizontale bocht en een verticale bocht met een boogstraal van 250 m. De boogstraal voldoet hiermee aan de minimaal vereiste straal van 180 m voor de gyroscoop.

Met de toepassing van een gyroscoop kan tijdens de pilotboring worden bijgestuurd om afwijkingen te compenseren. Het boren met gyroscoop zorgt er daarom voor dat de afwijkingstolerantie bij de uitvoering van de HDD's binnen de afwijkingstolerantie blijven zoals benoemd in de Richtlijn Boortechnieken.

RICHTING	MAXIMALE UITVOERINGS-AFWIJKING
Verticaal*	+1/-1 m
Horizontaal:	
- in lengterichting; t.p.v. uittredepunt	+5/-2 m
- in dwarsrichting; t.p.v. uittredepunt	+1/-1 m
- in dwarsrichting; tracé tussen in- en uittredepunt	+5/-5 m
Bochtstralen	< 10%

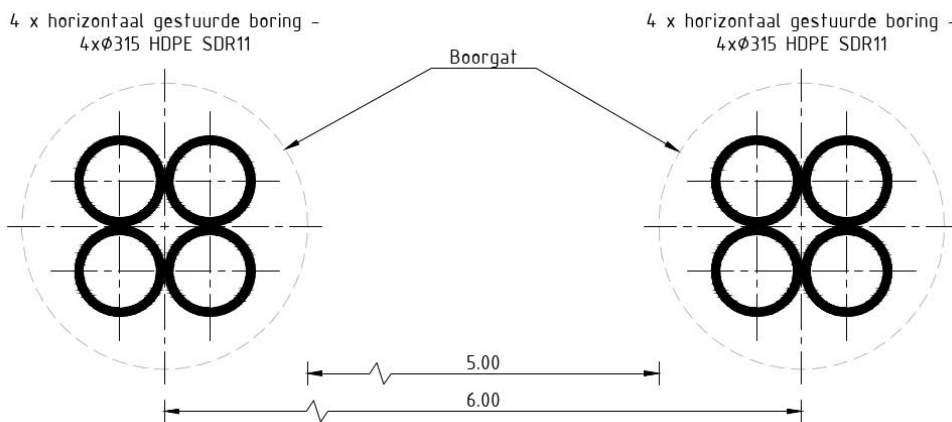
Figuur 4, afwijkingstoleranties HDD's (Bron: Richtlijn Boortechnieken)

## 3. Ontwerp

### 3.1 Gegevens HDD

Het ontwerp van de twee HDD's heeft de volgende kenmerkende parameters:

- materiaal: 4x PE100 Ø315 mm SDR 11;
- lengte: 358 m;
- maximale diepte hart buis: NAP -15,0 m;
- intredehoek: 18°;
- uittredehoek: 20°;
- verticale boogstralen: 250 m;
- horizontale boogstralen: 250 m;
- gecombineerde boogstralen: n.v.t.



Figuur 5 Doorsnede van de 2 HDD's

Aan de hand van NEN 3650 en NEN 3651 en de Richtlijn Boortechneik is een ontwerp gemaakt voor de HDD's. De voornaamste randvoorwaarden voor het ontwerp zijn:

- De HDD dient een zodanig tracé te volgen dat er voldoende dekking aanwezig is in het gehele tracé om een blow-out te voorkomen;
- De kruising van een HDD-boring met de rijksweg dient in principe loodrecht op de lengterichting van de rijksweg uitgevoerd te worden. Deze boring is niet loodrecht en hiervoor dient toestemming te worden verkregen van Rijkswaterstaat. TenneT heeft het tracé op voorhand met Rijkswaterstaat besproken en afgestemd dat deze afwijking acceptabel is.

- De sterkte van de leiding dient zodanig te zijn dat deze intact blijft gedurende de aanleg en in de bedrijfsfase;
- De afstandseisen zoals benoemd in paragraaf 2.3, 2,4 en 2,5. In het bijzonder de afstanden tot de fundering van de hoogspanningsmasten en de waterleidingen. Van beide is niet alle informatie over de diepteligging bekend;
- Langs de afrit van de A16 staat een geluidsscherm. Dit geluidsscherm is gefundeerd met een keerwandconstructie die de voet op circa NAP -1,0 m heeft liggen.

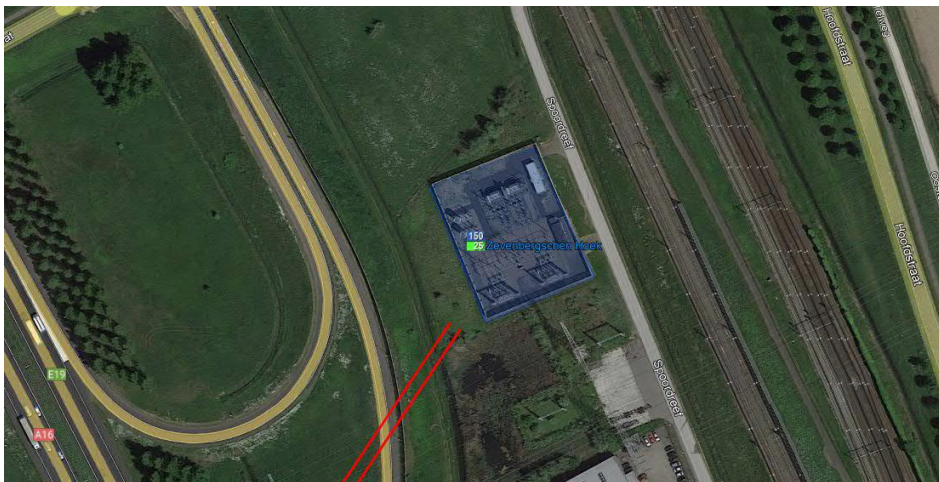
## 3.2 Boorparameters

Bij de berekeningen zijn de volgende boorparameters aangehouden:

- boorinstallatie : maxi-rig 80 ton;
- diameter boorstang : 0,17 m;
- volumegewicht bentoniet : 11,5 kN/m<sup>3</sup>;
- diameter pilothole : Ø300 mm;
- ruimgat : Ø500 mm;
- boorgat : Ø1000 mm.

## 3.3 Intredepunt

De HDD's starten ten oosten van afrit 18 van de A16 bij het 150 kV station Zevenbergschen Hoek (zie figuur 6). Het intredepunt is bereikbaar via de Spoordreef achterlangs het 150 kV-station. Aan de westzijde van het 150 kV station is een smalle strook beschikbaar als werkterrein. Mogelijk dient de watergang tijdelijk gedempt te worden om muduitbraak te voorkomen en het werkterrein te vergroten.



Figuur 6 Intredepunt ZBH HDD1

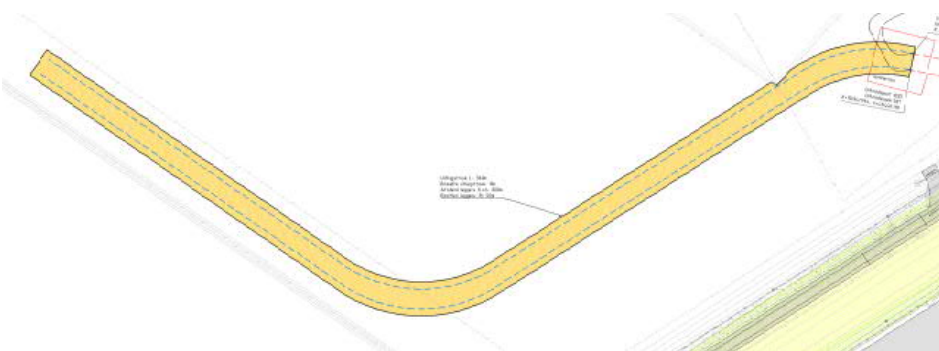
## 3.4 Uittredepunt en uitlegstrook

Het uittredepunt ligt aan de zuidzijde van het tracé in het bouwland bereikbaar via de Achterdijk (zie figuur 7). De uitlegstrook ligt in eerste instantie parallel aan de Achterdijk en buigt af langs de watergang (zie figuur 8).





Figuur 7 Uittredepunt ZBH HDD1



Figuur 8 Uitlegstrook ZBH HDD1

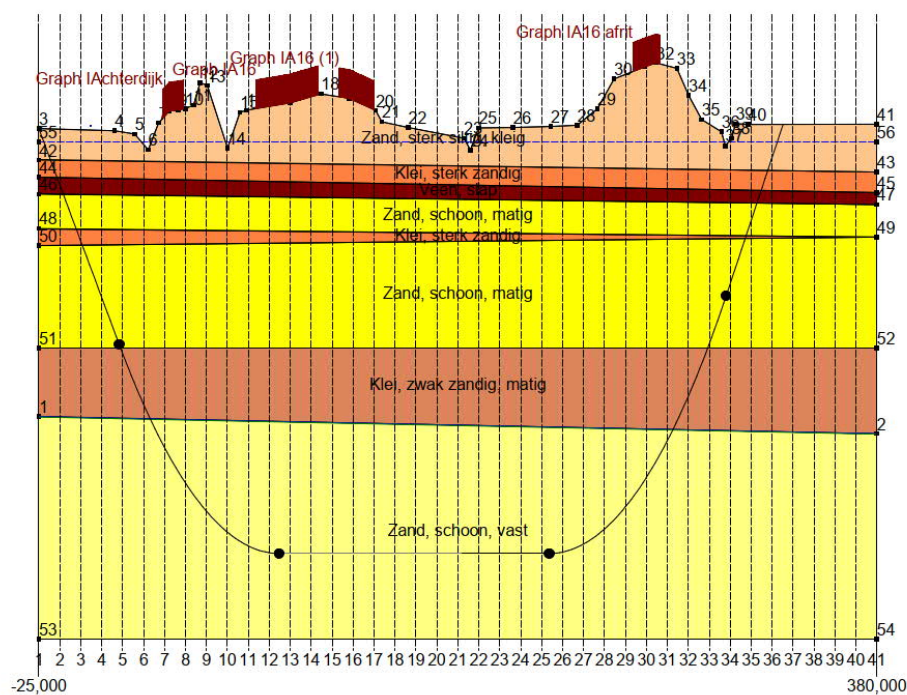
## 4. Berekeningsresultaten

De volgende berekeningen zijn voor de horizontaal gestuurde boring uitgevoerd:

- een trekkrachtberekening;
- een sterkteberekening voor de bedrijfsfase;
- een muddrukberekening;
- een implosieberekening;
- een kwelwegbeschouwing.

Er is één berekening, dus maar één profiel, opgesteld voor beide HDD's. Uitgangspunt is dat de verschillen tussen de profielen van de twee HDD's verwaarloosbaar klein zijn.

De berekeningen zijn uitgevoerd met het rekenprogramma D-Geo Pipeline versie 20.1 en zijn toegevoegd als bijlage 3. In dit hoofdstuk zijn de resultaten van de berekeningen weergegeven.



Figuur 9 D-Geo Pipeline-model van HDD's ZBH HDD1

## 4.1 Trekkkrachtberekening

De berekende maximale trekkracht bedraagt  $280 \cdot 1,8 = 504$  kN bij volledig met water gevulde leidingen. Dit leidt tot een maximale spanning tijdens de intrekfase van  $5,43$  N/mm<sup>2</sup> aan het einde van de intrekoperatie. Toelaatbaar is  $10$  N/mm<sup>2</sup>.

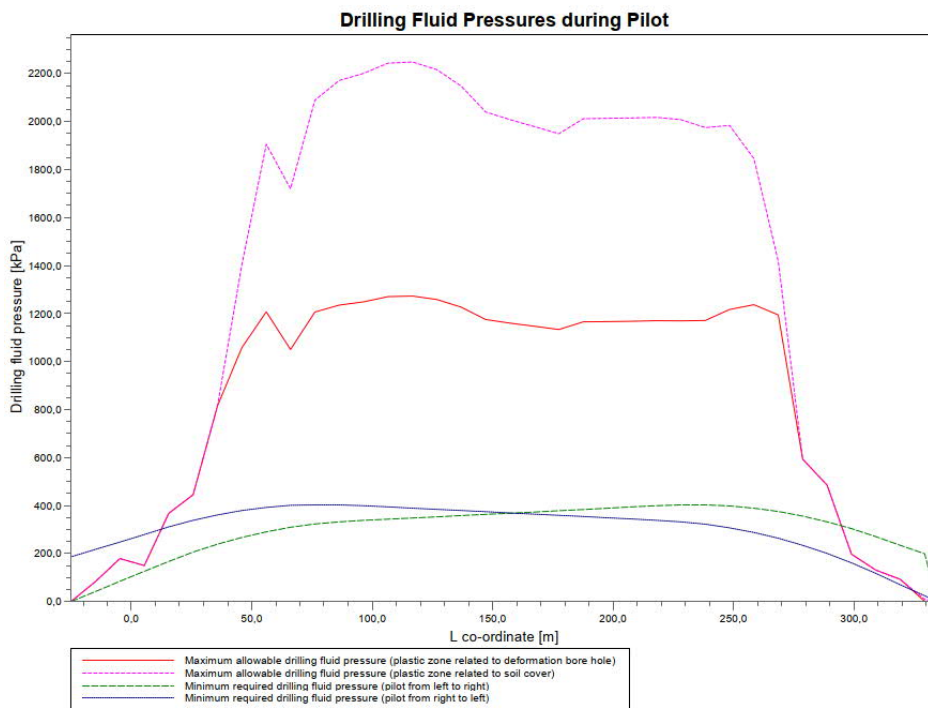
## 4.2 Sterkteberekening bedrijfsfase

Voor de mantelbuizen is een sterkteberekening in de bedrijfsfase gemaakt. Hieruit volgt een maximaal optredende spanning van  $7,01$  N/mm<sup>2</sup>. Toelaatbaar is  $8$  N/mm<sup>2</sup> waarbij is uitgegaan van PE 100 SDR 11.

Uit de sterkteberekening blijkt dat een deflectie van  $14,1$  mm ( $4,49\% \times D_0$ ) optreedt. Toelaatbaar is een maximale deflectie van  $25,2$  mm ( $8\%$ ).

## 4.3 Muddrukberkening

Bij de geplande diepteligging van de HDD's bestaat tijdens de pilotboring, getuige de berekeningsresultaten, de kans op muduitbraak in de laatste 30 m van het tracé. Geadviseerd wordt bij nadering van het uittredepunt, bij met name de voor muduitbraak maatgevende pilotboring, de druk op de boorspoeling te verminderen. Ook bij het intredepunt bestaat de kans op muduitbraak. Wij adviseren daar de watergang tijdelijk te dempen. Bij het ruimen en de intrekoperatie wordt geen blow-out berekend.



Figuur 10 Muddrukberkening tijdens pilot fase

## 4.4 Implosie

Zowel tijdens de intrekoperatie als de bedrijfstoestand blijkt uit de berekeningen dat geen implosie optreedt. De berekende alzijdige overdruk op lege leiding bedraagt circa 241 kN/m<sup>2</sup>, terwijl 280 kN/m<sup>2</sup> toelaatbaar is.

## 4.5 Kwelweg

Langs een HDD kan op twee wijzen kwel ontstaan. Ten eerste kan kwel ontstaan indien sprake is van overspannen water in de diepere grondlagen. In dat geval is de stijghoogte in het diepere watervoerende pakket hoger dan de freatische waterstand. Ten tweede kan kwel ontstaan indien een HDD twee verschillende peilgebieden verbindt. Hierdoor kan een kortsluitstroom langs de HDD ontstaan. In onderstaande paragraaf zijn beide situaties beschouwd.

### 4.5.1 Kwel uit het eerste watervoerende pakket

In het gebied zijn in DINOloket geen representatieve peilbuisgegevens te vinden van de diepere grondlagen. Op basis van het geotechnisch profiel, is kwel uit de diepere grondlagen niet uit te sluiten. Om te bepalen of kwelmaatregelen nodig zijn, adviseren wij om nabij het tracé een peilbuis te plaatsen in het eerste watervoerende en freatische pakket en te bemeten.

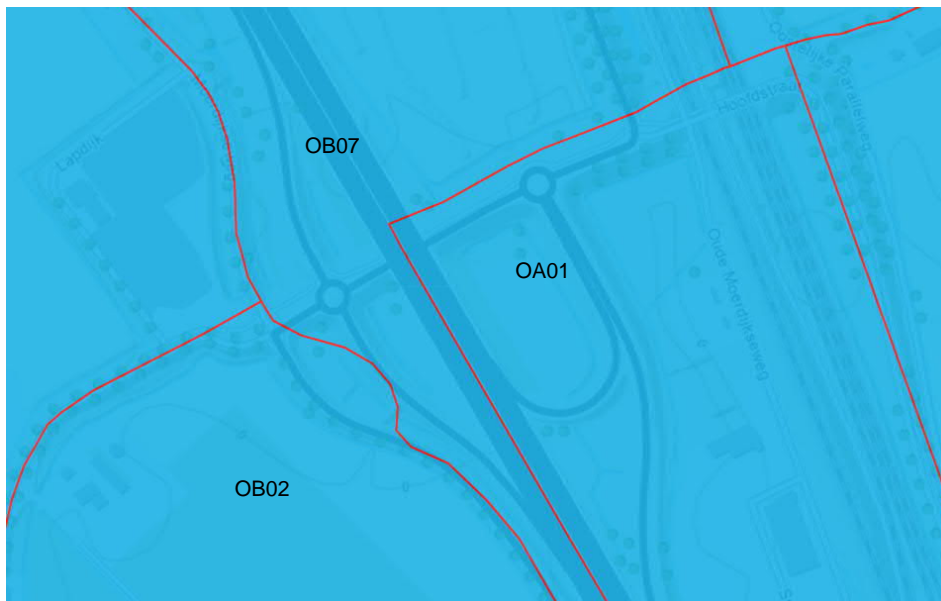
### 4.5.2 Kwel tussen de peilgebieden

Het intredepunt ligt in een ander peilbesluit dan het uittredepunt. Het intredepunt ligt in het peilgebied Oudland van Zevenbergen en het uittredepunt ligt in het peilgebied Arenberg-Schenkeldijkse polder.

Gezien de waterstandsverschillen tussen de peilgebieden is het mogelijk dat kwel optreedt bij een verkorting van de natuurlijke kwelweg door de HDD.

**Tabel 4-1 Peilgebieden en peilbesluiten waterschap Brabantse Delta**

Peilgebied	Zomerpeil (m NAP)	Winterpeil (m NAP)
OA01 – Oudland van Zevenbergen	- 1.2	-0.85
OB07 – Klaverpolder Ketelpolder	- 1.8	-2.2
OB02 – Arenberg-schenkeldijkse polder	- 1.25	-1.6



Figuur 11 Peilgebieden bij ZBH HDD1

De kwelwegen zijn berekend volgens Bligh-Lane:

*Natuurlijke kwelweg < kwelweg via HDD*

$$L_0 \times \frac{1}{3} < L_{vert} + L_{hor} \times \frac{1}{6}$$

Waarin:

- L<sub>0</sub>: kortste natuurlijke kwelweg
- L<sub>vert</sub>: kwelweg in verticale richting
- L<sub>hor</sub>: kwelweg in horizontale richting (< 45°)

De factoren 1/3 en 1/6 zijn weegfactoren conform Bligh-Lane voor stroming langs een contactvlak van twee grondlagen, respectievelijk het contactvlak tussen grond en boorgang.

In tabel 4-2 zijn de kortste natuurlijke kwelwegen en kortste kwelwegen langs de HDD weergegeven. Voor de kortste natuurlijke kwelweg is de minimale afstand tussen twee watergangen uit een peilgebied gehanteerd die door de HDD gekruist wordt. Hieruit blijkt dat kwel tussen de peilgebieden via de HDD's niet op kan treden.

Tabel 4-2 Berekening van de kortste kwelwegen			
Van peilgebied	Naar peilgebied	Kortste natuurlijke kwelweg [m]	Kortste kwelweg via HDD [m]
OA01	OB07	114/3= 38	7,5 + 114/6 + 24,5 = 51
OA01	OB02	114/3 = 38	7,5 + 230/6 + 22,5 = 68

### 4.5.3 Kwelmaatregelen

De HDD's kunnen in dit geval niet tot verkorting van de natuurlijke kwelweg leiden. Het is niet uit te sluiten dat de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket op deze locatie hoger ligt dan de laagste gemiddelde grondwaterstand. Mogelijk sluiten de bovenliggende kleilagen het eerste watervoerende pakket af. Doordat de HDD's de afsluitende kleilagen doorkruisen bestaat het risico dat langs de boorgang van de HDD's kwel uit de diepere grondlagen ontstaat. Het is daarom noodzakelijk om een peilbuis te slaan nabij het tracé en te onderzoeken of kwel kan ontstaan in deze situatie.

## 5. Risico's en aandachtspunten

De aannemer dient met de volgende specifieke risico's en aandachtspunten rekening te houden:

- De kruisingen van de HDD's met de rijksweg en de waterkering zijn niet loodrecht en hiervoor dient toestemming te worden verkregen van Rijkswaterstaat en waterschap Brabantse Delta. TenneT heeft het tracé op voorhand met Rijkswaterstaat besproken en afgestemd dat deze afwijking acceptabel en noodzakelijk is;
- Het tijdelijk dempen van de watergang bij het intredepunt om muduitbraak te voorkomen;
- Werken nabij hoogspanningsmasten van TenneT met name bij het intredepunt naast 150 kV station Zevenbergschen Hoek;
- Werken in de beschermingszones van de waterkeringen van waterschap Brabantse Delta;
- Om de werkterreinen te betreden zullen bouwinritten nodig zijn en de aannemer dient de benodigde verkeersplannen met de gemeente te bespreken;
- Het boortracé kruist een geluidsscherm van de HSL in de vorm van een keerwandconstructie. De ontvangen tekeningen en de kwaliteit daarvan geven nog geen exact uitsluitsel over de funderingsdiepte. Bij de uitvoering dient de funderingsdiepte van deze keerwand gecontroleerd te worden door de aannemer;
- Het boortracé passeert mast 33 GT-KRK 380 kV. De exacte funderingsgegevens van deze mast zijn niet bekend en zijn daarom afgeleid van de naastgelegen mast 40A ZBH-MDK 150 kV, waar de gegevens wel van bekend zijn;
- Bij het passeren van de bestaande hoogspanningsmasten dient de stabiliteit van de masten gewaarborgd blijven. Dit kan gemitigeerd worden met geotechnische berekeningen van de plastische straal van de HDD's.
- Het boortracé kruist vijf hoofdwaterleidingen, waarvan er twee buiten gebruik zijn. Van één leiding is geen diepte bekend. Met de beheerders (Brabant Water en DNWG) dient afgestemd te worden over het kruisen van deze leidingen;
- Spiegellassen aanbrengen conform NEN7200;
- Bij het spiegellassen van de leidingdelen dienen alle inwendige lasrillen verwijderd te worden; in overleg met de toezichthouder moeten de verwijderde lasrillen aangetoond kunnen worden;
- TenneT schrijft het gebruik van een gyroscoop als plaatsbepalingssysteem tijdens de pilotboring voor;
- Afwijking van de boorlijn heeft consequenties voor de daarna volgende HDD. De aannemer dient daarom na de pilotboring te controleren of de volgende HDD nog aangepast moeten worden. Ook dient de aannemer

rekening te houden met de volgorde van uitvoeren in verband met afstanden tot obstakels, zoals mastfunderingen. Indien blijkt dat de HDD's niet naast elkaar passen, kan de keuze gemaakt worden om de HDD's onder elkaar te leggen.



## 6. Conclusie

### 6.1 Algemeen

TenneT is voornemens om delen van de bovengrondse 150 kV-verbindingen binnen het projectgebied van Zuidwest-Oost ondergronds te verkabelen.

Dit rapport betreft de kruising met de snelweg A16 en de regionale waterkering in beheer bij waterschap Brabantse Delta. De kruising (met codering ZBH HDD1) is vergunningsplichtig bij Rijkswaterstaat en waterschap Brabantse Delta, waarbij het ontwerp en berekeningen moeten zijn uitgevoerd conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020, de Richtlijn Boortechnieken en de Keur van waterschap Brabantse Delta.

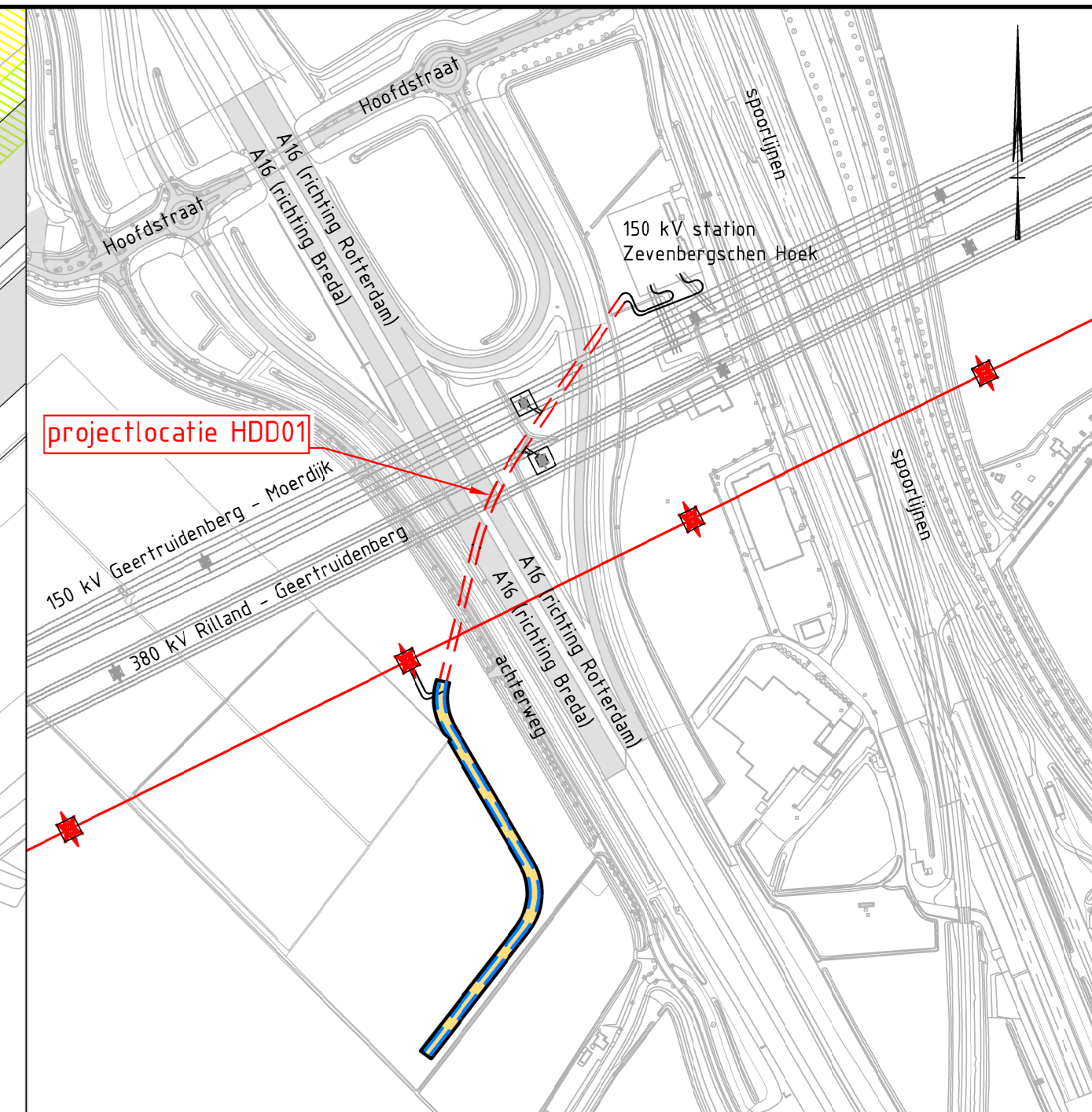
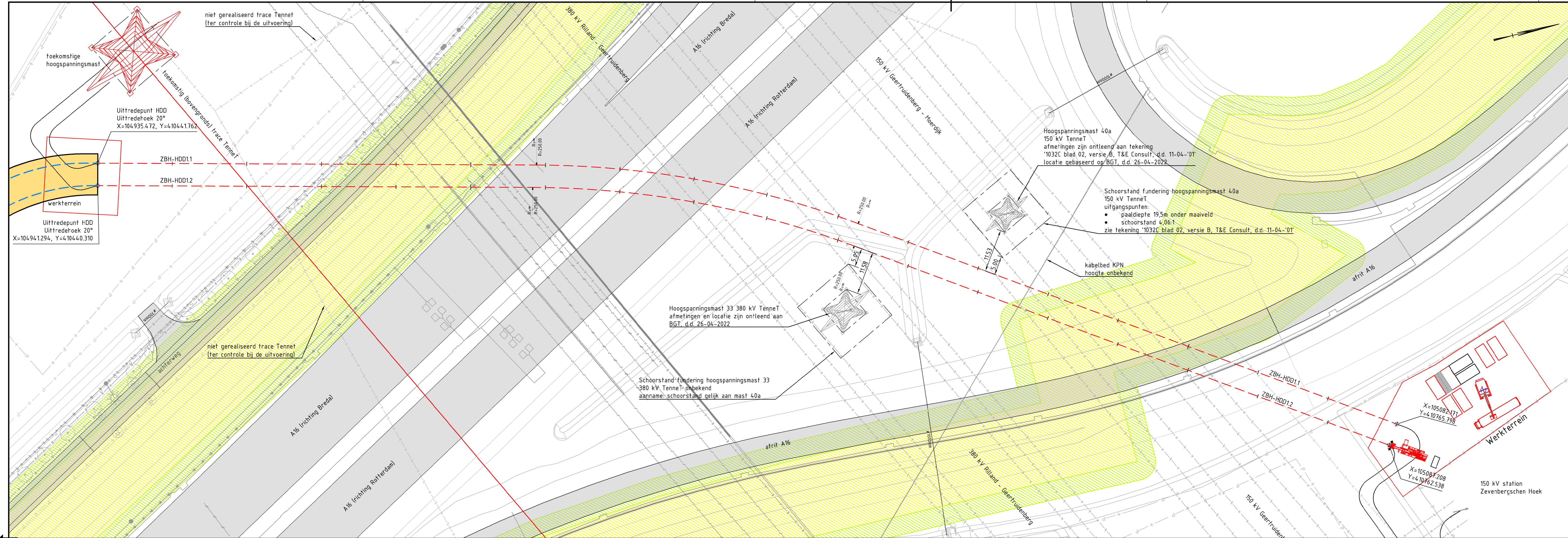
### 6.2 Uitkomsten ontwerp en berekening

De HDD's, weergegeven op de tekeningen die zijn bijgevoegd als bijlage 1, zijn ontworpen en berekend volgens de vigerende eisen.

Uit de berekeningen, bijgevoegd als bijlage 3, blijkt dat de tracés van de twee parallelle HDD's met 4x PE100 Ø315 mm SDR 11 voldoen aan de eisen.

# Bijlage 1 – Ontwerptekening

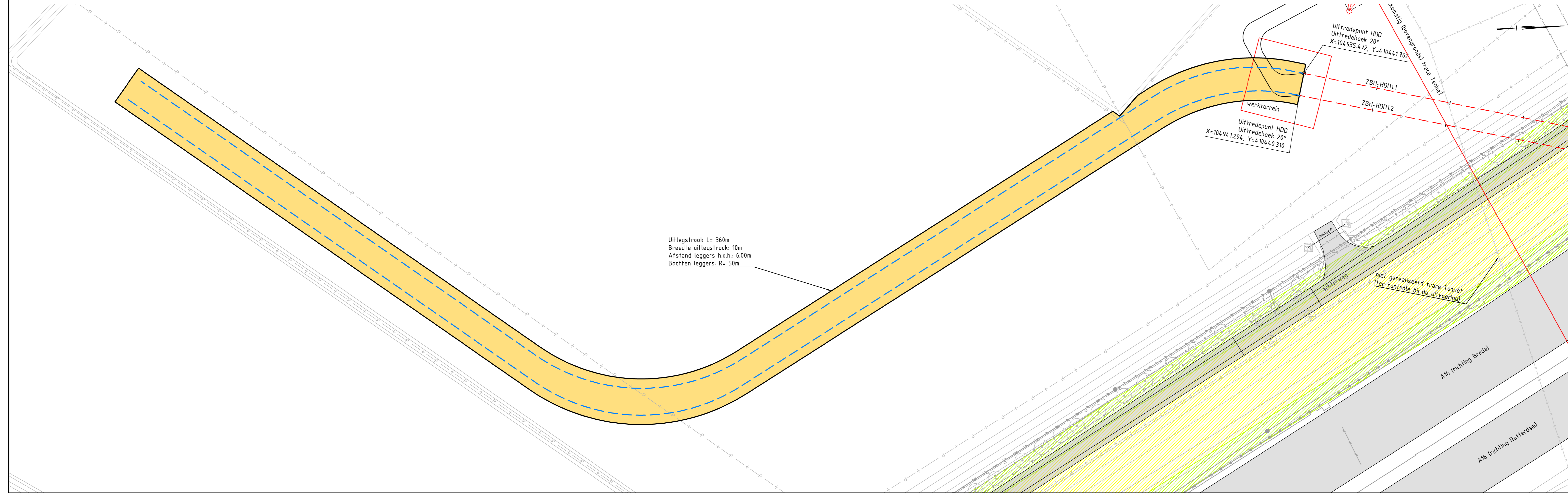




Overzicht  
Schaal 1:5.000

Legenda

- Kadastrale grens
- Leiding gevaarlijke inhoud
- Datatransport
- Landelijk hoogspanningsnet
- Laagspanning
- Middenspanning
- Gasleiding hoge druk
- Gasleiding lage druk
- Waterleiding
- Drukreolering
- Riolering vrijverval
- Horizontaal gestuurde boring (HDD)
- Verharding (asfalt)
- Bestaande topo
- Verharding/wegen
- Kernzone regionale waterkering (bron: legger Waterschap Brabantse Delta)
- Beschermingszone regionale waterkering (bron: legger Waterschap Brabantse Delta)



Vergunningstekening

Maten in meters, tenzij anders aangegeven  
Hoogtematen in meters t.o.v. NAP

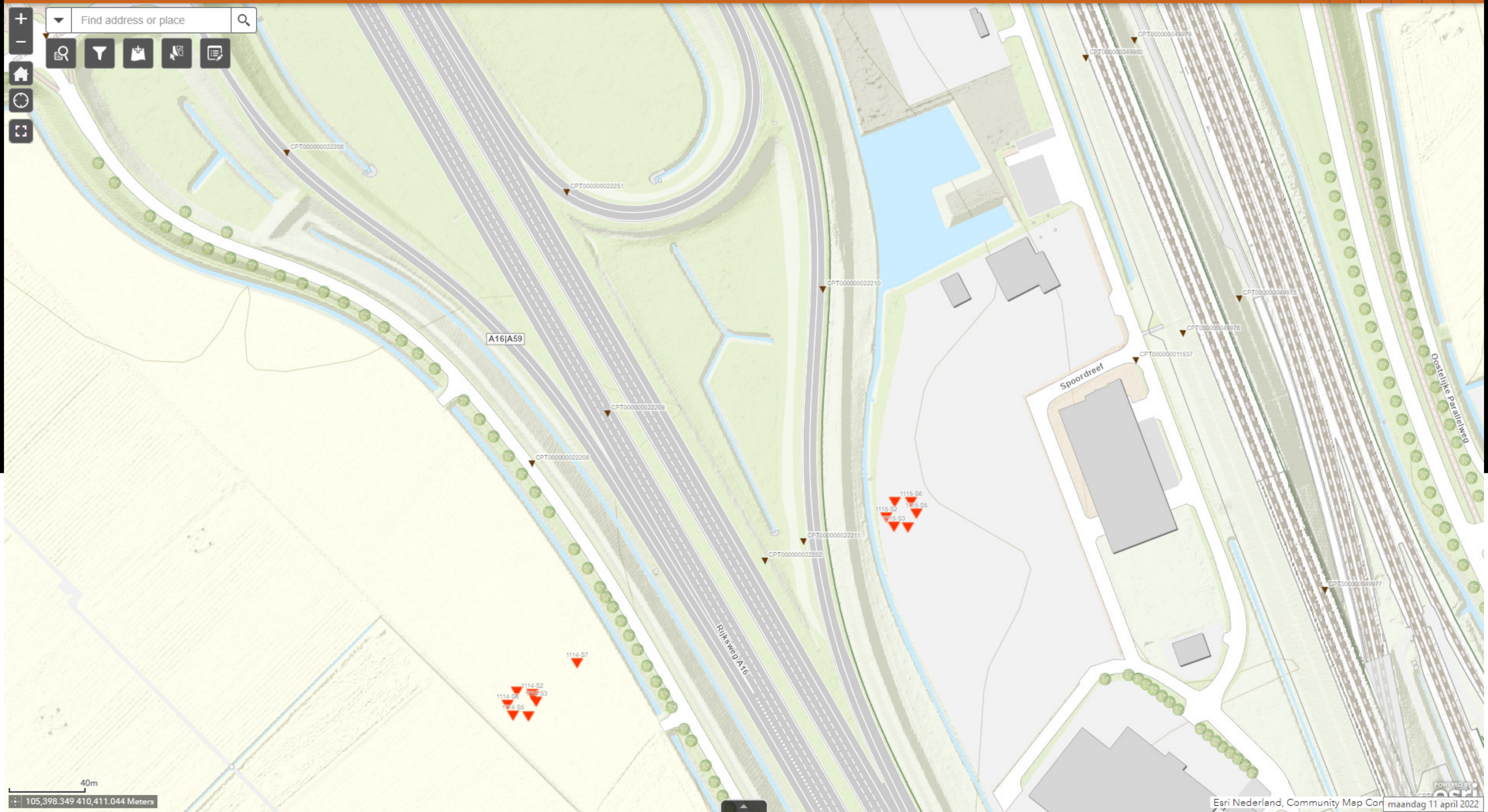
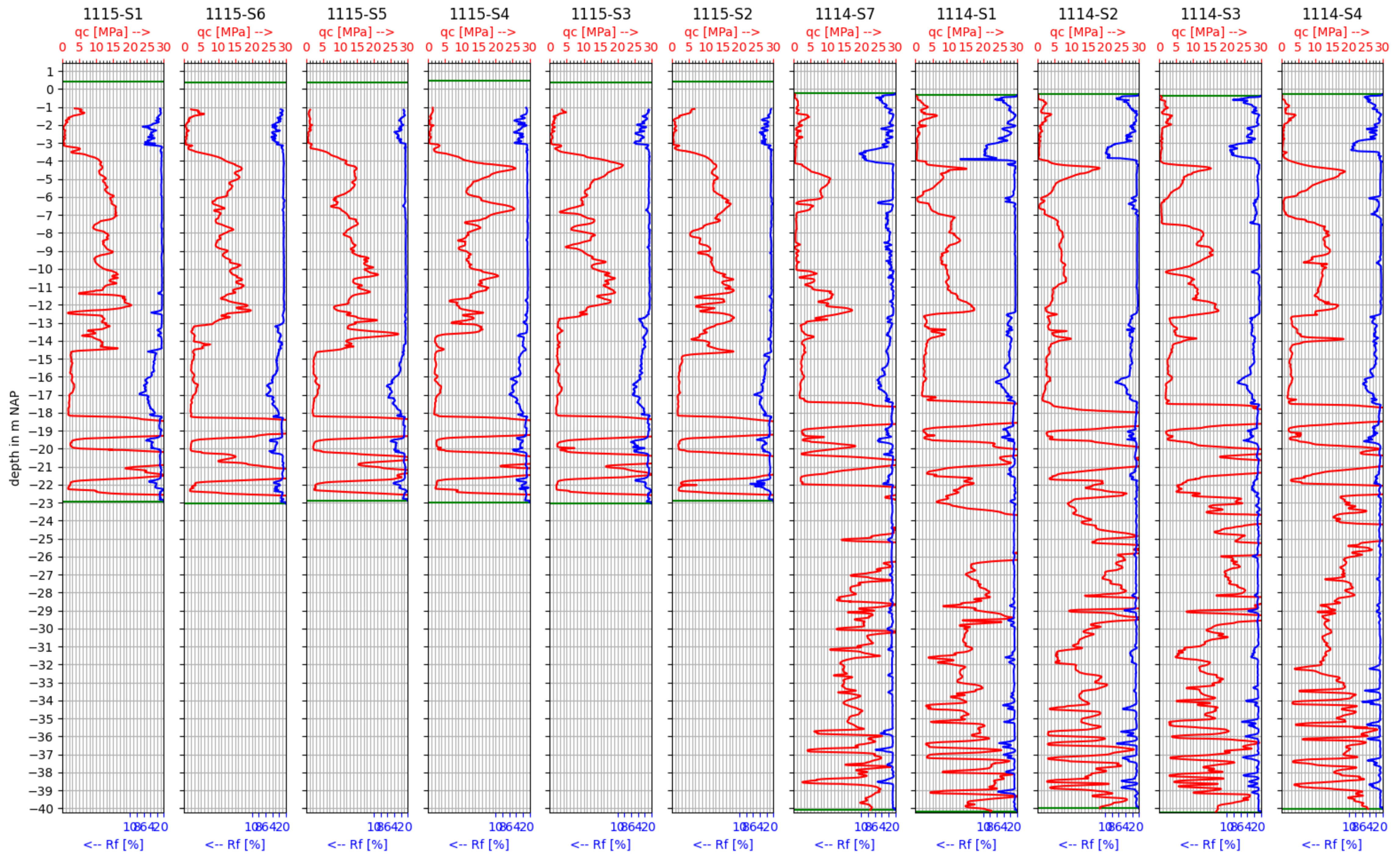
Rev	Omschrijving	Datum rev.	Get.	Gec.	Goedg.
B	T.b.v. Vergunningaanvraag	24-04-2022	BB	MJ	JD
A	Eerste uitgave	17-01-2020	BB	MJ	JD

Opdrachtgever:  
**TenneT TSO B.V.**  
Project:  
**Zuidwest-Oost HDD's 150kV**  
Onderdeel:  
**Werkterrein en uitlegstrook Zevenbergschenhoek - A16**

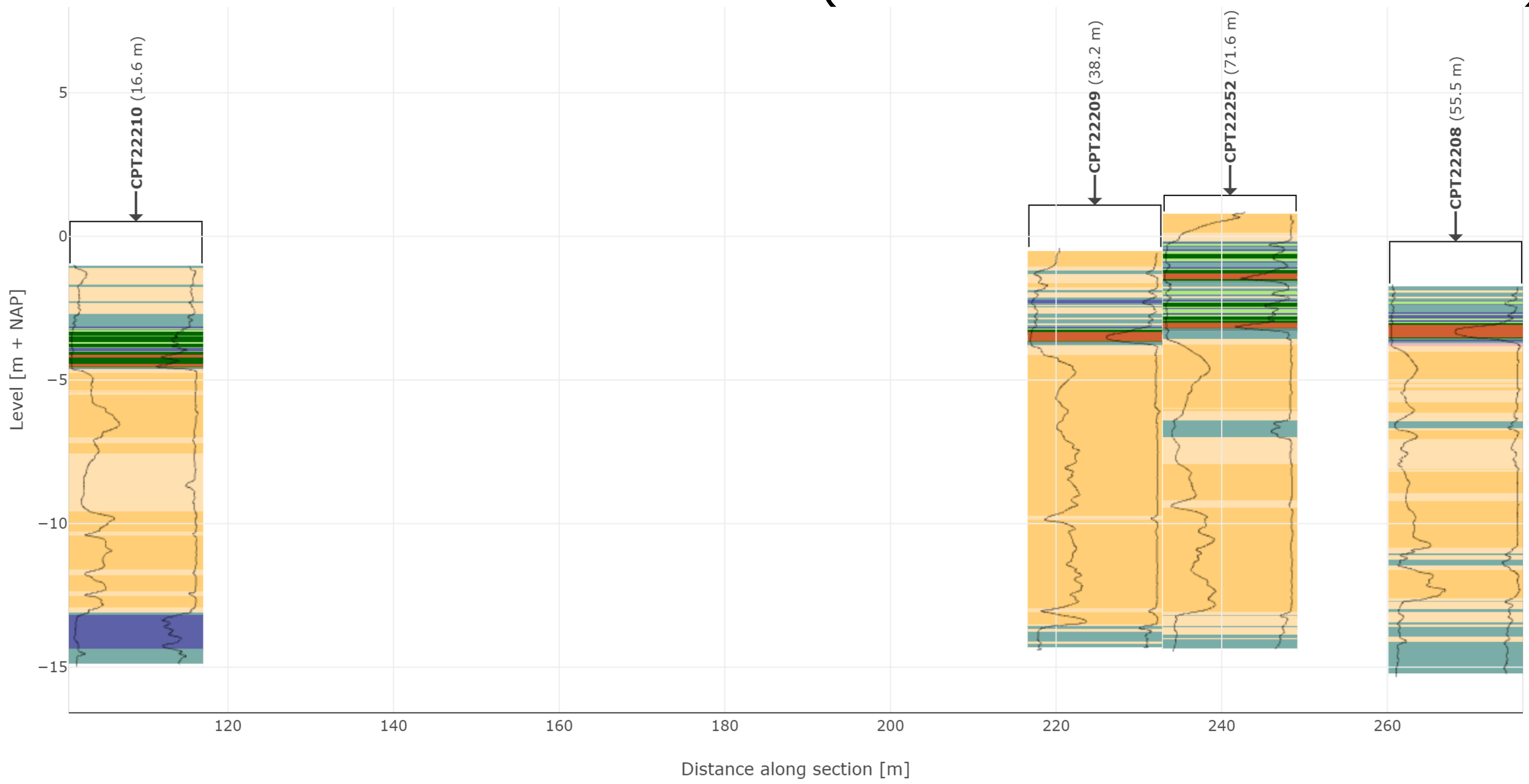
Projectnummer	Tekeningnummer	Versie	Datum van uitgave	Ontwerpfase	Contractnummer		
51001237	ZBH-HDD1	B	28-04-2022	BO			
Blad	Van	Schaal	Formaat	Kantoor	Get.	Gec.	Goedg.
2	2	1:500	A1-L (594x1050 mm)	De Bilt	BB	MJ	JD

# Bijlage 2 – Geotechnisch onderzoek

# ZBH HDD2

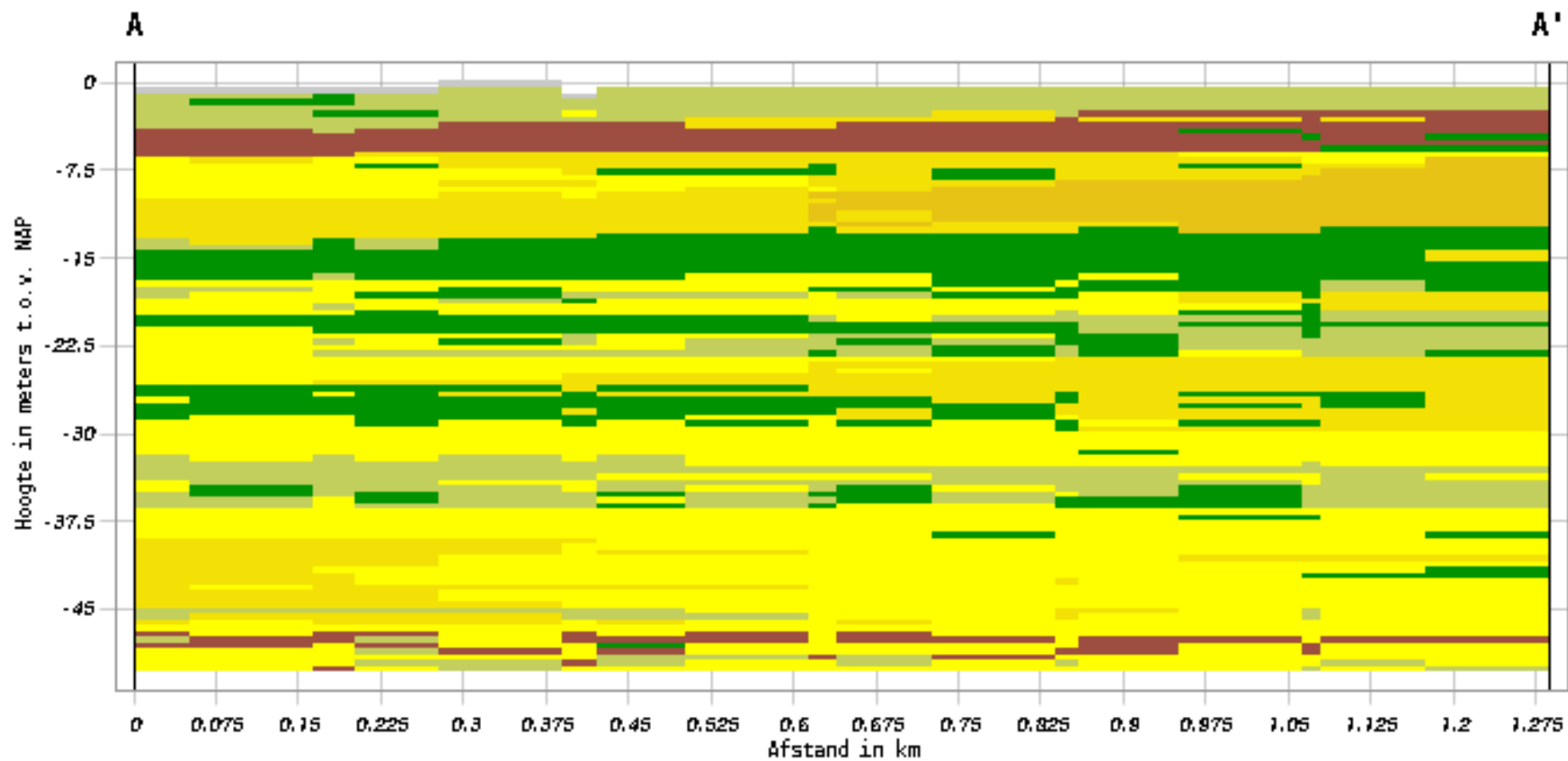


# Grondonderzoek BRO (tot 100 m afstand van trace)



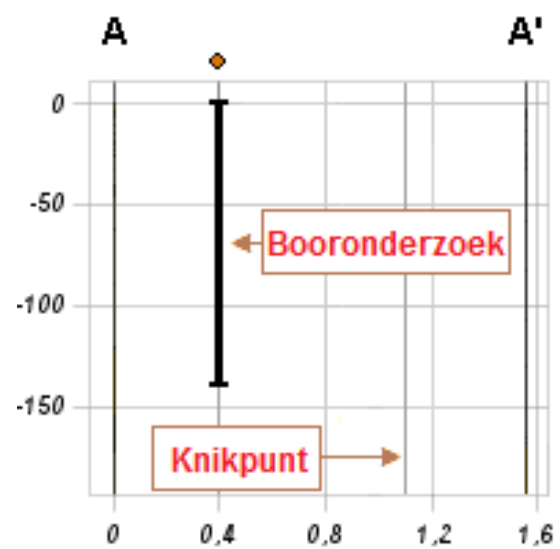
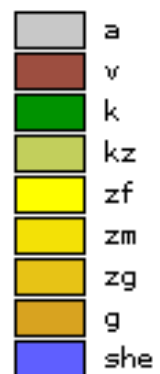
● cpt ● not shown on sectionplot — section

# Verticale Doorsnede BRO GeoTOP v1.4.1





Lithoklasse



# Bijlage 3 – Berekening D-Geo Pipeline

## **Report for D-Geo Pipeline 20.1**

Model : Horizontal Directional Drilling  
Developed by Deltares

Date of report: 28-4-2022  
Time of report: 18:21:21  
Report with version: 20.1.2.31161  
Calculated with version: 20.1.2.31161

File name: HDD berekening

## 1 Table of Contents

1	Table of Contents	2
2	Messages	4
2.1	Calculation Warnings	4
3	Input Data	5
3.1	Model Used	5
3.2	Layer Boundaries	5
3.3	PI-lines	5
3.4	Phreatic Line	5
3.5	Soil Profiles	5
3.6	Selected Boundaries	6
3.7	Soil Material Data	6
3.8	Geometry	6
3.8.1	Geometry Section, Detailed	7
3.8.2	Geometry Top View	7
3.9	Calculation Verticals	8
3.10	Traffic Load	8
3.11	Configuration of the Pipeline	9
3.12	Product Pipe Material Data	9
3.13	Pipe Engineering Data	10
3.14	Drilling Fluid Data	10
3.15	Factors	10
3.16	Calculation Options	11
4	Drilling Fluid Pressures	12
4.1	Drilling Fluid Data	12
4.2	Equilibrium between Drilling Fluid Pressure and Pore Pressure	14
4.3	Drilling Fluid Pressure Plots	15
4.3.1	Drilling Fluid Pressures during Pilot	15
4.3.2	Drilling Fluid Pressures during Prereaming	15
4.3.3	Drilling Fluid Pressures during Reaming and Pullback Operation	16
5	Soil Mechanical Data	17
5.1	Soil Mechanical Parameters Pipe 1: pipe nr. 1	17
5.2	Soil Mechanical Parameters Pipe 2: pipe nr. 2	18
5.3	Soil Mechanical Parameters Pipe 3: pipe nr. 3	20
5.4	Soil Mechanical Parameters Pipe 4: pipe nr. 4	21
5.5	Young's Modulus per Layer per Vertical	23
6	Data for Stress Analysis	26
6.1	General Data	26
6.2	Buoyancy Control	26
6.3	Calculation Pulling Force	26
7	Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1	28
7.1	Material Data of Pipe 1: pipe nr. 1	28
7.2	Results Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1	28
7.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	28
7.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	29
7.2.3	Load Combination 2: Application Internal Pressure	29
7.2.4	Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	29
7.2.5	Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	29
7.3	Check on Calculated Stresses of Pipe 1: pipe nr. 1	30
7.4	Check for Implosion of Pipe 1: pipe nr. 1	30
8	Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2	31
8.1	Material Data of Pipe 2: pipe nr. 2	31
8.2	Results Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2	31
8.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	31
8.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	32
8.2.3	Load Combination 2: Application Internal Pressure	32
8.2.4	Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	32
8.2.5	Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	32
8.3	Check on Calculated Stresses of Pipe 2: pipe nr. 2	33
8.4	Check for Implosion of Pipe 2: pipe nr. 2	33
9	Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3	35
9.1	Material Data of Pipe 3: pipe nr. 3	35
9.2	Results Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3	35
9.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	35
9.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	36

---

9.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure	36
9.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	36
9.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	36
9.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 3: pipe nr. 3	37
9.4 Check for Implosion of Pipe 3: pipe nr. 3	37
10 Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4	38
10.1 Material Data of Pipe 4: pipe nr. 4	38
10.2 Results Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4	38
10.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation	38
10.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation	39
10.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure	39
10.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	39
10.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	39
10.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 4: pipe nr. 4	40
10.4 Check for Implosion of Pipe 4: pipe nr. 4	40

## 2 Messages

### 2.1 Calculation Warnings

One or more layers above the border between the top undrained and underlying drained layers have a  $S_u$ -value of 0.

### 3 Input Data

#### 3.1 Model Used

Model Used : Horizontal Directional Drilling

#### 3.2 Layer Boundaries

Boundary number	Co-ordinates [m]				
8 - L -	-25,000	11,520	21,280	27,790	32,840
8 - Z -	-0,170	-0,290	-0,470	-1,400	0,180
8 - L -	38,020	42,210	45,690	49,730	52,860
8 - Z -	0,870	0,930	1,010	1,210	2,520
8 - L -	56,340	66,180	72,180	75,300	96,310
8 - Z -	2,360	-1,300	0,800	0,910	1,340
8 - L -	111,260	125,080	137,770	140,640	153,480
8 - Z -	1,870	1,600	0,900	0,240	-0,100
8 - L -	180,440	183,540	187,440	204,110	222,240
8 - Z -	-0,720	-1,410	-0,120	-0,090	-0,030
8 - L -	235,060	244,880	252,960	267,820	273,240
8 - Z -	0,030	1,000	2,750	3,450	3,680
8 - L -	283,320	289,050	295,350	304,890	306,740
8 - Z -	3,370	1,770	0,370	-0,350	-1,170
8 - L -	309,740	311,730	317,760	380,000	
8 - Z -	-0,710	0,130	0,080	0,090	
7 - L -	-25,000	380,000			
7 - Z -	-2,000	-2,700			
6 - L -	-25,000	380,000			
6 - Z -	-3,000	-3,900			
5 - L -	-25,000	380,000			
5 - Z -	-4,000	-4,600			
4 - L -	-25,000	380,000			
4 - Z -	-6,000	-6,500			
3 - L -	-25,000	380,000			
3 - Z -	-7,000	-6,500			
2 - L -	-25,000	380,000			
2 - Z -	-13,000	-13,000			
1 - L -	-25,000	380,000			
1 - Z -	-17,000	-18,000			
0 - L -	-25,000	380,000			
0 - Z -	-30,000	-30,000			

#### 3.3 PI-lines

PI-line number	Co-ordinates [m]				
1 - L -	-25,000	380,000			
1 - Z -	-0,950	-0,950			

#### 3.4 Phreatic Line

Piezo-line 1 is used as phreatic line (groundwater).

#### 3.5 Soil Profiles

Layer number	Material name	Piezo-line at top	Piezo-line at bottom
8	Zand, sterk siltig, kleig	1	1
7	Klei, sterk zandig	1	1
6	Veen, slap	1	1
5	Zand, schoon, matig	1	1
4	Klei, sterk zandig	1	1
3	Zand, schoon, matig	1	1
2	Klei, zwak zandig, m...	1	1
1	Zand, schoon, vast	1	1

### 3.6 Selected Boundaries

The boundary between (cohesive) undrained top layers and underlying (non-cohesive) drained layers, is situated at the top of layer number 1: Zand, schoon, vast

The boundary between compressible top layers and underlying non-compressible layers, is situated at the top of layer number 1: Zand, schoon, vast

### 3.7 Soil Material Data

Name	Gamma unsat [kN/m <sup>3</sup> ]	Gamma sat [kN/m <sup>3</sup> ]	Cohesion [kN/m <sup>2</sup> ]	Phi [deg]	Su top [kN/m <sup>2</sup> ]	Su bottom [kN/m <sup>2</sup> ]
Zand, sterk siltig, kleig	18,00	20,00	0,00	30,00	0,00	0,00
Klei, sterk zandig	18,00	18,00	0,50	27,50	30,00	30,00
Veen, slap	11,00	11,00	1,50	15,00	15,00	15,00
Zand, schoon, matig	18,00	20,00	0,00	32,50	0,00	0,00
Klei, zwak zandig, matig	18,00	18,00	5,00	22,50	80,00	80,00
Zand, schoon, vast	19,00	21,00	0,00	35,00	0,00	0,00

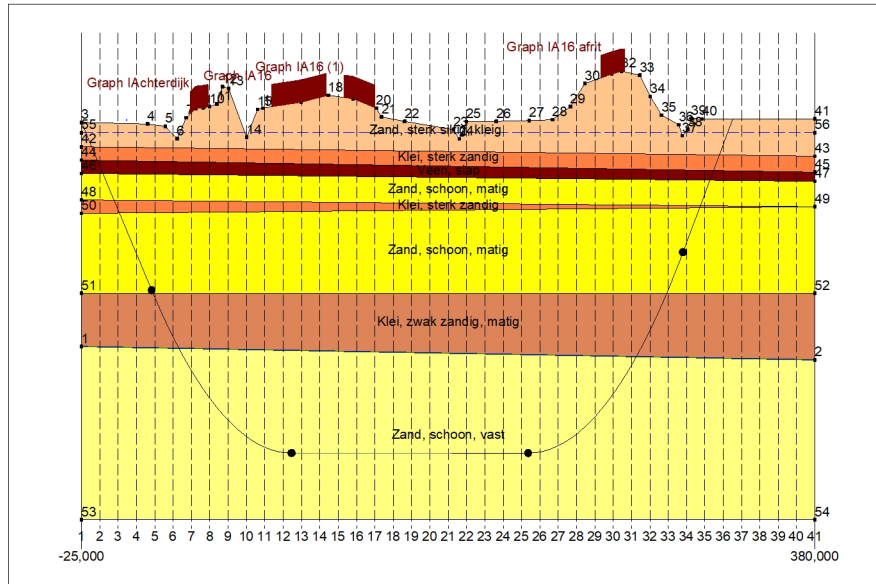
Name	Soil type	Emod 100 [kN/m <sup>2</sup> ]	Emod top [kN/m <sup>2</sup> ]	Emod bottom [kN/m <sup>2</sup> ]
Zand, sterk siltig, kleig	Sand	10000,00	-	-
Klei, sterk zandig	Clay	2000,00	-	-
Veen, slap	Peat	200,00	-	-
Zand, schoon, matig	Sand	30000,00	-	-
Klei, zwak zandig, matig	Clay	3000,00	-	-
Zand, schoon, vast	Sand	90000,00	-	-

Name	Adhesion A [kN/m <sup>2</sup> ]	Delta D [deg]	Nu [-]
Zand, sterk siltig, kleig	-	-	0,20
Klei, sterk zandig	-	-	0,20
Veen, slap	-	-	0,20
Zand, schoon, matig	-	-	0,20
Klei, zwak zandig, matig	-	-	0,20
Zand, schoon, vast	-	-	0,30

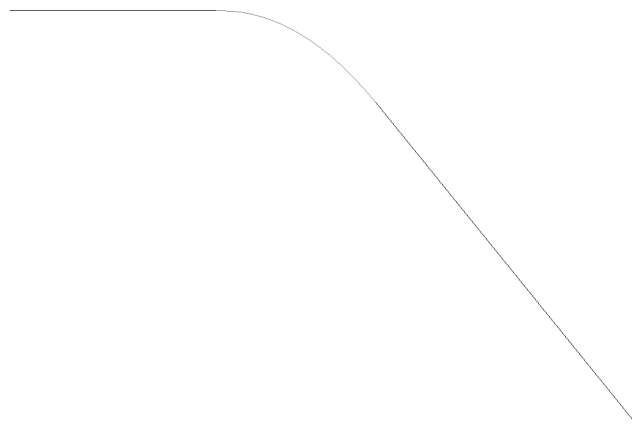
### 3.8 Geometry



### 3.8.1 Geometry Section, Detailed



### 3.8.2 Geometry Top View



### 3.9 Calculation Verticals

Vertical no.	L-coord. [m]	Z-coord. [m]
1	-25,000	-0,170
2	-14,875	-3,460
3	-4,750	-6,750
4	5,375	-10,039
5	15,500	-13,322
6	25,625	-16,297
7	35,750	-18,815
8	45,875	-20,891
9	56,000	-22,536
10	66,125	-23,758
11	76,250	-24,564
12	86,375	-24,957
13	96,500	-25,000
14	106,625	-25,000
15	116,750	-25,000
16	126,875	-25,000
17	137,000	-25,000
18	147,125	-25,000
19	157,250	-25,000
20	167,375	-25,000
21	177,500	-25,000
22	187,625	-25,000
23	197,750	-25,000
24	207,875	-25,000
25	218,000	-25,000
26	228,125	-24,916
27	238,250	-24,448
28	248,375	-23,566
29	258,500	-22,268
30	268,625	-20,545
31	278,750	-18,389
32	288,875	-15,789
33	299,000	-12,730
34	309,125	-9,202
35	319,250	-5,517
36	329,375	-1,832
37	339,500	n.a.
38	349,625	n.a.
39	359,750	n.a.
40	369,875	n.a.
41	380,000	n.a.

Locations of the calculation verticals; L represents distance along the pipeline projection in the horizontal plane, incremented with the entry co-ordinate.

### 3.10 Traffic Load

Achterdijk		
L start	35,00	[m]
L end	45,00	[m]
Load model (graph type)	Graph I	
A16		
L start	80,00	[m]
L end	110,00	[m]
Load model (graph type)	Graph I	
A16 (1)		
L start	120,00	[m]
L end	137,00	[m]
Load model (graph type)	Graph I	

A16 afrit		
L start	262,00	[m]
L end	275,00	[m]
Load model (graph type)	Graph I	

### 3.11 Configuration of the Pipeline

X co-ordinate left point	-25,000	[m]
Y co-ordinate left point	68,450	[m]
Z co-ordinate left point	-0,170	[m]
X co-ordinate right point	323,400	[m]
Y co-ordinate right point	0,000	[m]
Z co-ordinate right point	0,083	[m]
Angle left	18,0000	[deg]
Angle right	20,0000	[deg]
Bending radius left, vertical in/out	250,000	[m]
Bending radius right, vertical in/out	250,000	[m]
Bending radius pipe on rollers	500,000	[m]
Lowest level of pipe (center bore hole)	-25,000	[m]
Angle of pipe (between radii)	0,0000	[deg]
Number of horizontal bends	1	

The pulling direction of the product pipe is from right to left.

Bending nr.	X1-coord. [m]	Y1-coord. [m]	X2-coord. [m]	Y2-coord. [m]	Bending radius [m]	Direction
1	91,600	68,450	177,600	53,450	250,000	left

### 3.12 Product Pipe Material Data

Input data pipe nr. 1		
Material	Polyethene	
Quality	PE100	
Young's modulus (short)	975,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Young's modulus (long)	350,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Allowable strength (long)	8,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensile factor (alpha)	0,65	[-]
Linear settlement coefficient (alpha_g)	0,0001600	[mm/mmK]
Outer diameter product pipe	315,00	[mm]
Wall thickness (Nominal)	28,70	[mm]
Unit weight pipe material	9,54	[kN/m <sup>3</sup> ]
Design pressure	0,00	[bar]
Test pressure	0,00	[bar]
Temperature variation	0,00	[deg C]

Input data pipe nr. 2		
Material	Polyethene	
Quality	PE100	
Young's modulus (short)	975,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Young's modulus (long)	350,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Allowable strength (long)	8,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensile factor (alpha)	0,65	[-]
Linear settlement coefficient (alpha_g)	0,0001600	[mm/mmK]
Outer diameter product pipe	315,00	[mm]
Wall thickness (Nominal)	28,70	[mm]
Unit weight pipe material	9,54	[kN/m <sup>3</sup> ]
Design pressure	0,00	[bar]
Test pressure	0,00	[bar]
Temperature variation	0,00	[deg C]

Input data pipe nr. 3		
Material	Polyethene	
Quality	PE100	
Young's modulus (short)	975,00	[N/mm <sup>2</sup> ]

Young's modulus (long)	350,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Allowable strength (long)	8,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensile factor (alpha)	0,65	[-]
Linear settlement coefficient (alpha_g)	0,0001600	[mm/mmK]
Outer diameter product pipe	315,00	[mm]
Wall thickness (Nominal)	28,70	[mm]
Unit weight pipe material	9,54	[kN/m <sup>3</sup> ]
Design pressure	0,00	[bar]
Test pressure	0,00	[bar]
Temperature variation	0,00	[deg C]
Input data pipe nr. 4		
Material	Polyethene	
Quality	PE100	
Young's modulus (short)	975,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Young's modulus (long)	350,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Allowable strength (long)	8,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensile factor (alpha)	0,65	[-]
Linear settlement coefficient (alpha_g)	0,0001600	[mm/mmK]
Outer diameter product pipe	315,00	[mm]
Wall thickness (Nominal)	28,70	[mm]
Unit weight pipe material	9,54	[kN/m <sup>3</sup> ]
Design pressure	0,00	[bar]
Test pressure	0,00	[bar]
Temperature variation	0,00	[deg C]

### 3.13 Pipe Engineering Data

Pipe filled with water on rollers	No	
Part of cross section filled with fluid	0	[%]
Unit weight fluid	10,00	[kN/m <sup>3</sup> ]
Bedding angle	30	[deg]
Load angle	30	[deg]
Relative displacement	10,00	[mm]
Compression index	6,00	[-]
Modulus of subgrade reaction drilling fluid (Kv)	500,00	[kN/m <sup>3</sup> ]
Phi drilling fluid	15,00	[deg]
Cohesion drilling fluid	5,00	[kN/m <sup>2</sup> ]
Factor of friction pipe-roller (f1)	0,10	[-]
Friction pipe-drilling fluid (f2)	0,000050	[N/mm <sup>2</sup> ]
Factor of friction pipe-soil (f3)	0,20	[-]

### 3.14 Drilling Fluid Data

Outer diameter pilot hole	0,300	[m]
Outer diameter pilot pipe	0,170	[m]
Outer diameter preream hole	0,500	[m]
Outer diameter drillpipe	0,170	[m]
Outer diameter bore hole	1,000	[m]
Outer diameter product pipe	0,630	[m]
Pump flow rate pilot	500,0000	[liter/minute]
Pump flow rate pre-reaming	1000,0000	[liter/minute]
Pump flow rate ream and pull-back	1000,0000	[liter/minute]
Circulation loss factor pilot	0,30	[-]
Circulation loss factor pre-reaming	0,20	[-]
Circulation loss factor ream and pull-back	0,20	[-]
Unit weight drilling fluid (gamma)	11,1	[kN/m <sup>3</sup> ]
Yieldpoint drilling fluid (Tau)	0,014	[kN/m <sup>2</sup> ]
Plastic viscosity drilling fluid (Mu)	0,000040	[kN.s/m <sup>2</sup> ]

### 3.15 Factors

(Polyethene)Safety factor on implosion (Long)	3,0	[-]
(Polyethene)Safety factor on implosion (Short)	1,5	[-]

---

Contingency factor on unit weight		
of material types below and above phreatic level	1,10	[-]
Contingency factor on (drained) cohesion C	1,40	[-]
Contingency factor on undrained shear strength Su	1,40	[-]
Contingency factor on Phi	1,10	[-]
Contingency factor on E-modulus	1,25	[-]
Contingency factor on modulus of subgrade reaction	2,00	[-]
Load factor on design pressure (Polyethene)	1,00	[-]
Load factor on design pressure (combination) (Polyethene)	1,00	[-]
Load factor on test pressure (Polyethene)	1,00	[-]
Load factor on installation (Polyethene)	1,00	[-]
Load factor on reduced neutral soil stress $q_{n;r}$ (Polyethene)	1,50	[-]
Load factor on temperature (Polyethene)	1,10	[-]
Load factor on traffic load (Polyethene)	1,35	[-]
Factor of importance (S)	1,00	[-]
Allowable deflection of steel pipe	15,00	[%]
Allowable piggability of steel pipe	5,00	[%]
Allowable deflection of polyethene pipe	8,00	[%]
Allowable piggability of polyethene pipe	5,00	[%]
Unit weight water	10,00	[kN/m <sup>3</sup> ]
Safety factor on cover (drained layer)	0,50	[-]
Safety factor on cover (undrained layer)	0,50	[-]
Ratio H/Do for boundary between shallow and deep situation	7,50	[-]

### 3.16 Calculation Options

Stress analysis option : Standard

## 4 Drilling Fluid Pressures

### 4.1 Drilling Fluid Data

Vertical no.	Drilling fluid pressures pilot [kN/m <sup>2</sup> ]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	0	0	0	186
2	83	83	42	217
3	179	179	84	248
4	150	150	126	279
5	367	367	167	311
6	445	445	206	338
7	815	815	239	361
8	1058	1404	267	379
9	1207	1905	290	392
10	1050	1720	309	401
11	1206	2089	323	404
12	1235	2171	332	404
13	1249	2201	338	399
14	1270	2243	343	394
15	1273	2248	348	389
16	1258	2216	353	384
17	1226	2147	358	379
18	1175	2040	363	374
19	1160	2008	368	369
20	1147	1979	373	364
21	1133	1949	378	359
22	1165	2012	383	354
23	1166	2013	389	349
24	1168	2015	394	344
25	1170	2017	399	338
26	1169	2008	403	332
27	1171	1975	403	322
28	1217	1984	398	307
29	1237	1846	389	288
30	1194	1418	375	264
31	593	593	356	234
32	485	485	332	200
33	197	197	304	161
34	131	131	270	117
35	92	92	234	70
36	0	9	199	24

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m <sup>2</sup> ]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	0	0	0	0
2	92	92	38	42
3	174	174	77	84
4	152	152	115	126
5	285	285	154	167
6	446	446	189	206
7	630	630	219	239
8	1058	1093	243	267
9	1207	1533	264	290
10	1050	1423	279	309
11	1206	1761	290	321
12	1235	1845	296	324
13	1249	1872	298	322
14	1270	1907	300	321
15	1273	1910	302	319
16	1258	1881	304	317
17	1226	1821	306	315

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m <sup>2</sup> ]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
18	1175	1729	308	313
19	1160	1700	309	311
20	1147	1674	311	310
21	1133	1648	313	308
22	1165	1701	315	306
23	1166	1701	317	304
24	1168	1702	319	302
25	1170	1703	321	300
26	1169	1692	321	298
27	1171	1646	318	290
28	1217	1620	307	279
29	1237	1461	288	263
30	1085	1085	264	242
31	468	468	234	216
32	485	485	200	185
33	197	197	161	149
34	133	133	117	108
35	97	97	70	65
36	0	9	24	22

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m <sup>2</sup> ]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	0	0	0	0
2	81	81	38	38
3	136	136	76	77
4	157	157	115	115
5	202	202	153	154
6	445	445	187	189
7	458	458	217	219
8	765	765	242	243
9	1076	1076	262	264
10	1024	1024	277	279
11	1206	1274	287	290
12	1235	1343	293	296
13	1249	1362	295	298
14	1270	1387	297	300
15	1273	1389	298	302
16	1258	1367	300	304
17	1226	1324	302	306
18	1175	1258	303	308
19	1160	1238	305	307
20	1147	1219	306	305
21	1133	1200	308	304
22	1165	1237	306	302
23	1166	1236	304	301
24	1168	1236	302	299
25	1170	1237	300	297
26	1169	1226	298	295
27	1171	1184	290	288
28	1147	1147	279	277
29	1017	1017	263	261
30	753	753	242	240
31	479	479	216	214
32	482	482	185	184
33	198	198	149	148
34	136	136	108	107
35	105	105	65	65
36	0	9	22	22

#### 4.2 Equilibrium between Drilling Fluid Pressure and Pore Pressure

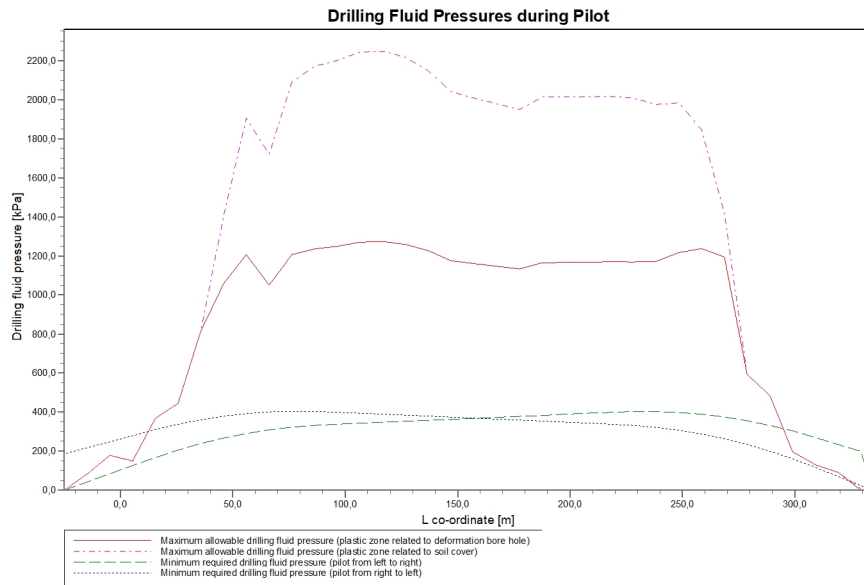
Vertical no.	Static column pressure			Result
	Drilling fluid [kN/m <sup>2</sup> ]	Water [kN/m <sup>2</sup> ]	Safety [-]	
1	0	0	-	sufficient
2	37	25	1,45	sufficient
3	73	58	1,26	sufficient
4	110	91	1,21	sufficient
5	146	124	1,18	sufficient
6	179	153	1,17	sufficient
7	207	179	1,16	sufficient
8	230	199	1,15	sufficient
9	249	216	1,15	sufficient
10	262	228	1,15	sufficient
11	271	236	1,15	sufficient
12	276	240	1,15	sufficient
13	276	241	1,15	sufficient
14	277	241	1,15	sufficient
15	277	241	1,15	sufficient
16	277	241	1,15	sufficient
17	277	241	1,15	sufficient
18	277	241	1,15	sufficient
19	277	241	1,15	sufficient
20	277	241	1,15	sufficient
21	277	241	1,15	sufficient
22	277	241	1,15	sufficient
23	277	241	1,15	sufficient
24	277	241	1,15	sufficient
25	278	241	1,15	sufficient
26	277	240	1,15	sufficient
27	272	235	1,16	sufficient
28	262	226	1,16	sufficient
29	248	213	1,16	sufficient
30	229	196	1,17	sufficient
31	205	174	1,17	sufficient
32	176	148	1,19	sufficient
33	142	118	1,21	sufficient
34	103	83	1,25	sufficient
35	62	46	1,36	sufficient
36	21	9	2,41	sufficient

The static drilling fluid pressure is calculated and can be compared with the calculated groundwater pressure. The quotient of the drilling fluid pressure and the groundwater pressure yields the safety factor, which should be higher than the requested factor of safety of 1,10.

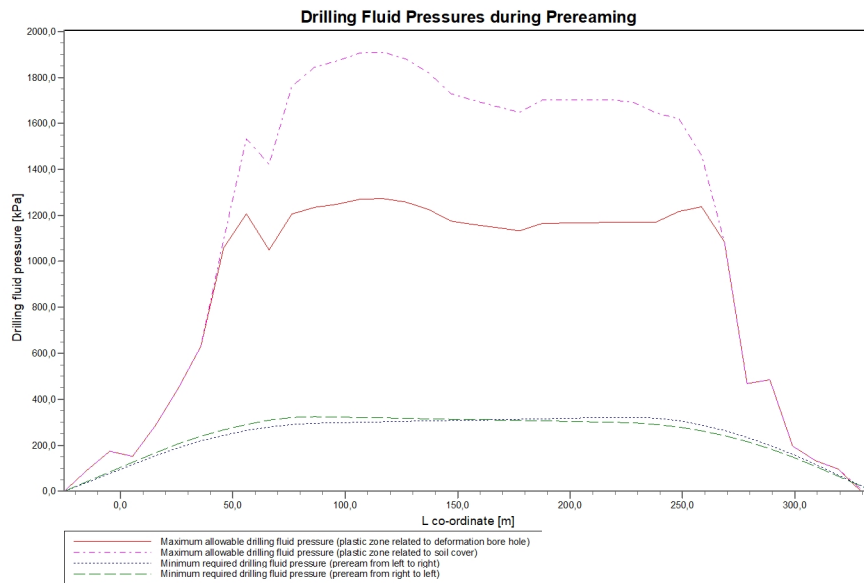


### 4.3 Drilling Fluid Pressure Plots

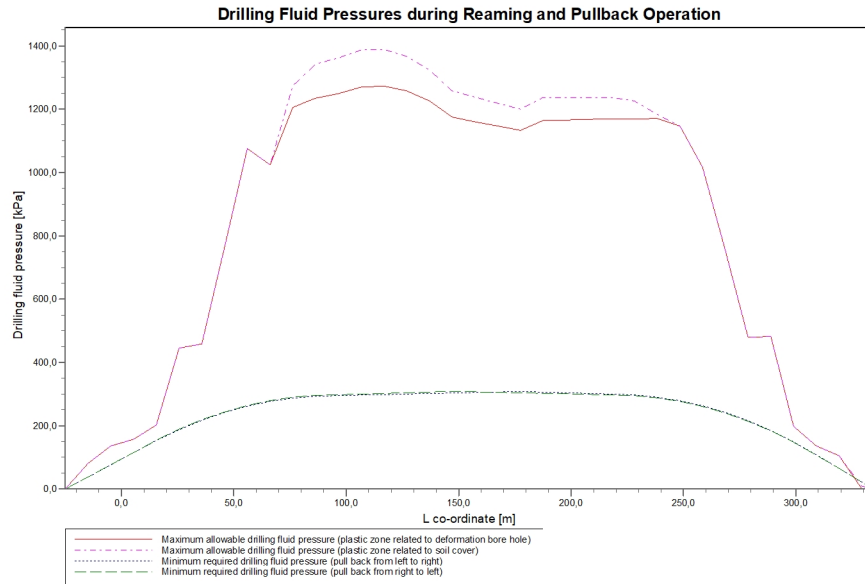
#### 4.3.1 Drilling Fluid Pressures during Pilot



#### 4.3.2 Drilling Fluid Pressures during Prereaming



### 4.3.3 Drilling Fluid Pressures during Reaming and Pullback Operation



## 5 Soil Mechanical Data

### 5.1 Soil Mechanical Parameters Pipe 1: pipe nr. 1

The list with data and issues is shown hereafter:

Note: safety factors not applied.

q_v;p	Passive soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q_v;n	Neutral soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q_h;n	Neutral horizontal soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q_v,r;n	Reduced neutral soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q_traffic	Traffic load	kN/m <sup>2</sup>
q_v;e	Vertical bearing capacity	kN/m <sup>2</sup>
q_h;e	Horizontal bearing capacity	kN/m <sup>2</sup>
k_v;bot	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m <sup>3</sup>
k_v;top	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m <sup>3</sup>
k_h	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m <sup>3</sup>
t_max	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m <sup>2</sup>
d_max	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	q_v;p [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_h;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v,r;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_traffic [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;e [kN/m <sup>2</sup> ]
1	0	0	0	0	0	39
2	51	32	24	32	0	205
3	185	57	31	42	0	1926
4	753	89	42	56	0	3148
5	393	120	48	64	0	1589
6	428	132	44	60	0	1735
7	2153	186	49	66	2	8718
8	2451	217	31	42	0	10169
9	2844	259	21	29	0	12160
10	2386	209	16	22	0	9837
11	2812	255	16	21	0	11990
12	2886	264	15	21	2	12368
13	2924	268	15	21	2	12569
14	2983	274	15	21	2	12873
15	2992	275	15	21	0	12922
16	2950	271	15	21	2	12703
17	2860	261	15	21	2	12235
18	2717	245	15	21	0	11500
19	2675	240	15	21	0	11287
20	2637	236	15	20	0	11093
21	2599	232	15	20	0	10898
22	2687	242	15	21	0	11348
23	2690	242	15	21	0	11365
24	2695	243	15	21	0	11387
25	2701	243	15	21	0	11416
26	2699	243	16	21	0	11409
27	2709	244	16	22	0	11462
28	2852	260	19	26	0	12199
29	2926	268	27	36	0	12587
30	2831	258	53	71	2	12099
31	2617	235	59	80	0	11012
32	570	182	56	76	0	2341
33	1012	126	51	68	0	2017
34	642	74	37	50	0	2628
35	332	54	30	40	0	1905
36	69	26	19	26	0	695

Vertical no.	q_h;e [kN/m <sup>2</sup> ]	k_v;bot [kN/m <sup>3</sup> ]	k_v;top [kN/m <sup>3</sup> ]	k_h [kN/m <sup>3</sup> ]	t_max [kN/m <sup>2</sup> ]	d_max [mm]
1	0	0	0	0	0,05	7,5
2	51	25917	2070	18142	0,05	7,5
3	185	46078	25291	32255	0,05	7,5
4	753	59706	53185	41794	0,05	7,5

Vertical no.	q <sub>h</sub> ;e [kN/m <sup>2</sup> ]	k <sub>v</sub> ;bot [kN/m <sup>3</sup> ]	k <sub>v</sub> ;top [kN/m <sup>3</sup> ]	k <sub>h</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	t <sub>max</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	d <sub>max</sub> [mm]
5	393	6053	56953	4237	0,05	7,5
6	428	141553	5923	99087	0,05	7,5
7	2153	310872	278355	217610	0,05	7,5
8	2451	337132	319707	235992	0,05	7,5
9	2844	370728	354626	259509	0,05	7,5
10	2386	331230	313547	231861	0,05	7,5
11	2812	367934	351730	257553	0,05	7,5
12	2886	374087	358104	261861	0,05	7,5
13	2924	377315	361446	264121	0,05	7,5
14	2983	382164	366461	267515	0,05	7,5
15	2992	382951	367274	268066	0,05	7,5
16	2950	379468	363672	265627	0,05	7,5
17	2860	371921	355862	260345	0,05	7,5
18	2717	359844	343339	251890	0,05	7,5
19	2675	356278	339637	249395	0,05	7,5
20	2637	352999	336230	247099	0,05	7,5
21	2599	349696	332795	244787	0,05	7,5
22	2687	357301	340700	250111	0,05	7,5
23	2690	357584	340993	250309	0,05	7,5
24	2695	357946	341369	250562	0,05	7,5
25	2701	358443	341885	250910	0,05	7,5
26	2699	358330	341768	250831	0,05	7,5
27	2709	359219	342691	251453	0,05	7,5
28	2852	371350	355270	259945	0,05	7,5
29	2926	377632	361773	264342	0,05	7,5
30	2831	369767	353630	258837	0,05	7,5
31	2617	351718	96944	246203	0,05	7,5
32	570	8505	7917	5954	0,05	7,5
33	1012	10299	65316	7209	0,05	7,5
34	642	54666	47593	38266	0,05	7,5
35	466	42329	20741	29630	0,05	7,5
36	269	3095	3017	2167	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q <sub>v</sub> ;n;max = 275 kN/m <sup>2</sup>
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q <sub>traffic</sub> ;max = 80 kN/m <sup>2</sup>
Maximum reduced soil stress	:	q <sub>v</sub> ;r;n;max = 80 kN/m <sup>2</sup>
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k <sub>v</sub> ;max = 382951 kN/m <sup>3</sup>
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k <sub>v</sub> ;max = 765902 kN/m <sup>3</sup>

## 5.2 Soil Mechanical Parameters Pipe 2: pipe nr. 2

The list with data and issues is shown hereafter:

Note: safety factors not applied.

q <sub>v</sub> ;p	Passive soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>v</sub> ;n	Neutral soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>h</sub> ;n	Neutral horizontal soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>v</sub> ;r;n	Reduced neutral soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>traffic</sub>	Traffic load	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>v</sub> ;e	Vertical bearing capacity	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>h</sub> ;e	Horizontal bearing capacity	kN/m <sup>2</sup>
k <sub>v</sub> ;bot	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m <sup>3</sup>
k <sub>v</sub> ;top	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m <sup>3</sup>
k <sub>h</sub>	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m <sup>3</sup>
t <sub>max</sub>	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m <sup>2</sup>
d <sub>max</sub>	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	q <sub>v</sub> ;p [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>v</sub> ;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>h</sub> ;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>v</sub> ;r;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>traffic</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>v</sub> ;e [kN/m <sup>2</sup> ]
1	0	0	0	0	0	39
2	51	32	24	32	0	205
3	185	57	31	42	0	1926

Vertical no.	q_v;p [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_h;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;r;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_traffic [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;e [kN/m <sup>2</sup> ]
4	753	89	42	56	0	3148
5	393	120	48	64	0	1589
6	428	132	44	60	0	1735
7	2153	186	49	66	2	8718
8	2451	217	31	42	0	10169
9	2844	259	21	29	0	12160
10	2386	209	16	22	0	9837
11	2812	255	16	21	0	11990
12	2886	264	15	21	2	12368
13	2924	268	15	21	2	12569
14	2983	274	15	21	2	12873
15	2992	275	15	21	0	12922
16	2950	271	15	21	2	12703
17	2860	261	15	21	2	12235
18	2717	245	15	21	0	11500
19	2675	240	15	21	0	11287
20	2637	236	15	20	0	11093
21	2599	232	15	20	0	10898
22	2687	242	15	21	0	11348
23	2690	242	15	21	0	11365
24	2695	243	15	21	0	11387
25	2701	243	15	21	0	11416
26	2699	243	16	21	0	11409
27	2709	244	16	22	0	11462
28	2852	260	19	26	0	12199
29	2926	268	27	36	0	12587
30	2831	258	53	71	2	12099
31	2617	235	59	80	0	11012
32	570	182	56	76	0	2341
33	1012	126	51	68	0	2017
34	642	74	37	50	0	2628
35	332	54	30	40	0	1905
36	69	26	19	26	0	695

Vertical no.	q_h;e [kN/m <sup>2</sup> ]	k_v;bot [kN/m <sup>3</sup> ]	k_v;top [kN/m <sup>3</sup> ]	k_h [kN/m <sup>3</sup> ]	t_max [kN/m <sup>2</sup> ]	d_max [mm]
1	0	0	0	0	0,05	7,5
2	51	25917	2070	18142	0,05	7,5
3	185	46078	25291	32255	0,05	7,5
4	753	59706	53185	41794	0,05	7,5
5	393	6053	56953	4237	0,05	7,5
6	428	141553	5923	99087	0,05	7,5
7	2153	310872	278355	217610	0,05	7,5
8	2451	337132	319707	235992	0,05	7,5
9	2844	370728	354626	259509	0,05	7,5
10	2386	331230	313547	231861	0,05	7,5
11	2812	367934	351730	257553	0,05	7,5
12	2886	374087	358104	261861	0,05	7,5
13	2924	377315	361446	264121	0,05	7,5
14	2983	382164	366461	267515	0,05	7,5
15	2992	382951	367274	268066	0,05	7,5
16	2950	379468	363672	265627	0,05	7,5
17	2860	371921	355862	260345	0,05	7,5
18	2717	359844	343339	251890	0,05	7,5
19	2675	356278	339637	249395	0,05	7,5
20	2637	352999	336230	247099	0,05	7,5
21	2599	349696	332795	244787	0,05	7,5
22	2687	357301	340700	250111	0,05	7,5
23	2690	357584	340993	250309	0,05	7,5
24	2695	357946	341369	250562	0,05	7,5
25	2701	358443	341885	250910	0,05	7,5
26	2699	358330	341768	250831	0,05	7,5
27	2709	359219	342691	251453	0,05	7,5
28	2852	371350	355270	259945	0,05	7,5
29	2926	377632	361773	264342	0,05	7,5

Vertical no.	q <sub>h</sub> ;e [kN/m <sup>2</sup> ]	k <sub>v</sub> ;bot [kN/m <sup>3</sup> ]	k <sub>v</sub> ;top [kN/m <sup>3</sup> ]	k <sub>h</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	t <sub>max</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	d <sub>max</sub> [mm]
30	2831	369767	353630	258837	0,05	7,5
31	2617	351718	96944	246203	0,05	7,5
32	570	8505	7917	5954	0,05	7,5
33	1012	10299	65316	7209	0,05	7,5
34	642	54666	47593	38266	0,05	7,5
35	466	42329	20741	29630	0,05	7,5
36	269	3095	3017	2167	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q <sub>v;n</sub> ;max = 275 kN/m <sup>2</sup>
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q <sub>traffic</sub> ;max = 80 kN/m <sup>2</sup>
Maximum reduced soil stress	:	q <sub>v;r;n</sub> ;max = 80 kN/m <sup>2</sup>
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k <sub>v</sub> ;max = 382951 kN/m <sup>3</sup>
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k <sub>v</sub> ;max = 765902 kN/m <sup>3</sup>

### 5.3 Soil Mechanical Parameters Pipe 3: pipe nr. 3

The list with data and issues is shown hereafter:

Note: safety factors not applied.

q <sub>v;p</sub>	Passive soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>v;n</sub>	Neutral soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>h;n</sub>	Neutral horizontal soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>v;r;n</sub>	Reduced neutral soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>traffic</sub>	Traffic load	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>v</sub> ;e	Vertical bearing capacity	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>h</sub> ;e	Horizontal bearing capacity	kN/m <sup>2</sup>
k <sub>v</sub> ;bot	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m <sup>3</sup>
k <sub>v</sub> ;top	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m <sup>3</sup>
k <sub>h</sub>	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m <sup>3</sup>
t <sub>max</sub>	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m <sup>2</sup>
d <sub>max</sub>	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	q <sub>v;p</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>v;n</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>h;n</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>v;r;n</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>traffic</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>v</sub> ;e [kN/m <sup>2</sup> ]
1	0	0	0	0	0	39
2	51	32	24	32	0	205
3	185	57	31	42	0	1926
4	753	89	42	56	0	3148
5	393	120	48	64	0	1589
6	428	132	44	60	0	1735
7	2153	186	49	66	2	8718
8	2451	217	31	42	0	10169
9	2844	259	21	29	0	12160
10	2386	209	16	22	0	9837
11	2812	255	16	21	0	11990
12	2886	264	15	21	2	12368
13	2924	268	15	21	2	12569
14	2983	274	15	21	2	12873
15	2992	275	15	21	0	12922
16	2950	271	15	21	2	12703
17	2860	261	15	21	2	12235
18	2717	245	15	21	0	11500
19	2675	240	15	21	0	11287
20	2637	236	15	20	0	11093
21	2599	232	15	20	0	10898
22	2687	242	15	21	0	11348
23	2690	242	15	21	0	11365
24	2695	243	15	21	0	11387
25	2701	243	15	21	0	11416
26	2699	243	16	21	0	11409
27	2709	244	16	22	0	11462
28	2852	260	19	26	0	12199

Vertical no.	q_v;p [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_h;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;r;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_traffic [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;e [kN/m <sup>2</sup> ]
29	2926	268	27	36	0	12587
30	2831	258	53	71	2	12099
31	2617	235	59	80	0	11012
32	570	182	56	76	0	2341
33	1012	126	51	68	0	2017
34	642	74	37	50	0	2628
35	332	54	30	40	0	1905
36	69	26	19	26	0	695

Vertical no.	q_h;e [kN/m <sup>2</sup> ]	k_v;bot [kN/m <sup>3</sup> ]	k_v;top [kN/m <sup>3</sup> ]	k_h [kN/m <sup>3</sup> ]	t_max [kN/m <sup>2</sup> ]	d_max [mm]
1	0	0	0	0	0,05	7,5
2	51	25917	2070	18142	0,05	7,5
3	185	46078	25291	32255	0,05	7,5
4	753	59706	53185	41794	0,05	7,5
5	393	6053	56953	4237	0,05	7,5
6	428	141553	5923	99087	0,05	7,5
7	2153	310872	278355	217610	0,05	7,5
8	2451	337132	319707	235992	0,05	7,5
9	2844	370728	354626	259509	0,05	7,5
10	2386	331230	313547	231861	0,05	7,5
11	2812	367934	351730	257553	0,05	7,5
12	2886	374087	358104	261861	0,05	7,5
13	2924	377315	361446	264121	0,05	7,5
14	2983	382164	366461	267515	0,05	7,5
15	2992	382951	367274	268066	0,05	7,5
16	2950	379468	363672	265627	0,05	7,5
17	2860	371921	355862	260345	0,05	7,5
18	2717	359844	343339	251890	0,05	7,5
19	2675	356278	339637	249395	0,05	7,5
20	2637	352999	336230	247099	0,05	7,5
21	2599	349696	332795	244787	0,05	7,5
22	2687	357301	340700	250111	0,05	7,5
23	2690	357584	340993	250309	0,05	7,5
24	2695	357946	341369	250562	0,05	7,5
25	2701	358443	341885	250910	0,05	7,5
26	2699	358330	341768	250831	0,05	7,5
27	2709	359219	342691	251453	0,05	7,5
28	2852	371350	355270	259945	0,05	7,5
29	2926	377632	361773	264342	0,05	7,5
30	2831	369767	353630	258837	0,05	7,5
31	2617	351718	96944	246203	0,05	7,5
32	570	8505	7917	5954	0,05	7,5
33	1012	10299	65316	7209	0,05	7,5
34	642	54666	47593	38266	0,05	7,5
35	466	42329	20741	29630	0,05	7,5
36	269	3095	3017	2167	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q_v;n;max = 275 kN/m <sup>2</sup>
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q_traffic;max = 80 kN/m <sup>2</sup>
Maximum reduced soil stress	:	q_v;r;n;max = 80 kN/m <sup>2</sup>
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k_v;max = 382951 kN/m <sup>3</sup>
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k_v;max = 765902 kN/m <sup>3</sup>

#### 5.4 Soil Mechanical Parameters Pipe 4: pipe nr. 4

The list with data and issues is shown hereafter:

Note: safety factors not applied.

q_v;p	Passive soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q_v;n	Neutral soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q_h;n	Neutral horizontal soil stress	kN/m <sup>2</sup>

q_v;r;n	Reduced neutral soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q_traffic	Traffic load	kN/m <sup>2</sup>
q_v;e	Vertical bearing capacity	kN/m <sup>2</sup>
q_h;e	Horizontal bearing capacity	kN/m <sup>2</sup>
k_v;bot	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m <sup>3</sup>
k_v;top	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m <sup>3</sup>
k_h	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m <sup>3</sup>
t_max	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m <sup>2</sup>
d_max	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	q_v;p [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_h;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;r;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_traffic [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;e [kN/m <sup>2</sup> ]
1	0	0	0	0	0	39
2	51	32	24	32	0	205
3	185	57	31	42	0	1926
4	753	89	42	56	0	3148
5	393	120	48	64	0	1589
6	428	132	44	60	0	1735
7	2153	186	49	66	2	8718
8	2451	217	31	42	0	10169
9	2844	259	21	29	0	12160
10	2386	209	16	22	0	9837
11	2812	255	16	21	0	11990
12	2886	264	15	21	2	12368
13	2924	268	15	21	2	12569
14	2983	274	15	21	2	12873
15	2992	275	15	21	0	12922
16	2950	271	15	21	2	12703
17	2860	261	15	21	2	12235
18	2717	245	15	21	0	11500
19	2675	240	15	21	0	11287
20	2637	236	15	20	0	11093
21	2599	232	15	20	0	10898
22	2687	242	15	21	0	11348
23	2690	242	15	21	0	11365
24	2695	243	15	21	0	11387
25	2701	243	15	21	0	11416
26	2699	243	16	21	0	11409
27	2709	244	16	22	0	11462
28	2852	260	19	26	0	12199
29	2926	268	27	36	0	12587
30	2831	258	53	71	2	12099
31	2617	235	59	80	0	11012
32	570	182	56	76	0	2341
33	1012	126	51	68	0	2017
34	642	74	37	50	0	2628
35	332	54	30	40	0	1905
36	69	26	19	26	0	695

Vertical no.	q_h;e [kN/m <sup>2</sup> ]	k_v;bot [kN/m <sup>3</sup> ]	k_v;top [kN/m <sup>3</sup> ]	k_h [kN/m <sup>3</sup> ]	t_max [kN/m <sup>2</sup> ]	d_max [mm]
1	0	0	0	0	0,05	7,5
2	51	25917	2070	18142	0,05	7,5
3	185	46078	25291	32255	0,05	7,5
4	753	59706	53185	41794	0,05	7,5
5	393	6053	56953	4237	0,05	7,5
6	428	141553	5923	99087	0,05	7,5
7	2153	310872	278355	217610	0,05	7,5
8	2451	337132	319707	235992	0,05	7,5
9	2844	370728	354626	259509	0,05	7,5
10	2386	331230	313547	231861	0,05	7,5
11	2812	367934	351730	257553	0,05	7,5
12	2886	374087	358104	261861	0,05	7,5
13	2924	377315	361446	264121	0,05	7,5
14	2983	382164	366461	267515	0,05	7,5
15	2992	382951	367274	268066	0,05	7,5
16	2950	379468	363672	265627	0,05	7,5



Vertical no.	q <sub>h;e</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	k <sub>v;bot</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	k <sub>v;top</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	k <sub>h</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	t <sub>max</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	d <sub>max</sub> [mm]
17	2860	371921	355862	260345	0,05	7,5
18	2717	359844	343339	251890	0,05	7,5
19	2675	356278	339637	249395	0,05	7,5
20	2637	352999	336230	247099	0,05	7,5
21	2599	349696	332795	244787	0,05	7,5
22	2687	357301	340700	250111	0,05	7,5
23	2690	357584	340993	250309	0,05	7,5
24	2695	357946	341369	250562	0,05	7,5
25	2701	358443	341885	250910	0,05	7,5
26	2699	358330	341768	250831	0,05	7,5
27	2709	359219	342691	251453	0,05	7,5
28	2852	371350	355270	259945	0,05	7,5
29	2926	377632	361773	264342	0,05	7,5
30	2831	369767	353630	258837	0,05	7,5
31	2617	351718	96944	246203	0,05	7,5
32	570	8505	7917	5954	0,05	7,5
33	1012	10299	65316	7209	0,05	7,5
34	642	54666	47593	38266	0,05	7,5
35	466	42329	20741	29630	0,05	7,5
36	269	3095	3017	2167	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q <sub>v;n;max</sub> = 275 kN/m <sup>2</sup>
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q <sub>traffic;max</sub> = 80 kN/m <sup>2</sup>
Maximum reduced soil stress	:	q <sub>v;r;n;max</sub> = 80 kN/m <sup>2</sup>
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k <sub>v;max</sub> = 382951 kN/m <sup>3</sup>
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k <sub>v;max</sub> = 765902 kN/m <sup>3</sup>

### 5.5 Young's Modulus per Layer per Vertical

Layer number	Material name	Type of determination
8	Zand, sterk siltig, kleig	Calculated with E100
7	Klei, sterk zandig	Calculated with E100
6	Veen, slap	Calculated with E100
5	Zand, schoon, matig	Calculated with E100
4	Klei, sterk zandig	Calculated with E100
3	Zand, schoon, matig	Calculated with E100
2	Klei, zwak zandig, matig	Calculated with E100
1	Zand, schoon, vast	Calculated with E100

Layer number	Vertical 1 (L=-25 m)		Vertical 2 (L=-14,875 m)		Vertical 3 (L=-4,75 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
8	0,000	4,954	0,000	4,911	0,000	4,867
7	0,650	0,815	0,641	0,807	0,632	0,799
6	0,081	0,083	0,081	0,083	0,080	0,082
5	17,374	21,951	17,272	21,866	17,170	21,780
4	1,213	1,356	1,206	1,345	1,198	1,335
3	23,534	33,074	23,416	33,007	23,297	32,940
2	3,507	4,228	3,495	4,221	3,484	4,215
1	111,520	154,983	111,414	154,835	111,308	154,687

Layer number	Vertical 4 (L=5,375 m)		Vertical 5 (L=15,5 m)		Vertical 6 (L=25,625 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
8	0,000	4,824	0,000	4,665	0,000	3,157
7	0,623	0,791	0,590	0,762	0,316	0,511
6	0,079	0,081	0,076	0,078	0,051	0,053
5	17,067	21,694	16,673	21,380	13,121	18,736
4	1,191	1,324	1,163	1,293	0,942	1,075
3	23,178	32,872	22,845	32,656	20,348	30,979
2	3,473	4,208	3,436	4,178	3,158	3,918

Layer number	Vertical 4 (L=5,375 m)		Vertical 5 (L=15,5 m)		Vertical 6 (L=25,625 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
1	111,202	154,538	110,700	154,105	106,349	150,936

Layer number	Vertical 7 (L=35,75 m)		Vertical 8 (L=45,875 m)		Vertical 9 (L=56 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
8	0,000	6,234	0,000	6,868	0,000	8,471
7	0,939	1,095	1,096	1,248	1,534	1,674
6	0,110	0,111	0,125	0,126	0,167	0,169
5	20,798	24,723	22,529	26,192	27,004	30,123
4	1,468	1,584	1,610	1,720	2,013	2,115
3	25,931	34,916	27,302	35,962	31,064	38,910
2	3,825	4,558	4,009	4,739	4,548	5,261
1	116,883	158,464	119,770	160,536	127,857	166,590

Layer number	Vertical 10 (L=66,125 m)		Vertical 11 (L=76,25 m)		Vertical 12 (L=86,375 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
8	0,000	2,963	0,000	6,788	0,000	7,070
7	0,286	0,488	1,076	1,230	1,148	1,301
6	0,049	0,051	0,123	0,125	0,130	0,132
5	12,753	18,456	22,330	26,008	23,110	26,676
4	0,919	1,038	1,591	1,692	1,657	1,754
3	19,910	30,766	27,026	35,800	27,637	36,279
2	3,124	3,904	3,981	4,724	4,066	4,811
1	106,098	150,463	119,536	160,153	120,896	161,102

Layer number	Vertical 13 (L=96,5 m)		Vertical 14 (L=106,625 m)		Vertical 15 (L=116,75 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
8	0,000	7,344	0,000	7,783	0,000	7,860
7	1,221	1,372	1,339	1,488	1,361	1,509
6	0,137	0,139	0,149	0,150	0,151	0,152
5	23,874	27,336	25,100	28,409	25,320	28,600
4	1,724	1,816	1,833	1,921	1,853	1,937
3	28,243	36,758	29,252	37,554	29,407	37,690
2	4,152	4,898	4,297	5,041	4,322	5,069
1	122,258	162,058	124,480	163,673	124,914	163,935

Layer number	Vertical 16 (L=126,875 m)		Vertical 17 (L=137 m)		Vertical 18 (L=147,125 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
8	0,000	7,566	0,000	6,882	0,000	5,640
7	1,280	1,432	1,100	1,258	0,800	0,970
6	0,143	0,145	0,126	0,127	0,097	0,099
5	24,507	27,878	22,627	26,237	19,293	23,418
4	1,779	1,860	1,614	1,694	1,346	1,426
3	28,674	37,136	27,047	35,910	24,285	33,896
2	4,221	4,976	4,000	4,769	3,647	4,436
1	123,477	162,774	120,238	160,262	114,924	156,243

Layer number	Vertical 19 (L=157,25 m)		Vertical 20 (L=167,375 m)		Vertical 21 (L=177,5 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
8	0,000	5,233	0,000	4,835	0,000	4,400
7	0,710	0,885	0,625	0,806	0,538	0,726
6	0,089	0,090	0,081	0,082	0,073	0,074
5	18,242	22,555	17,231	21,740	16,157	20,894
4	1,267	1,345	1,195	1,271	1,121	1,195
3	23,416	33,295	22,593	32,739	21,739	32,172
2	3,544	4,343	3,450	4,257	3,355	4,172
1	113,405	155,057	112,010	153,967	110,596	152,869

Layer number	Vertical 22 (L=187,625 m)		Vertical 23 (L=197,75 m)		Vertical 24 (L=207,875 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
8	0,000	5,396	0,000	5,443	0,000	5,498
7	0,745	0,922	0,756	0,932	0,768	0,945
6	0,092	0,094	0,093	0,095	0,094	0,096
5	18,688	22,902	18,816	23,002	18,968	23,122
4	1,298	1,366	1,308	1,371	1,318	1,379
3	23,637	33,501	23,696	33,560	23,774	33,632
2	3,580	4,389	3,590	4,403	3,602	4,419
1	114,163	155,398	114,388	155,492	114,649	155,612

Layer number	Vertical 25 (L=218 m)		Vertical 26 (L=228,125 m)		Vertical 27 (L=238,25 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
8	0,000	5,568	0,000	5,651	0,000	6,194
7	0,784	0,960	0,802	0,979	0,929	1,101
6	0,096	0,098	0,098	0,099	0,110	0,112
5	19,160	23,274	19,383	23,453	20,829	24,658
4	1,332	1,389	1,349	1,402	1,461	1,510
3	23,885	33,727	24,022	33,841	25,164	34,677
2	3,618	4,439	3,638	4,462	3,783	4,604
1	114,970	155,777	115,342	155,980	117,624	157,605

Layer number	Vertical 28 (L=248,375 m)		Vertical 29 (L=258,5 m)		Vertical 30 (L=268,625 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
8	0,000	7,997	0,000	9,311	0,000	9,767
7	1,399	1,555	1,784	1,933	1,926	2,072
6	0,156	0,157	0,193	0,195	0,207	0,208
5	25,777	28,955	29,487	32,298	30,789	33,488
4	1,890	1,932	2,251	2,288	2,385	2,418
3	29,356	37,844	32,631	40,451	33,783	41,399
2	4,350	5,151	4,840	5,625	5,022	5,805
1	126,170	164,013	133,312	169,503	135,966	171,534

Layer number	Vertical 31 (L=278,75 m)		Vertical 32 (L=288,875 m)		Vertical 33 (L=299 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
8	0,000	9,800	0,000	8,110	0,000	5,908
7	1,936	2,083	1,430	1,589	0,862	1,040
6	0,208	0,210	0,159	0,160	0,104	0,105
5	30,889	33,577	26,114	29,240	20,112	24,027
4	2,395	2,425	1,920	1,949	1,402	1,430
3	33,844	41,462	29,516	38,027	24,324	34,171
2	5,035	5,821	4,384	5,200	3,695	4,546
1	136,199	171,654	126,920	164,320	116,702	156,492

Layer number	Vertical 34 (L=309,125 m)		Vertical 35 (L=319,25 m)		Vertical 36 (L=329,375 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
8	0,000	4,347	0,000	5,916	0,000	5,933
7	0,527	0,727	0,863	1,044	0,867	1,048
6	0,073	0,074	0,104	0,106	0,105	0,106
5	16,147	20,816	20,147	24,047	20,200	24,086
4	1,114	1,140	1,404	1,425	1,408	1,425
3	21,116	31,985	24,270	34,166	24,272	34,184
2	3,324	4,200	3,694	4,554	3,697	4,561
1	111,058	152,256	116,827	156,442	116,943	156,458

## 6 Data for Stress Analysis

### 6.1 General Data

Number of pipes in bundle	:	Npipes = 4 [-]
Pipeline diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m <sup>3</sup>
Pipeline diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m <sup>3</sup>
Pipeline diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m <sup>3</sup>
Pipeline diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m <sup>3</sup>
Equivalent pipeline diameter	:	Do = 831,29 mm
Equivalent wall thickness	:	t = 41,62 mm
Equivalent unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m <sup>3</sup>
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 201794 kN/m <sup>3</sup>
Unit weight drilling fluid pullback operation	:	gamma_b = 11,10 kN/m <sup>3</sup>
Bending radius on rollers	:	Rrol = 500,000 m
Friction coefficient pipe/rollers	:	f1 = 0,10
Friction between pipe and drilling fluid	:	f2 = 0,000050 N/mm <sup>2</sup>
Friction coefficient pipe / soil	:	f3 = 0,20

### 6.2 Buoyancy Control

The friction between soil and pipe is partially caused by buoyancy of the pipeline in the drilling fluid. Uplift forces resulting from buoyancy can be neutralized by filling the pipeline. The optimal volume of fluid placed in the pipe provides the most advantageous distribution of buoyant forces.

Buoyancy of the pipeline when filled with fluid for 0%

Uplift forces	:	353	[kg/m]
Weight of pipeline (including filling)	:	100	[kg/m]
Result	:	252	[kg/m] (Pipeline moves upwards)

### 6.3 Calculation Pulling Force

During the pullback operation the pipe experiences friction which is based on:

- friction between pipe and pipe-roller (f1 = 0,10 )
- friction between pipe and drilling fluid (f2 = 0,000050 [N/mm<sup>2</sup>] )
- friction between pipe and soil (f3 = 0,20 )

Due to the friction a pulling force is induced in the pipeline.  
The pulling direction of the product pipe is from right to left.

This calculation takes into account that the length of the pipe on the rollers decreases while pulling back the pipeline. During the pull back operation the bore hole is supposed to be stable.

Characteristic points	Length pipe in bore hole (m)	Characteristic value pulling force (kN)
T1	0	36
T2	29	52
T3	117	109

---

Characteristic points	Length pipe in bore hole (m)	Characteristic value pulling force (kN)
T4	247	196
T5	326	258
T6	366	280

The calculated values for the pulling force are characteristic values (without safety factor). According to article E.1.2.1 of NEN 3650-1:2012 it is recommended to use a total factor for stochastic variation and model uncertainty ( $\gamma$ ) of at least 1.4 for the stress analysis. In the pipe stress analysis (next chapter), a factor of 1,80 is used and a load factor of 1,00.

## 7 Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1

### 7.1 Material Data of Pipe 1: pipe nr. 1

The list with data and issues is shown hereafter:

Material pipeline	:	Polyethene PE100
Outer diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Design pressure	:	pd = 0,00 bar
Test pressure	:	pt = 0,00 bar
Temperature variation	:	dt = 0,00 deg Celcius
Length pipeline	:	L = 366 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm <sup>2</sup>
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm <sup>2</sup>
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm <sup>2</sup>
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm <sup>2</sup>
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m <sup>3</sup>
Bedding angle	:	beta = 30 degrees
Load angle	:	alpha = 30 degrees
Moment coefficient soil top (indirect)	:	kt' = 0,078
Moment coefficient soil bottom (indirect)	:	kb' = 0,179
Moment coefficient soil top (direct)	:	kt = 0,257
Moment coefficient soil bottom (direct)	:	kb = 0,257
Deflection coefficient (indirect)	:	ky' = 0,071
Deflection coefficient (direct)	:	ky = 0,143
Maximal reduced vertical soil load (without safety factor)	:	q_v;r;n;max = 80 kN/m <sup>2</sup>
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m <sup>2</sup>
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 382951 kN/m <sup>3</sup>
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 250,000 m
Load factor on installation	:	f_install = 1,00
Load factor on reduced neutral soil stress q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Load factor on design pressure	:	f_pd = 1,00
Load factor on design pressure (combination)	:	f_pd;comb = 1,00
Load factor on test pressure	:	f_pt = 1,00
Load factor on temperature	:	f_temp = 1,10
Load factor on traffic load	:	f_v = 1,35
Contingency factor on bending radius	:	f_R = 1,10
Contingency factor on modulus of subgrade reaction	:	f_kv = 2,00
Contingency factor on bending moment	:	f_k = 1,40
Total factor on pulling force for stoch. varia. and model uncertainty	:	f = 1,80
Linear settlement coefficient averaged between t1 and t2	:	alpha_g = 0,0001600 mm/mmK

### 7.2 Results Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1

In the calculation 5 load combinations are considered:

- Load combination 1A: start pull-back operation
- Load combination 1B: end of pull-back operation
- Load combination 2: application internal pressure
- Load combination 3: pipeline in operation, no inner pressure
- Load combination 4: pipeline in operation, pressure applied

The wall thickness is 28,7 mm. The calculation hereafter will prove that the pipeline wall thickness is sufficient. The calculations are in accordance with NEN 3650 series.

#### 7.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

$$\sigma_b = M_b/W_b = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot W_b) = 0,43 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 0,63 \text{ N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	0,91	N/mm <sup>2</sup>
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

### 7.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb) = 0,86 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A = 4,87 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 5,43 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

Load  $q_r$  on pipeline due to reaction of soil in bends (according to NEN 3650-1 annex 5 D3.3):

$$q_r = k_v \cdot y = (0.322 \cdot \Lambda^2 \cdot E \cdot I) / (D_o \cdot R / f_R)$$

$$\Lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25} = 3,9E-3 \text{ 1/mm}$$

$$q_r = 0,0178 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 1,05 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 0,68 \text{ N/mm}^2$$

### 7.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

$$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2)) = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py} = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot p_t \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2)) = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

### 7.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)

Axial stress:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb) = 0,31 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 0,20 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 0,63 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 10,15 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 7,01 \text{ N/mm}^2$$

### 7.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)

Axial stress:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb) = 0,31 \text{ N/mm}^2$$

Due to internal pressure :

$$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2)) = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
Maximum axial stress $\text{Sigma}_{a,max}$	=	0,20	N/mm <sup>2</sup>
Tangential stress:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,63	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	10,15	N/mm <sup>2</sup>
Rerounding factor $F_{rr}$	=	1,000	
Rerounding factor $F'_{rr}$	=	1,000	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximum tangential stress $\text{Sigma}_{t,max}$	=	7,01	N/mm <sup>2</sup>

### 7.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 1: pipe nr. 1

Load combination 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm <sup>2</sup> ]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
$\text{Sigma}_{ptest}$	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
$\text{Sigma}_{py}$	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
$\text{Sigma}_{axial}$	10,00 (short)	0,91	5,43	-	-	-
$\text{Sigma}_{axial}$	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,68	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	7,01	7,01

Stresses in pipeline [N/mm<sup>2</sup>]

The deflection of the pipeline is 14,1 mm (4,49% x Do). The maximum allowable deflection of the pipeline is 25,2 mm (8,00% x S x Do). The deflection is allowable.

For piggability the maximum allowable deflection of the pipeline is 15,8 mm (5,00% x Do). The deflection is allowable.

### 7.4 Check for Implosion of Pipe 1: pipe nr. 1

During the pullback operation the drilling fluid gives an external pressure. The highest minimum required drilling fluid pressure during the pullback operation is 308 kN/m<sup>2</sup>, this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m<sup>2</sup>.

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 241 kN/m<sup>2</sup>, this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m<sup>2</sup>.



## 8 Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2

### 8.1 Material Data of Pipe 2: pipe nr. 2

The list with data and issues is shown hereafter:

Material pipeline	:	Polyethene PE100
Outer diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Design pressure	:	pd = 0,00 bar
Test pressure	:	pt = 0,00 bar
Temperature variation	:	dt = 0,00 deg Celcius
Length pipeline	:	L = 366 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm <sup>2</sup>
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm <sup>2</sup>
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm <sup>2</sup>
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm <sup>2</sup>
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m <sup>3</sup>
Bedding angle	:	beta = 30 degrees
Load angle	:	alpha = 30 degrees
Moment coefficient soil top (indirect)	:	kt' = 0,078
Moment coefficient soil bottom (indirect)	:	kb' = 0,179
Moment coefficient soil top (direct)	:	kt = 0,257
Moment coefficient soil bottom (direct)	:	kb = 0,257
Deflection coefficient (indirect)	:	ky' = 0,071
Deflection coefficient (direct)	:	ky = 0,143
Maximal reduced vertical soil load (without safety factor)	:	q_v;r;n;max = 80 kN/m <sup>2</sup>
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m <sup>2</sup>
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 382951 kN/m <sup>3</sup>
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 250,000 m
Load factor on installation	:	f_install = 1,00
Load factor on reduced neutral soil stress q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Load factor on design pressure	:	f_pd = 1,00
Load factor on design pressure (combination)	:	f_pd;comb = 1,00
Load factor on test pressure	:	f_pt = 1,00
Load factor on temperature	:	f_temp = 1,10
Load factor on traffic load	:	f_v = 1,35
Contingency factor on bending radius	:	f_R = 1,10
Contingency factor on modulus of subgrade reaction	:	f_kv = 2,00
Contingency factor on bending moment	:	f_k = 1,40
Total factor on pulling force for stoch. varia. and model uncertainty	:	f = 1,80
Linear settlement coefficient averaged between t1 and t2	:	alpha_g = 0,0001600 mm/mmK

### 8.2 Results Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2

In the calculation 5 load combinations are considered:

- Load combination 1A: start pull-back operation
- Load combination 1B: end of pull-back operation
- Load combination 2: application internal pressure
- Load combination 3: pipeline in operation, no inner pressure
- Load combination 4: pipeline in operation, pressure applied

The wall thickness is 28,7 mm. The calculation hereafter will prove that the pipeline wall thickness is sufficient. The calculations are in accordance with NEN 3650 series.

#### 8.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

$$\begin{aligned} \sigma_b &= M_b/W_b = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot W_b) &= & 0,43 & \text{N/mm}^2 \\ \sigma_t &= f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A &= & 0,63 & \text{N/mm}^2 \end{aligned}$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	0,91	N/mm <sup>2</sup>
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

### 8.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

$\Sigma_b = M_b/W_b = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b)$	=	0,86	N/mm <sup>2</sup>
--	---	------	-------------------

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	4,87	N/mm <sup>2</sup>
--	---	------	-------------------

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	5,43	N/mm <sup>2</sup>
---------------------------------------	---	------	-------------------

Tangential stress:

Load  $q_r$  on pipeline due to reaction of soil in bends (according to NEN 3650-1 annex 5 D3.3):

$$q_r = k_v \cdot y = (0.322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I) / (D_o \cdot R / f_R)$$

$\lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	3,9E-3	1/mm
---	---	--------	------

$q_r$	=	0,0178	N/mm <sup>2</sup>
-------	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	1,05	N/mm <sup>2</sup>
--	---	------	-------------------

Maximum tangential stress $\Sigma_{t,max}$	=	0,68	N/mm <sup>2</sup>
--	---	------	-------------------

### 8.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2))$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
--	---	------	-------------------

$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py}$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
---------------------------------------	---	------	-------------------

$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot p_t \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2))$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
---	---	------	-------------------

### 8.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)

Axial stress:

$\Sigma_b = M_b/W_b = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b)$	=	0,31	N/mm <sup>2</sup>
--	---	------	-------------------

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	0,20	N/mm <sup>2</sup>
---------------------------------------	---	------	-------------------

Tangential stress:

$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	0,63	N/mm <sup>2</sup>
--	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	10,15	N/mm <sup>2</sup>
---	---	-------	-------------------

Maximum tangential stress $\Sigma_{t,max}$	=	7,01	N/mm <sup>2</sup>
--	---	------	-------------------

### 8.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)

Axial stress:

$\Sigma_b = M_b/W_b = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b)$	=	0,31	N/mm <sup>2</sup>
--	---	------	-------------------

Due to internal pressure :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2))$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
--	---	------	-------------------

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
Maximum axial stress $\text{Sigma}_{a,max}$	=	0,20	N/mm <sup>2</sup>
Tangential stress:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,63	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	10,15	N/mm <sup>2</sup>
Rerounding factor $F_{rr}$	=	1,000	
Rerounding factor $F'_{rr}$	=	1,000	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximum tangential stress $\text{Sigma}_{t,max}$	=	7,01	N/mm <sup>2</sup>

### 8.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 2: pipe nr. 2

Load combination 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm <sup>2</sup> ]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
$\text{Sigma}_{ptest}$	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
$\text{Sigma}_{py}$	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
$\text{Sigma}_{axial}$	10,00 (short)	0,91	5,43	-	-	-
$\text{Sigma}_{axial}$	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,68	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	7,01	7,01

Stresses in pipeline [N/mm<sup>2</sup>]

The deflection of the pipeline is 14,1 mm (4,49% x Do). The maximum allowable deflection of the pipeline is 25,2 mm (8,00% x S x Do). The deflection is allowable.

For piggability the maximum allowable deflection of the pipeline is 15,8 mm (5,00% x Do). The deflection is allowable.

### 8.4 Check for Implosion of Pipe 2: pipe nr. 2

During the pullback operation the drilling fluid gives an external pressure. The highest minimum required drilling fluid pressure during the pullback operation is 308 kN/m<sup>2</sup>, this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m<sup>2</sup>.

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 241 kN/m<sup>2</sup>, this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m<sup>2</sup>.

## 9 Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3

### 9.1 Material Data of Pipe 3: pipe nr. 3

The list with data and issues is shown hereafter:

Material pipeline	:	Polyethene PE100
Outer diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Design pressure	:	pd = 0,00 bar
Test pressure	:	pt = 0,00 bar
Temperature variation	:	dt = 0,00 deg Celcius
Length pipeline	:	L = 366 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm <sup>2</sup>
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm <sup>2</sup>
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm <sup>2</sup>
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm <sup>2</sup>
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m <sup>3</sup>
Bedding angle	:	beta = 30 degrees
Load angle	:	alpha = 30 degrees
Moment coefficient soil top (indirect)	:	kt' = 0,078
Moment coefficient soil bottom (indirect)	:	kb' = 0,179
Moment coefficient soil top (direct)	:	kt = 0,257
Moment coefficient soil bottom (direct)	:	kb = 0,257
Deflection coefficient (indirect)	:	ky' = 0,071
Deflection coefficient (direct)	:	ky = 0,143
Maximal reduced vertical soil load (without safety factor)	:	q_v;r;n;max = 80 kN/m <sup>2</sup>
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m <sup>2</sup>
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 382951 kN/m <sup>3</sup>
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 250,000 m
Load factor on installation	:	f_install = 1,00
Load factor on reduced neutral soil stress q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Load factor on design pressure	:	f_pd = 1,00
Load factor on design pressure (combination)	:	f_pd;comb = 1,00
Load factor on test pressure	:	f_pt = 1,00
Load factor on temperature	:	f_temp = 1,10
Load factor on traffic load	:	f_v = 1,35
Contingency factor on bending radius	:	f_R = 1,10
Contingency factor on modulus of subgrade reaction	:	f_kv = 2,00
Contingency factor on bending moment	:	f_k = 1,40
Total factor on pulling force for stoch. varia. and model uncertainty	:	f = 1,80
Linear settlement coefficient averaged between t1 and t2	:	alpha_g = 0,0001600 mm/mmK

### 9.2 Results Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3

In the calculation 5 load combinations are considered:

- Load combination 1A: start pull-back operation
- Load combination 1B: end of pull-back operation
- Load combination 2: application internal pressure
- Load combination 3: pipeline in operation, no inner pressure
- Load combination 4: pipeline in operation, pressure applied

The wall thickness is 28,7 mm. The calculation hereafter will prove that the pipeline wall thickness is sufficient. The calculations are in accordance with NEN 3650 series.

#### 9.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

$$\sigma_b = M_b/W_b = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot W_b) = 0,43 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 0,63 \quad \text{N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	0,91	N/mm <sup>2</sup>
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

### 9.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb) = 0,86 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A = 4,87 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 5,43 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

Load  $q_r$  on pipeline due to reaction of soil in bends (according to NEN 3650-1 annex 5 D3.3):

$$q_r = k_v \cdot y = (0.322 \cdot \Lambda^2 \cdot E \cdot I) / (D_o \cdot R / f_R)$$

$$\Lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25} = 3,9E-3 \text{ 1/mm}$$

$$q_r = 0,0178 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 1,05 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 0,68 \text{ N/mm}^2$$

### 9.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

$$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2)) = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py} = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot p_t \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2)) = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

### 9.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)

Axial stress:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb) = 0,31 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 0,20 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 0,63 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 10,15 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 7,01 \text{ N/mm}^2$$

### 9.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)

Axial stress:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb) = 0,31 \text{ N/mm}^2$$

Due to internal pressure :

$$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2)) = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \alpha_g \cdot E$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
Maximum axial stress $\text{Sigma}_{a,max}$	=	0,20	N/mm <sup>2</sup>
Tangential stress:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,63	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	10,15	N/mm <sup>2</sup>
Rerounding factor $F_{rr}$	=	1,000	
Rerounding factor $F'_{rr}$	=	1,000	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximum tangential stress $\text{Sigma}_{t,max}$	=	7,01	N/mm <sup>2</sup>

### 9.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 3: pipe nr. 3

Load combination 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm <sup>2</sup> ]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
$\text{Sigma}_{ptest}$	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
$\text{Sigma}_{py}$	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
$\text{Sigma}_{axial}$	10,00 (short)	0,91	5,43	-	-	-
$\text{Sigma}_{axial}$	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,68	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	7,01	7,01

Stresses in pipeline [N/mm<sup>2</sup>]

The deflection of the pipeline is 14,1 mm (4,49% x Do). The maximum allowable deflection of the pipeline is 25,2 mm (8,00% x S x Do). The deflection is allowable.

For piggability the maximum allowable deflection of the pipeline is 15,8 mm (5,00% x Do). The deflection is allowable.

### 9.4 Check for Implosion of Pipe 3: pipe nr. 3

During the pullback operation the drilling fluid gives an external pressure. The highest minimum required drilling fluid pressure during the pullback operation is 308 kN/m<sup>2</sup>, this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m<sup>2</sup>.

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 241 kN/m<sup>2</sup>, this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m<sup>2</sup>.

## 10 Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4

### 10.1 Material Data of Pipe 4: pipe nr. 4

The list with data and issues is shown hereafter:

Material pipeline	:	Polyethene PE100
Outer diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Design pressure	:	pd = 0,00 bar
Test pressure	:	pt = 0,00 bar
Temperature variation	:	dt = 0,00 deg Celcius
Length pipeline	:	L = 366 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm <sup>2</sup>
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm <sup>2</sup>
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm <sup>2</sup>
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm <sup>2</sup>
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m <sup>3</sup>
Bedding angle	:	beta = 30 degrees
Load angle	:	alpha = 30 degrees
Moment coefficient soil top (indirect)	:	kt' = 0,078
Moment coefficient soil bottom (indirect)	:	kb' = 0,179
Moment coefficient soil top (direct)	:	kt = 0,257
Moment coefficient soil bottom (direct)	:	kb = 0,257
Deflection coefficient (indirect)	:	ky' = 0,071
Deflection coefficient (direct)	:	ky = 0,143
Maximal reduced vertical soil load (without safety factor)	:	q_v;r;n;max = 80 kN/m <sup>2</sup>
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m <sup>2</sup>
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 382951 kN/m <sup>3</sup>
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 250,000 m
Load factor on installation	:	f_install = 1,00
Load factor on reduced neutral soil stress q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Load factor on design pressure	:	f_pd = 1,00
Load factor on design pressure (combination)	:	f_pd;comb = 1,00
Load factor on test pressure	:	f_pt = 1,00
Load factor on temperature	:	f_temp = 1,10
Load factor on traffic load	:	f_v = 1,35
Contingency factor on bending radius	:	f_R = 1,10
Contingency factor on modulus of subgrade reaction	:	f_kv = 2,00
Contingency factor on bending moment	:	f_k = 1,40
Total factor on pulling force for stoch. varia. and model uncertainty	:	f = 1,80
Linear settlement coefficient averaged between t1 and t2	:	alpha_g = 0,0001600 mm/mmK

### 10.2 Results Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4

In the calculation 5 load combinations are considered:

- Load combination 1A: start pull-back operation
- Load combination 1B: end of pull-back operation
- Load combination 2: application internal pressure
- Load combination 3: pipeline in operation, no inner pressure
- Load combination 4: pipeline in operation, pressure applied

The wall thickness is 28,7 mm. The calculation hereafter will prove that the pipeline wall thickness is sufficient.  
The calculations are in accordance with NEN 3650 series.

#### 10.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

$$\sigma_b = M_b/W_b = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot W_b) = 0,43 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 0,63 \quad \text{N/mm}^2$$



Maximum axial stress $\sigma_{a,max}$	=	0,91	N/mm <sup>2</sup>
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

### 10.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

$\sigma_b = M_b/W_b = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b)$	=	0,86	N/mm <sup>2</sup>
--	---	------	-------------------

$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	4,87	N/mm <sup>2</sup>
--	---	------	-------------------

Maximum axial stress $\sigma_{a,max}$	=	5,43	N/mm <sup>2</sup>
---------------------------------------	---	------	-------------------

Tangential stress:

Load  $q_r$  on pipeline due to reaction of soil in bends (according to NEN 3650-1 annex 5 D3.3):

$$q_r = k_v \cdot y = (0.322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I) / (D_o \cdot R / f_R)$$

$\lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	3,9E-3	1/mm
---	---	--------	------

$q_r$	=	0,0178	N/mm <sup>2</sup>
-------	---	--------	-------------------

$\sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	1,05	N/mm <sup>2</sup>
--	---	------	-------------------

Maximum tangential stress $\sigma_{t,max}$	=	0,68	N/mm <sup>2</sup>
--	---	------	-------------------

### 10.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

$\sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2))$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
--	---	------	-------------------

$\sigma_{px} = 0.5 \cdot \sigma_{py}$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
---------------------------------------	---	------	-------------------

$\sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot p_t \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2))$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
---	---	------	-------------------

### 10.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)

Axial stress:

$\sigma_b = M_b/W_b = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b)$	=	0,31	N/mm <sup>2</sup>
--	---	------	-------------------

Maximum axial stress $\sigma_{a,max}$	=	0,20	N/mm <sup>2</sup>
---------------------------------------	---	------	-------------------

Tangential stress:

$\sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	0,63	N/mm <sup>2</sup>
--	---	------	-------------------

$\sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	10,15	N/mm <sup>2</sup>
---	---	-------	-------------------

Maximum tangential stress $\sigma_{t,max}$	=	7,01	N/mm <sup>2</sup>
--	---	------	-------------------

### 10.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)

Axial stress:

$\sigma_b = M_b/W_b = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b)$	=	0,31	N/mm <sup>2</sup>
--	---	------	-------------------

Due to internal pressure :

$\sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2))$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
--	---	------	-------------------

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
Maximum axial stress $\text{Sigma}_{a,max}$	=	0,20	N/mm <sup>2</sup>
Tangential stress:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,63	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	10,15	N/mm <sup>2</sup>
Rerounding factor $F_{rr}$	=	1,000	
Rerounding factor $F'_{rr}$	=	1,000	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximum tangential stress $\text{Sigma}_{t,max}$	=	7,01	N/mm <sup>2</sup>

### 10.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 4: pipe nr. 4

Load combination 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm <sup>2</sup> ]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
$\text{Sigma}_{ptest}$	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
$\text{Sigma}_{py}$	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
$\text{Sigma}_{axial}$	10,00 (short)	0,91	5,43	-	-	-
$\text{Sigma}_{axial}$	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,68	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	7,01	7,01

Stresses in pipeline [N/mm<sup>2</sup>]

The deflection of the pipeline is 14,1 mm (4,49% x Do). The maximum allowable deflection of the pipeline is 25,2 mm (8,00% x S x Do). The deflection is allowable.

For piggability the maximum allowable deflection of the pipeline is 15,8 mm (5,00% x Do). The deflection is allowable.

### 10.4 Check for Implosion of Pipe 4: pipe nr. 4

During the pullback operation the drilling fluid gives an external pressure. The highest minimum required drilling fluid pressure during the pullback operation is 308 kN/m<sup>2</sup>, this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m<sup>2</sup>.

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 241 kN/m<sup>2</sup>, this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m<sup>2</sup>.

**End of Report**

D.7 002.678.20 1030722 13 Vergunningsrapportage

# Kruising 2 HDD's met 2 primaire waterkeringen en de Donge

Vergunningsrapport waterschap Brabantse Delta en  
Rijkswaterstaat



## Verantwoording

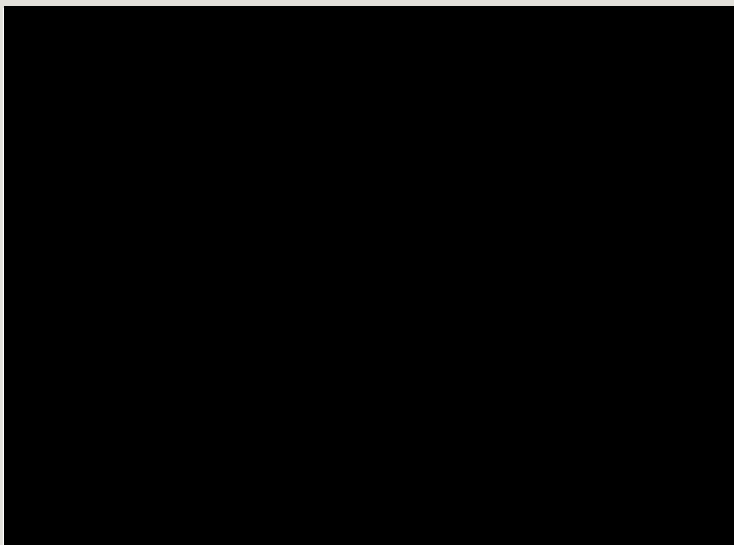
**Titel:** Kruising 2 HDD's met 2 primaire waterkeringen en de Donge  
**Onderwerp:** Vergunningsrapport waterschap Brabantse Delta en Rijkswaterstaat  
**Projectnummer:** 51001237  
**Klant:** TenneT  
**Referentienummer:** NL22-648800269-22776  
**Versie:** D1

**Datum:** 26-04-2022

**Auteurs:**  
**E-mailadres:**

**Gecontroleerd door:**  
**Paraaf gecontroleerd:**

**Vrijgegeven door:**  
**Paraaf vrijgegeven:**



# Inhoudsopgave

1.	Inleiding .....	5
1.1	Situatie .....	5
1.2	Leeswijzer .....	6
2.	Uitgangspunten .....	7
2.1	Gebruikte documenten .....	7
2.2	Vigerende normen en richtlijnen .....	7
2.3	Minimale dagmaat tot bestaande en nieuwe boringen .....	7
2.4	Horizontale afstand tot overige objecten .....	8
2.5	Diepteligging .....	9
2.6	Inwendige overdruk .....	9
2.7	Grondwaterstand .....	10
2.8	Belasting- en ondersteuningshoek .....	10
2.9	Importantiefactor .....	10
2.10	Geotechnische parameters .....	10
2.11	Boortechnische gegevens .....	12
2.12	Verkeersbelasting .....	12
2.13	Afwijkingstoleranties .....	12
3.	Ontwerp .....	13
3.1	Gegevens HDD .....	13
3.2	Boorparameters .....	14
3.3	Intredepunt .....	14
3.4	Uittredepunt en uitlegstrook .....	15
4.	Berekeningsresultaten .....	17
4.1	Trekkrachtberekening .....	18
4.1.1	Onderste HDD (HDD A) .....	18
4.1.2	Bovenste HDD (HDD B) .....	18
4.2	Sterkteberekening bedrijfsfase .....	18
4.2.1	Onderste HDD (HDD A) .....	18
4.2.2	Bovenste HDD (HDD A) .....	18
4.3	Muddrukberekening .....	18
4.3.1	Onderste HDD (HDD A) .....	18
4.3.2	Bovenste HDD (HDD B) .....	19
4.4	Implosie .....	20
4.4.1	Onderste HDD (HDD A) .....	20
4.4.2	Bovenste HDD (HDD B) .....	20
4.5	Kwelweg .....	20
4.5.1	Kwel uit het eerste watervoerende pakket .....	20

4.5.2	Kwel tussen de peilgebieden.....	20
4.5.3	Kwelmaatregelen.....	22
5.	Risico's en aandachtspunten .....	23
6.	Conclusie .....	25
6.1	Algemeen .....	25
6.2	Uitkomsten ontwerp en berekening.....	25
	Bijlage 1 – Ontwerptekening.....	26
	Bijlage 2 – Geotechnisch onderzoek .....	27
	Bijlage 3 – Berekening D-Geo Pipeline .....	28



# 1. Inleiding

TenneT is voornemens om delen van de bovengrondse 150 kV-verbindingen binnen het projectgebied van Zuid-West 380 kV Oost ondergronds te verkabelen. Het projectgebied loopt vanaf Rilland aan de westzijde tot aan Tilburg aan de oostzijde. Bij het ondergronds brengen van de kabels moeten circa 45 kruisingen sleufloos worden uitgevoerd door middel van horizontaal gestuurde boringen (HDD's) en persingen.

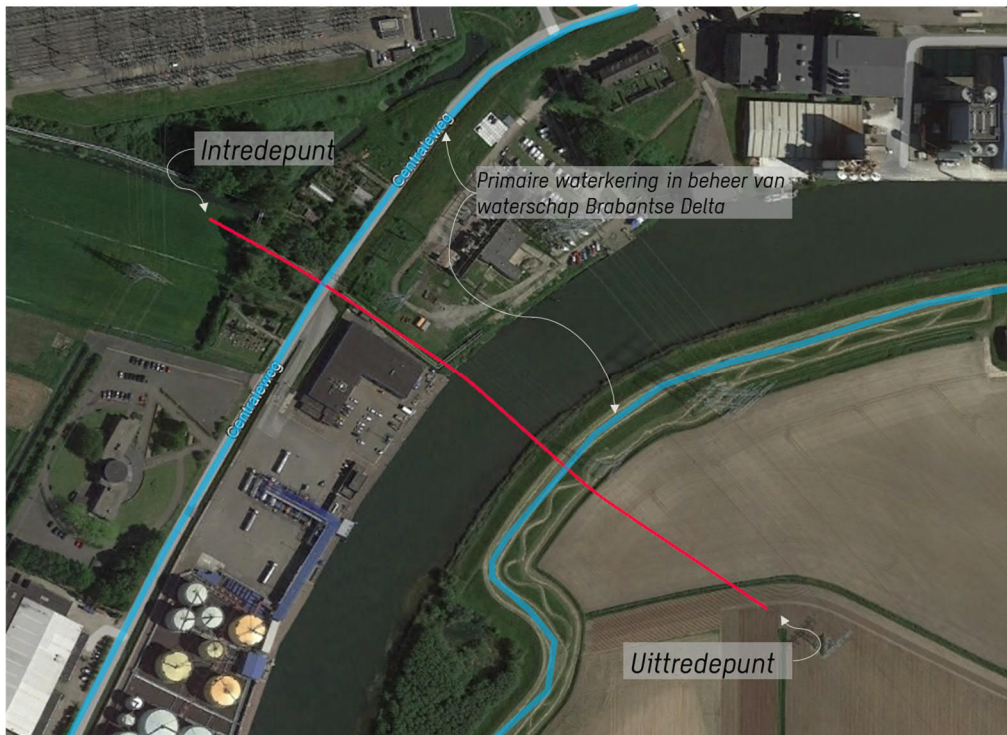
Dit rapport betreft de kruising van 2 HDD's met twee primaire waterkeringen en de Donge. De kruising (met codering GTB HDD3) is vergunningsplichtig bij waterschap Brabantse Delta en Rijkswaterstaat. Het ontwerp en de berekeningen zijn uitgevoerd conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020 en Richtlijn Boortechnieken.

## 1.1 Situatie

Het tracé van de HDD's start ten zuiden van het 150 kV station Geertruidenberg-Zuid en eindigt in het bouwland aan de oostzijde van de Donge (zie figuur 1). Het tracé bestaat uit twee 150kV-circuits, waardoor twee afzonderlijke parallelle HDD-bundels moeten worden gemaakt. Eén bundel bestaat uit 4 mantelbuizen PE100 Ø315 mm SDR 11. In drie van de mantelbuizen wordt een hoogspanningskabel ingetrokken en één mantelbuis is beschikbaar als reserve.

De twee HDD's liggen vanwege de beperkte ruimte onder elkaar, met een dagmaat van 6 meter tussen de boorgaten. De ruimte is hier beperkt door de aanwezigheid van de fundering van mast 212 (verbinding GT-OTD 150 kV) aan de noordzijde en het terrein van Varo Energy Terminal aan de zuidzijde. Tussen de mast en het terrein van Varo Energy Terminal is een strook van circa 10 m beschikbaar. Daarnaast is ten noorden van het tracé onderdoor de Donge een HDD-boring van Enexis geprojecteerd, waarmee rekening is gehouden.

De meest diepe HDD, HDD A, heeft een lengte van circa 436 m en een maximale diepte van NAP -25,7 m (hart van de boring). HDD B ligt boven HDD A en heeft een lengte van circa 406 m en een maximale diepte van NAP -19,7m (hart van de boring). De twee HDD's kruisen van west naar oost: een watergang, diverse kabels en leidingen (waaronder een gasleiding, een waterleiding van Brabant Water en 2 rioolleidingen), de Centraleweg, primaire waterkering, diverse kabels en leidingen (waaronder twee bovengrondse warmteleidingen, een waterleiding van Brabant Water en een rioolleiding), een bestaande Tennet mast, nogmaals dezelfde twee bovengrondse warmteleidingen, de Donge, een primaire waterkering en een bestaande Tennet mast 212 (verbinding GT-OTD 150 kV).



Figuur 1 Overzicht situatie GTB HDD3

## 1.2 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 bevat de uitgangspunten, hoofdstuk 3 het ontwerp en de berekeningen, hoofdstuk 4 bevat de berekeningsresultaten, hoofdstuk 5 de risico's en aandachtspunten en hoofdstuk 6 de conclusies. Als bijlagen zijn toegevoegd de ontwerptekening, grondgegevens en de berekeningen.

## 2. Uitgangspunten

### 2.1 Gebruikte documenten

Bij het opstellen van de berekeningen is gebruik gemaakt van de volgende documenten:

- Ontwerptekening van GTB HDD3, tekeningnummer GTB-HDD3 versie C, d.d. 15-04-2022 opgesteld door Sweco (bijlage 1);
- Geotechnisch onderzoek uit Dinoloket (bijlage 2);
- Maaiveldhoogten zijn ontleend aan de Algemene Hoogtekaart van Nederland (AHN-3);
- KLIC-levering 21O082379 opgevraagd d.d. 14-04-2022;
- Peilbesluiten waterschap Brabantse Delta, geraadpleegd d.d. 20-04-2022, website: <https://wsbd.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=d6037ee85e784521be739b8ae5b38f7d>
- Vaarwegenoverzicht Rijkswaterstaat, geraadpleegd op d.d. 14-03-2022, website: <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/vaarwegenoverzicht/>
- Mastgegevens:
  - Document P-115183-1 met informatie over de paallengte en -type van de masten 211 tot en met 130 van tracé GT-OTD 150 kV;
  - Tekening: GT-OTD mast 211 fundatie.

### 2.2 Vigerende normen en richtlijnen

Het ontwerp van de boring voldoet aan:

- NEN 3650:2020;
- NEN 3651:2020;
- Keur en leggers van waterschap Brabantse Delta;
- Richtlijn boortechnieken juni 2019 v1.0 van Rijkswaterstaat;
- Handboek Horizontaal Gestuurd Boren (BTL-rapport 50);
- VELIN Richtlijn nr. 2017/6 Versie september 2019.

### 2.3 Minimale dagmaat tot bestaande en nieuwe boringen

- NEN 3650-1: 2020, bijlage F.4.3 stelt: De afstand (dagmaat) tussen een parallelleiding of -boring moet minimaal 5 m bedragen, tenzij wordt aangetoond dat een kleinere afstand toelaatbaar is.
- De minimale dagmaat tot bestaande en nieuwe boringen conform de Richtlijn Boortechnieken is:

- o De minimale dagmaat bij een kruising met een bestaande HDD-boring is 5,0 meter, onafhankelijk van de grondslag;
- o De minimale dagmaat in zandgrond bij parallelligging tot een bestaande HDD-boring is 5,0 meter;
- o De minimale dagmaat in klei-/veengrond bij parallelligging tot een bestaande HDD-boring is 10,0 meter;
- o Bij gelijktijdige uitvoering van meerdere HDD-boringen is het risico op schade minder groot omdat de ligging onderling beter bekend is en omdat kabels en leidingen nog niet in bedrijf zijn. In deze situatie kan de onderlinge dagmaat verkleind worden, zodanig dat stuurcorrecties onbelemmerd kunnen plaatsvinden. De vergunningaanvrager dient een afwijkende dagmaat te onderbouwen, waarbij aantoonbaar wordt gemaakt dat er geen risico ontstaat voor het rijkswaterstaatswerk.

De Richtlijn is specifiekier dan de NEN 3650, voor het ontwerp houden we daarom de Richtlijn Boortechnieken aan. De eerste 22 m -mv bestaat uit holocene klei- en zandlagen, maar omdat de HDD's voor circa 90% in goed bestuurbare zandlagen liggen is een dagmaat van 5 m als uitgangswaarde genomen. De HDD's zullen daarnaast met een gyroscoop geboord worden, zodat de afwijkingen minimaal zijn.

## 2.4 Horizontale afstand tot overige objecten

In het ontwerp zijn de volgende afstanden gehanteerd:

- Voor de minimale afstand van de HDD's tot de funderingen van bestaande hoogspanningsmasten van TenneT langs het tracé is een dagmaat van 5 meter gehanteerd.
  - o De gegevens van de funderingen van mast 212-GT-OTD-150kV zijn onbekend. Gekozen is om hier de lengte van de funderingspalen van mast 210 te hanteren (zie figuur 2). Deze hebben een lengte van 15 m. De schoorstand van de palen is ontleend aan de tekening van mast 211 en bedraagt 1:4 ten opzichte van de diagonaal. Aan maaiveld bedraagt de horizontale dagmaat tussen mast en HDD 5,26 m. De bovenste HDD ligt hier circa 22,82 m -mv. De HDD's houden hier dus een verticale dagmaat van 7,82 m ten opzichte van de paalfundering. De dagmaat tussen de palen en de bovenste HDD bedraagt daarmee circa 8,2 m. Dit voldoet aan de eisen;
  - o De dagmaat op het maaiveld tussen de boring en de teen van mast 211-GT-OTD-150kV bedraagt 7,02 m. De funderingswijze is bekend: de funderingspalen hebben een lengte van 10 m en een schoorstand van 4:1 ten opzichte van de diagonaal. De HDD's liggen hier circa 19,51 m -mv. De HDD's houden hier een verticale dagmaat van 9,51 m ten opzichte van de paalfundering. De dagmaat tussen de palen en de bovenste HDD bedraagt daarmee circa 10,9 m. Dit voldoet aan de eisen.
- Voor de horizontale afstand van de HDD's tot de toekomstige mastenroute van TenneT is aan maaiveld een afstand van minimaal 10 meter uit de teen van de mast aangehouden. Rekening houdend met de schoring van de funderingspalen 1:3 bedraagt de minimale afstand op het niveau van de boorlijn 5 m.
- De HDD's dienen een horizontale dagmaat van 5 meter te hebben bij parallelligging tot of kruising met een HDD-boring (op basis van de Richtlijn Boortechnieken, zie paragraaf 2.3)

- De horizontale dagmaat aan maaiveld tussen de TenneT HDD's en de geprojecteerde HDD van Enexis bedraagt 6,27 m en voldoet daarmee aan de eisen.
- Aan de westzijde van de waterkering bevindt zich, als onderdeel van de waterkering, een verticale verdediging. Deze heeft de vorm van een betonrand die aan maaiveld zichtbaar is. Onbekend is hoe deze verticale verdediging gefundeerd is. De horizontale dagmaat aan maaiveld bedraagt circa 2 m. De bovenste HDD bevindt zich hier op circa 20 m -mv.
- De minimale horizontale dagmaat tot de gevel van het bedrijfsgebouw van Varo Energy Terminal bedraagt aan maaiveld 9,93 m.

MAST N <sup>o</sup>	TYPE	LENGTE
211	B	10,00 m.
210	A	15,00 m.
209	C	8,50 m.
208	C	8,50 m.
207	C	9,00 m.
206	C	9,00 m.
205	C	9,50 m.
204	C	9,50 m.
203	C	10,00 m.
202	C	10,00 m.
201	C	10,50 m.
200	C	9,50 m.

Figuur 2 lengtes van funderingspalen van masten in het tracé GT-OTD 150 kV

## 2.5 Diepteligging

De diepteligging dient aan de volgende eisen te voldoen:

- De HDD's dienen de kruin van de primaire waterkeringen te passeren met een dekking van minimaal 10 m en de teen met een dekking van minimaal 3,0 m (NEN 3551:2020 paragraaf 9.6.2).
  - De kruinhoogte van beide primaire wateringen is minimaal circa NAP + 3,0 m. De HDD's liggen hier op een diepte (hart boring) van respectievelijk NAP -23,00 m en voldoen daarmee aan de eis.
- De HDD's dienen 10 meter onder de waterbodembodem van de Donge te liggen (NEN 3551:2020 paragraaf 9.6.2).
  - De bodemdieptes zijn ontleend aan het vaarwegenoverzicht van Rijkswaterstaat. De Donge heeft een diepte van NAP -3,00 m. De bovenste HDD ligt hier op een diepte van respectievelijk NAP -19,70 m en voldoet hiermee aan de eis.
- Het intredepunt van de HDD B ligt nabij een watergang. Deze HDD kruist de watergang op circa 10 m van het intredepunt. Om een blow-out te voorkomen moet de watergang tijdelijk gedempt worden.
- Voor kruising met overige kabels en leidingen waaronder de datakabels, waterleidingen en gasleiding wordt een dagmaat van 5 meter aangehouden.

## 2.6 Inwendige overdruk

Het betreft mantelbuizen. Er is dus niet gerekend met inwendige overdruk.

## 2.7 Grondwaterstand

Het intredepunt ligt in een ander peilbesluit dan het uitredepunt. Het intredepunt ligt in het peilbesluit van Gat van de Ham en het uitredepunt ligt in het peilbesluit van Oosterhout-Waalwijk. Bij het intredepunt is het zomerpeil -0,65 m NAP en het winterpeil -0,95 m NAP. Bij het uitredepunt is het zomerpeil -0,65 m NAP en het winterpeil -0,9 m NAP. We hanteren in de berekeningen een gemiddelde grondwaterstand van -0,9 mNAP.

## 2.8 Belasting- en ondersteuningshoek

Conform NEN3650-1:2020 paragraaf C.4.1.3 bedraagt voor een HDD de:

- belastingfactor voor trekkracht : 1,8;
- belastinghoek : 30°;
- ondersteuningshoek : 30°.

## 2.9 Importantiefactor

Voor de HDD is conform paragraaf 6.5 van NEN 3651 een importantiefactor van 1,0 gehanteerd.

## 2.10 Geotechnische parameters

De gebruikte geotechnische gegevens en parameters zijn gebaseerd op grondonderzoek uit Dinoloket en uit de Sweco-database met historisch grondonderzoek. De ID-nummers, dieptes en de afstanden tot het boortracé van de gebruikte boringen en sonderingen staan in tabel 2-1. De volledige boringen en sonderingen staan in bijlage 2 van deze rapportage. Op basis van dit grondonderzoek heeft Sweco een maatgevend bodemprofiel langs het geplande boortracé opgesteld. Dit bodemprofiel is gecontroleerd met behulp van het 3-D ondergrondmodel GeoTOP. Dit is een model van de grondlagen in de Nederlandse ondiepe ondergrond, opgesteld door de Geologische Dienst Nederland, onderdeel van TNO.

**Tabel 2-1**      **Overzicht van het gebruikte grondonderzoek**

ID-nummer	Type	Diepte	Afstand tot boortrace
		[m NAP]	[m]
1277.S01	Sondering	-29	40
1277.S02	Sondering	-32	10
1277.S03	Sondering	-32	40
1277.S04	Sondering	-31	40
S21	Sondering	-37	20
CPT112907	Sondering	-7	150
B44D0954	Boring	-3	140
CPT111985	Sondering	-12	40
B44D0955	Boring	-3	40

Uit het grondonderzoek blijkt dat de bovenkant van de vaste zandlaag zich bevindt op circa NAP -22,0 m van het geplande boortracé. Boven de zandlaag bestaat de grond uit zand, maar ook slappe klei- en veenlagen, zoals geobserveerd in het grondonderzoek. Gezien het kleine aantal boringen en sonderingen kan niet met zekerheid vastgesteld worden of de relatief slappe klei- en veenlagen over het gehele tracé voorkomen. Hieruit concluderen we dat aanvullend grondonderzoek noodzakelijk is om een grondprofiel met grotere nauwkeurigheid vast te stellen. Om veiligheidsmarge in de berekening in te bouwen, zijn de slappe klei- en veenlagen over het gehele boortracé aangehouden. Daarnaast laat het grondonderzoek zien dat de dieptes van de gevonden grondlagen enigszins variëren, met name tussen de westkant en de oostkant van het profiel. Tabel 2-2 laat de in de berekeningen aangehouden grondparameters voor de in het grondonderzoek herkende grondlagen langs de noordkant van het profiel zien. Tabel 2-3 laat de in de berekeningen aangehouden grondparameters voor de in het grondonderzoek herkende grondlagen langs de zuidkant van het profiel zien. De grondparameters zijn opgesteld op basis van kennis en ervaring van de Nederlandse ondergrond en tabel 2b van NEN 9997-1+C2-2017. De stijfheidsmodulus E en ongedraineerde schuifsterkte  $S_u$  zijn gecorreleerd met de conusweerstand conform CUR2003-7 (2003) en CUR162 (1992).

**Tabel 2-2** Grondparameters gebruikt in de berekening langs de noordzijde van het profiel gebaseerd op sondering CPT111985 en boringen B44D0955 en B44D0954.

Niveau bovenkant [m t.o.v. NAP]	Niveau onderkant [m t.o.v. NAP]	Lithologie	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_n$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]	$S_u$ top/bottom [kN/m <sup>2</sup> ]	E [kN/m <sup>2</sup> ]
0,3	-2,5	Veen; slap	11	11	1,5	15,0	15,0	200
-2,5	-18,0	Zand; schoon; matig	18	20	0,0	32,5	0,0	30000
-18,0	-22,0	Klei; zwak zandig; matig	18	18	5,0	22,5	80,0	3000
-22,0	-30,0	Zand; schoon; vast	19	21	0,0	35,0	0,0	90000

**Tabel 2-3** Grondparameters gebruikt in de berekening langs de zuidzijde van het profiel gebaseerd op sonderingen CPT112907, 1277.S01, 1277.S02, 1277.S03, 1277.S04 en S21.

Niveau bovenkant [m t.o.v. NAP]	Niveau onderkant [m t.o.v. NAP]	Lithologie	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_n$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]	$S_u$ top/bottom [kN/m <sup>2</sup> ]	E [kN/m <sup>2</sup> ]
0,7	-1,7	Klei; schoon; matig	17	17	5,0	17,5	50,0	2000
-1,7	-2,5	Veen; slap	11	11	1,5	15,0	15,0	200

-2,5	-18,0	Zand; schoon; matig	18	20	0,0	32,5	0,0	30000
-18,0	-22,0	Klei; zwak zandig; matig	18	18	5,0	22,5	80,0	3000
-22,0	-30,0	Zand; schoon; vast	19	21	0,0	35,0	0,0	90000

## 2.11 Boortechnische gegevens

De boortechnische parameters voor het ontwerp en de muddrukberekeningen zijn betrokken uit het Handboek Horizontaal Gestuurd Boren (BTL-rapport 50), NEN 3650:2020 en NEN 3651:2020. De voor de berekeningen gehanteerde waarden zijn terug te vinden in de invoer van de muddrukberekeningen in bijlage 3.

## 2.12 Verkeersbelasting

Ter plaatse van de kruising met de Centraleweg is verkeersklasse II gehanteerd conform figuur C17 uit NEN3650-1:2020.

## 2.13 Afwijkingstoleranties

Het beleid van TenneT is dat HDD's met een gyroscoop geboord worden. De minimaal mogelijke boogstraal van een gyroscoop bedraagt volgens leverancier Brownline 180 m.

In dit ontwerp is sprake van dezelfde horizontale bochten voor HDD A en B: 800 m, 250 m en 250 m. HDD A en B hebben verticale bochten van 250 m en gecombineerde bochten met een boogstraal van 239 m. De boogstralen voldoen hiermee aan de minimaal vereiste straal van 180 m voor de gyroscoop.

Met de toepassing van een gyroscoop kan tijdens de pilotboring worden bijgestuurd om afwijkingen te compenseren. Het boren met gyroscoop zorgt er daarom voor dat de afwijkingstolerantie bij de uitvoering van de HDD's binnen de afwijkingstolerantie blijven zoals benoemd in de Richtlijn Boortechnieken.

RICHTING	MAXIMALE UITVOERINGS-AFWIJKING
Verticaal*	+1/-1 m
Horizontaal:	
- in lengterichting; t.p.v. uittredepunt	+5/-2 m
- in dwarsrichting; t.p.v. uittredepunt	+1/-1 m
- in dwarsrichting; tracé tussen in- en uittredepunt	+5/-5 m
Bochtstralen	< 10%

Figuur 3, afwijkingstoleranties HDD's (Bron: tabel 2.1 uit de Richtlijn Boortechnieken)



## 3. Ontwerp

### 3.1 Gegevens HDD

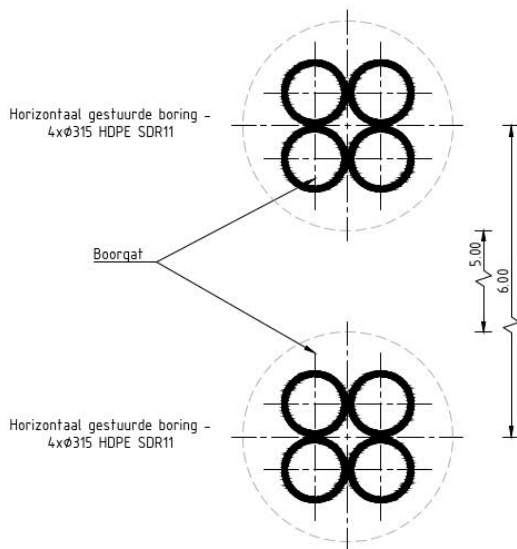
Het ontwerp van de twee HDD's heeft de volgende kenmerkende parameters:

*Onderste HDD (HDD A):*

- materiaal: PE 100 4xØ315 mm SDR 11;
- lengte: 436 m;
- maximale diepte hart boring: NAP -25,7 m;
- intredehoek: 22,5°;
- uittredehoek: 22,5°;
- verticale boogstralen: 250 m;
- horizontale boogstralen: 800 m, 250 m en 250 m.
- gecombineerde boogstralen: 239 m.

*Bovenste HDD (HDD B):*

- materiaal: PE 100 4xØ315 mm SDR 11;
- lengte: 406 m;
- maximale diepte hart boring: NAP -19,7 m;
- intredehoek: 20°;
- uittredehoek: 20°;
- verticale boogstralen: 250 m;
- horizontale boogstralen: 800 m, 250 m en 250 m.
- gecombineerde boogstralen: 239 m.



Figuur 4 Doorsnede van de 2 HDD's

Aan de hand van NEN 3650 en NEN 3651 en de Richtlijn Boortechniek is een ontwerp gemaakt voor de HDD's. De voornaamste randvoorwaarden voor het ontwerp, naast de afstandseisen uit hoofdstuk 2, zijn:

- De HDD dient een zodanig tracé te volgen dat er voldoende dekking aanwezig is in het gehele tracé om een blow-out te voorkomen;
- De HDD dient buiten de kernzone van de primaire waterkering van waterschap Brabantse Delta in of uit te treden;
- De sterkte van de leiding dient zodanig te zijn dat deze intact blijft gedurende de aanleg en in de bedrijfsfase.

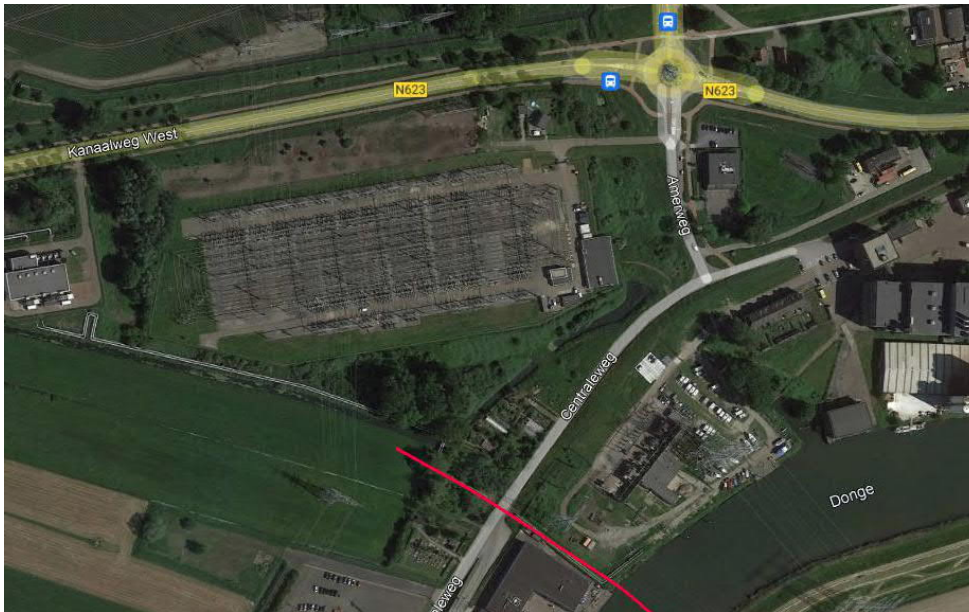
## 3.2 Boorparameters

Bij de berekeningen zijn de volgende boorparameters aangehouden:

- boorinstallatie : max-rig 80 ton;
- diameter boorstang : 0,17 m;
- volumegewicht bentoniet : 11,5 kN/m<sup>3</sup>;
- diameter pilothole : Ø300 mm;
- ruimgat : Ø700 mm;
- boorgat : Ø1000 mm.

## 3.3 Intredepunt

Het intredepunt ligt in het bouwland aan de westzijde van de Donge ten zuiden van hoogspanningsstation Geertruidenberg-Zuid (zie figuur 5). Het intredepunt is bereikbaar via de Centraleweg. Bij het intredepunt dient de aannemer rekening te houden met het werken nabij hoogspanningsmasten. Ook ligt op circa 3,5 m afstand van het intredepunt van HDD A een middenspanningskabel. Wij adviseren om deze kabel voorafgaand aan de werkzaamheden te lokaliseren en in te meten. De watergang achter het intredepunt dient tijdelijk gedempt te worden om muduitbraak te voorkomen, met name bij HDD B.



Figuur 5 Intredepunt GTB HDD3

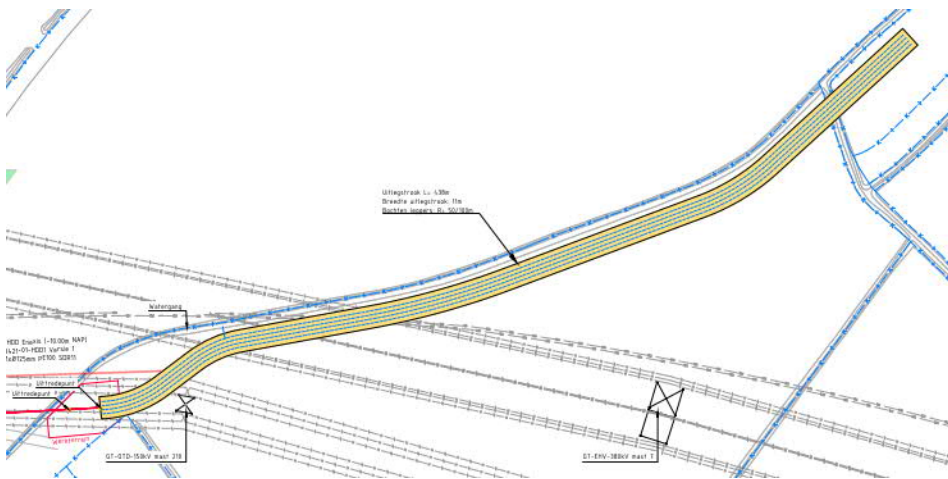
### 3.4 Uittredepunt en uitlegstrook

Het uittredepunt ligt in bouwland aan de oostzijde van de Donge (zie figuur 6). De locatie is bereikbaar via de Gasthuiswaard. De watergang bij het uittredepunt van de HDD's dient tijdelijk gedempt te worden in verband met muduitbraak.

De uitlegstrook buigt direct af om mast 210 GT-OTD 150 kV te passeren en ligt daarna in het bouwland parallel aan een watergang (zie figuur 7). Bij het uittredepunt en de uitlegstrook dient de aannemer rekening te houden met het werken onder en nabij hoogspanningsmasten.



Figuur 6 Uittredepunt GTB HDD3



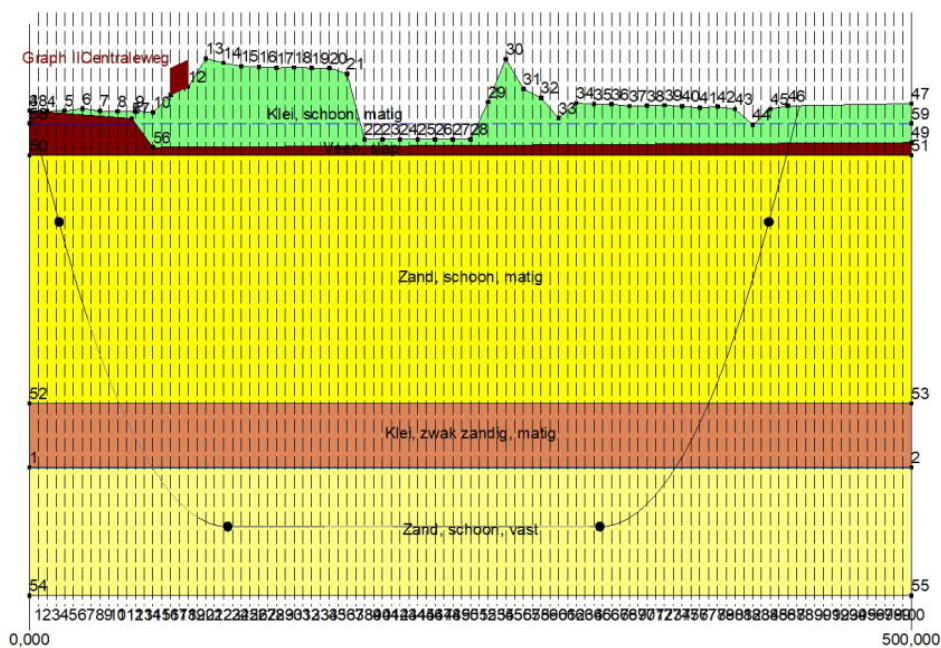
Figuur 7 Uitlegstroom GTB HDD3

## 4. Berekeningsresultaten

De volgende berekeningen zijn voor de horizontaal gestuurde boring uitgevoerd:

- een trekkrachtberekening;
- een sterkteberekening voor de bedrijfsfase;
- een muddrukberekening;
- een implosieberekening;
- een kwelwegbeschouwing.

Voor HDD A en HDD B zijn aparte berekeningen opgesteld, aangezien ze op verschillende dieptes liggen. De berekeningen zijn uitgevoerd met het rekenprogramma D-Geo Pipeline versie 20.1 en zijn toegevoegd als bijlage 3. In dit hoofdstuk zijn de resultaten van de berekeningen weergegeven.



Figuur 8 D-Geo Pipeline-model van HDD A

## 4.1 Trekkkrachtberekening

### 4.1.1 Onderste HDD (HDD A)

De berekende maximale trekkracht bedraagt  $352 \cdot 1,8 = 637$  kN bij niet-gevulde leidingen. Dit leidt tot een maximale spanning tijdens de intrekfase van  $6,72$  N/mm<sup>2</sup> aan het einde van de intrekoperatie. Toelaatbaar is  $10$  N/mm<sup>2</sup>.

### 4.1.2 Bovenste HDD (HDD B)

De berekende maximale trekkracht bedraagt  $317 \cdot 1,8 = 571$  kN bij niet-gevulde gevulde leidingen. Dit leidt tot een maximale spanning tijdens de intrekfase van  $6,12$  N/mm<sup>2</sup> aan het einde van de intrekoperatie. Toelaatbaar is  $10$  N/mm<sup>2</sup>.

## 4.2 Sterkteberekening bedrijfsfase

### 4.2.1 Onderste HDD (HDD A)

Voor de mantelbuizen is een sterkteberekening in de bedrijfsfase gemaakt. Hieruit volgt een maximaal optredende spanning van  $7,44$  N/mm<sup>2</sup>. Toelaatbaar is  $8$  N/mm<sup>2</sup> waarbij is uitgegaan van PE 100 SDR 11.

Uit de sterkteberekening blijkt dat een deflectie van  $15,1$  mm ( $4,78\% \times D_0$ ) optreedt. Toelaatbaar is een maximale deflectie van  $15,80$  mm (5%).

### 4.2.2 Bovenste HDD (HDD A)

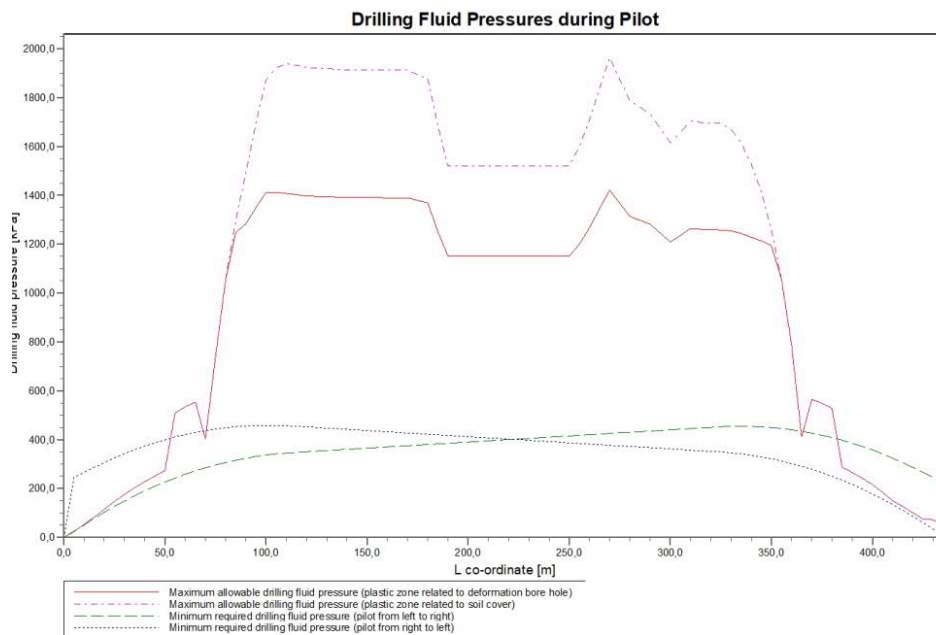
Voor de mantelbuizen is een sterkteberekening in de bedrijfsfase gemaakt. Hieruit volgt een maximaal optredende spanning van  $7,69$  N/mm<sup>2</sup>. Toelaatbaar is  $8$  N/mm<sup>2</sup> waarbij is uitgegaan van PE 100 SDR 11.

Uit de sterkteberekening blijkt dat een deflectie van  $15,4$  mm ( $4,89\% \times D_0$ ) optreedt. Toelaatbaar is een maximale deflectie van  $15,80$  mm (5%).

## 4.3 Muddrukberekening

### 4.3.1 Onderste HDD (HDD A)

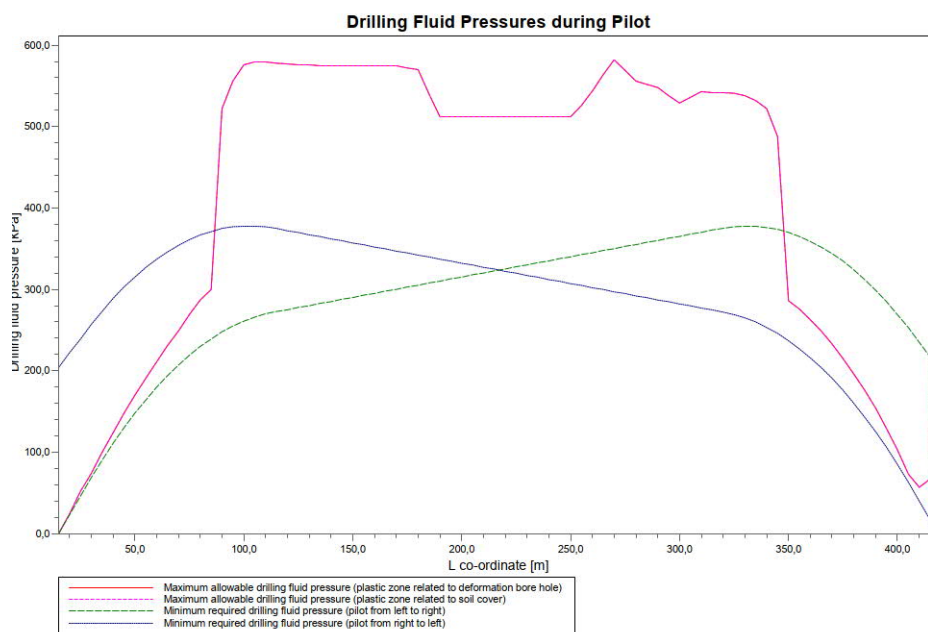
Bij de geplande diepteligging van de HDD bestaat tijdens de pilotboring, getuige de berekeningsresultaten, de kans op muduitbraak in de laatste 60 m van het tracé. Geadviseerd wordt bij nadering van het uittredepunt, bij met name de voor muduitbraak maatgevende pilotboring, de druk op de boorspoeling te verminderen. Bij het ruimen en de intrekoperatie wordt geen blow-out berekend.



Figuur 9 Muddeberekening HDD A tijdens de pilot fase

### 4.3.2 Bovenste HDD (HDD B)

Bij de geplande diepteligging van de HDD's bestaat tijdens de pilotboring, getuige de berekeningsresultaten, de kans op muduitbraak in de laatste 60 m van het tracé. Geadviseerd wordt bij nadering van het uittredepunt, bij met name de voor muduitbraak maatgevende pilotboring, de druk op de boorspoeling te verminderen. Bij het ruimen en de intrekoperatie wordt geen blow-out berekend.



Figuur 10 Muddeberekening HDD B tijdens de pilot fase

## 4.4 Implosie

### 4.4.1 Onderste HDD (HDD A)

Zowel tijdens de intrekoperatie als de bedrijfstoestand blijkt uit de berekeningen dat geen implosie optreedt. De berekende alzijdige overdruk op lege leiding bedraagt circa 248 kN/m<sup>2</sup>, terwijl 280 kN/m<sup>2</sup> toelaatbaar is.

### 4.4.2 Bovenste HDD (HDD B)

Zowel tijdens de intrekoperatie als de bedrijfstoestand blijkt uit de berekeningen dat geen implosie optreedt. De berekende alzijdige overdruk op lege leiding bedraagt circa 188 kN/m<sup>2</sup>, terwijl 280 kN/m<sup>2</sup> toelaatbaar is.

## 4.5 Kwelweg

Langs een HDD kan op twee wijzen kwel ontstaan. Ten eerste kan kwel ontstaan indien sprake is van overspannen water in de diepere grondlagen. In dat geval is de stijghoogte in het diepere watervoerende pakket hoger dan de freatische waterstand. Ten tweede kan kwel ontstaan indien een HDD twee verschillende peilgebieden verbindt. Hierdoor kan een kortsluitstroom langs de HDD ontstaan. In onderstaande paragraaf zijn beide situaties beschouwd.

### 4.5.1 Kwel uit het eerste watervoerende pakket

In het gebied zijn in DINOloket geen representatieve peilbuisgegevens te vinden van de diepere grondlagen. Op basis van het geotechnisch profiel, is kwel uit de diepere grondlagen niet uit te sluiten. Om te bepalen of kwelmaatregelen nodig zijn, adviseren wij om nabij het tracé een peilbuis te plaatsen in het eerste watervoerende en freatische pakket en te bemeten.

### 4.5.2 Kwel tussen de peilgebieden

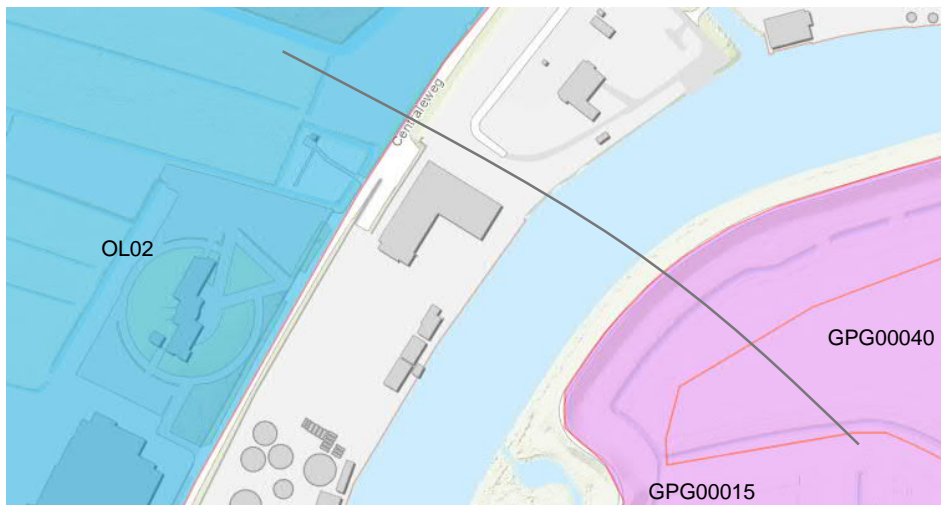
Het intredepunt ligt in een ander peilbesluit dan het uittredepunt. Het intredepunt ligt in het peilbesluit van Gat van de Ham en het uittredepunt ligt in het peilbesluit van Oosterhout-Waalwijk. Het peil van de Donge fluctueert rond +0,50 m NAP en staat onder invloed van getij.

Gezien de waterstandsverschillen tussen de peilgebieden is het mogelijk dat kwel optreedt bij een verkorting van de natuurlijke kwelweg door de HDD.

**Tabel 4-1 Peilgebieden en peilbesluiten waterschap Brabantse Delta**

Peilgebied	Zomerpeil (m NAP)	Winterpeil (m NAP)
Donge	+ 0,50	+ 0,50
GPG00015 – Karthuizer Polder	- 0,65	- 0,90
GPG00040 – Gasthuizenwaard	- 0,85	-1,1
OL02 – Middelschans	- 0,65	- 0,95





Figuur 11 Peilgebieden bij GTB-HDD3

De kwelwegen zijn berekend volgens Bligh-Lane:

*Natuurlijke kwelweg < kwelweg via HDD*

$$L_0 \times \frac{1}{3} < L_{vert} + L_{hor} \times \frac{1}{6}$$

Waarin:

$L_0$ : kortste natuurlijke kwelweg

$L_{vert}$ : kwelweg in verticale richting

$L_{hor}$ : kwelweg in horizontale richting (< 45°)

De factoren 1/3 en 1/6 zijn weegfactoren conform Bligh-Lane voor stroming langs een contactvlak van twee grondlagen, respectievelijk het contactvlak tussen grond en boorgang.

In tabel 4-2 zijn de kortste natuurlijke kwelwegen en kortste kwelwegen langs de HDD weergegeven. Voor de kortste natuurlijke kwelweg is de minimale afstand tussen twee watergangen uit een peilgebied gehanteerd die door de HDD gekruist wordt. Hieruit blijkt dat kwel tussen de peilgebieden via de HDD's op kan treden.

Tabel 4-2 Berekening van de kortste kwelwegen

Van peilgebied	Naar peilgebied	Kortste natuurlijke kwelweg [m]	Kortste kwelweg via HDD [m]
De Donge	OL02	$155/3 = 51,7$	$2,3 + 155/6 + 16,8 = 44,9$
De Donge	GPG00040	$50/3 = 16,7$	$16,7 + 185/6 = 47,5$
De Donge	GPG00015	$160/3 = 53,3$	$16,7 + 160/6 + 2,1 = 45,5$

### 4.5.3 Kwelmaatregelen

De HDD's kunnen in dit geval tot verkorting van de natuurlijke kwelweg leiden. Daarnaast is niet uit te sluiten dat de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket op deze locatie hoger ligt dan de laagste gemiddelde grondwaterstand. Mogelijk sluiten de bovenliggende kleilagen het eerste watervoerende pakket af. Doordat de HDD's de afsluitende kleilagen doorkruisen bestaat het risico dat langs de boorgang van de HDD's kwel uit de diepere grondlagen ontstaat. Het is daarom noodzakelijk om kwelmaatregelen te nemen.

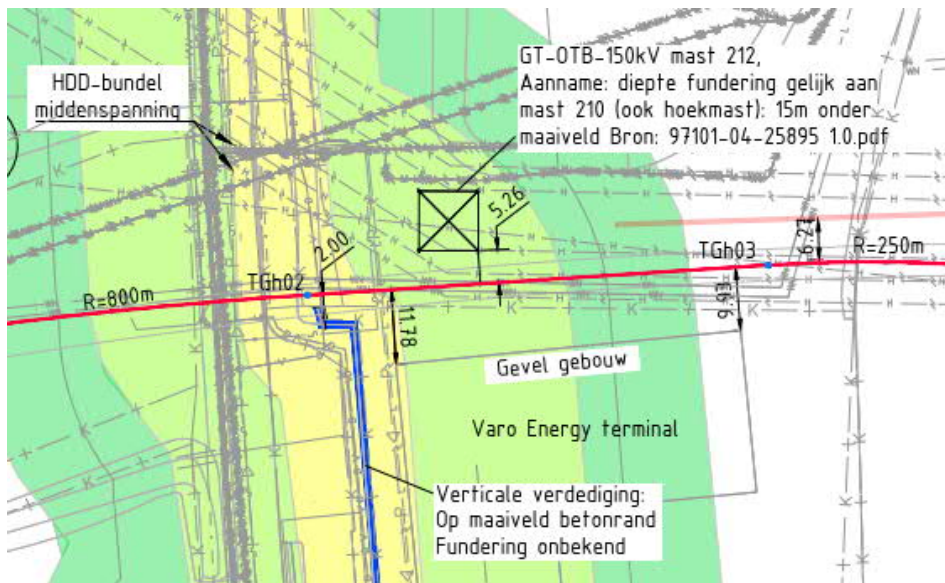
Als kwelmaatregel stellen wij voor om aan beide zijden van de HDD's een grout-prop aan te brengen door middel van het nagrouten van de boorgang met mantelbuizen vanaf het maaiveld tot 2 à 3 m in het watervoerende pakket. De ruimte tussen de kabel en mantelbuis dient afgesloten te worden met een sleeve aan de uiteinden van de mantelbuizen.

## 5. Risico's en aandachtspunten

De aannemer dient met de volgende specifieke risico's en aandachtspunten rekening te houden:

- De HDD's liggen onder elkaar, niet naast elkaar, door de geringe beschikbare ruimte. Hierdoor zijn er ook twee berekeningen uitgevoerd (zie bijlage 3);
- Werken nabij hoogspanningsmasten van TenneT nabij de intrede- en uittredepunten en de uitlegstrook;
- Werken in de beschermingszones van de waterkeringen van waterschap Brabantse Delta;
- Bij het intredepunt ligt een middenspanningskabel op korte afstand. Deze dient voorafgaand aan de werkzaamheden gelokaliseerd en ingemeten te worden. In overleg met de beheerder dienen eventueel maatregelen genomen te worden;
- Bij het in- en uittredepunt van HDD B dienen de watergangen gedempt te worden om muduitbraak te voorkomen;
- Enexis is voornemens om parallel aan het tracé ook een HDD-bundel uit te voeren. Bij de uitvoering dient nadere afstemming met Enexis plaats te vinden over deze parallellegging;
- Het boortracé passeert mast 212 GT-OTD 150kV. De exacte funderingsgegevens van deze mast zijn niet bekend en zijn daarom afgeleid van de omliggende masten in hetzelfde tracé;
- Bij het passeren van de bestaande hoogspanningsmasten dient de stabiliteit van de masten gewaarborgd blijven. Dit kan gemitigeerd worden met geotechnische berekeningen van de plastische straal van de HDD's;
- Het boortracé ligt langs een verticale verdediging in de vorm van een betonrand op het maaiveld. De fundering is onbekend. Bij waterschap Brabantse Delta dient nadere informatie opgevraagd te worden;
- Het boortracé passeert het terrein van Varo Energy Terminal, waar een betonrand aanwezig is. De fundering is onbekend. Bij de eigenaar dient nadere informatie opgevraagd te worden;
- Het nemen van de in paragraaf 4.5.3 benoemde kwelmaatregelen. Voorafgaand aan de uitvoering dienen de plannen hiervoor goedgekeurd te worden door Waterschap Brabantse Delta;
- Om de werkterreinen te betreden zullen bouwinritten nodig zijn en de aannemer dient de benodigde verkeersplannen met de gemeente te bespreken;
- Spiegellassen aanbrengen conform NEN7200;
- Bij het spiegellassen van de leidingdelen dienen alle inwendige lasrillen verwijderd te worden; in overleg met de toezichthouder moeten de verwijderde lasrillen aangetoond kunnen worden;

- TenneT schrijft het gebruik van een gyroscoop als plaatsbepalingssysteem tijdens de pilotboring voor;
- Het tracé bevat één gecombineerde bocht, drie horizontale bochten en twee verticale bochten. Afwijking van de boorlijn heeft consequenties voor de daarna volgende HDD. De aannemer dient daarom na de pilotboring te controleren of de volgende HDD nog aangepast moeten worden. Ook dient de aannemer rekening te houden met de volgorde van uitvoeren in verband met afstanden tot obstakels, zoals hoogspanningsmasten.



Figuur 12 Situatie met de beperkte beschikbare ruimte bij mast 212, Varo Energy terminal, de verticale verdediging en de toekomstige HDD van Enexis (lichtrood)

## 6. Conclusie

### 6.1 Algemeen

TenneT is voornemens om delen van de bovengrondse 150 kV-verbindingen binnen het projectgebied van Zuidwest-Oost ondergronds te verkabelen.

Dit rapport betreft de kruising van 2 HDD's met twee primaire waterkeringen en de Donge. De kruising (met codering GTB HDD3) is vergunningsplichtig bij waterschap Brabantse Delta en Rijkswaterstaat. Het ontwerp en de berekeningen zijn uitgevoerd conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020 en Richtlijn Boortechnieken.

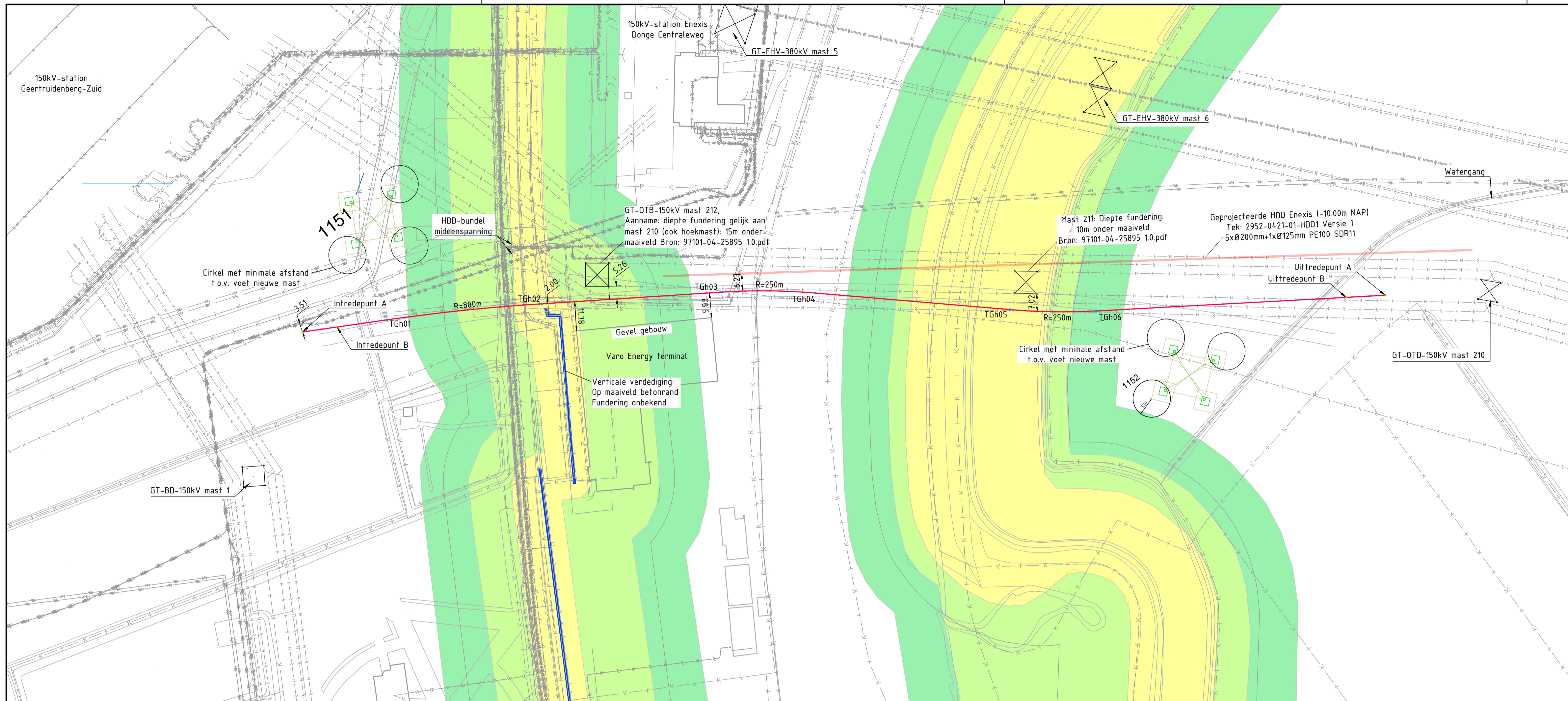
### 6.2 Uitkomsten ontwerp en berekening

De HDD's, weergegeven op de tekeningen die zijn bijgevoegd als bijlage 1, zijn ontworpen en berekend volgens de vigerende eisen.

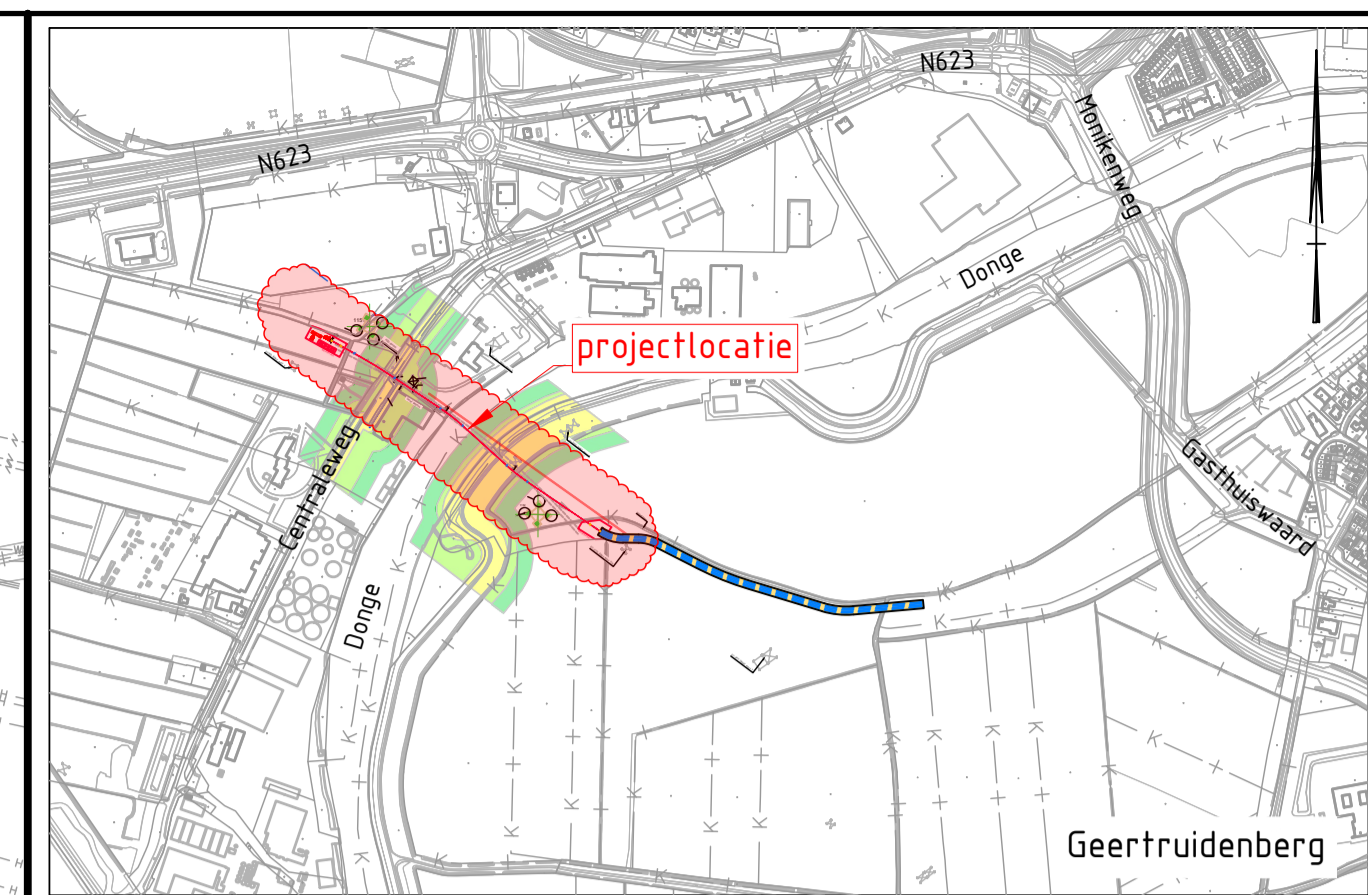
Uit de berekeningen, bijgevoegd als bijlage 3, blijkt dat de tracés van de twee onder elkaar gelegen HDD's met 4x PE100 Ø315 mm SDR 11 voldoen aan de eisen. Wel zijn kwelmaatregelen nodig.

Als kwelmaatregel stellen wij voor om aan beide zijden van de HDD's een grout-prop aan te brengen door middel van het nagrouten van de boorgang met mantelbuizen vanaf het maaiveld tot 2 à 3 m in het watervoerende pakket. De ruimte tussen de kabel en mantelbuis dient afgesloten te worden met een sleeve aan de uiteinden van de mantelbuizen.

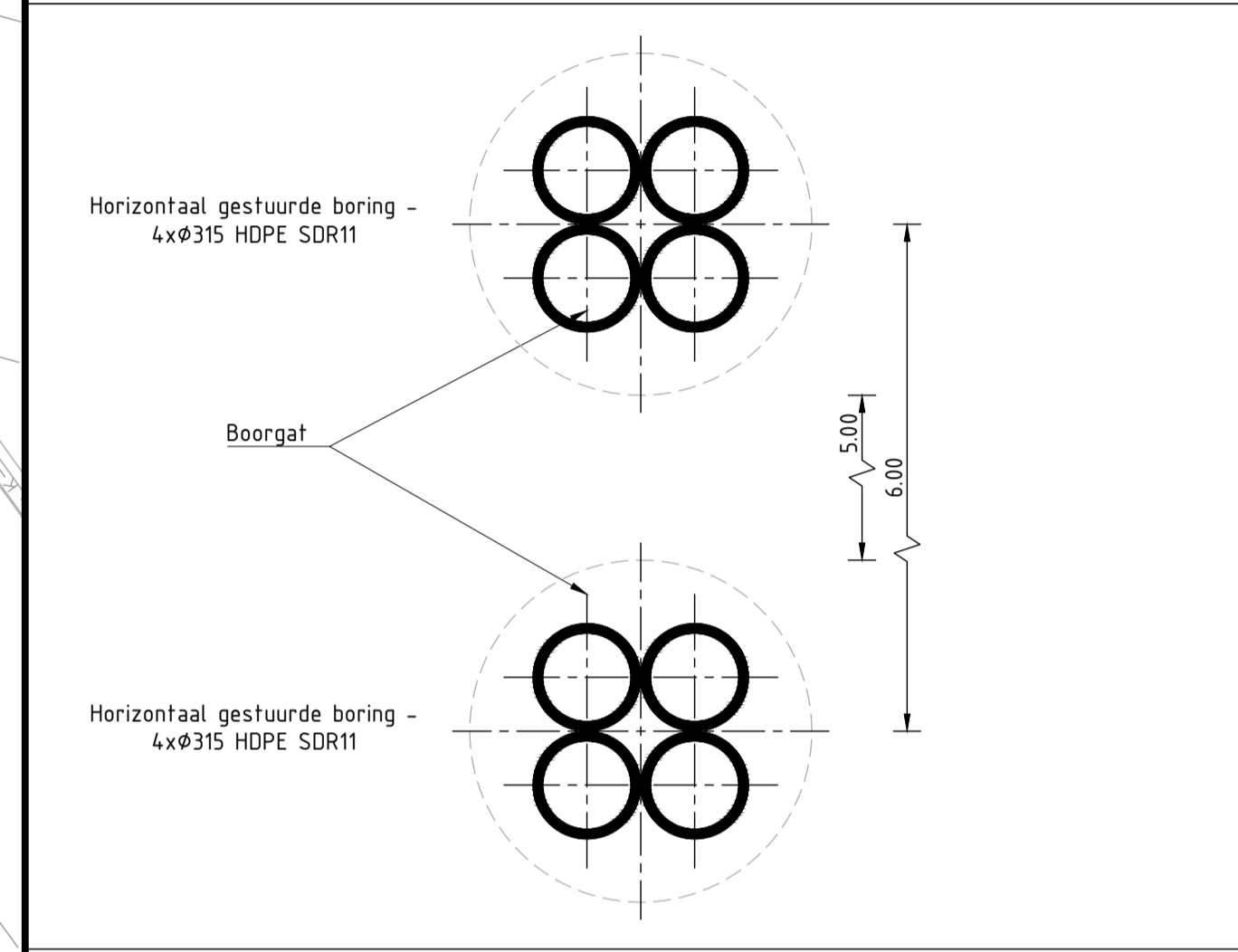
# Bijlage 1 – Ontwerptekening



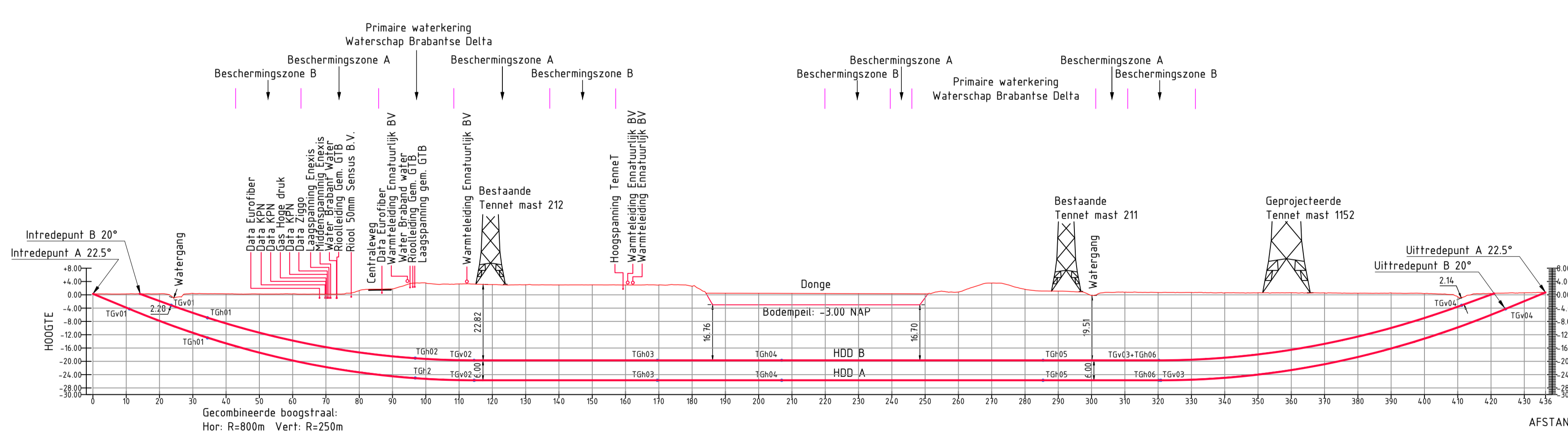
Bovenaanzicht schaal 1:1000



Overzicht  
Schaal n.v.t.



Principe doorsnede  
Schaal 1:20



Schaal 1:1000

DOORSNEDEN VAN AL-BB1101

Metrering	0.000	10.000	20.000	30.000	40.000	50.000	60.000	70.000	80.000	90.000	100.000	110.000	120.000	130.000	140.000	150.000	160.000	170.000	180.000	190.000	200.000	210.000	220.000	230.000	240.000	250.000	260.000	270.000	280.000	290.000	300.000	310.000	320.000	330.000	340.000	350.000	360.000	370.000	380.000	390.000	400.000	410.000	420.000	430.000	440.000	450.000					
Hoogte bestaand terrein in NAP	+0.272	+0.280	+0.291	+0.290	+0.436	+0.278	+0.248	+0.268	+0.266	+0.291	+0.280	+0.272	+0.274	+0.274	+0.274	+0.274	+0.274	+0.274	+0.274	+0.274	+0.274	+0.274	+0.274	+0.274	+0.274	+0.274	+0.274	+0.274	+0.274	+0.274	+0.274	+0.274	+0.274	+0.274	+0.274	+0.274	+0.274	+0.274	+0.274	+0.274	+0.274	+0.274	+0.274	+0.274	+0.274	+0.274	+0.274	+0.274			
Horizontaal ontwerp	L=14.00	L=20.41	Rh=800.00m L=62.33	L=72.83	Rh=250.00m L=37.34	L=78.52	Rh=250.00m L=34.74	L=100.51	L=15.70																																										
Verticaal ontwerp HDD A	L=71.89	Rv=250.00m L=103.55	L=206.26																																																
Hoogte verticaal ontwerp in NAP	+0.292	-4.257	-20.342																																																
Verticaal ontwerp HDD B	L=70.11	Rv=250.00m L=90.99	L=206.69																																																
Hoogte verticaal ontwerp in NAP	+0.195	-3.144	-15.544																																																

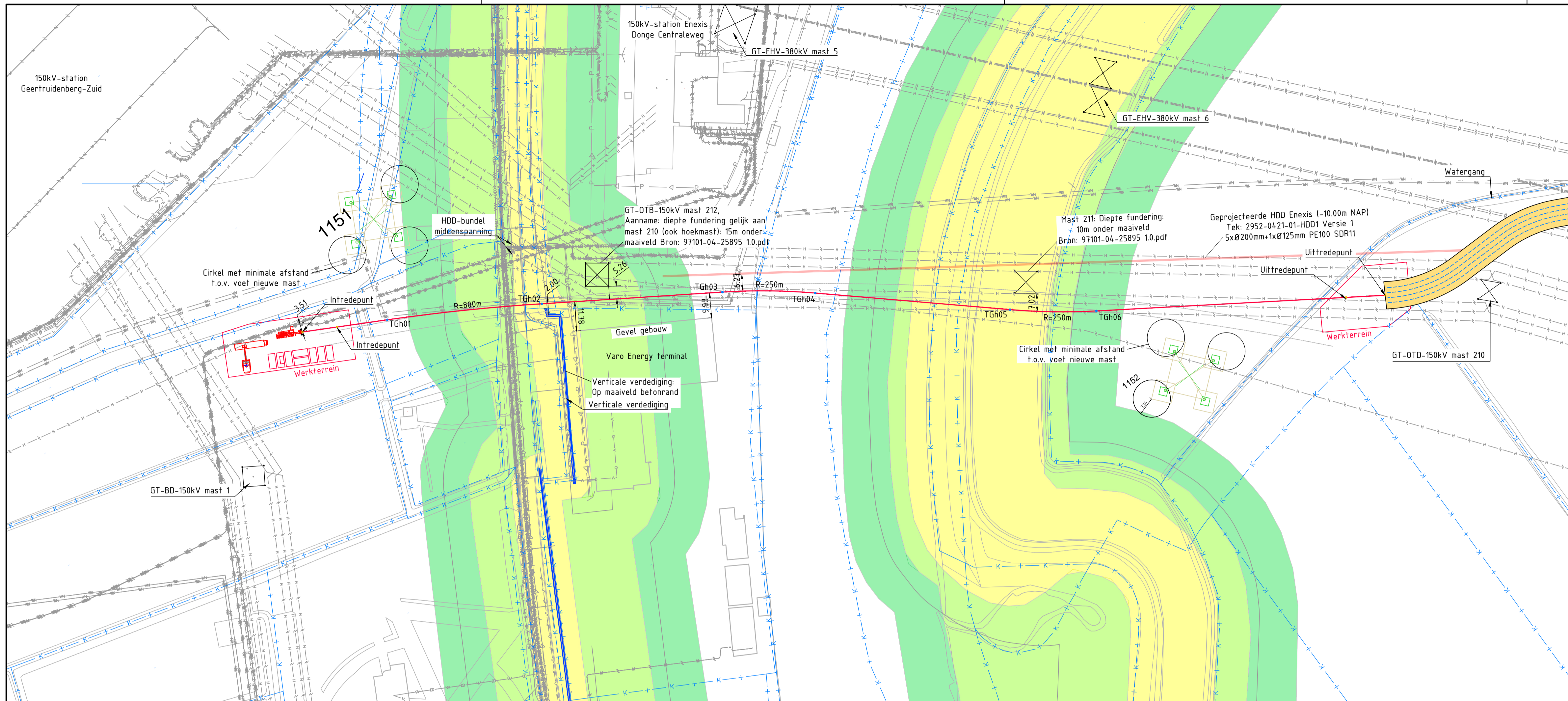
Lengteprofiel Schaal 1:1000

Legenda

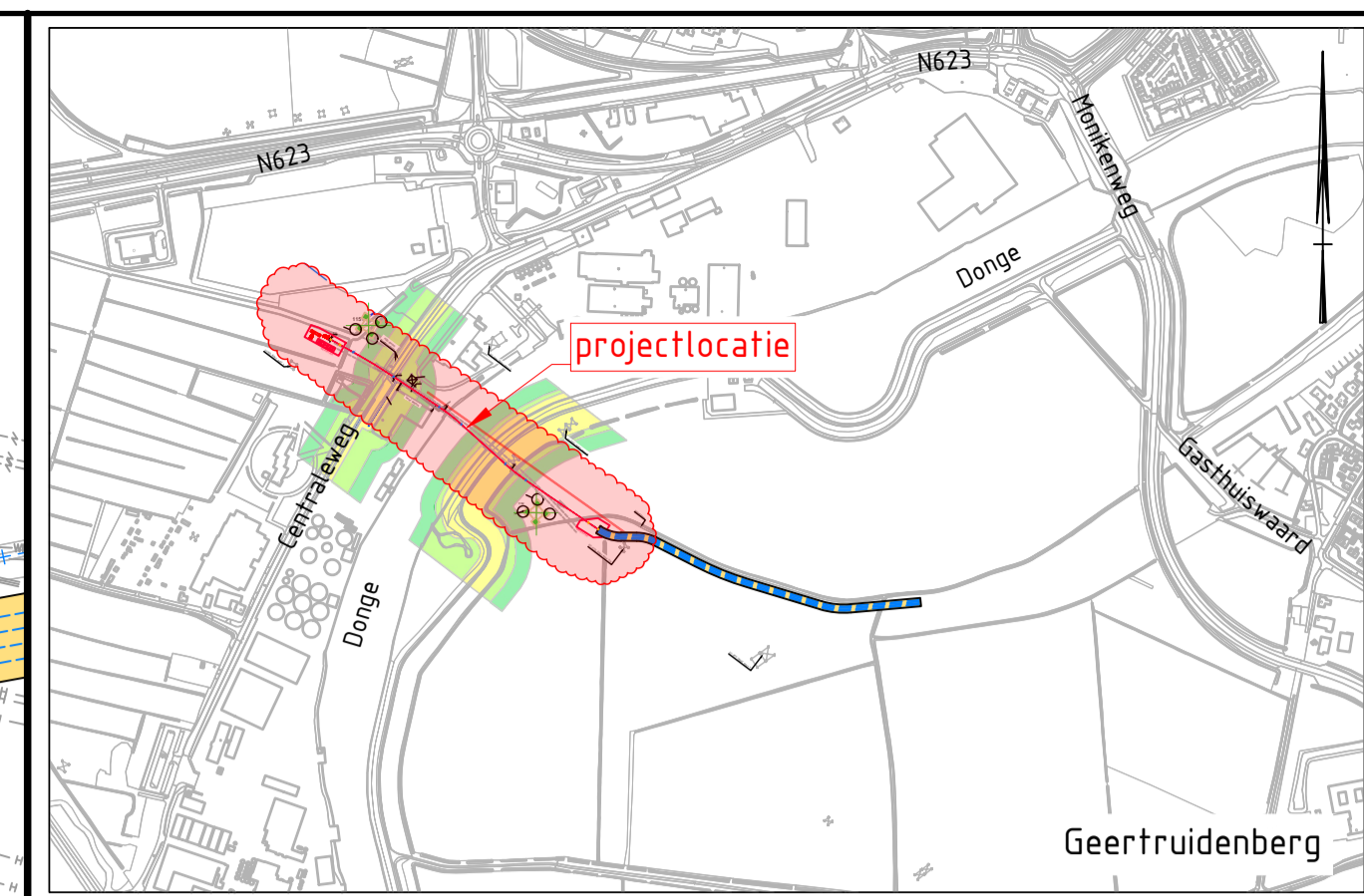
- Kadastrale grens
- Leiding gevaarlijke inhoud
- Datatransport
- Landelijk hoogspanningsnet
- Laagspanning
- Middenspanning
- Gasleiding hoge druk
- Gasleiding lage druk
- Waterleiding
- Drukriolering
- Riolering vrijval
- Horizontaal gestuurde boring (HDD)
- PE Open ontgraving
- PVC Open ontgraving
- Verticale verdediging
- Verharding (asfalt)
- Bestaande topo
- Bebouwing
- Locatie sondering met nummer
- TGH01 Tangent horizontaal
- TGV01 Tangent verticaal
- Uitgestrook
- Verharding/wegen
- Primair waterkering Waterschap Brabantse Delta
- Beschermingszone A
- Beschermingszone B

Vergunningstekening

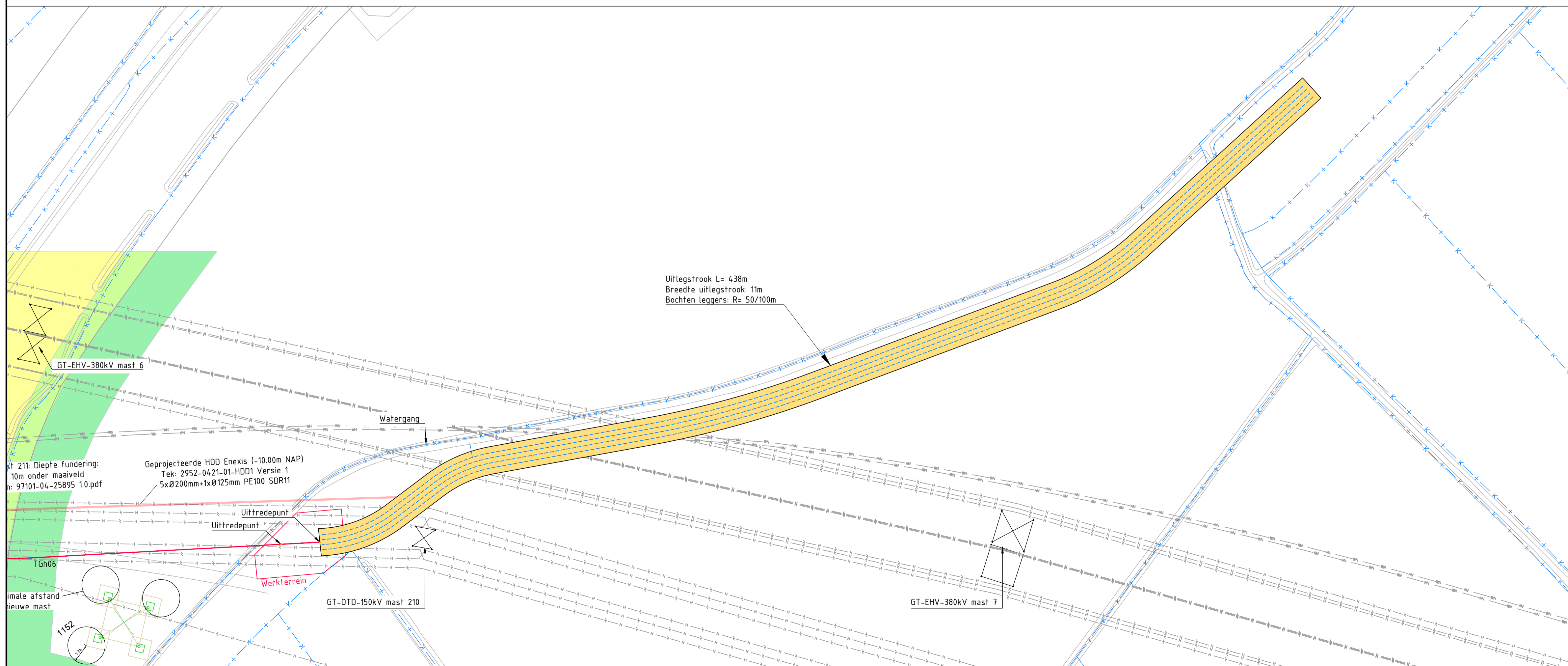
D	T.b.v. vergunningaanvraag	15-04-2022	JPR	MJ	JD		
C	Nieuw ontwerp	30-08-2021	BB	MJ	JD		
B	Eerste uitgave	25-08-2021	BB	MJ	JD		
Rev	Omschrijving	Datum rev.	Get.	Ge.	Goedg.		
Ondertekener							
<b>TenneT TSO B.V.</b>							
Project: HDD's 150 kv ZWO							
Onderdeel: GTB-HDD3							
Kruising Donge							
Projectnummer	Tekeningnummer	Versie	Datum van uitgave	Ontwerpfase	Contractnummer		
368722	GTB-HDD3	C	15-04-2022	Definitief ontwerp			
Blad	Van	Schaal	Format	Kantoor	Get.	Ge.	Goedg.
1	2	Zie Tekening	A1	De Bilt	BB	MJ	JD
www.sweco.nl							
© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden							



Bovenaanzicht schaal 1:1000



Overzicht  
Schaal n.v.t.



Lengteprofiel Schaal 1:1000

Legenda

— K — K — K — K —	Kadastrale grens	— — — — —	Verharding (asfalt)
— — — — —	Leiding gevaarlijke inhoud	— — — — —	Bestaande topo
— — — — —	Data transport	— — — — —	Bebouwing
— — — — —	Landelijk hoogspanningsnet	●	Locatie sondering met nummer
— — — — —	Laagspanning	TGh01	Tangent horizontaal
— — — — —	Middenspanning	TGv01	Tangent verticaal
— — — — —	Gasleiding hoge druk	— — — — —	Uitlegstrook
— — — — —	Gasleiding lage druk	— — — — —	Verharding/wegen
— — — — —	Waterleiding	— — — — —	Primaire waterkering
— — — — —	Drukriolering	— — — — —	Waterschap Brabantse Delta
— — — — —	Riolering vrijverval	— — — — —	Beschermingszone A
— — — — —	Horizontaal gestuurde boring (HDD)	— — — — —	Beschermingszone B
— — — — —	PE Open ontgraving	— — — — —	
— — — — —	PVC Open ontgraving	— — — — —	
— — — — —	Verticale verdediging	— — — — —	

Vergunningstekening

D	T.b.v. vergunningaanvraag	15-04-2022	JPR	MJ	JD
C	Nieuw ontwerp	30-08-2021	BB	MJ	JD
B	Eerste uitgave	25-08-2021	BB	MJ	JD
A	Ontschrijving	Datum rev.	Get.	Ge.	Goedg.

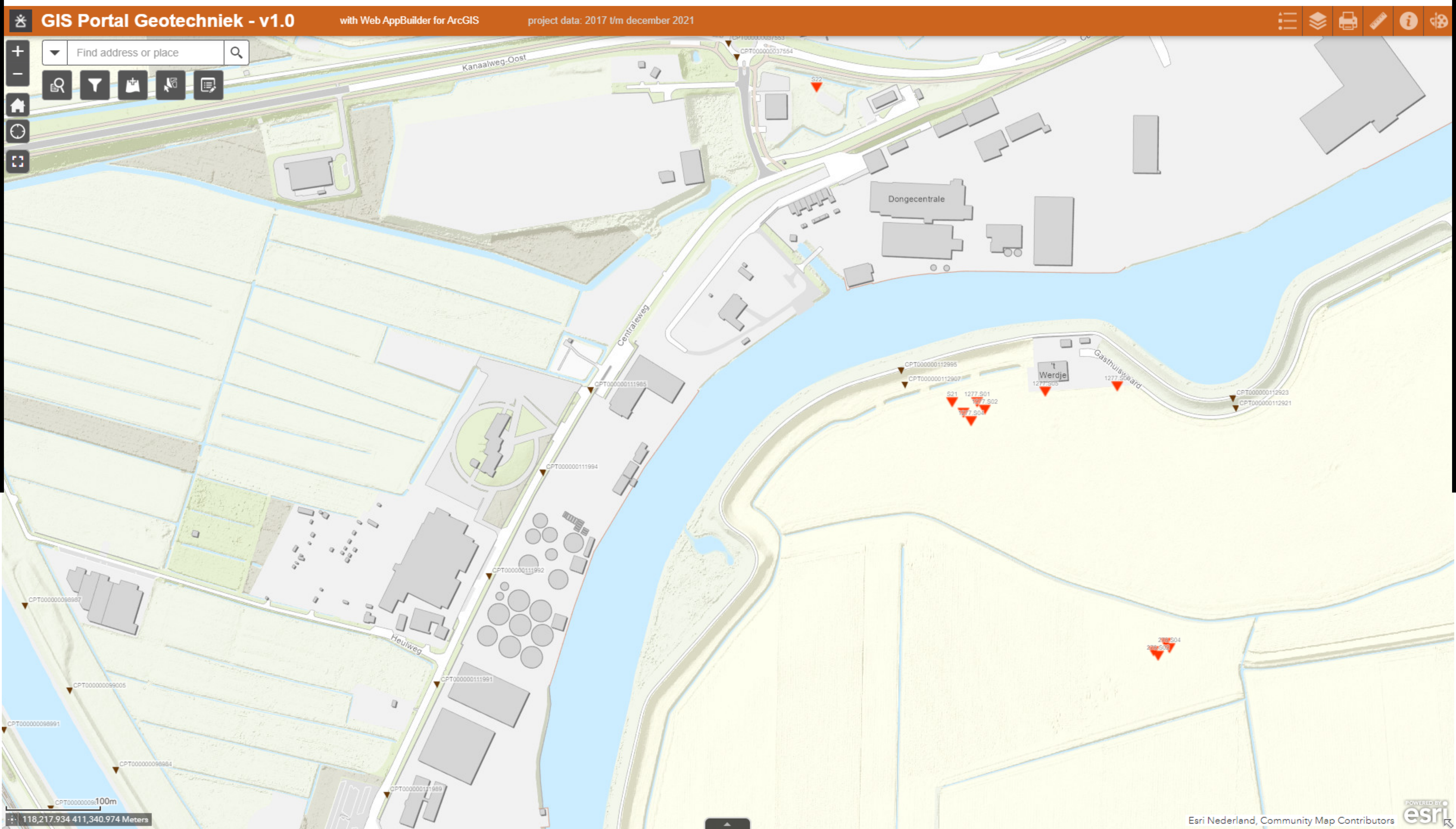
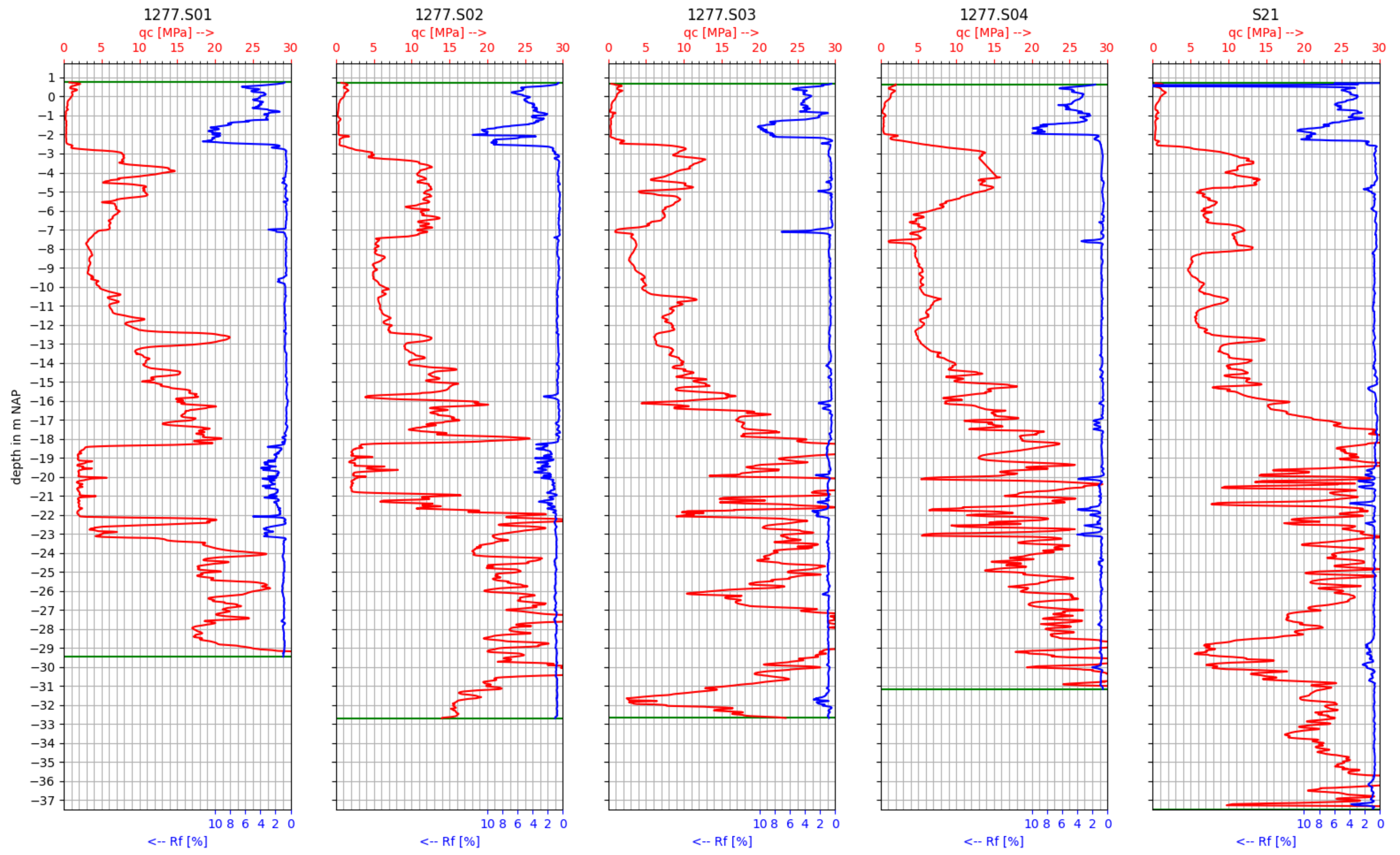
Ondraagster  
**TenneT TSO B.V.**  
Project  
HDD's 150 kV ZWO  
Onderdeel  
GTB-HDD3  
Kruising Donge Uitlegstrook

Projectnummer	Tekeningnummer	Versie	Datum van uitgave	Ontwerpfase	Contractnummer		
368722	GTB-HDD3	C	15-04-2022	Definitief ontwerp			
Bld	Van	Schaal	Format	Kantoor	Get.	Ge.	Goedg.
2	2	1:1000	A1	De Bilt	BB	MJ	JD

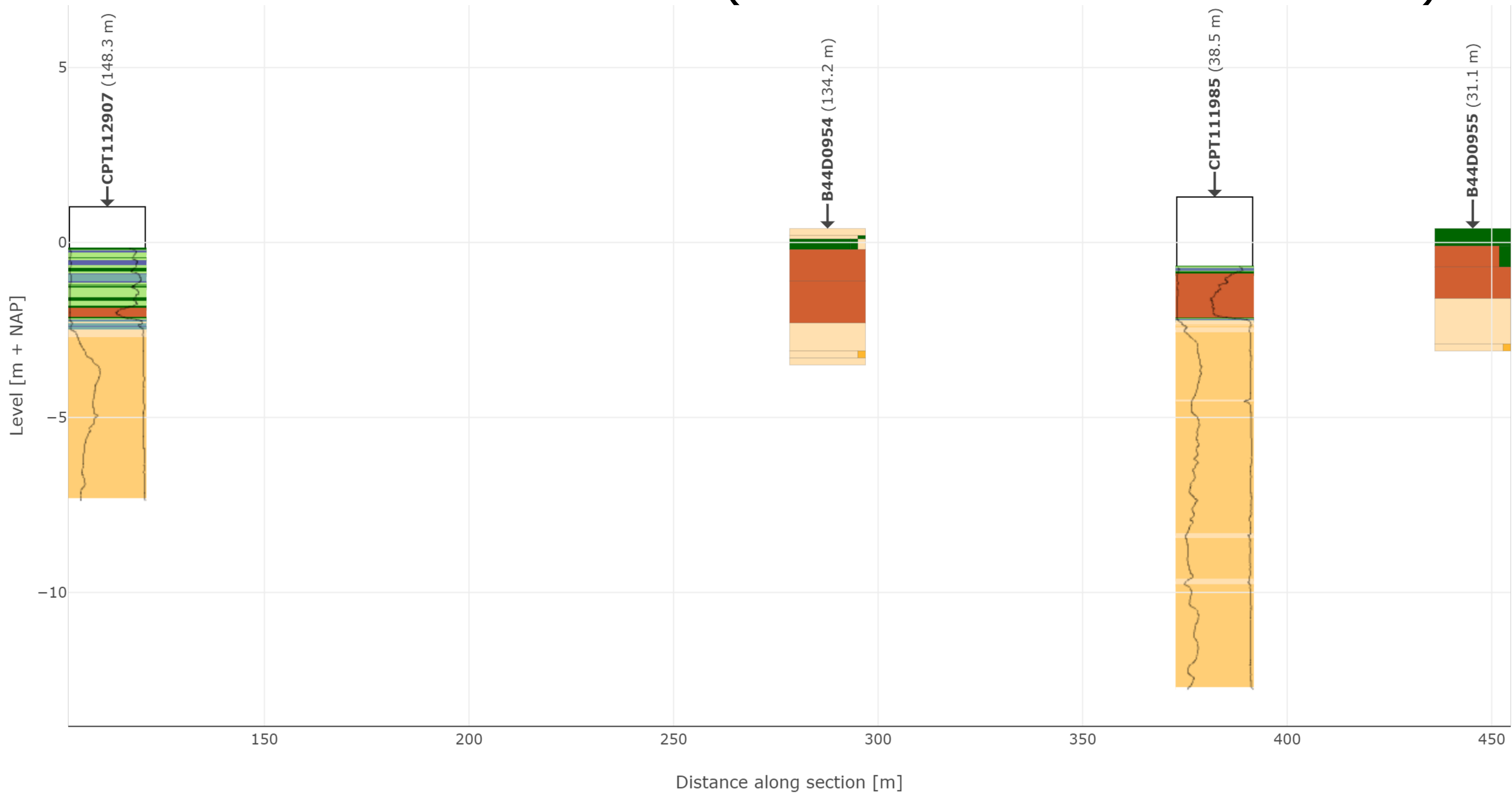


# Bijlage 2 – Geotechnisch onderzoek

# GTB HDD3



# Grondonderzoek BRO (tot 200 m afstand van trace)

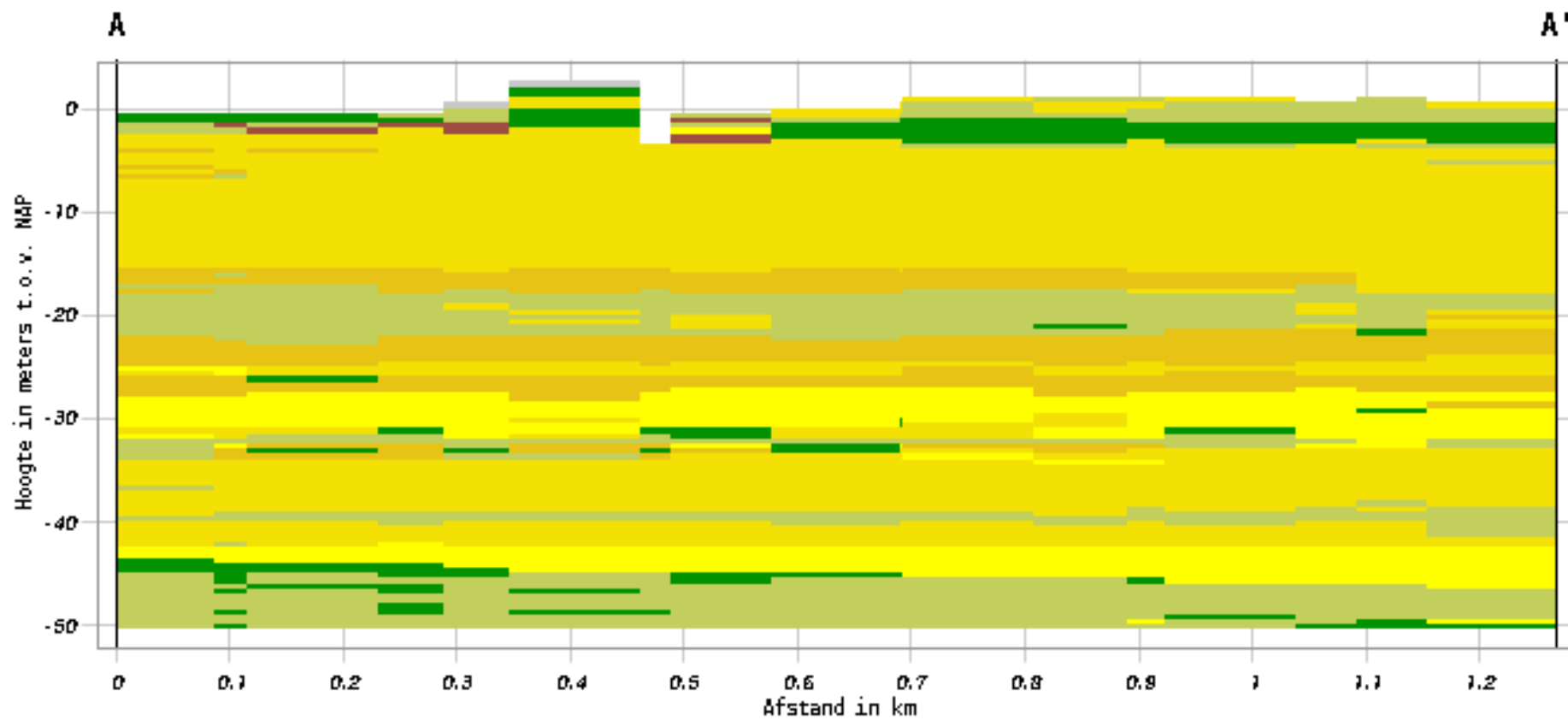


■ Sands  
 ■ Sand mixtures  
 ■ Silt mixtures  
 ■ Clay  
 ■ Clay (org. mat) [3<N<15]  
 ■ Organic clay [15<N<30]  
 ■ Peat [N>30]  
  Unknown

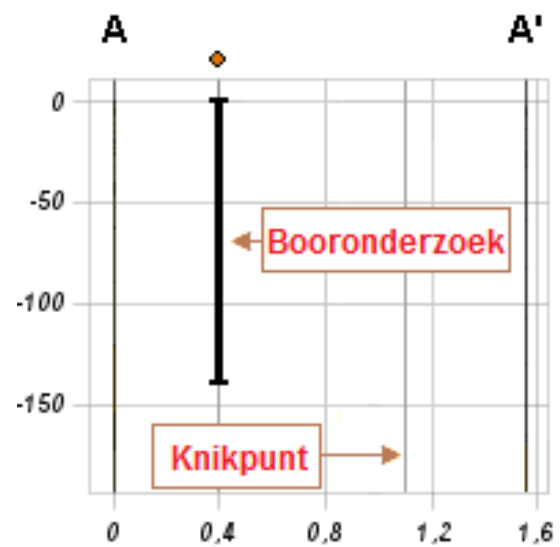
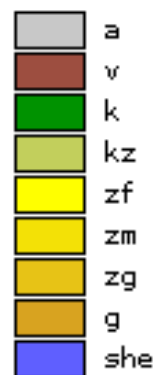


● cpt  
 ● borehole  
 ● not shown on sectionplot  
 — section

# Verticale Doorsnede BRO GeoTOP v1.4.1



Lithoklasse



# Bijlage 3 – Berekening D-Geo Pipeline

## **Report for D-Geo Pipeline 20.1**

Model : Horizontal Directional Drilling  
Developed by Deltares

Date of report: 20-4-2022  
Time of report: 08:24:16  
Report with version: 20.1.2.31161  
Calculated with version: 20.1.2.31161

File name: GTB HDD3 berekening ONDIEP

## 1 Table of Contents

1	Table of Contents	2
2	Messages	4
2.1	Calculation Warnings	4
3	Input Data	5
3.1	Model Used	5
3.2	Layer Boundaries	5
3.3	PI-lines	5
3.4	Phreatic Line	5
3.5	Soil Profiles	5
3.6	Selected Boundaries	5
3.7	Soil Material Data	6
3.8	Geometry	6
3.8.1	Geometry Section, Detailed	6
3.8.2	Geometry Top View	7
3.9	Calculation Verticals	7
3.10	Traffic Load	9
3.11	Configuration of the Pipeline	9
3.12	Product Pipe Material Data	9
3.13	Pipe Engineering Data	10
3.14	Drilling Fluid Data	11
3.15	Factors	11
3.16	Calculation Options	11
4	Drilling Fluid Pressures	12
4.1	Drilling Fluid Data	12
4.2	Equilibrium between Drilling Fluid Pressure and Pore Pressure	16
4.3	Drilling Fluid Pressure Plots	18
4.3.1	Drilling Fluid Pressures during Pilot	18
4.3.2	Drilling Fluid Pressures during Prereaming	18
4.3.3	Drilling Fluid Pressures during Reaming and Pullback Operation	19
5	Soil Mechanical Data	20
5.1	Soil Mechanical Parameters Pipe 1: pipe nr. 1	20
5.2	Soil Mechanical Parameters Pipe 2: pipe nr. 2	23
5.3	Soil Mechanical Parameters Pipe 3: pipe nr. 3	26
5.4	Soil Mechanical Parameters Pipe 4: pipe nr. 4	29
5.5	Young's Modulus per Layer per Vertical	32
6	Data for Stress Analysis	36
6.1	General Data	36
6.2	Buoyancy Control	36
6.3	Calculation Pulling Force	36
7	Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1	38
7.1	Material Data of Pipe 1: pipe nr. 1	38
7.2	Results Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1	38
7.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	38
7.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	39
7.2.3	Load Combination 2: Application Internal Pressure	39
7.2.4	Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	39
7.2.5	Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	39
7.3	Check on Calculated Stresses of Pipe 1: pipe nr. 1	40
7.4	Check for Implosion of Pipe 1: pipe nr. 1	40
8	Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2	41
8.1	Material Data of Pipe 2: pipe nr. 2	41
8.2	Results Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2	41
8.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	41
8.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	42
8.2.3	Load Combination 2: Application Internal Pressure	42
8.2.4	Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	42
8.2.5	Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	42
8.3	Check on Calculated Stresses of Pipe 2: pipe nr. 2	43
8.4	Check for Implosion of Pipe 2: pipe nr. 2	43
9	Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3	45
9.1	Material Data of Pipe 3: pipe nr. 3	45
9.2	Results Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3	45
9.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	45
9.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	46



---

9.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure	46
9.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	46
9.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	46
9.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 3: pipe nr. 3	47
9.4 Check for Implosion of Pipe 3: pipe nr. 3	47
10 Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4	48
10.1 Material Data of Pipe 4: pipe nr. 4	48
10.2 Results Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4	48
10.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation	48
10.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation	49
10.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure	49
10.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	49
10.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	49
10.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 4: pipe nr. 4	50
10.4 Check for Implosion of Pipe 4: pipe nr. 4	50

## 2 Messages

### 2.1 Calculation Warnings

One or more layers above the border between the top undrained and underlying drained layers have a  $S_u$ -value of 0.

### 3 Input Data

#### 3.1 Model Used

Model Used : Horizontal Directional Drilling

#### 3.2 Layer Boundaries

Boundary number	Co-ordinates [m]				
5 - L -	0,000	10,000	20,000	30,000	40,000
5 - Z -	0,292	0,260	0,291	0,406	0,278
5 - L -	50,000	60,000	70,000	80,000	90,000
5 - Z -	0,248	0,266	0,191	1,272	1,774
5 - L -	100,000	110,000	120,000	130,000	140,000
5 - Z -	3,553	3,267	3,065	3,019	2,958
5 - L -	150,000	160,000	170,000	180,000	190,000
5 - Z -	2,984	2,958	2,956	2,587	-1,500
5 - L -	200,000	210,000	220,000	230,000	240,000
5 - Z -	-1,500	-1,500	-1,500	-1,500	-1,500
5 - L -	250,000	260,000	270,000	280,000	290,000
5 - Z -	-1,500	0,824	3,528	1,650	1,096
5 - L -	300,000	310,000	320,000	330,000	340,000
5 - Z -	-0,167	0,776	0,691	0,696	0,586
5 - L -	350,000	360,000	370,000	380,000	390,000
5 - Z -	0,607	0,628	0,566	0,469	0,542
5 - L -	400,000	410,000	420,000	430,000	500,000
5 - Z -	0,382	-0,589	0,399	0,595	0,724
4 - L -	0,000	58,008	70,010	500,000	
4 - Z -	0,290	-0,200	-2,000	-1,700	
3 - L -	0,000	500,000			
3 - Z -	-2,500	-2,500			
2 - L -	0,000	500,000			
2 - Z -	-18,000	-18,000			
1 - L -	0,000	500,000			
1 - Z -	-22,000	-22,000			
0 - L -	0,000	500,000			
0 - Z -	-30,000	-30,000			

#### 3.3 PI-lines

PI-line number	Co-ordinates [m]				
1 - L -	0,000	500,000			
1 - Z -	-0,900	-0,900			

#### 3.4 Phreatic Line

Piezo-line 1 is used as phreatic line (groundwater).

#### 3.5 Soil Profiles

Layer number	Material name	Piezo-line at top	Piezo-line at bottom
5	Klei, schoon, matig	1	1
4	Veen, slap	1	1
3	Zand, schoon, matig	1	1
2	Klei, zwak zandig, m...	1	1
1	Zand, schoon, vast	1	1

#### 3.6 Selected Boundaries

The boundary between (cohesive) undrained top layers and underlying (non-cohesive) drained layers, is situated at the top of layer number 1: Zand, schoon, vast

The boundary between compressible top layers and underlying non-compressible layers, is situated at the top of layer number 1: Zand, schoon, vast

### 3.7 Soil Material Data

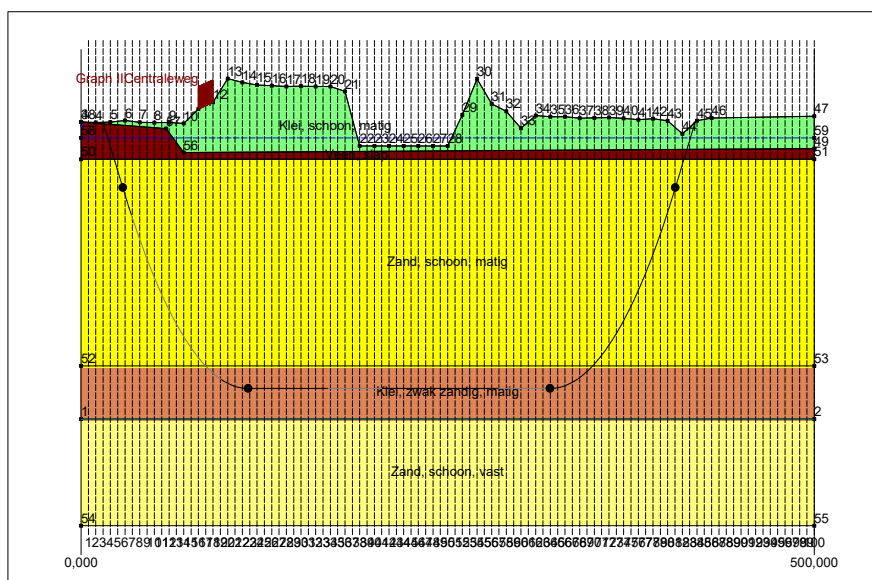
Name	Gamma unsat [kN/m <sup>3</sup> ]	Gamma sat [kN/m <sup>3</sup> ]	Cohesion [kN/m <sup>2</sup> ]	Phi [deg]	Su top [kN/m <sup>2</sup> ]	Su bottom [kN/m <sup>2</sup> ]
Zand, sterk siltig, kleig	18,00	20,00	0,00	30,00	0,00	0,00
Klei, sterk zandig	18,00	18,00	0,50	27,50	10,00	10,00
Veen, slap	11,00	11,00	1,50	15,00	15,00	15,00
Zand, schoon, matig	18,00	20,00	0,00	32,50	0,00	0,00
Klei, zwak zandig, matig	18,00	18,00	5,00	22,50	80,00	80,00
Zand, schoon, vast	19,00	21,00	0,00	35,00	0,00	0,00
Klei, schoon, matig	18,00	18,00	5,00	22,50	50,00	50,00

Name	Soil type	Emod 100 [kN/m <sup>2</sup> ]	Emod top [kN/m <sup>2</sup> ]	Emod bottom [kN/m <sup>2</sup> ]
Zand, sterk siltig, kleig	Sand	10000,00	-	-
Klei, sterk zandig	Clay	2000,00	-	-
Veen, slap	Peat	200,00	-	-
Zand, schoon, matig	Sand	30000,00	-	-
Klei, zwak zandig, matig	Clay	3000,00	-	-
Zand, schoon, vast	Sand	90000,00	-	-
Klei, schoon, matig	Clay	2000,00	-	-

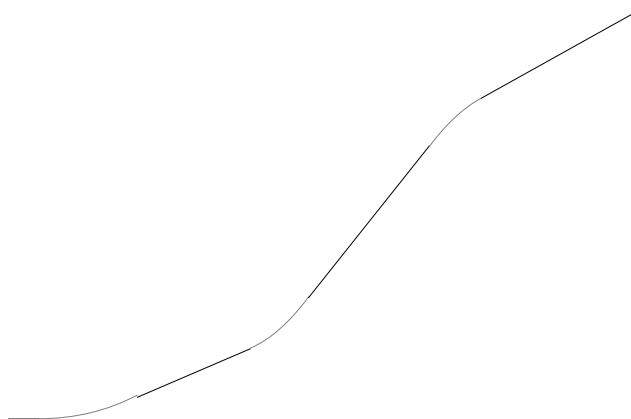
Name	Adhesion A [kN/m <sup>2</sup> ]	Delta D [deg]	Nu [-]
Zand, sterk siltig, kleig	-	-	0,20
Klei, sterk zandig	-	-	0,20
Veen, slap	-	-	0,20
Zand, schoon, matig	-	-	0,20
Klei, zwak zandig, matig	-	-	0,20
Zand, schoon, vast	-	-	0,30
Klei, schoon, matig	-	-	0,20

### 3.8 Geometry

#### 3.8.1 Geometry Section, Detailed



### 3.8.2 Geometry Top View



### 3.9 Calculation Verticals

Vertical no.	L-coord. [m]	Z-coord. [m]
1	5,000	n.a.
2	10,000	n.a.
3	15,000	0,275
4	20,000	-1,545
5	25,000	-3,365
6	30,000	-5,179
7	35,000	-6,902
8	40,000	-8,509
9	45,000	-10,000
10	50,000	-11,379
11	55,000	-12,647
12	60,000	-13,807
13	65,000	-14,858
14	70,000	-15,804
15	75,000	-16,645
16	80,000	-17,382
17	85,000	-18,017
18	90,000	-18,549
19	95,000	-18,980
20	100,000	-19,310
21	105,000	-19,539
22	110,000	-19,669
23	115,000	-19,700
24	120,000	-19,700
25	125,000	-19,700
26	130,000	-19,700
27	135,000	-19,700
28	140,000	-19,700
29	145,000	-19,700
30	150,000	-19,700
31	155,000	-19,700

Vertical no.	L-coord. [m]	Z-coord. [m]
32	160,000	-19,700
33	165,000	-19,700
34	170,000	-19,700
35	175,000	-19,700
36	180,000	-19,700
37	185,000	-19,700
38	190,000	-19,700
39	195,000	-19,700
40	200,000	-19,700
41	205,000	-19,700
42	210,000	-19,700
43	215,000	-19,700
44	220,000	-19,700
45	225,000	-19,700
46	230,000	-19,700
47	235,000	-19,700
48	240,000	-19,700
49	245,000	-19,700
50	250,000	-19,700
51	255,000	-19,700
52	260,000	-19,700
53	265,000	-19,700
54	270,000	-19,700
55	275,000	-19,700
56	280,000	-19,700
57	285,000	-19,700
58	290,000	-19,700
59	295,000	-19,700
60	300,000	-19,700
61	305,000	-19,700
62	310,000	-19,700
63	315,000	-19,700
64	320,000	-19,700
65	325,000	-19,645
66	330,000	-19,491
67	335,000	-19,236
68	340,000	-18,880
69	345,000	-18,424
70	350,000	-17,866
71	355,000	-17,206
72	360,000	-16,443
73	365,000	-15,575
74	370,000	-14,603
75	375,000	-13,524
76	380,000	-12,337
77	385,000	-11,041
78	390,000	-9,634
79	395,000	-8,114
80	400,000	-6,478
81	405,000	-4,725
82	410,000	-2,905
83	415,000	-1,085
84	420,000	n.a.
85	425,000	n.a.
86	430,000	n.a.
87	435,000	n.a.
88	440,000	n.a.
89	445,000	n.a.
90	450,000	n.a.
91	455,000	n.a.
92	460,000	n.a.
93	465,000	n.a.
94	470,000	n.a.
95	475,000	n.a.
96	480,000	n.a.

Vertical no.	L-coord. [m]	Z-coord. [m]
97	485,000	n.a.
98	490,000	n.a.
99	495,000	n.a.
100	500,000	n.a.

Locations of the calculation verticals; L represents distance along the pipeline projection in the horizontal plane, incremented with the entry co-ordinate.

### 3.10 Traffic Load

Centraleweg		
L start	80,00	[m]
L end	90,00	[m]
Load model (graph type)	Graph II	

### 3.11 Configuration of the Pipeline

X co-ordinate left point	15,000	[m]
Y co-ordinate left point	0,000	[m]
Z co-ordinate left point	0,275	[m]
X co-ordinate right point	415,000	[m]
Y co-ordinate right point	47,000	[m]
Z co-ordinate right point	0,274	[m]
Angle left	20,0000	[deg]
Angle right	20,0000	[deg]
Bending radius left, vertical in/out	250,000	[m]
Bending radius right, vertical in/out	250,000	[m]
Bending radius pipe on rollers	500,000	[m]
Lowest level of pipe (center bore hole)	-19,700	[m]
Angle of pipe (between radii)	0,0000	[deg]
Number of horizontal bends	3	

The pulling direction of the product pipe is from left to right.

Bending nr.	X1-coord. [m]	Y1-coord. [m]	X2-coord. [m]	Y2-coord. [m]	Bending radius [m]	Direction
1	34,400	0,000	97,000	2,500	800,000	right
2	169,000	8,100	206,000	14,000	250,000	right
3	283,000	31,500	316,000	37,000	250,000	left

### 3.12 Product Pipe Material Data

Input data pipe nr. 1		
Material	Polyethene	
Quality	PE100	
Young's modulus (short)	975,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Young's modulus (long)	350,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Allowable strength (long)	8,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensile factor (alpha)	0,65	[-]
Linear settlement coefficient (alpha_g)	0,0001600	[mm/mmK]
Outer diameter product pipe	315,00	[mm]
Wall thickness (Nominal)	28,70	[mm]
Unit weight pipe material	9,54	[kN/m <sup>3</sup> ]
Design pressure	0,00	[bar]
Test pressure	0,00	[bar]
Temperature variation	0,00	[deg C]

Input data pipe nr. 2		
Material	Polyethene	
Quality	PE100	
Young's modulus (short)	975,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Young's modulus (long)	350,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm <sup>2</sup> ]

Allowable strength (long)	8,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensile factor (alpha)	0,65	[-]
Linear settlement coefficient (alpha_g)	0,0001600	[mm/mmK]
Outer diameter product pipe	315,00	[mm]
Wall thickness (Nominal)	28,70	[mm]
Unit weight pipe material	9,54	[kN/m <sup>3</sup> ]
Design pressure	0,00	[bar]
Test pressure	0,00	[bar]
Temperature variation	0,00	[deg C]
Input data pipe nr. 3		
Material	Polyethene	
Quality	PE100	
Young's modulus (short)	975,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Young's modulus (long)	350,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Allowable strength (long)	8,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensile factor (alpha)	0,65	[-]
Linear settlement coefficient (alpha_g)	0,0001600	[mm/mmK]
Outer diameter product pipe	315,00	[mm]
Wall thickness (Nominal)	28,70	[mm]
Unit weight pipe material	9,54	[kN/m <sup>3</sup> ]
Design pressure	0,00	[bar]
Test pressure	0,00	[bar]
Temperature variation	0,00	[deg C]
Input data pipe nr. 4		
Material	Polyethene	
Quality	PE100	
Young's modulus (short)	975,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Young's modulus (long)	350,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Allowable strength (long)	8,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensile factor (alpha)	0,65	[-]
Linear settlement coefficient (alpha_g)	0,0001600	[mm/mmK]
Outer diameter product pipe	315,00	[mm]
Wall thickness (Nominal)	28,70	[mm]
Unit weight pipe material	9,54	[kN/m <sup>3</sup> ]
Design pressure	0,00	[bar]
Test pressure	0,00	[bar]
Temperature variation	0,00	[deg C]

### 3.13 Pipe Engineering Data

Pipe filled with water on rollers	No	
Part of cross section filled with fluid	0	[%]
Unit weight fluid	10,00	[kN/m <sup>3</sup> ]
Bedding angle	30	[deg]
Load angle	30	[deg]
Relative displacement	10,00	[mm]
Compression index	6,00	[-]
Modulus of subgrade reaction drilling fluid (Kv)	500,00	[kN/m <sup>3</sup> ]
Phi drilling fluid	15,00	[deg]
Cohesion drilling fluid	5,00	[kN/m <sup>2</sup> ]
Factor of friction pipe-roller (f1)	0,10	[-]
Friction pipe-drilling fluid (f2)	0,000050	[N/mm <sup>2</sup> ]
Factor of friction pipe-soil (f3)	0,20	[-]



### 3.14 Drilling Fluid Data

Outer diameter pilot hole	0,300	[m]
Outer diameter pilot pipe	0,170	[m]
Outer diameter preream hole	0,500	[m]
Outer diameter drillpipe	0,170	[m]
Outer diameter bore hole	1,000	[m]
Outer diameter product pipe	0,630	[m]
Pump flow rate pilot	500,0000	[liter/minute]
Pump flow rate pre-reaming	1000,0000	[liter/minute]
Pump flow rate ream and pull-back	1000,0000	[liter/minute]
Circulation loss factor pilot	0,30	[-]
Circulation loss factor pre-reaming	0,20	[-]
Circulation loss factor ream and pull-back	0,20	[-]
Unit weight drilling fluid ( $\gamma$ )	11,1	[kN/m <sup>3</sup> ]
Yieldpoint drilling fluid ( $\tau$ )	0,014	[kN/m <sup>2</sup> ]
Plastic viscosity drilling fluid ( $\mu$ )	0,000040	[kN.s/m <sup>2</sup> ]

### 3.15 Factors

(Polyethene)Safety factor on implosion (Long)	3,0	[-]
(Polyethene)Safety factor on implosion (Short)	1,5	[-]
Contingency factor on unit weight of material types below and above phreatic level	1,10	[-]
Contingency factor on (drained) cohesion C	1,40	[-]
Contingency factor on undrained shear strength $S_u$	1,40	[-]
Contingency factor on Phi	1,10	[-]
Contingency factor on E-modulus	1,25	[-]
Contingency factor on modulus of subgrade reaction	2,00	[-]
Load factor on design pressure (Polyethene)	1,00	[-]
Load factor on design pressure (combination) (Polyethene)	1,00	[-]
Load factor on test pressure (Polyethene)	1,00	[-]
Load factor on installation (Polyethene)	1,00	[-]
Load factor on reduced neutral soil stress $q_{n,r}$ (Polyethene)	1,50	[-]
Load factor on temperature (Polyethene)	1,10	[-]
Load factor on traffic load (Polyethene)	1,35	[-]
Factor of importance (S)	1,00	[-]
Allowable deflection of steel pipe	15,00	[%]
Allowable piggability of steel pipe	5,00	[%]
Allowable deflection of polyethene pipe	8,00	[%]
Allowable piggability of polyethene pipe	5,00	[%]
Unit weight water	10,00	[kN/m <sup>3</sup> ]
Safety factor on cover (drained layer)	0,50	[-]
Safety factor on cover (undrained layer)	0,50	[-]
Ratio H/Do for boundary between shallow and deep situation	7,50	[-]

### 3.16 Calculation Options

Stress analysis option : Standard

## 4 Drilling Fluid Pressures

### 4.1 Drilling Fluid Data

Vertical no.	Drilling fluid pressures pilot [kN/m <sup>2</sup> ]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	0	0	0	204
2	24	24	23	222
3	52	52	46	239
4	74	74	69	257
5	100	100	90	273
6	124	124	111	289
7	148	148	130	303
8	170	170	148	315
9	191	191	164	327
10	211	211	180	337
11	231	231	194	346
12	249	249	207	354
13	269	269	219	361
14	287	287	230	367
15	300	300	239	371
16	522	522	248	375
17	556	556	255	377
18	576	576	261	378
19	579	579	266	378
20	579	579	270	377
21	578	578	273	375
22	577	577	275	372
23	576	576	278	370
24	576	576	280	367
25	575	575	283	365
26	575	575	285	362
27	575	575	288	360
28	575	575	290	357
29	575	575	293	355
30	575	575	295	352
31	575	575	298	350
32	575	575	300	347
33	572	572	303	345
34	570	570	305	342
35	540	540	308	340
36	512	512	310	337
37	512	512	313	335
38	512	512	315	332
39	512	512	318	330
40	512	512	320	327
41	512	512	323	325
42	512	512	325	322
43	512	512	328	320
44	512	512	330	317
45	512	512	333	315
46	512	512	335	312
47	512	512	338	310
48	512	512	340	307
49	526	526	343	305
50	544	544	345	302
51	564	564	348	300
52	582	582	350	297
53	569	569	353	295
54	556	556	355	292
55	552	552	358	290
56	548	548	360	287
57	538	538	363	285

Vertical no.	Drilling fluid pressures pilot [kN/m <sup>2</sup> ]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
58	529	529	365	282
59	536	536	368	280
60	543	543	370	277
61	542	542	373	275
62	542	542	375	272
63	541	541	377	269
64	538	538	378	265
65	532	532	378	260
66	522	522	376	253
67	488	488	374	246
68	286	286	370	237
69	276	276	365	227
70	263	263	359	216
71	249	249	352	204
72	233	233	344	191
73	215	215	335	176
74	196	196	324	160
75	176	176	312	143
76	154	154	299	125
77	129	129	285	106
78	103	103	269	85
79	73	73	253	63
80	57	57	235	40
81	67	67	217	17

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m <sup>2</sup> ]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	0	0	0	0
2	24	24	21	23
3	55	55	42	46
4	76	76	63	69
5	101	101	84	90
6	125	125	102	111
7	149	149	120	130
8	171	171	136	148
9	191	191	151	164
10	211	211	165	180
11	231	231	178	194
12	250	250	189	207
13	269	269	199	219
14	287	287	208	230
15	301	301	216	239
16	487	487	223	248
17	544	544	229	255
18	570	570	233	261
19	574	574	237	266
20	575	575	239	270
21	575	575	240	273
22	573	573	241	275
23	573	573	242	276
24	572	572	243	275
25	572	572	244	274
26	572	572	245	273
27	572	572	246	272
28	572	572	247	271
29	572	572	248	270
30	572	572	249	269
31	571	571	250	268
32	571	571	250	268
33	569	569	251	267
34	566	566	252	266
35	537	537	253	265
36	509	509	254	264

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m <sup>2</sup> ]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
37	509	509	255	263
38	509	509	256	262
39	509	509	257	261
40	509	509	258	260
41	509	509	259	259
42	509	509	260	258
43	509	509	260	258
44	508	508	261	257
45	508	508	262	256
46	508	508	263	255
47	508	508	264	254
48	508	508	265	253
49	523	523	266	252
50	541	541	267	251
51	560	560	268	250
52	579	579	269	249
53	566	566	270	248
54	553	553	271	247
55	549	549	271	247
56	545	545	272	246
57	535	535	273	245
58	525	525	274	244
59	533	533	275	243
60	540	540	276	242
61	539	539	275	241
62	538	538	272	240
63	537	537	269	239
64	534	534	265	236
65	525	525	260	232
66	508	508	253	227
67	435	435	246	221
68	286	286	237	214
69	276	276	227	206
70	264	264	216	197
71	250	250	204	186
72	234	234	191	174
73	216	216	176	162
74	196	196	160	147
75	176	176	143	132
76	155	155	125	116
77	131	131	106	98
78	106	106	85	79
79	76	76	63	58
80	66	66	40	37
81	51	51	17	16

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m <sup>2</sup> ]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	0	0	0	0
2	22	22	21	21
3	61	61	42	42
4	79	79	63	63
5	103	103	83	84
6	127	127	102	102
7	150	150	119	120
8	172	172	135	136
9	192	192	150	151
10	212	212	164	165
11	232	232	176	178
12	251	251	188	189
13	270	270	198	199
14	288	288	207	208
15	302	302	214	216

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m <sup>2</sup> ]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
16	351	351	221	223
17	494	494	227	229
18	539	539	231	233
19	552	552	235	237
20	557	557	237	239
21	557	557	238	240
22	555	555	239	241
23	555	555	239	242
24	555	555	240	243
25	554	554	241	244
26	554	554	242	245
27	554	554	243	246
28	554	554	243	247
29	554	554	244	248
30	554	554	245	249
31	554	554	246	250
32	554	554	247	250
33	551	551	247	251
34	549	549	248	252
35	520	520	249	253
36	492	492	250	254
37	492	492	251	255
38	492	492	251	256
39	492	492	252	256
40	492	492	253	255
41	492	492	254	254
42	492	492	254	253
43	492	492	255	253
44	492	492	256	252
45	492	492	256	251
46	492	492	255	250
47	492	492	254	250
48	492	492	253	249
49	506	506	252	248
50	524	524	251	247
51	543	543	250	246
52	561	561	249	246
53	548	548	248	245
54	535	535	247	244
55	531	531	247	243
56	527	527	246	242
57	518	518	245	242
58	509	509	244	241
59	516	516	243	240
60	523	523	242	239
61	522	522	241	238
62	522	522	240	238
63	519	519	239	236
64	511	511	236	234
65	494	494	232	230
66	449	449	227	225
67	296	296	221	220
68	287	287	214	213
69	277	277	206	204
70	265	265	197	195
71	251	251	186	185
72	235	235	174	173
73	217	217	162	160
74	198	198	147	146
75	178	178	132	131
76	158	158	116	115
77	134	134	98	97
78	111	111	79	78
79	80	80	58	58

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m <sup>2</sup> ]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
80	47	47	37	37
81	0	2	16	16

#### 4.2 Equilibrium between Drilling Fluid Pressure and Pore Pressure

Vertical no.	Static column pressure			
	Drilling fluid [kN/m <sup>2</sup> ]	Water [kN/m <sup>2</sup> ]	Safety [-]	Result
1	0	0	-	sufficient
2	20	6	3,13	sufficient
3	40	25	1,64	sufficient
4	61	43	1,41	sufficient
5	80	60	1,33	sufficient
6	97	76	1,28	sufficient
7	114	91	1,25	sufficient
8	129	105	1,23	sufficient
9	143	117	1,22	sufficient
10	156	129	1,21	sufficient
11	168	140	1,20	sufficient
12	178	149	1,20	sufficient
13	188	157	1,19	sufficient
14	196	165	1,19	sufficient
15	203	171	1,19	sufficient
16	209	176	1,18	sufficient
17	214	181	1,18	sufficient
18	217	184	1,18	sufficient
19	220	186	1,18	sufficient
20	221	188	1,18	sufficient
21	222	188	1,18	sufficient
22	222	188	1,18	sufficient
23	222	188	1,18	sufficient
24	222	188	1,18	sufficient
25	222	188	1,18	sufficient
26	222	188	1,18	sufficient
27	222	188	1,18	sufficient
28	222	188	1,18	sufficient
29	222	188	1,18	sufficient
30	222	188	1,18	sufficient
31	222	188	1,18	sufficient
32	222	188	1,18	sufficient
33	222	188	1,18	sufficient
34	222	188	1,18	sufficient
35	222	188	1,18	sufficient
36	222	188	1,18	sufficient
37	222	188	1,18	sufficient
38	222	188	1,18	sufficient
39	222	188	1,18	sufficient
40	222	188	1,18	sufficient
41	222	188	1,18	sufficient
42	222	188	1,18	sufficient
43	222	188	1,18	sufficient
44	222	188	1,18	sufficient
45	222	188	1,18	sufficient
46	222	188	1,18	sufficient
47	222	188	1,18	sufficient
48	222	188	1,18	sufficient
49	222	188	1,18	sufficient
50	222	188	1,18	sufficient
51	222	188	1,18	sufficient
52	222	188	1,18	sufficient
53	222	188	1,18	sufficient
54	222	188	1,18	sufficient
55	222	188	1,18	sufficient
56	222	188	1,18	sufficient

Vertical no.	Static column pressure			Result
	Drilling fluid [kN/m <sup>2</sup> ]	Water [kN/m <sup>2</sup> ]	Safety [-]	
57	222	188	1,18	sufficient
58	222	188	1,18	sufficient
59	222	188	1,18	sufficient
60	222	188	1,18	sufficient
61	222	188	1,18	sufficient
62	222	188	1,18	sufficient
63	221	187	1,18	sufficient
64	219	186	1,18	sufficient
65	217	183	1,18	sufficient
66	213	180	1,18	sufficient
67	208	175	1,18	sufficient
68	201	170	1,19	sufficient
69	194	163	1,19	sufficient
70	186	155	1,19	sufficient
71	176	147	1,20	sufficient
72	165	137	1,21	sufficient
73	153	126	1,21	sufficient
74	140	114	1,22	sufficient
75	126	101	1,24	sufficient
76	110	87	1,26	sufficient
77	93	72	1,29	sufficient
78	75	56	1,34	sufficient
79	55	38	1,45	sufficient
80	35	20	1,76	sufficient
81	15	2	8,15	sufficient

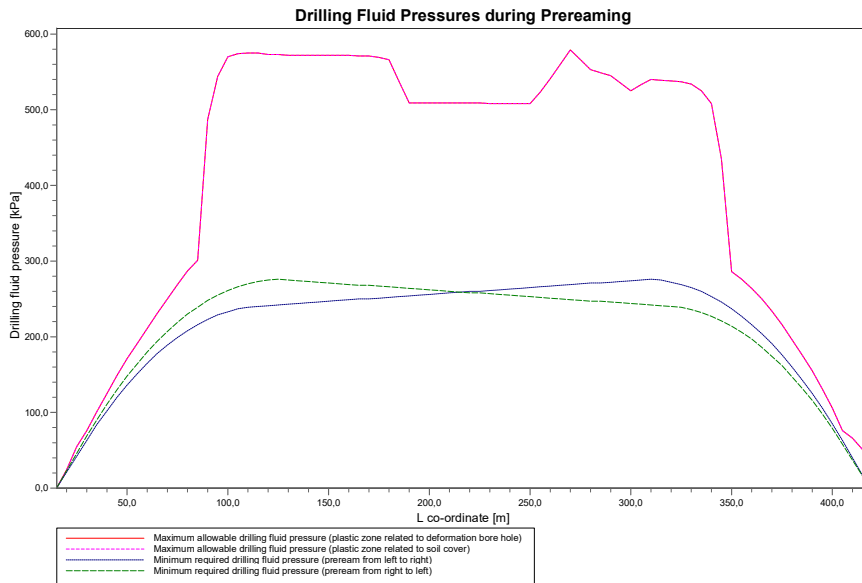
The static drilling fluid pressure is calculated and can be compared with the calculated groundwater pressure. The quotient of the drilling fluid pressure and the groundwater pressure yields the safety factor, which should be higher than the requested factor of safety of 1,10.

### 4.3 Drilling Fluid Pressure Plots

#### 4.3.1 Drilling Fluid Pressures during Pilot

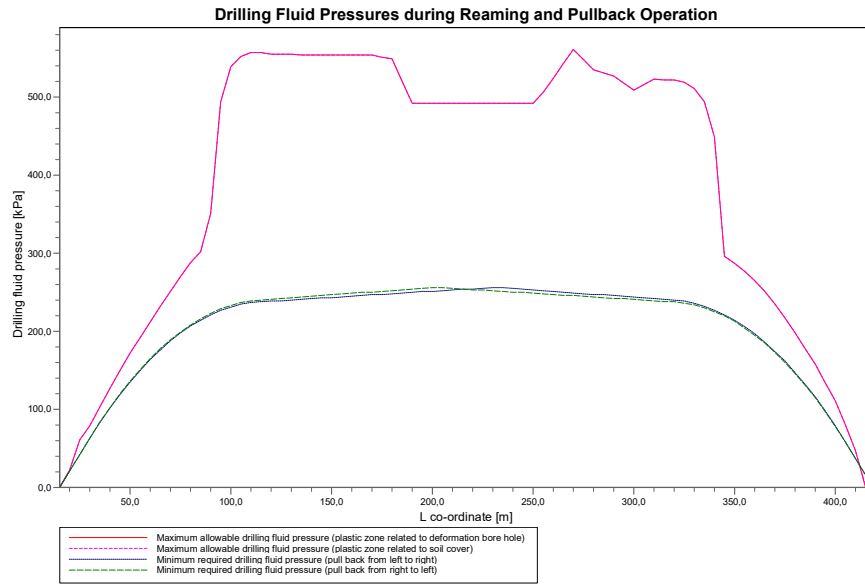


#### 4.3.2 Drilling Fluid Pressures during Preaming





4.3.3 Drilling Fluid Pressures during Reaming and Pullback Operation



## 5 Soil Mechanical Data

### 5.1 Soil Mechanical Parameters Pipe 1: pipe nr. 1

The list with data and issues is shown hereafter:

Note: safety factors not applied.

q <sub>v</sub> ;p	Passive soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>v</sub> ;n	Neutral soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>h</sub> ;n	Neutral horizontal soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>v</sub> ;r;n	Reduced neutral soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>traffic</sub>	Traffic load	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>v</sub> ;e	Vertical bearing capacity	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>h</sub> ;e	Horizontal bearing capacity	kN/m <sup>2</sup>
k <sub>v</sub> ;bot	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m <sup>3</sup>
k <sub>v</sub> ;top	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m <sup>3</sup>
k <sub>h</sub>	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m <sup>3</sup>
t <sub>max</sub>	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m <sup>2</sup>
d <sub>max</sub>	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	q <sub>v</sub> ;p [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>v</sub> ;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>h</sub> ;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>v</sub> ;r;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>traffic</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>v</sub> ;e [kN/m <sup>2</sup> ]
1	-3	0	0	0	0	18
2	25	15	11	15	0	106
3	107	25	18	25	0	882
4	271	44	25	33	0	1564
5	468	60	32	44	0	2139
6	653	76	38	52	0	2673
7	765	91	43	58	0	3198
8	865	104	47	64	0	3684
9	957	118	50	68	0	4146
10	1052	132	53	72	0	4638
11	1153	147	56	75	0	5168
12	1244	161	58	78	0	5661
13	1360	179	60	82	0	6298
14	1467	196	62	84	0	5636
15	641	207	63	85	0	2642
16	666	216	64	86	0	2751
17	720	235	66	88	0	2986
18	772	254	67	91	0	3212
19	770	253	67	90	0	3203
20	766	251	66	90	0	3184
21	761	250	66	89	0	3165
22	756	248	66	89	0	3143
23	755	248	66	89	0	3137
24	754	247	66	89	0	3132
25	752	247	66	89	0	3125
26	750	246	66	89	0	3118
27	751	246	66	89	0	3121
28	752	246	66	89	0	3123
29	751	246	66	89	0	3120
30	750	246	66	89	0	3117
31	750	246	66	89	0	3116
32	750	246	66	89	0	3116
33	741	242	65	88	0	3075
34	731	239	65	87	0	3035
35	628	202	60	80	0	2588
36	541	172	55	74	0	2215
37	541	172	55	74	0	2214
38	541	171	55	74	0	2214
39	540	171	55	74	0	2214
40	540	171	55	74	0	2214
41	540	171	55	74	0	2213
42	540	171	55	74	0	2213
43	540	171	55	74	0	2213

Vertical no.	q_v;p [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_h;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;r;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_traffic [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;e [kN/m <sup>2</sup> ]
44	540	171	55	74	0	2212
45	540	171	55	74	0	2212
46	540	171	55	74	0	2212
47	540	171	55	74	0	2212
48	540	171	55	74	0	2211
49	582	186	57	77	0	2392
50	641	207	60	81	0	2645
51	709	231	64	86	0	2940
52	777	256	67	90	0	3235
53	730	239	65	87	0	3030
54	683	222	62	84	0	2824
55	669	217	62	83	0	2764
56	655	212	61	82	0	2703
57	622	200	59	80	0	2565
58	590	189	58	78	0	2427
59	614	197	59	79	0	2529
60	638	206	60	81	0	2632
61	636	205	60	81	0	2622
62	634	204	60	81	0	2613
63	632	204	60	81	0	2608
64	629	203	60	81	0	2593
65	620	200	60	81	0	2556
66	609	196	60	81	0	2509
67	600	192	60	82	0	2466
68	1415	187	61	82	0	2408
69	1374	181	60	81	0	6375
70	1326	174	60	81	0	6112
71	1267	164	59	79	0	5787
72	1200	154	57	78	0	5424
73	1122	142	56	75	0	5013
74	1036	130	53	72	0	4565
75	951	117	50	68	0	4131
76	856	104	47	63	0	3658
77	732	87	41	56	0	3072
78	511	69	35	47	0	2445
79	225	43	23	31	0	1522
80	49	16	12	16	0	579
81	27	15	11	15	0	300

Vertical no.	q_h;e [kN/m <sup>2</sup> ]	k_v;bot [kN/m <sup>3</sup> ]	k_v;top [kN/m <sup>3</sup> ]	k_h [kN/m <sup>3</sup> ]	t_max [kN/m <sup>2</sup> ]	d_max [mm]
1	6	928	0	649	0,05	7,5
2	53	1101	2	771	0,05	7,5
3	212	33549	10573	23485	0,05	7,5
4	392	42848	33853	29993	0,05	7,5
5	532	49516	41743	34661	0,05	7,5
6	653	55100	48079	38570	0,05	7,5
7	765	60167	53693	42117	0,05	7,5
8	865	64560	58483	45192	0,05	7,5
9	957	68522	62759	47965	0,05	7,5
10	1052	72555	67074	50788	0,05	7,5
11	1153	76700	71478	53690	0,05	7,5
12	1244	80397	75383	56278	0,05	7,5
13	1360	85211	80196	59648	0,05	7,5
14	1467	90502	84526	63352	0,05	7,5
15	641	9465	87183	6625	0,05	7,5
16	666	9797	88067	6858	0,05	7,5
17	720	10530	91971	7371	0,05	7,5
18	772	11225	97239	7858	0,05	7,5
19	770	11197	10208	7838	0,05	7,5
20	766	11139	10668	7797	0,05	7,5
21	761	11080	11073	7756	0,05	7,5
22	756	11011	11498	7708	0,05	7,5
23	755	10995	11980	7696	0,05	7,5
24	754	10978	11962	7685	0,05	7,5

Vertical no.	q <sub>h,e</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	k <sub>v,bot</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	k <sub>v,top</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	k <sub>h</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	t <sub>max</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	d <sub>max</sub> [mm]
25	752	10957	11938	7670	0,05	7,5
26	750	10935	11915	7655	0,05	7,5
27	751	10943	11923	7660	0,05	7,5
28	752	10951	11932	7666	0,05	7,5
29	751	10941	11921	7659	0,05	7,5
30	750	10932	11911	7652	0,05	7,5
31	750	10930	11909	7651	0,05	7,5
32	750	10929	11907	7650	0,05	7,5
33	741	10804	11770	7563	0,05	7,5
34	731	10679	11632	7475	0,05	7,5
35	628	9287	10092	6501	0,05	7,5
36	541	8099	8768	5669	0,05	7,5
37	541	8098	8766	5669	0,05	7,5
38	541	8097	8765	5668	0,05	7,5
39	540	8096	8764	5667	0,05	7,5
40	540	8095	8763	5667	0,05	7,5
41	540	8094	8762	5666	0,05	7,5
42	540	8093	8761	5665	0,05	7,5
43	540	8092	8760	5665	0,05	7,5
44	540	8091	8759	5664	0,05	7,5
45	540	8090	8758	5663	0,05	7,5
46	540	8089	8757	5663	0,05	7,5
47	540	8088	8756	5662	0,05	7,5
48	540	8087	8755	5661	0,05	7,5
49	582	8665	9400	6065	0,05	7,5
50	641	9466	10290	6626	0,05	7,5
51	709	10386	11308	7270	0,05	7,5
52	777	11294	12309	7906	0,05	7,5
53	730	10663	11614	7464	0,05	7,5
54	683	10026	10911	7018	0,05	7,5
55	669	9837	10701	6886	0,05	7,5
56	655	9646	10491	6753	0,05	7,5
57	622	9212	10009	6449	0,05	7,5
58	590	8775	9523	6143	0,05	7,5
59	614	9100	9884	6370	0,05	7,5
60	638	9424	10244	6597	0,05	7,5
61	636	9393	10210	6575	0,05	7,5
62	634	9363	10181	6554	0,05	7,5
63	632	9347	12536	6543	0,05	7,5
64	629	9301	19391	6511	0,05	7,5
65	620	9184	31003	6429	0,05	7,5
66	609	9037	47707	6326	0,05	7,5
67	600	8903	69928	6232	0,05	7,5
68	1415	8737	82406	6116	0,05	7,5
69	1374	37520	80761	26264	0,05	7,5
70	1326	74549	78819	52184	0,05	7,5
71	1267	81320	76355	56924	0,05	7,5
72	1200	78644	73534	55051	0,05	7,5
73	1122	75518	70225	52862	0,05	7,5
74	1036	71978	66459	50385	0,05	7,5
75	951	68419	62649	47893	0,05	7,5
76	856	64359	58266	45051	0,05	7,5
77	733	59012	52422	41309	0,05	7,5
78	593	52816	45510	36971	0,05	7,5
79	368	42372	33270	29660	0,05	7,5
80	119	14105	1885	9873	0,05	7,5
81	117	6701	24	4691	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q <sub>v;n</sub> ;max = 256 kN/m <sup>2</sup>
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q <sub>traffic</sub> ;max = 91 kN/m <sup>2</sup>
Maximum reduced soil stress	:	q <sub>v;r;n</sub> ;max = 91 kN/m <sup>2</sup>
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)		
only for verticals in deep situation	:	k <sub>v</sub> ;max = 87183 kN/m <sup>3</sup>
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor)		
only for verticals in deep situation	:	k <sub>v</sub> ;max = 174365 kN/m <sup>3</sup>

## 5.2 Soil Mechanical Parameters Pipe 2: pipe nr. 2

The list with data and issues is shown hereafter:

Note: safety factors not applied.

q_v;p	Passive soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q_v;n	Neutral soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q_h;n	Neutral horizontal soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q_v;r;n	Reduced neutral soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q_traffic	Traffic load	kN/m <sup>2</sup>
q_v;e	Vertical bearing capacity	kN/m <sup>2</sup>
q_h;e	Horizontal bearing capacity	kN/m <sup>2</sup>
k_v;bot	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m <sup>3</sup>
k_v;top	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m <sup>3</sup>
k_h	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m <sup>3</sup>
t_max	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m <sup>2</sup>
d_max	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	q_v;p [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_h;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;r;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_traffic [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;e [kN/m <sup>2</sup> ]
1	-3	0	0	0	0	18
2	25	15	11	15	0	106
3	107	25	18	25	0	882
4	271	44	25	33	0	1564
5	468	60	32	44	0	2139
6	653	76	38	52	0	2673
7	765	91	43	58	0	3198
8	865	104	47	64	0	3684
9	957	118	50	68	0	4146
10	1052	132	53	72	0	4638
11	1153	147	56	75	0	5168
12	1244	161	58	78	0	5661
13	1360	179	60	82	0	6298
14	1467	196	62	84	0	5636
15	641	207	63	85	0	2642
16	666	216	64	86	0	2751
17	720	235	66	88	0	2986
18	772	254	67	91	0	3212
19	770	253	67	90	0	3203
20	766	251	66	90	0	3184
21	761	250	66	89	0	3165
22	756	248	66	89	0	3143
23	755	248	66	89	0	3137
24	754	247	66	89	0	3132
25	752	247	66	89	0	3125
26	750	246	66	89	0	3118
27	751	246	66	89	0	3121
28	752	246	66	89	0	3123
29	751	246	66	89	0	3120
30	750	246	66	89	0	3117
31	750	246	66	89	0	3116
32	750	246	66	89	0	3116
33	741	242	65	88	0	3075
34	731	239	65	87	0	3035
35	628	202	60	80	0	2588
36	541	172	55	74	0	2215
37	541	172	55	74	0	2214
38	541	171	55	74	0	2214
39	540	171	55	74	0	2214
40	540	171	55	74	0	2214
41	540	171	55	74	0	2213
42	540	171	55	74	0	2213
43	540	171	55	74	0	2213
44	540	171	55	74	0	2212
45	540	171	55	74	0	2212

Vertical no.	q_v;p [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_h;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;r;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_traffic [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;e [kN/m <sup>2</sup> ]
46	540	171	55	74	0	2212
47	540	171	55	74	0	2212
48	540	171	55	74	0	2211
49	582	186	57	77	0	2392
50	641	207	60	81	0	2645
51	709	231	64	86	0	2940
52	777	256	67	90	0	3235
53	730	239	65	87	0	3030
54	683	222	62	84	0	2824
55	669	217	62	83	0	2764
56	655	212	61	82	0	2703
57	622	200	59	80	0	2565
58	590	189	58	78	0	2427
59	614	197	59	79	0	2529
60	638	206	60	81	0	2632
61	636	205	60	81	0	2622
62	634	204	60	81	0	2613
63	632	204	60	81	0	2608
64	629	203	60	81	0	2593
65	620	200	60	81	0	2556
66	609	196	60	81	0	2509
67	600	192	60	82	0	2466
68	1415	187	61	82	0	2408
69	1374	181	60	81	0	6375
70	1326	174	60	81	0	6112
71	1267	164	59	79	0	5787
72	1200	154	57	78	0	5424
73	1122	142	56	75	0	5013
74	1036	130	53	72	0	4565
75	951	117	50	68	0	4131
76	856	104	47	63	0	3658
77	732	87	41	56	0	3072
78	511	69	35	47	0	2445
79	225	43	23	31	0	1522
80	49	16	12	16	0	579
81	27	15	11	15	0	300

Vertical no.	q_h;e [kN/m <sup>2</sup> ]	k_v;bot [kN/m <sup>3</sup> ]	k_v;top [kN/m <sup>3</sup> ]	k_h [kN/m <sup>3</sup> ]	t_max [kN/m <sup>2</sup> ]	d_max [mm]
1	6	928	0	649	0,05	7,5
2	53	1101	2	771	0,05	7,5
3	212	33549	10573	23485	0,05	7,5
4	392	42848	33853	29993	0,05	7,5
5	532	49516	41743	34661	0,05	7,5
6	653	55100	48079	38570	0,05	7,5
7	765	60167	53693	42117	0,05	7,5
8	865	64560	58483	45192	0,05	7,5
9	957	68522	62759	47965	0,05	7,5
10	1052	72555	67074	50788	0,05	7,5
11	1153	76700	71478	53690	0,05	7,5
12	1244	80397	75383	56278	0,05	7,5
13	1360	85211	80196	59648	0,05	7,5
14	1467	90502	84526	62352	0,05	7,5
15	641	9465	87183	6625	0,05	7,5
16	666	9797	88067	6858	0,05	7,5
17	720	10530	92971	7371	0,05	7,5
18	772	11225	98239	7858	0,05	7,5
19	770	11197	10208	7838	0,05	7,5
20	766	11139	10668	7797	0,05	7,5
21	761	11080	11073	7756	0,05	7,5
22	756	11011	11498	7708	0,05	7,5
23	755	10995	11980	7696	0,05	7,5
24	754	10978	11962	7685	0,05	7,5
25	752	10957	11938	7670	0,05	7,5
26	750	10935	11915	7655	0,05	7,5

Vertical no.	q <sub>h;e</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	k <sub>v;bot</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	k <sub>v;top</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	k <sub>h</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	t <sub>max</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	d <sub>max</sub> [mm]
27	751	10943	11923	7660	0,05	7,5
28	752	10951	11932	7666	0,05	7,5
29	751	10941	11921	7659	0,05	7,5
30	750	10932	11911	7652	0,05	7,5
31	750	10930	11909	7651	0,05	7,5
32	750	10929	11907	7650	0,05	7,5
33	741	10804	11770	7563	0,05	7,5
34	731	10679	11632	7475	0,05	7,5
35	628	9287	10092	6501	0,05	7,5
36	541	8099	8768	5669	0,05	7,5
37	541	8098	8766	5669	0,05	7,5
38	541	8097	8765	5668	0,05	7,5
39	540	8096	8764	5667	0,05	7,5
40	540	8095	8763	5667	0,05	7,5
41	540	8094	8762	5666	0,05	7,5
42	540	8093	8761	5665	0,05	7,5
43	540	8092	8760	5665	0,05	7,5
44	540	8091	8759	5664	0,05	7,5
45	540	8090	8758	5663	0,05	7,5
46	540	8089	8757	5663	0,05	7,5
47	540	8088	8756	5662	0,05	7,5
48	540	8087	8755	5661	0,05	7,5
49	582	8665	9400	6065	0,05	7,5
50	641	9466	10290	6626	0,05	7,5
51	709	10386	11308	7270	0,05	7,5
52	777	11294	12309	7906	0,05	7,5
53	730	10663	11614	7464	0,05	7,5
54	683	10026	10911	7018	0,05	7,5
55	669	9837	10701	6886	0,05	7,5
56	655	9646	10491	6753	0,05	7,5
57	622	9212	10009	6449	0,05	7,5
58	590	8775	9523	6143	0,05	7,5
59	614	9100	9884	6370	0,05	7,5
60	638	9424	10244	6597	0,05	7,5
61	636	9393	10210	6575	0,05	7,5
62	634	9363	10181	6554	0,05	7,5
63	632	9347	12536	6543	0,05	7,5
64	629	9301	19391	6511	0,05	7,5
65	620	9184	31003	6429	0,05	7,5
66	609	9037	47707	6326	0,05	7,5
67	600	8903	69928	6232	0,05	7,5
68	1415	8737	82406	6116	0,05	7,5
69	1374	37520	80761	26264	0,05	7,5
70	1326	74549	78819	52184	0,05	7,5
71	1267	81320	76355	56924	0,05	7,5
72	1200	78644	73534	55051	0,05	7,5
73	1122	75518	70225	52862	0,05	7,5
74	1036	71978	66459	50385	0,05	7,5
75	951	68419	62649	47893	0,05	7,5
76	856	64359	58266	45051	0,05	7,5
77	733	59012	52422	41309	0,05	7,5
78	593	52816	45510	36971	0,05	7,5
79	368	42372	33270	29660	0,05	7,5
80	119	14105	1885	9873	0,05	7,5
81	117	6701	24	4691	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q <sub>v;n</sub> ;max = 256 kN/m <sup>2</sup>
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q <sub>traffic</sub> ;max = 91 kN/m <sup>2</sup>
Maximum reduced soil stress	:	q <sub>v;r;n</sub> ;max = 91 kN/m <sup>2</sup>
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k <sub>v</sub> ;max = 87183 kN/m <sup>3</sup>
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k <sub>v</sub> ;max = 174365 kN/m <sup>3</sup>

### 5.3 Soil Mechanical Parameters Pipe 3: pipe nr. 3

The list with data and issues is shown hereafter:

Note: safety factors not applied.

q_v;p	Passive soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q_v;n	Neutral soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q_h;n	Neutral horizontal soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q_v,r;n	Reduced neutral soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q_traffic	Traffic load	kN/m <sup>2</sup>
q_v;e	Vertical bearing capacity	kN/m <sup>2</sup>
q_h;e	Horizontal bearing capacity	kN/m <sup>2</sup>
k_v;bot	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m <sup>3</sup>
k_v;top	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m <sup>3</sup>
k_h	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m <sup>3</sup>
t_max	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m <sup>2</sup>
d_max	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	q_v;p [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_h;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v,r;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_traffic [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;e [kN/m <sup>2</sup> ]
1	-3	0	0	0	0	18
2	25	15	11	15	0	106
3	107	25	18	25	0	882
4	271	44	25	33	0	1564
5	468	60	32	44	0	2139
6	653	76	38	52	0	2673
7	765	91	43	58	0	3198
8	865	104	47	64	0	3684
9	957	118	50	68	0	4146
10	1052	132	53	72	0	4638
11	1153	147	56	75	0	5168
12	1244	161	58	78	0	5661
13	1360	179	60	82	0	6298
14	1467	196	62	84	0	5636
15	641	207	63	85	0	2642
16	666	216	64	86	0	2751
17	720	235	66	88	0	2986
18	772	254	67	91	0	3212
19	770	253	67	90	0	3203
20	766	251	66	90	0	3184
21	761	250	66	89	0	3165
22	756	248	66	89	0	3143
23	755	248	66	89	0	3137
24	754	247	66	89	0	3132
25	752	247	66	89	0	3125
26	750	246	66	89	0	3118
27	751	246	66	89	0	3121
28	752	246	66	89	0	3123
29	751	246	66	89	0	3120
30	750	246	66	89	0	3117
31	750	246	66	89	0	3116
32	750	246	66	89	0	3116
33	741	242	65	88	0	3075
34	731	239	65	87	0	3035
35	628	202	60	80	0	2588
36	541	172	55	74	0	2215
37	541	172	55	74	0	2214
38	541	171	55	74	0	2214
39	540	171	55	74	0	2214
40	540	171	55	74	0	2214
41	540	171	55	74	0	2213
42	540	171	55	74	0	2213
43	540	171	55	74	0	2213
44	540	171	55	74	0	2212
45	540	171	55	74	0	2212



Vertical no.	q_v;p [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_h;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;r;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_traffic [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;e [kN/m <sup>2</sup> ]
46	540	171	55	74	0	2212
47	540	171	55	74	0	2212
48	540	171	55	74	0	2211
49	582	186	57	77	0	2392
50	641	207	60	81	0	2645
51	709	231	64	86	0	2940
52	777	256	67	90	0	3235
53	730	239	65	87	0	3030
54	683	222	62	84	0	2824
55	669	217	62	83	0	2764
56	655	212	61	82	0	2703
57	622	200	59	80	0	2565
58	590	189	58	78	0	2427
59	614	197	59	79	0	2529
60	638	206	60	81	0	2632
61	636	205	60	81	0	2622
62	634	204	60	81	0	2613
63	632	204	60	81	0	2608
64	629	203	60	81	0	2593
65	620	200	60	81	0	2556
66	609	196	60	81	0	2509
67	600	192	60	82	0	2466
68	1415	187	61	82	0	2408
69	1374	181	60	81	0	6375
70	1326	174	60	81	0	6112
71	1267	164	59	79	0	5787
72	1200	154	57	78	0	5424
73	1122	142	56	75	0	5013
74	1036	130	53	72	0	4565
75	951	117	50	68	0	4131
76	856	104	47	63	0	3658
77	732	87	41	56	0	3072
78	511	69	35	47	0	2445
79	225	43	23	31	0	1522
80	49	16	12	16	0	579
81	27	15	11	15	0	300

Vertical no.	q_h;e [kN/m <sup>2</sup> ]	k_v;bot [kN/m <sup>3</sup> ]	k_v;top [kN/m <sup>3</sup> ]	k_h [kN/m <sup>3</sup> ]	t_max [kN/m <sup>2</sup> ]	d_max [mm]
1	6	928	0	649	0,05	7,5
2	53	1101	2	771	0,05	7,5
3	212	33549	10573	23485	0,05	7,5
4	392	42848	33853	29993	0,05	7,5
5	532	49516	41743	34661	0,05	7,5
6	653	55100	48079	38570	0,05	7,5
7	765	60167	53693	42117	0,05	7,5
8	865	64560	58483	45192	0,05	7,5
9	957	68522	62759	47965	0,05	7,5
10	1052	72555	67074	50788	0,05	7,5
11	1153	76700	71478	53690	0,05	7,5
12	1244	80397	75383	56278	0,05	7,5
13	1360	85211	80196	59648	0,05	7,5
14	1467	90502	84526	62352	0,05	7,5
15	641	9465	87183	6625	0,05	7,5
16	666	9797	88067	6858	0,05	7,5
17	720	10530	92971	7371	0,05	7,5
18	772	11225	98239	7858	0,05	7,5
19	770	11197	10208	7838	0,05	7,5
20	766	11139	10668	7797	0,05	7,5
21	761	11080	11073	7756	0,05	7,5
22	756	11011	11498	7708	0,05	7,5
23	755	10995	11980	7696	0,05	7,5
24	754	10978	11962	7685	0,05	7,5
25	752	10957	11938	7670	0,05	7,5
26	750	10935	11915	7655	0,05	7,5

Vertical no.	q <sub>h,e</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	k <sub>v;bot</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	k <sub>v;top</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	k <sub>h</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	t <sub>max</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	d <sub>max</sub> [mm]
27	751	10943	11923	7660	0,05	7,5
28	752	10951	11932	7666	0,05	7,5
29	751	10941	11921	7659	0,05	7,5
30	750	10932	11911	7652	0,05	7,5
31	750	10930	11909	7651	0,05	7,5
32	750	10929	11907	7650	0,05	7,5
33	741	10804	11770	7563	0,05	7,5
34	731	10679	11632	7475	0,05	7,5
35	628	9287	10092	6501	0,05	7,5
36	541	8099	8768	5669	0,05	7,5
37	541	8098	8766	5669	0,05	7,5
38	541	8097	8765	5668	0,05	7,5
39	540	8096	8764	5667	0,05	7,5
40	540	8095	8763	5667	0,05	7,5
41	540	8094	8762	5666	0,05	7,5
42	540	8093	8761	5665	0,05	7,5
43	540	8092	8760	5665	0,05	7,5
44	540	8091	8759	5664	0,05	7,5
45	540	8090	8758	5663	0,05	7,5
46	540	8089	8757	5663	0,05	7,5
47	540	8088	8756	5662	0,05	7,5
48	540	8087	8755	5661	0,05	7,5
49	582	8665	9400	6065	0,05	7,5
50	641	9466	10290	6626	0,05	7,5
51	709	10386	11308	7270	0,05	7,5
52	777	11294	12309	7906	0,05	7,5
53	730	10663	11614	7464	0,05	7,5
54	683	10026	10911	7018	0,05	7,5
55	669	9837	10701	6886	0,05	7,5
56	655	9646	10491	6753	0,05	7,5
57	622	9212	10009	6449	0,05	7,5
58	590	8775	9523	6143	0,05	7,5
59	614	9100	9884	6370	0,05	7,5
60	638	9424	10244	6597	0,05	7,5
61	636	9393	10210	6575	0,05	7,5
62	634	9363	10181	6554	0,05	7,5
63	632	9347	12536	6543	0,05	7,5
64	629	9301	19391	6511	0,05	7,5
65	620	9184	31003	6429	0,05	7,5
66	609	9037	47707	6326	0,05	7,5
67	600	8903	69928	6232	0,05	7,5
68	1415	8737	82406	6116	0,05	7,5
69	1374	37520	80761	26264	0,05	7,5
70	1326	74549	78819	52184	0,05	7,5
71	1267	81320	76355	56924	0,05	7,5
72	1200	78644	73534	55051	0,05	7,5
73	1122	75518	70225	52862	0,05	7,5
74	1036	71978	66459	50385	0,05	7,5
75	951	68419	62649	47893	0,05	7,5
76	856	64359	58266	45051	0,05	7,5
77	733	59012	52422	41309	0,05	7,5
78	593	52816	45510	36971	0,05	7,5
79	368	42372	33270	29660	0,05	7,5
80	119	14105	1885	9873	0,05	7,5
81	117	6701	24	4691	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q <sub>v;n</sub> ;max = 256 kN/m <sup>2</sup>
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q <sub>traffic</sub> ;max = 91 kN/m <sup>2</sup>
Maximum reduced soil stress	:	q <sub>v;r;n</sub> ;max = 91 kN/m <sup>2</sup>
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k <sub>v</sub> ;max = 87183 kN/m <sup>3</sup>
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k <sub>v</sub> ;max = 174365 kN/m <sup>3</sup>

## 5.4 Soil Mechanical Parameters Pipe 4: pipe nr. 4

The list with data and issues is shown hereafter:

Note: safety factors not applied.

q_v;p	Passive soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q_v;n	Neutral soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q_h;n	Neutral horizontal soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q_v,r;n	Reduced neutral soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q_traffic	Traffic load	kN/m <sup>2</sup>
q_v;e	Vertical bearing capacity	kN/m <sup>2</sup>
q_h;e	Horizontal bearing capacity	kN/m <sup>2</sup>
k_v;bot	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m <sup>3</sup>
k_v;top	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m <sup>3</sup>
k_h	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m <sup>3</sup>
t_max	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m <sup>2</sup>
d_max	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	q_v;p [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_h;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v,r;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_traffic [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;e [kN/m <sup>2</sup> ]
1	-3	0	0	0	0	18
2	25	15	11	15	0	106
3	107	25	18	25	0	882
4	271	44	25	33	0	1564
5	468	60	32	44	0	2139
6	653	76	38	52	0	2673
7	765	91	43	58	0	3198
8	865	104	47	64	0	3684
9	957	118	50	68	0	4146
10	1052	132	53	72	0	4638
11	1153	147	56	75	0	5168
12	1244	161	58	78	0	5661
13	1360	179	60	82	0	6298
14	1467	196	62	84	0	5636
15	641	207	63	85	0	2642
16	666	216	64	86	0	2751
17	720	235	66	88	0	2986
18	772	254	67	91	0	3212
19	770	253	67	90	0	3203
20	766	251	66	90	0	3184
21	761	250	66	89	0	3165
22	756	248	66	89	0	3143
23	755	248	66	89	0	3137
24	754	247	66	89	0	3132
25	752	247	66	89	0	3125
26	750	246	66	89	0	3118
27	751	246	66	89	0	3121
28	752	246	66	89	0	3123
29	751	246	66	89	0	3120
30	750	246	66	89	0	3117
31	750	246	66	89	0	3116
32	750	246	66	89	0	3116
33	741	242	65	88	0	3075
34	731	239	65	87	0	3035
35	628	202	60	80	0	2588
36	541	172	55	74	0	2215
37	541	172	55	74	0	2214
38	541	171	55	74	0	2214
39	540	171	55	74	0	2214
40	540	171	55	74	0	2214
41	540	171	55	74	0	2213
42	540	171	55	74	0	2213
43	540	171	55	74	0	2213
44	540	171	55	74	0	2212
45	540	171	55	74	0	2212

Vertical no.	q_v;p [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_h;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;r;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_traffic [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;e [kN/m <sup>2</sup> ]
46	540	171	55	74	0	2212
47	540	171	55	74	0	2212
48	540	171	55	74	0	2211
49	582	186	57	77	0	2392
50	641	207	60	81	0	2645
51	709	231	64	86	0	2940
52	777	256	67	90	0	3235
53	730	239	65	87	0	3030
54	683	222	62	84	0	2824
55	669	217	62	83	0	2764
56	655	212	61	82	0	2703
57	622	200	59	80	0	2565
58	590	189	58	78	0	2427
59	614	197	59	79	0	2529
60	638	206	60	81	0	2632
61	636	205	60	81	0	2622
62	634	204	60	81	0	2613
63	632	204	60	81	0	2608
64	629	203	60	81	0	2593
65	620	200	60	81	0	2556
66	609	196	60	81	0	2509
67	600	192	60	82	0	2466
68	1415	187	61	82	0	2408
69	1374	181	60	81	0	6375
70	1326	174	60	81	0	6112
71	1267	164	59	79	0	5787
72	1200	154	57	78	0	5424
73	1122	142	56	75	0	5013
74	1036	130	53	72	0	4565
75	951	117	50	68	0	4131
76	856	104	47	63	0	3658
77	732	87	41	56	0	3072
78	511	69	35	47	0	2445
79	225	43	23	31	0	1522
80	49	16	12	16	0	579
81	27	15	11	15	0	300

Vertical no.	q_h;e [kN/m <sup>2</sup> ]	k_v;bot [kN/m <sup>3</sup> ]	k_v;top [kN/m <sup>3</sup> ]	k_h [kN/m <sup>3</sup> ]	t_max [kN/m <sup>2</sup> ]	d_max [mm]
1	6	928	0	649	0,05	7,5
2	53	1101	2	771	0,05	7,5
3	212	33549	10573	23485	0,05	7,5
4	392	42848	33853	29993	0,05	7,5
5	532	49516	41743	34661	0,05	7,5
6	653	55100	48079	38570	0,05	7,5
7	765	60167	53693	42117	0,05	7,5
8	865	64560	58483	45192	0,05	7,5
9	957	68522	62759	47965	0,05	7,5
10	1052	72555	67074	50788	0,05	7,5
11	1153	76700	71478	53690	0,05	7,5
12	1244	80397	75383	56278	0,05	7,5
13	1360	85211	80196	59648	0,05	7,5
14	1467	90502	84526	62352	0,05	7,5
15	641	9465	87183	6625	0,05	7,5
16	666	9797	88067	6858	0,05	7,5
17	720	10530	92971	7371	0,05	7,5
18	772	11225	98239	7858	0,05	7,5
19	770	11197	10208	7838	0,05	7,5
20	766	11139	10668	7797	0,05	7,5
21	761	11080	11073	7756	0,05	7,5
22	756	11011	11498	7708	0,05	7,5
23	755	10995	11980	7696	0,05	7,5
24	754	10978	11962	7685	0,05	7,5
25	752	10957	11938	7670	0,05	7,5
26	750	10935	11915	7655	0,05	7,5

Vertical no.	q <sub>h,e</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	k <sub>v;bot</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	k <sub>v;top</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	k <sub>h</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	t <sub>max</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	d <sub>max</sub> [mm]
27	751	10943	11923	7660	0,05	7,5
28	752	10951	11932	7666	0,05	7,5
29	751	10941	11921	7659	0,05	7,5
30	750	10932	11911	7652	0,05	7,5
31	750	10930	11909	7651	0,05	7,5
32	750	10929	11907	7650	0,05	7,5
33	741	10804	11770	7563	0,05	7,5
34	731	10679	11632	7475	0,05	7,5
35	628	9287	10092	6501	0,05	7,5
36	541	8099	8768	5669	0,05	7,5
37	541	8098	8766	5669	0,05	7,5
38	541	8097	8765	5668	0,05	7,5
39	540	8096	8764	5667	0,05	7,5
40	540	8095	8763	5667	0,05	7,5
41	540	8094	8762	5666	0,05	7,5
42	540	8093	8761	5665	0,05	7,5
43	540	8092	8760	5665	0,05	7,5
44	540	8091	8759	5664	0,05	7,5
45	540	8090	8758	5663	0,05	7,5
46	540	8089	8757	5663	0,05	7,5
47	540	8088	8756	5662	0,05	7,5
48	540	8087	8755	5661	0,05	7,5
49	582	8665	9400	6065	0,05	7,5
50	641	9466	10290	6626	0,05	7,5
51	709	10386	11308	7270	0,05	7,5
52	777	11294	12309	7906	0,05	7,5
53	730	10663	11614	7464	0,05	7,5
54	683	10026	10911	7018	0,05	7,5
55	669	9837	10701	6886	0,05	7,5
56	655	9646	10491	6753	0,05	7,5
57	622	9212	10009	6449	0,05	7,5
58	590	8775	9523	6143	0,05	7,5
59	614	9100	9884	6370	0,05	7,5
60	638	9424	10244	6597	0,05	7,5
61	636	9393	10210	6575	0,05	7,5
62	634	9363	10181	6554	0,05	7,5
63	632	9347	12536	6543	0,05	7,5
64	629	9301	19391	6511	0,05	7,5
65	620	9184	31003	6429	0,05	7,5
66	609	9037	47707	6326	0,05	7,5
67	600	8903	69928	6232	0,05	7,5
68	1415	8737	82406	6116	0,05	7,5
69	1374	37520	80761	26264	0,05	7,5
70	1326	74549	78819	52184	0,05	7,5
71	1267	81320	76355	56924	0,05	7,5
72	1200	78644	73534	55051	0,05	7,5
73	1122	75518	70225	52862	0,05	7,5
74	1036	71978	66459	50385	0,05	7,5
75	951	68419	62649	47893	0,05	7,5
76	856	64359	58266	45051	0,05	7,5
77	733	59012	52422	41309	0,05	7,5
78	593	52816	45510	36971	0,05	7,5
79	368	42372	33270	29660	0,05	7,5
80	119	14105	1885	9873	0,05	7,5
81	117	6701	24	4691	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q <sub>v;n</sub> ;max = 256 kN/m <sup>2</sup>
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q <sub>traffic</sub> ;max = 91 kN/m <sup>2</sup>
Maximum reduced soil stress	:	q <sub>v;r;n</sub> ;max = 91 kN/m <sup>2</sup>
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k <sub>v</sub> ;max = 87183 kN/m <sup>3</sup>
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k <sub>v</sub> ;max = 174365 kN/m <sup>3</sup>

## 5.5 Young's Modulus per Layer per Vertical

Layer number	Material name	Type of determination
5	Klei, schoon, matig	Calculated with E100
4	Veen, slap	Calculated with E100
3	Zand, schoon, matig	Calculated with E100
2	Klei, zwak zandig, matig	Calculated with E100
1	Zand, schoon, vast	Calculated with E100

Layer number	Vertical 1 (L=5 m)		Vertical 2 (L=10 m)		Vertical 3 (L=15 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,088	0,000	0,123	0,000	0,178
4	0,009	0,045	0,012	0,046	0,018	0,049
3	11,741	39,152	11,959	39,218	12,450	39,370
2	4,593	5,272	4,606	5,284	4,634	5,311
1	128,014	153,348	128,196	153,500	128,615	153,850

Layer number	Vertical 4 (L=20 m)		Vertical 5 (L=25 m)		Vertical 6 (L=30 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,229	0,000	0,218	0,000	0,207
4	0,023	0,052	0,022	0,050	0,021	0,048
3	12,922	39,522	12,620	39,424	12,311	39,326
2	4,663	5,339	4,645	5,321	4,626	5,303
1	129,034	154,200	128,765	153,975	128,495	153,750

Layer number	Vertical 7 (L=35 m)		Vertical 8 (L=40 m)		Vertical 9 (L=45 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,221	0,000	0,234	0,000	0,259
4	0,022	0,048	0,023	0,048	0,026	0,049
3	12,320	39,329	12,329	39,332	12,495	39,384
2	4,627	5,304	4,627	5,304	4,637	5,314
1	128,503	153,756	128,511	153,763	128,655	153,884

Layer number	Vertical 10 (L=50 m)		Vertical 11 (L=55 m)		Vertical 12 (L=60 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,409	0,000	0,619	0,000	0,731
4	0,041	0,055	0,062	0,065	0,073	0,074
3	13,342	39,661	14,805	40,177	16,135	40,686
2	4,689	5,364	4,787	5,459	4,885	5,554
1	129,418	154,522	130,842	155,716	132,250	156,902

Layer number	Vertical 13 (L=65 m)		Vertical 14 (L=70 m)		Vertical 15 (L=75 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,925	0,000	1,109	0,000	1,191
4	0,092	0,093	0,111	0,112	0,119	0,120
3	18,649	41,747	20,860	42,780	21,808	43,250
2	5,090	5,753	5,293	5,950	5,386	6,040
1	135,193	159,390	138,069	161,837	139,381	162,957

Layer number	Vertical 16 (L=80 m)		Vertical 17 (L=85 m)		Vertical 18 (L=90 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	1,272	0,000	1,552	0,000	1,818
4	0,127	0,128	0,155	0,156	0,182	0,183
3	22,716	43,715	25,688	45,331	28,351	46,891
2	5,479	6,131	5,807	6,450	6,130	6,764
1	140,681	164,070	145,210	167,970	149,603	171,782

Layer number	Vertical 19 (L=95 m)		Vertical 20 (L=100 m)		Vertical 21 (L=105 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	1,776	0,000	1,733	0,000	1,702
4	0,178	0,178	0,173	0,174	0,170	0,171
3	27,935	46,641	27,514	46,390	27,211	46,211
2	6,078	6,714	6,026	6,663	5,988	6,626
1	148,897	171,168	148,189	170,552	147,685	170,114

Layer number	Vertical 22 (L=110 m)		Vertical 23 (L=115 m)		Vertical 24 (L=120 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	1,671	0,000	1,664	0,000	1,656
4	0,167	0,168	0,166	0,167	0,166	0,167
3	26,904	46,031	26,831	45,988	26,757	45,945
2	5,951	6,590	5,942	6,581	5,933	6,573
1	147,178	169,675	147,058	169,570	146,937	169,465

Layer number	Vertical 25 (L=125 m)		Vertical 26 (L=130 m)		Vertical 27 (L=135 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	1,647	0,000	1,637	0,000	1,640
4	0,165	0,166	0,164	0,165	0,164	0,165
3	26,660	45,889	26,564	45,833	26,599	45,853
2	5,922	6,561	5,910	6,550	5,914	6,554
1	146,779	169,328	146,621	169,191	146,678	169,241

Layer number	Vertical 28 (L=140 m)		Vertical 29 (L=145 m)		Vertical 30 (L=150 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	1,644	0,000	1,640	0,000	1,635
4	0,164	0,165	0,164	0,165	0,164	0,164
3	26,634	45,874	26,591	45,848	26,547	45,823
2	5,919	6,558	5,913	6,553	5,908	6,548
1	146,736	169,291	146,665	169,229	146,594	169,168

Layer number	Vertical 31 (L=155 m)		Vertical 32 (L=160 m)		Vertical 33 (L=165 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	1,634	0,000	1,634	0,000	1,577
4	0,163	0,164	0,163	0,164	0,158	0,159
3	26,540	45,819	26,533	45,815	25,959	45,485
2	5,907	6,547	5,907	6,546	5,839	6,480
1	146,582	169,157	146,570	169,147	145,643	168,344

Layer number	Vertical 34 (L=170 m)		Vertical 35 (L=175 m)		Vertical 36 (L=180 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	1,520	0,000	0,847	0,000	0,132
4	0,152	0,153	0,085	0,086	0,013	0,015
3	25,372	45,153	17,677	41,322	5,935	37,818
2	5,771	6,414	5,007	5,672	4,346	5,033
1	144,709	167,538	134,013	158,390	124,354	150,306

Layer number	Vertical 37 (L=185 m)		Vertical 38 (L=190 m)		Vertical 39 (L=195 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,131	0,000	0,130	0,000	0,129
4	0,013	0,015	0,013	0,015	0,013	0,015
3	5,917	37,815	5,898	37,813	5,879	37,810
2	4,345	5,032	4,345	5,032	4,344	5,031
1	124,347	150,300	124,339	150,293	124,331	150,287

Layer number	Vertical 40 (L=200 m)		Vertical 41 (L=205 m)		Vertical 42 (L=210 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,128	0,000	0,127	0,000	0,126
4	0,013	0,015	0,013	0,015	0,013	0,015
3	5,861	37,807	5,842	37,804	5,823	37,801
2	4,343	5,031	4,343	5,030	4,342	5,029
1	124,323	150,280	124,315	150,274	124,307	150,267

Layer number	Vertical 43 (L=215 m)		Vertical 44 (L=220 m)		Vertical 45 (L=225 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,125	0,000	0,124	0,000	0,124
4	0,013	0,014	0,012	0,014	0,012	0,014
3	5,804	37,798	5,785	37,795	5,766	37,792
2	4,342	5,029	4,341	5,028	4,341	5,028
1	124,299	150,260	124,291	150,254	124,283	150,247

Layer number	Vertical 46 (L=230 m)		Vertical 47 (L=235 m)		Vertical 48 (L=240 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,123	0,000	0,122	0,000	0,121
4	0,012	0,014	0,012	0,014	0,012	0,014
3	5,747	37,789	5,728	37,786	5,709	37,783
2	4,340	5,027	4,340	5,027	4,339	5,026
1	124,275	150,241	124,267	150,234	124,259	150,227

Layer number	Vertical 49 (L=245 m)		Vertical 50 (L=250 m)		Vertical 51 (L=255 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,505	0,000	0,937	0,000	1,383
4	0,050	0,052	0,094	0,095	0,138	0,139
3	12,908	39,517	18,832	41,829	23,947	44,367
2	4,662	5,338	5,106	5,768	5,611	6,258
1	129,021	154,190	135,421	159,583	142,506	165,638

Layer number	Vertical 52 (L=260 m)		Vertical 53 (L=265 m)		Vertical 54 (L=270 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	1,796	0,000	1,511	0,000	1,213
4	0,180	0,181	0,151	0,152	0,121	0,122
3	28,147	46,768	25,296	45,110	22,081	43,389
2	6,104	6,739	5,762	6,405	5,414	6,067
1	149,256	171,479	144,590	167,434	139,768	163,288

Layer number	Vertical 55 (L=275 m)		Vertical 56 (L=280 m)		Vertical 57 (L=285 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	1,121	0,000	1,028	0,000	0,806
4	0,112	0,113	0,103	0,104	0,081	0,082
3	21,035	42,866	19,934	42,337	17,171	41,108
2	5,310	5,966	5,206	5,865	4,966	5,632
1	138,309	162,041	136,834	160,784	133,419	157,888

Layer number	Vertical 58 (L=290 m)		Vertical 59 (L=295 m)		Vertical 60 (L=300 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,568	0,000	0,746	0,000	0,915
4	0,057	0,058	0,075	0,076	0,092	0,093
3	13,869	39,841	16,386	40,786	18,565	41,709
2	4,723	5,397	4,904	5,572	5,083	5,745
1	129,915	154,939	132,527	157,135	135,089	159,302



Layer number	Vertical 61 (L=305 m)		Vertical 62 (L=310 m)		Vertical 63 (L=315 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,900	0,000	0,884	0,000	0,884
4	0,090	0,091	0,088	0,090	0,088	0,090
3	18,373	41,624	18,178	41,539	18,183	41,541
2	5,066	5,729	5,050	5,713	5,050	5,714
1	134,852	159,101	134,615	158,900	134,621	158,905

Layer number	Vertical 64 (L=320 m)		Vertical 65 (L=325 m)		Vertical 66 (L=330 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,885	0,000	0,865	0,000	0,845
4	0,088	0,090	0,086	0,088	0,084	0,086
3	18,189	41,543	17,936	41,433	17,680	41,323
2	5,050	5,714	5,029	5,693	5,008	5,673
1	134,627	158,910	134,321	158,651	134,015	158,392

Layer number	Vertical 67 (L=335 m)		Vertical 68 (L=340 m)		Vertical 69 (L=345 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,848	0,000	0,851	0,000	0,854
4	0,085	0,086	0,085	0,086	0,085	0,087
3	17,721	41,341	17,763	41,359	17,805	41,376
2	5,011	5,676	5,015	5,679	5,018	5,683
1	134,065	158,434	134,115	158,476	134,164	158,518

Layer number	Vertical 70 (L=350 m)		Vertical 71 (L=355 m)		Vertical 72 (L=360 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,857	0,000	0,846	0,000	0,834
4	0,086	0,087	0,085	0,086	0,083	0,085
3	17,846	41,394	17,699	41,331	17,550	41,267
2	5,021	5,686	5,009	5,674	4,997	5,662
1	134,214	158,560	134,038	158,412	133,862	158,263

Layer number	Vertical 73 (L=365 m)		Vertical 74 (L=370 m)		Vertical 75 (L=375 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,816	0,000	0,798	0,000	0,811
4	0,082	0,083	0,080	0,081	0,081	0,083
3	17,318	41,170	17,084	41,071	17,250	41,141
2	4,978	5,644	4,959	5,625	4,972	5,638
1	133,590	158,033	133,318	157,803	133,510	157,965

Layer number	Vertical 76 (L=380 m)		Vertical 77 (L=385 m)		Vertical 78 (L=390 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,823	0,000	0,794	0,000	0,764
4	0,082	0,084	0,079	0,081	0,076	0,078
3	17,414	41,210	17,031	41,049	16,640	40,889
2	4,986	5,651	4,955	5,621	4,924	5,591
1	133,702	158,127	133,257	157,751	132,812	157,375

Layer number	Vertical 79 (L=395 m)		Vertical 80 (L=400 m)		Vertical 81 (L=405 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,580	0,000	0,379	0,000	0,582
4	0,058	0,060	0,038	0,040	0,058	0,060
3	14,072	39,913	10,915	38,912	14,105	39,924
2	4,737	5,411	4,548	5,228	4,739	5,413
1	130,112	155,103	127,355	152,798	130,144	155,131

## 6 Data for Stress Analysis

### 6.1 General Data

Number of pipes in bundle	:	Npipes = 4 [-]
Pipeline diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m <sup>3</sup>
Pipeline diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m <sup>3</sup>
Pipeline diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m <sup>3</sup>
Pipeline diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m <sup>3</sup>
Equivalent pipeline diameter	:	Do = 831,29 mm
Equivalent wall thickness	:	t = 41,62 mm
Equivalent unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m <sup>3</sup>
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 100065 kN/m <sup>3</sup>
Unit weight drilling fluid pullback operation	:	gamma_b = 11,10 kN/m <sup>3</sup>
Bending radius on rollers	:	Rrol = 500,000 m
Friction coefficient pipe/rollers	:	f1 = 0,10
Friction between pipe and drilling fluid	:	f2 = 0,000050 N/mm <sup>2</sup>
Friction coefficient pipe / soil	:	f3 = 0,20

### 6.2 Buoyancy Control

The friction between soil and pipe is partially caused by buoyancy of the pipeline in the drilling fluid. Uplift forces resulting from buoyancy can be neutralized by filling the pipeline. The optimal volume of fluid placed in the pipe provides the most advantageous distribution of buoyant forces.

Buoyancy of the pipeline when filled with fluid for 0%

Uplift forces	:	353	[kg/m]
Weight of pipeline (including filling)	:	100	[kg/m]
Result	:	252	[kg/m] (Pipeline moves upwards)

### 6.3 Calculation Pulling Force

During the pullback operation the pipe experiences friction which is based on:

- friction between pipe and pipe-roller (f1 = 0,10 )
- friction between pipe and drilling fluid (f2 = 0,000050 [N/mm<sup>2</sup>] )
- friction between pipe and soil (f3 = 0,20 )

Due to the friction a pulling force is induced in the pipeline.  
The pulling direction of the product pipe is from left to right.

This calculation takes into account that the length of the pipe on the rollers decreases while pulling back the pipeline. During the pull back operation the bore hole is supposed to be stable.

Characteristic points	Length pipe in bore hole (m)	Characteristic value pulling force (kN)
T1	0	40
T2	14	48
T3	102	112

---

Characteristic points	Length pipe in bore hole (m)	Characteristic value pulling force (kN)
T4	307	239
T5	395	310
T6	409	317

The calculated values for the pulling force are characteristic values (without safety factor). According to article E.1.2.1 of NEN 3650-1:2012 it is recommended to use a total factor for stochastic variation and model uncertainty ( $\gamma$ ) of at least 1.4 for the stress analysis. In the pipe stress analysis (next chapter), a factor of 1,80 is used and a load factor of 1,00.

## 7 Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1

### 7.1 Material Data of Pipe 1: pipe nr. 1

The list with data and issues is shown hereafter:

Material pipeline	:	Polyethene PE100
Outer diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Design pressure	:	pd = 0,00 bar
Test pressure	:	pt = 0,00 bar
Temperature variation	:	dt = 0,00 deg Celcius
Length pipeline	:	L = 409 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm <sup>2</sup>
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm <sup>2</sup>
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm <sup>2</sup>
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm <sup>2</sup>
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m <sup>3</sup>
Bedding angle	:	beta = 30 degrees
Load angle	:	alpha = 30 degrees
Moment coefficient soil top (indirect)	:	kt' = 0,078
Moment coefficient soil bottom (indirect)	:	kb' = 0,179
Moment coefficient soil top (direct)	:	kt = 0,257
Moment coefficient soil bottom (direct)	:	kb = 0,257
Deflection coefficient (indirect)	:	ky' = 0,071
Deflection coefficient (direct)	:	ky = 0,143
Maximal reduced vertical soil load (without safety factor)	:	q_v;r;n;max = 91 kN/m <sup>2</sup>
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m <sup>2</sup>
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 87183 kN/m <sup>3</sup>
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 238,620 m
Load factor on installation	:	f_install = 1,00
Load factor on reduced neutral soil stress q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Load factor on design pressure	:	f_pd = 1,00
Load factor on design pressure (combination)	:	f_pd;comb = 1,00
Load factor on test pressure	:	f_pt = 1,00
Load factor on temperature	:	f_temp = 1,10
Load factor on traffic load	:	f_v = 1,35
Contingency factor on bending radius	:	f_R = 1,10
Contingency factor on modulus of subgrade reaction	:	f_kv = 2,00
Contingency factor on bending moment	:	f_k = 1,40
Total factor on pulling force for stoch. varia. and model uncertainty	:	f = 1,80
Linear settlement coefficient averaged between t1 and t2	:	alpha_g = 0,0001600 mm/mmK

### 7.2 Results Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1

In the calculation 5 load combinations are considered:

- Load combination 1A: start pull-back operation
- Load combination 1B: end of pull-back operation
- Load combination 2: application internal pressure
- Load combination 3: pipeline in operation, no inner pressure
- Load combination 4: pipeline in operation, pressure applied

The wall thickness is 28,7 mm. The calculation hereafter will prove that the pipeline wall thickness is sufficient. The calculations are in accordance with NEN 3650 series.

#### 7.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

$$\sigma_b = Mb/Wb = f_k E \cdot lb / (Rrol \cdot Wb) = 0,43 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{\text{install}} \cdot T1/A = f \cdot f_{\text{install}} (Lrol \cdot Q \cdot f1)/A = 0,70 \quad \text{N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	0,98	N/mm <sup>2</sup>
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

### 7.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb) = 0,90 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A = 5,53 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 6,12 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

Load  $q_r$  on pipeline due to reaction of soil in bends (according to NEN 3650-1 annex 5 D3.3):

$$q_r = k_v \cdot y = (0,322 \cdot \Lambda^2 \cdot E \cdot I) / (D_o \cdot R / f_R)$$

$$\Lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0,25} = 2,7E-3 \text{ 1/mm}$$

$$q_r = 0,0089 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qr} = k \cdot q_r \cdot (rg/Ww) \cdot D_o = 0,52 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 0,34 \text{ N/mm}^2$$

### 7.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

$$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2)) = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{px} = 0,5 \cdot \Sigma_{py} = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot p_t \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2)) = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

### 7.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)

Axial stress:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb) = 0,32 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 0,21 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

$$\Sigma_{qr} = k \cdot q_r \cdot (rg/Ww) \cdot D_o = 0,31 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (rg/Ww) \cdot D_o = 11,52 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 7,69 \text{ N/mm}^2$$

### 7.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)

Axial stress:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb) = 0,32 \text{ N/mm}^2$$

Due to internal pressure :

$$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2)) = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
Maximum axial stress $\text{Sigma}_{a,max}$	=	0,21	N/mm <sup>2</sup>
Tangential stress:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,31	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	11,52	N/mm <sup>2</sup>
Rerounding factor $F_{rr}$	=	1,000	
Rerounding factor $F'_{rr}$	=	1,000	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximum tangential stress $\text{Sigma}_{t,max}$	=	7,69	N/mm <sup>2</sup>

### 7.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 1: pipe nr. 1

Load combination 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm <sup>2</sup> ]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
$\text{Sigma}_{ptest}$	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
$\text{Sigma}_{py}$	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
$\text{Sigma}_{axial}$	10,00 (short)	0,98	6,12	-	-	-
$\text{Sigma}_{axial}$	8,00 (long)	-	-	-	0,21	0,21
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,34	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	7,69	7,69

Stresses in pipeline [N/mm<sup>2</sup>]

The deflection of the pipeline is 15,4 mm (4,89% x Do). The maximum allowable deflection of the pipeline is 25,2 mm (8,00% x S x Do). The deflection is allowable.

For piggability the maximum allowable deflection of the pipeline is 15,8 mm (5,00% x Do). The deflection is allowable.

### 7.4 Check for Implosion of Pipe 1: pipe nr. 1

During the pullback operation the drilling fluid gives an external pressure. The highest minimum required drilling fluid pressure during the pullback operation is 256 kN/m<sup>2</sup>, this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m<sup>2</sup>.

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 188 kN/m<sup>2</sup>, this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m<sup>2</sup>.

## 8 Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2

### 8.1 Material Data of Pipe 2: pipe nr. 2

The list with data and issues is shown hereafter:

Material pipeline	:	Polyethene PE100
Outer diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Design pressure	:	pd = 0,00 bar
Test pressure	:	pt = 0,00 bar
Temperature variation	:	dt = 0,00 deg Celcius
Length pipeline	:	L = 409 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm <sup>2</sup>
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm <sup>2</sup>
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm <sup>2</sup>
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm <sup>2</sup>
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m <sup>3</sup>
Bedding angle	:	beta = 30 degrees
Load angle	:	alpha = 30 degrees
Moment coefficient soil top (indirect)	:	kt' = 0,078
Moment coefficient soil bottom (indirect)	:	kb' = 0,179
Moment coefficient soil top (direct)	:	kt = 0,257
Moment coefficient soil bottom (direct)	:	kb = 0,257
Deflection coefficient (indirect)	:	ky' = 0,071
Deflection coefficient (direct)	:	ky = 0,143
Maximal reduced vertical soil load (without safety factor)	:	q_v;r;n;max = 91 kN/m <sup>2</sup>
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m <sup>2</sup>
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 87183 kN/m <sup>3</sup>
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 238,620 m
Load factor on installation	:	f_install = 1,00
Load factor on reduced neutral soil stress q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Load factor on design pressure	:	f_pd = 1,00
Load factor on design pressure (combination)	:	f_pd;comb = 1,00
Load factor on test pressure	:	f_pt = 1,00
Load factor on temperature	:	f_temp = 1,10
Load factor on traffic load	:	f_v = 1,35
Contingency factor on bending radius	:	f_R = 1,10
Contingency factor on modulus of subgrade reaction	:	f_kv = 2,00
Contingency factor on bending moment	:	f_k = 1,40
Total factor on pulling force for stoch. varia. and model uncertainty	:	f = 1,80
Linear settlement coefficient averaged between t1 and t2	:	alpha_g = 0,0001600 mm/mmK

### 8.2 Results Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2

In the calculation 5 load combinations are considered:

- Load combination 1A: start pull-back operation
- Load combination 1B: end of pull-back operation
- Load combination 2: application internal pressure
- Load combination 3: pipeline in operation, no inner pressure
- Load combination 4: pipeline in operation, pressure applied

The wall thickness is 28,7 mm. The calculation hereafter will prove that the pipeline wall thickness is sufficient. The calculations are in accordance with NEN 3650 series.

#### 8.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

$$\sigma_b = Mb/Wb = f_k E \cdot lb / (Rrol \cdot Wb) = 0,43 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{\text{install}} \cdot T1/A = f \cdot f_{\text{install}} (Lrol \cdot Q \cdot f1)/A = 0,70 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \sigma_{a,max} = 0,98 \text{ N/mm}^2$$

In this load combination the tangential stress is negligible.

### 8.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

$$\sigma_b = M_b/W_b = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b) = 0,90 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A = 5,53 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \sigma_{a,max} = 6,12 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

Load  $q_r$  on pipeline due to reaction of soil in bends (according to NEN 3650-1 annex 5 D3.3):

$$q_r = k_v \cdot y = (0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I) / (D_o \cdot R/f_R)$$

$$\lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0,25} = 2,7E-3 \text{ 1/mm}$$

$$q_r = 0,0089 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g/W_w) \cdot D_o = 0,52 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \sigma_{t,max} = 0,34 \text{ N/mm}^2$$

### 8.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

$$\sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2)) = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{px} = 0,5 \cdot \sigma_{py} = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot p_t \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2)) = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

### 8.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)

Axial stress:

$$\sigma_b = M_b/W_b = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b) = 0,32 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \sigma_{a,max} = 0,21 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

$$\sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g/W_w) \cdot D_o = 0,31 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g/W_w) \cdot D_o = 11,52 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \sigma_{t,max} = 7,69 \text{ N/mm}^2$$

### 8.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)

Axial stress:

$$\sigma_b = M_b/W_b = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b) = 0,32 \text{ N/mm}^2$$

Due to internal pressure :

$$\sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2)) = 0,00 \text{ N/mm}^2$$



$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
Maximum axial stress $\text{Sigma}_{a,max}$	=	0,21	N/mm <sup>2</sup>
Tangential stress:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,31	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	11,52	N/mm <sup>2</sup>
Rerounding factor $F_{rr}$	=	1,000	
Rerounding factor $F'_{rr}$	=	1,000	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximum tangential stress $\text{Sigma}_{t,max}$	=	7,69	N/mm <sup>2</sup>

### 8.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 2: pipe nr. 2

Load combination 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm <sup>2</sup> ]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
$\text{Sigma}_{ptest}$	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
$\text{Sigma}_{py}$	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
$\text{Sigma}_{axial}$	10,00 (short)	0,98	6,12	-	-	-
$\text{Sigma}_{axial}$	8,00 (long)	-	-	-	0,21	0,21
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,34	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	7,69	7,69

Stresses in pipeline [N/mm<sup>2</sup>]

The deflection of the pipeline is 15,4 mm (4,89% x Do). The maximum allowable deflection of the pipeline is 25,2 mm (8,00% x S x Do). The deflection is allowable.

For piggability the maximum allowable deflection of the pipeline is 15,8 mm (5,00% x Do). The deflection is allowable.

### 8.4 Check for Implosion of Pipe 2: pipe nr. 2

During the pullback operation the drilling fluid gives an external pressure. The highest minimum required drilling fluid pressure during the pullback operation is 256 kN/m<sup>2</sup>, this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m<sup>2</sup>.

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals  $188 \text{ kN/m}^2$ , this is less than the maximum allowable external pressure of  $280 \text{ kN/m}^2$ .

## 9 Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3

### 9.1 Material Data of Pipe 3: pipe nr. 3

The list with data and issues is shown hereafter:

Material pipeline	:	Polyethene PE100
Outer diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Design pressure	:	pd = 0,00 bar
Test pressure	:	pt = 0,00 bar
Temperature variation	:	dt = 0,00 deg Celcius
Length pipeline	:	L = 409 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm <sup>2</sup>
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm <sup>2</sup>
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm <sup>2</sup>
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm <sup>2</sup>
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m <sup>3</sup>
Bedding angle	:	beta = 30 degrees
Load angle	:	alpha = 30 degrees
Moment coefficient soil top (indirect)	:	kt' = 0,078
Moment coefficient soil bottom (indirect)	:	kb' = 0,179
Moment coefficient soil top (direct)	:	kt = 0,257
Moment coefficient soil bottom (direct)	:	kb = 0,257
Deflection coefficient (indirect)	:	ky' = 0,071
Deflection coefficient (direct)	:	ky = 0,143
Maximal reduced vertical soil load (without safety factor)	:	q_v;r;n;max = 91 kN/m <sup>2</sup>
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m <sup>2</sup>
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 87183 kN/m <sup>3</sup>
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 238,620 m
Load factor on installation	:	f_install = 1,00
Load factor on reduced neutral soil stress q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Load factor on design pressure	:	f_pd = 1,00
Load factor on design pressure (combination)	:	f_pd;comb = 1,00
Load factor on test pressure	:	f_pt = 1,00
Load factor on temperature	:	f_temp = 1,10
Load factor on traffic load	:	f_v = 1,35
Contingency factor on bending radius	:	f_R = 1,10
Contingency factor on modulus of subgrade reaction	:	f_kv = 2,00
Contingency factor on bending moment	:	f_k = 1,40
Total factor on pulling force for stoch. varia. and model uncertainty	:	f = 1,80
Linear settlement coefficient averaged between t1 and t2	:	alpha_g = 0,0001600 mm/mmK

### 9.2 Results Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3

In the calculation 5 load combinations are considered:

- Load combination 1A: start pull-back operation
- Load combination 1B: end of pull-back operation
- Load combination 2: application internal pressure
- Load combination 3: pipeline in operation, no inner pressure
- Load combination 4: pipeline in operation, pressure applied

The wall thickness is 28,7 mm. The calculation hereafter will prove that the pipeline wall thickness is sufficient. The calculations are in accordance with NEN 3650 series.

#### 9.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

$$\sigma_b = Mb/Wb = f_k E \cdot lb / (Rrol \cdot Wb) = 0,43 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{\text{install}} \cdot T1/A = f \cdot f_{\text{install}} (Lrol \cdot Q \cdot f1)/A = 0,70 \text{ N/mm}^2$$

---

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	0,98	N/mm <sup>2</sup>
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

### 9.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot lb / (R_{min} \cdot Wb) = 0,90 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A = 5,53 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 6,12 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

Load  $q_r$  on pipeline due to reaction of soil in bends (according to NEN 3650-1 annex 5 D3.3):

$$q_r = k_v \cdot y = (0.322 \cdot \Lambda^2 \cdot E \cdot l) / (D_o \cdot R / f_R)$$

$$\Lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot l))^{0.25} = 2,7E-3 \text{ 1/mm}$$

$$q_r = 0,0089 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qr} = k \cdot q_r \cdot (rg/Ww) \cdot D_o = 0,52 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 0,34 \text{ N/mm}^2$$

### 9.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

$$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2)) = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py} = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot p_t \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2)) = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

### 9.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)

Axial stress:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot lb / (R_{min} \cdot Wb) = 0,32 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 0,21 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

$$\Sigma_{qr} = k \cdot q_r \cdot (rg/Ww) \cdot D_o = 0,31 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (rg/Ww) \cdot D_o = 11,52 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 7,69 \text{ N/mm}^2$$

### 9.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)

Axial stress:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot lb / (R_{min} \cdot Wb) = 0,32 \text{ N/mm}^2$$

Due to internal pressure :

$$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2)) = 0,00 \text{ N/mm}^2$$


---

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
Maximum axial stress $\text{Sigma}_{a,max}$	=	0,21	N/mm <sup>2</sup>
Tangential stress:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,31	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	11,52	N/mm <sup>2</sup>
Rerounding factor $F_{rr}$	=	1,000	
Rerounding factor $F'_{rr}$	=	1,000	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximum tangential stress $\text{Sigma}_{t,max}$	=	7,69	N/mm <sup>2</sup>

### 9.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 3: pipe nr. 3

Load combination 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm <sup>2</sup> ]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
$\text{Sigma}_{ptest}$	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
$\text{Sigma}_{py}$	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
$\text{Sigma}_{axial}$	10,00 (short)	0,98	6,12	-	-	-
$\text{Sigma}_{axial}$	8,00 (long)	-	-	-	0,21	0,21
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,34	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	7,69	7,69

Stresses in pipeline [N/mm<sup>2</sup>]

The deflection of the pipeline is 15,4 mm (4,89% x Do). The maximum allowable deflection of the pipeline is 25,2 mm (8,00% x S x Do). The deflection is allowable.

For piggability the maximum allowable deflection of the pipeline is 15,8 mm (5,00% x Do). The deflection is allowable.

### 9.4 Check for Implosion of Pipe 3: pipe nr. 3

During the pullback operation the drilling fluid gives an external pressure. The highest minimum required drilling fluid pressure during the pullback operation is 256 kN/m<sup>2</sup>, this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m<sup>2</sup>.

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 188 kN/m<sup>2</sup>, this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m<sup>2</sup>.

## 10 Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4

### 10.1 Material Data of Pipe 4: pipe nr. 4

The list with data and issues is shown hereafter:

Material pipeline	:	Polyethene PE100
Outer diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Design pressure	:	pd = 0,00 bar
Test pressure	:	pt = 0,00 bar
Temperature variation	:	dt = 0,00 deg Celcius
Length pipeline	:	L = 409 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm <sup>2</sup>
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm <sup>2</sup>
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm <sup>2</sup>
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm <sup>2</sup>
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m <sup>3</sup>
Bedding angle	:	beta = 30 degrees
Load angle	:	alpha = 30 degrees
Moment coefficient soil top (indirect)	:	kt' = 0,078
Moment coefficient soil bottom (indirect)	:	kb' = 0,179
Moment coefficient soil top (direct)	:	kt = 0,257
Moment coefficient soil bottom (direct)	:	kb = 0,257
Deflection coefficient (indirect)	:	ky' = 0,071
Deflection coefficient (direct)	:	ky = 0,143
Maximal reduced vertical soil load (without safety factor)	:	q_v;r;n;max = 91 kN/m <sup>2</sup>
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m <sup>2</sup>
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 87183 kN/m <sup>3</sup>
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 238,620 m
Load factor on installation	:	f_install = 1,00
Load factor on reduced neutral soil stress q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Load factor on design pressure	:	f_pd = 1,00
Load factor on design pressure (combination)	:	f_pd;comb = 1,00
Load factor on test pressure	:	f_pt = 1,00
Load factor on temperature	:	f_temp = 1,10
Load factor on traffic load	:	f_v = 1,35
Contingency factor on bending radius	:	f_R = 1,10
Contingency factor on modulus of subgrade reaction	:	f_kv = 2,00
Contingency factor on bending moment	:	f_k = 1,40
Total factor on pulling force for stoch. varia. and model uncertainty	:	f = 1,80
Linear settlement coefficient averaged between t1 and t2	:	alpha_g = 0,0001600 mm/mmK

### 10.2 Results Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4

In the calculation 5 load combinations are considered:

- Load combination 1A: start pull-back operation
- Load combination 1B: end of pull-back operation
- Load combination 2: application internal pressure
- Load combination 3: pipeline in operation, no inner pressure
- Load combination 4: pipeline in operation, pressure applied

The wall thickness is 28,7 mm. The calculation hereafter will prove that the pipeline wall thickness is sufficient. The calculations are in accordance with NEN 3650 series.

#### 10.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

$$\sigma_b = Mb/Wb = f_k E \cdot lb / (Rrol \cdot Wb) = 0,43 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{\text{install}} \cdot T1/A = f \cdot f_{\text{install}} (Lrol \cdot Q \cdot f1)/A = 0,70 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \sigma_{a,max} = 0,98 \text{ N/mm}^2$$

In this load combination the tangential stress is negligible.

### 10.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

$$\sigma_b = M_b/W_b = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b) = 0,90 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A = 5,53 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \sigma_{a,max} = 6,12 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

Load  $q_r$  on pipeline due to reaction of soil in bends (according to NEN 3650-1 annex 5 D3.3):

$$q_r = k_v \cdot y = (0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I) / (D_o \cdot R/f_R)$$

$$\lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0,25} = 2,7E-3 \text{ 1/mm}$$

$$q_r = 0,0089 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g/W_w) \cdot D_o = 0,52 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \sigma_{t,max} = 0,34 \text{ N/mm}^2$$

### 10.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

$$\sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2)) = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{px} = 0,5 \cdot \sigma_{py} = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot p_t \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2)) = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

### 10.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)

Axial stress:

$$\sigma_b = M_b/W_b = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b) = 0,32 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \sigma_{a,max} = 0,21 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

$$\sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g/W_w) \cdot D_o = 0,31 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g/W_w) \cdot D_o = 11,52 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \sigma_{t,max} = 7,69 \text{ N/mm}^2$$

### 10.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)

Axial stress:

$$\sigma_b = M_b/W_b = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b) = 0,32 \text{ N/mm}^2$$

Due to internal pressure :

$$\sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2)) = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
Maximum axial stress $\text{Sigma}_{a,max}$	=	0,21	N/mm <sup>2</sup>
Tangential stress:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,31	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	11,52	N/mm <sup>2</sup>
Rerounding factor $F_{rr}$	=	1,000	
Rerounding factor $F'_{rr}$	=	1,000	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximum tangential stress $\text{Sigma}_{t,max}$	=	7,69	N/mm <sup>2</sup>

### 10.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 4: pipe nr. 4

Load combination 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm <sup>2</sup> ]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
$\text{Sigma}_{ptest}$	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
$\text{Sigma}_{py}$	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
$\text{Sigma}_{axial}$	10,00 (short)	0,98	6,12	-	-	-
$\text{Sigma}_{axial}$	8,00 (long)	-	-	-	0,21	0,21
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,34	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	7,69	7,69

Stresses in pipeline [N/mm<sup>2</sup>]

The deflection of the pipeline is 15,4 mm (4,89% x Do). The maximum allowable deflection of the pipeline is 25,2 mm (8,00% x S x Do). The deflection is allowable.

For piggability the maximum allowable deflection of the pipeline is 15,8 mm (5,00% x Do). The deflection is allowable.

### 10.4 Check for Implosion of Pipe 4: pipe nr. 4

During the pullback operation the drilling fluid gives an external pressure. The highest minimum required drilling fluid pressure during the pullback operation is 256 kN/m<sup>2</sup>, this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m<sup>2</sup>.



In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals  $188 \text{ kN/m}^2$ , this is less than the maximum allowable external pressure of  $280 \text{ kN/m}^2$ .

**End of Report**

## **Report for D-Geo Pipeline 20.1**

Model : Horizontal Directional Drilling  
Developed by Deltares

Date of report: 20-4-2022  
Time of report: 08:03:16  
Report with version: 20.1.2.31161  
Calculated with version: 20.1.2.31161

File name: HDD berekening

## 1 Table of Contents

1	Table of Contents	2
2	Messages	4
2.1	Calculation Warnings	4
3	Input Data	5
3.1	Model Used	5
3.2	Layer Boundaries	5
3.3	PI-lines	5
3.4	Phreatic Line	5
3.5	Soil Profiles	5
3.6	Selected Boundaries	5
3.7	Soil Material Data	6
3.8	Geometry	6
3.8.1	Geometry Section, Detailed	6
3.8.2	Geometry Top View	7
3.9	Calculation Verticals	7
3.10	Traffic Load	9
3.11	Configuration of the Pipeline	9
3.12	Product Pipe Material Data	9
3.13	Pipe Engineering Data	10
3.14	Drilling Fluid Data	11
3.15	Factors	11
3.16	Calculation Options	11
4	Drilling Fluid Pressures	12
4.1	Drilling Fluid Data	12
4.2	Equilibrium between Drilling Fluid Pressure and Pore Pressure	16
4.3	Drilling Fluid Pressure Plots	18
4.3.1	Drilling Fluid Pressures during Pilot	18
4.3.2	Drilling Fluid Pressures during Prereaming	18
4.3.3	Drilling Fluid Pressures during Reaming and Pullback Operation	19
5	Soil Mechanical Data	20
5.1	Soil Mechanical Parameters Pipe 1: pipe nr. 1	20
5.2	Soil Mechanical Parameters Pipe 2: pipe nr. 2	23
5.3	Soil Mechanical Parameters Pipe 3: pipe nr. 3	26
5.4	Soil Mechanical Parameters Pipe 4: pipe nr. 4	29
5.5	Young's Modulus per Layer per Vertical	32
6	Data for Stress Analysis	37
6.1	General Data	37
6.2	Buoyancy Control	37
6.3	Calculation Pulling Force	37
7	Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1	39
7.1	Material Data of Pipe 1: pipe nr. 1	39
7.2	Results Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1	39
7.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	39
7.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	40
7.2.3	Load Combination 2: Application Internal Pressure	40
7.2.4	Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	40
7.2.5	Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	40
7.3	Check on Calculated Stresses of Pipe 1: pipe nr. 1	41
7.4	Check for Implosion of Pipe 1: pipe nr. 1	41
8	Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2	42
8.1	Material Data of Pipe 2: pipe nr. 2	42
8.2	Results Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2	42
8.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	42
8.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	43
8.2.3	Load Combination 2: Application Internal Pressure	43
8.2.4	Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	43
8.2.5	Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	43
8.3	Check on Calculated Stresses of Pipe 2: pipe nr. 2	44
8.4	Check for Implosion of Pipe 2: pipe nr. 2	44
9	Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3	46
9.1	Material Data of Pipe 3: pipe nr. 3	46
9.2	Results Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3	46
9.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	46
9.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	47

---

9.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure	47
9.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	47
9.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	47
9.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 3: pipe nr. 3	48
9.4 Check for Implosion of Pipe 3: pipe nr. 3	48
10 Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4	49
10.1 Material Data of Pipe 4: pipe nr. 4	49
10.2 Results Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4	49
10.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation	49
10.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation	50
10.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure	50
10.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	50
10.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	50
10.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 4: pipe nr. 4	51
10.4 Check for Implosion of Pipe 4: pipe nr. 4	51

## 2 Messages

### 2.1 Calculation Warnings

One or more layers above the border between the top undrained and underlying drained layers have a  $S_u$ -value of 0.

### 3 Input Data

#### 3.1 Model Used

Model Used : Horizontal Directional Drilling

#### 3.2 Layer Boundaries

Boundary number	Co-ordinates [m]				
5 - L -	0,000	10,000	20,000	30,000	40,000
5 - Z -	0,292	0,260	0,291	0,406	0,278
5 - L -	50,000	60,000	70,000	80,000	90,000
5 - Z -	0,248	0,266	0,191	1,272	1,774
5 - L -	100,000	110,000	120,000	130,000	140,000
5 - Z -	3,553	3,267	3,065	3,019	2,958
5 - L -	150,000	160,000	170,000	180,000	190,000
5 - Z -	2,984	2,958	2,956	2,587	-1,500
5 - L -	200,000	210,000	220,000	230,000	240,000
5 - Z -	-1,500	-1,500	-1,500	-1,500	-1,500
5 - L -	250,000	260,000	270,000	280,000	290,000
5 - Z -	-1,500	0,824	3,528	1,650	1,096
5 - L -	300,000	310,000	320,000	330,000	340,000
5 - Z -	-0,167	0,776	0,691	0,696	0,586
5 - L -	350,000	360,000	370,000	380,000	390,000
5 - Z -	0,607	0,628	0,566	0,469	0,542
5 - L -	400,000	410,000	420,000	430,000	500,000
5 - Z -	0,382	-0,589	0,399	0,595	0,724
4 - L -	0,000	58,008	70,010	500,000	
4 - Z -	0,290	-0,200	-2,000	-1,700	
3 - L -	0,000	500,000			
3 - Z -	-2,500	-2,500			
2 - L -	0,000	500,000			
2 - Z -	-18,000	-18,000			
1 - L -	0,000	500,000			
1 - Z -	-22,000	-22,000			
0 - L -	0,000	500,000			
0 - Z -	-30,000	-30,000			

#### 3.3 PI-lines

PI-line number	Co-ordinates [m]				
1 - L -	0,000	500,000			
1 - Z -	-0,900	-0,900			

#### 3.4 Phreatic Line

Piezo-line 1 is used as phreatic line (groundwater).

#### 3.5 Soil Profiles

Layer number	Material name	Piezo-line at top	Piezo-line at bottom
5	Klei, schoon, matig	1	1
4	Veen, slap	1	1
3	Zand, schoon, matig	1	1
2	Klei, zwak zandig, m...	1	1
1	Zand, schoon, vast	1	1

#### 3.6 Selected Boundaries

The boundary between (cohesive) undrained top layers and underlying (non-cohesive) drained layers, is situated at the top of layer number 1: Zand, schoon, vast

The boundary between compressible top layers and underlying non-compressible layers, is situated at the top of layer number 1: Zand, schoon, vast

### 3.7 Soil Material Data

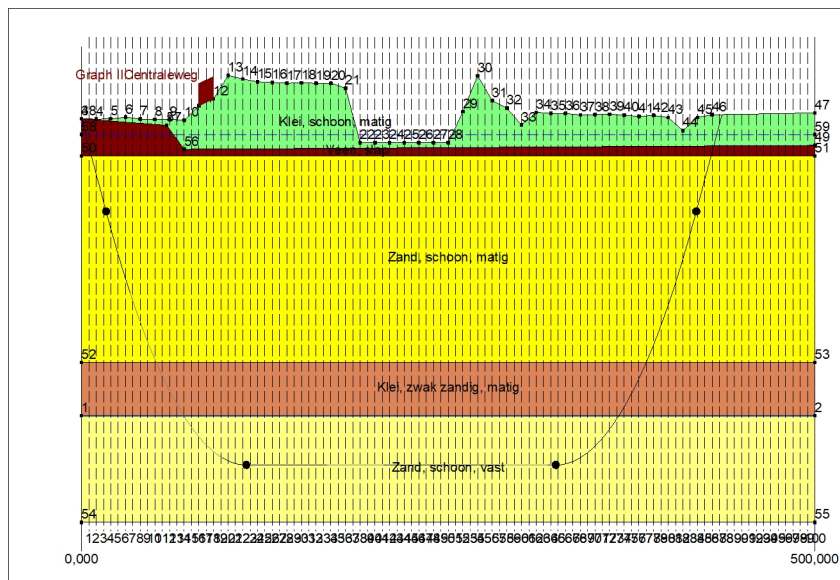
Name	Gamma unsat [kN/m³]	Gamma sat [kN/m³]	Cohesion [kN/m²]	Phi [deg]	Su top [kN/m²]	Su bottom [kN/m²]
Zand, sterk siltig, kleig	18,00	20,00	0,00	30,00	0,00	0,00
Klei, sterk zandig	18,00	18,00	0,50	27,50	10,00	10,00
Veen, slap	11,00	11,00	1,50	15,00	15,00	15,00
Zand, schoon, matig	18,00	20,00	0,00	32,50	0,00	0,00
Klei, zwak zandig, matig	18,00	18,00	5,00	22,50	80,00	80,00
Zand, schoon, vast	19,00	21,00	0,00	35,00	0,00	0,00
Klei, schoon, matig	18,00	18,00	5,00	22,50	50,00	50,00

Name	Soil type	Emod 100 [kN/m²]	Emod top [kN/m²]	Emod bottom [kN/m²]
Zand, sterk siltig, kleig	Sand	10000,00	-	-
Klei, sterk zandig	Clay	2000,00	-	-
Veen, slap	Peat	200,00	-	-
Zand, schoon, matig	Sand	30000,00	-	-
Klei, zwak zandig, matig	Clay	3000,00	-	-
Zand, schoon, vast	Sand	90000,00	-	-
Klei, schoon, matig	Clay	2000,00	-	-

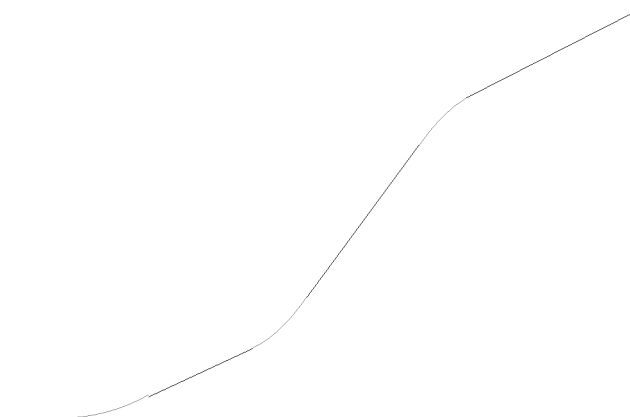
Name	Adhesion A [kN/m²]	Delta D [deg]	Nu [-]
Zand, sterk siltig, kleig	-	-	0,20
Klei, sterk zandig	-	-	0,20
Veen, slap	-	-	0,20
Zand, schoon, matig	-	-	0,20
Klei, zwak zandig, matig	-	-	0,20
Zand, schoon, vast	-	-	0,30
Klei, schoon, matig	-	-	0,20

### 3.8 Geometry

#### 3.8.1 Geometry Section, Detailed



3.8.2 Geometry Top View



3.9 Calculation Verticals

Vertical no.	L-coord. [m]	Z-coord. [m]
1	5,000	-1,779
2	10,000	-3,850
3	15,000	-5,921
4	20,000	-7,967
5	25,000	-9,896
6	30,000	-11,703
7	35,000	-13,391
8	40,000	-14,963
9	45,000	-16,421
10	50,000	-17,767
11	55,000	-19,003
12	60,000	-20,130
13	65,000	-21,150
14	70,000	-22,065
15	75,000	-22,875
16	80,000	-23,581
17	85,000	-24,185
18	90,000	-24,687
19	95,000	-25,088
20	100,000	-25,388
21	105,000	-25,588
22	110,000	-25,688
23	115,000	-25,700
24	120,000	-25,700
25	125,000	-25,700
26	130,000	-25,700
27	135,000	-25,700
28	140,000	-25,700
29	145,000	-25,700
30	150,000	-25,700
31	155,000	-25,700



Vertical no.	L-coord. [m]	Z-coord. [m]
32	160,000	-25,700
33	165,000	-25,700
34	170,000	-25,700
35	175,000	-25,700
36	180,000	-25,700
37	185,000	-25,700
38	190,000	-25,700
39	195,000	-25,700
40	200,000	-25,700
41	205,000	-25,700
42	210,000	-25,700
43	215,000	-25,700
44	220,000	-25,700
45	225,000	-25,700
46	230,000	-25,700
47	235,000	-25,700
48	240,000	-25,700
49	245,000	-25,700
50	250,000	-25,700
51	255,000	-25,700
52	260,000	-25,700
53	265,000	-25,700
54	270,000	-25,700
55	275,000	-25,700
56	280,000	-25,700
57	285,000	-25,700
58	290,000	-25,700
59	295,000	-25,700
60	300,000	-25,700
61	305,000	-25,700
62	310,000	-25,700
63	315,000	-25,700
64	320,000	-25,700
65	325,000	-25,695
66	330,000	-25,613
67	335,000	-25,432
68	340,000	-25,149
69	345,000	-24,767
70	350,000	-24,283
71	355,000	-23,697
72	360,000	-23,009
73	365,000	-22,217
74	370,000	-21,322
75	375,000	-20,320
76	380,000	-19,213
77	385,000	-17,996
78	390,000	-16,670
79	395,000	-15,233
80	400,000	-13,681
81	405,000	-12,014
82	410,000	-10,228
83	415,000	-8,321
84	420,000	-6,292
85	425,000	-4,221
86	430,000	-2,150
87	435,000	-0,079
88	440,000	n.a.
89	445,000	n.a.
90	450,000	n.a.
91	455,000	n.a.
92	460,000	n.a.
93	465,000	n.a.
94	470,000	n.a.
95	475,000	n.a.
96	480,000	n.a.

Vertical no.	L-coord. [m]	Z-coord. [m]
97	485,000	n.a.
98	490,000	n.a.
99	495,000	n.a.
100	500,000	n.a.

Locations of the calculation verticals; L represents distance along the pipeline projection in the horizontal plane, incremented with the entry co-ordinate.

### 3.10 Traffic Load

Centraleweg		
L start	80,00	[m]
L end	90,00	[m]
Load model (graph type)	Graph II	

### 3.11 Configuration of the Pipeline

X co-ordinate left point	0,000	[m]
Y co-ordinate left point	0,000	[m]
Z co-ordinate left point	0,292	[m]
X co-ordinate right point	433,000	[m]
Y co-ordinate right point	47,000	[m]
Z co-ordinate right point	0,607	[m]
Angle left	22,5000	[deg]
Angle right	22,5000	[deg]
Bending radius left, vertical in/out	250,000	[m]
Bending radius right, vertical in/out	250,000	[m]
Bending radius pipe on rollers	500,000	[m]
Lowest level of pipe (center bore hole)	-25,700	[m]
Angle of pipe (between radii)	0,0000	[deg]
Number of horizontal bends	3	

The pulling direction of the product pipe is from left to right.

Bending nr.	X1-coord. [m]	Y1-coord. [m]	X2-coord. [m]	Y2-coord. [m]	Bending radius [m]	Direction
1	34,400	0,000	97,000	2,500	800,000	right
2	169,000	8,100	206,000	14,000	250,000	right
3	283,000	31,500	316,000	37,000	250,000	left

### 3.12 Product Pipe Material Data

Input data pipe nr. 1		
Material	Polyethene	
Quality	PE100	
Young's modulus (short)	975,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Young's modulus (long)	350,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Allowable strength (long)	8,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensile factor (alpha)	0,65	[-]
Linear settlement coefficient (alpha_g)	0,0001600	[mm/mmK]
Outer diameter product pipe	315,00	[mm]
Wall thickness (Nominal)	28,70	[mm]
Unit weight pipe material	9,54	[kN/m <sup>3</sup> ]
Design pressure	0,00	[bar]
Test pressure	0,00	[bar]
Temperature variation	0,00	[deg C]

Input data pipe nr. 2		
Material	Polyethene	
Quality	PE100	
Young's modulus (short)	975,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Young's modulus (long)	350,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm <sup>2</sup> ]

Allowable strength (long)	8,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensile factor (alpha)	0,65	[-]
Linear settlement coefficient (alpha_g)	0,0001600	[mm/mmK]
Outer diameter product pipe	315,00	[mm]
Wall thickness (Nominal)	28,70	[mm]
Unit weight pipe material	9,54	[kN/m <sup>3</sup> ]
Design pressure	0,00	[bar]
Test pressure	0,00	[bar]
Temperature variation	0,00	[deg C]
Input data pipe nr. 3		
Material	Polyethene	
Quality	PE100	
Young's modulus (short)	975,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Young's modulus (long)	350,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Allowable strength (long)	8,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensile factor (alpha)	0,65	[-]
Linear settlement coefficient (alpha_g)	0,0001600	[mm/mmK]
Outer diameter product pipe	315,00	[mm]
Wall thickness (Nominal)	28,70	[mm]
Unit weight pipe material	9,54	[kN/m <sup>3</sup> ]
Design pressure	0,00	[bar]
Test pressure	0,00	[bar]
Temperature variation	0,00	[deg C]
Input data pipe nr. 4		
Material	Polyethene	
Quality	PE100	
Young's modulus (short)	975,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Young's modulus (long)	350,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Allowable strength (long)	8,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensile factor (alpha)	0,65	[-]
Linear settlement coefficient (alpha_g)	0,0001600	[mm/mmK]
Outer diameter product pipe	315,00	[mm]
Wall thickness (Nominal)	28,70	[mm]
Unit weight pipe material	9,54	[kN/m <sup>3</sup> ]
Design pressure	0,00	[bar]
Test pressure	0,00	[bar]
Temperature variation	0,00	[deg C]

### 3.13 Pipe Engineering Data

Pipe filled with water on rollers	No	
Part of cross section filled with fluid	0	[%]
Unit weight fluid	10,00	[kN/m <sup>3</sup> ]
Bedding angle	30	[deg]
Load angle	30	[deg]
Relative displacement	10,00	[mm]
Compression index	6,00	[-]
Modulus of subgrade reaction drilling fluid (Kv)	500,00	[kN/m <sup>3</sup> ]
Phi drilling fluid	15,00	[deg]
Cohesion drilling fluid	5,00	[kN/m <sup>2</sup> ]
Factor of friction pipe-roller (f1)	0,10	[-]
Friction pipe-drilling fluid (f2)	0,000050	[N/mm <sup>2</sup> ]
Factor of friction pipe-soil (f3)	0,20	[-]

### 3.14 Drilling Fluid Data

Outer diameter pilot hole	0,300	[m]
Outer diameter pilot pipe	0,170	[m]
Outer diameter preream hole	0,500	[m]
Outer diameter drillpipe	0,170	[m]
Outer diameter bore hole	1,000	[m]
Outer diameter product pipe	0,630	[m]
Pump flow rate pilot	500,0000	[liter/minute]
Pump flow rate pre-reaming	1000,0000	[liter/minute]
Pump flow rate ream and pull-back	1000,0000	[liter/minute]
Circulation loss factor pilot	0,30	[-]
Circulation loss factor pre-reaming	0,20	[-]
Circulation loss factor ream and pull-back	0,20	[-]
Unit weight drilling fluid ( $\gamma$ )	11,1	[kN/m <sup>3</sup> ]
Yieldpoint drilling fluid ( $\tau$ )	0,014	[kN/m <sup>2</sup> ]
Plastic viscosity drilling fluid ( $\mu$ )	0,000040	[kN.s/m <sup>2</sup> ]

### 3.15 Factors

(Polyethene)Safety factor on implosion (Long)	3,0	[-]
(Polyethene)Safety factor on implosion (Short)	1,5	[-]
Contingency factor on unit weight of material types below and above phreatic level	1,10	[-]
Contingency factor on (drained) cohesion C	1,40	[-]
Contingency factor on undrained shear strength $S_u$	1,40	[-]
Contingency factor on Phi	1,10	[-]
Contingency factor on E-modulus	1,25	[-]
Contingency factor on modulus of subgrade reaction	2,00	[-]
Load factor on design pressure (Polyethene)	1,00	[-]
Load factor on design pressure (combination) (Polyethene)	1,00	[-]
Load factor on test pressure (Polyethene)	1,00	[-]
Load factor on installation (Polyethene)	1,00	[-]
Load factor on reduced neutral soil stress $q_{n;r}$ (Polyethene)	1,50	[-]
Load factor on temperature (Polyethene)	1,10	[-]
Load factor on traffic load (Polyethene)	1,35	[-]
Factor of importance (S)	1,00	[-]
Allowable deflection of steel pipe	15,00	[%]
Allowable piggability of steel pipe	5,00	[%]
Allowable deflection of polyethene pipe	8,00	[%]
Allowable piggability of polyethene pipe	5,00	[%]
Unit weight water	10,00	[kN/m <sup>3</sup> ]
Safety factor on cover (drained layer)	0,50	[-]
Safety factor on cover (undrained layer)	0,50	[-]
Ratio H/Do for boundary between shallow and deep situation	7,50	[-]

### 3.16 Calculation Options

Stress analysis option : Standard

## 4 Drilling Fluid Pressures

### 4.1 Drilling Fluid Data

Vertical no.	Drilling fluid pressures pilot [kN/m <sup>2</sup> ]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	23	23	26	246
2	54	54	51	266
3	83	83	77	286
4	115	115	102	306
5	147	147	127	325
6	176	176	149	343
7	203	203	171	359
8	228	228	191	374
9	251	251	210	387
10	273	273	227	399
11	510	510	243	411
12	534	534	258	421
13	554	554	272	429
14	403	403	285	437
15	737	737	296	443
16	1056	1056	307	449
17	1248	1298	316	453
18	1283	1491	324	456
19	1350	1698	331	458
20	1412	1873	337	459
21	1412	1922	342	458
22	1408	1939	345	457
23	1403	1933	348	455
24	1397	1924	350	452
25	1396	1921	353	450
26	1394	1919	355	447
27	1393	1916	358	445
28	1391	1913	360	442
29	1391	1914	363	440
30	1392	1915	365	437
31	1391	1914	368	435
32	1390	1913	370	432
33	1390	1912	373	430
34	1390	1912	375	427
35	1380	1895	378	425
36	1369	1877	380	422
37	1252	1685	383	420
38	1152	1522	385	417
39	1152	1522	388	415
40	1152	1522	390	412
41	1152	1522	393	410
42	1152	1522	395	407
43	1152	1522	398	405
44	1151	1522	400	402
45	1151	1521	403	400
46	1151	1521	405	397
47	1151	1521	408	395
48	1151	1521	410	392
49	1151	1521	413	390
50	1151	1521	415	387
51	1200	1599	418	385
52	1267	1709	420	382
53	1345	1837	423	380
54	1421	1963	425	377
55	1368	1875	428	375
56	1314	1787	430	372
57	1298	1761	433	370

Vertical no.	Drilling fluid pressures pilot [kN/m <sup>2</sup> ]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
58	1282	1734	435	367
59	1246	1674	438	365
60	1209	1615	440	362
61	1236	1659	443	360
62	1264	1704	445	357
63	1261	1699	448	355
64	1259	1695	450	352
65	1258	1694	453	350
66	1255	1672	454	346
67	1244	1616	455	342
68	1229	1530	454	336
69	1214	1416	452	329
70	1195	1261	450	322
71	1056	1056	446	313
72	788	788	441	302
73	410	410	434	291
74	565	565	427	279
75	549	549	418	265
76	529	529	409	250
77	287	287	398	234
78	266	266	385	217
79	242	242	372	198
80	216	216	358	178
81	184	184	342	157
82	150	150	324	135
83	126	126	306	111
84	101	101	286	86
85	75	75	266	60
86	72	72	246	34
87	48	48	225	9

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m <sup>2</sup> ]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	23	23	24	26
2	56	56	48	51
3	84	84	72	77
4	116	116	96	102
5	147	147	118	127
6	177	177	139	149
7	203	203	159	171
8	228	228	177	191
9	251	251	194	210
10	273	273	210	227
11	500	500	225	243
12	533	533	238	258
13	554	554	251	272
14	403	403	262	285
15	583	583	272	296
16	815	815	280	307
17	997	997	288	316
18	1147	1147	294	324
19	1310	1310	300	331
20	1412	1451	304	337
21	1412	1495	307	342
22	1408	1512	309	345
23	1403	1508	310	348
24	1397	1500	311	350
25	1396	1498	312	350
26	1394	1497	313	349
27	1393	1494	314	348
28	1391	1492	315	347
29	1391	1493	316	346
30	1392	1494	317	345

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m <sup>2</sup> ]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
31	1391	1493	317	344
32	1390	1492	318	343
33	1390	1492	319	342
34	1390	1491	320	341
35	1380	1478	321	340
36	1369	1465	322	340
37	1252	1318	323	339
38	1152	1194	324	338
39	1152	1194	325	337
40	1152	1194	326	336
41	1152	1194	327	335
42	1152	1194	327	334
43	1152	1194	328	333
44	1151	1193	329	332
45	1151	1193	330	331
46	1151	1193	331	330
47	1151	1193	332	329
48	1151	1193	333	329
49	1151	1193	334	328
50	1151	1193	335	327
51	1200	1253	336	326
52	1267	1336	337	325
53	1345	1434	338	324
54	1421	1531	338	323
55	1368	1463	339	322
56	1314	1395	340	321
57	1298	1375	341	320
58	1282	1355	342	319
59	1246	1310	343	319
60	1209	1264	344	318
61	1236	1298	345	317
62	1264	1332	346	316
63	1261	1329	347	315
64	1259	1326	348	314
65	1258	1324	348	313
66	1255	1305	346	311
67	1244	1258	342	308
68	1187	1187	336	304
69	1093	1093	329	299
70	971	971	322	293
71	816	816	313	285
72	620	620	302	277
73	410	410	291	267
74	565	565	279	256
75	548	548	265	244
76	522	522	250	231
77	287	287	234	217
78	266	266	217	201
79	242	242	198	184
80	217	217	178	166
81	185	185	157	146
82	151	151	135	126
83	127	127	111	103
84	103	103	86	80
85	80	80	60	56
86	86	86	34	32
87	21	21	9	8

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m <sup>2</sup> ]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	22	22	24	24
2	60	60	48	48
3	88	88	72	72

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m <sup>2</sup> ]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
4	118	118	95	96
5	148	148	117	118
6	178	178	138	139
7	204	204	158	159
8	229	229	176	177
9	252	252	193	194
10	274	274	209	210
11	454	454	223	225
12	522	522	237	238
13	550	550	249	251
14	403	403	260	262
15	491	491	270	272
16	591	591	278	280
17	709	709	286	288
18	807	807	292	294
19	915	915	297	300
20	1008	1008	301	304
21	1040	1040	304	307
22	1052	1052	306	309
23	1049	1049	307	310
24	1045	1045	308	311
25	1043	1043	309	312
26	1042	1042	310	313
27	1041	1041	310	314
28	1039	1039	311	315
29	1040	1040	312	316
30	1040	1040	313	317
31	1040	1040	314	317
32	1039	1039	314	318
33	1039	1039	315	319
34	1039	1039	316	320
35	1030	1030	317	321
36	1022	1022	318	322
37	927	927	318	323
38	848	848	319	324
39	847	847	320	325
40	847	847	321	326
41	847	847	321	327
42	847	847	322	327
43	847	847	323	328
44	847	847	324	327
45	847	847	325	326
46	847	847	325	325
47	847	847	326	324
48	847	847	327	324
49	847	847	328	323
50	847	847	327	322
51	885	885	326	321
52	939	939	325	321
53	1002	1002	324	320
54	1064	1064	323	319
55	1021	1021	322	318
56	977	977	321	317
57	964	964	320	317
58	951	951	319	316
59	922	922	319	315
60	893	893	318	314
61	914	914	317	313
62	936	936	316	313
63	934	934	315	312
64	932	932	314	311
65	931	931	313	310
66	918	918	311	309
67	886	886	308	306



Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m <sup>2</sup> ]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
68	837	837	304	302
69	774	774	299	297
70	693	693	293	291
71	593	593	285	283
72	477	477	277	275
73	410	410	267	265
74	562	562	256	255
75	539	539	244	243
76	489	489	231	229
77	288	288	217	215
78	267	267	201	200
79	244	244	184	183
80	218	218	166	165
81	186	186	146	145
82	152	152	126	125
83	130	130	103	103
84	108	108	80	79
85	86	86	56	56
86	81	81	32	32
87	0	0	8	8

#### 4.2 Equilibrium between Drilling Fluid Pressure and Pore Pressure

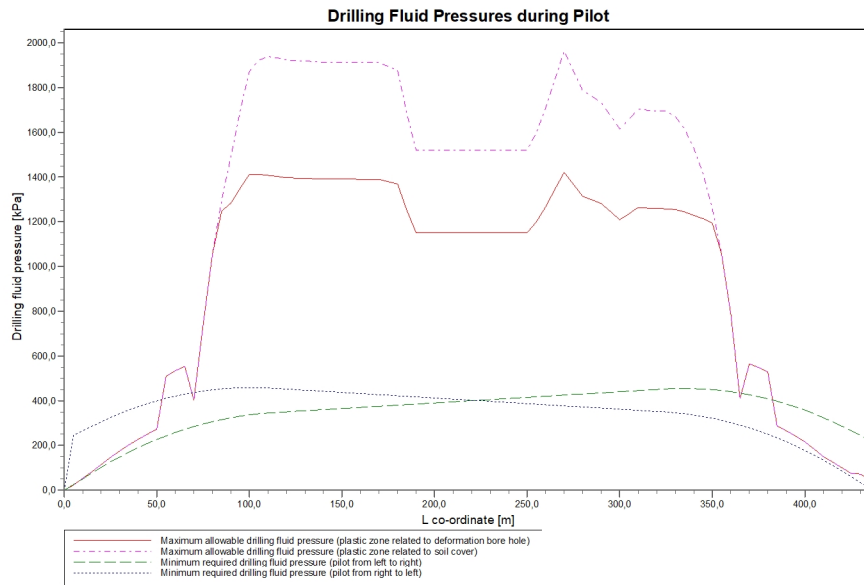
Vertical no.	Static column pressure			
	Drilling fluid [kN/m <sup>2</sup> ]	Water [kN/m <sup>2</sup> ]	Safety [-]	Result
1	23	9	2,62	sufficient
2	46	30	1,56	sufficient
3	69	50	1,37	sufficient
4	92	71	1,30	sufficient
5	113	90	1,26	sufficient
6	133	108	1,23	sufficient
7	152	125	1,22	sufficient
8	170	141	1,21	sufficient
9	186	155	1,20	sufficient
10	201	169	1,19	sufficient
11	215	181	1,18	sufficient
12	227	192	1,18	sufficient
13	238	203	1,18	sufficient
14	249	212	1,17	sufficient
15	258	220	1,17	sufficient
16	266	227	1,17	sufficient
17	272	233	1,17	sufficient
18	278	238	1,17	sufficient
19	282	242	1,17	sufficient
20	286	245	1,17	sufficient
21	288	247	1,17	sufficient
22	289	248	1,17	sufficient
23	289	248	1,17	sufficient
24	289	248	1,17	sufficient
25	289	248	1,17	sufficient
26	289	248	1,17	sufficient
27	290	248	1,17	sufficient
28	290	248	1,17	sufficient
29	290	248	1,17	sufficient
30	290	248	1,17	sufficient
31	290	248	1,17	sufficient
32	290	248	1,17	sufficient
33	290	248	1,17	sufficient
34	290	248	1,17	sufficient
35	290	248	1,17	sufficient
36	290	248	1,17	sufficient
37	290	248	1,17	sufficient
38	290	248	1,17	sufficient

Vertical no.	Static column pressure			Result
	Drilling fluid [kN/m <sup>2</sup> ]	Water [kN/m <sup>2</sup> ]	Safety [-]	
39	290	248	1,17	sufficient
40	290	248	1,17	sufficient
41	290	248	1,17	sufficient
42	290	248	1,17	sufficient
43	290	248	1,17	sufficient
44	290	248	1,17	sufficient
45	290	248	1,17	sufficient
46	290	248	1,17	sufficient
47	290	248	1,17	sufficient
48	290	248	1,17	sufficient
49	290	248	1,17	sufficient
50	291	248	1,17	sufficient
51	291	248	1,17	sufficient
52	291	248	1,17	sufficient
53	291	248	1,17	sufficient
54	291	248	1,17	sufficient
55	291	248	1,17	sufficient
56	291	248	1,17	sufficient
57	291	248	1,17	sufficient
58	291	248	1,17	sufficient
59	291	248	1,17	sufficient
60	291	248	1,17	sufficient
61	291	248	1,17	sufficient
62	291	248	1,17	sufficient
63	291	248	1,17	sufficient
64	291	248	1,17	sufficient
65	291	248	1,17	sufficient
66	290	247	1,17	sufficient
67	288	245	1,18	sufficient
68	285	242	1,18	sufficient
69	281	239	1,18	sufficient
70	276	234	1,18	sufficient
71	269	228	1,18	sufficient
72	262	221	1,18	sufficient
73	253	213	1,19	sufficient
74	243	204	1,19	sufficient
75	232	194	1,19	sufficient
76	220	183	1,20	sufficient
77	206	171	1,21	sufficient
78	192	158	1,21	sufficient
79	176	143	1,23	sufficient
80	158	128	1,24	sufficient
81	140	111	1,26	sufficient
82	120	93	1,29	sufficient
83	99	74	1,33	sufficient
84	77	54	1,42	sufficient
85	54	33	1,61	sufficient
86	31	12	2,45	sufficient
87	8	0	-	sufficient

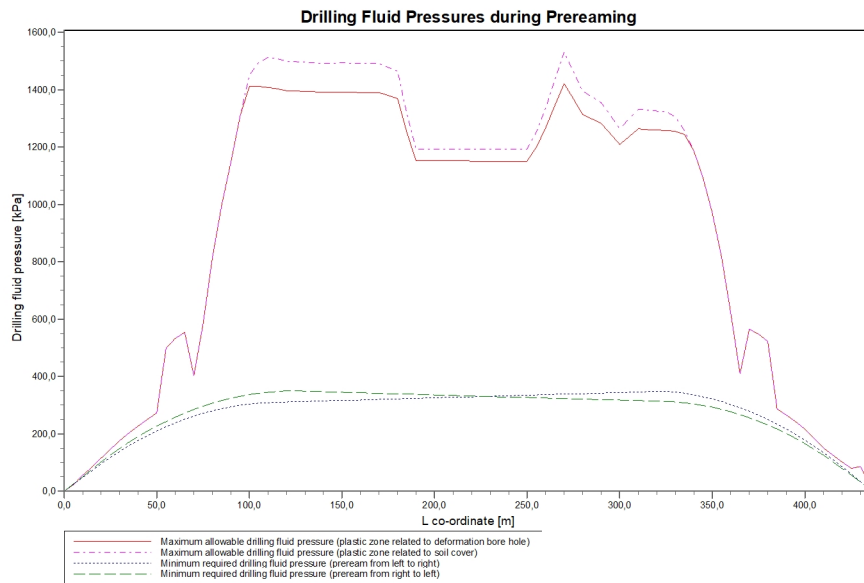
The static drilling fluid pressure is calculated and can be compared with the calculated groundwater pressure. The quotient of the drilling fluid pressure and the groundwater pressure yields the safety factor, which should be higher than the requested factor of safety of 1,10.

### 4.3 Drilling Fluid Pressure Plots

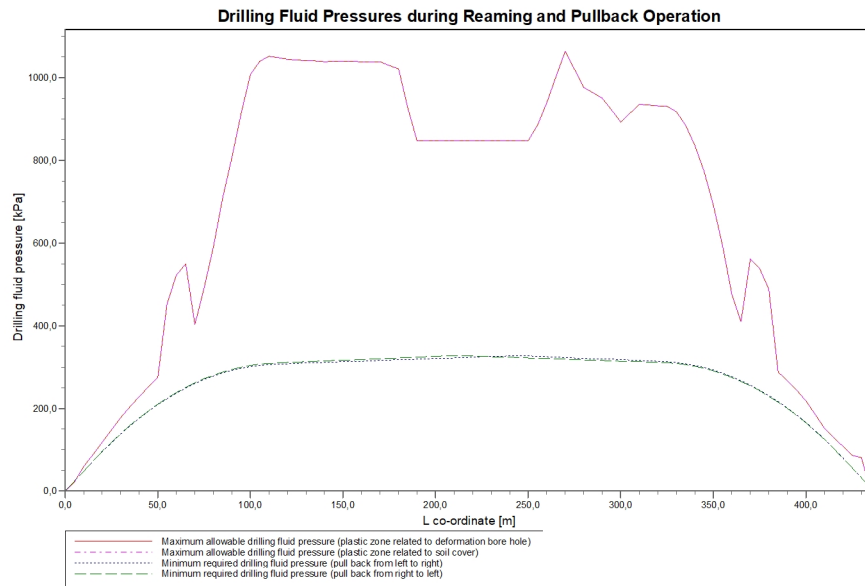
#### 4.3.1 Drilling Fluid Pressures during Pilot



#### 4.3.2 Drilling Fluid Pressures during Prereaming



### 4.3.3 Drilling Fluid Pressures during Reaming and Pullback Operation



## 5 Soil Mechanical Data

### 5.1 Soil Mechanical Parameters Pipe 1: pipe nr. 1

The list with data and issues is shown hereafter:

Note: safety factors not applied.

q_v;p	Passive soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q_v;n	Neutral soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q_h;n	Neutral horizontal soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q_v,r;n	Reduced neutral soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q_traffic	Traffic load	kN/m <sup>2</sup>
q_v;e	Vertical bearing capacity	kN/m <sup>2</sup>
q_h;e	Horizontal bearing capacity	kN/m <sup>2</sup>
k_v;bot	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m <sup>3</sup>
k_v;top	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m <sup>3</sup>
k_h	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m <sup>3</sup>
t_max	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m <sup>2</sup>
d_max	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	q_v;p [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_h;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v,r;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_traffic [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;e [kN/m <sup>2</sup> ]
1	24	14	10	14	0	101
2	128	27	20	27	0	964
3	325	48	27	36	0	1710
4	602	69	36	49	0	2448
5	760	90	43	58	0	3173
6	900	109	49	66	0	3855
7	1011	125	52	70	0	4418
8	1111	140	55	74	0	4941
9	1207	155	57	76	0	5455
10	1294	168	58	78	0	2495
11	563	179	58	78	0	2310
12	596	191	57	77	0	2449
13	631	204	57	77	0	2604
14	2439	215	56	76	0	10115
15	2613	234	58	79	0	10979
16	2774	251	61	82	0	11797
17	2876	263	63	85	0	12318
18	2966	273	59	80	0	12787
19	3148	293	52	70	0	13741
20	3318	312	48	64	0	14644
21	3314	312	44	59	0	14625
22	3301	310	42	56	0	14555
23	3286	309	41	56	0	14475
24	3270	307	41	55	0	14389
25	3266	306	41	55	0	14368
26	3262	306	41	55	0	14348
27	3257	305	41	55	0	14321
28	3252	305	41	55	0	14294
29	3254	305	41	55	0	14304
30	3256	305	41	55	0	14314
31	3254	305	41	55	0	14302
32	3252	305	41	55	0	14290
33	3251	305	41	55	0	14288
34	3251	305	41	55	0	14286
35	3221	301	40	54	0	14129
36	3192	298	40	54	0	13973
37	2863	261	36	49	0	12251
38	2581	230	33	44	0	10809
39	2581	230	33	44	0	10808
40	2581	230	33	44	0	10807
41	2580	230	33	44	0	10806
42	2580	230	33	44	0	10805
43	2580	230	33	44	0	10804

Vertical no.	q_v;p [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_h;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;r;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_traffic [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;e [kN/m <sup>2</sup> ]
44	2580	230	33	44	0	10803
45	2579	230	33	44	0	10801
46	2579	230	33	44	0	10800
47	2579	230	33	44	0	10799
48	2579	230	33	44	0	10798
49	2578	230	33	44	0	10797
50	2578	230	33	44	0	10796
51	2716	245	34	46	0	11493
52	2906	266	36	49	0	12470
53	3123	290	39	53	0	13607
54	3337	314	42	56	0	14745
55	3188	297	40	54	0	13953
56	3038	281	38	51	0	13161
57	2993	276	38	51	0	12926
58	2948	270	37	50	0	12692
59	2846	259	36	48	0	12159
60	2742	248	34	47	0	11626
61	2819	256	35	48	0	12022
62	2896	265	36	49	0	12418
63	2888	264	36	49	0	12381
64	2881	263	36	49	0	12344
65	2881	263	36	49	0	12343
66	2873	262	37	50	0	12301
67	2846	259	40	54	0	12160
68	2808	255	45	60	0	11968
69	2771	251	53	71	0	11778
70	2724	246	59	80	0	11536
71	2666	240	59	79	0	11242
72	2597	232	58	78	0	10896
73	2510	223	57	77	0	10461
74	663	215	58	78	0	2740
75	638	206	59	79	0	2632
76	610	196	60	80	0	2513
77	1410	187	60	81	0	2399
78	1330	174	60	80	0	6132
79	1228	158	58	78	0	5575
80	1116	141	55	75	0	4978
81	943	116	50	67	0	4084
82	753	89	43	57	0	3149
83	674	79	39	52	0	2789
84	487	68	34	46	0	2386
85	259	49	25	34	0	1719
86	53	34	25	34	0	639
87	15	10	7	10	0	242

Vertical no.	q_h;e [kN/m <sup>2</sup> ]	k_v;bot [kN/m <sup>3</sup> ]	k_v;top [kN/m <sup>3</sup> ]	k_h [kN/m <sup>3</sup> ]	t_max [kN/m <sup>2</sup> ]	d_max [mm]
1	52	1364	1	955	0,05	7,5
2	238	34796	18430	24357	0,05	7,5
3	431	44631	36010	31242	0,05	7,5
4	604	52821	45515	36975	0,05	7,5
5	760	59941	53444	41959	0,05	7,5
6	900	66059	60106	46242	0,05	7,5
7	1011	70784	65183	49549	0,05	7,5
8	1111	74947	69619	52463	0,05	7,5
9	1207	71267	73763	49887	0,05	7,5
10	1294	11076	77429	7753	0,05	7,5
11	563	8404	39532	5883	0,05	7,5
12	596	8846	8262	6192	0,05	7,5
13	631	173064	8754	121145	0,05	7,5
14	2439	336036	9211	235225	0,05	7,5
15	2613	351096	144033	245767	0,05	7,5
16	2774	364774	311507	255342	0,05	7,5
17	2876	373281	357270	261297	0,05	7,5
18	2966	380804	365054	266562	0,05	7,5

Vertical no.	q <sub>h;e</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	k <sub>v;bot</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	k <sub>v;top</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	k <sub>h</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	t <sub>max</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	d <sub>max</sub> [mm]
19	3148	395767	380510	277037	0,05	7,5
20	3318	409516	394681	286661	0,05	7,5
21	3314	409234	394390	286464	0,05	7,5
22	3301	408175	393300	285723	0,05	7,5
23	3286	406970	392058	284879	0,05	7,5
24	3270	405666	390715	283966	0,05	7,5
25	3266	405355	390395	283749	0,05	7,5
26	3262	405044	390075	283531	0,05	7,5
27	3257	404637	389655	283246	0,05	7,5
28	3252	404230	389236	282961	0,05	7,5
29	3254	404379	389389	283065	0,05	7,5
30	3256	404528	389542	283169	0,05	7,5
31	3254	404344	389353	283041	0,05	7,5
32	3252	404161	389164	282912	0,05	7,5
33	3251	404130	389133	282891	0,05	7,5
34	3251	404100	389102	282870	0,05	7,5
35	3221	401717	386645	281202	0,05	7,5
36	3192	399322	384177	279526	0,05	7,5
37	2863	372177	356126	260524	0,05	7,5
38	2581	348184	331222	243729	0,05	7,5
39	2581	348165	331202	243715	0,05	7,5
40	2581	348145	331181	243702	0,05	7,5
41	2580	348126	331161	243688	0,05	7,5
42	2580	348106	331141	243674	0,05	7,5
43	2580	348086	331120	243661	0,05	7,5
44	2580	348067	331100	243647	0,05	7,5
45	2579	348047	331080	243633	0,05	7,5
46	2579	348028	331059	243619	0,05	7,5
47	2579	348008	331039	243606	0,05	7,5
48	2579	347989	331019	243592	0,05	7,5
49	2578	347969	330998	243578	0,05	7,5
50	2578	347950	330978	243565	0,05	7,5
51	2716	359712	343203	251798	0,05	7,5
52	2906	375716	359791	263001	0,05	7,5
53	3123	393685	378361	275579	0,05	7,5
54	3337	411024	396233	287717	0,05	7,5
55	3188	399015	383860	279311	0,05	7,5
56	3038	386712	371161	270698	0,05	7,5
57	2993	383010	367335	268107	0,05	7,5
58	2948	379280	363478	265496	0,05	7,5
59	2846	370688	354584	259481	0,05	7,5
60	2742	361935	345509	253354	0,05	7,5
61	2819	368453	352269	257917	0,05	7,5
62	2896	374881	358926	262417	0,05	7,5
63	2888	374285	358310	262000	0,05	7,5
64	2881	373688	357692	261582	0,05	7,5
65	2881	373662	357665	261564	0,05	7,5
66	2873	372998	356977	261098	0,05	7,5
67	2846	370709	354606	259496	0,05	7,5
68	2808	367564	351348	257295	0,05	7,5
69	2771	364453	348122	255117	0,05	7,5
70	2724	360456	343975	252319	0,05	7,5
71	2666	355543	330362	248880	0,05	7,5
72	2597	349679	171239	244775	0,05	7,5
73	2510	342210	18867	239547	0,05	7,5
74	663	215209	9186	150646	0,05	7,5
75	638	17661	8844	12363	0,05	7,5
76	610	9050	31750	6335	0,05	7,5
77	1410	8700	82230	6090	0,05	7,5
78	1330	63015	78972	44110	0,05	7,5
79	1228	79771	74723	55840	0,05	7,5
80	1116	75249	69939	52674	0,05	7,5
81	943	68025	62225	47618	0,05	7,5
82	753	59724	53206	41807	0,05	7,5
83	674	56283	49399	39398	0,05	7,5

Vertical no.	q <sub>h;e</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	k <sub>v;bot</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	k <sub>v;top</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	k <sub>h</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	t <sub>max</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	d <sub>max</sub> [mm]
84	579	52212	44826	36548	0,05	7,5
85	412	44796	35949	31357	0,05	7,5
86	53	31832	843	22282	0,05	7,5
87	104	12419	5	8693	0,05	7,5

Maximum soil stress	: q <sub>v;n;max</sub> = 314 kN/m <sup>2</sup>
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	: q <sub>traffic;max</sub> = 85 kN/m <sup>2</sup>
Maximum reduced soil stress	: q <sub>v;r;n;max</sub> = 85 kN/m <sup>2</sup>
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	: k <sub>v;max</sub> = 411024 kN/m <sup>3</sup>
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	: k <sub>v;max</sub> = 822049 kN/m <sup>3</sup>

## 5.2 Soil Mechanical Parameters Pipe 2: pipe nr. 2

The list with data and issues is shown hereafter:

Note: safety factors not applied.

q <sub>v;p</sub>	Passive soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>v;n</sub>	Neutral soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>h;n</sub>	Neutral horizontal soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>v;r;n</sub>	Reduced neutral soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>traffic</sub>	Traffic load	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>v;e</sub>	Vertical bearing capacity	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>h;e</sub>	Horizontal bearing capacity	kN/m <sup>2</sup>
k <sub>v;bot</sub>	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m <sup>3</sup>
k <sub>v;top</sub>	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m <sup>3</sup>
k <sub>h</sub>	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m <sup>3</sup>
t <sub>max</sub>	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m <sup>2</sup>
d <sub>max</sub>	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	q <sub>v;p</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>v;n</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>h;n</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>v;r;n</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>traffic</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>v;e</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
1	24	14	10	14	0	101
2	128	27	20	27	0	964
3	325	48	27	36	0	1710
4	602	69	36	49	0	2448
5	760	90	43	58	0	3173
6	900	109	49	66	0	3855
7	1011	125	52	70	0	4418
8	1111	140	55	74	0	4941
9	1207	155	57	76	0	5455
10	1294	168	58	78	0	2495
11	563	179	58	78	0	2310
12	596	191	57	77	0	2449
13	631	204	57	77	0	2604
14	2439	215	56	76	0	10115
15	2613	234	58	79	0	10979
16	2774	251	61	82	0	11797
17	2876	263	63	85	0	12318
18	2966	273	59	80	0	12787
19	3148	293	52	70	0	13741
20	3318	312	48	64	0	14644
21	3314	312	44	59	0	14625
22	3301	310	42	56	0	14555
23	3286	309	41	56	0	14475
24	3270	307	41	55	0	14389
25	3266	306	41	55	0	14368
26	3262	306	41	55	0	14348
27	3257	305	41	55	0	14321
28	3252	305	41	55	0	14294
29	3254	305	41	55	0	14304
30	3256	305	41	55	0	14314
31	3254	305	41	55	0	14302



Vertical no.	q_v;p [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_h;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;r;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_traffic [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;e [kN/m <sup>2</sup> ]
32	3252	305	41	55	0	14290
33	3251	305	41	55	0	14288
34	3251	305	41	55	0	14286
35	3221	301	40	54	0	14129
36	3192	298	40	54	0	13973
37	2863	261	36	49	0	12251
38	2581	230	33	44	0	10809
39	2581	230	33	44	0	10808
40	2581	230	33	44	0	10807
41	2580	230	33	44	0	10806
42	2580	230	33	44	0	10805
43	2580	230	33	44	0	10804
44	2580	230	33	44	0	10803
45	2579	230	33	44	0	10801
46	2579	230	33	44	0	10800
47	2579	230	33	44	0	10799
48	2579	230	33	44	0	10798
49	2578	230	33	44	0	10797
50	2578	230	33	44	0	10796
51	2716	245	34	46	0	11493
52	2906	266	36	49	0	12470
53	3123	290	39	53	0	13607
54	3337	314	42	56	0	14745
55	3188	297	40	54	0	13953
56	3038	281	38	51	0	13161
57	2993	276	38	51	0	12926
58	2948	270	37	50	0	12692
59	2846	259	36	48	0	12159
60	2742	248	34	47	0	11626
61	2819	256	35	48	0	12022
62	2896	265	36	49	0	12418
63	2888	264	36	49	0	12381
64	2881	263	36	49	0	12344
65	2881	263	36	49	0	12343
66	2873	262	37	50	0	12301
67	2846	259	40	54	0	12160
68	2808	255	45	60	0	11968
69	2771	251	53	71	0	11778
70	2724	246	59	80	0	11536
71	2666	240	59	79	0	11242
72	2597	232	58	78	0	10896
73	2510	223	57	77	0	10461
74	663	215	58	78	0	2740
75	638	206	59	79	0	2632
76	610	196	60	80	0	2513
77	1410	187	60	81	0	2399
78	1330	174	60	80	0	6132
79	1228	158	58	78	0	5575
80	1116	141	55	75	0	4978
81	943	116	50	67	0	4084
82	753	89	43	57	0	3149
83	674	79	39	52	0	2789
84	487	68	34	46	0	2386
85	259	49	25	34	0	1719
86	53	34	25	34	0	639
87	15	10	7	10	0	242

Vertical no.	q_h;e [kN/m <sup>2</sup> ]	k_v;bot [kN/m <sup>3</sup> ]	k_v;top [kN/m <sup>3</sup> ]	k_h [kN/m <sup>3</sup> ]	t_max [kN/m <sup>2</sup> ]	d_max [mm]
1	52	1364	1	955	0,05	7,5
2	238	34796	18430	24357	0,05	7,5
3	431	44631	36010	31242	0,05	7,5
4	604	52821	45515	36975	0,05	7,5
5	760	59941	53444	41959	0,05	7,5
6	900	66059	60106	46242	0,05	7,5

Vertical no.	q <sub>h;e</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	k <sub>v;bot</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	k <sub>v;top</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	k <sub>h</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	t <sub>max</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	d <sub>max</sub> [mm]
7	1011	70784	65183	49549	0,05	7,5
8	1111	74947	69619	52463	0,05	7,5
9	1207	71267	73763	49887	0,05	7,5
10	1294	11076	77429	7753	0,05	7,5
11	563	8404	39532	5883	0,05	7,5
12	596	8846	8262	6192	0,05	7,5
13	631	173064	8754	121145	0,05	7,5
14	2439	336036	9211	235225	0,05	7,5
15	2613	351096	144033	245767	0,05	7,5
16	2774	364774	311507	255342	0,05	7,5
17	2876	373281	357270	261297	0,05	7,5
18	2966	380804	365054	266562	0,05	7,5
19	3148	395767	380510	277037	0,05	7,5
20	3318	409516	394681	286661	0,05	7,5
21	3314	409234	394390	286464	0,05	7,5
22	3301	408175	393300	285723	0,05	7,5
23	3286	406970	392058	284879	0,05	7,5
24	3270	405666	390715	283966	0,05	7,5
25	3266	405355	390395	283749	0,05	7,5
26	3262	405044	390075	283531	0,05	7,5
27	3257	404637	389655	283246	0,05	7,5
28	3252	404230	389236	282961	0,05	7,5
29	3254	404379	389389	283065	0,05	7,5
30	3256	404528	389542	283169	0,05	7,5
31	3254	404344	389353	283041	0,05	7,5
32	3252	404161	389164	282912	0,05	7,5
33	3251	404130	389133	282891	0,05	7,5
34	3251	404100	389102	282870	0,05	7,5
35	3221	401717	386645	281202	0,05	7,5
36	3192	399322	384177	279526	0,05	7,5
37	2863	372177	356126	260524	0,05	7,5
38	2581	348184	331222	243729	0,05	7,5
39	2581	348165	331202	243715	0,05	7,5
40	2581	348145	331181	243702	0,05	7,5
41	2580	348126	331161	243688	0,05	7,5
42	2580	348106	331141	243674	0,05	7,5
43	2580	348086	331120	243661	0,05	7,5
44	2580	348067	331100	243647	0,05	7,5
45	2579	348047	331080	243633	0,05	7,5
46	2579	348028	331059	243619	0,05	7,5
47	2579	348008	331039	243606	0,05	7,5
48	2579	347989	331019	243592	0,05	7,5
49	2578	347969	330998	243578	0,05	7,5
50	2578	347950	330978	243565	0,05	7,5
51	2716	359712	343203	251798	0,05	7,5
52	2906	375716	359791	263001	0,05	7,5
53	3123	393685	378361	275579	0,05	7,5
54	3337	411024	396233	287717	0,05	7,5
55	3188	399015	383860	279311	0,05	7,5
56	3038	386712	371161	270698	0,05	7,5
57	2993	383010	367335	268107	0,05	7,5
58	2948	379280	363478	265496	0,05	7,5
59	2846	370688	354584	259481	0,05	7,5
60	2742	361935	345509	253354	0,05	7,5
61	2819	368453	352269	257917	0,05	7,5
62	2896	374881	358926	262417	0,05	7,5
63	2888	374285	358310	262000	0,05	7,5
64	2881	373688	357692	261582	0,05	7,5
65	2881	373662	357665	261564	0,05	7,5
66	2873	372998	356977	261098	0,05	7,5
67	2846	370709	354606	259496	0,05	7,5
68	2808	367564	351348	257295	0,05	7,5
69	2771	364453	348122	255117	0,05	7,5
70	2724	360456	343975	252319	0,05	7,5
71	2666	355543	330362	248880	0,05	7,5

Vertical no.	q <sub>h;e</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	k <sub>v;bot</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	k <sub>v;top</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	k <sub>h</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	t <sub>max</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	d <sub>max</sub> [mm]
72	2597	349679	171239	244775	0,05	7,5
73	2510	342210	18867	239547	0,05	7,5
74	663	215209	9186	150646	0,05	7,5
75	638	17661	8844	12363	0,05	7,5
76	610	9050	31750	6335	0,05	7,5
77	1410	8700	82230	6090	0,05	7,5
78	1330	63015	78972	44110	0,05	7,5
79	1228	79771	74723	55840	0,05	7,5
80	1116	75249	69939	52674	0,05	7,5
81	943	68025	62225	47618	0,05	7,5
82	753	59724	53206	41807	0,05	7,5
83	674	56283	49399	39398	0,05	7,5
84	579	52212	44826	36548	0,05	7,5
85	412	44796	35949	31357	0,05	7,5
86	53	31832	843	22282	0,05	7,5
87	104	12419	5	8693	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q <sub>v;n;max</sub> = 314 kN/m <sup>2</sup>
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q <sub>traffic;max</sub> = 85 kN/m <sup>2</sup>
Maximum reduced soil stress	:	q <sub>v;r;n;max</sub> = 85 kN/m <sup>2</sup>
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k <sub>v;max</sub> = 411024 kN/m <sup>3</sup>
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k <sub>v;max</sub> = 822049 kN/m <sup>3</sup>

### 5.3 Soil Mechanical Parameters Pipe 3: pipe nr. 3

The list with data and issues is shown hereafter:  
Note: safety factors not applied.

q <sub>v;p</sub>	Passive soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>v;n</sub>	Neutral soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>h;n</sub>	Neutral horizontal soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>v;r;n</sub>	Reduced neutral soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>traffic</sub>	Traffic load	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>v;e</sub>	Vertical bearing capacity	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>h;e</sub>	Horizontal bearing capacity	kN/m <sup>2</sup>
k <sub>v;bot</sub>	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m <sup>3</sup>
k <sub>v;top</sub>	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m <sup>3</sup>
k <sub>h</sub>	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m <sup>3</sup>
t <sub>max</sub>	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m <sup>2</sup>
d <sub>max</sub>	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	q <sub>v;p</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>v;n</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>h;n</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>v;r;n</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>traffic</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>v;e</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
1	24	14	10	14	0	101
2	128	27	20	27	0	964
3	325	48	27	36	0	1710
4	602	69	36	49	0	2448
5	760	90	43	58	0	3173
6	900	109	49	66	0	3855
7	1011	125	52	70	0	4418
8	1111	140	55	74	0	4941
9	1207	155	57	76	0	5455
10	1294	168	58	78	0	2495
11	563	179	58	78	0	2310
12	596	191	57	77	0	2449
13	631	204	57	77	0	2604
14	2439	215	56	76	0	10115
15	2613	234	58	79	0	10979
16	2774	251	61	82	0	11797
17	2876	263	63	85	0	12318
18	2966	273	59	80	0	12787
19	3148	293	52	70	0	13741

Vertical no.	q_v;p [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_h;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;r;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_traffic [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;e [kN/m <sup>2</sup> ]
20	3318	312	48	64	0	14644
21	3314	312	44	59	0	14625
22	3301	310	42	56	0	14555
23	3286	309	41	56	0	14475
24	3270	307	41	55	0	14389
25	3266	306	41	55	0	14368
26	3262	306	41	55	0	14348
27	3257	305	41	55	0	14321
28	3252	305	41	55	0	14294
29	3254	305	41	55	0	14304
30	3256	305	41	55	0	14314
31	3254	305	41	55	0	14302
32	3252	305	41	55	0	14290
33	3251	305	41	55	0	14288
34	3251	305	41	55	0	14286
35	3221	301	40	54	0	14129
36	3192	298	40	54	0	13973
37	2863	261	36	49	0	12251
38	2581	230	33	44	0	10809
39	2581	230	33	44	0	10808
40	2581	230	33	44	0	10807
41	2580	230	33	44	0	10806
42	2580	230	33	44	0	10805
43	2580	230	33	44	0	10804
44	2580	230	33	44	0	10803
45	2579	230	33	44	0	10801
46	2579	230	33	44	0	10800
47	2579	230	33	44	0	10799
48	2579	230	33	44	0	10798
49	2578	230	33	44	0	10797
50	2578	230	33	44	0	10796
51	2716	245	34	46	0	11493
52	2906	266	36	49	0	12470
53	3123	290	39	53	0	13607
54	3337	314	42	56	0	14745
55	3188	297	40	54	0	13953
56	3038	281	38	51	0	13161
57	2993	276	38	51	0	12926
58	2948	270	37	50	0	12692
59	2846	259	36	48	0	12159
60	2742	248	34	47	0	11626
61	2819	256	35	48	0	12022
62	2896	265	36	49	0	12418
63	2888	264	36	49	0	12381
64	2881	263	36	49	0	12344
65	2881	263	36	49	0	12343
66	2873	262	37	50	0	12301
67	2846	259	40	54	0	12160
68	2808	255	45	60	0	11968
69	2771	251	53	71	0	11778
70	2724	246	59	80	0	11536
71	2666	240	59	79	0	11242
72	2597	232	58	78	0	10896
73	2510	223	57	77	0	10461
74	663	215	58	78	0	2740
75	638	206	59	79	0	2632
76	610	196	60	80	0	2513
77	1410	187	60	81	0	2399
78	1330	174	60	80	0	6132
79	1228	158	58	78	0	5575
80	1116	141	55	75	0	4978
81	943	116	50	67	0	4084
82	753	89	43	57	0	3149
83	674	79	39	52	0	2789
84	487	68	34	46	0	2386

Vertical no.	q_v;p [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_h;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;r;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_traffic [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;e [kN/m <sup>2</sup> ]
85	259	49	25	34	0	1719
86	53	34	25	34	0	639
87	15	10	7	10	0	242

Vertical no.	q_h;e [kN/m <sup>2</sup> ]	k_v;bot [kN/m <sup>3</sup> ]	k_v;top [kN/m <sup>3</sup> ]	k_h [kN/m <sup>3</sup> ]	t_max [kN/m <sup>2</sup> ]	d_max [mm]
1	52	1364	1	955	0,05	7,5
2	238	34796	18430	24357	0,05	7,5
3	431	44631	36010	31242	0,05	7,5
4	604	52821	45515	36975	0,05	7,5
5	760	59941	53444	41959	0,05	7,5
6	900	66059	60106	46242	0,05	7,5
7	1011	70784	65183	49549	0,05	7,5
8	1111	74947	69619	52463	0,05	7,5
9	1207	71267	73763	49887	0,05	7,5
10	1294	11076	77429	7753	0,05	7,5
11	563	8404	39532	5883	0,05	7,5
12	596	8846	8262	6192	0,05	7,5
13	631	173064	8754	121145	0,05	7,5
14	2439	336036	9211	235225	0,05	7,5
15	2613	351096	144033	245767	0,05	7,5
16	2774	364774	311507	255342	0,05	7,5
17	2876	373281	357270	261297	0,05	7,5
18	2966	380804	365054	266562	0,05	7,5
19	3148	395767	380510	277037	0,05	7,5
20	3318	409516	394681	286661	0,05	7,5
21	3314	409234	394390	286464	0,05	7,5
22	3301	408175	393300	285723	0,05	7,5
23	3286	406970	392058	284879	0,05	7,5
24	3270	405666	390715	283966	0,05	7,5
25	3266	405355	390395	283749	0,05	7,5
26	3262	405044	390075	283531	0,05	7,5
27	3257	404637	389655	283246	0,05	7,5
28	3252	404230	389236	282961	0,05	7,5
29	3254	404379	389389	283065	0,05	7,5
30	3256	404528	389542	283169	0,05	7,5
31	3254	404344	389353	283041	0,05	7,5
32	3252	404161	389164	282912	0,05	7,5
33	3251	404130	389133	282891	0,05	7,5
34	3251	404100	389102	282870	0,05	7,5
35	3221	401717	386645	281202	0,05	7,5
36	3192	399322	384177	279526	0,05	7,5
37	2863	372177	356126	260524	0,05	7,5
38	2581	348184	331222	243729	0,05	7,5
39	2581	348165	331202	243715	0,05	7,5
40	2581	348145	331181	243702	0,05	7,5
41	2580	348126	331161	243688	0,05	7,5
42	2580	348106	331141	243674	0,05	7,5
43	2580	348086	331120	243661	0,05	7,5
44	2580	348067	331100	243647	0,05	7,5
45	2579	348047	331080	243633	0,05	7,5
46	2579	348028	331059	243619	0,05	7,5
47	2579	348008	331039	243606	0,05	7,5
48	2579	347989	331019	243592	0,05	7,5
49	2578	347969	330998	243578	0,05	7,5
50	2578	347950	330978	243565	0,05	7,5
51	2716	359712	343203	251798	0,05	7,5
52	2906	375716	359791	263001	0,05	7,5
53	3123	393685	378361	275579	0,05	7,5
54	3337	411024	396233	287717	0,05	7,5
55	3188	399015	383860	279311	0,05	7,5
56	3038	386712	371161	270698	0,05	7,5
57	2993	383010	367335	268107	0,05	7,5
58	2948	379280	363478	265496	0,05	7,5
59	2846	370688	354584	259481	0,05	7,5

Vertical no.	q <sub>h;e</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	k <sub>v;bot</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	k <sub>v;top</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	k <sub>h</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	t <sub>max</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	d <sub>max</sub> [mm]
60	2742	361935	345509	253354	0,05	7,5
61	2819	368453	352269	257917	0,05	7,5
62	2896	374881	358926	262417	0,05	7,5
63	2888	374285	358310	262000	0,05	7,5
64	2881	373688	357692	261582	0,05	7,5
65	2881	373662	357665	261564	0,05	7,5
66	2873	372998	356977	261098	0,05	7,5
67	2846	370709	354606	259496	0,05	7,5
68	2808	367564	351348	257295	0,05	7,5
69	2771	364453	348122	255117	0,05	7,5
70	2724	360456	343975	252319	0,05	7,5
71	2666	355543	330362	248880	0,05	7,5
72	2597	349679	171239	244775	0,05	7,5
73	2510	342210	18867	239547	0,05	7,5
74	663	215209	9186	150646	0,05	7,5
75	638	17661	8844	12363	0,05	7,5
76	610	9050	31750	6335	0,05	7,5
77	1410	8700	82230	6090	0,05	7,5
78	1330	63015	78972	44110	0,05	7,5
79	1228	79771	74723	55840	0,05	7,5
80	1116	75249	69939	52674	0,05	7,5
81	943	68025	62225	47618	0,05	7,5
82	753	59724	53206	41807	0,05	7,5
83	674	56283	49399	39398	0,05	7,5
84	579	52212	44826	36548	0,05	7,5
85	412	44796	35949	31357	0,05	7,5
86	53	31832	843	22282	0,05	7,5
87	104	12419	5	8693	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q <sub>v;n;max</sub> = 314 kN/m <sup>2</sup>
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q <sub>traffic;max</sub> = 85 kN/m <sup>2</sup>
Maximum reduced soil stress	:	q <sub>v;r;n;max</sub> = 85 kN/m <sup>2</sup>
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k <sub>v;max</sub> = 411024 kN/m <sup>3</sup>
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k <sub>v;max</sub> = 822049 kN/m <sup>3</sup>

#### 5.4 Soil Mechanical Parameters Pipe 4: pipe nr. 4

The list with data and issues is shown hereafter:

Note: safety factors not applied.

q <sub>v;p</sub>	Passive soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>v;n</sub>	Neutral soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>h;n</sub>	Neutral horizontal soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>v;r;n</sub>	Reduced neutral soil stress	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>traffic</sub>	Traffic load	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>v;e</sub>	Vertical bearing capacity	kN/m <sup>2</sup>
q <sub>h;e</sub>	Horizontal bearing capacity	kN/m <sup>2</sup>
k <sub>v;bot</sub>	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m <sup>3</sup>
k <sub>v;top</sub>	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m <sup>3</sup>
k <sub>h</sub>	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m <sup>3</sup>
t <sub>max</sub>	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m <sup>2</sup>
d <sub>max</sub>	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	q <sub>v;p</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>v;n</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>h;n</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>v;r;n</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>traffic</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>v;e</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
1	24	14	10	14	0	101
2	128	27	20	27	0	964
3	325	48	27	36	0	1710
4	602	69	36	49	0	2448
5	760	90	43	58	0	3173
6	900	109	49	66	0	3855
7	1011	125	52	70	0	4418

Vertical no.	q_v;p [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_h;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;r;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_traffic [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;e [kN/m <sup>2</sup> ]
8	1111	140	55	74	0	4941
9	1207	155	57	76	0	5455
10	1294	168	58	78	0	2495
11	563	179	58	78	0	2310
12	596	191	57	77	0	2449
13	631	204	57	77	0	2604
14	2439	215	56	76	0	10115
15	2613	234	58	79	0	10979
16	2774	251	61	82	0	11797
17	2876	263	63	85	0	12318
18	2966	273	59	80	0	12787
19	3148	293	52	70	0	13741
20	3318	312	48	64	0	14644
21	3314	312	44	59	0	14625
22	3301	310	42	56	0	14555
23	3286	309	41	56	0	14475
24	3270	307	41	55	0	14389
25	3266	306	41	55	0	14368
26	3262	306	41	55	0	14348
27	3257	305	41	55	0	14321
28	3252	305	41	55	0	14294
29	3254	305	41	55	0	14304
30	3256	305	41	55	0	14314
31	3254	305	41	55	0	14302
32	3252	305	41	55	0	14290
33	3251	305	41	55	0	14288
34	3251	305	41	55	0	14286
35	3221	301	40	54	0	14129
36	3192	298	40	54	0	13973
37	2863	261	36	49	0	12251
38	2581	230	33	44	0	10809
39	2581	230	33	44	0	10808
40	2581	230	33	44	0	10807
41	2580	230	33	44	0	10806
42	2580	230	33	44	0	10805
43	2580	230	33	44	0	10804
44	2580	230	33	44	0	10803
45	2579	230	33	44	0	10801
46	2579	230	33	44	0	10800
47	2579	230	33	44	0	10799
48	2579	230	33	44	0	10798
49	2578	230	33	44	0	10797
50	2578	230	33	44	0	10796
51	2716	245	34	46	0	11493
52	2906	266	36	49	0	12470
53	3123	290	39	53	0	13607
54	3337	314	42	56	0	14745
55	3188	297	40	54	0	13953
56	3038	281	38	51	0	13161
57	2993	276	38	51	0	12926
58	2948	270	37	50	0	12692
59	2846	259	36	48	0	12159
60	2742	248	34	47	0	11626
61	2819	256	35	48	0	12022
62	2896	265	36	49	0	12418
63	2888	264	36	49	0	12381
64	2881	263	36	49	0	12344
65	2881	263	36	49	0	12343
66	2873	262	37	50	0	12301
67	2846	259	40	54	0	12160
68	2808	255	45	60	0	11968
69	2771	251	53	71	0	11778
70	2724	246	59	80	0	11536
71	2666	240	59	79	0	11242
72	2597	232	58	78	0	10896

Vertical no.	q_v;p [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_h;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;r;n [kN/m <sup>2</sup> ]	q_traffic [kN/m <sup>2</sup> ]	q_v;e [kN/m <sup>2</sup> ]
73	2510	223	57	77	0	10461
74	663	215	58	78	0	2740
75	638	206	59	79	0	2632
76	610	196	60	80	0	2513
77	1410	187	60	81	0	2399
78	1330	174	60	80	0	6132
79	1228	158	58	78	0	5575
80	1116	141	55	75	0	4978
81	943	116	50	67	0	4084
82	753	89	43	57	0	3149
83	674	79	39	52	0	2789
84	487	68	34	46	0	2386
85	259	49	25	34	0	1719
86	53	34	25	34	0	639
87	15	10	7	10	0	242

Vertical no.	q_h;e [kN/m <sup>2</sup> ]	k_v;bot [kN/m <sup>3</sup> ]	k_v;top [kN/m <sup>3</sup> ]	k_h [kN/m <sup>3</sup> ]	t_max [kN/m <sup>2</sup> ]	d_max [mm]
1	52	1364	1	955	0,05	7,5
2	238	34796	18430	24357	0,05	7,5
3	431	44631	36010	31242	0,05	7,5
4	604	52821	45515	36975	0,05	7,5
5	760	59941	53444	41959	0,05	7,5
6	900	66059	60106	46242	0,05	7,5
7	1011	70784	65183	49549	0,05	7,5
8	1111	74947	69619	52463	0,05	7,5
9	1207	71267	73763	49887	0,05	7,5
10	1294	11076	77429	7753	0,05	7,5
11	563	8404	39532	5883	0,05	7,5
12	596	8846	8262	6192	0,05	7,5
13	631	173064	8754	121145	0,05	7,5
14	2439	336036	9211	235225	0,05	7,5
15	2613	351096	144033	245767	0,05	7,5
16	2774	364774	311507	255342	0,05	7,5
17	2876	373281	357270	261297	0,05	7,5
18	2966	380804	365054	266562	0,05	7,5
19	3148	395767	380510	277037	0,05	7,5
20	3318	409516	394681	286661	0,05	7,5
21	3314	409234	394390	286464	0,05	7,5
22	3301	408175	393300	285723	0,05	7,5
23	3286	406970	392058	284879	0,05	7,5
24	3270	405666	390715	283966	0,05	7,5
25	3266	405355	390395	283749	0,05	7,5
26	3262	405044	390075	283531	0,05	7,5
27	3257	404637	389655	283246	0,05	7,5
28	3252	404230	389236	282961	0,05	7,5
29	3254	404379	389389	283065	0,05	7,5
30	3256	404528	389542	283169	0,05	7,5
31	3254	404344	389353	283041	0,05	7,5
32	3252	404161	389164	282912	0,05	7,5
33	3251	404130	389133	282891	0,05	7,5
34	3251	404100	389102	282870	0,05	7,5
35	3221	401717	386645	281202	0,05	7,5
36	3192	399322	384177	279526	0,05	7,5
37	2863	372177	356126	260524	0,05	7,5
38	2581	348184	331222	243729	0,05	7,5
39	2581	348165	331202	243715	0,05	7,5
40	2581	348145	331181	243702	0,05	7,5
41	2580	348126	331161	243688	0,05	7,5
42	2580	348106	331141	243674	0,05	7,5
43	2580	348086	331120	243661	0,05	7,5
44	2580	348067	331100	243647	0,05	7,5
45	2579	348047	331080	243633	0,05	7,5
46	2579	348028	331059	243619	0,05	7,5
47	2579	348008	331039	243606	0,05	7,5



Vertical no.	q <sub>h;e</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	k <sub>v;bot</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	k <sub>v;top</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	k <sub>h</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	t <sub>max</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	d <sub>max</sub> [mm]
48	2579	347989	331019	243592	0,05	7,5
49	2578	347969	330998	243578	0,05	7,5
50	2578	347950	330978	243565	0,05	7,5
51	2716	359712	343203	251798	0,05	7,5
52	2906	375716	359791	263001	0,05	7,5
53	3123	393685	378361	275579	0,05	7,5
54	3337	411024	396233	287717	0,05	7,5
55	3188	399015	383860	279311	0,05	7,5
56	3038	386712	371161	270698	0,05	7,5
57	2993	383010	367335	268107	0,05	7,5
58	2948	379280	363478	265496	0,05	7,5
59	2846	370688	354584	259481	0,05	7,5
60	2742	361935	345509	253354	0,05	7,5
61	2819	368453	352269	257917	0,05	7,5
62	2896	374881	358926	262417	0,05	7,5
63	2888	374285	358310	262000	0,05	7,5
64	2881	373688	357692	261582	0,05	7,5
65	2881	373662	357665	261564	0,05	7,5
66	2873	372998	356977	261098	0,05	7,5
67	2846	370709	354606	259496	0,05	7,5
68	2808	367564	351348	257295	0,05	7,5
69	2771	364453	348122	255117	0,05	7,5
70	2724	360456	343975	252319	0,05	7,5
71	2666	355543	330362	248880	0,05	7,5
72	2597	349679	171239	244775	0,05	7,5
73	2510	342210	18867	239547	0,05	7,5
74	663	215209	9186	150646	0,05	7,5
75	638	17661	8844	12363	0,05	7,5
76	610	9050	31750	6335	0,05	7,5
77	1410	8700	82230	6090	0,05	7,5
78	1330	63015	78972	44110	0,05	7,5
79	1228	79771	74723	55840	0,05	7,5
80	1116	75249	69939	52674	0,05	7,5
81	943	68025	62225	47618	0,05	7,5
82	753	59724	53206	41807	0,05	7,5
83	674	56283	49399	39398	0,05	7,5
84	579	52212	44826	36548	0,05	7,5
85	412	44796	35949	31357	0,05	7,5
86	53	31832	843	22282	0,05	7,5
87	104	12419	5	8693	0,05	7,5

Maximum soil stress	: q <sub>v;n;max</sub> = 314 kN/m <sup>2</sup>
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	: q <sub>traffic;max</sub> = 85 kN/m <sup>2</sup>
Maximum reduced soil stress	: q <sub>v;r;n;max</sub> = 85 kN/m <sup>2</sup>
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	: k <sub>v;max</sub> = 411024 kN/m <sup>3</sup>
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	: k <sub>v;max</sub> = 822049 kN/m <sup>3</sup>

### 5.5 Young's Modulus per Layer per Vertical

Layer number	Material name	Type of determination
5	Klei, schoon, matig	Calculated with E100
4	Veen, slap	Calculated with E100
3	Zand, schoon, matig	Calculated with E100
2	Klei, zwak zandig, matig	Calculated with E100
1	Zand, schoon, vast	Calculated with E100

Layer number	Vertical 1 (L=5 m)		Vertical 2 (L=10 m)		Vertical 3 (L=15 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,029	0,000	0,049	0,000	0,088
4	0,003	0,043	0,005	0,043	0,009	0,045

Layer number	Vertical 1 (L=5 m)		Vertical 2 (L=10 m)		Vertical 3 (L=15 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	11,515	39,085	11,518	39,085	11,741	39,152
2	4,581	5,259	4,581	5,260	4,593	5,272
1	127,830	153,194	127,832	153,196	128,014	153,348

Layer number	Vertical 4 (L=20 m)		Vertical 5 (L=25 m)		Vertical 6 (L=30 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,123	0,000	0,178	0,000	0,229
4	0,012	0,046	0,018	0,049	0,023	0,052
3	11,959	39,218	12,450	39,370	12,922	39,522
2	4,606	5,284	4,634	5,311	4,663	5,339
1	128,196	153,500	128,615	153,850	129,034	154,200

Layer number	Vertical 7 (L=35 m)		Vertical 8 (L=40 m)		Vertical 9 (L=45 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,218	0,000	0,207	0,000	0,221
4	0,022	0,050	0,021	0,048	0,022	0,048
3	12,620	39,424	12,311	39,326	12,320	39,329
2	4,645	5,321	4,626	5,303	4,627	5,304
1	128,765	153,975	128,495	153,750	128,503	153,756

Layer number	Vertical 10 (L=50 m)		Vertical 11 (L=55 m)		Vertical 12 (L=60 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,234	0,000	0,259	0,000	0,409
4	0,023	0,048	0,026	0,049	0,041	0,055
3	12,329	39,332	12,495	39,384	13,342	39,661
2	4,627	5,304	4,637	5,314	4,689	5,364
1	128,511	153,763	128,655	153,884	129,418	154,522

Layer number	Vertical 13 (L=65 m)		Vertical 14 (L=70 m)		Vertical 15 (L=75 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,619	0,000	0,731	0,000	0,925
4	0,062	0,065	0,073	0,074	0,092	0,093
3	14,805	40,177	16,135	40,686	18,649	41,747
2	4,787	5,459	4,885	5,554	5,090	5,753
1	130,842	155,716	132,250	156,902	135,193	159,390

Layer number	Vertical 16 (L=80 m)		Vertical 17 (L=85 m)		Vertical 18 (L=90 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	1,109	0,000	1,191	0,000	1,272
4	0,111	0,112	0,119	0,120	0,127	0,128
3	20,860	42,780	21,808	43,250	22,716	43,715
2	5,293	5,950	5,386	6,040	5,479	6,131
1	138,069	161,837	139,381	162,957	140,681	164,070

Layer number	Vertical 19 (L=95 m)		Vertical 20 (L=100 m)		Vertical 21 (L=105 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	1,552	0,000	1,818	0,000	1,776
4	0,155	0,156	0,182	0,183	0,178	0,178
3	25,688	45,331	28,351	46,891	27,935	46,641
2	5,807	6,450	6,130	6,764	6,078	6,714
1	145,210	167,970	149,603	171,782	148,897	171,168

Layer number	Vertical 22 (L=110 m)		Vertical 23 (L=115 m)		Vertical 24 (L=120 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	1,733	0,000	1,702	0,000	1,671
4	0,173	0,174	0,170	0,171	0,167	0,168
3	27,514	46,390	27,211	46,211	26,904	46,031

Layer number	Vertical 22 (L=110 m)		Vertical 23 (L=115 m)		Vertical 24 (L=120 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
2	6,026	6,663	5,988	6,626	5,951	6,590
1	148,189	170,552	147,685	170,114	147,178	169,675

Layer number	Vertical 25 (L=125 m)		Vertical 26 (L=130 m)		Vertical 27 (L=135 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	1,664	0,000	1,656	0,000	1,647
4	0,166	0,167	0,166	0,167	0,165	0,166
3	26,831	45,988	26,757	45,945	26,660	45,889
2	5,942	6,581	5,933	6,573	5,922	6,561
1	147,058	169,570	146,937	169,465	146,779	169,328

Layer number	Vertical 28 (L=140 m)		Vertical 29 (L=145 m)		Vertical 30 (L=150 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	1,637	0,000	1,640	0,000	1,644
4	0,164	0,165	0,164	0,165	0,164	0,165
3	26,564	45,833	26,599	45,853	26,634	45,874
2	5,910	6,550	5,914	6,554	5,919	6,558
1	146,621	169,191	146,678	169,241	146,736	169,291

Layer number	Vertical 31 (L=155 m)		Vertical 32 (L=160 m)		Vertical 33 (L=165 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	1,640	0,000	1,635	0,000	1,634
4	0,164	0,165	0,164	0,164	0,163	0,164
3	26,591	45,848	26,547	45,823	26,540	45,819
2	5,913	6,553	5,908	6,548	5,907	6,547
1	146,665	169,229	146,594	169,168	146,582	169,157

Layer number	Vertical 34 (L=170 m)		Vertical 35 (L=175 m)		Vertical 36 (L=180 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	1,634	0,000	1,577	0,000	1,520
4	0,163	0,164	0,158	0,159	0,152	0,153
3	26,533	45,815	25,959	45,485	25,372	45,153
2	5,907	6,546	5,839	6,480	5,771	6,414
1	146,570	169,147	145,643	168,344	144,709	167,538

Layer number	Vertical 37 (L=185 m)		Vertical 38 (L=190 m)		Vertical 39 (L=195 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,847	0,000	0,132	0,000	0,131
4	0,085	0,086	0,013	0,015	0,013	0,015
3	17,677	41,322	5,935	37,818	5,917	37,815
2	5,007	5,672	4,346	5,033	4,345	5,032
1	134,013	158,390	124,354	150,306	124,347	150,300

Layer number	Vertical 40 (L=200 m)		Vertical 41 (L=205 m)		Vertical 42 (L=210 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,130	0,000	0,129	0,000	0,128
4	0,013	0,015	0,013	0,015	0,013	0,015
3	5,898	37,813	5,879	37,810	5,861	37,807
2	4,345	5,032	4,344	5,031	4,343	5,031
1	124,339	150,293	124,331	150,287	124,323	150,280

Layer number	Vertical 43 (L=215 m)		Vertical 44 (L=220 m)		Vertical 45 (L=225 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,127	0,000	0,126	0,000	0,125
4	0,013	0,015	0,013	0,015	0,013	0,014
3	5,842	37,804	5,823	37,801	5,804	37,798
2	4,343	5,030	4,342	5,029	4,342	5,029

Layer number	Vertical 43 (L=215 m)		Vertical 44 (L=220 m)		Vertical 45 (L=225 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
1	124,315	150,274	124,307	150,267	124,299	150,260

Layer number	Vertical 46 (L=230 m)		Vertical 47 (L=235 m)		Vertical 48 (L=240 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,124	0,000	0,124	0,000	0,123
4	0,012	0,014	0,012	0,014	0,012	0,014
3	5,785	37,795	5,766	37,792	5,747	37,789
2	4,341	5,028	4,341	5,028	4,340	5,027
1	124,291	150,254	124,283	150,247	124,275	150,241

Layer number	Vertical 49 (L=245 m)		Vertical 50 (L=250 m)		Vertical 51 (L=255 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,122	0,000	0,121	0,000	0,505
4	0,012	0,014	0,012	0,014	0,050	0,052
3	5,728	37,786	5,709	37,783	12,908	39,517
2	4,340	5,027	4,339	5,026	4,662	5,338
1	124,267	150,234	124,259	150,227	129,021	154,190

Layer number	Vertical 52 (L=260 m)		Vertical 53 (L=265 m)		Vertical 54 (L=270 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,937	0,000	1,383	0,000	1,796
4	0,094	0,095	0,138	0,139	0,180	0,181
3	18,832	41,829	23,947	44,367	28,147	46,768
2	5,106	5,768	5,611	6,258	6,104	6,739
1	135,421	159,583	142,506	165,638	149,256	171,479

Layer number	Vertical 55 (L=275 m)		Vertical 56 (L=280 m)		Vertical 57 (L=285 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	1,511	0,000	1,213	0,000	1,121
4	0,151	0,152	0,121	0,122	0,112	0,113
3	25,296	45,110	22,081	43,389	21,035	42,866
2	5,762	6,405	5,414	6,067	5,310	5,966
1	144,590	167,434	139,768	163,288	138,309	162,041

Layer number	Vertical 58 (L=290 m)		Vertical 59 (L=295 m)		Vertical 60 (L=300 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	1,028	0,000	0,806	0,000	0,568
4	0,103	0,104	0,081	0,082	0,057	0,058
3	19,934	42,337	17,171	41,108	13,869	39,841
2	5,206	5,865	4,966	5,632	4,723	5,397
1	136,834	160,784	133,419	157,888	129,915	154,939

Layer number	Vertical 61 (L=305 m)		Vertical 62 (L=310 m)		Vertical 63 (L=315 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,746	0,000	0,915	0,000	0,900
4	0,075	0,076	0,092	0,093	0,090	0,091
3	16,386	40,786	18,565	41,709	18,373	41,624
2	4,904	5,572	5,083	5,745	5,066	5,729
1	132,527	157,135	135,089	159,302	134,852	159,101

Layer number	Vertical 64 (L=320 m)		Vertical 65 (L=325 m)		Vertical 66 (L=330 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,884	0,000	0,884	0,000	0,885
4	0,088	0,090	0,088	0,090	0,088	0,090
3	18,178	41,539	18,183	41,541	18,189	41,543
2	5,050	5,713	5,050	5,714	5,050	5,714
1	134,615	158,900	134,621	158,905	134,627	158,910

Layer number	Vertical 67 (L=335 m)		Vertical 68 (L=340 m)		Vertical 69 (L=345 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,865	0,000	0,845	0,000	0,848
4	0,086	0,088	0,084	0,086	0,085	0,086
3	17,936	41,433	17,680	41,323	17,721	41,341
2	5,029	5,693	5,008	5,673	5,011	5,676
1	134,321	158,651	134,015	158,392	134,065	158,434

Layer number	Vertical 70 (L=350 m)		Vertical 71 (L=355 m)		Vertical 72 (L=360 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,851	0,000	0,854	0,000	0,857
4	0,085	0,086	0,085	0,087	0,086	0,087
3	17,763	41,359	17,805	41,376	17,846	41,394
2	5,015	5,679	5,018	5,683	5,021	5,686
1	134,115	158,476	134,164	158,518	134,214	158,560

Layer number	Vertical 73 (L=365 m)		Vertical 74 (L=370 m)		Vertical 75 (L=375 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,846	0,000	0,834	0,000	0,816
4	0,085	0,086	0,083	0,085	0,082	0,083
3	17,699	41,331	17,550	41,267	17,318	41,170
2	5,009	5,674	4,997	5,662	4,978	5,644
1	134,038	158,412	133,862	158,263	133,590	158,033

Layer number	Vertical 76 (L=380 m)		Vertical 77 (L=385 m)		Vertical 78 (L=390 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,798	0,000	0,811	0,000	0,823
4	0,080	0,081	0,081	0,083	0,082	0,084
3	17,084	41,071	17,250	41,141	17,414	41,210
2	4,959	5,625	4,972	5,638	4,986	5,651
1	133,318	157,803	133,510	157,965	133,702	158,127

Layer number	Vertical 79 (L=395 m)		Vertical 80 (L=400 m)		Vertical 81 (L=405 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,794	0,000	0,764	0,000	0,580
4	0,079	0,081	0,076	0,078	0,058	0,060
3	17,031	41,049	16,640	40,889	14,072	39,913
2	4,955	5,621	4,924	5,591	4,737	5,411
1	133,257	157,751	132,812	157,375	130,112	155,103

Layer number	Vertical 82 (L=410 m)		Vertical 83 (L=415 m)		Vertical 84 (L=420 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,379	0,000	0,582	0,000	0,768
4	0,038	0,040	0,058	0,060	0,077	0,078
3	10,915	38,912	14,105	39,924	16,696	40,912
2	4,548	5,228	4,739	5,413	4,928	5,596
1	127,355	152,798	130,144	155,131	132,875	157,429

Layer number	Vertical 85 (L=425 m)		Vertical 86 (L=430 m)		Vertical 87 (L=435 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	0,803	0,000	0,838	0,000	0,841
4	0,080	0,082	0,084	0,085	0,084	0,086
3	17,158	41,102	17,609	41,292	17,645	41,308
2	4,965	5,631	5,002	5,667	5,005	5,670
1	133,404	157,876	133,931	158,321	133,974	158,357

## 6 Data for Stress Analysis

### 6.1 General Data

Number of pipes in bundle	:	Npipes = 4 [-]
Pipeline diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m <sup>3</sup>
Pipeline diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m <sup>3</sup>
Pipeline diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m <sup>3</sup>
Pipeline diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m <sup>3</sup>
Equivalent pipeline diameter	:	Do = 831,29 mm
Equivalent wall thickness	:	t = 41,62 mm
Equivalent unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m <sup>3</sup>
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 215476 kN/m <sup>3</sup>
Unit weight drilling fluid pullback operation	:	gamma_b = 11,10 kN/m <sup>3</sup>
Bending radius on rollers	:	Rrol = 500,000 m
Friction coefficient pipe/rollers	:	f1 = 0,10
Friction between pipe and drilling fluid	:	f2 = 0,000050 N/mm <sup>2</sup>
Friction coefficient pipe / soil	:	f3 = 0,20

### 6.2 Buoyancy Control

The friction between soil and pipe is partially caused by buoyancy of the pipeline in the drilling fluid. Uplift forces resulting from buoyancy can be neutralized by filling the pipeline. The optimal volume of fluid placed in the pipe provides the most advantageous distribution of buoyant forces.

Buoyancy of the pipeline when filled with fluid for 0%

Uplift forces	:	353	[kg/m]
Weight of pipeline (including filling)	:	100	[kg/m]
Result	:	252	[kg/m] (Pipeline moves upwards)

### 6.3 Calculation Pulling Force

During the pullback operation the pipe experiences friction which is based on:

- friction between pipe and pipe-roller (f1 = 0,10 )
- friction between pipe and drilling fluid (f2 = 0,000050 [N/mm<sup>2</sup>] )
- friction between pipe and soil (f3 = 0,20 )

Due to the friction a pulling force is induced in the pipeline.  
The pulling direction of the product pipe is from left to right.

This calculation takes into account that the length of the pipe on the rollers decreases while pulling back the pipeline. During the pull back operation the bore hole is supposed to be stable.

Characteristic points	Length pipe in bore hole (m)	Characteristic value pulling force (kN)
T1	0	44
T2	18	53
T3	116	127

---

Characteristic points	Length pipe in bore hole (m)	Characteristic value pulling force (kN)
T4	327	259
T5	425	342
T6	444	352

The calculated values for the pulling force are characteristic values (without safety factor). According to article E.1.2.1 of NEN 3650-1:2012 it is recommended to use a total factor for stochastic variation and model uncertainty ( $\gamma$ ) of at least 1.4 for the stress analysis. In the pipe stress analysis (next chapter), a factor of 1,80 is used and a load factor of 1,00.

## 7 Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1

### 7.1 Material Data of Pipe 1: pipe nr. 1

The list with data and issues is shown hereafter:

Material pipeline	:	Polyethene PE100
Outer diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Design pressure	:	pd = 0,00 bar
Test pressure	:	pt = 0,00 bar
Temperature variation	:	dt = 0,00 deg Celcius
Length pipeline	:	L = 445 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm <sup>2</sup>
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm <sup>2</sup>
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm <sup>2</sup>
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm <sup>2</sup>
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m <sup>3</sup>
Bedding angle	:	beta = 30 degrees
Load angle	:	alpha = 30 degrees
Moment coefficient soil top (indirect)	:	kt' = 0,078
Moment coefficient soil bottom (indirect)	:	kb' = 0,179
Moment coefficient soil top (direct)	:	kt = 0,257
Moment coefficient soil bottom (direct)	:	kb = 0,257
Deflection coefficient (indirect)	:	ky' = 0,071
Deflection coefficient (direct)	:	ky = 0,143
Maximal reduced vertical soil load (without safety factor)	:	q_v;r;n;max = 85 kN/m <sup>2</sup>
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m <sup>2</sup>
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 411024 kN/m <sup>3</sup>
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 238,620 m
Load factor on installation	:	f_install = 1,00
Load factor on reduced neutral soil stress q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Load factor on design pressure	:	f_pd = 1,00
Load factor on design pressure (combination)	:	f_pd;comb = 1,00
Load factor on test pressure	:	f_pt = 1,00
Load factor on temperature	:	f_temp = 1,10
Load factor on traffic load	:	f_v = 1,35
Contingency factor on bending radius	:	f_R = 1,10
Contingency factor on modulus of subgrade reaction	:	f_kv = 2,00
Contingency factor on bending moment	:	f_k = 1,40
Total factor on pulling force for stoch. varia. and model uncertainty	:	f = 1,80
Linear settlement coefficient averaged between t1 and t2	:	alpha_g = 0,0001600 mm/mmK

### 7.2 Results Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1

In the calculation 5 load combinations are considered:

- Load combination 1A: start pull-back operation
- Load combination 1B: end of pull-back operation
- Load combination 2: application internal pressure
- Load combination 3: pipeline in operation, no inner pressure
- Load combination 4: pipeline in operation, pressure applied

The wall thickness is 28,7 mm. The calculation hereafter will prove that the pipeline wall thickness is sufficient. The calculations are in accordance with NEN 3650 series.

#### 7.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

$$\sigma_b = M_b/W_b = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot W_b) = 0,43 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 0,76 \text{ N/mm}^2$$



Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	1,04	N/mm <sup>2</sup>
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

### 7.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb) = 0,90 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A = 6,13 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 6,72 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

Load  $q_r$  on pipeline due to reaction of soil in bends (according to NEN 3650-1 annex 5 D3.3):

$$q_r = k_v \cdot y = (0.322 \cdot \Lambda^2 \cdot E \cdot I) / (D_o \cdot R / f_R)$$

$$\Lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25} = 4,0E-3 \text{ 1/mm}$$

$$q_r = 0,0194 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 1,14 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 0,74 \text{ N/mm}^2$$

### 7.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

$$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2)) = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py} = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot p_t \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2)) = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

### 7.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)

Axial stress:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb) = 0,32 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 0,21 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 0,68 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 10,76 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 7,44 \text{ N/mm}^2$$

### 7.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)

Axial stress:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb) = 0,32 \text{ N/mm}^2$$

Due to internal pressure :

$$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2)) = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
Maximum axial stress $\text{Sigma}_{a,max}$	=	0,21	N/mm <sup>2</sup>
Tangential stress:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,68	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	10,76	N/mm <sup>2</sup>
Rerounding factor $F_{rr}$	=	1,000	
Rerounding factor $F'_{rr}$	=	1,000	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximum tangential stress $\text{Sigma}_{t,max}$	=	7,44	N/mm <sup>2</sup>

### 7.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 1: pipe nr. 1

Load combination 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm <sup>2</sup> ]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
$\text{Sigma}_{ptest}$	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
$\text{Sigma}_{py}$	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
$\text{Sigma}_{axial}$	10,00 (short)	1,04	6,72	-	-	-
$\text{Sigma}_{axial}$	8,00 (long)	-	-	-	0,21	0,21
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,74	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	7,44	7,44

Stresses in pipeline [N/mm<sup>2</sup>]

The deflection of the pipeline is 15,1 mm (4,78% x Do). The maximum allowable deflection of the pipeline is 25,2 mm (8,00% x S x Do). The deflection is allowable.

For piggability the maximum allowable deflection of the pipeline is 15,8 mm (5,00% x Do). The deflection is allowable.

### 7.4 Check for Implosion of Pipe 1: pipe nr. 1

During the pullback operation the drilling fluid gives an external pressure. The highest minimum required drilling fluid pressure during the pullback operation is 328 kN/m<sup>2</sup>, this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m<sup>2</sup>.

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 248 kN/m<sup>2</sup>, this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m<sup>2</sup>.

## 8 Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2

### 8.1 Material Data of Pipe 2: pipe nr. 2

The list with data and issues is shown hereafter:

Material pipeline	:	Polyethene PE100
Outer diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Design pressure	:	pd = 0,00 bar
Test pressure	:	pt = 0,00 bar
Temperature variation	:	dt = 0,00 deg Celcius
Length pipeline	:	L = 445 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm <sup>2</sup>
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm <sup>2</sup>
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm <sup>2</sup>
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm <sup>2</sup>
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m <sup>3</sup>
Bedding angle	:	beta = 30 degrees
Load angle	:	alpha = 30 degrees
Moment coefficient soil top (indirect)	:	kt' = 0,078
Moment coefficient soil bottom (indirect)	:	kb' = 0,179
Moment coefficient soil top (direct)	:	kt = 0,257
Moment coefficient soil bottom (direct)	:	kb = 0,257
Deflection coefficient (indirect)	:	ky' = 0,071
Deflection coefficient (direct)	:	ky = 0,143
Maximal reduced vertical soil load (without safety factor)	:	q_v;r;n;max = 85 kN/m <sup>2</sup>
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m <sup>2</sup>
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 411024 kN/m <sup>3</sup>
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 238,620 m
Load factor on installation	:	f_install = 1,00
Load factor on reduced neutral soil stress q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Load factor on design pressure	:	f_pd = 1,00
Load factor on design pressure (combination)	:	f_pd;comb = 1,00
Load factor on test pressure	:	f_pt = 1,00
Load factor on temperature	:	f_temp = 1,10
Load factor on traffic load	:	f_v = 1,35
Contingency factor on bending radius	:	f_R = 1,10
Contingency factor on modulus of subgrade reaction	:	f_kv = 2,00
Contingency factor on bending moment	:	f_k = 1,40
Total factor on pulling force for stoch. varia. and model uncertainty	:	f = 1,80
Linear settlement coefficient averaged between t1 and t2	:	alpha_g = 0,0001600 mm/mmK

### 8.2 Results Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2

In the calculation 5 load combinations are considered:

- Load combination 1A: start pull-back operation
- Load combination 1B: end of pull-back operation
- Load combination 2: application internal pressure
- Load combination 3: pipeline in operation, no inner pressure
- Load combination 4: pipeline in operation, pressure applied

The wall thickness is 28,7 mm. The calculation hereafter will prove that the pipeline wall thickness is sufficient. The calculations are in accordance with NEN 3650 series.

#### 8.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

$$\begin{aligned} \text{Sigma}_b &= Mb/Wb = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot Wb) &= & 0,43 & \text{N/mm}^2 \\ \text{Sigma}_t &= f * f_{install} * T1/A = f * f_{install} (L_{rol} * Q * f1)/A &= & 0,76 & \text{N/mm}^2 \end{aligned}$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	1,04	N/mm <sup>2</sup>
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

### 8.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,90	N/mm <sup>2</sup>
---	---	------	-------------------

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	6,13	N/mm <sup>2</sup>
--	---	------	-------------------

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	6,72	N/mm <sup>2</sup>
---------------------------------------	---	------	-------------------

Tangential stress:

Load  $q_r$  on pipeline due to reaction of soil in bends (according to NEN 3650-1 annex 5 D3.3):

$$q_r = k_v \cdot y = (0.322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I) / (D_o \cdot R / f_R)$$

$\lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	4,0E-3	1/mm
---	---	--------	------

$q_r$	=	0,0194	N/mm <sup>2</sup>
-------	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (rg/Ww) \cdot D_o$	=	1,14	N/mm <sup>2</sup>
--	---	------	-------------------

Maximum tangential stress $\Sigma_{t,max}$	=	0,74	N/mm <sup>2</sup>
--	---	------	-------------------

### 8.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2))$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
--	---	------	-------------------

$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py}$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
---------------------------------------	---	------	-------------------

$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot p_t \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2))$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
---	---	------	-------------------

### 8.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)

Axial stress:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,32	N/mm <sup>2</sup>
---	---	------	-------------------

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	0,21	N/mm <sup>2</sup>
---------------------------------------	---	------	-------------------

Tangential stress:

$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (rg/Ww) \cdot D_o$	=	0,68	N/mm <sup>2</sup>
--	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (rg/Ww) \cdot D_o$	=	10,76	N/mm <sup>2</sup>
---	---	-------	-------------------

Maximum tangential stress $\Sigma_{t,max}$	=	7,44	N/mm <sup>2</sup>
--	---	------	-------------------

### 8.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)

Axial stress:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,32	N/mm <sup>2</sup>
---	---	------	-------------------

Due to internal pressure :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2))$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
--	---	------	-------------------

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
Maximum axial stress $\text{Sigma}_{a,max}$	=	0,21	N/mm <sup>2</sup>
Tangential stress:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,68	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	10,76	N/mm <sup>2</sup>
Rerounding factor $F_{rr}$	=	1,000	
Rerounding factor $F'_{rr}$	=	1,000	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximum tangential stress $\text{Sigma}_{t,max}$	=	7,44	N/mm <sup>2</sup>

### 8.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 2: pipe nr. 2

Load combination 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm <sup>2</sup> ]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
$\text{Sigma}_{ptest}$	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
$\text{Sigma}_{py}$	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
$\text{Sigma}_{axial}$	10,00 (short)	1,04	6,72	-	-	-
$\text{Sigma}_{axial}$	8,00 (long)	-	-	-	0,21	0,21
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,74	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	7,44	7,44

Stresses in pipeline [N/mm<sup>2</sup>]

The deflection of the pipeline is 15,1 mm (4,78% x Do). The maximum allowable deflection of the pipeline is 25,2 mm (8,00% x S x Do). The deflection is allowable.

For piggability the maximum allowable deflection of the pipeline is 15,8 mm (5,00% x Do). The deflection is allowable.

### 8.4 Check for Implosion of Pipe 2: pipe nr. 2

During the pullback operation the drilling fluid gives an external pressure. The highest minimum required drilling fluid pressure during the pullback operation is 328 kN/m<sup>2</sup>, this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m<sup>2</sup>.

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 248 kN/m<sup>2</sup>, this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m<sup>2</sup>.

## 9 Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3

### 9.1 Material Data of Pipe 3: pipe nr. 3

The list with data and issues is shown hereafter:

Material pipeline	:	Polyethene PE100
Outer diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Design pressure	:	pd = 0,00 bar
Test pressure	:	pt = 0,00 bar
Temperature variation	:	dt = 0,00 deg Celcius
Length pipeline	:	L = 445 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm <sup>2</sup>
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm <sup>2</sup>
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm <sup>2</sup>
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm <sup>2</sup>
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m <sup>3</sup>
Bedding angle	:	beta = 30 degrees
Load angle	:	alpha = 30 degrees
Moment coefficient soil top (indirect)	:	kt' = 0,078
Moment coefficient soil bottom (indirect)	:	kb' = 0,179
Moment coefficient soil top (direct)	:	kt = 0,257
Moment coefficient soil bottom (direct)	:	kb = 0,257
Deflection coefficient (indirect)	:	ky' = 0,071
Deflection coefficient (direct)	:	ky = 0,143
Maximal reduced vertical soil load (without safety factor)	:	q_v;r;n;max = 85 kN/m <sup>2</sup>
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m <sup>2</sup>
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 411024 kN/m <sup>3</sup>
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 238,620 m
Load factor on installation	:	f_install = 1,00
Load factor on reduced neutral soil stress q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Load factor on design pressure	:	f_pd = 1,00
Load factor on design pressure (combination)	:	f_pd;comb = 1,00
Load factor on test pressure	:	f_pt = 1,00
Load factor on temperature	:	f_temp = 1,10
Load factor on traffic load	:	f_v = 1,35
Contingency factor on bending radius	:	f_R = 1,10
Contingency factor on modulus of subgrade reaction	:	f_kv = 2,00
Contingency factor on bending moment	:	f_k = 1,40
Total factor on pulling force for stoch. varia. and model uncertainty	:	f = 1,80
Linear settlement coefficient averaged between t1 and t2	:	alpha_g = 0,0001600 mm/mmK

### 9.2 Results Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3

In the calculation 5 load combinations are considered:

- Load combination 1A: start pull-back operation
- Load combination 1B: end of pull-back operation
- Load combination 2: application internal pressure
- Load combination 3: pipeline in operation, no inner pressure
- Load combination 4: pipeline in operation, pressure applied

The wall thickness is 28,7 mm. The calculation hereafter will prove that the pipeline wall thickness is sufficient. The calculations are in accordance with NEN 3650 series.

#### 9.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

$$\sigma_b = M_b/W_b = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot W_b) = 0,43 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 0,76 \quad \text{N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	1,04	N/mm <sup>2</sup>
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

### 9.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb) = 0,90 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A = 6,13 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 6,72 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

Load  $q_r$  on pipeline due to reaction of soil in bends (according to NEN 3650-1 annex 5 D3.3):

$$q_r = k_v \cdot y = (0.322 \cdot \Lambda^2 \cdot E \cdot I) / (D_o \cdot R / f_R)$$

$$\Lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25} = 4,0E-3 \text{ 1/mm}$$

$$q_r = 0,0194 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (rg/Ww) \cdot D_o = 1,14 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 0,74 \text{ N/mm}^2$$

### 9.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

$$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2)) = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py} = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot p_t \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2)) = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

### 9.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)

Axial stress:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb) = 0,32 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 0,21 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (rg/Ww) \cdot D_o = 0,68 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (rg/Ww) \cdot D_o = 10,76 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 7,44 \text{ N/mm}^2$$

### 9.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)

Axial stress:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb) = 0,32 \text{ N/mm}^2$$

Due to internal pressure :

$$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2)) = 0,00 \text{ N/mm}^2$$



$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
Maximum axial stress $\text{Sigma}_{a,max}$	=	0,21	N/mm <sup>2</sup>
Tangential stress:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,68	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	10,76	N/mm <sup>2</sup>
Rerounding factor $F_{rr}$	=	1,000	
Rerounding factor $F'_{rr}$	=	1,000	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximum tangential stress $\text{Sigma}_{t,max}$	=	7,44	N/mm <sup>2</sup>

### 9.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 3: pipe nr. 3

Load combination 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm <sup>2</sup> ]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
$\text{Sigma}_{ptest}$	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
$\text{Sigma}_{py}$	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
$\text{Sigma}_{axial}$	10,00 (short)	1,04	6,72	-	-	-
$\text{Sigma}_{axial}$	8,00 (long)	-	-	-	0,21	0,21
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,74	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	7,44	7,44

Stresses in pipeline [N/mm<sup>2</sup>]

The deflection of the pipeline is 15,1 mm (4,78% x Do). The maximum allowable deflection of the pipeline is 25,2 mm (8,00% x S x Do). The deflection is allowable.

For piggability the maximum allowable deflection of the pipeline is 15,8 mm (5,00% x Do). The deflection is allowable.

### 9.4 Check for Implosion of Pipe 3: pipe nr. 3

During the pullback operation the drilling fluid gives an external pressure. The highest minimum required drilling fluid pressure during the pullback operation is 328 kN/m<sup>2</sup>, this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m<sup>2</sup>.

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 248 kN/m<sup>2</sup>, this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m<sup>2</sup>.

## 10 Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4

### 10.1 Material Data of Pipe 4: pipe nr. 4

The list with data and issues is shown hereafter:

Material pipeline	:	Polyethene PE100
Outer diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Design pressure	:	pd = 0,00 bar
Test pressure	:	pt = 0,00 bar
Temperature variation	:	dt = 0,00 deg Celcius
Length pipeline	:	L = 445 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm <sup>2</sup>
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm <sup>2</sup>
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm <sup>2</sup>
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm <sup>2</sup>
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m <sup>3</sup>
Bedding angle	:	beta = 30 degrees
Load angle	:	alpha = 30 degrees
Moment coefficient soil top (indirect)	:	kt' = 0,078
Moment coefficient soil bottom (indirect)	:	kb' = 0,179
Moment coefficient soil top (direct)	:	kt = 0,257
Moment coefficient soil bottom (direct)	:	kb = 0,257
Deflection coefficient (indirect)	:	ky' = 0,071
Deflection coefficient (direct)	:	ky = 0,143
Maximal reduced vertical soil load (without safety factor)	:	q_v;r;n;max = 85 kN/m <sup>2</sup>
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m <sup>2</sup>
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 411024 kN/m <sup>3</sup>
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 238,620 m
Load factor on installation	:	f_install = 1,00
Load factor on reduced neutral soil stress q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Load factor on design pressure	:	f_pd = 1,00
Load factor on design pressure (combination)	:	f_pd;comb = 1,00
Load factor on test pressure	:	f_pt = 1,00
Load factor on temperature	:	f_temp = 1,10
Load factor on traffic load	:	f_v = 1,35
Contingency factor on bending radius	:	f_R = 1,10
Contingency factor on modulus of subgrade reaction	:	f_kv = 2,00
Contingency factor on bending moment	:	f_k = 1,40
Total factor on pulling force for stoch. varia. and model uncertainty	:	f = 1,80
Linear settlement coefficient averaged between t1 and t2	:	alpha_g = 0,0001600 mm/mmK

### 10.2 Results Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4

In the calculation 5 load combinations are considered:

- Load combination 1A: start pull-back operation
- Load combination 1B: end of pull-back operation
- Load combination 2: application internal pressure
- Load combination 3: pipeline in operation, no inner pressure
- Load combination 4: pipeline in operation, pressure applied

The wall thickness is 28,7 mm. The calculation hereafter will prove that the pipeline wall thickness is sufficient. The calculations are in accordance with NEN 3650 series.

#### 10.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

$$\sigma_b = M_b/W_b = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot W_b) = 0,43 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 0,76 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \sigma_{a,max} = 1,04 \text{ N/mm}^2$$

In this load combination the tangential stress is negligible.

### 10.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

$$\sigma_b = M_b/W_b = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b) = 0,90 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A = 6,13 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \sigma_{a,max} = 6,72 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

Load  $q_r$  on pipeline due to reaction of soil in bends (according to NEN 3650-1 annex 5 D3.3):

$$q_r = k_v \cdot y = (0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I) / (D_o \cdot R / f_R)$$

$$\lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0,25} = 4,0E-3 \text{ 1/mm}$$

$$q_r = 0,0194 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 1,14 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \sigma_{t,max} = 0,74 \text{ N/mm}^2$$

### 10.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

$$\sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2)) = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{px} = 0,5 \cdot \sigma_{py} = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot p_t \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2)) = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

### 10.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)

Axial stress:

$$\sigma_b = M_b/W_b = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b) = 0,32 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \sigma_{a,max} = 0,21 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

$$\sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 0,68 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 10,76 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \sigma_{t,max} = 7,44 \text{ N/mm}^2$$

### 10.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)

Axial stress:

$$\sigma_b = M_b/W_b = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b) = 0,32 \text{ N/mm}^2$$

Due to internal pressure :

$$\sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2)) = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	0,00	N/mm <sup>2</sup>
Maximum axial stress $\text{Sigma}_{a,max}$	=	0,21	N/mm <sup>2</sup>
Tangential stress:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,68	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	10,76	N/mm <sup>2</sup>
Rerounding factor $F_{rr}$	=	1,000	
Rerounding factor $F'_{rr}$	=	1,000	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximum tangential stress $\text{Sigma}_{t,max}$	=	7,44	N/mm <sup>2</sup>

### 10.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 4: pipe nr. 4

Load combination 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Load combination 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm <sup>2</sup> ]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
$\text{Sigma}_{ptest}$	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
$\text{Sigma}_{py}$	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
$\text{Sigma}_{axial}$	10,00 (short)	1,04	6,72	-	-	-
$\text{Sigma}_{axial}$	8,00 (long)	-	-	-	0,21	0,21
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,74	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	7,44	7,44

Stresses in pipeline [N/mm<sup>2</sup>]

The deflection of the pipeline is 15,1 mm (4,78% x Do). The maximum allowable deflection of the pipeline is 25,2 mm (8,00% x S x Do). The deflection is allowable.

For piggability the maximum allowable deflection of the pipeline is 15,8 mm (5,00% x Do). The deflection is allowable.

### 10.4 Check for Implosion of Pipe 4: pipe nr. 4

During the pullback operation the drilling fluid gives an external pressure. The highest minimum required drilling fluid pressure during the pullback operation is 328 kN/m<sup>2</sup>, this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m<sup>2</sup>.

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 248 kN/m<sup>2</sup>, this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m<sup>2</sup>.

**End of Report**

E.1 002.678.00 0678995 Advies knelpunten VK



ZUID-WEST 380 KV OOST VERBINDINGEN

# E3.1 Advies knelpunten VKA 1.0

TenneT TSO B.V.

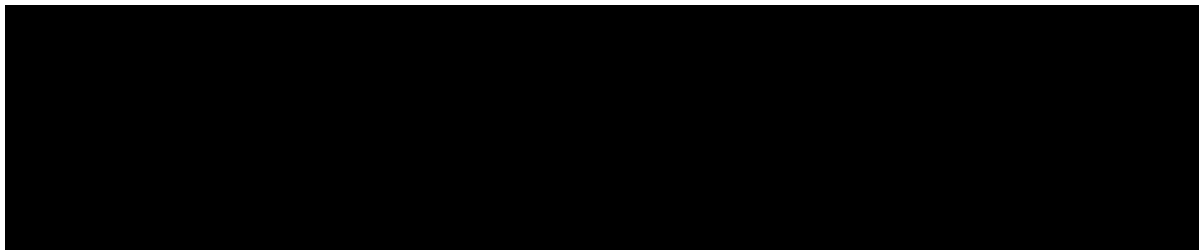
**Meridian doc. nr.:** 002.678.00 0678995

**Rapport nr.:** 19-0507

**Datum:** 2019-10-10

Projectnaam: Zuid-West 380 kV Oost Verbindingen DNV GL - Energy  
Rapport titel: E3.1 Advies knelpunten VKA 1.0 Energy Advisory  
Klant: TenneT TSO B.V. Postbus 9035  
Projectnummer 002.678.00 6800 ET ARNHEM  
Contactpersoon: ██████████  
Datum: 2019-10-10  
Project nr.: 10124719 Tel: +31 26 356 9111  
Organisatie unit: TDT KvK 09006404  
Meridian doc.nr.: 002.678.00 0678995  
Rapport nr.: 19-0507

Geschreven door: Beoordeeld door: Goedgekeurd door:



Copyright © DNV GL 2019 All rights reserved. Unless otherwise agreed in writing: (i) This publication or parts thereof may not be copied, reproduced or transmitted in any form, or by any means, whether digitally or otherwise; (ii) The content of this publication shall be kept confidential by the customer; (iii) No third party may rely on its contents; and (iv) DNV GL undertakes no duty of care toward any third party. Reference to part of this publication which may lead to misinterpretation is prohibited. DNV GL and the Horizon Graphic are trademarks of DNV GL AS.

DNV GL Distributie: Trefwoorden:  
 Onbeperkte distributie (intern en extern)  
 Onbeperkte distributie binnen de DNV GL Groep  
 Onbeperkte distributie binnen DNV GL Netherlands B.V.  
 Geen distributie (vertrouwelijk)

Versie	Datum	Reden voor uitgave	Auteur	Beoordeeld	Goedgekeurd
0	2019-04-15	Voor review	██████████	██████████	██████████
1	2019-07-19	Revisie n.a.v. 1 <sup>e</sup> RFA-commentaar			
2	2019-08-21	Revisie n.a.v. 2 <sup>e</sup> RFA-commentaar			
3	2019-10-10	Revisie n.a.v. 3 <sup>e</sup> RFA-commentaar			

DNV GL Netherlands B.V.





## Inhoud

1	INTRODUCTIE .....	1
2	UITGANGSPUNTEN EN EISEN .....	2
2.1	Eisen	2
2.2	Uitgangspunten	4
3	INVENTARISATIE .....	5
3.1	Mechanische beïnvloeding	5
3.2	Thermische beïnvloeding	7
4	BEOORDELING .....	9
4.1	Mechanische beïnvloeding	9
4.2	Thermische beïnvloeding	17
5	VERIFICATIE RAPPORT .....	32
6	REFERENTIES.....	33

### Appendix A    Voorbeeld berekeningen

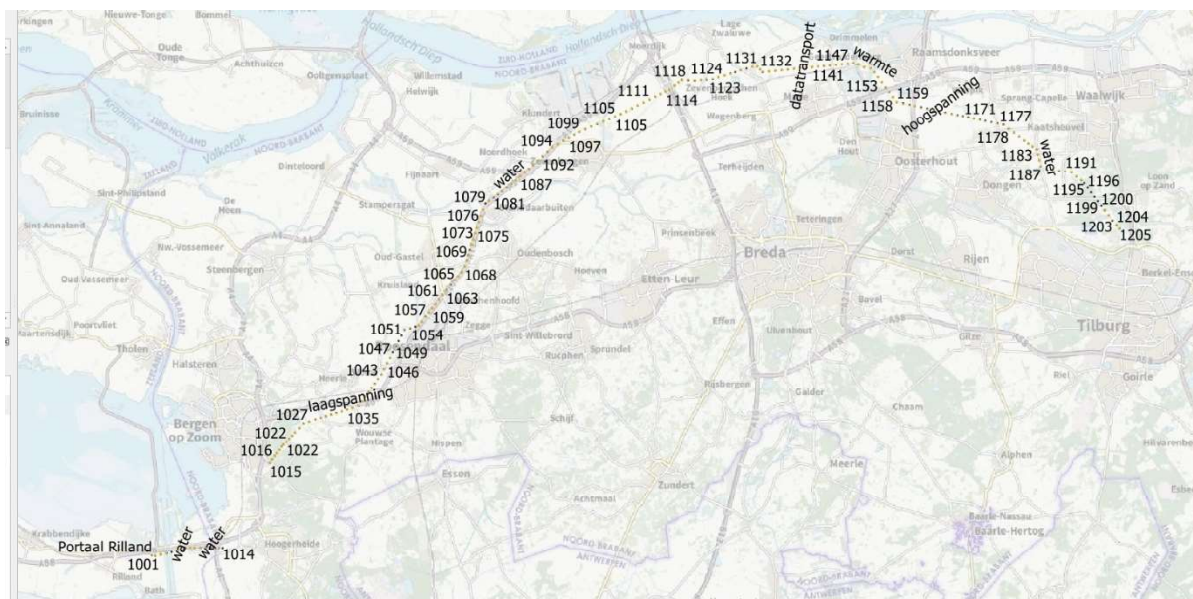
# 1 INTRODUCTIE

De afgelopen jaren heeft TenneT gewerkt aan het ontwikkelen van tracéalternatieven voor de hoogspanningsverbinding Zuid-West 380 kV Oost van Rilland naar Tilburg. Het uiteindelijke ontwerp van de te realiseren verbinding dient zodanig uitgevoerd te worden dat de bedrijfszekerheid niet ontoelaatbaar wordt aangetast door externe invloeden. Bij defecten aan objecten en/of inrichtingen in de nabijheid van de te realiseren hoogspanningsverbinding is het bijvoorbeeld mogelijk dat de verbinding ontoelaatbaar thermisch- of mechanisch beïnvloed worden.

In dit document worden op basis van de Meest Realistische Variant versie 0.3 de objecten en/of inrichtingen geïdentificeerd die de assets van de TenneT ontoelaatbaar thermisch- en/of mechanisch kunnen beïnvloeden. Per geïdentificeerd object wordt vervolgens aangegeven welke mitigerende maatregelen getroffen kunnen worden zodat de verbinding niet langer ontoelaatbaar beïnvloed wordt.

De in dit rapport uitgevoerde analyse is kwalitatief van aard. Conform het productblad E3: "Thermische en mechanische veiligheid" wordt in de op dit rapport volgende rapportage "Thermische en mechanische veiligheid VKA 2.0" de mate van beïnvloeding berekend.

Deze verbinding van Borssele via Rilland naar Tilburg is weergegeven in Figuur 1.



**Figuur 1 Voorgenomen tracé voor de nieuwe hoogspanningsverbinding**

In hoofdstuk 2 zijn de uitgangspunten, en per mogelijke vorm van beïnvloeding, de toetsingscriteria opgenomen op basis waarvan de inventarisatie wordt uitgevoerd. In hoofdstuk 3 wordt het resultaat van de inventarisatie gepresenteerd. In hoofdstuk 4 wordt per geïdentificeerd object/leiding bekeken in hoeverre er daadwerkelijk kans is op ontoelaatbare beïnvloeding. Mocht dit het geval zijn wordt er middels mitigerende maatregelen een advies uitgebracht over hoe bewerkstelligd kan worden dat er niet langer sprake is van mogelijk ontoelaatbare beïnvloeding.

## 2 UITGANGSPUNTEN EN EISEN

### 2.1 Eisen

De eisen in de door TenneT aangeleverde eisenset zijn beoordeeld op relevantie voor deze studie. De relevante eisen zijn hieronder weergegeven.

<b>Eis ID</b>	002.678.20 0429436-1-0036
<b>Eis spec.</b>	Masten en mastlocaties - weerstand beïnvloeding
<b>Eis tekst</b>	In het mastontwerp moet rekening zijn gehouden met eventuele invloeden van nabije buisleidingen conform NEN3654.
<b>s</b>	In het mastontwerp moet rekening zijn gehouden met eventuele invloeden van nabije buisleidingen conform NEN3654. NEN 3654 geeft geen eisen voor het mastontwerp in relatie tot eventuele invloeden van nabije buisleidingen. Wel stelt NEN 3654 impliciet eisen aan de fundering van masten indien rekening moet worden gehouden met onderspoeling van funderingen als gevolg van leidingbreuk bij een vloeistofvoerende leiding. In deze notitie ga ik ervan uit dat dit wordt bedoeld met deze eis. Volgens NEN 3654 is bij het aanhouden van een afstand van 30m tussen buisleiding en hoogspanningsmasten de kans op schade door onderspoeling gering.

<b>Eis ID</b>	002.678.20 0429436-1-0072
<b>Eis spec.</b>	Hoogspanningsverbinding - afblaas en affakkel installaties
<b>Eis tekst</b>	Om te voorkomen dat de hoogspanningsverbinding beschadigd raakt of dat er gevaarlijke situaties ontstaan dient er voldoende ruimte te zijn tussen afblaas en affakkel installaties en hoogspanningsverbindingen.
<b>Eis analyse</b>	De toelaatbare stralingsintensiteit op geleiders van bovengrondse hoogspanningslijnen door fakkels bedraagt 1000 W/m <sup>2</sup> voor incidenteel gebruikte fakkels. Voor vaak of continu gebruikte fakkels bedraagt de toelaatbare stralingsintensiteit 500 W/m <sup>2</sup> . Dit moet worden geborgd door de afstand tussen hsp-lijn en fakkels- en afblaas inrichtingen zodanig groot te kiezen dat genoemde stralingsintensiteiten niet worden overschreden.

<b>Eis ID</b>	002.678.20 0429436-1-0074
<b>Eis spec.</b>	Hoogspanningsverbinding - afblaas en affakkel installaties
<b>Eis tekst</b>	De brandgevaarlijke stoffen of gassen die worden afgeblazen mogen niet worden ontstoken door hoogspanningsverbindingen.
<b>Eis analyse</b>	Afblaaspunten voor brandbare gassen die handmatig of automatisch worden afgeblazen en niet worden afgefakkeld moeten op voldoende afstand tot hoogspanningssystemen (o.a. hoogspanningslijnen en stations) gesitueerd zijn. De afstand moet zo worden gekozen dat de gaspluim die ontstaat bij het afblazen niet kan worden ontstoken door coronaontlading. Coronaontladingen kunnen optreden bij isolatorkettingen, bevestigingspunten van afstandhouders, bevestigingspunten van trillingsdempers, het oppervlak van geleiders enz.

<b>Eis ID</b>	LSNed-0006
<b>Eis spec.</b>	De hoogspanningslijn mag de Buisleidingenstrook niet kruisen boven afluiterstations, affakkelpunten en afblaasvoorzieningen.
<b>Eis tekst</b>	Op deze locaties is er een verhoogde kans op leidingincidenten met een kans op ontsteking van een (explosieve) brandbare stof met mogelijke gevolgen voor de omgeving.
<b>Eis analyse</b>	[-]
<b>Eis vertaling</b>	[-]

<b>Eis ID</b>	NEN3654-001
<b>Eis spec.</b>	NEN3654: Het aanvaardbare risico van blootstelling van de geleiders aan een stralingsintensiteit groter dan 3750 W/m <sup>2</sup> als gevolg van brand of explosie van een buisleiding op bedraagt 10 <sup>-5</sup> km <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> . Afgesproken is dat, behalve de toetsing aan overschrijding van hittestraling bij genoemde faalkans, ook wordt getoetst of dit meer/minder is dan 10% van de autonome faalfrequentie.
<b>Eis tekst</b>	Zie 7.2.4 uit NEN3654:2014; Dit is bijvoorbeeld bij de DOW leiding nabij Roosendaal Borchwerf en het tracédeel Roosendaal – Halderberge aan de orde. De oplossing is het verleggen van de buisleiding naar de buisleidingenstraat van LSned.
<b>Eis analyse</b>	<p>In het rapport "Risico analyse aardgastransportleidingen" [1] is een grafiek opgenomen van de warmtestraling van een 80 bar gas leiding met een lek van 20mm als functie van de afstand tot de leiding bij een aantal verschillende windsnelheden. Deze figuur is weergegeven in Figuur 2.</p> <p><b>Figuur 2 Warmtestralingsprofielen bij een lek van 20mm in een 80bar leiding</b></p> <p>Op basis van eis "NEN3654-001" wordt er voor de inventarisatie gekeken naar leidingen waarbij de warmtestraling niet groter is dan 3750 W/m<sup>2</sup>. Op basis van Figuur 2 volgt hieruit een minimale afstand van 20m.</p> <p>In de identificatie wordt gebruik gemaakt van de afstanden tot de hartlijn van het tracé. Indien een criterium van 20m gehanteerd wordt, is het daarom mogelijk dat er leidingen niet geïdentificeerd worden die zich wel op afstanden van &lt;20m tot de geleiders bevinden. Om aan de veilige kant te zitten wordt daarom een afstandscriterium van &lt;50m van leiding tot de hartlijn van het tracé gehanteerd.</p>

## 2.2 Uitgangspunten

In Tabel 1 is een overzicht toegevoegd van de mogelijke vormen van thermische- en mechanische beïnvloeding. Hierin zijn ook zijn de afstandscriteria opgenomen op basis waarvan de inventarisatie is gemaakt.

**Tabel 1 Inventarisatie criteria**

ID	Invloed op	Omschrijving	Mogelijk door	Afstand criteria	
Mechanisch	M1	Masten	Aantasting stabiliteit mast fundament t.g.v. ontgronding door leidingbreuk	Leiding(en) met vloeistof of gas onder hoge druk	Leidingen op een afstand <30m van mast fundament
	M2	Kabels	Aantasting stabiliteit kabel t.g.v. ontgronding door leidingbreuk	Leiding(en) met vloeistof	Leidingen op een afstand <50m van het kabel tracé
	M3	Masten Geleiders Kabels	Schade t.g.v. verminderde mechanische eigenschappen bij chemische aantasting door leidingbreuk	Leiding(en) met corrosieve vloeistof	Niet toegepast <sup>1</sup>
Thermisch	T1	Masten Geleiders	Schade t.g.v. verminderde mechanische eigenschappen bij verhitting door brand	Leiding(en) met brandbare vloeistof of gas	Leidingen op een afstand <50m van hartlijn tracé
	T2	Masten Geleiders	Schade t.g.v. verminderde mechanische eigenschappen bij verhitting door brand	Object(en) met brandbare stoffen	Objecten op een afstand van <250m van hartlijn tracé
	T3	Masten Geleiders	Schade t.g.v. verminderde mechanische eigenschappen bij verhitting door uitlaatgassen	Object(en) met schoorstenen	Objecten op een afstand van <250m van hartlijn tracé
	T4	Kabels	Schade t.g.v. verminderde mechanische eigenschappen bij verhitting door brand	Leiding(en) met brandbare vloeistof of gas	Leidingen op een afstand <50m van hartlijn tracé

Voetnoot 1: Leidingen met gevaarlijke stoffen die mogelijkwijs kunnen leiden tot chemische aantasting zijn reeds meegenomen in de inventarisatie behorend bij T1. Daar de directe schade door verhitting bij brand groter zal zijn dan de schade door chemische aantasting door corrosieve stoffen is beoordeling bij T1 bepalend.

## 3 INVENTARISATIE

### 3.1 Mechanische beïnvloeding

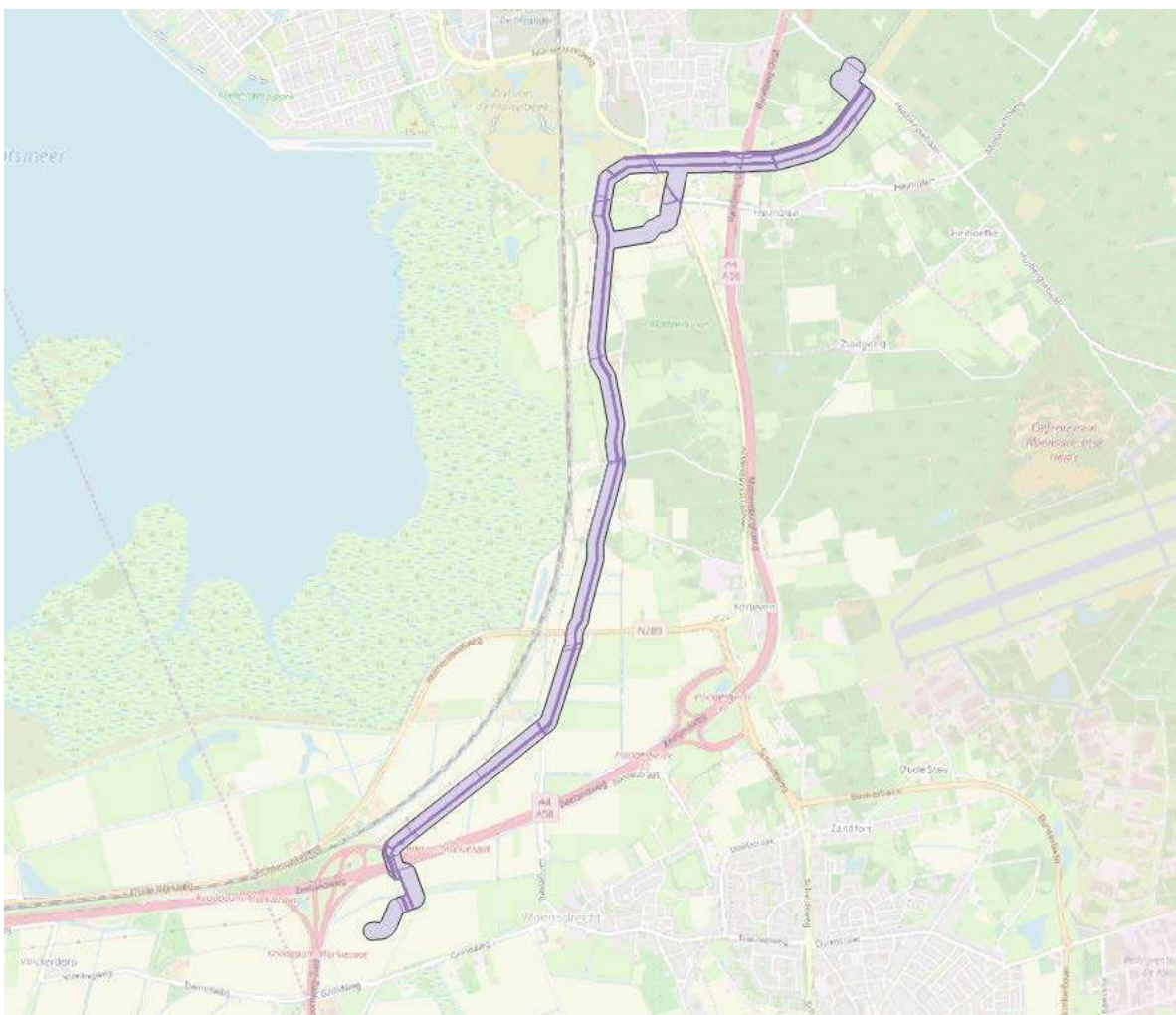
#### 3.1.1 M1: Stabiliteit mast fundament

**Tabel 2 Gas- of vloeistof voerende leidingen op <30m van het fundament van de mast**

ID	Eigenaar	Type Leiding	Omschrijving
M1:1	Dow Benelux N.V.	Buisleiding met gevaarlijke inhoud (Propeen)	Leiding loopt van mast 1055 tot 1062 parallel aan het tracé en doorkruist het tracé nabij mast 1062. De kortste afstand bevindt zich nabij masten 1059, 1060, 1061 en 1062 waarbij de leiding zich praktisch direct onder het fundament bevindt.
M1:2	DPO	Buisleiding met gevaarlijke inhoud (Kerosine)	Doorkruist de 30m grens van het fundament van mast 1007 op een afstand van +/-32m tot het middelpunt van het fundament.
M1:3	Enexis	Gas hoge druk	Leiding doorkruist de 30m grens van de fundamente van masten 1015 en 1059. De kortste afstand bevindt zich nabij mast 1059 en is +/-15m tot het middelpunt van fundament.
M1:4	Enexis	Gas lage druk	Doorkruist de 30m grens van de fundamente op verschillende locaties (mast 109, 1067, 1069, 1070, 1149 en 1185). De kortste afstand bevindt zich nabij mast 1070 en is +/-11m tot het middelpunt van fundament.
M1:5	rswwegbreda	Overig	Doorkruist de 30m grens van de fundamente op verschillende locaties (mast 1056, 1068, 1013). De kortste afstand bevindt zich nabij mast 1056 en is +/-27m tot het middelpunt van fundament
M1:6	Air Liquide Nederland B.V.	Overig	Doorkruist de 30m grens van de fundamente van mast 1059 op een afstand van +/-13 tot het middelpunt van het fundament.
M1:7	Gemeente Bergen op Zoom	Riool onder druk	Doorkruist de 30m grens van het fundament van mast 1019 op een afstand van +/-22m tot het middelpunt van het fundament.
M1:8	Gemeente Halderberge	Riool onder druk	Doorkruist de 30m grens van het fundament van mast 1062 op een afstand van +/-13m tot het middelpunt van het fundament.
M1:9	Gemeente Dongen	Riool onder druk	Doorkruist de 30m grens van het fundament van mast 1085 op een afstand van +/-32m tot het middelpunt van het fundament.
M1:10	Waterschap Brabantse Delta	Riool onder druk	Doorkruist de 30m grens van het fundament van mast 1059 op een afstand van +/-18m tot het middelpunt van het fundament.
M1:11	eqloonopzand	Riool onder druk	Doorkruist de 30m grens van het fundament van mast 1194 op een afstand van +/-20m tot het middelpunt van het fundament.
M1:12	Gemeente Drimmelen	Riool onder druk	Doorkruist de 30m grens van het fundament van mast 1138 op een afstand van +/-27m tot het middelpunt van het fundament.
M1:13	Ennatuurlijk B.V.	Warmte	Doorkruist de 30m grens van het fundament van mast 1151 op een afstand van +/-11m tot het middelpunt van het fundament.
M1:14	Brabant Water	Water	Doorkruist de 30m grens van de fundamente van masten 1022, 1086, 1116, 1150 op verschillende plekken. De kortste afstand bevindt zich nabij mast 1150 en is +/-4m tot het middelpunt van fundament.
M1:15	DNWG Infra B.V.	Water	Doorkruist de 30m grens van de fundamente van een groot aantal masten. De kortste afstand bevindt zich nabij mast 1008 en is +/-6m tot het middelpunt van fundament

### 3.1.2 M2: Stabiliteit kabel

Het kabeltracé tussen masten 1014 en 1015 is voorzien in de buisleidingstraat, zie Figuur 3.



**Figuur 3 Kabeltracé in buisleidingstraat met ge-identificeerde leidingen**

Een divers aantal leidingen met vloeistoffen, gevaarlijke stoffen of gas ligt binnen de 50m grens van de hartlijn van het kabeltracé, zie Tabel 3.

**Tabel 3 Leidingen met vloeistoffen, gevaarlijke stoffen en gas op <50m van kabels**

ID	Eigenaar	Omschrijving
M2:1	Zebra	Diverse stukken met parallelloop en/of kruisingen
M2:2	Shell pipelines	
M2:3	Airliquide	
M2:4	Gasuniewest	
M2:5	DWG Infra	
M2:6	PPSpipelines	
M2:7	WS Brabantse Delta	
M2:8	DPO	
M2:9	Zeeland Refinery	

## 3.2 Thermische beïnvloeding

### 3.2.1 T1: Schade t.g.v. brand door leidingbreuk

In Tabel 4 zijn alle leidingen met gas of gevaarlijke inhoud op een afstand van <50m van de hartlijn van het tracé weergegeven.

**Tabel 4 Leidingen met gas of gevaarlijke inhoud op afstand <50m van hartlijn tracé**

ID	Eigenaar	Omschrijving
T1:1	Airliquide	Leiding kruist het tracé in het veld tussen mast 1052 en mast 1053
T1:2	Dow Benelux N.V.	Leiding loopt parallel met het tracé tussen de masten 1055 - 1057, 1058 en 1062 en 1065-1066 Leiding kruist het tracé in de velden tussen masten 1054-1055, 1062-1063 en 1064-1065
T1:3	DPO	Leiding loopt parallel met het tracé tussen de masten 1076-1077 en 1078-1080, de kortste afstand is ±36m Leiding kruist het tracé in de velden tussen masten 1007-1008, 1027-1028 en 1052-1053
T1:4	Gasuniewest	Leiding kruist het tracé in de velden tussen masten 1040-1041, 1052-1053, 1076-1077, 1090-1091, 1094-1095, 1162-1163, 1168-1169
T1:5	ppspipelines	Leiding kruist het tracé in het veld tussen mast 1104 en mast 1105
T1:6	rotterantwerppijp	Leiding kruist het tracé in het veld tussen mast 1090 en mast 1091
T1:7	rrpwest	Leiding kruist het tracé in het veld tussen mast 1119 en mast 1120
T1:8	shellpipelines	Leiding loopt parallel met het tracé tussen de masten 1068-1069, kortste afstand is ±172m Leiding kruist het tracé in het veld tussen mast 1052 en mast 1053
T1:9	zebra	Leiding kruist het tracé in de velden tussen masten 1027-1028 en 1052-1053
T1:10	Zeeland Refinery	Leiding loopt parallel met het tracé tussen de masten 1074-1078 Leiding kruist het tracé in het veld tussen mast 1052 en mast 1053
T1:11	Enexis (hoge druk)	Leiding kruist het tracé in de velden tussen masten 1034-1035, 1051-1052, 1056-1057, 1070-1071, 1102-1103, 1127-1128, 1128-1129, 1172-1173

### 3.2.2 T2: Schade t.g.v. brand object

In Tabel 5 zijn alle objecten weergegeven waar brandbaar materiaal opgeslagen ligt op een afstand van <500m tot het tracé.

**Tabel 5 Objecten op afstand van <250m tot hartlijn tracé**

ID	Object	Vak	Omschrijving
T2:1	Tank Easy Roosendaal	1057-1058	+/- 150m van hartlijn tracé
T2:2	Truck Easy Roosendaal	1058-1059	+/- 150m van hartlijn tracé
T2:3	Esso Oud Gastel	1072-1073	+/- 20m van hartlijn tracé
T2:4	BP Keizershof	1091-1092	+/- 200m van hartlijn tracé
T2:5	VARO	1151-1152	+/- 120m van hartlijn tracé

### 3.2.3 T3: Schade t.g.v. verhitting door uitlaatgassen

In Tabel 6 zijn alle objecten weergegeven met (industriële) schoorstenen op een afstand van <250m tot het tracé.

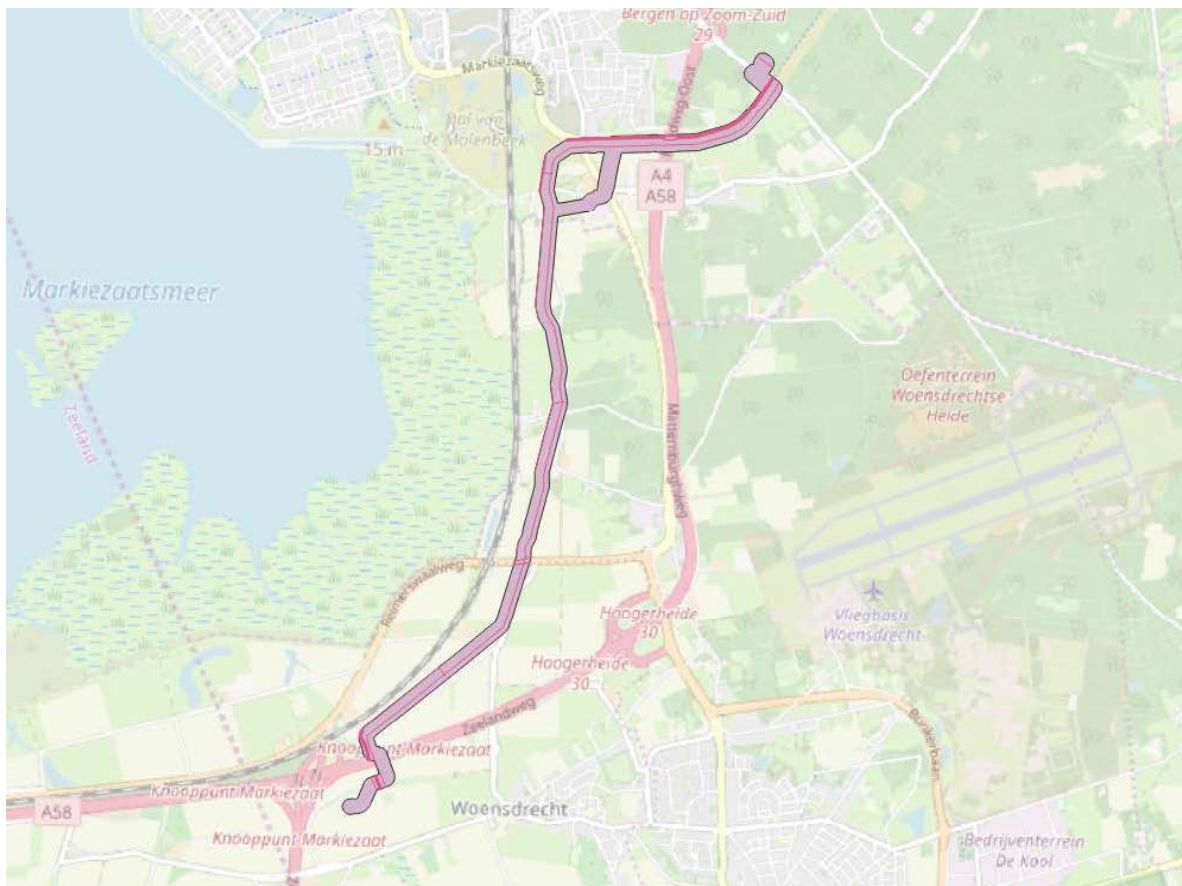
**Tabel 6 Objecten met schoorstenen op afstand van <250m tot hartlijn tracé**

ID	Eigenaar	Vak	Omschrijving
T3:1	Suez ReEnergy	1053-1054	+/- 220m van hartlijn tracé
T3:2	Afblaasinstallatie	1075-1076	+/- 90m van hartlijn tracé



### 3.2.4 T4: Schade t.g.v. verminderde mechanische eigenschappen bij verhitting door brand

Het kabeltracé tussen masten 1014 en 1015 is voorzien in de buisleidingstraat, zie Figuur 3.



**Figuur 4 Kabeltracé in buisleidingstraat met ge-identificeerde leidingen**

Een divers aantal leidingen met gevaarlijke stoffen en/of gas ligt binnen de 50m grens van de hartlijn van het kabeltracé, zie Tabel 3.

**Tabel 7 Leidingen met gevaarlijke stoffen en gas op <50m van kabels**

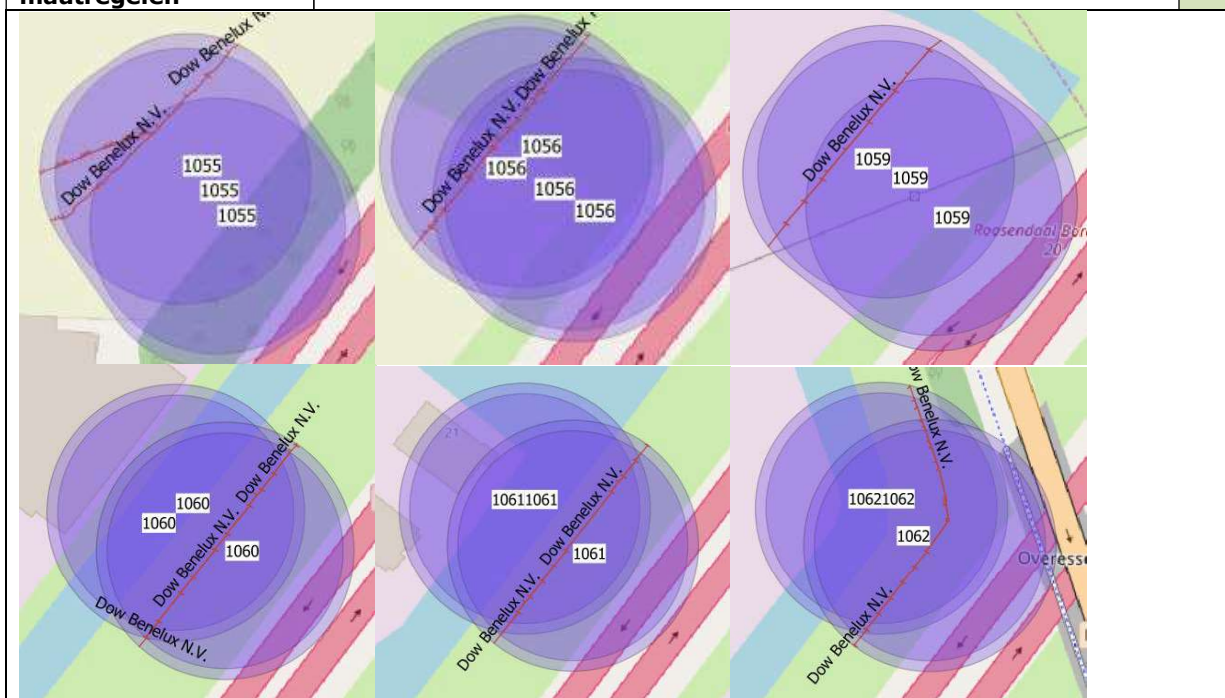
ID	Eigenaar	Omschrijving
T4:1	Zebra	Diverse stukken met parallelloop en/of kruisingen
T4:2	Shell pipelines	
T4:3	Airliquide	
T4:4	Gasuniewest	
T4:5	PPSpipelines	
T4:6	DPO	
T4:7	Zeeland Refinery	

## 4 BEOORDELING

### 4.1 Mechanische beïnvloeding

#### 4.1.1 M1: Stabiliteit mast fundament

ID	Eigenaar	Type	Kortste afstand
M1:1	DOW Benelux	Propeen	0m
<b>Beoordeling voor maatregelen</b>	Zonder maatregelen zal bij een leidingbreuk de terp van de mast aangetast worden		
<b>Mogelijke maatregelen</b>	TenneT heeft vastgesteld dat vanwege het risico op thermisch beïnvloeding (zie ook hoofdstuk 4.2) de leiding in principe verlegd dient te worden naar de buisleidingenstraat		
<b>Beoordeling na maatregelen</b>	Na verleggen van de leiding is het risico aanvaardbaar		

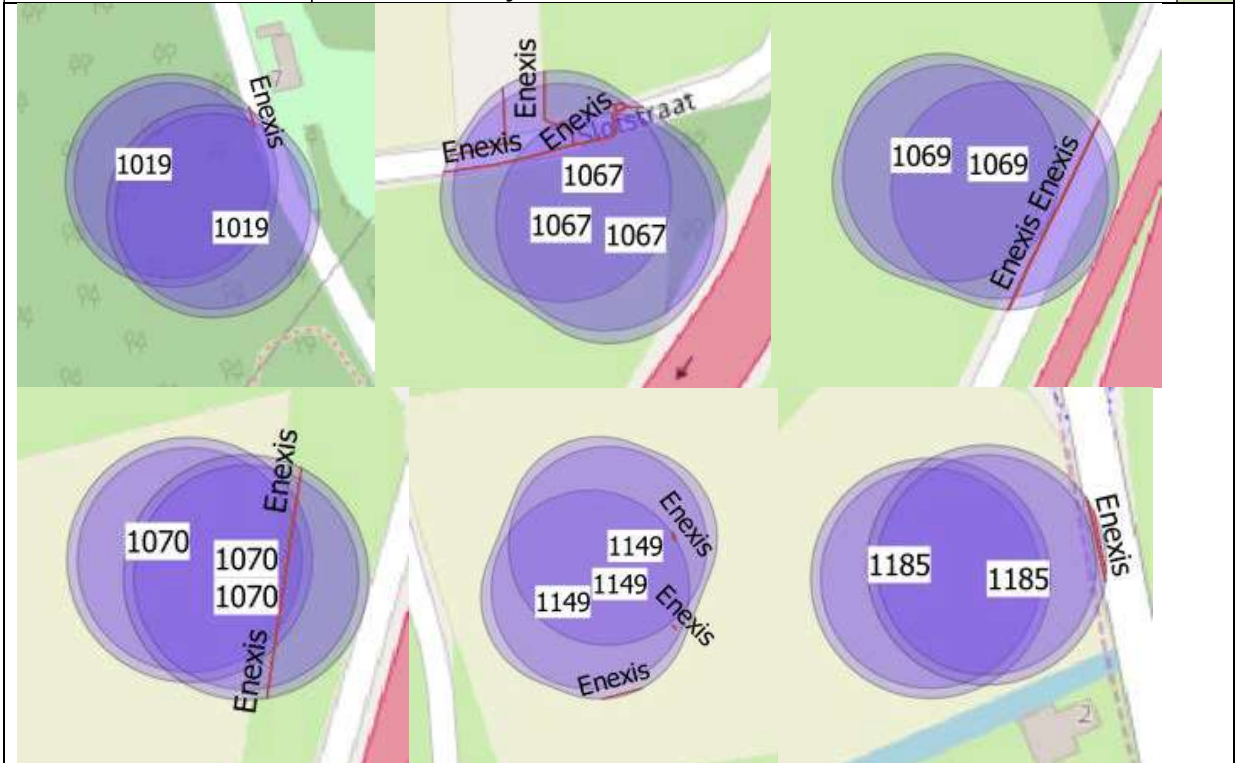


ID	Eigenaar	Type	Kortste afstand
M1:2	DPO	Kerosine	0m
<b>Beoordeling voor maatregelen</b>	Zonder maatregelen zal bij een leidingbreuk de terp van de mast aangetast worden		
<b>Mogelijke maatregelen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plaatsen erosiescherm</li> <li>- Verleggen van de leiding</li> <li>- Fundering bestand maken tegen maximaal mogelijke erosiekrater</li> </ul>		
<b>Beoordeling na maatregelen</b>	Na toepassen van mitigerende maatregelen is het risico aanvaardbaar		



ID	Eigenaar	Type	Kortste afstand
M1:3	Enexis	Gas hoge druk	15m
<b>Beoordeling voor maatregelen</b>	<p>Volgens Appendix A is indicatief rekening gehouden met een ontgrondingskuil met een straal van circa 7m en een diepte van 1.5m. Bij een passage van een leiding op een afstand korter dan 17.5m dient nader onderzoek uitgevoerd te worden.</p> <p>De kortste afstand van de hogedruk gasleidingen tot het fundament is kleiner dan 17.5 en kan daarmee bij leidingbreuk leiden tot aantasting van de terp.</p> <p>Er dient opgemerkt te worden dat in de voorbeeldberekening is uitgegaan van een gasleiding van 40 inch en 50 bar. Het breken van een kleinere leiding zal leiden tot een ontgrondingskuil met een kleinere diameter waarmee de minimale afstand tot het fundament ook kleiner wordt.</p> <p>Er wordt aanbevolen om in de volgende fase de leidinggegevens op te vragen en aan de hand van een berekening te bepalen of er daadwerkelijk sprake kan zijn van beïnvloeding.</p>		
<b>Mogelijke maatregelen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plaatsen erosiescherm</li> <li>- Verleggen van de leiding</li> <li>- Fundering bestand maken tegen maximaal mogelijke erosiekrater</li> </ul>		
<b>Beoordeling na maatregelen</b>	<p>Mogelijk geen beïnvloeding. Mocht er toch sprake zijn van beïnvloeding zal na het toepassen van mitigerende maatregelen het risico aanvaardbaar zijn</p>		

ID	Eigenaar	Type	Kortste afstand
M1:4	Enexis	Gas lage druk	11m
<b>Beoordeling voor maatregelen</b>	<p>Volgens Appendix A is indicatief rekening gehouden met een ontgrondingskuil met een straal van circa 7m en een diepte van 1.5m. Bij een passage van een leiding op een afstand korter dan 17.5m dient nader onderzoek uitgevoerd te worden.</p> <p>De kortste afstand van de lagedruk gasleidingen tot het fundament is kleiner dan 17.5m en kan daarmee bij leidingbreuk leiden tot aantasting van de terp.</p> <p>Er dient opgemerkt te worden dat in de voorbeeldberekening is uitgegaan van een gasleiding van 40 inch en 50 bar. Het breken van een kleinere leiding zal leiden tot een ontgrondingskuil met een kleinere diameter waarmee de minimale afstand tot het fundament ook kleiner wordt.</p> <p>Er wordt aanbevolen om in de volgende fase de leidinggegevens op te vragen en aan de hand van een berekening te bepalen of er daadwerkelijk sprake kan zijn van beïnvloeding.</p>		
<b>Mogelijke maatregelen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plaatsen erosiescherm</li> <li>- Verleggen van de leiding</li> <li>- Fundering bestand maken tegen maximaal mogelijke erosiekrater</li> </ul>		
<b>Beoordeling na maatregelen</b>	Mogelijk geen beïnvloeding. Mocht er toch sprake zijn van beïnvloeding zal na het toepassen van mitigerende maatregelen het risico aanvaardbaar zijn		



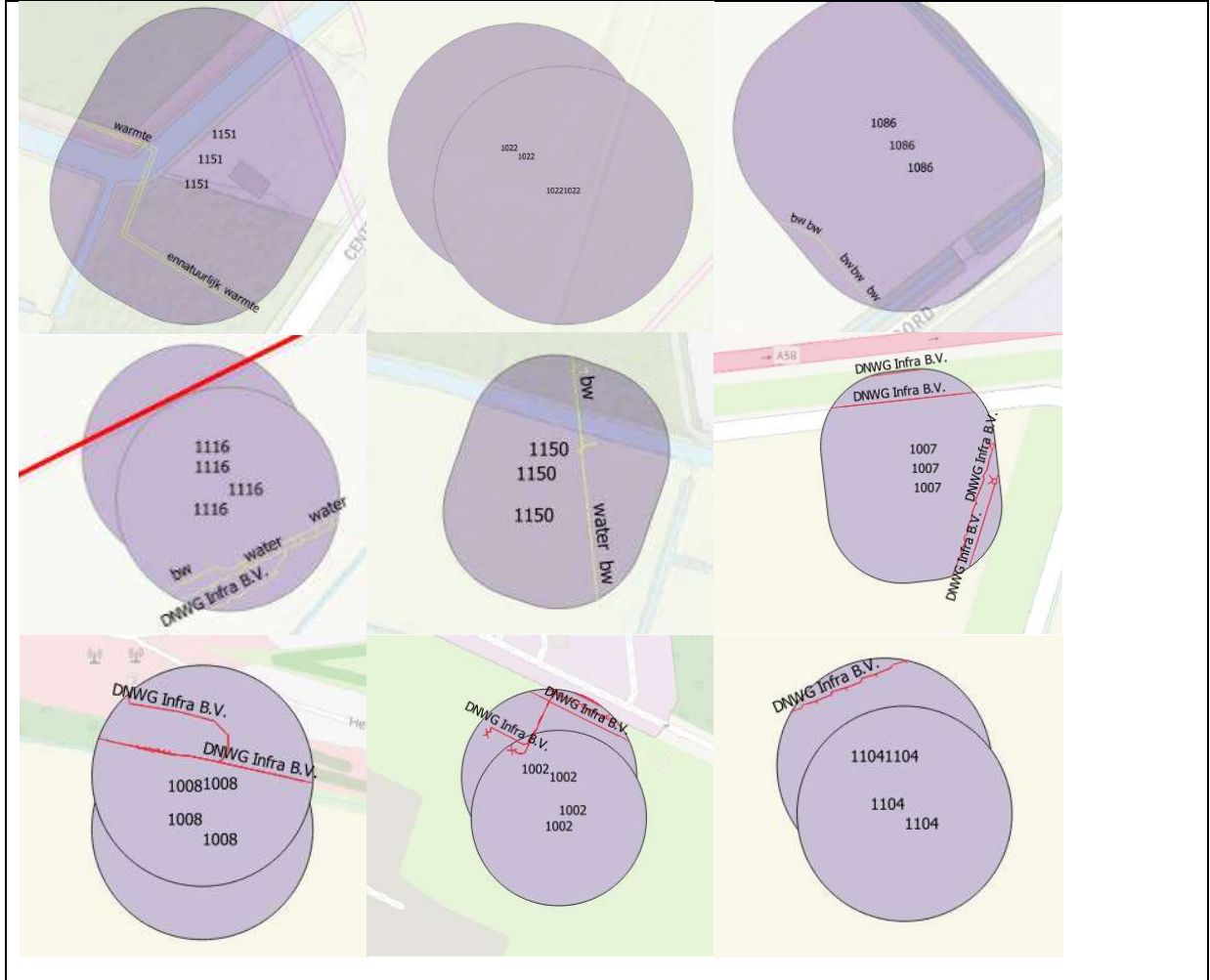
ID	Eigenaar	Type	Kortste afstand
M1:5 - M1:6	Meerdere	Overig	27m/13m
<b>Beoordeling voor maatregelen</b>	<p>De leiding behorende bij M1:5 kruist de 30m grens van de masten op een afstand van 27m. De gegevens van deze leiding zijn niet bekend. Er wordt aanbevolen om in de volgende fase de leidinggegevens op te vragen en aan de hand van een berekening te bepalen of er daadwerkelijk sprake kan zijn van beïnvloeding.</p> <p>De leiding behorend bij M1:6 is een zuurstof leiding die niet langer in gebruik is. Hierdoor is er geen kans op mechanische beïnvloeding van de fundamente van de mast.</p>		
<b>Mogelijke maatregelen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plaatsen erosiescherm</li> <li>- Verleggen van de leiding</li> <li>- Fundering bestand maken tegen maximaal mogelijke erosiekrater</li> </ul>		
<b>Beoordeling na maatregelen</b>	<p>Mogelijk geen beïnvloeding. Mocht er toch sprake zijn van beïnvloeding zal na het toepassen van mitigerende maatregelen het risico aanvaardbaar zijn</p>		



ID	Eigenaar	Type	Kortste afstand
M1:7 – M1:12	Meerdere	Riool onder druk	13m
<b>Beoordeling voor maatregelen</b>	<p>Volgens Appendix A is indicatief rekening gehouden met een ontgrondingskuil met een straal van 7m en een diepte van 2.5m. Bij passage van een leiding korter dan 17.5m uit de voet van de mast moet een nader onderzoek uitgevoerd worden.</p> <p>De kortste afstand van het riool onder druk tot het fundament is kleiner dan 17.5m en kan daarmee bij leidingbreuk leiden tot aantasting van de terp.</p> <p>Er wordt aanbevolen om in de volgende fase de leidinggegevens op te vragen en aan de hand van een berekening te bepalen of er daadwerkelijk sprake kan zijn van beïnvloeding.</p>		
<b>Mogelijke maatregelen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plaatsing erosiescherm</li> <li>- Verleggen van de leiding</li> <li>- Fundering bestand maken tegen maximaal mogelijke erosiekrater</li> </ul>		
<b>Beoordeling na maatregelen</b>	Na toepassen van mitigerende maatregelen is het risico aanvaardbaar		

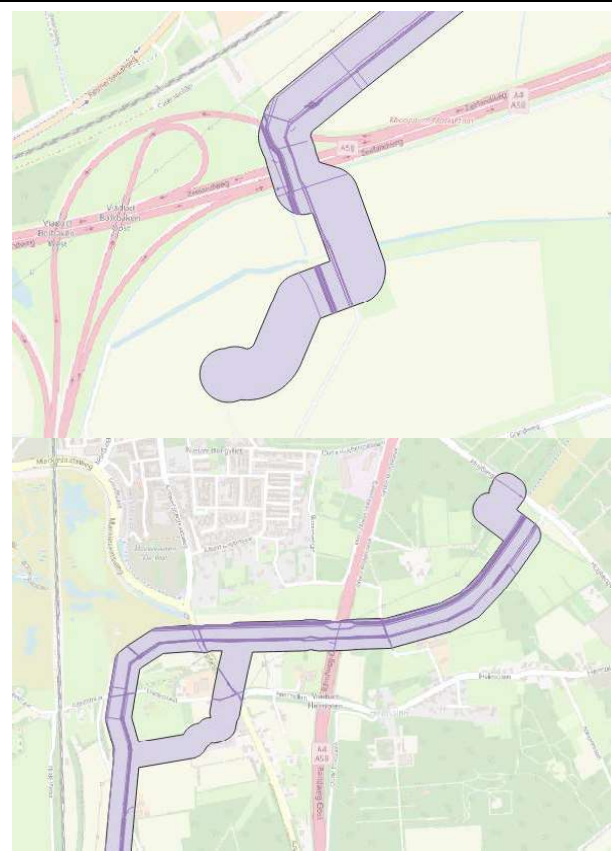
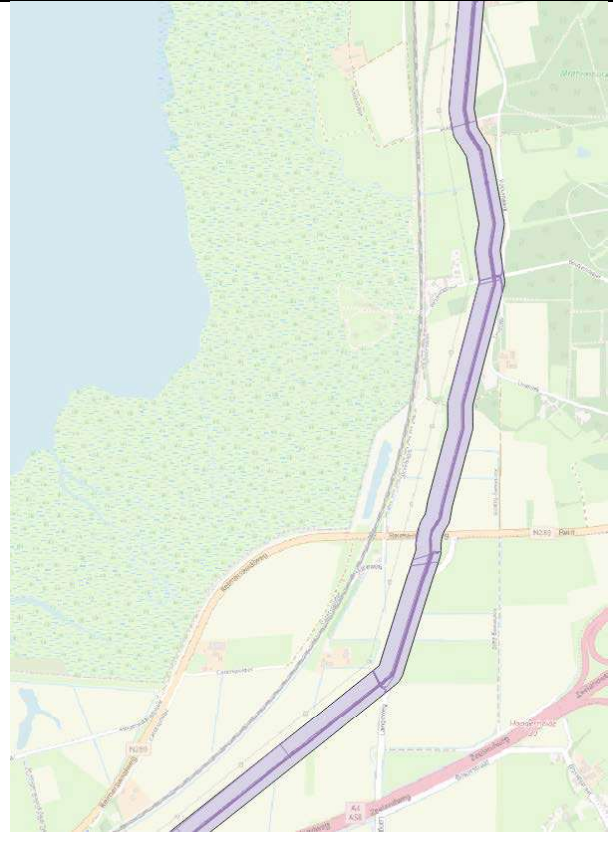


ID	Eigenaar	Type	Kortste afstand
M1:13 - M1:15	Meerdere	Water / Warmte	4m
<b>Beoordeling voor maatregelen</b>	<p>Volgens Appendix A is indicatief rekening gehouden met een ontgrondingskuil met een straal van 9m en een diepte van 2.0m. Bij passage van een leiding korter dan 8m uit de voet van de mast moet een nader onderzoek uitgevoerd worden.</p> <p>De kortste afstand van de water of warmteleiding tot het fundament is kleiner dan 8m en kan daarmee bij leidingbreuk leiden tot aantasting van de terp.</p> <p>Er wordt aanbevolen om in de volgende fase de leidinggegevens op te vragen en aan de hand van een berekening te bepalen of er daadwerkelijk sprake kan zijn van beïnvloeding.</p>		
<b>Mogelijke maatregelen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plaatsing erosiescherm</li> <li>- Verleggen van de leiding</li> <li>- Fundering bestand maken tegen maximaal mogelijke erosiekrater</li> </ul>		
<b>Beoordeling na maatregelen</b>	Na toepassen van mitigerende maatregelen is het risico aanvaardbaar		





## 4.1.2 M2: Stabiliteit kabel

ID	Eigenaar	Type	Kortste afstand
M2:1 – M2:9	Meerdere	Vloeistof / gevaarlijke inhoud	0m
<b>Beoordeling voor maatregelen</b>	<p>Indien een van de nabijgelegen leidingen breekt is het mogelijk dat door het wegspoelen/ wegblazen van aarde, de condities waarvoor de kabel ontworpen is veranderen. Indien de kabel hier voor een langere tijd aan blootgesteld wordt, kan de structurele integriteit van de kabel niet gegarandeerd worden.</p> <p>Ervanuit gaande dat de kabel type getest is voor longitudinale en radiale waterdichtheid zal een waterleidingbreuk waarbij geen aarde wordt weggeslagen maar de grond rondom de kabel wel nat wordt geen directe consequenties hebben. Wel dient opgemerkt te worden dat kabels normaliter niet ontworpen worden op een situatie waarbij er een directe waterstraal voor lagere tijd op de kabel mantel staat.</p>		
<b>Mogelijke maatregelen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plaatsing erosiescherm</li> <li>- Verleggen van de leiding</li> </ul>		
<b>Beoordeling na maatregelen</b>	Na toepassen van mitigerende maatregelen is het risico aanvaardbaar		
			

## 4.2 Thermische beïnvloeding

### 4.2.1 Introductie

Voor de beoordeling van de objecten en inrichtingen die kunnen leiden tot thermische beïnvloeding is gebruik gemaakt van de plaatsgebonden  $10^{-6}/\text{jr}$  risico contouren van [www.risicokaart.nl](http://www.risicokaart.nl).

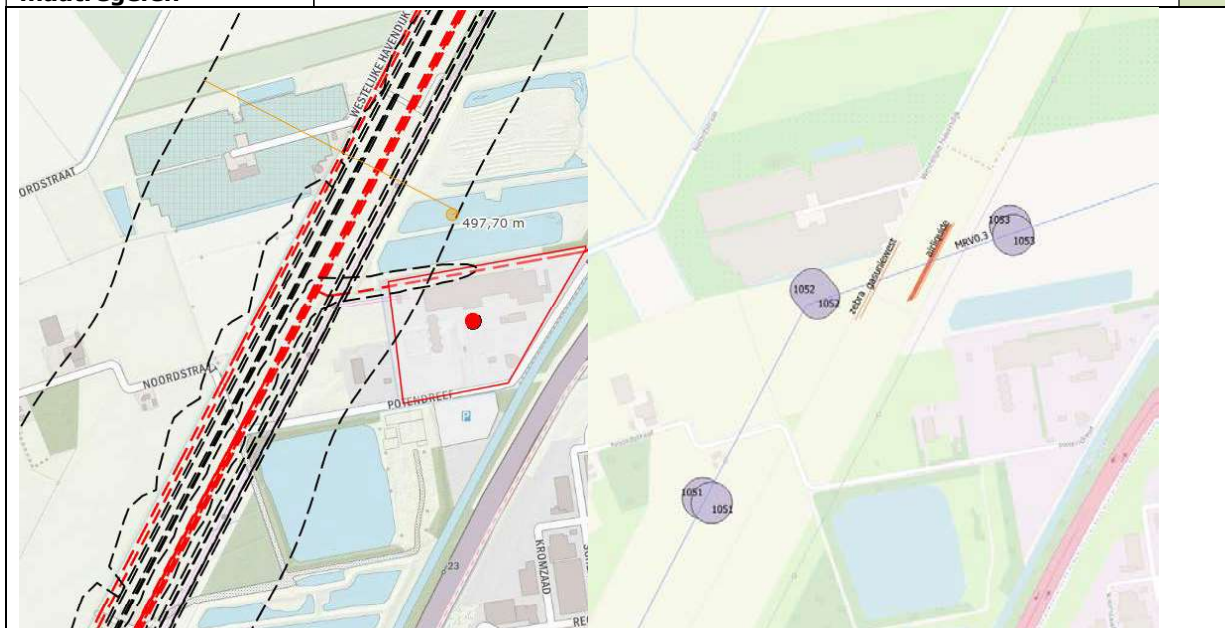
Conform eis NEN3654-001 is bij blootstelling van de geleiders aan een stralingsintensiteit groter dan  $3750 \text{ W/m}^2$  ten gevolge van brand of een explosie van een buisleiding het aanvaardbare risico  $10^{-5} \text{ km}^{-1} \text{ a}^{-1}$ .

Op basis van de risico contouren van  $10^{-6}/\text{jr}$  zoals weergegeven op de risico kaarten en het afstandscriterium van 20m waarvoor (bij een zware gasleiding) de stralingsintensiteit kleiner dan  $3750 \text{ W/m}^2$  zal zijn kan gesteld worden dat indien de afstand van de geleiders tot de risicocontour  $>20\text{m}$  is, er geen risico is op een overschrijding van de maximale stralingsintensiteit.

In de screenshots van de risicokaarten zijn de  $10^{-6}/\text{jr}$  contouren zwart gestippeld weergegeven. De positie van de buisleidingen is weergegeven met een rode stippellijn.

### 4.2.2 T1: Schade t.g.v. brand door leidingbreuk

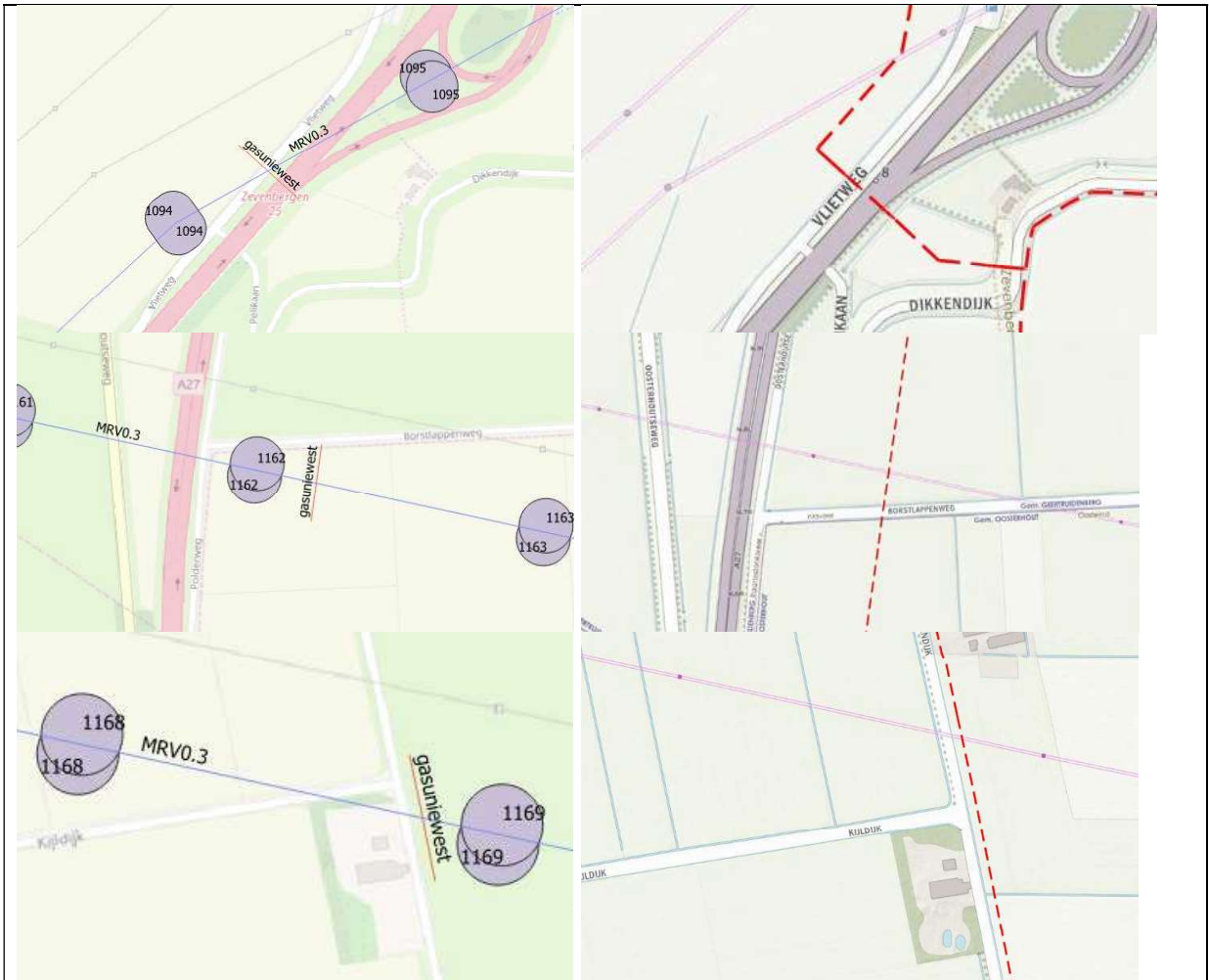
ID	Eigenaar	Type	Kortste afstand
T1:1	Air Liquide	Gevaarlijke inhoud	0m
<b>Beoordeling voor maatregelen</b>	Het tracé kruist de buisleidingstraat tussen mast 1052 en mast 1053.  De breedte van de grootste risicocontour op deze locatie is grofweg 500m en deze behoort bij de Zebra hoofd gastransportleiding  Masten 1050 tot en met 1053 staan binnen de risicocontour behorende bij bovengenoemde hoofd gastransportleiding. Er wordt aanbevolen om in de volgende fase de leidinggegevens op te vragen en aan de hand van een berekening te bepalen of het risico aanvaardbaar is.		
<b>Mogelijke maatregelen</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Verleggen van de leiding</li><li>- Verkabelen van stuk van de verbinding</li></ul>		
<b>Beoordeling na maatregelen</b>	Na toepassen van mitigerende maatregelen is het risico aanvaardbaar		



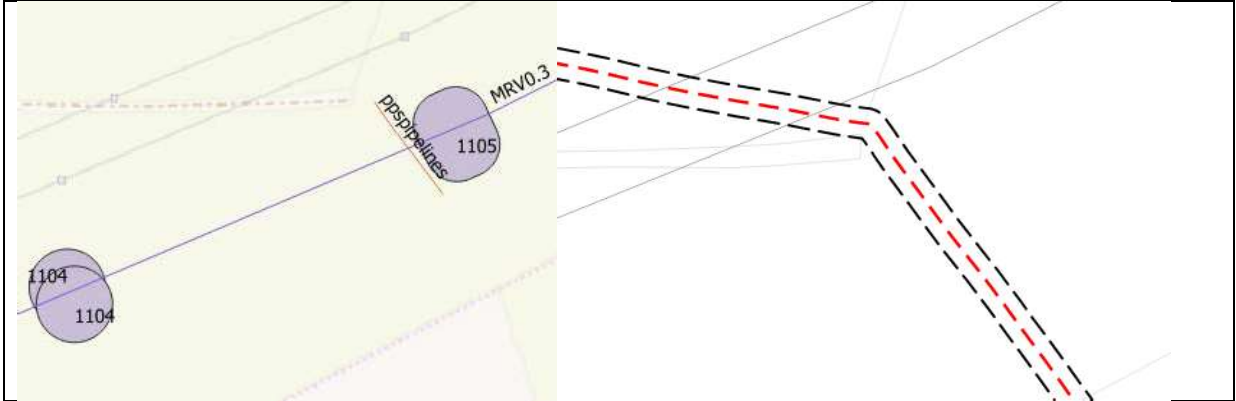
ID	Eigenaar	Type	Kortste afstand
T1:2	DOW Benelux	Gevaarlijke inhoud	0m
<b>Beoordeling voor maatregelen</b>	TenneT heeft vastgesteld dat vanwege het risico op thermisch beïnvloeding de leiding in principe verlegd dient te worden naar de buisleidingstraat waarmee het risico aanvaardbaar wordt.		
<b>Mogelijke maatregelen</b>	[-]		
<b>Beoordeling na maatregelen</b>	[-]		

ID	Eigenaar	Type	Kortste afstand
T1:3	DPO	Gevaarlijke inhoud	0m
<b>Beoordeling voor maatregelen</b>	M1007-M1008: Geen kruising met de $10^{-6}$ /jr risicocontour M1027-M1028: Geen kruising met de $10^{-6}$ /jr risicocontour M1052-M1053: Zie item T1.1, hierin wordt dezelfde kruising beoordeeld.		
<b>Mogelijke maatregelen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verleggen van de leiding</li> <li>- Verkabelen van stuk van de verbinding</li> </ul>		
<b>Beoordeling na maatregelen</b>	Na toepassen van mitigerende maatregelen is het risico aanvaardbaar		

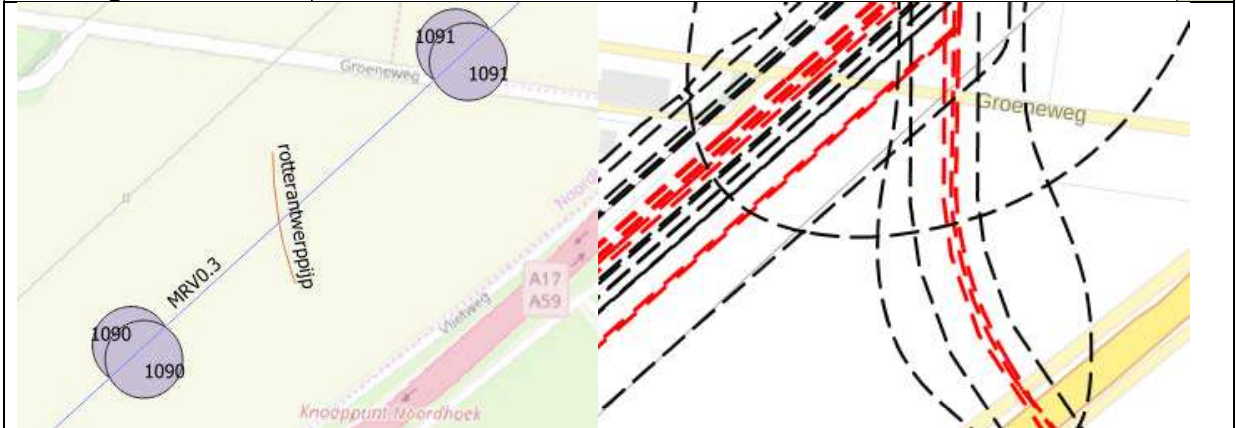
ID	Eigenaar	Type	Kortste afstand
T1:4	Gasuniewest	Gevaarlijke inhoud	0m
<b>Beoordeling voor maatregelen</b>	<p>M1040-M1041: Geen kruising met de <math>10^{-6}</math>/jr risico contour, het risico is aanvaardbaar.</p> <p>M1052-M053: Zie T1.1</p> <p>M1076-1077: Zie T1.10</p> <p>M1090-1091: Kruising met de <math>10^{-6}</math>/jr risico contour. Er wordt aanbevolen om in de volgende fase de leidinggegevens op te vragen en aan de hand van een berekening te bepalen of het risico aanvaardbaar is.</p> <p>M1094-1095: Geen kruising met risico contour, het risico is aanvaardbaar.</p> <p>M1162-1163: Geen kruising met risico contour, het risico is aanvaardbaar.</p> <p>M1168-1169: Geen kruising met risico contour, het risico is aanvaardbaar.</p>		
<b>Mogelijke maatregelen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verleggen van de leiding</li> <li>- Verkabelen van stuk van de verbinding</li> </ul>		
<b>Beoordeling na maatregelen</b>	Na toepassen van mitigerende maatregelen is het risico aanvaardbaar		



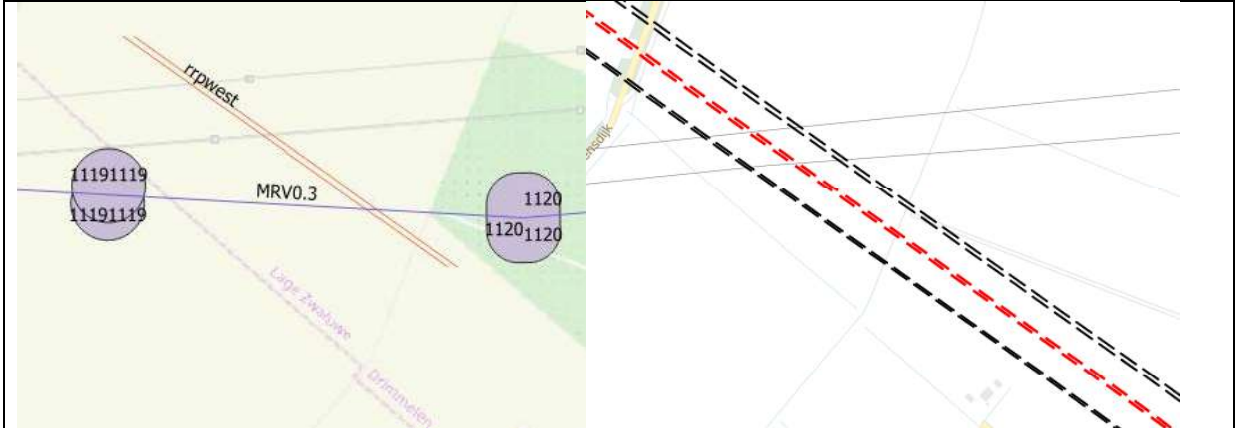
ID	Eigenaar	Type	Kortste afstand
T1:5	ppspipelines	Gevaarlijke inhoud	0m
<b>Beoordeling voor maatregelen</b>	Kruising met de $10^{-6}$ /jr risico contour. Er wordt aanbevolen om in de volgende fase de leidinggegevens op te vragen en aan de hand van een berekening te bepalen of het risico aanvaardbaar is.		
<b>Mogelijke maatregelen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verleggen van de leiding</li> <li>- Verkabelen van stuk van de verbinding</li> </ul>		
<b>Beoordeling na maatregelen</b>	Na toepassen van mitigerende maatregelen is het risico aanvaardbaar		



ID	Eigenaar	Type	Kortste afstand
T1:6	rotterantwerppijp	Gevaarlijke inhoud	0m
<b>Beoordeling voor maatregelen</b>	Kruising met de $10^{-6}$ /jr risico contour. Er wordt aanbevolen om in de volgende fase de leidinggegevens op te vragen en aan de hand van een berekening te bepalen of het risico aanvaardbaar is.		
<b>Mogelijke maatregelen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verleggen van de leiding</li> <li>- Verkabelen van stuk van de verbinding</li> </ul>		
<b>Beoordeling na maatregelen</b>	Na toepassen van mitigerende maatregelen is het risico aanvaardbaar		



ID	Eigenaar	Type	Kortste afstand
T1:7	rrpwest	Gevaarlijke inhoud	0m
<b>Beoordeling voor maatregelen</b>	Kruising met de 10 <sup>-6</sup> /jr risico contour. Er wordt aanbevolen om in de volgende fase de leidinggegevens op te vragen en aan de hand van een berekening te bepalen of het risico aanvaardbaar is.		
<b>Mogelijke maatregelen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verleggen van de leiding</li> <li>- Verkabelen van stuk van de verbinding</li> </ul>		
<b>Beoordeling na maatregelen</b>	Na toepassen van mitigerende maatregelen is het risico aanvaardbaar		

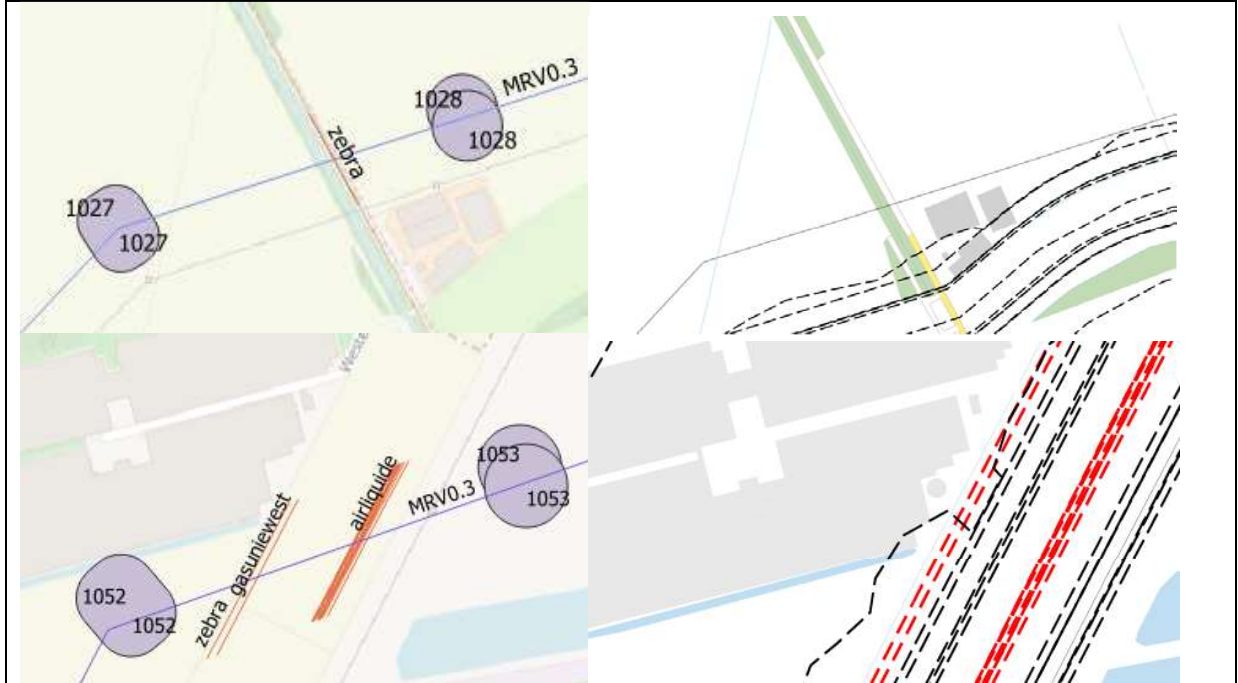


ID	Eigenaar	Type	Kortste afstand
T1:8	shellpipelines	Gevaarlijke inhoud	±172m
<b>Beoordeling voor maatregelen</b>	Geen kruising met risico contour behorende bij deze leiding, het risico is aanvaardbaar.		
<b>Mogelijke maatregelen</b>	[-]		
<b>Beoordeling na maatregelen</b>	[-]		





ID	Eigenaar	Type	Kortste afstand
T1:9	Zebra	Gevaarlijke inhoud	0m
<b>Beoordeling voor maatregelen</b>	M1027-M1028: Geen kruising met de $10^{-6}$ /jr risico contour.		
	M1052-M1053: Zie item T1.1, hierin wordt dezelfde kruising beoordeeld.		
<b>Mogelijke maatregelen</b>	[-]		
<b>Beoordeling na maatregelen</b>	[-]		

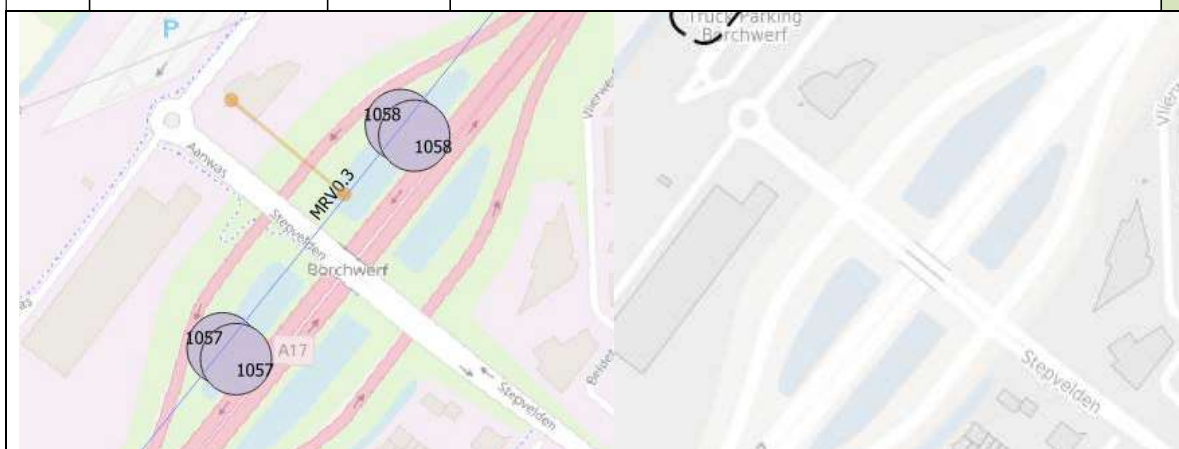


ID	Eigenaar	Type	Kortste afstand
T1:11	Enexis (hoge druk)	Gevaarlijke inhoud	0m
<b>Beoordeling voor maatregelen</b>	Geen kruisigingen met risico contouren behorende bij de Enexis leidingen, het risico is aanvaardbaar.		
<b>Mogelijke maatregelen</b>	[-]		
<b>Beoordeling na maatregelen</b>	[-]		

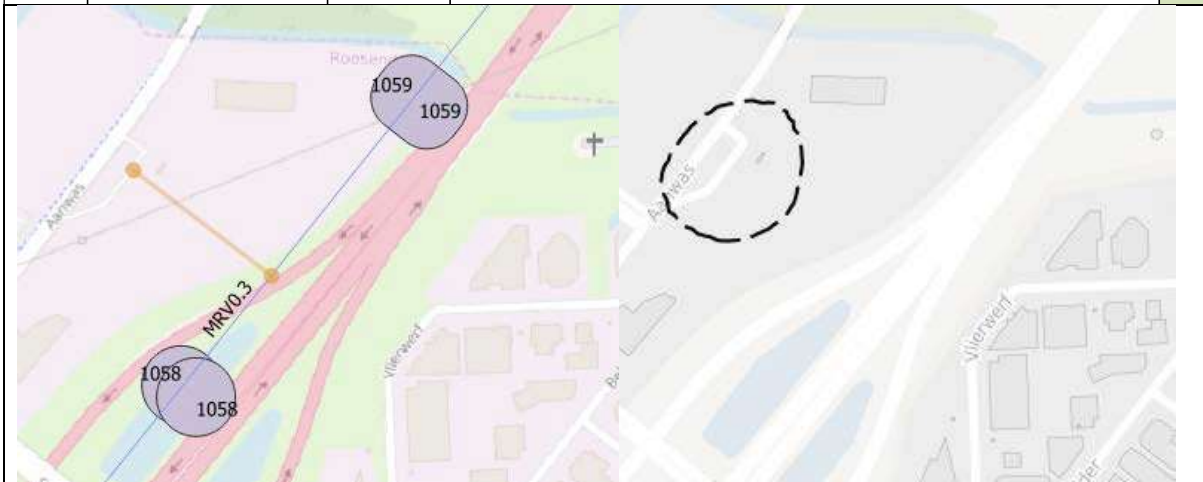
### 4.2.3 T2: Schade t.g.v. brand object

**Tabel 8 Objecten op afstand van <500m tot hartlijn tracé**

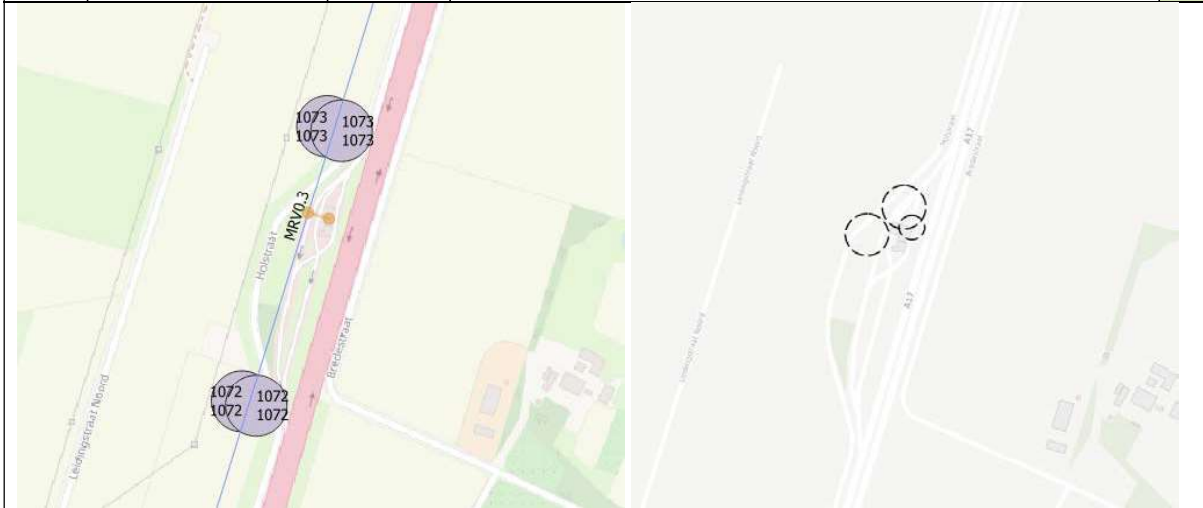
ID	Object	Kortste afstand	Beoordeling
T2:1	Tank Easy Roosendaal	±150m	<p>De centerlijn van het tracé kruist de <math>10^{-6}</math>/jr risico contour niet.</p> <p>Er dient echter opgemerkt te worden dat er een ogenschijnlijke mismatch is tussen het middelpunt van de risico contour en de daadwerkelijke locatie van het tankstation.</p> <p>De breedte van de risico contour is ±55m. Indien de risicocontour over het middelpunt van het tankstation wordt gelegd is de afstand tot het middelpunt van het tracé ±95m</p> <p>De kans op een plasbrand als gevolg van een incident met een tankwagen benzine op een tankstation is klein. Op een tankstation is de kans <math>5,8 \times 10^{-9}</math> per (verladings)uur. Om tot een niveau van <math>10^{-5}</math> te komen zijn dan <math>10^{-5}/5,8 \times 10^{-9} = 1700</math> uur per jaar nodig. Dat komt neer op <math>8760/1700 =</math> meer dan 4x per dag dat is onrealistisch.</p> <p>Het risico is derhalve aanvaardbaar.</p>



T2:2	Truck Easy Roosendaal	±150m	<p>De diameter van de risico contour is ±125m.</p> <p>De afstand van de hartlijn van het tracé tot de rand van de risicocontour is ±25m</p> <p>De centerlijn van het tracé kruist de <math>10^{-6}</math>/jr van de risico contour niet.</p> <p>De kans op een incident met een tankwagen op een LPG-tankstation is klein. Op een LPG-tankstation is de kans <math>5,8 \cdot 10^{-10}</math> per (verladings)uur en dus nog kleiner dan een vloeistofbrand. Gezien de vergelijkbare <math>10^{-6}</math>/jr risicocontouren en afstand tot de HSL is het risico aanvaardbaar.</p> <p>Dit wordt bevestigd door de Risicoanalyse / LNG-tankstation Bergen op Zoom, 13 november 2018. Hierin zijn de gecumuleerde risico's steeds lager dan <math>10^{-5}</math>. Bepalend hiervoor is het scenario breuk van de slang van de tankauto; dit geeft geen risico op warmtestraling op de HSL.</p>
------	--------------------------	-------	---



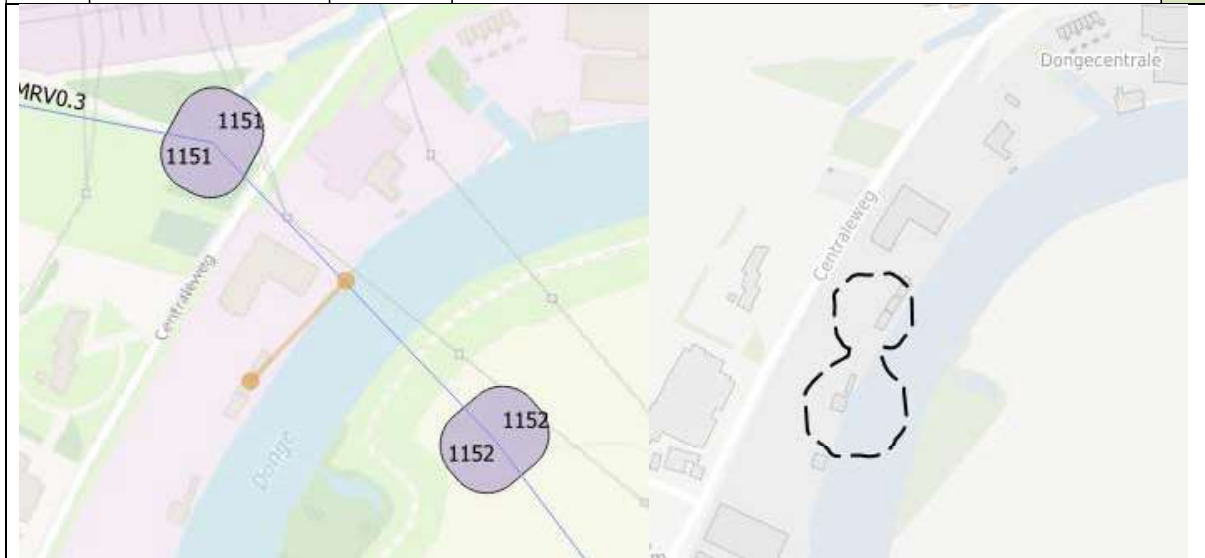
T2:3	Esso Oud Gastel	±20m	<p>De diameter van de risico contour is ±50m.</p> <p>De centerlijn van het tracé kruist de <math>10^{-6}</math>/jr van de risico contour.</p> <p>De kans op een plasbrand als gevolg van een incident met een tankwagen benzine op een tankstation is klein. Op een tankstation is de kans <math>5,8 \times 10^{-9}</math> per (verladings)uur.</p> <p>Om tot een niveau van <math>10^{-5}</math> te komen zijn dan <math>10^{-5}/5,8 \times 10^{-9} = 1700</math> uur per jaar nodig Dat komt neer op <math>8760/1700 =</math> meer dan 4x per dag dat is onrealistisch.</p> <p>Het risico is derhalve aanvaardbaar.</p>
------	-----------------	------	---



T2:4	BP Keizershof	±200m	<p>De diameter van de risico contour is ±80m.</p> <p>De afstand van de hartlijn van het tracé tot de rand van de risicocontour is ±120m</p> <p>De centerlijn van het tracé kruist de <math>10^{-6}</math>/jr van de risico contour niet.</p>
------	---------------	-------	--



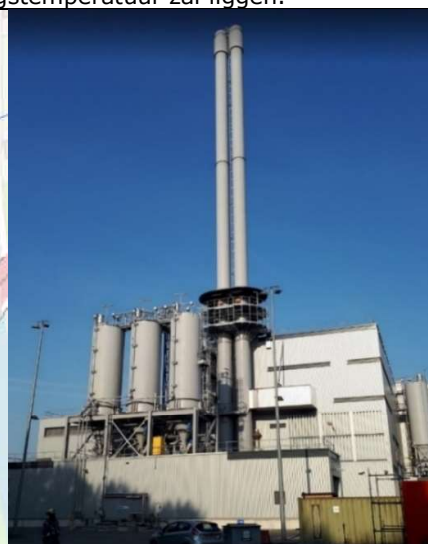
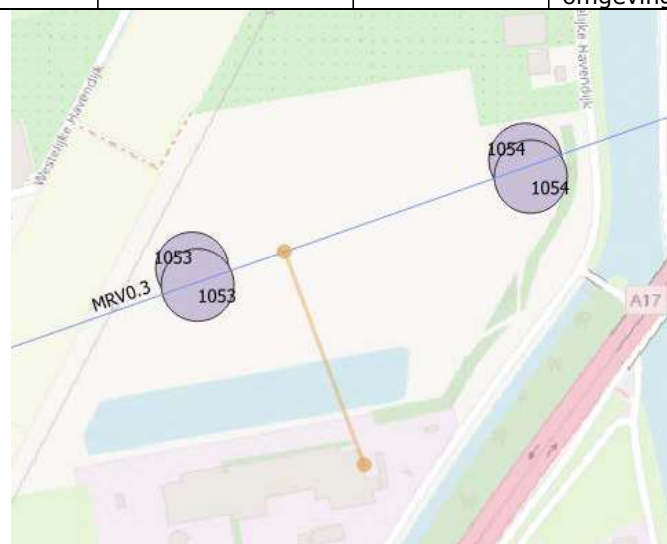
T2:5	VARO	±120m	<p>De afstand van het middelpunt van bovenste 'cirkel' tot de rand van de risico contour is ±45m.</p> <p>De afstand van de hartlijn van het tracé tot de rand van de risicocontour is ±75m</p> <p>De centerlijn van het tracé kruist de <math>10^{-6}</math>/jr van de risico contour niet.</p>
------	------	-------	---



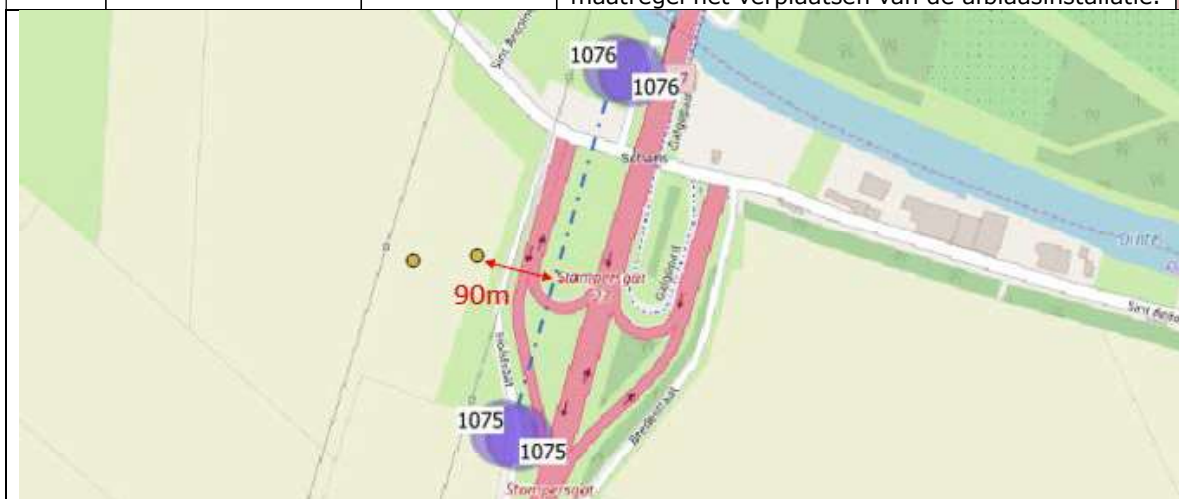
#### 4.2.4 T3: Schade t.g.v. verhitting door uitlaatgassen

**Tabel 9 Objecten met schoorstenen op afstand van <250m tot hartlijn tracé**

ID	Eigenaar	Kortste afstand	Omschrijving
T3:1	Suez ReEnergy	±220m	Ten noordwesten van Roosendaal bevindt zich een afvalverbrandingscentrale. De schoorsteen van deze installatie bevindt zich grofweg op 220m van het beoogde tracé. De schoorsteen is 80m hoog en het rookgas heeft een temperatuur van 140°C. Indien de wind in de meest kritische richting staat en de rookgassen de verbinding bereiken, is de verwachting dat deze zullen zijn verdund tot een niveau waarbij de temperatuur <10°C boven de omgevingstemperatuur zal liggen.

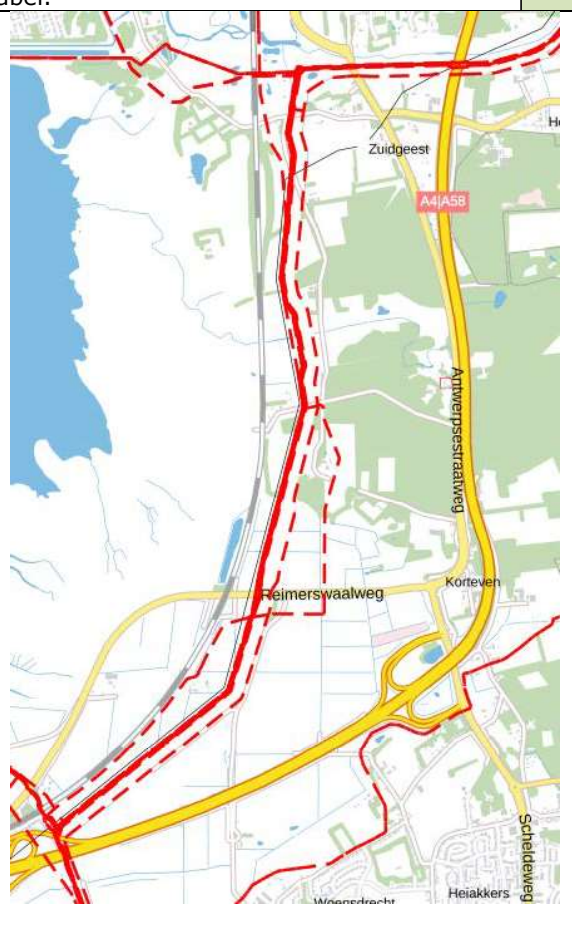
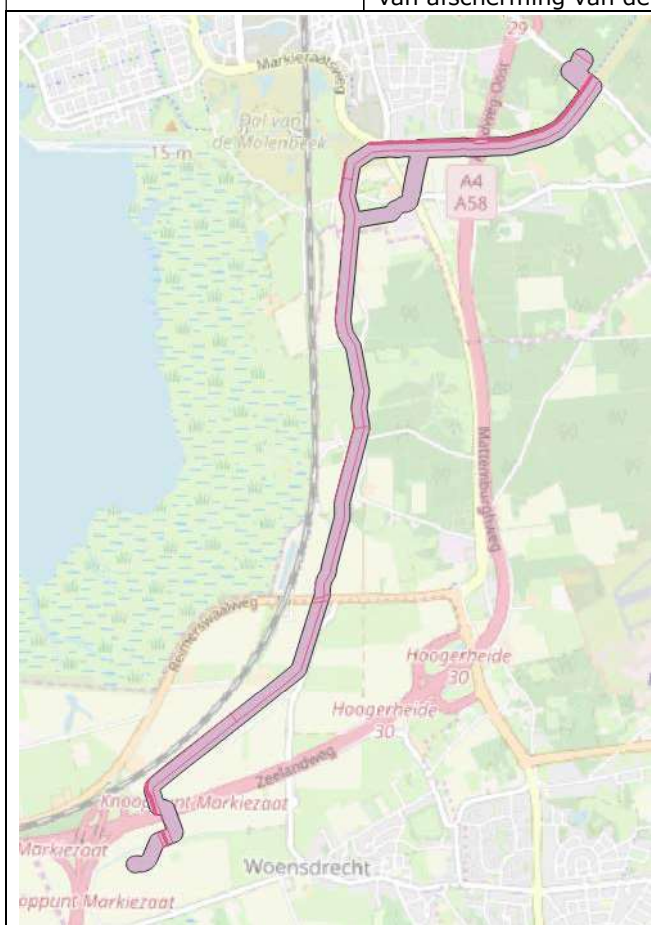


T3:2	Afblaasinstallatie	±90m	Op dit moment kan niet met zekerheid gesteld worden of deze afblaas installaties de hoogspanningslijn ontoelaatbaar kunnen beïnvloeden. Mocht het risico wel te hoog is, is een mitigerende maatregel het verplaatsen van de afblaasinstallatie.
------	--------------------	------	--



#### 4.2.5 T4: Schade t.g.v. verminderde mechanische eigenschappen bij verhitting door brand

ID	Eigenaar	Type	Kortste afstand
T4:1 – T4:7	Meerdere	Gevaarlijke inhoud/Gas	0m
<b>Beoordeling voor maatregelen</b>	<p>Een deel van het kabeltracé bevindt zich in een leidingstraat waarin zich ook leidingen met gevaarlijke inhoud en of gas bevinden. Indien een van deze leidingen breekt en er een brand ontstaat, bestaat de kans op ontoelaatbare thermische beïnvloeding van de nabijgelegen hoogspanningskabels.</p> <p>Op dit moment kan niet uitgesloten worden dat de kabels ontoelaatbaar thermisch beïnvloed worden. Er wordt daarom aangeraden om een vervolgstudie uit te voeren waarbij deze risico's in kaart gebracht worden.</p>		
<b>Mogelijke maatregelen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verleggen van de leiding</li> <li>- Afschermen van de hoogspanningskabel door plaatsing in een tunnelgoot- of bak</li> </ul>		
<b>Beoordeling na maatregelen</b>	<p>Met de resultaten uit een vervolgstudie kan beter in kaart gebracht worden op welke locaties er sprake is van ontoelaatbare beïnvloeding of er noodzaak is op het verleggen van een leiding of het toepassen van afscherming van de kabel.</p>		





## 5 VERIFICATIE RAPPORT

Eis ID	Beoordeling	Locatie	Toelichting
002.678.20 0429436-1- 0036	NB	Hoofdstuk 4.1.1	De leidingen op een afstand van <30m tot de mast fundamenteën zijn in kaart gebracht en beoordeeld.  In het volgende rapport dient per ge-inventariseerde leiding bekeken te worden in hoeverre er kans is op onderspoeling.
002.678.20 0429436-1- 0072	NB	Hoofdstuk 4.2.4	Nabije afblaas/affakkelstations zijn ge-identificeert in hoofdstuk 4.2.4  In de vervolgstap dient per ge-identificeert afblaas/affakkelstation beoordeeld worden de stralingsintensiteit van de fakkel op de geleiders de grenswaarde overschrijdt.  Hiervoor is de volgende aanvullende informatie benodigd: - Is de verwachting dat deze fakkels vaak of incidenteel gebruikt zullen worden? - Welke stoffen kunnen hier afgeblazen/ afgefakkeld worden? - Wat zijn de te verwachten debieten tijdens het afblazen?
002.678.20 0429436-1- 0074	NB	Hoofdstuk 4.2.4	Nabije afblaas/affakkelstations zijn ge-identificeert in hoofdstuk 4.2.4  In de vervolgstap dient per ge-identificeert afblaas/affakkelstation beoordeeld worden of de afstand tot de HSP-lijn zodanig is dat een eventuele gaspluim niet kan worden ontstoken door coronaontlading  Hiervoor is de volgende aanvullende informatie benodigd: - Welke stoffen kunnen hier afgeblazen worden? - Wat zijn de te verwachten debieten tijdens het afblazen?
LSNed-0006	V	Hoofdstuk 4.2.4	Het tracé kruist de buisleidingstraat, maar niet boven afluiterstations, affakkelpunten of afblaasvoorzieningen. De nabije in kaart gebrachte affakkelpunten/afblaasvoorzieningen zijn opgenomen in T3:2 en het tracé loopt hier parallel aan de buisleidingstraat.
NEN3654- 001	NB	Hoofdstuk 4.2.2	Op basis van deze eis is een afstandscriterium gedefinieerd op basis waarvan een inventarisatie is uitgevoerd. Leidingen op een afstand van <50m tot de hartlijn van het tracé zijn hierbij in kaart gebracht.  In de vervolgstap dient per ge-identificeerde buisleiding gekeken te worden in hoeverre de warmtestraling t.g.v. een mogelijke leidingbreuk tot ontoelaatbare thermische beïnvloeding kan leiden.

V: Er wordt aan de eis wordt voldaan

VN: Er wordt niet aan de eis voldaan

NB: Nadere beoordeling is benodigd



## 6 REFERENTIES

- 1 NEN 3650-1 Eisen voor buisleidingsystemen-deel 1; Algemeen
- 2 NEN 3651; Aanvullende eisen voor buisleidingen in of nabij belangrijke waterstaatswerken
- 3 Mastbergen D.R. Ontgroning bij persleidingbreuk of lek, Deltares 2010

## APPENDIX A

### Voorbeeld berekeningen ontgravingsdiepte

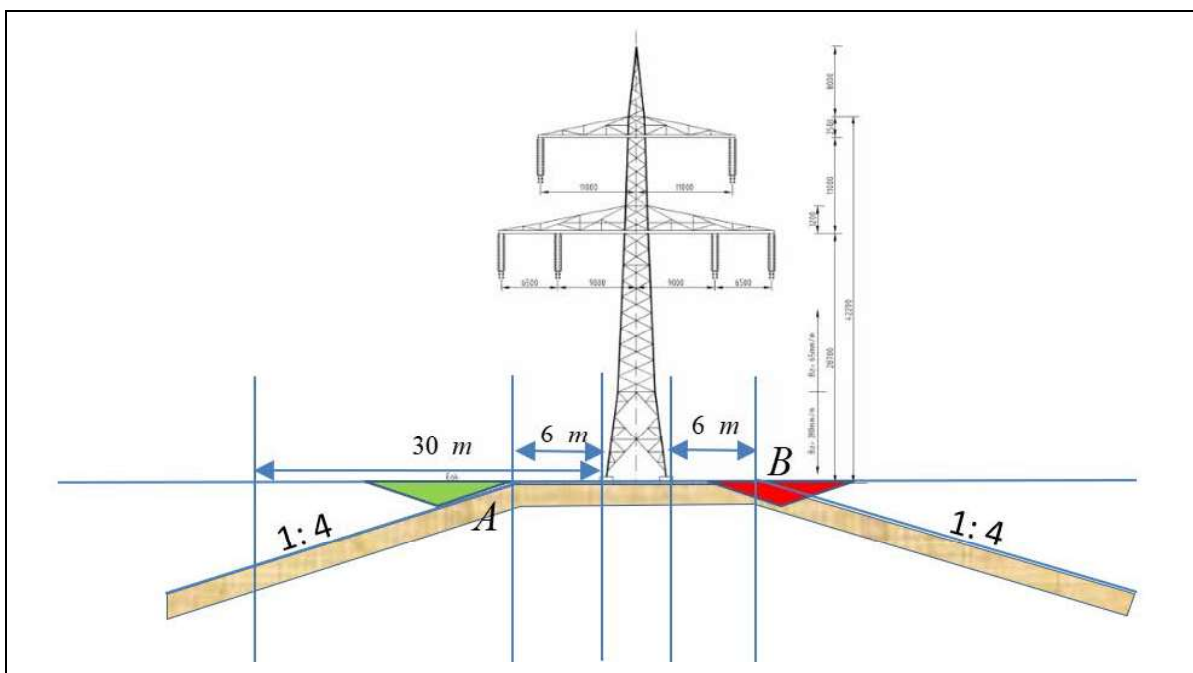
#### Beïnvloeding van fundering mast

Op basis van de veiligheidsinstructie (2012) van TenneT mag worden aangenomen dat bij het ontwerp van de fundering; en dan gaat het in het bijzonder om het trekdraagvermogen van de palen dat idealiter meestal maatgevend is, rekening wordt gehouden met een 'terp grond', met de minimale afmeting van 6 m, ter weerszijden van de mast, en daarna aflopend onder een helling van 1:4, boven de grondwaterspiegel en 1:7, als het talud zich verder onder de GW spiegel voortzet.

In het geval van leidingbreuk binnen de straal van 30m om het fundament van de mast kunnen de volgende 2 scenario's gedefinieerd worden:

- A) Ontgroning doorkruist de 'terp' niet; geen beïnvloeding
- B) Ontgroning snijdt de terp aan, herberekening van het draagvermogen van funderingselementen.

Dit is weergegeven in Figuur 5.



**Figuur 5 Beïnvloeding van de fundering van een hoogspanningsmast**

In een 1e termijn kan dan worden vastgesteld welke leidingen zich binnen de invloed zone van 30m vanaf de voet van de mast bevinden. In 2e termijn wordt per geval beoordeeld welke ontgrondingskuil bij dat type leiding als karakteristiek moet worden aangemerkt en dan kan in 3e termijn, voor die leidingen waarbij de ontgrondingskuil de te beschermen terp aansnijdt een herberekening plaats vinden van het trek en het druk draagvermogen van de funderingselementen onder de mast.

#### Ontgroning door leidingbreuk

Voor wat betreft de ontgrondingen door leidingbreuk worden in de verschillende leidraden in het bijzonder een tweetal publicaties genoemd. De eerste betreft de NEN 3651, "de aanvullende eisen voor buisleidingen in of nabij belangrijke waterstaatswerken. In deze publicatie staat in het bijzonder een

rekenmodel beschreven waarmee de grootte van ontgrondingskuilen bij gasleidingen wordt beschreven; in bijlage A van deze norm. Het gaat dan zowel om de afmetingen van de bij breuk ontstane erosiekuil door weggeblazen of weg gestroomd materiaal en daarnaast de 'krater' die kan ontstaan bij de explosie van een gasleiding; in het bijzonder hoofdgasleidingen onder hoge druk.

In deze norm wordt daarnaast als bron verwezen naar de publicatie van Mastbergen van Deltares, die in 1991, op basis van een her evaluatie van eerder model onderzoek van het Waterloopkundig laboratorium een vertaalslag heeft gemaakt waarmee een meer algemene formulering voor de erosie werd gevonden, zowel voor hoge als lage druk.

Met behulp van deze modellen zijn voor een aantal karakteristieke typen van leidingen indicatief de afmeting van erosiekuilen berekend, waarvan een uitwerking in de volgende paragraaf.

### Reductie van het draagvermogen als gevolg van ontgroning

Volgens artikel 7.6.2.3 van NEN-EN 1997-1, wordt de sondeerwaarde, die als basis geldt voor de bepaling van zowel het trek als het druk draagvermogen van een paalfundering, indien er sprake is van een ontgraving aangepast op basis van de mate van verandering van de verticale korrelspanning. In het voorliggende geval van een erosiekuil, leidt dit tot een ontlasting van de ondergrond wat vergelijkbaar is met het effect van een ontgraving; in dat geval moet de sondeerwaarde worden gecorrigeerd volgens;

$$q_{c;z;ontgr} = q_{c;z} \cdot \sqrt{\frac{\sigma'_{v;z;ontgr}}{\sigma'_{v;z;0}}}$$

Op basis van een aanvullende analyse; bijvoorbeeld met Boussinesq of op basis van een EEM analyse kan worden berekend, per grondlaag, wat de verandering van de verticale effectieve spanning is als gevolg van het verdwijnen van een gedeelte van het grondmassief. Op basis daarvan kan een correctie worden uitgevoerd op de sondeerwaarde die als basis wordt gebruikt voor de berekening van het draagvermogen; zowel voor palen op druk en/of palen op trek. Vervolgens kan op de gebruikelijke wijze de rekenwaarden voor trek en druk draagvermogen worden bepaald.

Behalve voor een situatie van een diepgelegen persleiding of voor een grote diameter gasleiding, waarbij grote ontgrondingskuilen kunnen ontstaan is de verwachting dat de reguliere ontwerpmarge die bij het berekenen van de Unity Check voor de fundering wordt gehanteerd voldoende ruimte zal bieden om dit type aanvullend onheil het hoofd te bieden.

Behalve in het bijzondere geval van een exploderende gasleidingen waarbij de ontgrondingskuil nog enkele m. dieper kan zijn dan de onderkant van de leiding zal de ontlasting van de ondergrond bij kleinere diameters vloeistof leiding toch beperkt zijn.

Daarbij kan nog in overweging worden genomen dat het hier om een niet reguliere belasting gaat die ook gezien kan worden in de categorie calamiteit; in dat geval wordt meestal gerekend met verlaagde belasting factoren, waardoor overall veiligheid factor als voldoende kan worden aangemerkt.

## Voorbeeldberekeningen

### Pers riool onder druk

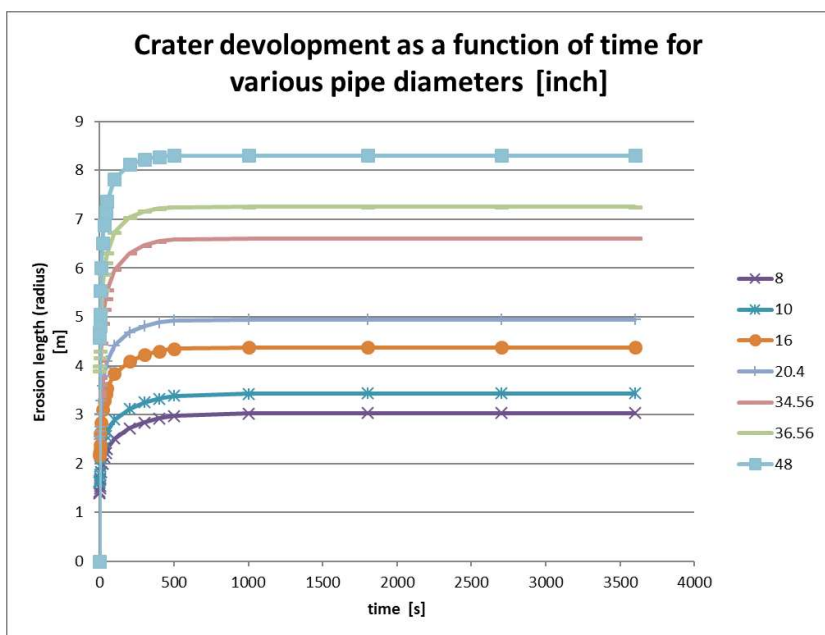
Diameter D	0.60 m	$d/D = 1.0; V = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} = 5 \text{ m/sec}$
Grond dekking	1.50 m	
$\mu$	1.0	straal van de erosiekuil $\zeta = 6.28 \text{ m}$
$\rho$	1000 kg/m <sup>3</sup>	
d	1.0 m	kuildiepte = $1.2(D + \delta) = 2.52 \text{ m}$
opvoerhoogte druk H	1.25 m	

### Hoofd waterleiding:

Diameter D	0.20 m	$d/D = 1.0; V = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} = 22.3 \text{ m/sec}$
Grond dekking	1.25 m	
$\mu$	1.0	straal van de erosiekuil $\zeta = 8.90 \text{ m}$
$\rho$	1000 kg/m <sup>3</sup>	
d	0.2 m	kuildiepte = $1.2(D + \delta) = 1.74 \text{ m}$
opvoerhoogte druk H	25 m	

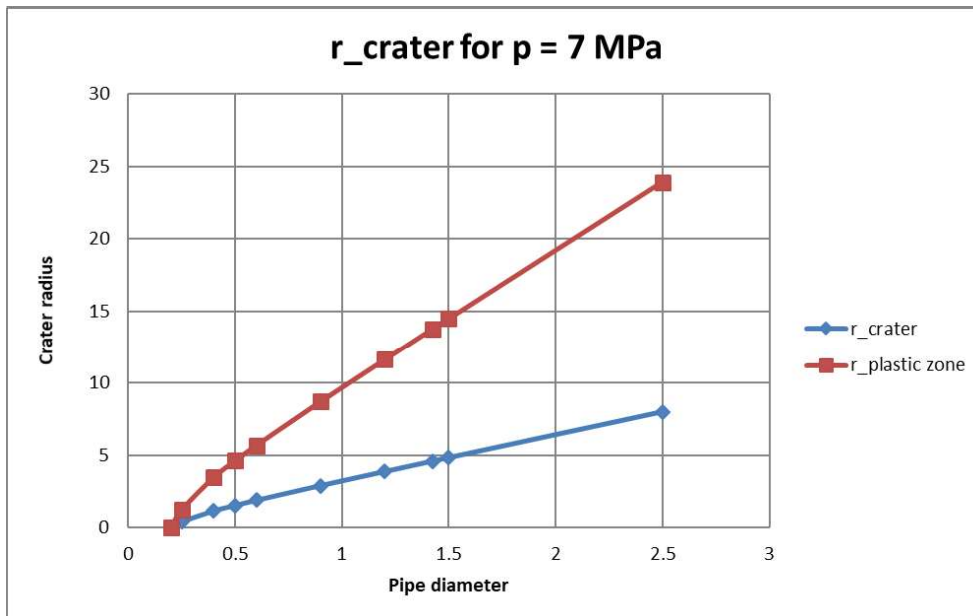
### Hoofd gasleiding

Diameter D	1.0 m	In het kader van onderzoek in 2014 zijn met het model van NEN 3651, in vereenvoudigde vorm, berekeningen uitgevoerd, waaruit voor een 1m (40 inch), diameter gasleiding naar 2 uur een ontgrondingskuil wordt berekend van ca 7.00m, Zie Figuur 6.
Grond dekking	1.5 m	
$\mu$	1.0	
$\rho$	1.5 kg/m <sup>3</sup>	
d	0.5 m	
opvoerhoogte druk H	500 m	



Figuur 6 Straal van een erosiekuil, als functie van de uitstroomtijd van een hoofdgasleiding

In het geval van een explosie, kan ook een explosie krater ontstaan, die afhankelijk van de diameter een straal kan hebben van, zie Figuur 7.



**Figuur 7 Straal krater bij explosie buisleiding met inwendige druk 70 bar**



## **OVER DNV GL**

DNV GL is een wereldwijd bedrijf voor kwaliteitsborging en risicobeheer. Vanuit haar streven leven, bezit en het milieu te beschermen stelt DNV GL organisaties in staat de veiligheid en duurzaamheid van hun activiteiten te bevorderen. DNV GL biedt classificering en technische borging, naast software en onafhankelijk, deskundig advies voor de maritieme, de olie- en gasindustrie, energiecentrales en de duurzame energiesector. Daarnaast biedt het bedrijf certificeringsservices en datamanagement voor klanten in uiteenlopende sectoren. Onze medewerkers zijn actief in meer dan 100 landen over de hele wereld en streven ernaar klanten te helpen de wereld veiliger, slimmer en groener te maken.

A.2A 002.678.20 1186642

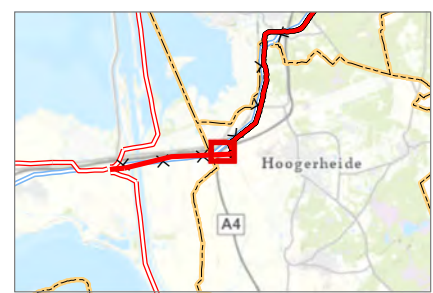
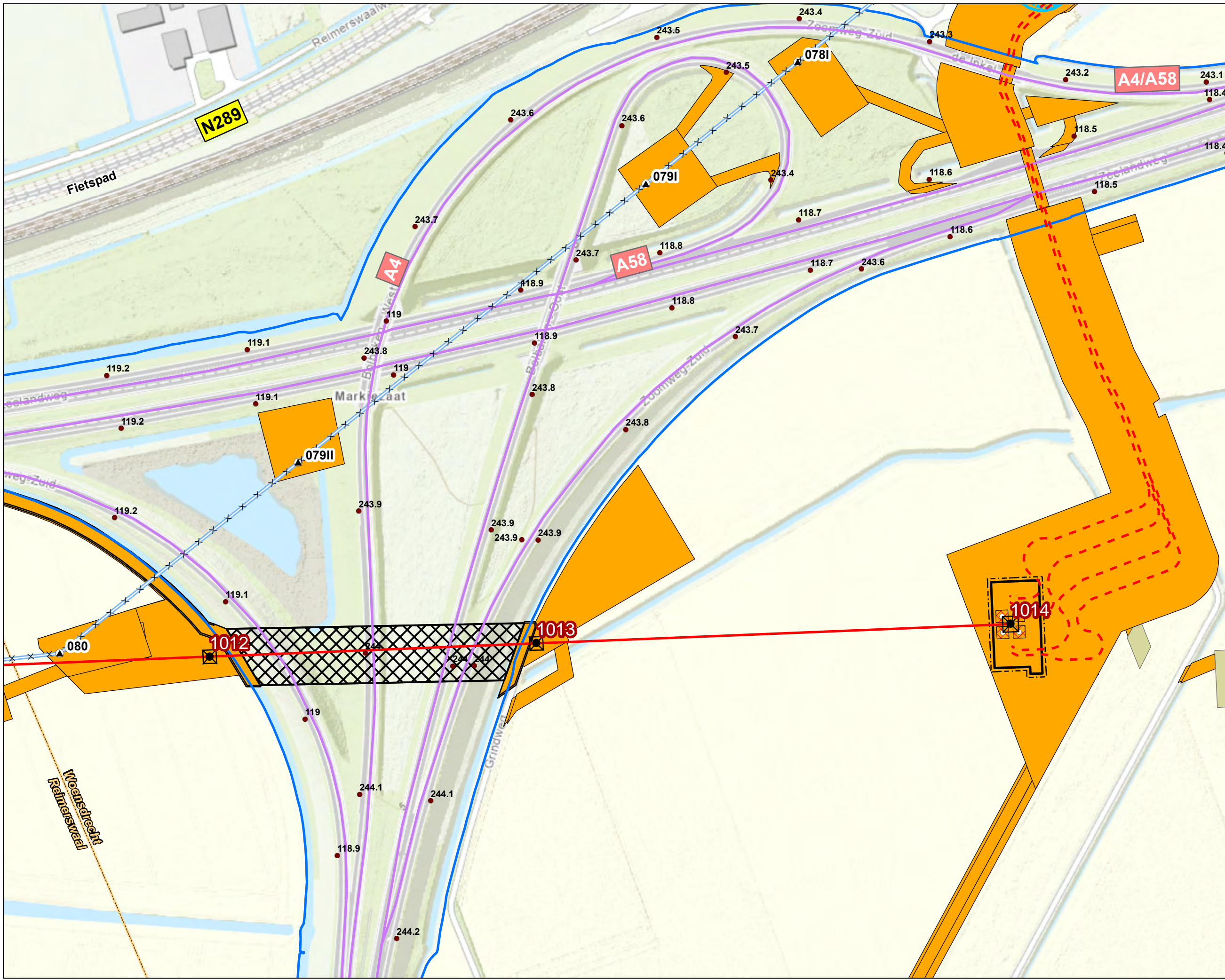
Detailkaarten\_kruisingen\_masten\_en\_of\_boringen\_incl\_werkterreinen



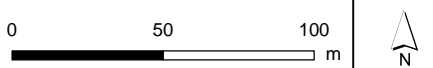


**Legenda**

- VKA2.0.1**
- Solo 380 kV
  - - - 380kV kabel
  - × × Te amoveren verbinding
  - Fundaties
  - Ontgravingsvlak
  - Opstijgpunten
  - Opstijgpunten +2.5m
  - Indicatieve mastpunten
  - ▲ Te amoveren masten
  - Traversen - symbol
  - Werkterreinen en werkwegen
  - Stalen jukken - Juk
- Bestaande verbinding**
- 150 kV bovengronds
  - Masten
- Nieuwe 150kV kabeltracés**
- - - open ontgraving
  - Gemeentegrenzen
  - Stalen jukken - Juk
  - Lierterreinen
  - Werkterreinen/werkwegen
  - RWS Beheergrens



Versie	VKA 2.0.1	Datum	25/06/2023
Schaal	1:2,500	Formaat	A3
Kenmerk	<small>02022_wg0112439en.mxd 02022_wg0112439en_20230625_10:10:00_02022_wg0112439en_20230625_10:10:00</small>		

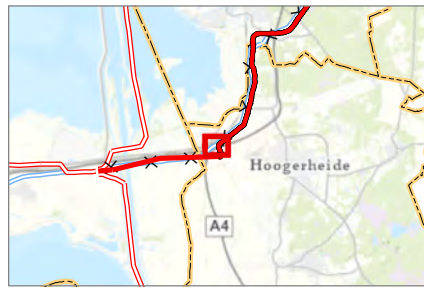
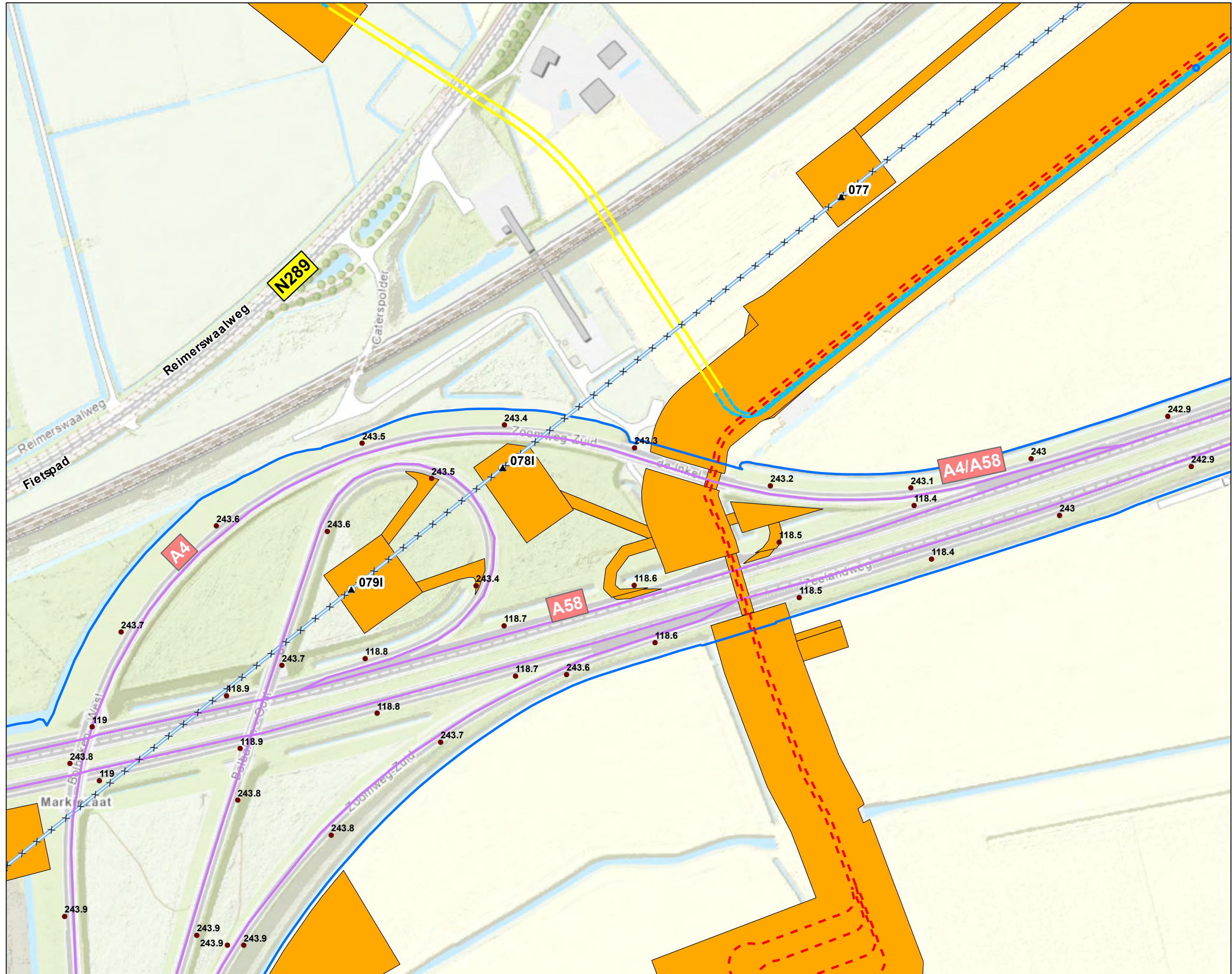




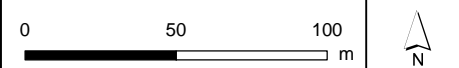
**Legenda**

**VKA2.0.1**

- - - 380kV kabel
- × × Te amoveren verbinding
- ▲ Te amoveren masten
- Werkterreinen en werkwegen
- Bestaande verbinding**
- 150 kV bovengronds
- Masten
- Nieuwe 150kV kabeltracés**
- - - boring
- - - open ontgraving
- moflocatie
- Gemeentegrenzen
- Werkterreinen/werkwegen
- RWS Beheergrens



Versie	VKA 2.0.1	Datum	25/06/2023
Schaal	1:2,500	Formaat	A3
Kenmerk	<small>000001_wgk_20230625.mxd                  000001_wgk_20230625.mxd                  000001_wgk_20230625.mxd</small>		











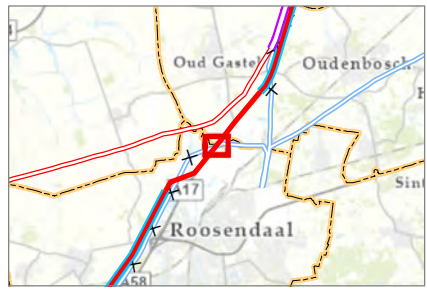
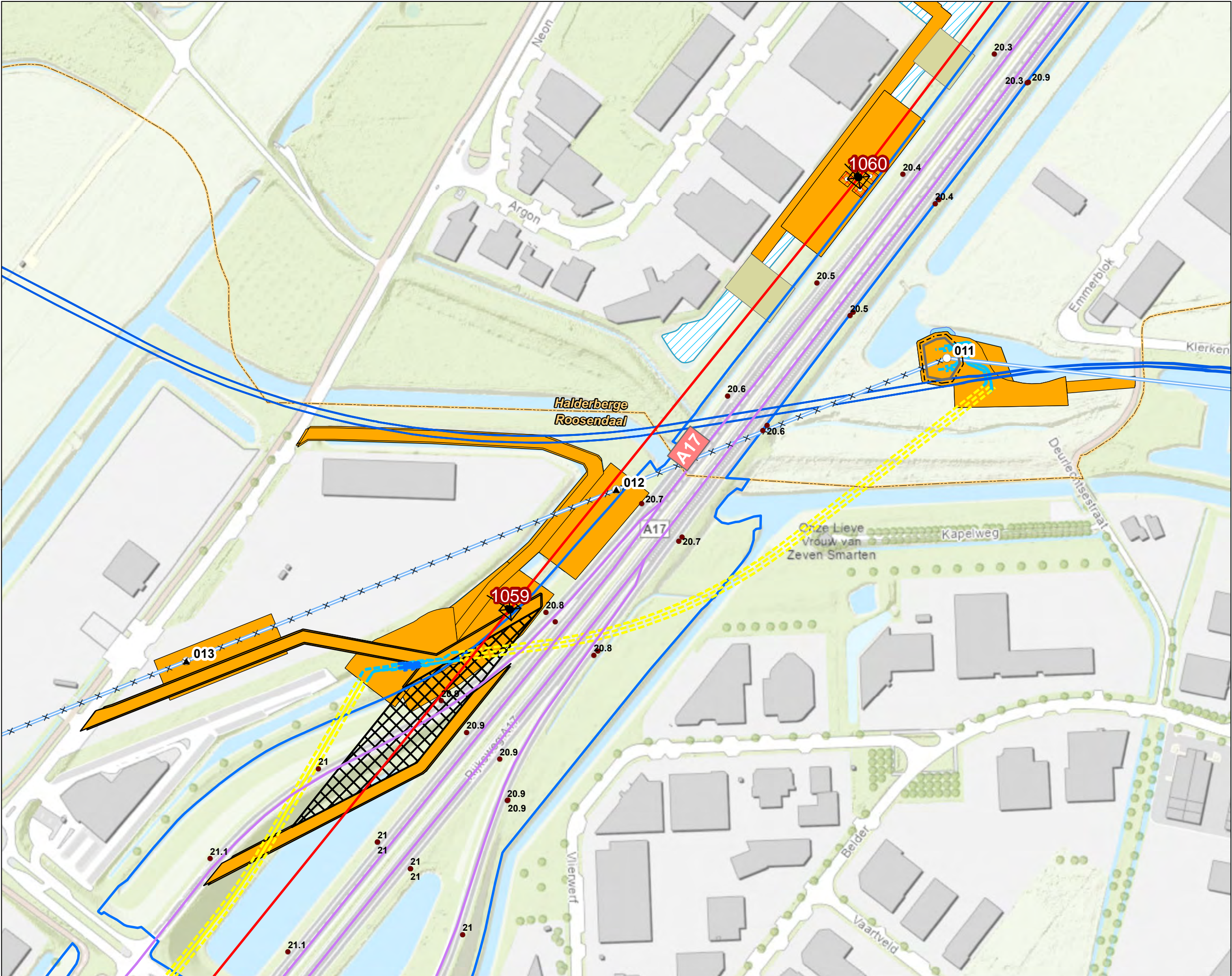




**Legenda**

**VKA2.0.1**

- Solo 380 kV
- × × Te amoveren verbinding
- Fundaties
- ▨ Ontgravingsvlak
- ▭ Opstijppunten Reconstructie
- - - Opstijppunten Reconstructie + 2.5m
- Indicatieve mastpunten
- ▲ Te amoveren masten
- Traversen - symbool
- Werkterreinen en werkwegen
- Watergang permanent omleggen
- ▨ Watergang tijdelijk dempen
- ▨ Stalen jukken - Juk
- Bestaande verbinding**
- 150 kV bovengronds
- 150 kV ondergronds
- Masten
- Nieuwe 150kV kabeltracés**
- - - boring
- - - open ontgraving
- moflocatie
- ▭ Gemeentegrenzen
- ▨ Stalen jukken - Juk
- Lierterreinen
- Werkterreinen/werkwegen
- ▭ RWS Beheergrens



Versie	VKA 2.0.1	Datum	25/06/2023
Schaal	1:2,500	Formaat	A3
Kenmerk	<small>20220_sap\planning\mnl\11000000\plan\11000000\2023-06\25-06-2023\11000000_2023-06-25-06-2023_11000000.mxd</small>		

0 50 100 m

N

Aan deze tekening kunnen geen rechten worden ontleend. © TenneT TSO B.V.

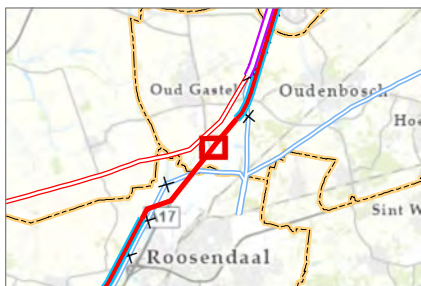
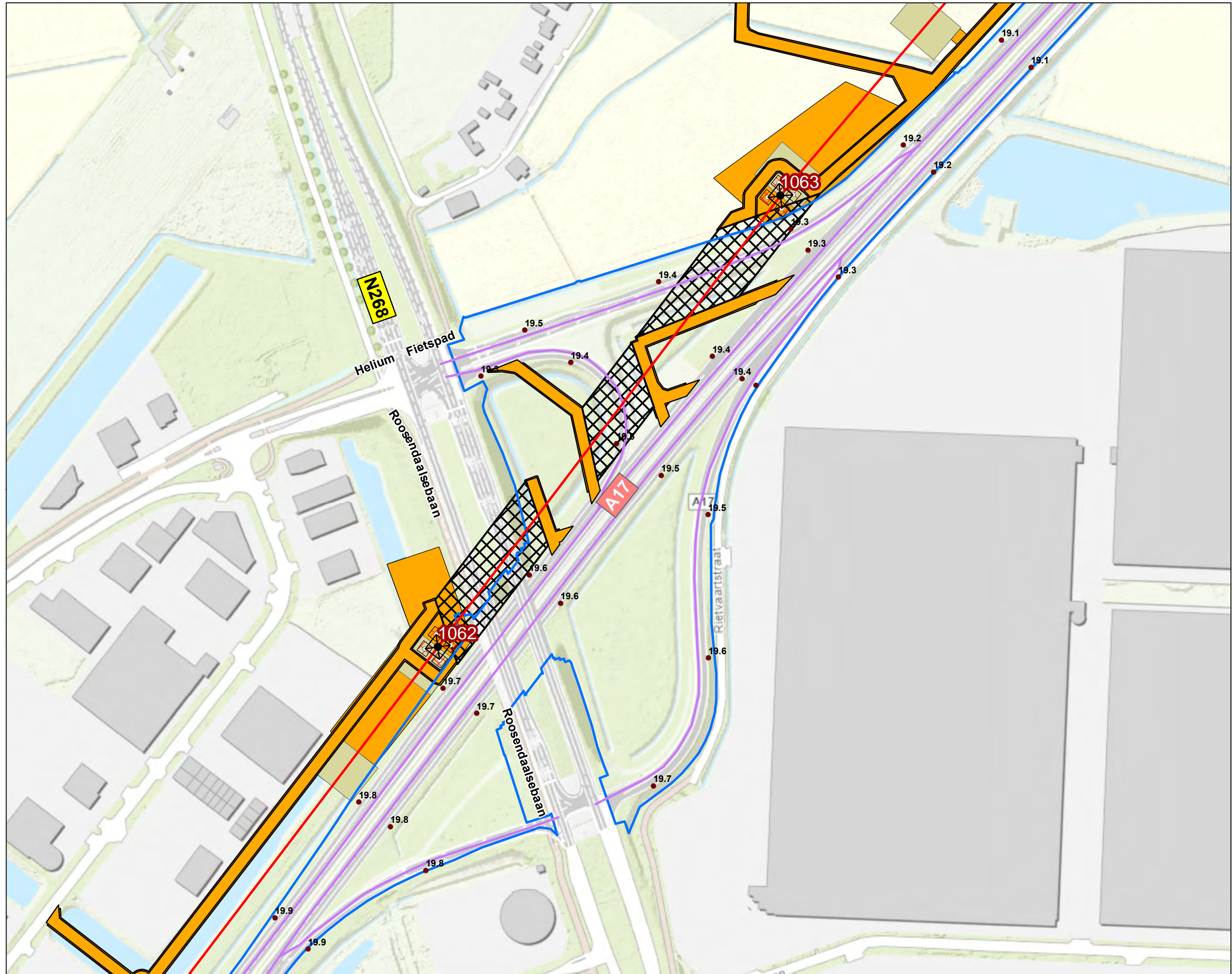




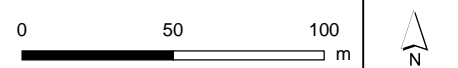
**Legenda**

VKA2.0.1

- Solo 380 kV
- Fundaties
- Ontgravingsvlak
- Indicatieve mastpunten
- Traversen - symbool
- Werkterreinen en werkwegen
- Watergang tijdelijk dempen
- Stalen jukken - Juk
- Gemeentegrenzen
- Stalen jukken - Juk
- Lierterreinen
- RWS Beheergrens



Versie	VKA 2.0.1	Datum	25/06/2023
Schaal	1:2,500	Formaat	A3
Kenmerk	<small>020001_wegvoeringen.mxd                  020001_kruisen_a17_mast_1062_1063.mxd                  020001_kruisen_a17_mast_1062_1063_20230625_1000.mxd</small>		



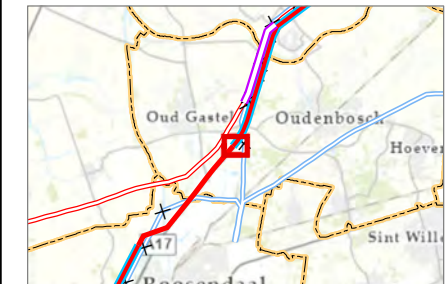
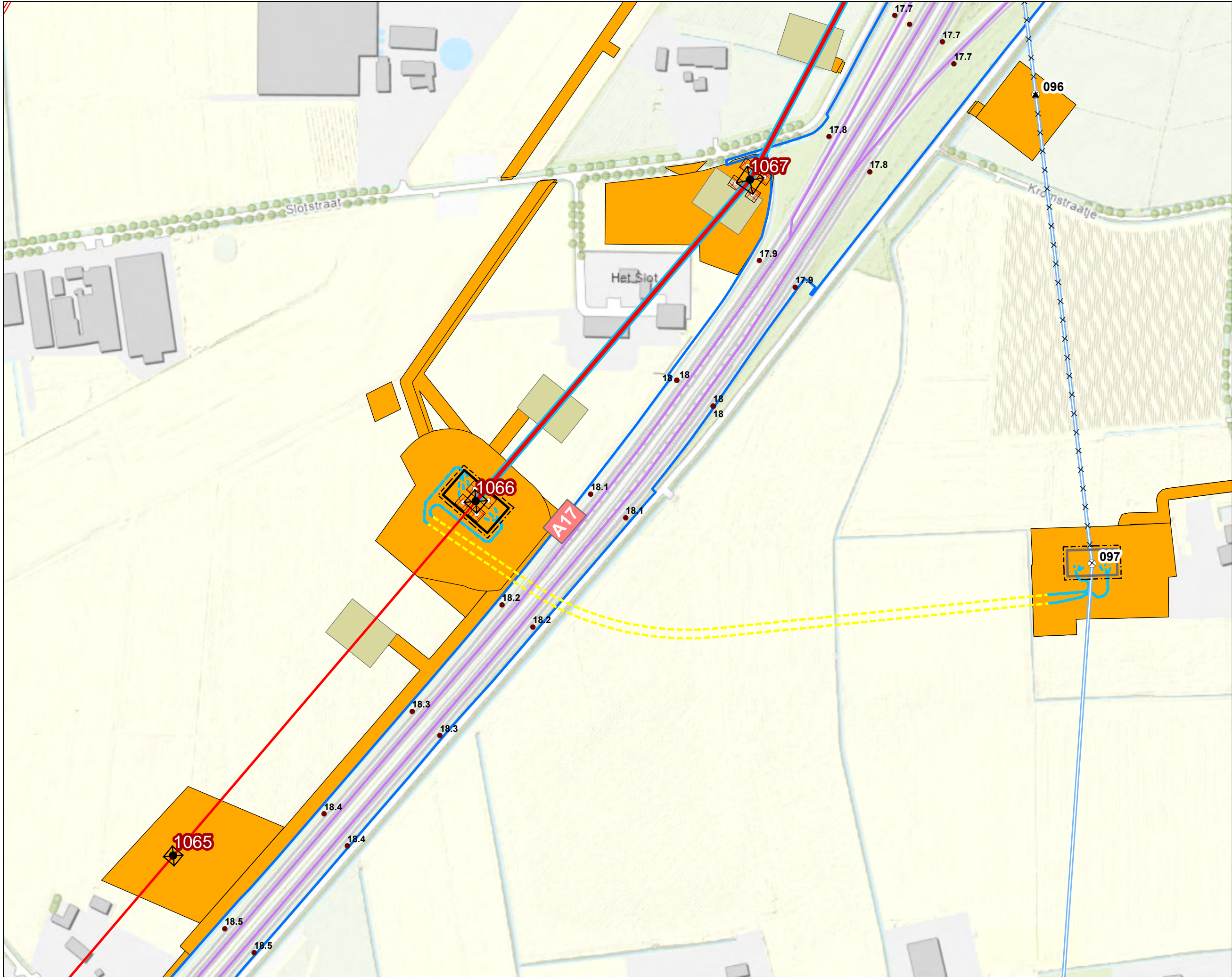
Aan deze tekening kunnen geen rechten worden ontleend. © TenneT TSO B.V.



**Legenda**

**VKA2.0.1**

- Combi 380kV / 150kV
  - Solo 380 kV
  - ×  Te amoveren verbinding
  - Fundaties
  - Ontgravingsvlak
  - Opstijgpunten
  - Opstijgpunten +2.5m
  - Opstijgpunten Reconstructie
  - Opstijgpunten Reconstructie + 2.5m
  - Indicatieve mastpunten
  - ▲ Te amoveren masten
  - Traversen - symbol
  - Werkterreinen en werkwegen
- Bestaande verbinding**
- 380 kV bovengronds
  - 150 kV bovengronds
  - Masten
- Nieuwe 150kV kabeltracés**
- boring
  - open ontgraving
- Gemeentegrenzen
  - Lierterreinen
  - Werkterreinen/werkwegen
  - RWS Beheergrens



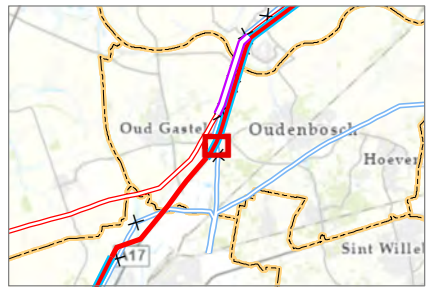
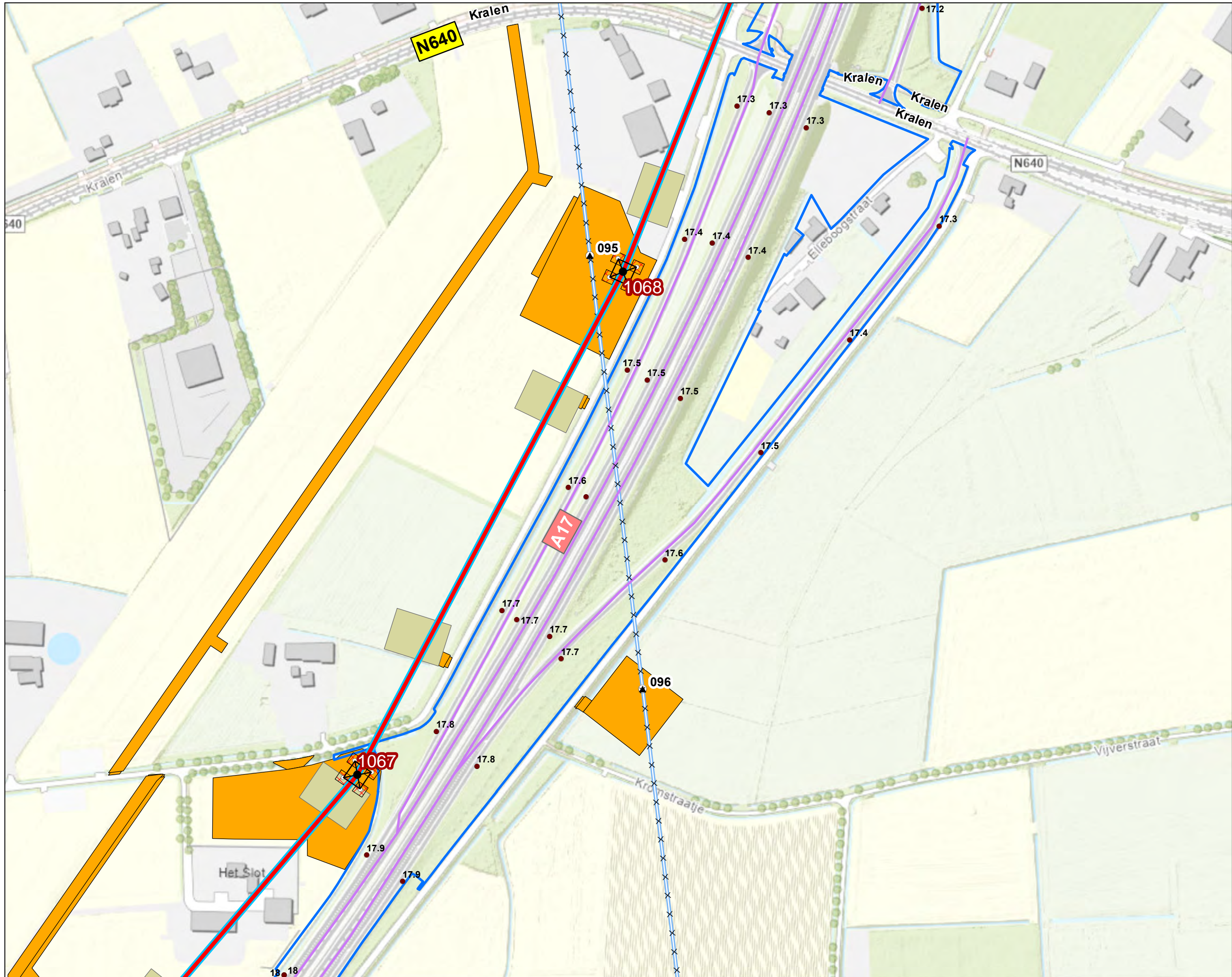
Versie	VKA 2.0.1	Datum	25/06/2023
Schaal	1:2,500	Formaat	A3
Kenmerk	<small>                 22092_wgplaanstellen.mxd                  14/06/2023_10:20:11 AM                  20230623_011030_1065-1066-1067-OSP-1066-150kV-boring.mxd             </small>		
0      50      100 			 N



**Legenda**

**VKA2.0.1**

- Combi 380kV / 150kV
- x x Te amoveren verbinding
- Fundaties
- Ontgravingsvlak
- Indicatieve mastpunten
- ▲ Te amoveren masten
- Traversen - symbool
- Werkterreinen en werkwegen
- Bestaande verbinding**
- 150 kV bovengronds
- Masten
- Gemeentegrenzen
- Lierterreinen
- Werkterreinen/werkwegen
- RWS Beheergrens



Versie	VKA 2.0.1	Datum	25/06/2023
Schaal	1:2,500	Formaat	A3
Kenmerk	<small>202306_25062023_001_VKA2.0.1_150kV_Oost_ZuidWest_380kV_Oost_095-096_A17</small>		

0      50      100  
 m

N

Aan deze tekening kunnen geen rechten worden ontleend. © TenneT TSO B.V.



**Legenda**

**VKA2.0.1**

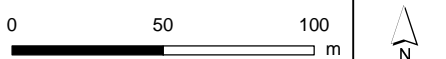
- ▬▬▬ Combi 380kV / 150kV
  - ▬▬▬ Reconstructie bestaande 380 kV
  - × × Te amoveren verbinding
  - Fundaties
  - Indicatieve mastpunten
  - ▲ Te amoveren masten
  - ▬ Traversen - symbool
  - Werkterreinen en werkwegen
  - Watergang tijdelijk dempen
  - Watergang tijdelijk omleggen
- Bestaande verbinding**
- ▬▬▬ 380 kV bovengronds
  - ▬▬▬ 150 kV bovengronds
  - Masten
  - Gemeentegrenzen
  - Lierterreinen
  - RWS Beheergrens



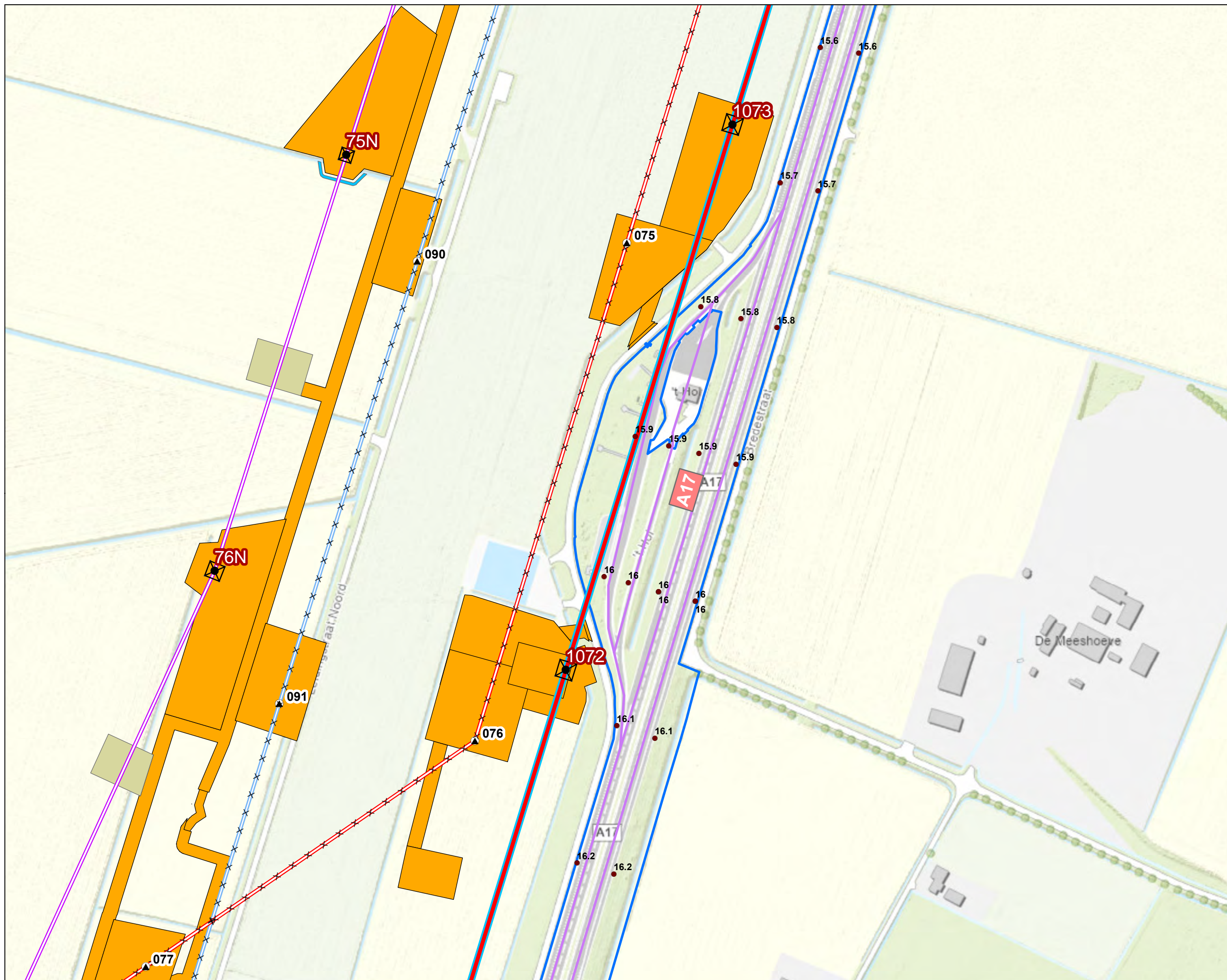
Versie VKA 2.0.1 Datum 25/06/2023

Schaal 1:2.500 Formaat A3

Kenmerk 00001\_wegvoedingen\_mast  
00001\_kruisen\_verzorgingsplaats\_Het\_Hol\_00001\_wegvoedingen\_mast



Aan deze tekening kunnen geen rechten worden ontleend. © TenneT TSO B.V.



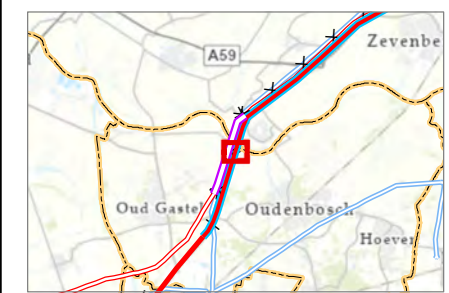
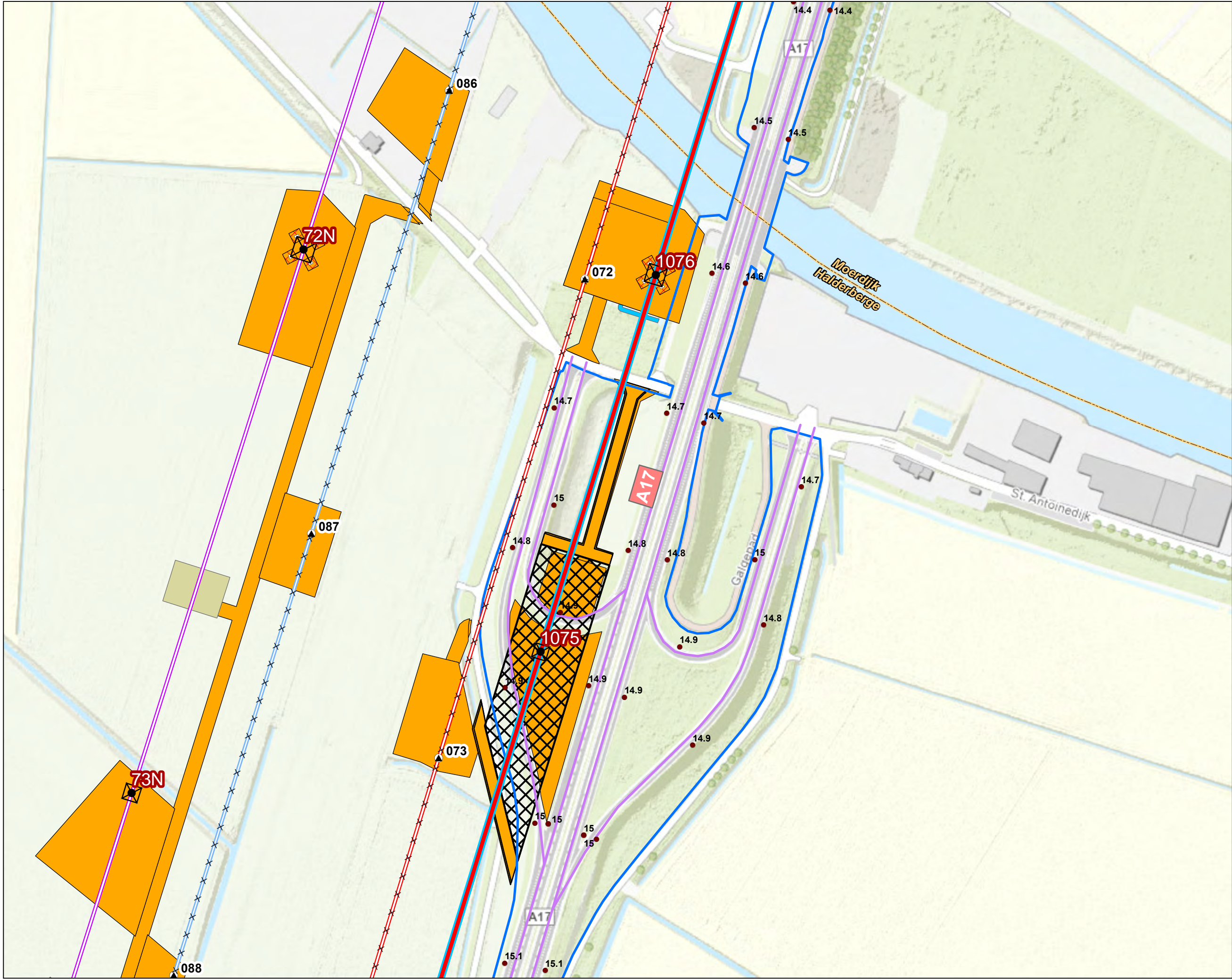




**Legenda**

**VKA2.0.1**

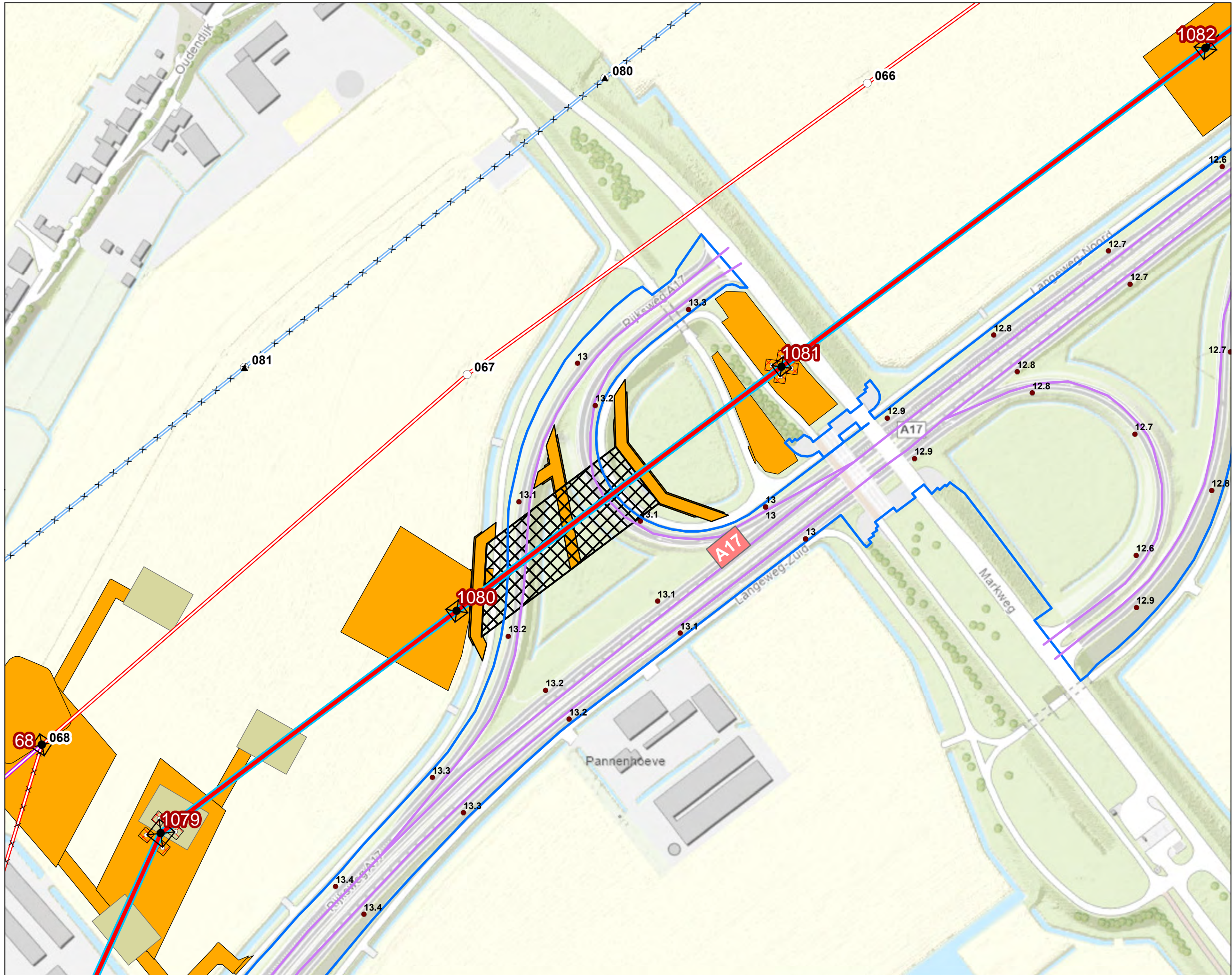
-  Combi 380kV / 150kV
  -  Reconstructie bestaande 380 kV
  -  Te amoveren verbinding
  -  Fundaties
  -  Ontgravingsvlak
  -  Indicatieve mastpunten
  -  Te amoveren masten
  -  Traversen - symbool
  -  Werkterreinen en werkwegen
  -  Watergang tijdelijk dempen
  -  Watergang tijdelijk omleggen
  -  Stalen jukken - Juk
- Bestaande verbinding**
-  380 kV bovengronds
  -  150 kV bovengronds
  -  Masten
  -  Gemeentegrenzen
  -  Stalen jukken - Juk
  -  Lierterreinen
  -  RWS Beheergrens



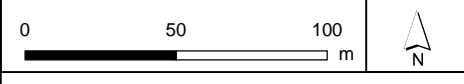
Versie	VKA 2.0.1	Datum	25/06/2023
Schaal	1:2,500	Formaat	A3
Kenmerk	<small>00001_wgbsc00001.mxd 00002_wgbsc00002.mxd 00003_wgbsc00003.mxd 00004_wgbsc00004.mxd 00005_wgbsc00005.mxd 00006_wgbsc00006.mxd 00007_wgbsc00007.mxd 00008_wgbsc00008.mxd 00009_wgbsc00009.mxd 00010_wgbsc00010.mxd</small>		
0      50      100 m		N	
Aan deze tekening kunnen geen rechten worden ontleend. © TenneT TSO B.V.			



- Legenda**
- VKA2.0.1**
- Combi 380kV / 150kV
  - Reconstructie bestaande 380 kV
  - × × Te amoveren verbinding
  - Fundaties
  - Ontgravingsvlak
  - Indicatieve mastpunten
  - Te amoveren masten
  - Traversen - symbool
  - Werkterreinen en werkwegen
  - Stalen jukken - Juk
- Bestaande verbinding**
- 380 kV bovengronds
  - 150 kV bovengronds
  - Masten
  - Gemeentegrenzen
  - Stalen jukken - Juk
  - Lierterreinen
  - RWS Beheergrens



Versie	VKA 2.0.1	Datum	25/06/2023
Schaal	1:2,500	Formaat	A3
Kenmerk	<small>                 22002_wgplaatgeen.mxd                  22002geen_wgplaatgeen.mxd                  22002geen_wgplaatgeen.mxd                  22002geen_wgplaatgeen.mxd                  22002geen_wgplaatgeen.mxd                  22002geen_wgplaatgeen.mxd             </small>		



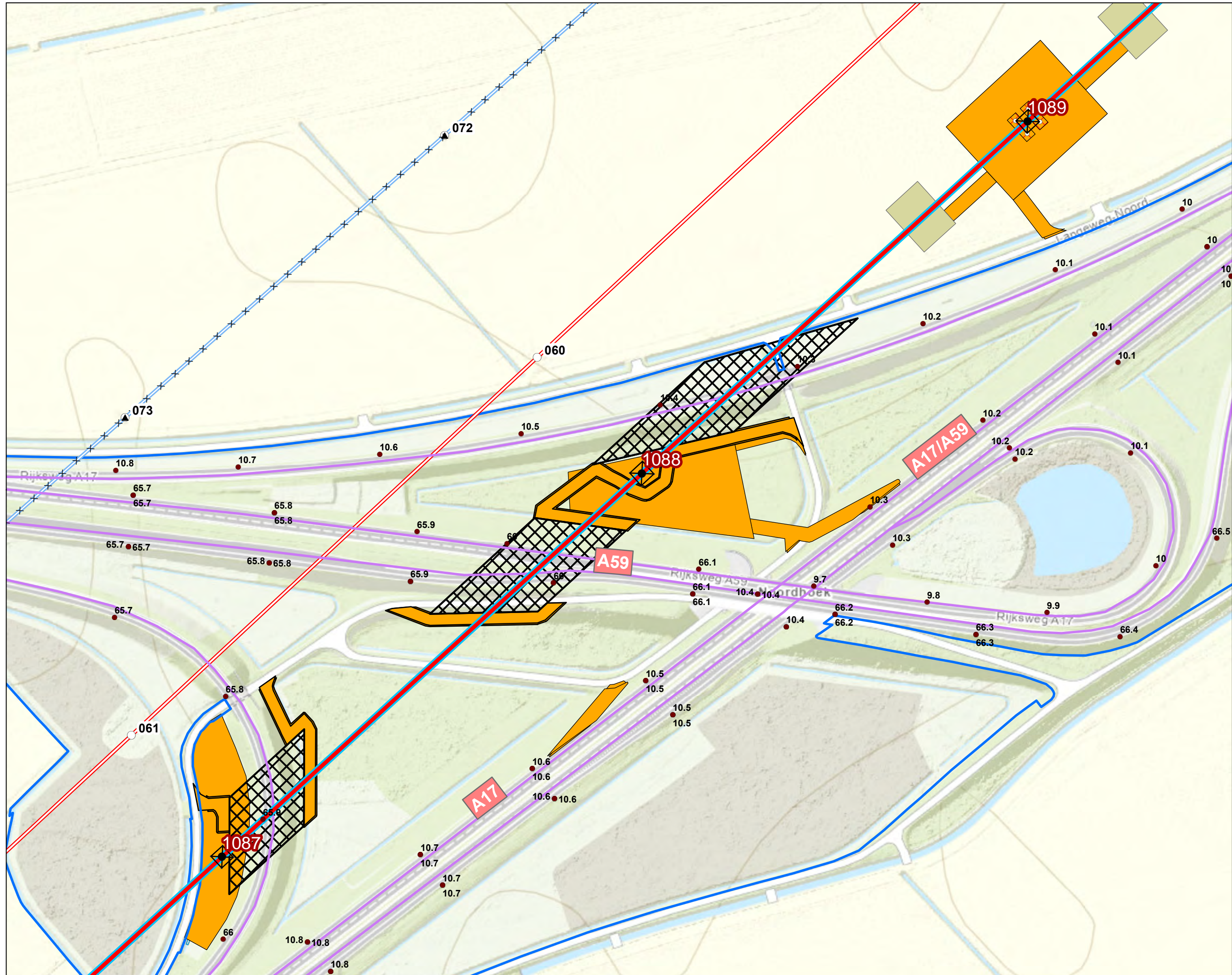
Aan deze tekening kunnen geen rechten worden ontleend. © TenneT TSO B.V.



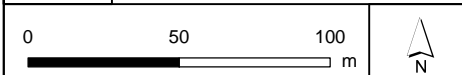
**Legenda**

**VKA2.0.1**

- Combi 380kV / 150kV
- Te amoveren verbinding
- Fundaties
- Ontgravingsvlak
- Indicatieve mastpunten
- Te amoveren masten
- Traversen - symbool
- Werkterreinen en werkwegen
- Watergang tijdelijk dempen
- Stalen jukken - Juk
- Bestaande verbinding**
- 380 kV bovengronds
- 150 kV bovengronds
- Masten
- Gemeentegrenzen
- Stalen jukken - Juk
- Lierterreinen
- RWS Beheergrens



Versie	VKA 2.0.1	Datum	25/06/2023
Schaal	1:2,500	Formaat	A3
Kenmerk	<small>22002_wgpl_klundert_mast1087-1088_20230625_01.dwg                  22002_wgpl_klundert_mast1087-1088_20230625_01.dwg                  22002_wgpl_klundert_mast1087-1088_20230625_01.dwg</small>		



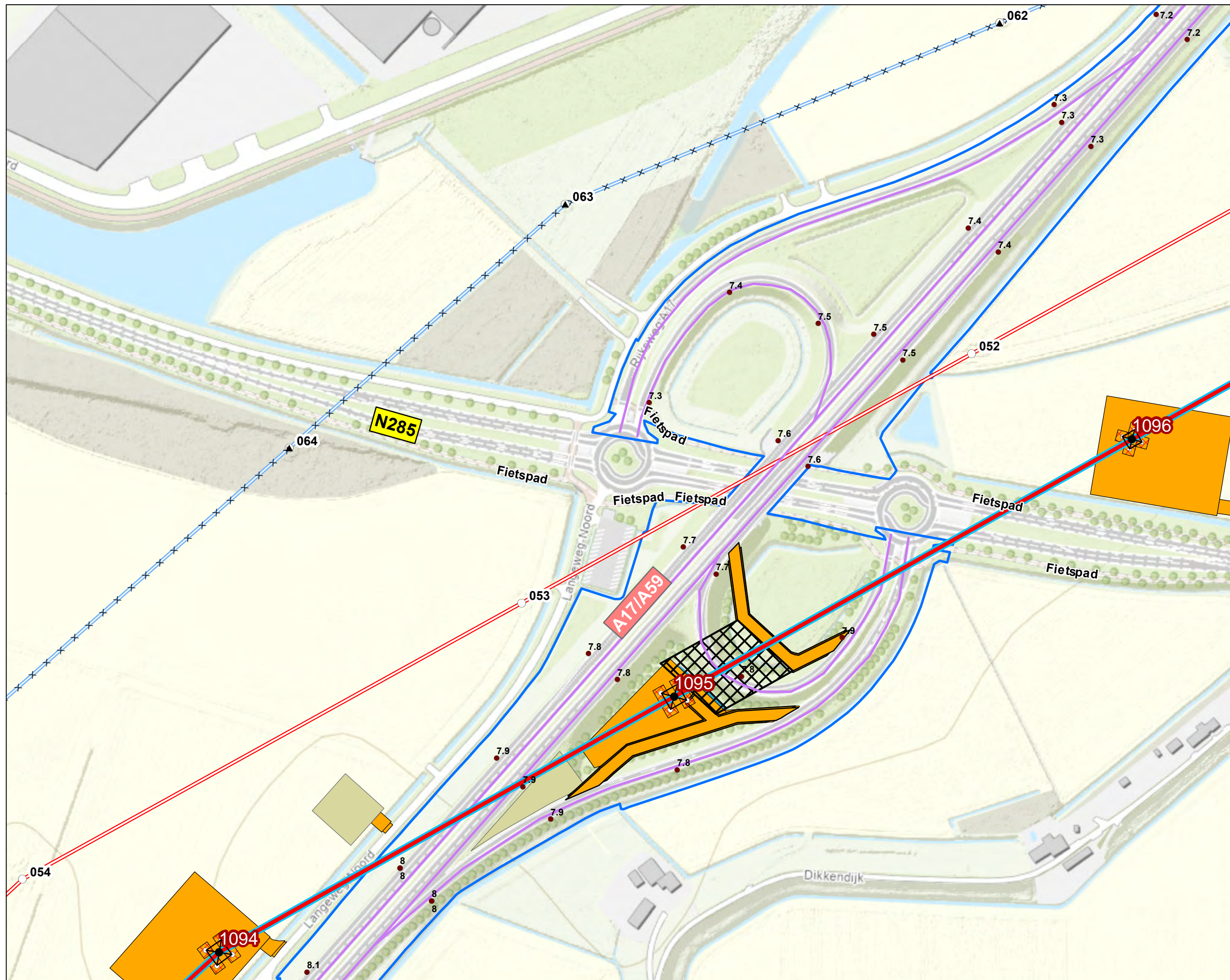




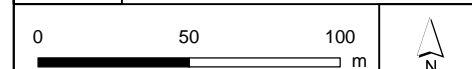
### Legenda

#### VKA2.0.1

- Combi 380kV / 150kV
  - Te amoveren verbinding
  - Fundaties
  - Ontgravingsvlak
  - Indicatieve mastpunten
  - Te amoveren masten
  - Traversen - symbol
  - Werkterreinen en werkwegen
  - Watergang tijdelijk dempen
  - Stalen jukken - Juk
- #### Bestaande verbinding
- 380 kV bovengronds
  - 150 kV bovengronds
  - Masten
  - Gemeentegrenzen
  - Stalen jukken - Juk
  - Lierterreinen
  - RWS Beheergrens



Versie	VKA 2.0.1	Datum	25/06/2023
Schaal	1:2.500	Formaat	A3
Kenmerk	<small>000001_wgkbeleggen.mxd 000001_wgkbeleggen.mxd 000001_wgkbeleggen.mxd</small>		





**Legenda**

**VKA2.0.1**

× × Te amoveren verbinding

▲ Te amoveren masten

**Bestaande verbinding**

— 380 kV bovengronds

— 150 kV bovengronds

— 150 kV ondergronds

○ Masten

▭ Stations

**Nieuwe 150kV kabeltracés**

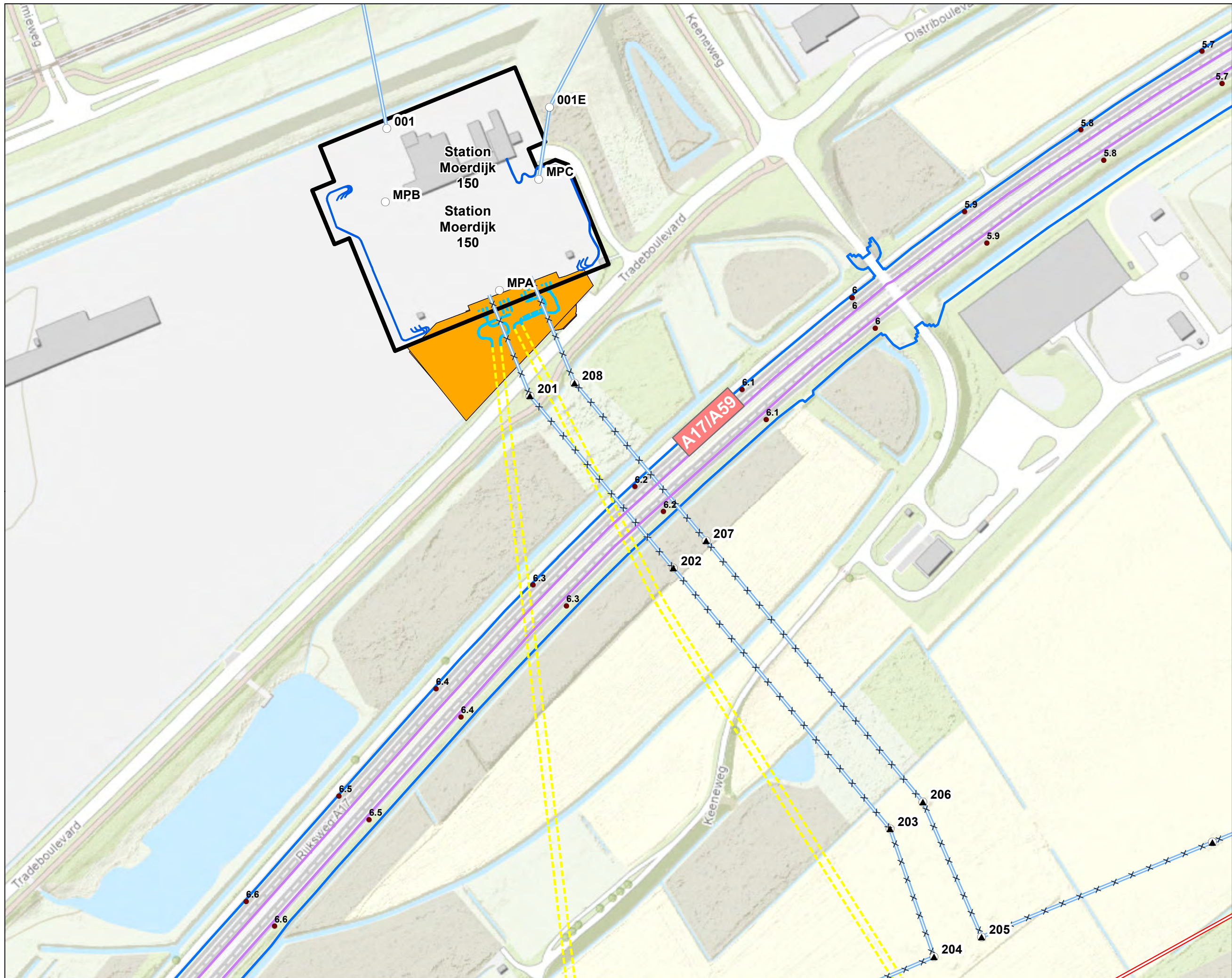
--- boring

- - - open ontgraving

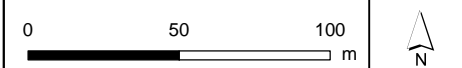
▭ Gemeentegrenzen

▭ Werkterreinen/werkwegen

▭ RWS Beheergrens



Versie	VKA 2.0.1	Datum	25/06/2023
Schaal	1:2.500	Formaat	A3
Kenmerk	<small>000000_wgk_boringen_mst                  00000000_wgk_boringen_mst_2023-06-25_150kV_boringen_naar_station_moerdijk_2023-06-25_wgk_boringen_mst</small>		



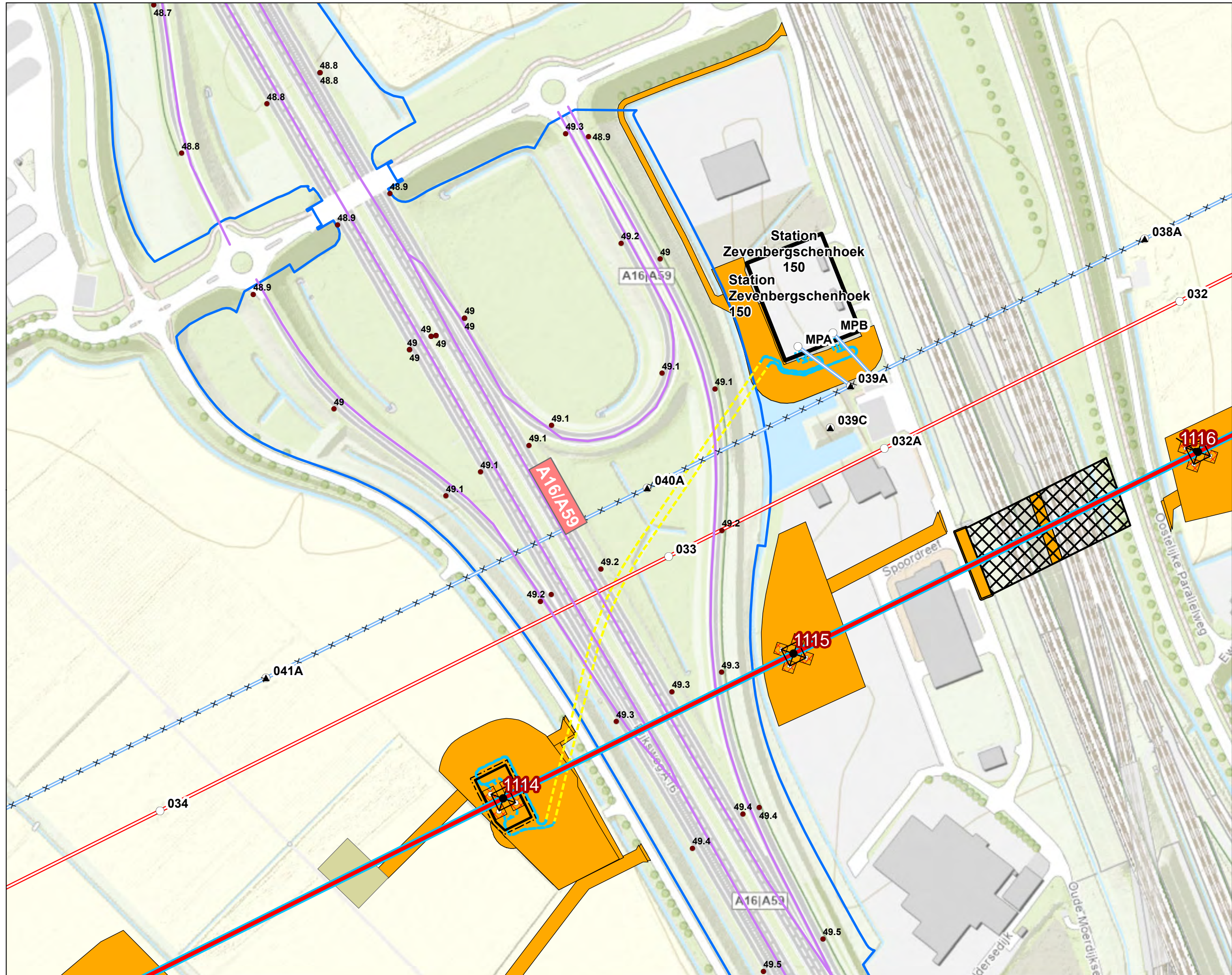
Aan deze tekening kunnen geen rechten worden ontleend. © TenneT TSO B.V.



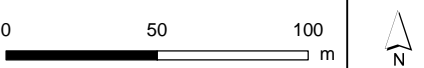
**Legenda**

**VKA2.0.1**

- Combi 380kV / 150kV
- Te amoveren verbinding
- Fundaties
- Ontgravingsvlak
- Opstijgpunten
- Opstijgpunten +2.5m
- Indicatieve mastpunten
- Te amoveren masten
- Traversen - symbol
- Werkterreinen en werkwegen
- Stalen jukken - Juk
- Bestaande verbinding**
- 380 kV bovengronds
- 150 kV bovengronds
- Masten
- Stations
- Nieuwe 150kV kabeltracés**
- boring
- open ontgraving
- Gemeentegrenzen
- Stalen jukken - Juk
- Lierterreinen
- Werkterreinen/werkwegen
- RWS Beheergrens



Versie	VKA 2.0.1	Datum	25/06/2023
Schaal	1:2.500	Formaat	A3
Kenmerk	<small>02022_wgk_buizen_mast 02022_kruis_a16_1114_1115_150kv_boring_naar_station_zevenbergschenhoek_202306_25062023_wgk_buizen_mast</small>		



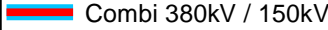


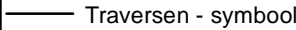
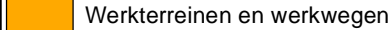

Aan deze tekening kunnen geen rechten worden ontleend. © TenneT TSO B.V.





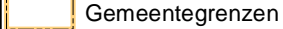
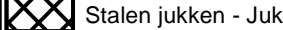




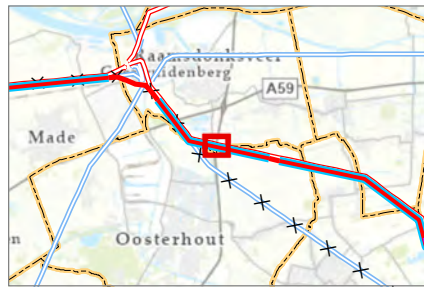
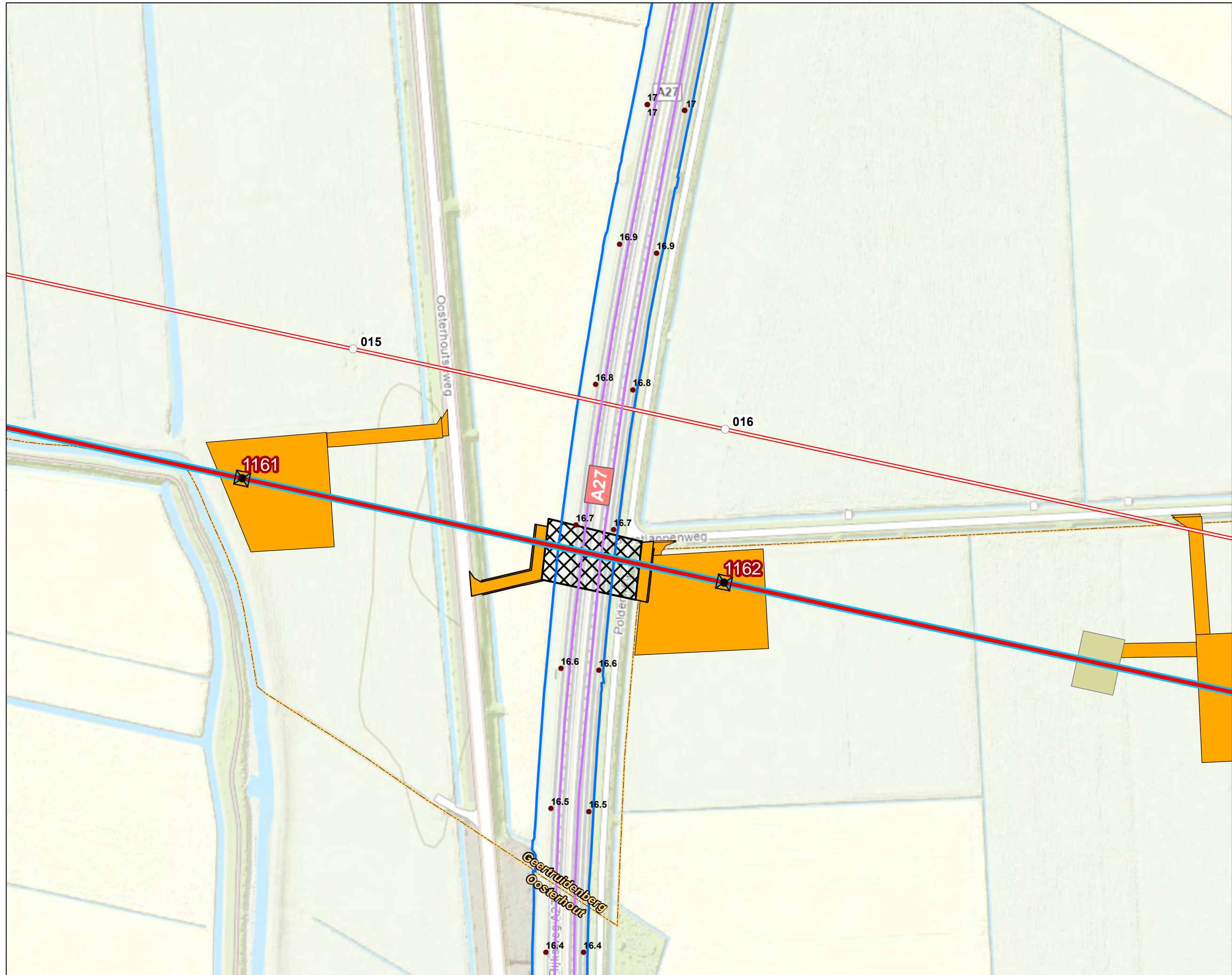
**Legenda**

**VKA2.0.1**

-  Combi 380kV / 150kV
-  Fundaties
-  Indicatieve mastpunten
-  Traversen - symbool
-  Werkterreinen en werkwegen
-  Stalen jukken - Juk

**Bestaande verbinding**

-  380 kV bovengronds
-  Masten
-  Gemeentegrenzen
-  Stalen jukken - Juk
-  Lierterreinen
-  RWS Beheergrens



Versie	VKA 2.0.1	Datum	25/06/2023
Schaal	1:2,500	Formaat	A3
Kenmerk	<small>22002_wgkbaatgenen.mxd                  22002baatgenen_20230625_09:00:00_20230625_09:00:00_20230625_09:00:00_20230625_09:00:00_20230625_09:00:00_20230625_09:00:00</small>		

