Aanvraagstukken – 7 Spoorwegwet ProRail

Inhoudsopgave

002.678.20 1082355 Aanvraagbrief Prorail

A.0 Bijlagenoverzicht aanvraag ontheffing Spoorwegwet ProRail

A.1 220422 Overzichtskaart verbinding 380 kV Rilland-Tilburg

B.1 Boring 150 kV Spoorlijn Roosendaal – Vlissingen, nabij Rilland (gemeente Reimerswaal)

B.2 Boring 150 kV Spoorlijn Roosendaal – Vlissingen, nabij Rilland (gemeente Woensdrecht)

B.3 Kruisen spoor Bergen op Zoom Roosendaal mast 1040 - 1041

B.4 Kruisen spoor Zevenbergen Lage Zwaluwe en HSL mast 1115 - 1116

B.5 Boring en persing 150 kV onder goederenspoor, nabij Geertruidenberg (gemeente Drimmelen)

C.1 Lengteprofiel VKA 2.0.1 Vergunningen Prorail

D.1 Generieke juktekening

D.2 Fotos jukken

E.1 Inventarisatie ProRail fase 1 (Inventarisatie van mogelijke EM-beïnvloeding ProRail aan de hand van RLN00398)

E.2 Memo kruisingen infrastuctuur Spoorwegen VKA 2.0.1

F.1 Boring 150 kV Spoorlijn Roosendaal – Vlissingen, nabij Rilland

F.2 Boring 150 kV Spoorlijn Roosendaal – Vlissingen, nabij Rilland

F.3 Persing 150 kV onder goederenspoor, nabij Geertruidenberg

F.4 Boring 150 kV onder goederenspoor, nabij Geertruidenberg

Aanvullende stukken

RE_ Verzoek om aanvullende informatie ProRail - Z2022-001199_4008841

B.1A Boring 150 kV Spoorlijn Roosendaal – Vlissingen, nabij Rilland (gemeente Reimerswaal)

B.2A Boring 150 kV Spoorlijn Roosendaal – Vlissingen, nabij Rilland (gemeente Woensdrecht)

B.3A Kruisen spoor Bergen op Zoom Roosendaal mast 1040 – 1041

B.4A Kruisen spoor Zevenbergen Lage Zwaluwe en HSL mast 1115 – 1116

B.5A Boring en persing 150 kV onder goederenspoor, nabij Geertruidenberg (gemeente Drimmelen)

F.1A Boring 150 kV Spoorlijn Roosendaal – Vlissingen, nabij Rilland

F.2A Boring 150 kV Spoorlijn Roosendaal – Vlissingen, nabij Rilland

F.3A Persing 150 kV onder goederenspoor, nabij Geertruidenberg

F.4A Boring 150 kV onder goederenspoor, nabij Geertruidenberg

002.678.20 1082355 Aanvraagbrief Prorail

Postbus 718, 6800 AS Arnhem, Nederland

Prorail Zuid
T.a.v. [redacted]
p/a Postbus 2038
3500 GA UTRECHT

CLASSIFICATIE	C1 - Publieke Informatie
DATUM	17 november 2022
ONZE REFERENTIE	08
BEHANDELD DOOR	[redacted]
TELEFOON DIRECT	
E-MAIL	

BETREFT Aanvraag vergunning - realisatie en instandhouding 380 kV hoogspanningsverbinding Rilland - Tilburg (Zuid-West 380 kV Oost) – kruisen HSL

UW KENMERK: Z2022-000583_4008070

Geachte [redacted]

Hierbij vraagt TenneT op grond van artikel 19 lid 1 sub a van de Spoorwegwet, een vergunning Spoorwegwet aan voor de realisatie en instandhouding van de 380kV hoogspanningsverbinding Rilland – Tilburg (Zuid-West 380kV Oost).
Deze aanvraag betreft het kruisen van de nieuwe hoogspanningsverbinding met de HSL.

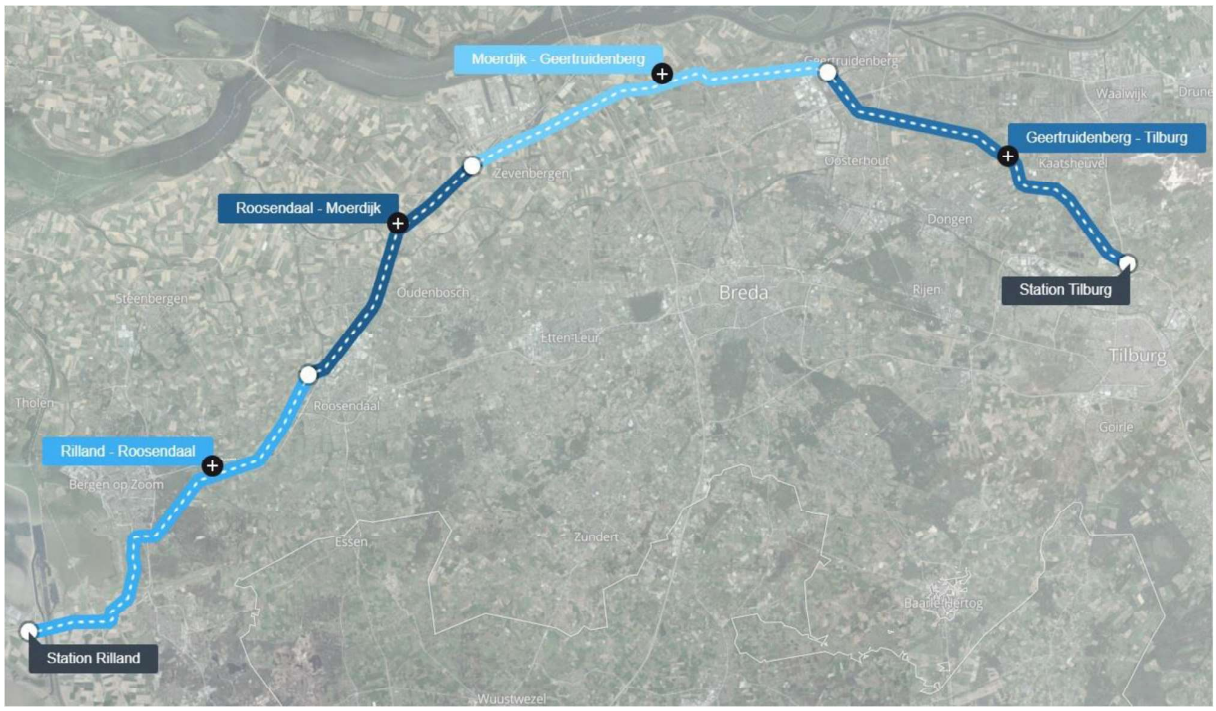
Achtergrond
Om de levering van stroom in de toekomst te kunnen garanderen, is er behoefte aan uitbreiding van het bestaande elektriciteitsnet. Een van de projecten die hier aan bij moet dragen is de realisatie van een nieuwe 380 kV-verbinding tussen Borssele en de landelijke ring bij Tilburg: Zuid-West 380 kV (ZW380). Deze verbinding transporteert elektriciteit van de productielocaties in Zeeland en op zee naar Tilburg, waar verder transport via de landelijke 380 kV-ring plaatsvindt. De aanleg van de nieuwe hoogspanningsverbinding is nodig om nu en in de toekomst te kunnen voldoen aan de wettelijke eisen voor leveringszekerheid van elektriciteit.

De nieuwe verbinding loopt van Borssele via Rilland naar Tilburg. In eerste instantie was dit één groot project. De bouw van het nieuwe 380 kV-hoogspanningsstation bij Rilland bracht hier verandering in. Over het westelijke deel van de verbinding, tussen Borssele en Rilland, heeft al besluitvorming plaatsgevonden. Dit gedeelte van de verbinding (Zuid-West 380 kV West of ZW380 West) wordt momenteel gebouwd. Ook de besluitvorming over het nieuwe 380 kV-hoogspanningsstation ten noorden van Tilburg en de realisatie hiervan wordt momenteel afzonderlijk voorbereid.

Om de hoogspanningsverbinding tussen het nieuwe 380 kV-hoogspanningsstation bij Rilland en het nieuwe 380 kV-hoogspanningsstation bij Tilburg mogelijk te maken, is een Rijksinpassingsplan voorbereid door de minister voor Klimaat en Energie en de minister voor Volkshuisvesting en Ruimtelijke ordening voor het oostelijk gedeelte van de verbinding (Zuid-West 380 kV-Oost of ZW380 Oost).

Tracé Zuid-West 380 kV Oost

De vergunningaanvraag heeft betrekking op het nieuwe 380 kV-hoogspanningstracé tussen Rilland en Tilburg. Dit tracé loopt in hoofdlijnen van Rilland via Bergen op Zoom, Roosendaal, Oud Gastel, Standdaarbuiten, Zevenbergen, Zevenbergschen Hoek, Hooge Zwaluwe, Geertruidenberg, Oosterhout en 's Gravenmoer naar Tilburg. In figuur 1 is de ligging van het nieuwe 380 kV-hoogspanningstracé weergegeven.



Figuur 1 Ligging tracé (bron: TenneT)

Het tracé loopt over het grondgebied van de gemeenten Reimerswaal, Woensdrecht, Bergen op Zoom, Roosendaal, Halderberge, Moerdijk, Drimmelen, Geertruidenberg, Oosterhout, Dongen, Waalwijk, Loon op Zand en Tilburg.

Naast het tracé van de nieuwe 380 kV-hoogspanningsverbinding omvat het project:

- de reconstructie van de bestaande 380 kV-hoogspanningsverbinding Geertruidenberg-Rilland nabij Oud Gastel en Standdaarbuiten, alsmede nabij Hooge Zwaluwe;
- de reconstructie van de bestaande 380 kV-hoogspanningsverbinding Geertruidenberg-Eindhoven in de gemeente Loon op Zand;
- de aansluiting van de 150 kV-hoogspanningsverbindingen op de 150 kV-stations;
- de aanpassing van de bestaande 150 kV-stations Zevenbergschen Hoek en Oosteind en 380 kV-station Rilland;
- amoveren van delen van de bestaande tracés van de 150 kV- en 380 kV-verbindingen;
- tijdelijke hoogspanningsverbindingen.

Werkzaamheden boven of naast de HSL

Op grond van artikel 19 lid 1 sub a van de Spoorwegwet is een vergunning nodig voor het aan, op, in, onder, boven of naast de hoofdspoorweg, bouwwerken of andere opstallen op te richten of werken, inrichtingen, kabels, leidingen of beplantingen aan te brengen, te doen aanbrengen of te hebben, dan wel daarmee verband houdende werkzaamheden uit te voeren of te doen uitvoeren.

De ligging van het tracé leidt op meerdere locaties tot een kruising van de hoogspanningsverbinding en het spoor.

Hoogspanningslijn

Op één locatie kruist een nieuwe hoogspanningslijn de HSL, dit betreft:

- Combi 380 kV / 150 kV lijn tussen mast 1115 en 1116, nabij knooppunt Zevenbergschenhoek, Geocode 625, tussen km 231.6 en 231.7.

Voor de overige kruisingen met het conventionele spoor (en de HSL) wordt tevens een separate vergunningaanvraag ingediend.

Elektromagnetische beïnvloeding van hoogspanningsverbindingen op de hoofdspoorweginfrastructuur

Bij de aanvraag is een notitie gevoegd waarin is geïnventariseerd of er spoorwegen van ProRail in de nabijheid van de nieuwe hoogspanningsverbinding ZW30 Oost liggen (zie bijlage E.1).
ProRail heeft de richtlijn " Beleid elektromagnetische beïnvloeding van hoogspanningsverbindingen op de hoofdspoorweginfrastructuur", kortweg de RLN00398, opgesteld. De eerste fase van de RLN00398 is het vaststellen of er mogelijk sprake is van een ontoelaatbare elektromagnetische (EM) beïnvloeding op het ProRail spoor.
De detailstudies (zowel NEN3654 voor kabels en buisleidingen als RLN00398 voor ProRail) worden onder EU-300 uitgevoerd en worden in een latere fase aangeleverd. Met ProRail is besproken dat de vergunning voor het kruisen van het spoor kan worden aangevraagd o.g.v. een quickscan.

Geleiderbreukrapportage

Specifiek stelt de norm NEN-EN50341-2-15:2019 dat bij spoorwegkruisingen dient te worden voldaan aan twee eisen, als het gaat om de afstanden naar het spoor. Namelijk de afstand bij maximale doorhang van de geleider(s) en bij breuk van de fase-bundel in één van de aanliggende spanvelden van het spanveld dat het spoor kruist. Bij de aanvraag is een geleiderbreukrapportage gevoegd (zie bijlage E.2) met de toetsing voor de twee locaties waar de hoogspanningslijn het spoor kruist.

Tijdelijke werkwegen en werkterreinen

De tijdelijke werkwegen en werkterreinen in de nabijheid van het spoor worden op de volgende wijze aangelegd. Na het aanbrengen van de afrasteringen zal worden gestart met het aanbrengen van de werkwegen en werkterreinen. De werkwegen en werkterreinen worden op het maaiveld aangebracht. Dit kan met doek, zand en rijplaten of betonplaten, of met doek, houtschors en rijplaten, of enkel met rijplaten op maaiveld. Op agrarische percelen is het gebruik van puingranulaat niet toegestaan. Delen van het perceel

binnen de afrastering dat (nog) niet wordt gebruikt, zal worden ingezaaid met een grasmengsel en zal door de aannemer worden onderhouden.
Na afloop van de werkzaamheden kunnen graafwerkzaamheden nodig zijn ten behoeve van cultuurtechnisch herstel als bijvoorbeeld de bodem is verzakt. Het is nu nog niet bekend of en op welke locaties dit nodig is. Indien later blijkt dat graafwerkzaamheden nodig zijn voor cultuurtechnisch herstel, zal de aannemer hiervoor (indien noodzakelijk) een vergunning aanvragen.

Jukken
Ter hoogte van de kruisingen met het spoor met een bovengrondse verbinding wordt bij de realisatie gebruik gemaakt van zogenaamde jukken. Deze jukken dienen te voorkomen dat tijdens werkzaamheden voorwerpen op het spoor vallen. De locatie en de hoogte voor deze jukken staan weergegeven op de detailkaart van de kruisingen (zie bijlagen B.3 en B.4).
Omdat de zwaarte en omvang van de jukken verschillen wordt in het veld bepaald hoe de constructie er uit komt te zien. Voor alle te plaatsen jukken geldt echter hetzelfde principe. Om deze reden is bij de vergunningaanvraag wel een tekening gevoegd met daarop weergegeven het constructieprincipe voor de toe te passen jukken (zie bijlage D.1). Ter illustratie is als voorbeeld een foto met jukken toegevoegd (zie bijlage D.2).

De ligging van de masten, lijnen en boringen met bijbehorende onderzoeken zijn opgenomen in de volgende bijlagen:
- Aanvraagformulier ProRail
- Overzichtskaart tracé Zw380kV Oost
- Detailkaart spoorkruising, inclusief geocodering en spoorse kilometrering en werkwegen en werkterreinen
- Lengteprofiel
- Principetekening en foto’s jukken
- Quickscan EMC conform RLN00398
- Geleiderbreukrapportage

Planning
Onderhavige vergunning wordt aangevraagd voor zowel de aanlegfase als de gebruiksfase van de hoogspanningsverbinding. De aanlegfase is voorzien voor de periode vanaf het derde kwartaal van 2024 tot eind 2030. Met enkele tijdelijke verbindingen wordt gestart vanaf het vierde kwartaal in 2023.
Vooralsnog betreft het een planning op hoofdlijnen. De planning wordt in detail uitgewerkt door de aannemer.

Rijkscoördinatieregeling procedure
Ten aanzien van uw besluit op deze aanvraag ingevolge artikel 19 lid 1 van de Spoorwegwet, is op grond van artikel 20c Elektriciteitswet juncto, artikel 2 lid 1 onder f Uitvoeringsbesluit rijkscoördinatieregeling energie-infrastructuurprojecten de rijkscoördinatieregeling uit de Wet ruimtelijke ordening van toepassing (artikel 3.35).

De rijkscoördinatieregeling voorziet in een gecoördineerde en parallelle besluitvorming over alle voor de uitvoering van de activiteit vereiste besluiten. Dit betekent dat de ontwerp-uitvoeringsbesluiten

(vergunningen) gelijktijdig ter inzage worden gelegd. Ditzelfde geldt voor de definitieve uitvoeringsbesluiten (vergunningen). Hierbij is de minister voor Klimaat en Energie de aangewezen minister voor de coördinatie.

In verband daarmee heeft de minister voor Klimaat en Energie ons gevraagd het volgende op te nemen in deze aanvraag:

1. Ingevolge de rijkscoördinatieregeling dient u een kopie van onderhavige aanvraag te verzenden aan de minister voor Klimaat en Energie. TenneT zal er echter voor zorgen dat de minister voor Klimaat en Energie een exemplaar van deze aanvraag ontvangt. U hoeft dus geen exemplaar door te sturen.
2. In reactie op deze kopie van de aanvraag zal de minister u per brief melden wanneer van u verwacht wordt een ontwerp-besluit gereed te hebben.
3. Het ontwerp-besluit, en later ook het besluit, stuurt u niet aan TenneT, maar aan de minister voor Klimaat en Energie, t.a.v. Bureau Energieprojecten, Postbus 93144, 2509 AC Den Haag. De minister stuurt de besluiten gebundeld door aan de initiatiefnemer; dit is juridisch gezien de bekendmaking.

Deze vergunning Spoorwegwet valt onder de rijkscoördinatieregeling voor energieprojecten (artikel 3.35 Wro). Daarom wordt op grond van art. 3.35 lid 4 van de Wet ruimtelijke ordening de uitgebreide voorbereidingsprocedure gevolgd. U bent hierover reeds geïnformeerd door de projectleider voor de rijkscoördinatieregeling bij EZK en/of Bureau Energieprojecten. U kunt bij hem of haar nadere informatie over de voorbereidingsprocedure verkrijgen.

Correspondentie
Wij verzoeken u alle correspondentie met betrekking tot deze aanvraag te richten aan:

TenneT TSO B.V.
T.a.v. [redacted]
Postbus 718
6800 AS Arnhem

Wij verzoeken u het ontwerpbesluit en het besluit te richten aan:

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat / Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
Bureau Energieprojecten
Postbus 93144
2509 AC Den Haag

Een uitgebreider overzicht van de vergunningsgegevens vindt u ook op het bijgevoegde bijlagenoverzicht. Voor procedure vragen verzoeken wij u contact op te nemen met Bureau Energieprojecten, telefoon 070 379 8979.

Graag ontvangen wij een ontvangstbevestiging van deze aanvraag.

Uw nader bericht zien wij met belangstelling tegemoet.

Hoogachtend,
TenneT TSO B.V.

A.0 Bijlagenoverzicht aanvraag ontheffing Spoorwegwet ProRail

Bijlagenoverzicht

7 Aanvraag ontheffing Spoorwegwet

		Geocode	Km	Datum	Documentnaam	Versie / revisie	Meridiannummer	Opmerkingen
A	**Algemene informatie**							
A.0	Bijlagenoverzicht aanvraag ontheffing Spoorwegwet ProRail			17/11/2022	Bijlagenoverzicht	n.v.t	002.678.20 1054284	
A.1	Overzichtskaart verbinding 380 kV Rilland-Tilburg			22/04/2022	Overzicht VKA 2.0	1.1	002.678.20 1030658	
B	**Situatiekaarten spoorkruisingen, werkterreinen en jukken, *incl spoorse kilometrering***							
B.1	Boring 150 kV Spoorlijn Roosendaal – Vlissingen, nabij Rilland (gemeente Reimerswaal)	127	22,5	15/07/2022	Kruisen spoor Goes - Bergen op Zoom 150 kV boringen - 1	VKA 1.1	002.678.20 1075621	
B.2	Boring 150 kV Spoorlijn Roosendaal – Vlissingen, nabij Rilland (gemeente Woensdrecht)	127	19,5-19,6	15/07/2022	Kruisen spoor Goes - Bergen op Zoom 150 kV boringen - 2	VKA 1.1	002.678.20 1075622	
B.3	Nieuwe combi 380 kV / 150 kV lijn (mast 1040 – 1041) kruist Spoorlijn Roosendaal – Vlissingen (gemeente Roosendaal)	127	4,0 - 4,1	16/11/2022	Kruisen spoor Bergen op Zoom – Roosendaal mast 1040 - 1041	VKA 2.0.1	002.678.20 1081133	
B.4	Nieuwe combi 380 kV / 150 kV lijn (mast 1115 – 1116) kruist Spoorlijn Breda – Rotterdam Centraal nabij Zevenbergschenhoek, en kruist met spoor HSL	625	13,9 en 14,0 231,6 en 231,7 (HSL)	16/11/2022	Kruisen spoor Zevenbergen – Lage Zwaluwe en HSL mast 1115 - 1116	VKA 2.0.1	002.678.20 1081134	
B.5	Boring en persing 150 kV onder goederenspoor, nabij Geertruidenberg (gemeente Drimmelen)	823	0,3 en 0,4 0,8 en 0,9	15/07/2022	Kruisen spoor 150 kV boringen	VKA 1.1	002.678.20 1075623	
C	**Lengteprofielen**							
C.1	Lengteprofiel VKA 2.0.1 Vergunningen Prorail			04/05/2022	Lengteprofiel VKA 2.0.1 Vergunningen Prorail	1	002.678.00 1015085	
D	**Constructietekeningen en foto jukken**							
D.1	Generieke juktekening			15/08/2022	Principe tekening spoorweg juk	0.0	002.678.00 1038632	
D.2	Foto's jukken			14/06/2006	Foto's jukken	n.v.t.	002.678.20 1075624	
E	**Quickscan conform RLN00398 en geleiderbreukrapportage**							
E.1	Inventarisatie ProRail fase 1 (Inventarisatie van mogelijke EM-beïnvloeding ProRail aan de hand van RLN00398)			18/01/2022	Inventarisatie ProRail fase 1 (Inventarisatie van mogelijke EM-beïnvloeding ProRail aan de hand van RLN00398)	0.8	002.678.22.0768124	
E.2	Memo kruisingen infrastuctuur Spoorwegen VKA 2.0.1			04/05/2022	Spoorwegkruisingen met de nieuwe 380kV verbinding Rilland – Tilburg (RLL-TLB380, VKA 2.0.1)	1.0	002.678.00 1009136	
F	**Vergunningsrapportages boringen en persingen, incl. dwarsprofieltekening**							
F.1	Boring 150 kV Spoorlijn Roosendaal – Vlissingen, nabij Rilland	127	22,5	29/08/2022	Kruising 2 HDD's met A58, Spoor en N289	D2	002.678.20 1047766	
F.2	Boring 150 kV Spoorlijn Roosendaal – Vlissingen, nabij Rilland	127	19,5 - 19,6	29/08/2022	Kruising 2 HDD's met N289, leidingenstraat LSNed en spoorlijn Roosendaal-Vlissingen	D2	002.678.20 1047767	
F.3	Persing 150 kV onder goederenspoor, nabij Geertruidenberg	823	0,3 - 0,4	29/08/2022	Kruising 2 persingen met spoor	D2	002.678.20 1047765	
F.4	Boring 150 kV onder goederenspoor, nabij Geertruidenberg	823	0,8 - 0,9	13/09/2022	Kruising 2 HDD's met een spoor, primaire waterkeringen en de Amertak	D1	002.678.20 1052932	

A.1 220422 Overzichtskaart verbinding 380 kV Rilland-Tilburg

Zuid • West 380 kV oost

Overzicht VKA 2.0

Legenda

VKA 2.0

- Combi 380 kV / 150 kV
- Solo 380 kV
- 380kV kabel
- Reconstructie bestaande 380 kV
- Te amoveren verbinding

150kV ondergronds

- boring
- open ontgraving

Bestaande bovengrondse verbinding

- 380 Kv
- 150 Kv
- Gemeentegrenzen
- Provinciegrenzen

Versie	*1.1*	Datum	*22-4-2022*
Status	*Definitief*	Schaal	*1:190.000*
Auteur	*EM*	Formaat	*A3*
Kenmerk	201021_zw380_Overzichtskaart_vergunning.mxd		

0 2 4 6 km

N

Aan deze tekening kunnen geen rechten worden ontleend. © TenneT TSO B.V.

Hellevoetsluis
Nissewaard
Dordrecht
s-Gravendeel
Zaltbommel
Hoeksche Waard
Strijen
Numansdorp
A16
Altena
Wijk en
Zaltbommel
Heusden
Goeree-Overflakkee
Drimmelen
Geertruidenberg
Station Geertruidenberg
Station Zevenbergschenhoek
Station Waalwijk
A59
Waalwijk
Made
Schouwen-Duiveland
Klundert
Station Moerdijk
Moerdijk
Zevenbergen
Oosterhout
Station Oosteind
Loon op Zand
Dongen
Dinteloord
Station Dinteloord
A27
Station Breda
Teteringen
Station Prinsenbeek
Steenbergen
A4
Oud Gastel
Halderberge
Breda
Station Breda Princenhage
Rijen
Hoeven
Station Etten
Etten-Leur
Station Tilburg
Station Tilburg West
Station Tilburg Noord
Tilburg
Bavel
Tholen
Station Roosendaal Borchwerf
Station Roosendaal
Sint Willebrord
Gilze en Rijen
Gilze
Halsteren
Roosendaal
Rucphen
Station Tilburg Zuid
Goirle
A58
Bergen op Zoom
Alphen-Chaam
Hilvarenbeek
Station Woensdrecht
A16
Zundert
Reimerswaal
Station Rilland
Hoogerheide
Baarle-Nassau
Woensdrecht
Reusel-De Mierden
Hulst

B.1 Boring 150 kV Spoorlijn Roosendaal – Vlissingen, nabij Rilland (gemeente Reimerswaal)

Zuid • West 380 kV Oost

Kruisen spoor Goes - Bergen op Zoom 150 kV boringen - 1

Legenda

- Indicatieve mastpunten
- Te amoveren masten
- Traversen - symbool

VKA2.0

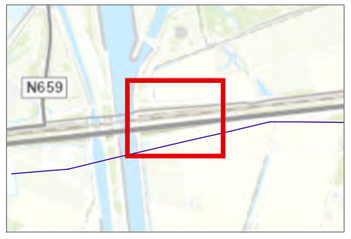
- Solo 380 kV
- Te amoveren verbinding
- Ontgraving - kabels
- Werkweg 6 meter - kabels
- Werkweg 8 meter - kabels
- Werkterreinen - kabels
- Werkstrook - kabels
- Lierterreinen
- Werkweg 8 meter
- Werkweg 10 meter
- Werkterreinen
- Fundaties
- Ontgravingsvlak

Nieuwe 150kV kabeltracés

- boring
- open ontgraving
- moflocatie
- Gemeentegrenzen
- Masten
- Gemeentegrenzen
- Provinciegrenzen

Bestaande verbinding

- 380 kV bovengronds
- 150 kV bovengronds
- ProRail Referentiesysteem



Versie	VKA 1.1	Datum	15-7-2022
Schaal	1:2.500	Formaat	A3
Kenmerk	220208_spoorwegkruisingen.mxd A:\p_vw380\productie\ZW380-Oost\Vergunningen\220202_vergunningskaarten\mxd\220208_spoorwegkruisingen.mxd		

0 50 100 m

N

Aan deze tekening kunnen geen rechten worden ontleend. © TenneT TSO B.V.

B.2 Boring 150 kV Spoorlijn Roosendaal – Vlissingen, nabij Rilland (gemeente Woensdrecht)

Zuid • West 380 kV Oost

Kruisen spoor Goes - Bergen op Zoom 150 kV boringen - 2

Legenda

- ▲ Te amoveren masten

VKA2.0

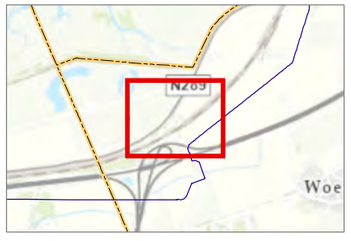
- 380kV kabel
- × × Te amoveren verbinding
- Ontgraving - kabels
- Werkweg 6 meter - kabels
- Werkweg 8 meter - kabels
- Werkterreinen - kabels
- Werkstrook - kabels

Nieuwe 150kV kabeltracés

- boring
- open ontgraving
- moflocatie
- Gemeentegrenzen
- Masten
- Gemeentegrenzen
- Provinciegrenzen

Bestaande verbinding

- 150 kV bovengronds
- ProRail Referentiesysteem

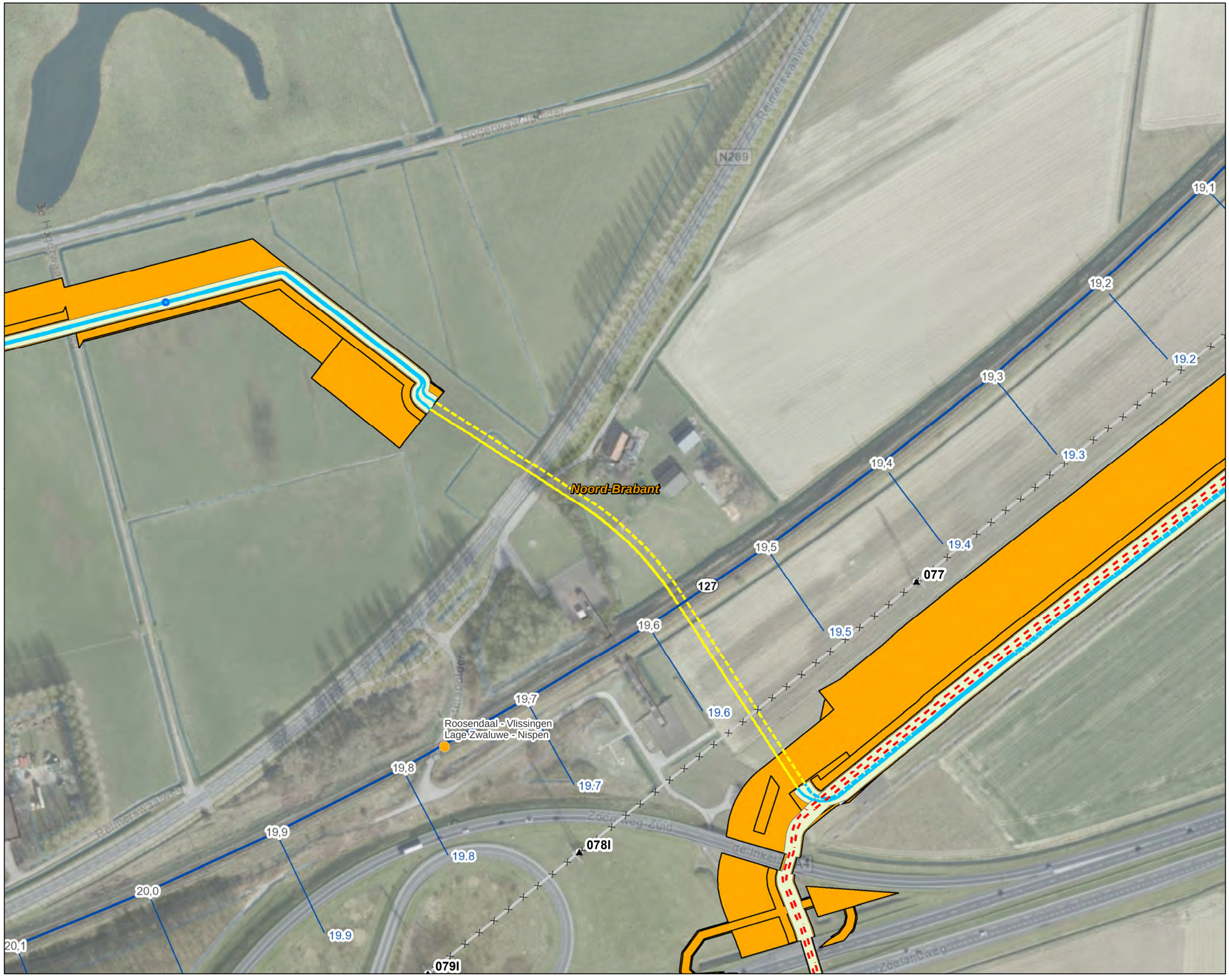


Versie	VKA 1.1	Datum	15-7-2022
Schaal	1:2.500	Formaat	A3
Kenmerk	220208_spoorwegkruisingen.mxd A:\p_ins380\productie\ZW380-Oost\kruisingen\spoor\s220202_verguvoringskaarten\mxd\220208_spoorwegkruisingen.mxd		

0 50 100 m

N

Aan deze tekening kunnen geen rechten worden ontleend. © TenneT TSO B.V.



B.3 Kruisen spoor Bergen op Zoom Roosendaal mast 1040 - 1041

Zuid • West 380 kV Oost

Kruisen spoor Bergen op Zoom – Roosendaal mast 1040 - 1041

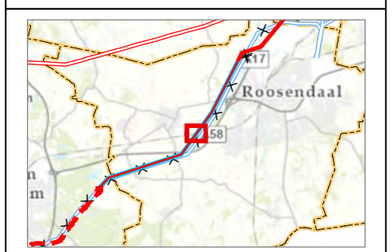
Legenda

VKA2.0.1

- Combi 380kV / 150kV
- Te amoveren verbinding
- Indicatieve mastpunten
- Te amoveren masten
- Fundaties

Bestaande verbinding

- 150 kV bovengronds
- Masten
- Gemeentegrenzen
- Provinciegrenzen
- ProRail Referentiesysteem
- Tijdelijk dempen
- Tijdelijk omleggen
- Werkterreinen/Werkwegen
- Stalen jukken



Versie	VKA 2.0.1	Datum	16-11-2022
Schaal	1:2.500	Formaat	A3
Kenmerk	220805_spoorwegkruisingen.mxd A:\ip_hv380\projecten\ZW380-Oost\Vergunningen\220202_vergunningskaarten\mxd\220805_spoorwegkruisingen.mxd		

0 50 100 m

N

Aan deze tekening kunnen geen rechten worden ontleend. © TenneT TSO B.V.

B.4 Kruisen spoor Zevenbergen Lage Zwaluwe en HSL mast 1115 - 1116

Zuid • West 380 kV Oost

Kruisen spoor Zevenbergen – Lage Zwaluwe en HSL mast 1115 - 1116

Legenda

VKA2.0.1

- Combi 380kV / 150kV
- Te amoveren verbinding
- Indicatieve mastpunten
- Te amoveren masten
- Fundaties
- Ontgravingsvlak
- Opstijgpunten
- Opstijgpunten +2.5m

Nieuwe 150kV kabeltracés

- boring
- open ontgraving

Bestaande verbinding

- 380 kV bovengronds
- 150 kV bovengronds
- Masten
- Stations
- Gemeentegrenzen
- Provinciegrenzen
- ProRail Referentiesysteem
- Lierterreinen
- Werkterreinen/Werkwegen
- Stalen jukken

Versie	VKA 2.0.1	Datum	16-11-2022
Schaal	1:4.000	Formaat	A3
Kenmerk	220805_sporenwegkruisingen.mxd A:\ja_ew380\productie\ZW380-Oost\Vergunningen\220202_vergunningskaarten\mxd\220805_sporenwegkruisingen.mxd		

0 50 100 m

N

Aan deze tekening kunnen geen rechten worden ontleend. © TenneT TSO B.V.

Drimmelen
Moerdijk
Noord-Brabant
Station Zevenbergschenhoek 150
MPA
Lage Zwaluwe - Nispen
Breda - Rotterdam Centraal
Lage Zwaluwe - Hooge Zwaluwe
Breda - Rotterdam Centraal
A16|A59
230,9 14,7
231 14,6 231,0 14,6
231,1 14,5 231,1 14,5
231,2 14,4 231,2 14,4
231,3 14,3 231,3 14,3
231,4 14,2 231,4 14,2
231,5 14,1 231,5 14,1
231,6 14 231,6 14,0
231,7 13,9 231,7 13,9
231,8 13,8 231,8 13,8
231,9 13,7 232,0 13,6
232 13,6
625
228
1 1,1 1,2 1,3 1,4 1,5
031 032 033 034 037 038 038A 039A 039C 040A 041A
1113 1114 1115 1116 1117

B.5 Boring en persing 150 kV onder goederenspoor, nabij Geertruidenberg (gemeente Drimmelen)

Zuid • West 380 kV Oost

Kruisen spoor 150 kV boringen

Legenda

- Indicatieve mastpunten
- Te amoveren masten
- Traversen - symbool

VKA2.0

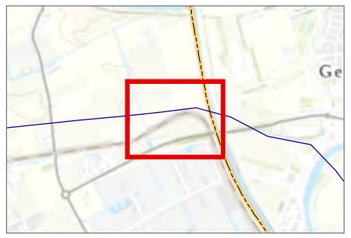
- Combi 380kV / 150kV
- Solo 380 kV
- Te amoveren verbinding
- Ontgraving - kabels
- Werkweg 6 meter - kabels
- Werkweg 8 meter - kabels
- Werkterreinen - kabels
- Werkstrook - kabels
- Lierterreinen
- Werkweg 8 meter
- Werkweg 10 meter
- Werkterreinen
- Fundaties
- Ontgravingsvlak
- Opstijgpunten
- Opstijgpunten +2.5m

Nieuwe 150kV kabeltracés

- boring
- open ontgraving
- moflocatie
- Gemeentegrenzen
- Masten
- Gemeentegrenzen
- Provinciegrenzen

Bestaande verbinding

- 380 kV bovengronds
- 150 kV bovengronds
- ProRail Referentiesysteem



Versie	VKA 1.1	Datum	15-7-2022
Schaal	1:2.500	Formaat	A3
Kenmerk	220208_spoorwegkruisingen.mxd A:\p_ew380\productie\ZW380-Oost\kruisingen\get\220202_verguvningskaarten\mxd\220208_spoorwegkruisingen.mxd		

0 50 100 m

N

Aan deze tekening kunnen geen rechten worden ontleend. © TenneT TSO B.V.

003 004 005 1147 1148

0 0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6 0,7 0,8 0,9 1 1,0 1,1

Lage Zwaluwe - Hooge Zwaluwe
Hooge Zwaluwe - Oosterhout Weststad
Hooge Zwaluwe - Oosterhout Weststad
Lage Zwaluwe - Hooge Zwaluwe

228 823

Noord-Brabant

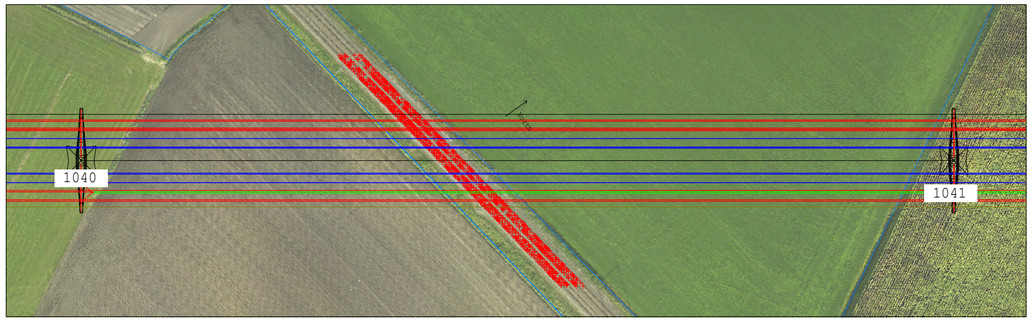
Kanaalweg West

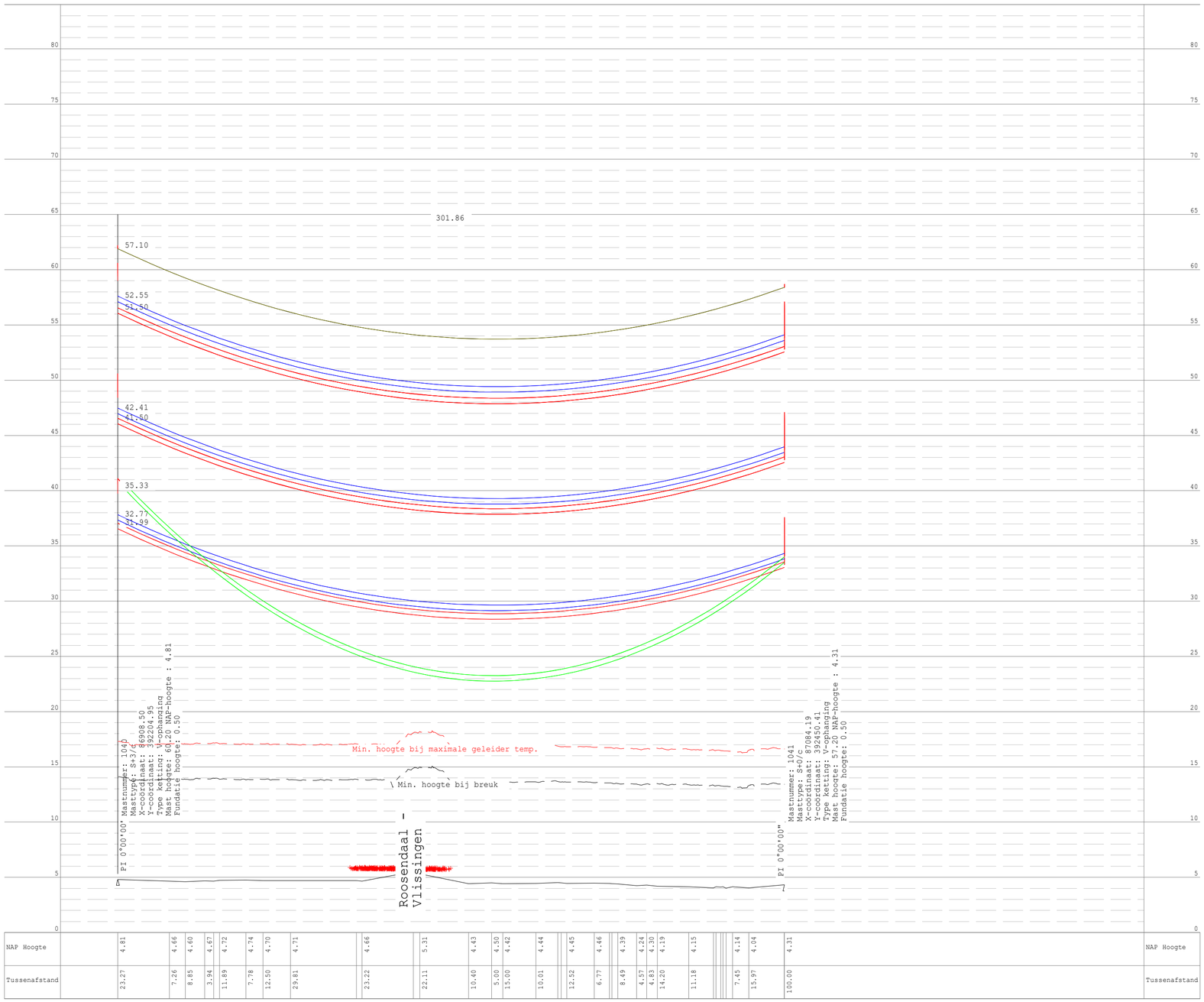
Kanaalweg-West

Gertruidenberg

Drimmelen

C.1 Lengteprofiel VKA 2.0.1 Vergunningen Prorail





NAP Hoogte		4.81		4.66	4.60	4.67	4.72	4.74	4.70	4.71		4.66		5.31	4.43	4.50	4.42	4.44		4.45	4.46	4.39	4.24	4.30	4.19	4.15		4.14	4.04		4.31	NAP Hoogte
Tussenafstand		23.27		7.26	8.85	3.94	11.89	7.78	12.50	29.81		23.22		22.11	10.40	5.00	15.00	10.01		12.52	6.77	8.49	4.57	4.83	14.20	11.18		7.45	15.97		100.00	Tussenafstand

Spanveld 1040 (S+3_c)-1041 (S+0_c), spoorwegkruising Roosendaal-Vlissingen met fase-bundel breuk in veld 1039-1040 (back span)

PLS-CADD Drawing

Vereist afstanden

Type	Symb	150kV	380kV RLL-TLB
Grond	○	9.3 m	10.8 m*
Industrieel gebied	○	9.7 m	11.2 m*
Wegen	○	9.3 m	10.8 m*
Land/agrarische wegen	○	10.3 m	11.8 m*
Snel/autowegen	○	7.7 m	12.7x m
Snel/autowegen na geleiderbreuk	○	11.2 m	9.2 m
Spoorlijn met tractie	+	12.5 m	14.0 m*
Spoorlijn met tractie na geleiderbreuk	+	11.1 m	12.4 m
Daken <15 graden	△	6.7 m	8.2 m*
Daken >15 graden	△	4.7 m	6.2 m
Buisleidingstraat/Evides	○	10.8 m	12.3 m*
Tractie	+	7.3 m	8.8 m
Water	M	7.9 m	9.4 m*
Vaarwegen 15m VDH	15	17.3 m	18.8 m
Vaarwegen 20m VDH	20	22.3 m	23.8 m
Vaarwegen 25m VDH	25	27.3 m	28.8 m
Vaarwegen 30m VDH	30	32.3 m	33.8 m

* onderstaande afstanden minimaal te hanteren vanwege dominantie e-velden (5kV/m 1m boven maaiveld) conform AM-Req-0939

Verbinding	Afstand	Aanduiding afstand
RLL-TLB Combi	14.9m	
RLL-TLB Solo	13.8m	
GT-TLB	12.0m	
GT-RLL	Niet dominant	

= Geleider toestand na breuk in aanliggend veld

Revisie	Datum	Omschrijving
1	4-5-2022	RFA Verwerkt
0	19-04-22	Eerste uitgave

DNV

DNV Energy Systems
Utrechtseweg 310, 6812 AR Arnhem, tel: +31 26 3569111

Projectnaam: TenneT Engineering ZW380 kV Oost

Status: Definitief | Schaal: 15.0 m Horiz. Scale / 3.0 m Vert. Scale

Datum: 19-04-22 | Units Meters | Projectie RD-Stelsel

Tekenaar: RLo | Projectnummer: 10124719

Vrijgever: HMe | DNV docnummer: 10124719-031-1012

Naam: Lengteprofiel VKA 2.0.1 Vergunningen Prorail | Tekeningstatus

Rev.	d.d.revisie	Omschrijving revisie	Getekend	d.d As-Built	Schaal	Formaat
					1:15 hor. 1:3 vert.	A2

Relatie: -

Thema:

Categorie:

Documenttype:

Object ID:

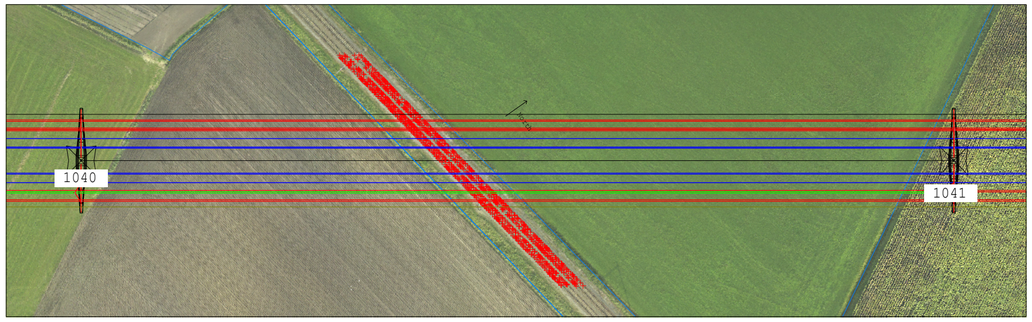
Tekeningnummer (oud of nieuw):

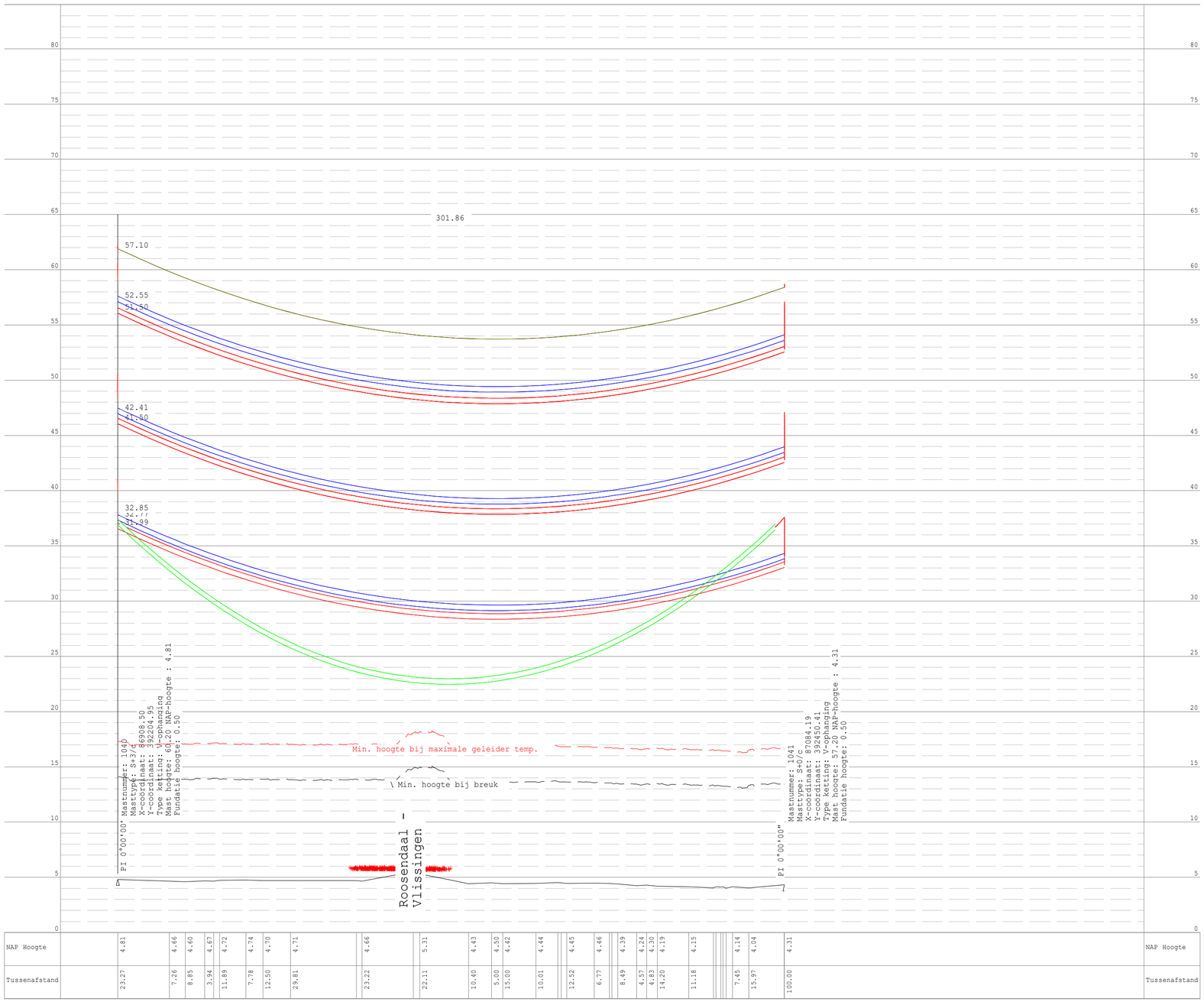
Omschrijving: Lengteprofiel VKA 2.0.1 Vergunningen Prorail

TenneT nummer: 002.678.00 1015085

TenneT Taking power further

Filename: PERMITS DRWAWINGS RWS AND PRORAIL VKA 2.0.1.xyz





NAP Hoogte		4.81		4.66	4.60	4.67	4.72	4.74	4.70	4.71		4.66		5.31	4.43	4.50	4.42	4.44		4.45	4.46	4.39	4.24	4.30	4.19	4.15		4.14	4.04	4.31	NAP Hoogte
Tussenafstand		23.27		7.26	8.85	3.94	11.89	7.78	12.50	29.81		23.22		22.11	10.40	5.00	15.00	10.01		12.52	6.77	8.49	4.57	4.83	14.20	11.18		7.45	15.97	100.00	Tussenafstand

Spanveld 1040 (S+3_c)-1041 (S+0_c), spoorwegkruising Roosendaal-Vlissingen met fase-bundel breuk in veld 1041-1042 (ahead span)

PLS-CADD Drawing

Vereist afstanden

Type	Symb	150kV	380kV RLL-TLB
Grond	○	9.3 m	10.8 m*
Industrieel gebied	○	9.7 m	11.2 m*
Wegen	○	9.3 m	10.8 m*
Land/agrarische wegen	○	10.3 m	11.8 m*
Snel/autowegen	○	7.7 m	12.7x m
Snel/autowegen na geleiderbreuk	○	11.2 m	9.2 m
Spoorlijn met tractie	+	12.5 m	14.0 m*
Spoorlijn met tractie na geleiderbreuk	+	11.1 m	12.4 m
Daken <15 graden	△	6.7 m	8.2 m*
Daken >15 graden	△	4.7 m	6.2 m
Buisleidingstraat/Evides	○	10.8 m	12.3 m*
Tractie	+	7.3 m	8.8 m
Water	M	7.9 m	9.4 m*
Vaarwegen 15m VDH	15	17.3 m	18.8 m
Vaarwegen 20m VDH	20	22.3 m	23.8 m
Vaarwegen 25m VDH	25	27.3 m	28.8 m
Vaarwegen 30m VDH	30	32.3 m	33.8 m

* onderstaande afstanden minimaal te hanteren vanwege dominantie e-velden (5kV/m 1m boven maaiveld) conform AM-Req-0939

Verbinding	Afstand	Aanduiding afstand
RLL-TLB Combi	14.9m	
RLL-TLB Solo	13.8m	
GT-TLB	12.0m	
GT-RLL	Niet dominant	

= Geleider toestand na breuk in aanliggend veld

Revisie	Datum	Omschrijving
1	4-5-2022	RFA Verwerkt
0	19-04-22	Eerste uitgave

DNV Energy Systems
Utrechtseweg 310, 6812 AR Arnhem, tel: +31 26 3569111

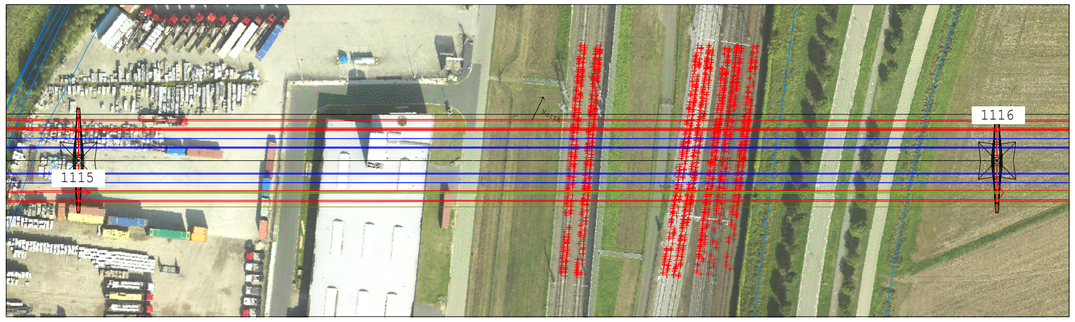
Projectnaam: TenneT Engineering ZW380 kV Oost
Status: Definitief
Schaal: 15.0 m Horiz. Scale / 3.0 m Vert. Scale
Datum: 19-04-22
Units Meters
Projectie RD-Stelsel
Tekenaar: RLo
Projectnummer: 10124719
Vrijgever: HMe
DNV docnummer: 10124719-031-1012

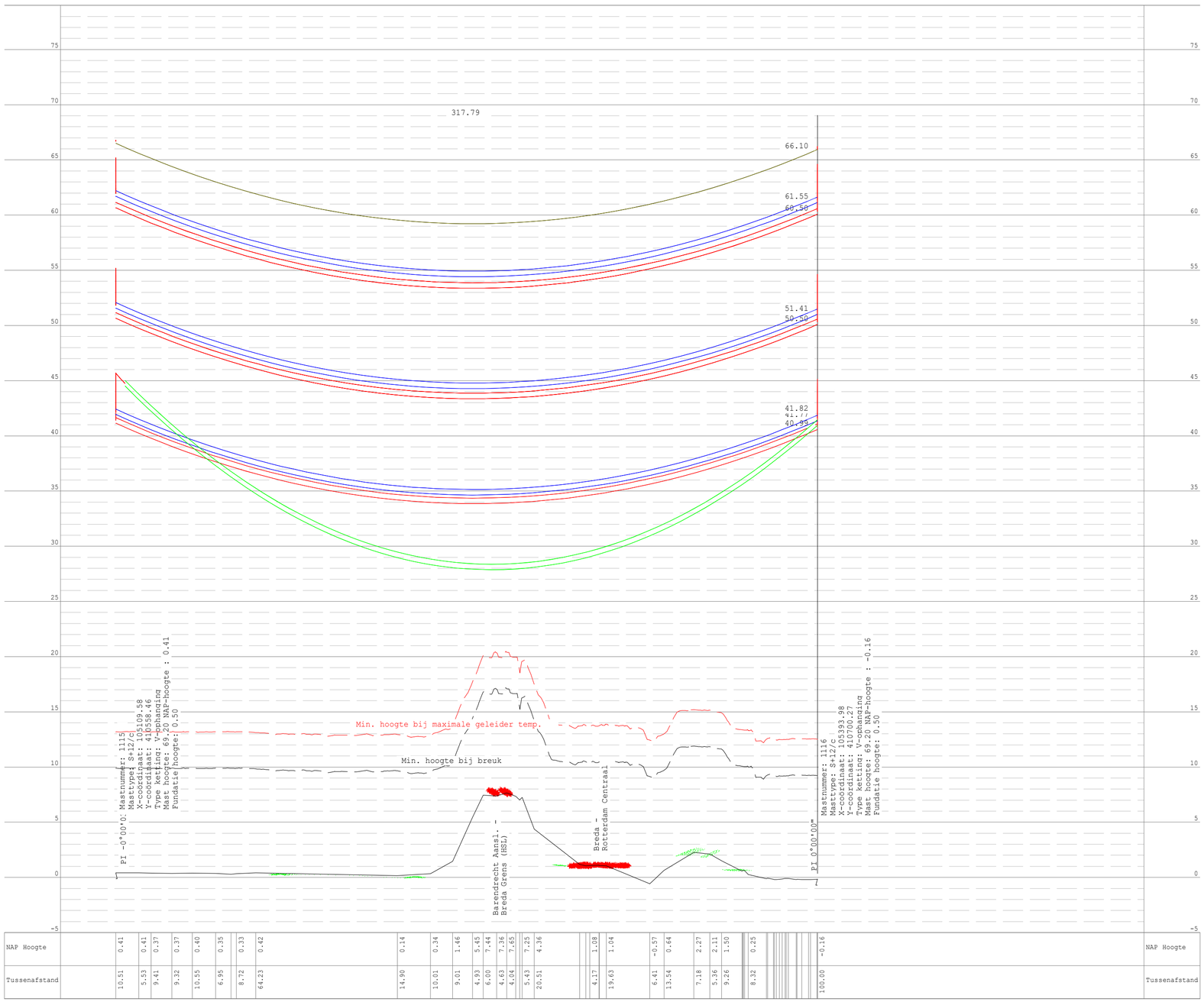
Naam: Lengteprofiel VKA 2.0.1 Vergunningen Prorail
Tekeningstatus

Rev.	d.d.revisie	Omschrijving revisie	Getekend	d.d As-Built	Schaal	Formaat
					1:15 hor. 1:3 vert.	A2

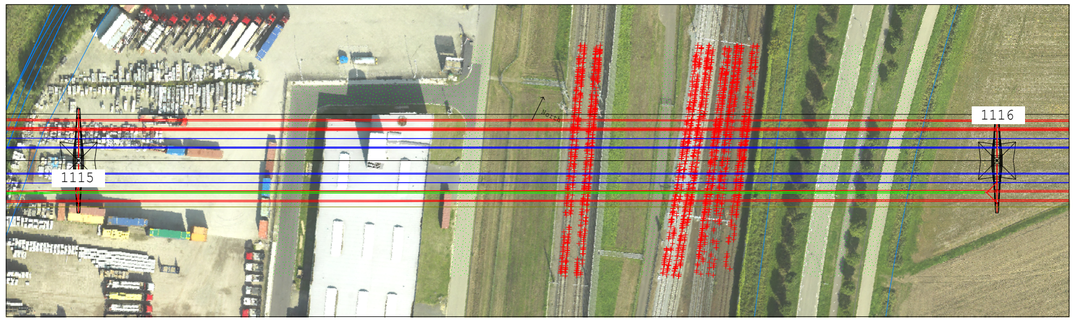
Relatie: -
Thema:
Categorie:
Documenttype:
Object ID:
Tekeningnummer (oud of nieuw):
Omschrijving: Lengteprofiel VKA 2.0.1 Vergunningen Prorail
TenneT nummer: 002.678.00 1015085

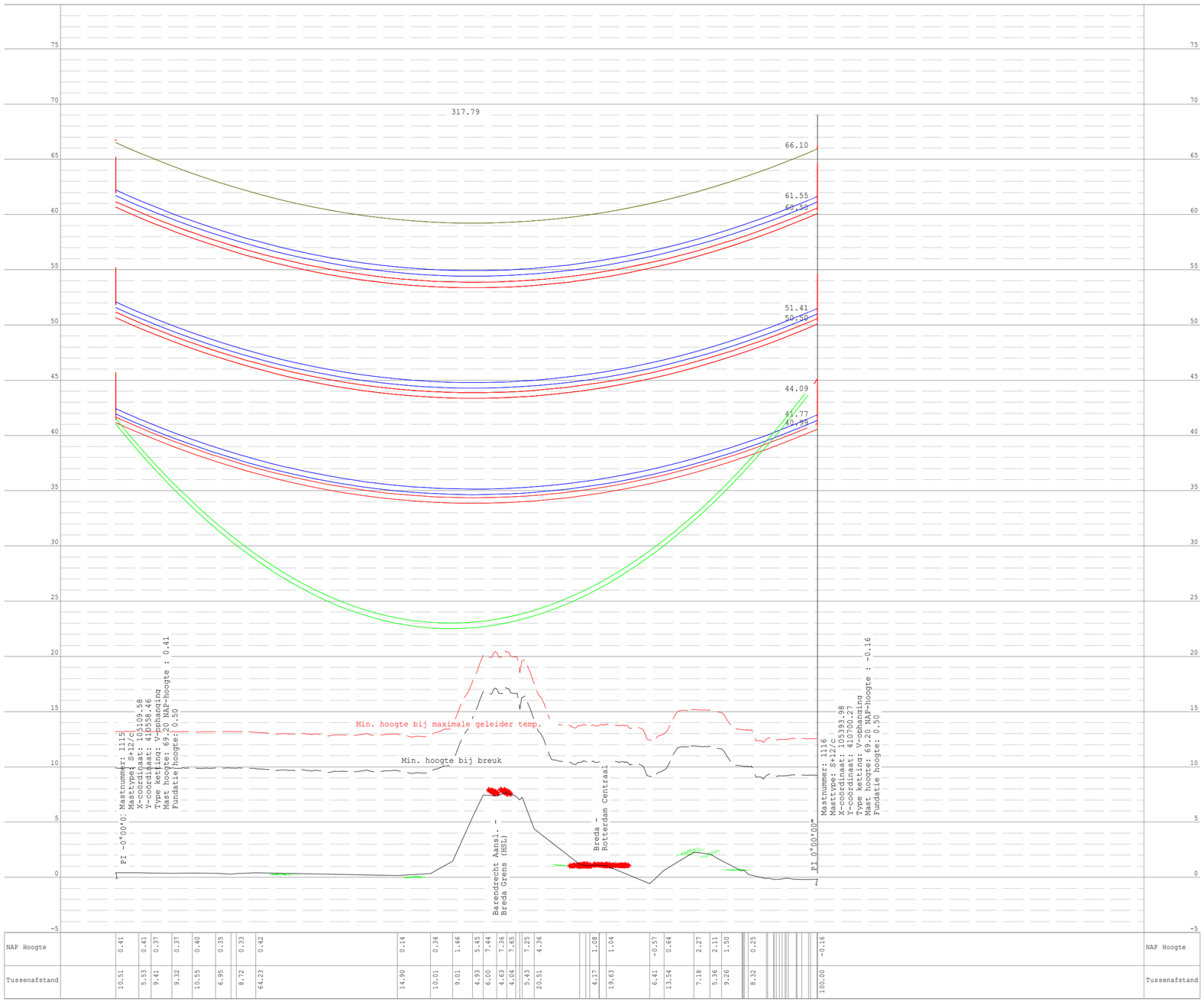
Filename: PERMITS DRWAWINGS RWS AND PRORAIL VKA 2.0.1.xyz


1115
1116

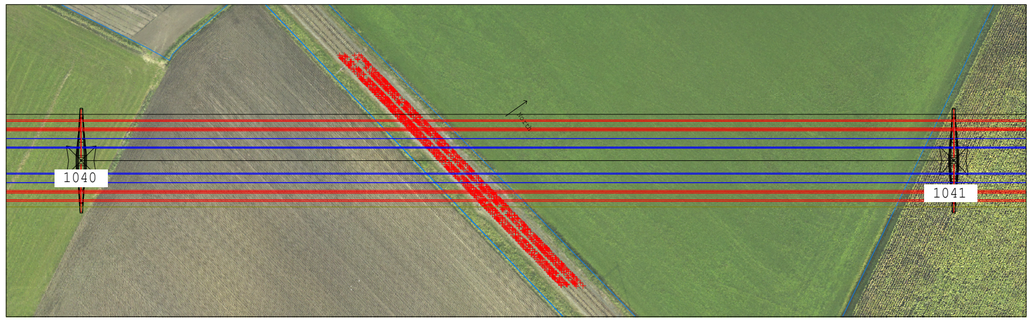

317.79
66.10
61.55
60.56
51.41
50.50
41.82
41.77
40.93
Min. hoogte bij maximale geleider temp.
Min. hoogte bij breuk
PI -0°00'0"
Mastnummer: 1115
Mastype: S+12/c
X-coordinaat: 105109.58
Y-coordinaat: 410558.46
Type ketting: V-ophanging
Mast hoogte: 69.20 NAP-hoogte : 0.41
Fundatie hoogte: 0.50
PI 0°00'00"
Mastnummer: 1116
Mastype: S+12/c
X-coordinaat: 105393.98
Y-coordinaat: 410700.27
Type ketting: V-ophanging
Mast hoogte: 69.20 NAP-hoogte : -0.16
Fundatie hoogte: 0.50
Barendrecht Aansl. -
Breda Grens (HSL)
Breda -
Rotterdam Centraal
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
-5

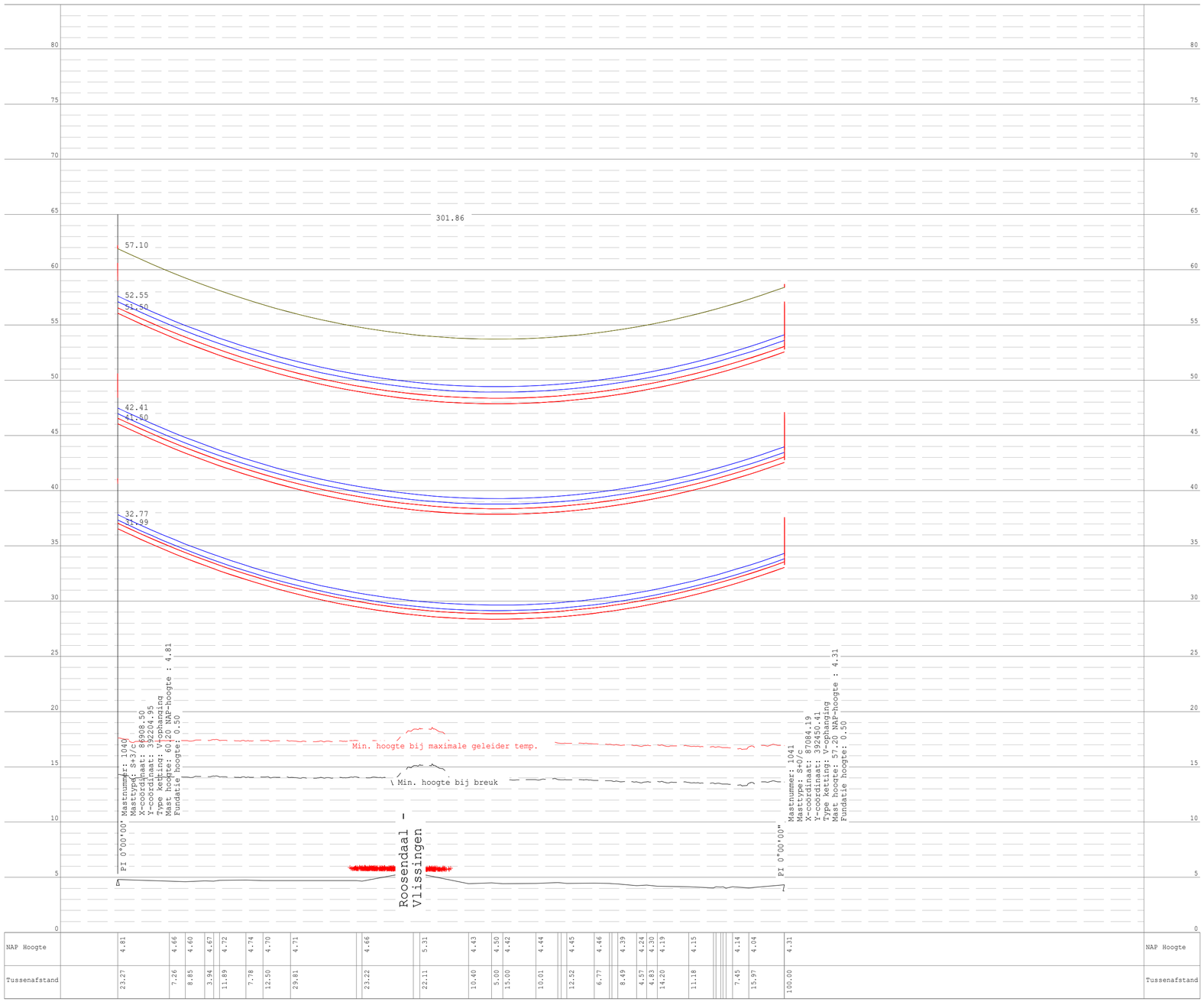
| | | |


1115
1116

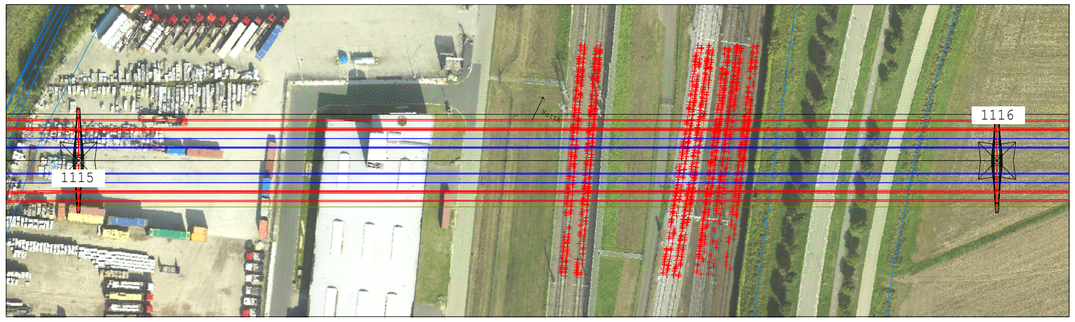

317.79
66.10
61.55
60.56
51.41
50.50
44.09
41.77
40.95
Min. hoogte bij maximale geleider temp.
Min. hoogte bij breuk
Barendrecht Aansl. - Breda Grens (HSL)
Breda - Rotterdam Centraal
PI -0°00'0"
PI 0°00'0"
Mastnummer: 1115
Masttype: S+12/c
X-coordinaat: 105109.58
Y-coordinaat: 415558.46
Type ketting: V-ophanging
Mast hoogte: 69.20 NAP-hoogte : 0.41
Fundatie hoogte: 0.50
Mastnummer: 1116
Masttype: S+12/c
X-coordinaat: 105393.98
Y-coordinaat: 410700.27
Type ketting: V-ophanging
Mast hoogte: 69.20 NAP-hoogte : -0.16
Fundatie hoogte: 0.50
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
-5

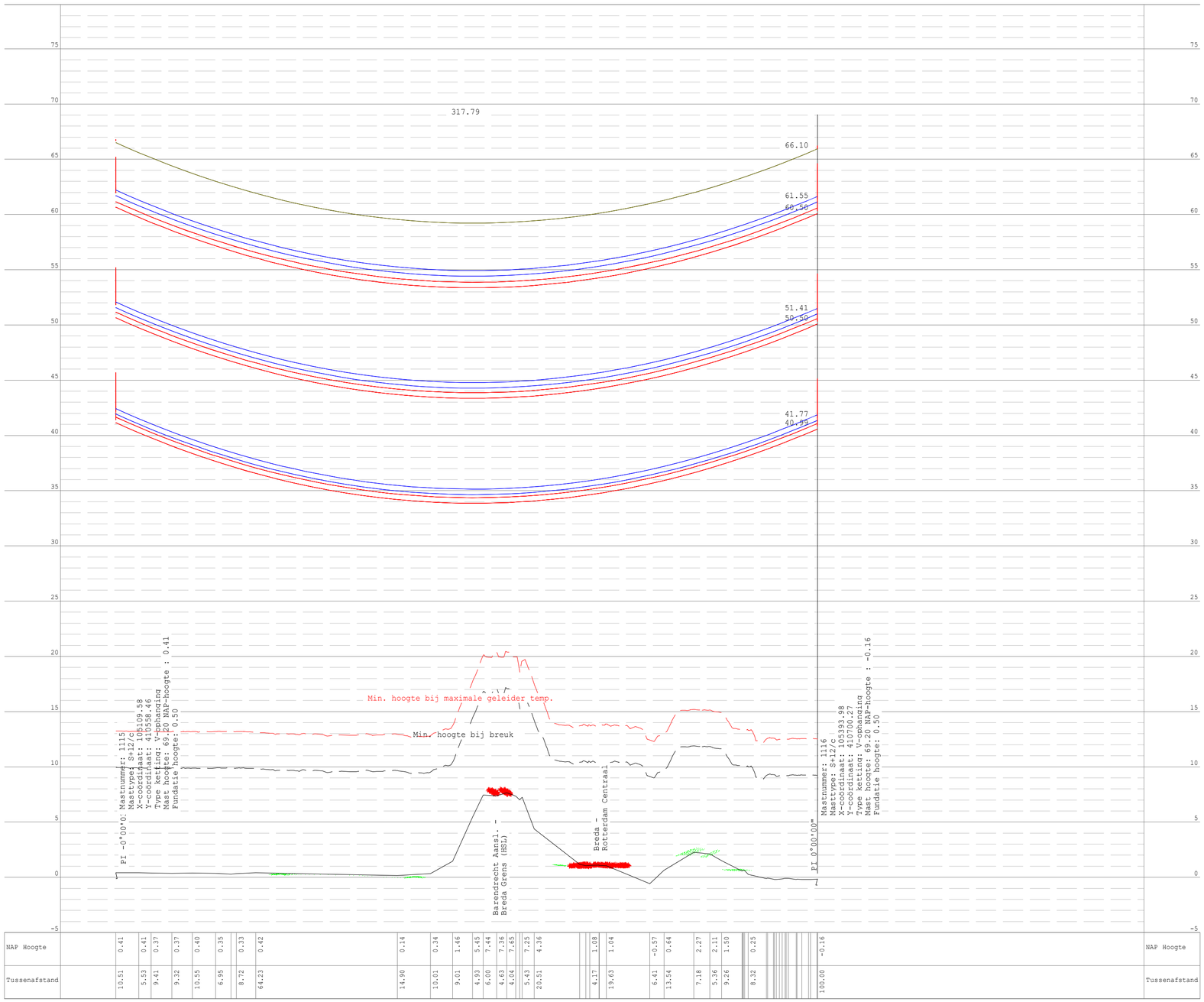
| | | |


1040
1041


301.86
57.10
52.55
51.50
42.41
41.60
32.77
31.99
Min. hoogte bij maximale geleider temp.
Min. hoogte bij breuk
Mastnummer: 1040
Masttype: S+3/C
X-coordinaat: 86908.50
Y-coordinaat: 392204.95
Type ketting: V-ophanging
Mast hoogte: 62.20 NAP-hoogte : 4.81
Fundatie hoogte: 0.50
PI 0°00'00"
Mastnummer: 1041
Mastype: S+D/C
X-coordinaat: 87084.19
Y-coordinaat: 392450.41
Type ketting: V-ophanging
Mast hoogte: 57.20 NAP-hoogte : 4.31
Fundatie hoogte: 0.50
PI 0°00'00"
Roosendaal
Vlissingen

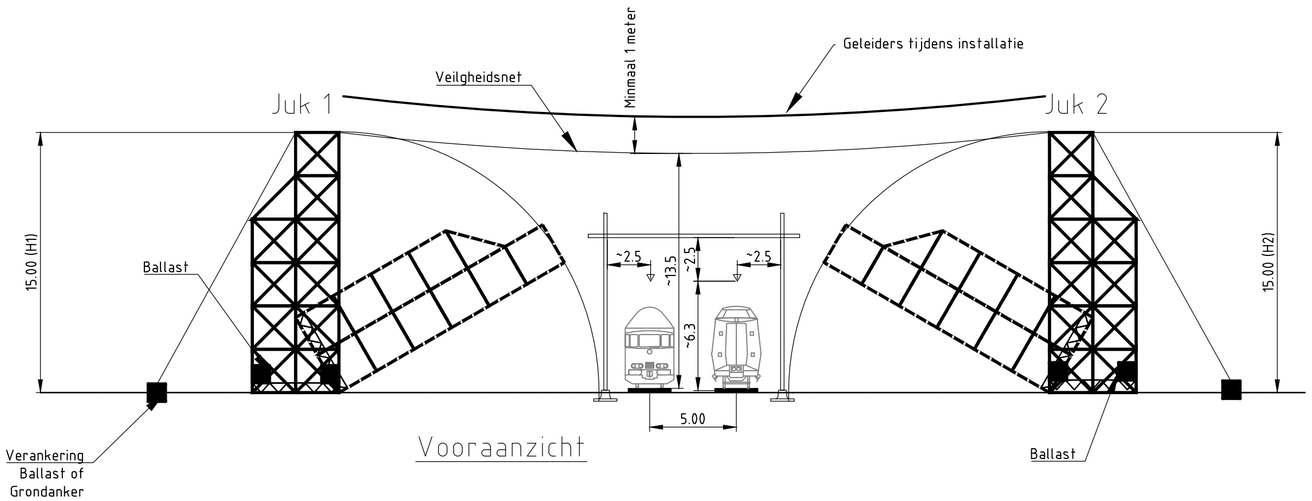
| | | |


1115
1116

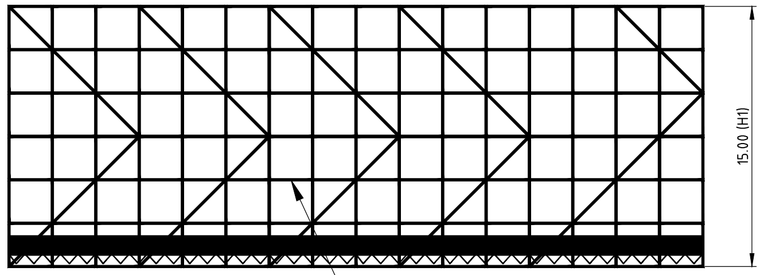

317.79
66.10
61.55
60.56
51.41
50.50
41.77
40.95
Min. hoogte bij maximale geleider temp.
Min. hoogte bij breuk
Mastnummer: 1115
Masttype: S+12/c
X-coordinaat: 10109.58
Y-coordinaat: 410538.46
Type ketting: V-ophanging
Mast hoogte: 69.20 NAP-hoogte : 0.41
Fundatie hoogte: 0.50
PI -0°00'0"
Mastnummer: 1116
Masttype: S+12/c
X-coordinaat: 10393.98
Y-coordinaat: 410700.27
Type ketting: V-ophanging
Mast hoogte: 69.20 NAP-hoogte : -0.16
Fundatie hoogte: 0.50
PI 0°00'0"
Barendrecht Aansl. - Breda Grens (HSL)
Breda - Rotterdam Centraal
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
-5

| | | |

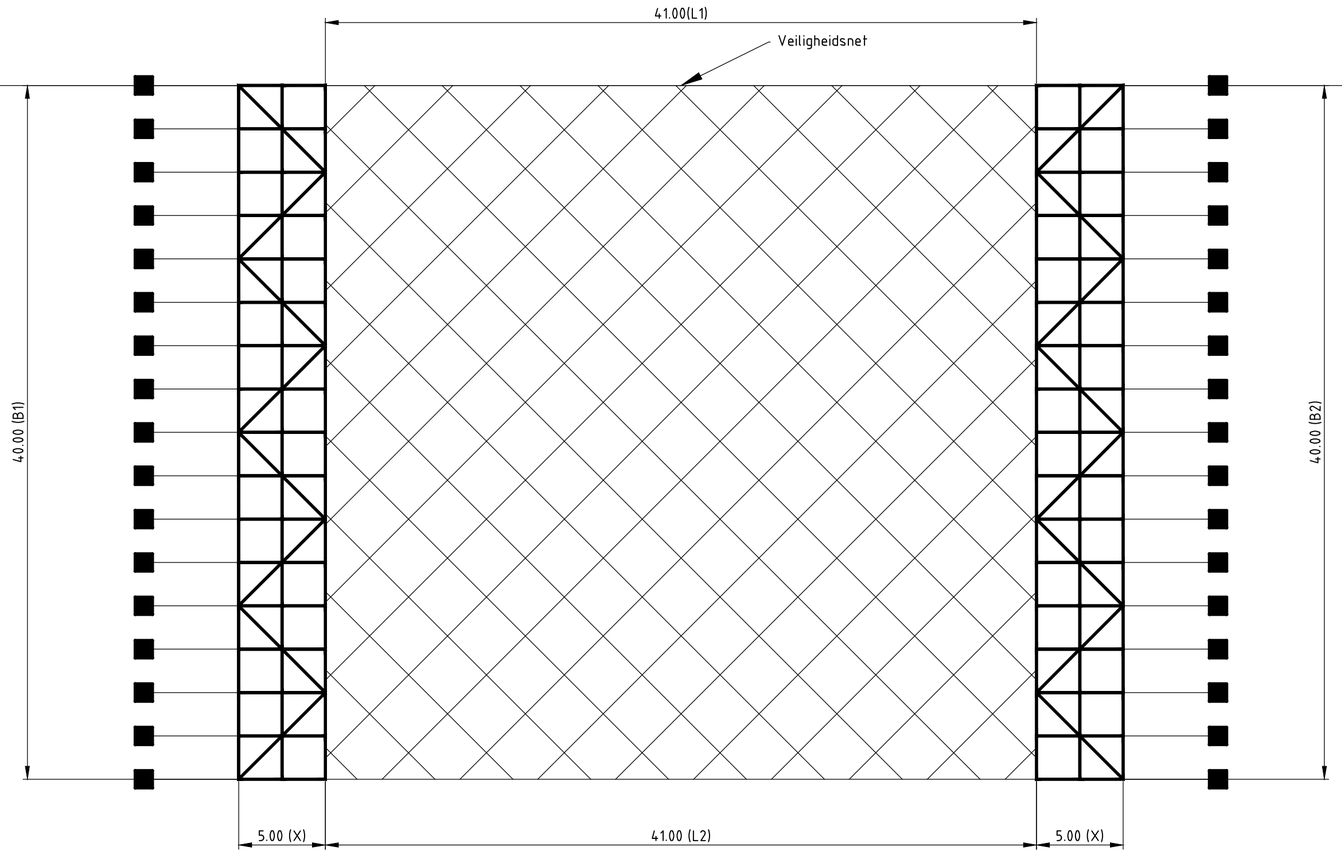
D.1 Generieke juktekening



Vooraanzicht

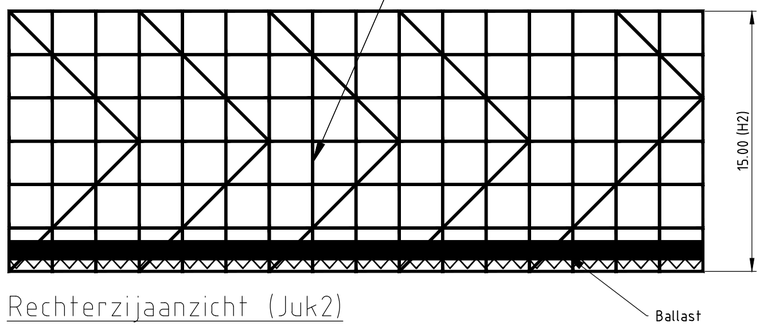


Linkerzijaanzicht (Juk1)



Bovenaanzicht

Oppervlakte Juk: Opp. Juk1 + Opp. Juk 2



Rechterzijaanzicht (Juk2)

Opmerking:

- Maatvoering is indicatief en dient nader te worden gespecificeerd per kruising
- De lengte en breedte (L1, L2, B1 en B2) zijn afhankelijk van de locatie vanwege variatie in totale spoorbreedte en kruisingshoek.
- X=afmeting in uitvoeringsontwerp bepalen

Revisie	Datum	Omschrijving
0.0	15-08-2022	First issue

DNV Energy Systems
Utrechtseweg 310, 6812 AR Arnhem, tel: +31 26 3 56 91 11

Projectnaam:	Zw380-Oost		
Status:	DRAFT	Schaal:	1:250
Datum:	28-07-2022	Units:	meter
Tekenaar:	DMR	Projectnummer:	10124719
Vrijgever:	HSE	DNV docnummer:	10124719-37-002

Naam

Tekeningstatus

Rev.	Datum revisie	Omschrijving revisie	Getekend	Datum As-Built	Schaal	Formaat
			DNV		1:250	A2

Relatie

Tekeningnummer (oud of nieuw):

Thema

Categorie

Documenttype

Object ID

Omschrijving:
Principe tekening spoorweg juk

TenneT nummer:
02.678.00 1038632

D.2 Fotos jukken

06/14/2006

MERCON
ELECTRON

E.1 Inventarisatie ProRail fase 1 (Inventarisatie van mogelijke EM-beïnvloeding ProRail aan de hand van RLN00398)

NOTITIE

AAN	ZW380 Oost	**CLASSIFICATIE**	C2 - Interne Informatie
		DATUM	18 januari 2022
		REFERENTIE	002.678.22 0768124
		VAN	[redacted]

ONDERWERP Inventarisatie van mogelijke EM-beïnvloeding ProRail aan de hand van RLN00398

TER INFORMATIE ■

TER BESLUITVORMING ☐

1. Inleiding

Ten behoeve van het verkrijgen van een vergunning van spoorbeheerder ProRail is in dit memo geïnventariseerd of er spoorwegen van ProRail in de nabijheid van de nieuwe hoogspanningsverbinding ZW30 Oost liggen.
ProRail heeft de richtlijn " Beleid elektromagnetische beïnvloeding van hoogspanningsverbindingen op de hoofdspoorweginfrastructuur", kortweg de RLN00398, opgesteld. Versie 003 is momenteel de vigerende versie.
De eerste fase van de RLN00398 is het vaststellen of er mogelijk sprake is van een ontoelaatbare elektromagnetische (EM) beïnvloeding op het ProRail spoor. Hiervoor zijn in de RLN00398 een 8-tal vragen voor hoogspanningslijnen, en een 8-tal vragen voor hoogspanningskabels opgesteld.
Indien deze 8 vragen met een "Ja" of een "n.v.t." beantwoord kunnen worden, is er geen sprake van een ontoelaatbare EM beïnvloeding op het ProRail spoor.
Indien één of meer van de 8 vragen met een 'Nee' beantwoord wordt, kan een ontoelaatbare EM-beïnvloeding op het ProRail spoor niet uitgesloten worden. In dat geval schrijft de RLN00398 voor dat er een locatie specifieke detail EMC studie uitgevoerd dient te worden. De RLN00398 beschrijft hoe een dergelijke locatie specifieke detail EMC studie uitgevoerd dient te worden.

2. ZW380 Oost

ZW380 Oost is een nieuwe 2 circuit 380 kV hoogspanningsverbinding van het nieuwe hoogspanningsstation Rilland380 naar het nieuw te bouwen hoogspanningsstation Tilburg380.
De nieuwe 380 kV hoogspanningsverbinding wordt deels als hoogspanningslijn met vakwerkmasten uitgevoerd, en wordt deels als hoogspanningskabel (orde 10 km) uitgevoerd.
Ten behoeve van het kunnen aanleggen van de nieuwe hoogspanningslijn, dienen delen van de bestaande 380 kV hoogspanningslijn Rilland-Geertruidenberg, en delen van de bestaande 380 kV hoogspanningsverbinding Geertruidenberg-Eindhoven gereconstrueerd (lees verplaatst) te worden.

Tevens worden bestaande 150 kV lijnen geamoveerd, en als 150 kV + 380 kV combi lijn gecombineerd met de nieuwe 380 kV hoogspanningsverbinding ZW380 Oost.
Het betreft de 150 kV hoogspanningslijnen:

- Rilland150 – Woensdrecht150;
- Woensdrecht150 – Roosendaal Borchwerf150 / Roosendaal150;

- een deel van Roosendaal150 – Moerdijk150;
- Moerdijk150 – Geertruidenberg150;
- Geertruidenberg150 – Oosteind150 / Tilburg West150.

Er zijn een aantal gebieden waar de nieuwe hoogspanningsverbinding ZW380 Oost binnen 700 meter van het dichtstbijzijnde ProRail spoor komen, zie Figuur 7 in de bijlage van dit memo.
Dit zijn de locaties:

1. Rilland - Bergen op Zoom, geocode 127, km 24,1 - 15,3;
2. Bergen op Zoom – Roosendaal, kruising, geocode 127, km 4,7 – 3,3;
3. Moerdijk, geocode 801, km 8,8 -10,0;
4. Zevenbergschenhoek, kruising, geocode 625, km 13,985;
5. Geertruidenberg, geocode 228 + 823, km 7,2 – 12,0 + 0,1 – 1,3.

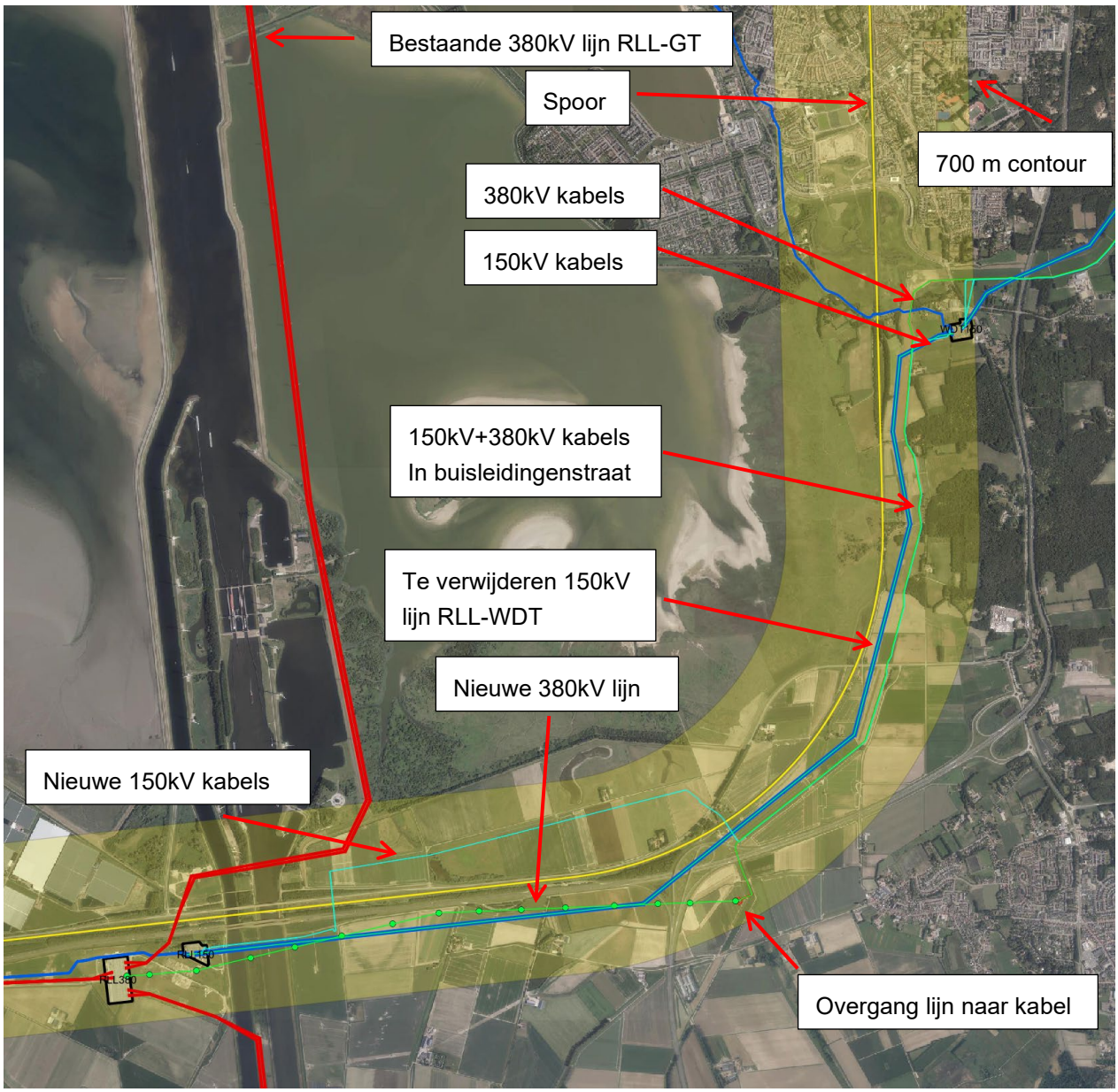
Voor deze bovengenoemde locaties worden telkens de 8 vragen voor hoogspanningslijnen en/of de 8 vragen voor hoogspanningskabels beantwoord.
Er is in deze notitie uitgegaan van VKA 1.1.

Voor de beoordeling van vraag 8 (bij lijnen) danwel vraag 6 (bij kabels) wordt uitgegaan van 20 meter afstand tot een elektrische installatie. In deze notitie wordt daarmee niet alleen uitgegaan van elektrische apparatuur in een technische ruimte , maar ook van losse elektrische apparatuur buiten.

Bronnen
De onderstaande bronnen zijn gebruikt.

Asset	Bron
ZW380 Oost	Interne TenneT Geoweb GIS informatie project ZW380 Oost
Bestaande HSP verbindingen	https://services3.arcgis.com/XWGZdevfTDjoWmwu/arcgis/rest/services/TenneT_Assets/FeatureServer
ProRail spoor ligging	https://geodata.nationaalgeoregister.nl/spoorwegen/wfs?request=GetCapabilities

1 Baanvak Rilland – Bergen op Zoom
Het baanvak Rilland – Bergen op Zoom (geocode 127) loopt tussen km 24,1 en km 15,3 in de toekomstige situatie parallel aan 2 circuits 150 kV en 2 circuits 380 kV. De 380 kV bestaat uit een deel hoogspanningslijn, en een deel hoogspanningskabel (2 circuits met 2 kabels per fase). De 150 kV bestaat geheel uit 150 kV hoogspanningskabel (2 circuits met 1 kabel per fase). De 150 kV en 380 kV hoogspanningskabels zullen hier voor een groot deel in de buisleidingenstraat worden gelegd. De bestaande 150 kV lijn (donker blauw in onderstaande figuur) tussen Rilland150 en Woensdrecht150 wordt in zijn geheel verkabeld.
In Figuur 1 is dit deel van het tracé van ZW380 Oost weergegeven.



Figuur 1: Baanvak Rilland – Bergen op zoom, geocode 127.

Voor het deel van het tracé dat weergegeven is in Figuur 1 worden de 8 vragen uit de RLN00398 voor hoogspanningslijnen, en de 8 vragen voor hoogspanningskabels beantwoord.

	Eis ProRail (HSP-lijn)	Voldoet J/N	Uitkomst Verificatie
1	De hoogspanningslijn dient de spoorbaan haaks te kruisen met een hoek Ψ, waarbij 80 ≤ Ψ ≤100 graden, zie figuur 1 (in RLN00398).	n.v.t.	De 380 kV hoogspanningslijn kruist het spoor niet.
2	De minimale afstand (clearance) van de hoogspanningslijn tot de bovenleiding dient te voldoen aan NEN-EN 50341-1:2001 en NEN-EN 50341-3:2001.	n.v.t.	De 380 kV hoogspanningslijn kruist het spoor niet.
3	De hoogspanningslijn dient in het kruisende veld met de spoorbaan dubbelzijdig afgespannen te zijn, in verband met kans op breuk.	n.v.t.	De 380 kV hoogspanningslijn kruist het spoor niet.
4	Een eerste orde lijnfout dient binnen maximaal 100 ms afgeschakeld te zijn.	J	De afschakeltijd is maximaal 100ms.
5a	Niet kruisende hoogspanningslijnen mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van - horizontaal gemeten - 700 m uit het hart van de buitenste spoorbaan.	N	De 380 kv hoogspanningslijn is binnen 700 meter aanwezig. Sluit tevens aan op ZW380 West bij 380 kV hoogspanningsstation Rilland380.
5b	In afwijking van punt 5a geldt een afstand van 11 meter bij geëlektrificeerde sporen met een tractiespanning van 25 kV, 50 Hz.	n.v.t.	Het betreft met 1500 Vdc geëlektrificeerd spoor.
6	De blootstelling van de mens conform NEN-EN 50341-3:2001 [B], mag niet meer bedragen dan 100 µT op 1 m boven BS.	J	Dit is een ontwerpeis waar de nieuwe hoogspanningslijn aan moet voldoen.
7	Hoogspanningsmasten mogen niet worden geplaatst binnen een afstand van ten minste 31 m uit het hart buitenste spoor.	J	De dichtste nadering is orde 145 meter bij mast 1007.
8	Hoogspanningslijnen mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van - horizontaal gemeten - 20 m vanaf de dichtst bij zijnde gevel van een technische ruimte.	J	De dichtste nadering is orde 145 meter bij mast 1007.

	Eis ProRail (HSP-kabel)	Voldoet J/N	Uitkomst Verificatie
1	De hoogspanningskabel dient de spoorbaan haaks te kruisen met een hoek Ψ, waarbij 80 ≤ Ψ ≤100 graden, zie figuur 1 (in RLN00398).	J	De 150 kV hoogspanningskabel kruist het spoor onder een hoek van 90 graden en onder een hoek van 91 graden. De 380 kV hoogspanningskabel kruist het spoor niet.

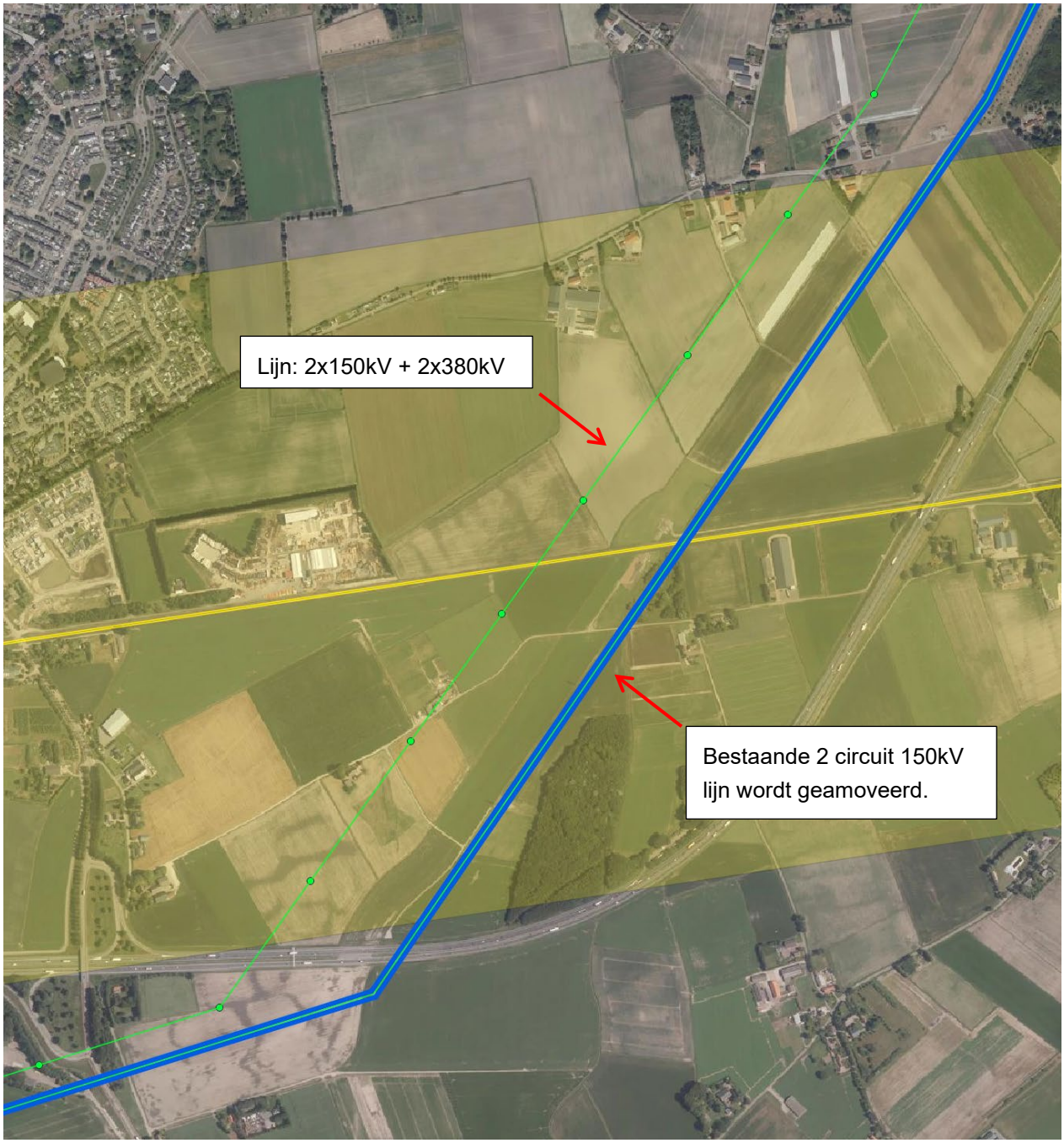
	Eis ProRail (HSP-kabel)	Voldoet J/N	Uitkomst Verificatie
2a	Niet kruisende hoogspanningskabels met een nominale spanning van ≥ 35 kV mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van 700 m vanaf het hart van het buitenste spoor.	N	De 150kV en 380 kV hoogspanningskabels zijn binnen 700 meter aanwezig.
2b	In afwijking van punt 2a geldt een afstand van 11 meter bij geëlektrificeerde sporen met een tractiespanning van 25 kV, 50 Hz.	n.v.t.	Het betreft met 1500 Vdc geëlektrificeerd spoor.
3	Niet kruisende drie-aderige hoogspanningskabels met een nominale spanning < 35 kV mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van 11 m vanaf het hart buitenste spoor.	n.v.t.	Het betreft 150kV en 380 kV hoogspanningskabels.
4	Niet kruisende enkelfasige hoogspanningskabels in driehoek ligging met een nominale spanning van < 35 kV mogen niet aanwezig zijn in het gebied binnen een afstand van 11 m vanaf het hart buitenste spoor.	n.v.t.	Het betreft 150kV en 380 kV hoogspanningskabels.
5	Hoogspanningskabels mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van 20 m gemeten vanaf de dichtst bij zijnde gevel van een technische ruimte.	J	De dichtste nadering is orde 120 meter.
6	Hoogspanningskabels dienen in een elektrisch geïsoleerde buis onder het spoor doorgevoerd te worden.	J	De kruising vindt plaats via HDD boringen met HDPE mantelbuis.
7	Binnen een afstand van ten minste 31 m uit het hart buitenste spoor mogen zich geen aardpunten of moffen bevinden.	J	De kruising vindt plaats via HDD boringen met HDPE mantelbuis waardoor binnen 31 geen moffen of aardpunten aanwezig kunnen zijn.
8a	Een eerste orde kabelfout dient voor kabelverbindingen met een nominale spanning van ≥ 35 kV binnen maximaal 100 ms afgeschakeld te zijn.	J	De afschakeltijd is maximaal 100ms.

	Eis ProRail (HSP-kabel)	Voldoet J/N	Uitkomst Verificatie
8b	Een eerste orde kabelfout dient voor kabelverbindingen met een nominale spanning van < 35 kV binnen maximaal 100 ms afgeschakeld te zijn, tenzij voldaan wordt aan eis 7 en er aantoonbaar geen grotere homopolaire aardstroom kan lopen conform algemeen uitgangspunt G3 (zie H6.1), dan is afschakeltijd van een eerste orde kabelfout niet relevant.	n.v.t.	Het betreft 150kV en 380 kV hoogspanningskabels.

Uit de toetsing van de 8 vragen voor het deel van de hoogspanningslijn en de 8 vragen voor het deel van de hoogspanningskabel volgt dat er 2 van de 16 vragen met een 'Nee' zijn beantwoord. Dit vanwege de parallelloop van de hoogspanningslijn en hoogspanningskabel binnen een afstand van 700 meter van het spoor. Een locatie specifieke detail EMC studie dient uitgevoerd te worden voor deze locatie.
Tevens sluit, ter plaatse van het hoogspanningsstation Rilland380, het tracé van ZW380 Oost aan op het tracé van ZW380 West. In de al uitgevoerde EMC studie voor ZW380 West is geconstateerd dat er, vanwege lange parallelloop, een aanzienlijke EM-beïnvloeding op het spoor optreedt.
ProRail heeft reeds verzocht om voor dit deel van de parallelloop van ZW380 West en ZW380 Oost met het ProRail spoor, één gezamenlijke EMC studie uit te voeren. Deze gezamenlijke EMC studie dient nog uitgevoerd te worden. Dit vindt plaats zodra het tracé van ZW380 Oost definitief is.

2 Baanvak Bergen op Zoom - Roosendaal

De nieuwe 150 kV + 380 kV hoogspanningslijn kruist ter plaatse van km 4,034 over het baanvak Bergen op Zoom – Roosendaal, geocode 127. Dit is weergegeven in Figuur 2. De kruising tussen mast 1040 en 1041 vindt plaats onder een hoek van 45°.
De bestaande 150 kV hoogspanningslijn wordt geheel geamoveerd, en wordt als combi lijn opgenomen in de nieuwe hoogspanningslijn ZW380 Oost.



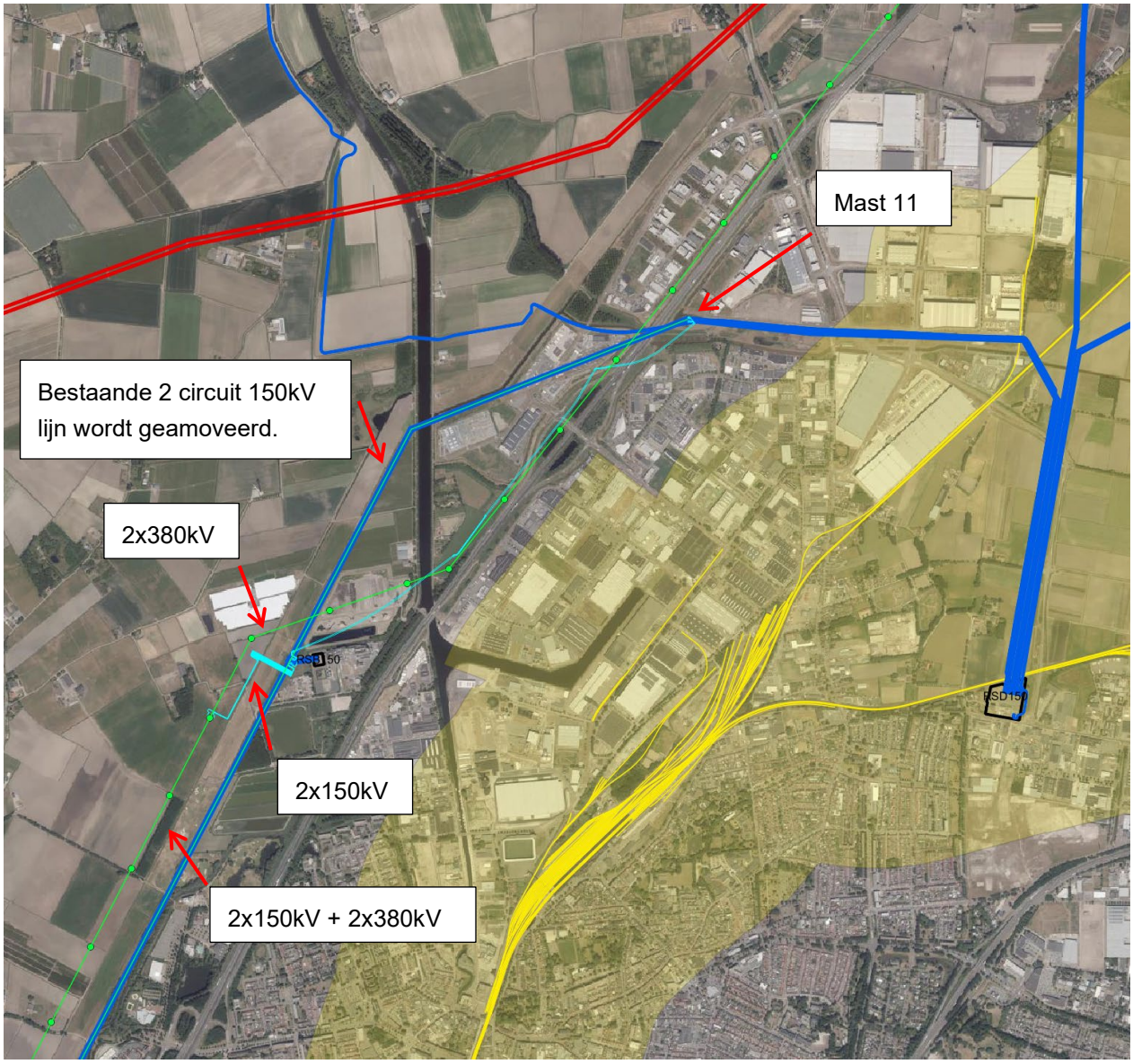
Figuur 2: Baanvak Bergen op Zoom - Roosendaal, geocode 127.

	Eis ProRail (HSP-lijn)	Voldoet J/N	Uitkomst Verificatie
1	De hoogspanningslijn dient de spoorbaan haaks te kruisen met een hoek Ψ, waarbij 80 ≤ Ψ ≤100 graden, zie figuur 1 (in RLN00398).	N	De hoogspanningslijn kruist het spoor onder een hoek van 45°.
2	De minimale afstand (clearance) van de hoogspanningslijn tot de bovenleiding dient te voldoen aan NEN-EN 50341-1:2001 en NEN-EN 50341-3:2001.	J	Dit is een ontwerpeis waar de nieuwe hoogspanningslijn aan moet voldoen.
3	De hoogspanningslijn dient in het kruisende veld met de spoorbaan dubbelzijdig afgespannen te zijn, in verband met kans op breuk.	J	Dit is een ontwerpeis voor de nieuwe hoogspanningslijn.
4	Een eerste orde lijnfout dient binnen maximaal 100 ms afgeschakeld te zijn.	J	De afschakeltijd is maximaal 100ms.
5a	Niet kruisende hoogspanningslijnen mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van - horizontaal gemeten - 700 m uit het hart van de buitenste spoorbaan.	N	De hoogspanningslijn is binnen 700 meter aanwezig. Vanwege de niet haakse kruising ontstaat beperkte parallelloop.
5b	In afwijking van punt 5a geldt een afstand van 11 meter bij geëlektrificeerde sporen met een tractiespanning van 25 kV, 50 Hz.	n.v.t.	Het betreft met 1500 Vdc geëlektrificeerd spoor.
6	De blootstelling van de mens conform NEN-EN 50341-3:2001 [B], mag niet meer bedragen dan 100 µT op 1 m boven BS.	J	Dit is een ontwerpeis waar de nieuwe hoogspanningslijn aan moet voldoen.
7	Hoogspanningsmasten mogen niet worden geplaatst binnen een afstand van ten minste 31 m uit het hart buitenste spoor.	J	De dichtste nadering is orde 90 meter bij mast 1040.
8	Hoogspanningslijnen mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van - horizontaal gemeten - 20 m vanaf de dichtst bij zijnde gevel van een technische ruimte.	J	Ter plaatse van de kruising zijn geen elektrische systemen in het spoor aanwezig. De dichtstbijzijnde objecten staan op orde 160 meter afstand.

Uit de toetsing van de 8 vragen voor het deel van de hoogspanningslijn volgt dat 2 van de 8 vragen met een 'Nee' is beantwoord. Dit als gevolg van de niet haakse kruising met 45°, waardoor een korte parallelloop ontstaat tussen km 4,7 – 3,3.
Een locatie specifieke detail EMC studie dient uitgevoerd te worden voor deze locatie.

3 Baanvak Roosendaal

Voor deze locatie geldt dat de nieuwe 380 kV hoogspanningslijn (rood) het spoor niet kruist, en meer dan 700 meter van het spoor verwijderd is. Voor de aansluiting van de huidige 150 kV hoogspanningslijn tussen Roosendaal Borchwerf150 en Roosendaal150 op de 150kV + 380 kV combi lijn, wordt een nieuwe 150kV kabelverbinding gelegd (licht blauw). De nieuwe 150kV kabel sluit bij mast 11 aan op de bestaande 150kV lijn (donker blauw). De nieuwe 150 kV kabelverbinding ligt buiten de 700 meter. De bestaande 150 kV hoogspanningslijn Woensdrecht – Roosendaal Borchwerf – Roosendaal wordt vanaf mast 11 geamoveerd.



Figuur 3: Baanvak Roosendaal, geocode 127.

Voor nieuwe de 380 kV lijn worden de 8 vragen voor een hoogspanningslijn beantwoord.

	Eis ProRail (HSP-lijn)		Uitkomst Verificatie
1	De hoogspanningslijn dient de spoorbaan haaks te kruisen met een hoek Ψ, waarbij 80 ≤ Ψ ≤100 graden, zie figuur 1 (in RLN00398).	n.v.t.	De hoogspanningslijn kruist het spoor niet.
2	De minimale afstand (clearance) van de hoogspanningslijn tot de bovenleiding dient te voldoen aan NEN-EN 50341-1:2001 en NEN-EN 50341-3:2001.	n.v.t.	De hoogspanningslijn kruist het spoor niet.
3	De hoogspanningslijn dient in het kruisende veld met de spoorbaan dubbelzijdig afgespannen te zijn, in verband met kans op breuk.	n.v.t.	De hoogspanningslijn kruist het spoor niet.
4	Een eerste orde lijnfout dient binnen maximaal 100 ms afgeschakeld te zijn.	J	De afschakeltijd is maximaal 100ms.
5a	Niet kruisende hoogspanningslijnen mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van - horizontaal gemeten - 700 m uit het hart van de buitenste spoorbaan.	J	De 380 kV hoogspanningslijn ligt op meer dan 700 meter van het spoor.
5b	In afwijking van punt 5a geldt een afstand van 11 meter bij geëlektrificeerde sporen met een tractiespanning van 25 kV, 50 Hz.	n.v.t.	Het betreft met 1500 Vdc geëlektrificeerd spoor.
6	De blootstelling van de mens conform NEN-EN 50341-3:2001 [B], mag niet meer bedragen dan 100 µT op 1 m boven BS.	J	Dit is een ontwerpeis waar de nieuwe hoogspanningslijn aan moet voldoen.
7	Hoogspanningsmasten mogen niet worden geplaatst binnen een afstand van ten minste 31 m uit het hart buitenste spoor.	J	De dichtste nadering tot spoor is orde 900 meter.
8	Hoogspanningslijnen mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van - horizontaal gemeten - 20 m vanaf de dichtst bij zijnde gevel van een technische ruimte.	J	De dichtste nadering tot spoor is orde 900 meter.

Voor nieuwe de 150 kV kabel worden de 8 vragen voor een hoogspanningskabel beantwoord.

	Eis ProRail (HSP-kabel)	Voldoet J/N	Uitkomst Verificatie
1	De hoogspanningskabel dient de spoorbaan haaks te kruisen met een hoek Ψ, waarbij 80 ≤ Ψ ≤100 graden, zie figuur 1 (in RLN00398).	n.v.t.	De 150 kV hoogspanningskabels kruisen het spoor niet.

	Eis ProRail (HSP-kabel)	Voldoet J/N	Uitkomst Verificatie
2a	Niet kruisende hoogspanningskabels met een nominale spanning van ≥ 35 kV mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van 700 m vanaf het hart van het buitenste spoor.	J	De 150 kV hoogspanningskabels liggen op meer dan 700 meter afstand.
2b	In afwijking van punt 2a geldt een afstand van 11 meter bij geëlektrificeerde sporen met een tractiespanning van 25 kV, 50 Hz.	n.v.t.	Het betreft met 1500 Vdc geëlektrificeerd spoor.
3	Niet kruisende drie-aderige hoogspanningskabels met een nominale spanning < 35 kV mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van 11 m vanaf het hart buitenste spoor.	n.v.t.	Het betreft 150kV hoogspanningskabels.
4	Niet kruisende enkelfasige hoogspanningskabels in driehoek ligging met een nominale spanning van < 35 kV mogen niet aanwezig zijn in het gebied binnen een afstand van 11 m vanaf het hart buitenste spoor.	n.v.t.	Het betreft 150kV hoogspanningskabels.
5	Hoogspanningskabels mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van 20 m gemeten vanaf de dichtst bij zijnde gevel van een technische ruimte.	J	De 150 kV hoogspanningskabels liggen op meer dan 700 meter afstand.
6	Hoogspanningskabels dienen in een elektrisch geïsoleerde buis onder het spoor doorgevoerd te worden.	n.v.t.	De 150 kV hoogspanningskabels kruisen het spoor niet.
7	Binnen een afstand van ten minste 31 m uit het hart buitenste spoor mogen zich geen aardpunten of moffen bevinden.	J	De 150 kV hoogspanningskabels liggen op meer dan 700 meter afstand.
8a	Een eerste orde kabelfout dient voor kabelverbindingen met een nominale spanning van ≥ 35 kV binnen maximaal 100 ms afgeschakeld te zijn.	J	De afschakeltijd is maximaal 100ms.

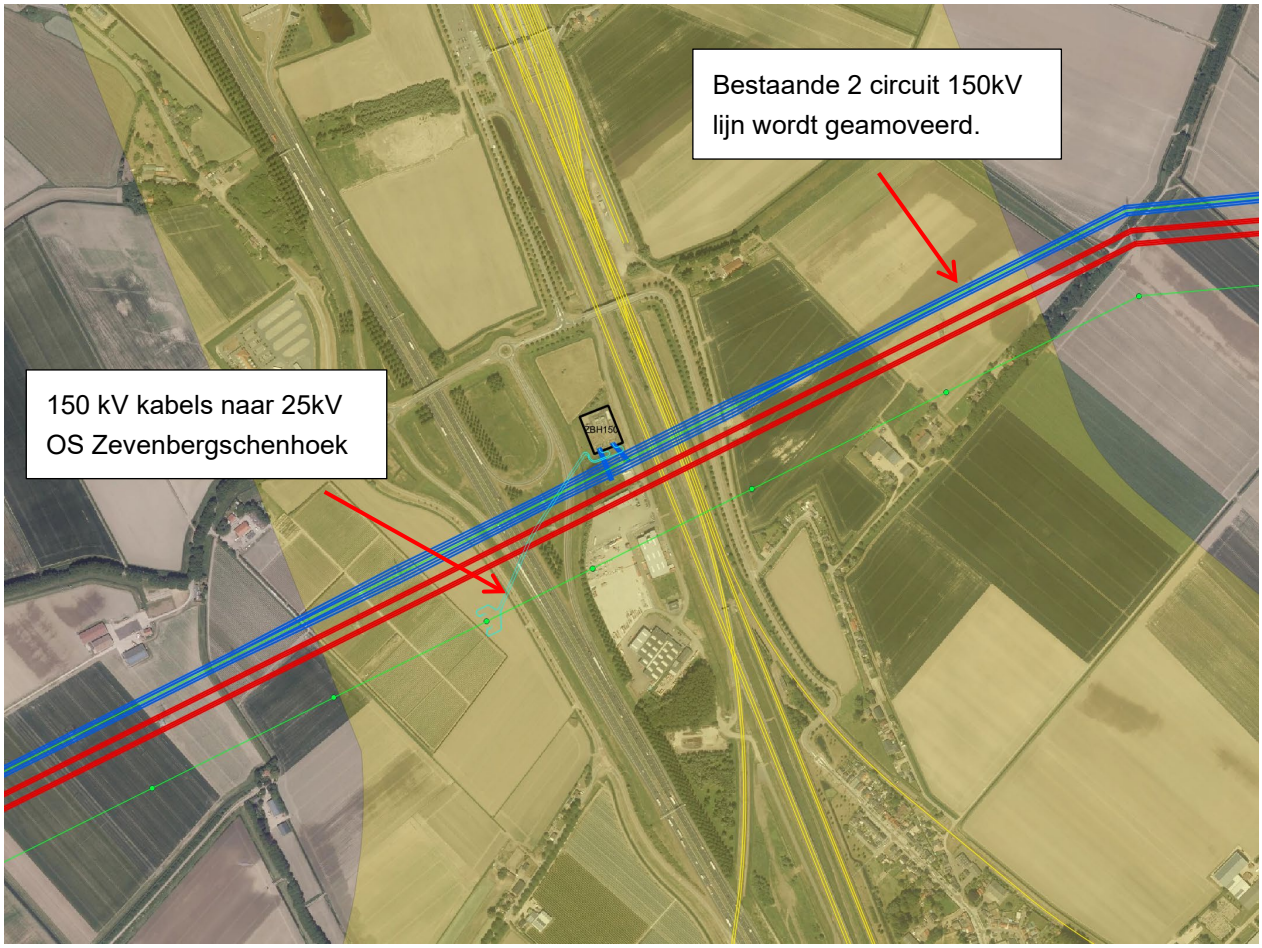
	Eis ProRail (HSP-kabel)	Voldoet J/N	Uitkomst Verificatie
8b	Een eerste orde kabelfout dient voor kabelverbindingen met een nominale spanning van < 35 kV binnen maximaal 100 ms afgeschakeld te zijn, tenzij voldaan wordt aan eis 7 en er aantoonbaar geen grotere homopolaire aardstroom kan lopen conform algemeen uitgangspunt G3 (zie H6.1), dan is afschakeltijd van een eerste orde kabelfout niet relevant.	n.v.t.	Het betreft 150kV hoogspanningskabels.

Alle vragen zijn met een 'Ja' of een 'n.v.t.' beantwoord. Voor de gedeeltelijke verkabeling van de 150 kV hoogspanningslijn, en de nieuwe 380 kV hoogspanningslijn is geen detail EMC studie nodig.
Echter voor de 150kV verbinding Woensdrecht-Roosendaal Borchwerf-Roosendaal geldt dat behalve de gedeeltelijke vekabeling ook het transport vermogen wordt verhoogd van 312 MVA naar 430 MVA. De ontwerpstroom neemt toe van 1200 A naar 1655 A. Hierdoor dient voor de 150kV verbinding Woensdrecht-Roosendaal Borchwerf-Roosendaal met de gedeeltelijke verkabeling tussen Roosendaal Borchwerf en Roosendaal alsnog een detail EMC studie uitgevoerd te worden. Dit geldt voor het deel van de 150 kV lijnverbinding van mast 9 tot 150 kV station Roosendaal aangezien dit deel wel binnen de 700 meter zone ligt.

Voor de locatie Roosendaal is daardoor wel een locatie specifieke detail EMC studie nodig.

4 Baanvak Zevenbergschenhoek

Ter plaatse van Zevenbergschenhoek, geocode 625, wordt het spoor ter plaatse van km 13,985 haaks gekruist onder een hoek van 97°. De kruising van de 150 kV + 380 kV combi lijn vindt plaats over zowel het 1500 Vdc ProRail spoor, alsook over het 25kV/50Hz spoor van Infraspeed. De huidige kruisende 150 kV lijn wordt geamoveerd, en als combilijn opgenomen in de nieuwe 150+380 kV lijn van ZW380 oost. Zie de groene hartlijn in Figuur 4. De huidige 380 kV lijn (rood in onderstaande figuur) blijft staan.
Voor de aansluiting van het 25kV onderstation Zevenbergschenhoek wordt er een korte 150 kV kabelverbinding van orde 450 meter lengte gelegd vanaf mast 1114 naar het 25kV OS Zevenbergschenhoek. Zie de licht blauwe lijn in Figuur 4.



Figuur 4: Baanvak Zevenbergschenhoek, geocode 625.

	Eis ProRail (HSP-lijn)	Voldoet J/N	Uitkomst Verificatie
1	De hoogspanningslijn dient de spoorbaan haaks te kruisen met een hoek Ψ, waarbij 80 ≤ Ψ ≤100 graden, zie figuur 1 (in RLN00398).	J	De 150kV + 380kV hoogspanningslijn kruist het spoor haaks onder een hoek van 97°.
2	De minimale afstand (clearance) van de hoogspanningslijn tot de bovenleiding dient te voldoen aan NEN-EN 50341-1:2001 en NEN-EN 50341-3:2001.	J	Dit is een ontwerpeis waar de nieuwe hoogspanningslijn aan moet voldoen.
3	De hoogspanningslijn dient in het kruisende veld met de spoorbaan dubbelzijdig afgespannen te zijn, in verband met kans op breuk.	J	Dit is een ontwerpeis waar de nieuwe hoogspanningslijn aan moet voldoen.
4	Een eerste orde lijnfout dient binnen maximaal 100 ms afgeschakeld te zijn.	J	De afschakeltijd is maximaal 100ms.

	Eis ProRail (HSP-lijn)	Voldoet J/N	Uitkomst Verificatie
5a	Niet kruisende hoogspanningslijnen mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van - horizontaal gemeten - 700 m uit het hart van de buitenste spoorbaan.	n.v.t.	De hoogspanningslijn kruist het 1500Vdc spoor haaks.
5b	In afwijking van punt 5a geldt een afstand van 11 meter bij geëlektrificeerde sporen met een tractiespanning van 25 kV, 50 Hz.	n.v.t.	De hoogspanningslijn kruist het 25kV/50Hz spoor haaks.
6	De blootstelling van de mens conform NEN-EN 50341-3:2001 [B], mag niet meer bedragen dan 100 µT op 1 m boven BS.	J	Dit is een ontwerpeis waar de nieuwe hoogspanningslijn aan moet voldoen.
7	Hoogspanningsmasten mogen niet worden geplaatst binnen een afstand van ten minste 31 m uit het hart buitenste spoor.	J	De dichtste nadering is orde 85 meter bij mast 1116.
8	Hoogspanningslijnen mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van - horizontaal gemeten - 20 m vanaf de dichtst bij zijnde gevel van een technische ruimte.	J N	1500Vdc: De dichtste nadering is orde 27 meter bij een sein (voor de quick-scan wordt het sein ook beschouwd als "technische ruimte" i.v.m. de aanwezigheid van elektrische apparatuur in het sein). 25kV/50Hz: Dichtste nadering is orde 15 meter voor motorkasten van 25 kV bovenleiding schakelaars.

	Eis ProRail (HSP-kabel)	Voldoet J/N	Uitkomst Verificatie
1	De hoogspanningskabel dient de spoorbaan haaks te kruisen met een hoek Ψ, waarbij 80 ≤ Ψ ≤100 graden, zie figuur 1 (in RLN00398).	n.v.t.	De 150 kV hoogspanningskabels kruisen het spoor niet.
2a	Niet kruisende hoogspanningskabels met een nominale spanning van ≥ 35 kV mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van 700 m vanaf het hart van het buitenste spoor.	N	De 150 kV hoogspanningskabel is binnen 700 meter aanwezig.
2b	In afwijking van punt 2a geldt een afstand van 11 meter bij geëlektrificeerde sporen met een tractiespanning van 25 kV, 50 Hz.	J	De 150 kV hoogspanningskabel ligt op minimaal 45 meter afstand.

	Eis ProRail (HSP-kabel)	Voldoet J/N	Uitkomst Verificatie
3	Niet kruisende drie-aderige hoogspanningskabels met een nominale spanning < 35 kV mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van 11 m vanaf het hart buitenste spoor.	n.v.t.	Het betreft 150kV hoogspanningskabels.
4	Niet kruisende enkelfasige hoogspanningskabels in driehoek ligging met een nominale spanning van < 35 kV mogen niet aanwezig zijn in het gebied binnen een afstand van 11 m vanaf het hart buitenste spoor.	n.v.t.	Het betreft 150kV hoogspanningskabels.
5	Hoogspanningskabels mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van 20 m gemeten vanaf de dichtst bij zijnde gevel van een technische ruimte.	J	De hoogspanningskabel ligt op orde 45 meter afstand van het 25kV/50Hz spoor en orde 90 meter van het 1500Vdc spoor.
6	Hoogspanningskabels dienen in een elektrisch geïsoleerde buis onder het spoor doorgevoerd te worden.	n.v.t.	De 150 kV hoogspanningskabels kruisen het spoor niet.
7	Binnen een afstand van ten minste 31 m uit het hart buitenste spoor mogen zich geen aardpunten of moffen bevinden.	J	De hoogspanningskabel ligt op orde 45 meter afstand van het 25kV/50Hz spoor en orde 90 meter van het 1500Vdc spoor.
8a	Een eerste orde kabelfout dient voor kabelverbindingen met een nominale spanning van ≥ 35 kV binnen maximaal 100 ms afgeschakeld te zijn.	J	De afschakeltijd is maximaal 100ms.
8b	Een eerste orde kabelfout dient voor kabelverbindingen met een nominale spanning van < 35 kV binnen maximaal 100 ms afgeschakeld te zijn, tenzij voldaan wordt aan eis 7 en er aantoonbaar geen grotere homopolaire aardstroom kan lopen conform algemeen uitgangspunt G3 (zie H6.1), dan is afschakeltijd van een eerste orde kabelfout niet relevant.	n.v.t.	Het betreft 150kV hoogspanningskabels.

Voor de haaks kruisende 150 kV + 380 kV hoogspanningslijn is er voor het 25kV/50Hz spoor 1 vraag met een 'Nee' beantwoord. Dit omdat er 2 motorkasten van 25kV bovenleidingschakelaars dichter dan 20 meter van het hart van de hoogspanningslijn staan. Dit wordt niet als probleem ingeschat. Mede omdat nu ook reeds motorkasten aanwezig zijn tussen de bestaande 150 kV hoogspanningslijn en de bestaande 380 kV

hoogspanningslijn. Omdat het 25 kV tractiesysteem zelf ook gebruik maakt van een frequentie van 50 Hz, is deze installatie in grote mate immuun voor 50 Hz EM-beïnvloeding. Problemen voor de motorkasten worden daardoor niet verwacht. Dit dient met een beperkte analyse bevestigd te worden.

Voor de niet kruisende 150 kV hoogspanningskabel, die het 25kV OS Zevenbergschenhoek van voeding voorziet, is 1 vraag met een 'Nee' beantwoord. Dit omdat de 150 kV kabel op een afstand van orde 90 tot 430 meter van het 1500Vdc spoor, en op een afstand van orde 45 tot 400 meter van het 25kV50Hz spoor ligt. Deze 150 kV kabelverbinding voert een beperkte stroom omdat deze alleen het klantstation van OS Zevenbergschenhoek voedt. Het ontwerpvermogen voor deze 150 kV kabelverbinding is 100 MVA.
Voor de 150 kV hoogspanningskabel is, op basis van de 8 vragen voor een hoogspanningskabel, een locatie specifieke detail EMC studie nodig. Vanwege het beperkte ontwerpvermogen van deze 150 kV hoogspanningskabel, kan naar verwachting volstaan worden met het aantonen dat de 150 kV kabel niet meer dan 20% (uitgangspunt G2) van de in RLN00398 gegeven beoordelingscriteria aan de EM-beïnvloeding toe voegt.

5 Baanvak Geertruidenberg

Voor het industriespoor naar Geertruidenberg, geocode 228 + 823, vindt tussen km 7,2 – 12,0 + 0,1 – 1,3 parallelloop binnen 700 meter plaats tussen de nieuwe 150kV + 380 kV hoogspanningslijn (groen) en de bestaande 380 kV hoogspanningslijn (rood). Tevens kruist een nieuwe 150 kV hoogspanningskabel (licht blauw), van orde 1380 meter lengte, 2 keer onder het spoor door vanwege de aansluiting op het hoogspanningsstation Geertruidenberg150. Zie Figuur 5.
Het spoor (geel) betreft een industriespoor. Het is enkelspoor zonder bovenleiding. Er is ook geen treindetectie en treinbeïnvloeding aanwezig. Alleen lokaal zijn elektrische systemen aanwezig ten behoeve van een met spoorbomen beveiligde overweg rond km 11,2 (geocode 228) en een met lichten beveiligde overweg rond km 5,6 (geocode 823).
Op het eerste deel van dit spoor zijn reeds directe aardingen op de spoorstaven aanwezig (de laatste rond km 7,0) vanwege de invloed van de HSL-Zuid welke met 25kV/50Hz is geëlektrificeerd.
Voor dit baanvak zijn met name de aanraakspanningen op de spoorstaven en aanraakspanningen op lokale bekabeling van belang.
Ten behoeve van de aanleg van de nieuwe 150+380kV combilijn (groen in onderstaande figuur), wordt de bestaande 150kV lijn (donker blauw in onderstaande figuur) over 500 meter tijdelijk verkabeld (paars links in overstaande figuur). Deze tijdelijke kabel ligt aan de rand van de 700 meter zone. Nadat de nieuwe 150+380kV combi lijn gereed is, wordt de bestaande 150kV lijn geamoveerd.

Figuur 5: Baanvak Geertruidenberg, geocode 228 + 823.

	Eis ProRail (HSP-lijn)		Uitkomst Verificatie
1	De hoogspanningslijn dient de spoorbaan haaks te kruisen met een hoek Ψ, waarbij 80 ≤ Ψ ≤100 graden, zie figuur 1 (in RLN00398).	n.v.t.	De 150kV + 380kV hoogspanningslijn kruist het spoor niet.
2	De minimale afstand (clearance) van de hoogspanningslijn tot de bovenleiding dient te voldoen aan NEN-EN 50341-1:2001 en NEN-EN 50341-3:2001.	n.v.t.	De 150kV + 380kV hoogspanningslijn kruist het spoor niet.
3	De hoogspanningslijn dient in het kruisende veld met de spoorbaan dubbelzijdig afgespannen te zijn, in verband met kans op breuk.	n.v.t.	De 150kV + 380kV hoogspanningslijn kruist het spoor niet.
4	Een eerste orde lijnfout dient binnen maximaal 100 ms afgeschakeld te zijn.	J	De afschakeltijd is maximaal 100ms.
5a	Niet kruisende hoogspanningslijnen mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van - horizontaal gemeten - 700 m uit het hart van de buitenste spoorbaan.	N	De 150kV + 380kV hoogspanningslijn is binnen het gebied van 700 meter vanaf het spoor aanwezig.
5b	In afwijking van punt 5a geldt een afstand van 11 meter bij geëlektrificeerde sporen met een tractiespanning van 25 kV, 50 Hz.	n.v.t.	Het betreft niet geëlektrificeerd spoor.
6	De blootstelling van de mens conform NEN-EN 50341-3:2001 [B], mag niet meer bedragen dan 100 µT op 1 m boven BS.	J	Dit is een ontwerpeis waar de nieuwe hoogspanningslijn aan moet voldoen.
7	Hoogspanningsmasten mogen niet worden geplaatst binnen een afstand van ten minste 31 m uit het hart buitenste spoor.	J	De dichtste nadering is orde 55 meter bij mast 1148.

	Eis ProRail (HSP-lijn)		Uitkomst Verificatie
8	Hoogspanningslijnen mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van - horizontaal gemeten - 20 m vanaf de dichtst bij zijnde gevel van een technische ruimte.	J	De dichtste nadering van het spoor is orde 35 meter.

	Eis ProRail (HSP-kabel)	Voldoet J/N	Uitkomst Verificatie
1	De hoogspanningskabel dient de spoorbaan haaks te kruisen met een hoek Ψ, waarbij 80 ≤ Ψ ≤100 graden, zie figuur 1 (in RLN00398).	J	De hoogspanningskabel kruist het spoor 2 keer. Eén keer onder 85° en één keer onder 89°.
2a	Niet kruisende hoogspanningskabels met een nominale spanning van ≥ 35 kV mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van 700 m vanaf het hart van het buitenste spoor.	N	De hoogspanningskabel is binnen 700 meter aanwezig.
2b	In afwijking van punt 2a geldt een afstand van 11 meter bij geëlektrificeerde sporen met een tractiespanning van 25 kV, 50 Hz.	n.v.t.	Het betreft met 1500 Vdc geëlektrificeerd spoor.
3	Niet kruisende drie-aderige hoogspanningskabels met een nominale spanning < 35 kV mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van 11 m vanaf het hart buitenste spoor.	n.v.t.	Het betreft 150kV hoogspanningskabels.
4	Niet kruisende enkelfasige hoogspanningskabels in driehoek ligging met een nominale spanning van < 35 kV mogen niet aanwezig zijn in het gebied binnen een afstand van 11 m vanaf het hart buitenste spoor.	n.v.t.	Het betreft 150kV hoogspanningskabels.
5	Hoogspanningskabels mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van 20 m gemeten vanaf de dichtst bij zijnde gevel van een technische ruimte.	J	In het spoor nabij de hoogspanningskabel zijn geen elektrische systemen aanwezig.
6	Hoogspanningskabels dienen in een elektrisch geïsoleerde buis onder het spoor doorgevoerd te worden.	J	De kruising vindt plaats via HDD boringen met HDPE mantelbuis.

	Eis ProRail (HSP-kabel)	Voldoet J/N	Uitkomst Verificatie
7	Binnen een afstand van ten minste 31 m uit het hart buitenste spoor mogen zich geen aardpunten of moffen bevinden.	J	Voor deze korte hoogspanningskabel zijn geen aardpunten in het tracé voorzien. Alleen bij het opstijgpunt van mast 1147 (ligt op orde 110 meter) en het hoogspanningsstation Geertruideneerg150 (ligt op orde 630 meter) zijn aardingen voorzien.
8a	Een eerste orde kabelfout dient voor kabelverbindingen met een nominale spanning van ≥ 35 kV binnen maximaal 100 ms afgeschakeld te zijn.	J	De afschakeltijd is maximaal 100ms.
8b	Een eerste orde kabelfout dient voor kabelverbindingen met een nominale spanning van < 35 kV binnen maximaal 100 ms afgeschakeld te zijn, tenzij voldaan wordt aan eis 7 en er aantoonbaar geen grotere homopolaire aardstroom kan lopen conform algemeen uitgangspunt G3 (zie H6.1), dan is afschakeltijd van een eerste orde kabelfout niet relevant.	n.v.t.	Het betreft 150kV hoogspanningskabels.

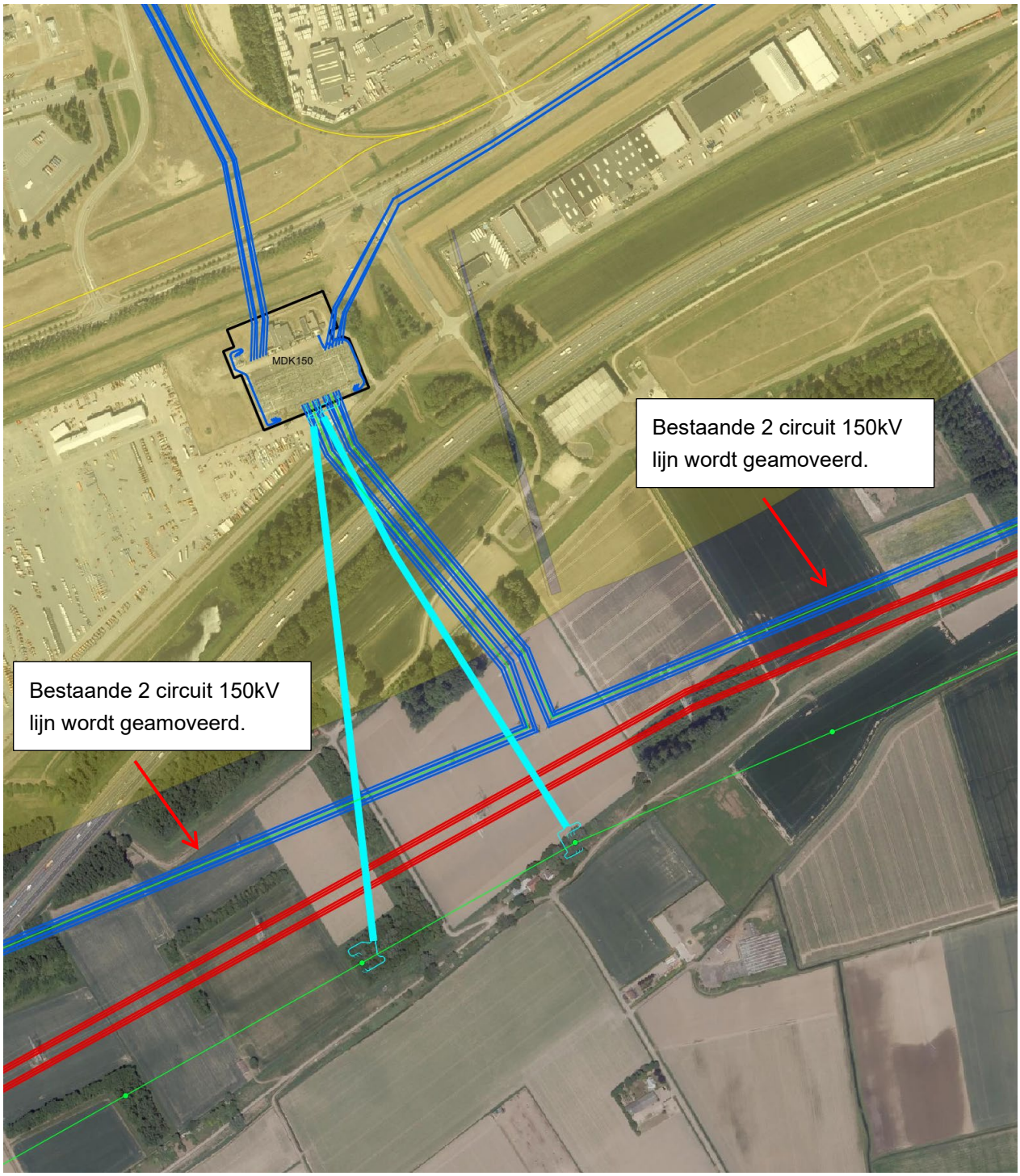
Voor de hoogspanningslijn is 1 van de 8 vragen met een 'Nee' beantwoord. De reden is de aanwezigheid van de parallel lopende nieuwe 150 + 380 kV en de bestaande 380 kV hoogspanningslijn binnen een afstand van 700 meter van het spoor.
Voor de hoogspanningskabel 1 van de 8 vragen met een 'Nee' beantwoord. De reden is de aanwezigheid van de hoogspanningskabel binnen 700 meter vanaf het spoor.
Voor deze locatie zal een locatie specifieke detail EMC studie uitgevoerd moeten worden. De detail EMC studie zal beperkt zijn vanwege het niet geëlektrificeerde en onbeveiligde enkelsporige industriespoor. Hier zullen met name de aspecten aanraakspanning op het spoor en op lokale bekabeling van belang zijn.
Vanwege het 25kV/50Hz tractie-energievoorzieningssysteem van de HSL-Zuid zijn er op dit spoor tot orde km 7,0 (geocode 228) al enkele directe aardingen op de spoorstaven aangebracht. Indien nodig, vanwege aanraakspanningen op de spoorstaven, kunnen er eenvoudig meer directe aardingen op de spoorstaven geplaatst worden omdat deze dan ‘achter’ de al aanwezige aardingen geplaatst kunnen worden.

6 Moerdijk

Bij Moerdijk ligt industriespoor met geocode 801. In Figuur 6 is te zien dat de nieuwe 150 + 380 kV hoogspanningslijn (groen) het spoor niet kruist, en buiten de 700 meter afstand van het spoor blijft.

De bestaande 150 kV lijn (donker blauw), inclusief de aansluiting op het 150 kV station Moerdijk worden

geamoveerd. Er is beperkte parallelloop van de nieuwe 150 kV kabels (licht blauw) t.b.v. de aansluiting van het 150kV station Moerdijk (MDK150) op de nieuwe 150 + 380 kV combi-lijn (groen).



Figuur 6: Baanvak Moerdijk, geocode 801.

	Eis ProRail (HSP-kabel)	Voldoet J/N	Uitkomst Verificatie
1	De hoogspanningskabel dient de spoorbaan haaks te kruisen met een hoek Ψ, waarbij 80 ≤ Ψ ≤100 graden, zie figuur 1 (in RLN00398).	n.v.t.	De 150 kV hoogspanningskabels kruisen het spoor niet.
2a	Niet kruisende hoogspanningskabels met een nominale spanning van ≥ 35 kV mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van 700 m vanaf het hart van het buitenste spoor.	N	De hoogspanningskabel is binnen 700 meter aanwezig.
2b	In afwijking van punt 2a geldt een afstand van 11 meter bij geëlektrificeerde sporen met een tractiespanning van 25 kV, 50 Hz.	n.v.t.	Het betreft niet- geëlektrificeerd spoor.
3	Niet kruisende drie-aderige hoogspanningskabels met een nominale spanning < 35 kV mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van 11 m vanaf het hart buitenste spoor.	n.v.t.	Het betreft 150kV hoogspanningskabels.
4	Niet kruisende enkelfasige hoogspanningskabels in driehoek ligging met een nominale spanning van < 35 kV mogen niet aanwezig zijn in het gebied binnen een afstand van 11 m vanaf het hart buitenste spoor.	n.v.t.	Het betreft 150kV hoogspanningskabels.
5	Hoogspanningskabels mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van 20 m gemeten vanaf de dichtst bij zijnde gevel van een technische ruimte.	J	De 150 kV hoogspanningskabel ligt op orde 270 meter afstand van het spoor.
6	Hoogspanningskabels dienen in een elektrisch geïsoleerde buis onder het spoor doorgevoerd te worden.	n.v.t.	De 150 kV hoogspanningskabels kruisen het spoor niet.
7	Binnen een afstand van ten minste 31 m uit het hart buitenste spoor mogen zich geen aardpunten of moffen bevinden.	J	De 150 kV hoogspanningskabel ligt op orde 270 meter afstand van het spoor.
8a	Een eerste orde kabelfout dient voor kabelverbindingen met een nominale spanning van ≥ 35 kV binnen maximaal 100 ms afgeschakeld te zijn.	J	De afschakeltijd is maximaal 100ms.

	Eis ProRail (HSP-kabel)	Voldoet J/N	Uitkomst Verificatie
8b	Een eerste orde kabelfout dient voor kabelverbindingen met een nominale spanning van < 35 kV binnen maximaal 100 ms afgeschakeld te zijn, tenzij voldaan wordt aan eis 7 en er aantoonbaar geen grotere homopolaire aardstroom kan lopen conform algemeen uitgangspunt G3 (zie H6.1), dan is afschakeltijd van een eerste orde kabelfout niet relevant.	n.v.t.	Het betreft 150kV hoogspanningskabels.

Voor de 150 kV hoogspanningskabel is, op basis van de 8 vragen voor een hoogspanningskabel, een locatie specifieke detail EMC studie nodig omdat 1 vraag met “Nee” is beantwoord. Vanwege de beperkte parallelloop met het spoor van deze 150 kV hoogspanningskabel, kan naar verwachting volstaan worden met het aantonen dat de nieuwe 150 kV kabel niet meer dan 20% (uitgangspunt G2) van de in RLN00398 gegeven beoordelingscriteria aan de EM-beïnvloeding toe voegt.

3. Conclusie

Voor het baanvak Rilland - Bergen op Zoom kan op basis van de eerste stap van de RLN00398 een ontoelaatbare EM-beïnvloeding niet uitgesloten worden. Daarom dient voor dit baanvak een locatie specifieke detail EMC studie uitgevoerd te worden.
Op verzoek van ProRail wordt deze detail EMC studie gecombineerd met de EMC studie voor ZW380 West. Dit omdat ZW380 West en ZW380 Oost ter plaatse van het hoogspanningsstation Rilland380 op elkaar aansluiten, en omdat voor ZW380 West een grote EM-beïnvloeding op het ProRail spoor is vastgesteld. Het simulatiemodel voor ZW380 West kan dan uitgebreid worden met de nieuwe verbindingen van ZW380 Oost.

Voor het baanvak Bergen op Zoom – Roosendaal kan, vanwege een niet haakse kruising, op basis van de eerste stap van de RLN00398 een ontoelaatbare EM-beïnvloeding niet uitgesloten worden. Voor de niet haakse kruising, en daarmee beperkte parallelloop over een korte afstand, dient een lokale specifieke detail EMC studie uitgevoerd te worden. Naar verwachting zal dit een beperkte EMC studie zijn.

Voor het baanvak Roosendaal geldt dat er voldaan wordt aan alle eisen uit de quick scan. Echter wordt het transportvermogen van deze verbinding ook vergroot, en daarmee is een ontoelaatbare EM-beïnvloeding voor Roosendaal niet uitgesloten. Er dient voor deze locatie daardoor een detail EMC studie uitgevoerd te worden.

Voor het baanvak Zevenbergschenhoek geldt dat de hoogspanningslijn haaks kruist. Wel staan er 2 motorkasten van 25kV bovenleidingschakelaars dicht bij de hoogspanningslijn. Voor deze schakelaars dient

aangetoond te worden dat deze niet beïnvloed zullen worden. Naar verwachting zal dit trouwens niet het geval zijn gegeven de verwachte immuniteit voor 50Hz stoorsignalen van betreffend schakelmaterieel voor 25kVac TEV-omgeving.
De korte 150 kV hoogspanningskabel ligt binnen de 700 meter afstand van het spoor, en heeft een korte parallelloop (orde 200 meter) met het spoor. Voor deze hoogspanningskabel dient met een beperkte studie aangetoond te worden dat de EM-beïnvloeding onder 20% van de in de RLN00398 gegeven criteria blijft.

Voor het baanvak Geertruidenberg geldt dat er een locatie specifieke detail EMC studie uitgevoerd dient te worden. Dit zal naar verwachting een beperkte EMC studie zijn omdat het een enkelsporig, niet geëlektrificeerd en onbeveiligd industriespoor betreft.

Voor het baanvak Moerdijk liggen de nieuwe 150 kV kabels deels binnen de 700 meter zone, en hebben ze een beperkte parallelloop met het industriespoor op Moerdijk. Voor deze hoogspanningskabel dient met een beperkte studie aangetoond te worden dat de EM-beïnvloeding onder 20% van de in de RLN00398 gegeven criteria blijft.

NOTITIE

AAN ZW380 Oost

CLASSIFICATIE C2 - Interne Informatie
DATUM 18 januari 2022
REFERENTIE 002.678.22 0768124
VAN [redacted]

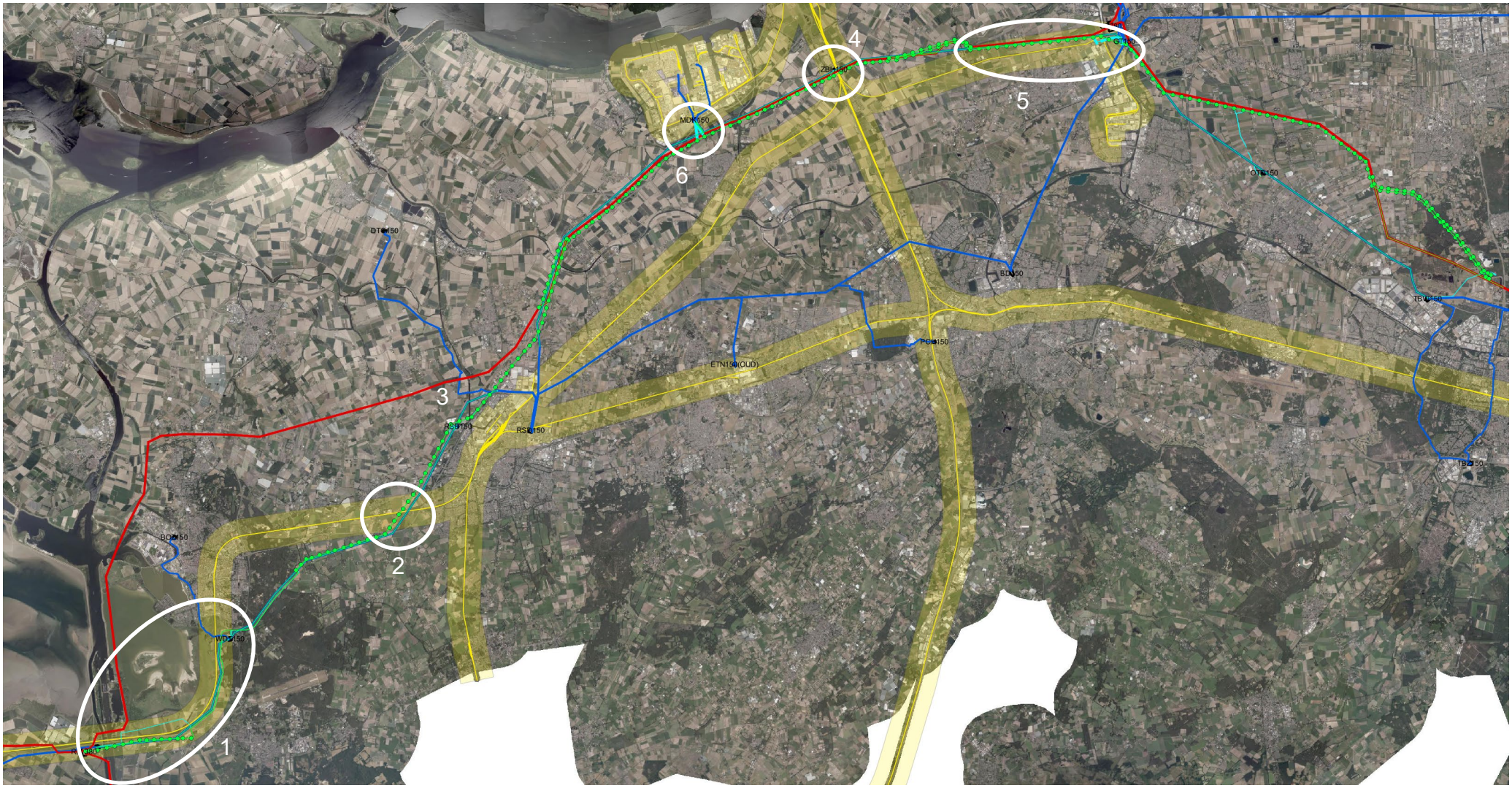
ONDERWERP Inventarisatie van mogelijke EM-beïnvloeding ProRail aan de hand van RLN00398

In deze bijlage is met de navolgende Figuur 7 een overzicht gegeven van het tracé van de nieuwe hoogspanningsverbinding ZW380 Oost van het nieuwe hoogspanningsstation Rilland380 naar het nieuw te bouwen hoogspanningsstation Tilburg380. Het VKA 1.1 is als uitgangspunt gehanteerd.

Legenda:

Groen	nieuw tracé van ZW380 Oost, combi lijn 150 kV + 380 kV, danwel combi kabel 150 kV + 380kV in buisleidingenstraat
Licht blauw	nieuwe 150 kV kabels t.b.v. ZW380 Oost
Rood	bestaande 380 kV hoogspanningslijn
Donker blauw	bestaande 150 kV verbindingen (lijn danwel kabel)
Geel	hartlijn spoor
Gele gebied	gebied ter breedte van 700 meter vanaf het dichtstbijzijnde spoor

Er zijn in de Figuur 7 een 5-tal gebieden (wit omcirkeld nr.1, 2, 4, 5 en 6) te zien waar het nieuwe hoogspanningsverbinding van ZW380 Oost binnen de 700 meter van het spoor komt. Gebied nr.3 bij Roosendaal is anderszins aandachtpunt in verband met wijziging van de transportcapaciteit van de bestaande 150kV verbinding.



Figuur 7: Overzicht van tracé van ZW380 Oost en spoorlijnen met 700 meter contour.

E.2 Memo kruisingen infrastuctuur Spoorwegen VKA 2.0.1

Memo Aan:

[redacted]

Kopie:

[redacted]

Memo Nr.:	10298323-TDT 22-0461 Rev 1
Van:	Energy Systems
Datum:	04-05-2022
Meridian doc. nr.	002.678.00 1009136
Opgesteld door:	[redacted]

Spoorwegkruisingen met de nieuwe 380kV verbinding Rilland – Tilburg (RLL-TLB380, VKA 2.0.1)

De nieuwe 380kV verbinding Rilland – Tilburg (RLL-TLB380) kruist op 2 locaties met de spoorwegen van ProRail.

Specifiek stelt de norm NEN-EN50341-2-15:2019 dat bij spoorwegkruisingen er dient te worden voldaan aan twee eisen, als het gaat om de afstanden naar het spoor. Namelijk de afstand bij maximale doorhang van de geleider(s) en bij breuk van de fase-bundel in één van de aanliggende spanvelden van het spanveld dat het spoor kruist.

Deze memo toont de toetsing die is uitgevoerd voor de 2 locaties waar de hoogspanningslijn het spoor kruist.

De volgende spanvelden zijn geïdentificeerd als kruisingen met spoorwegen:

1. Spanveld 1040 (S+3_c)-1041 (S+0_c), spoorwegkruising Roosendaal-Vlissingen
2. Spanveld 1115 (S+12_c)-1116 (S+12_c), spoorwegkruising Barendrecht Aansl. - Breda Grens en Breda - Rotterdam Centraal.

Voor de toetsing zijn de volgende normen en eisen van toepassing:

- Lijnen – "Standaard Programma van Eisen" met referentie PVE.05.000 versie 3.2, 2019;
- NEN-EN 50341-1:2013, “Overhead electrical lines exceeding AC 1 kV Part 1: General ;requirements – Common Specification”;
- EN 50341-2-15: April, 2019, “Overhead electrical lines exceeding AC 1 kV Part 2 National Normative Aspects (NNA) for THE NETHERLANDS”.

De volgende minimale afstanden zijn specifiek van toepassing voor spoorwegkruisingen.:

- Maximale zeeg 14,0 meter;
- 12,4 meter bij draadbreuk van het aanliggende spanveld.

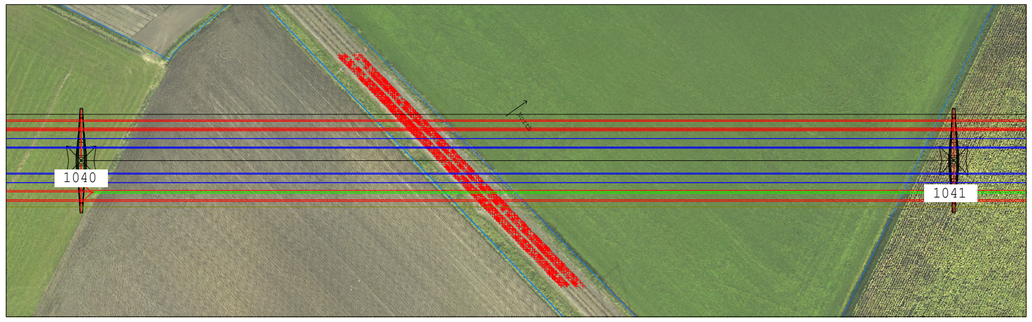
Resultaat

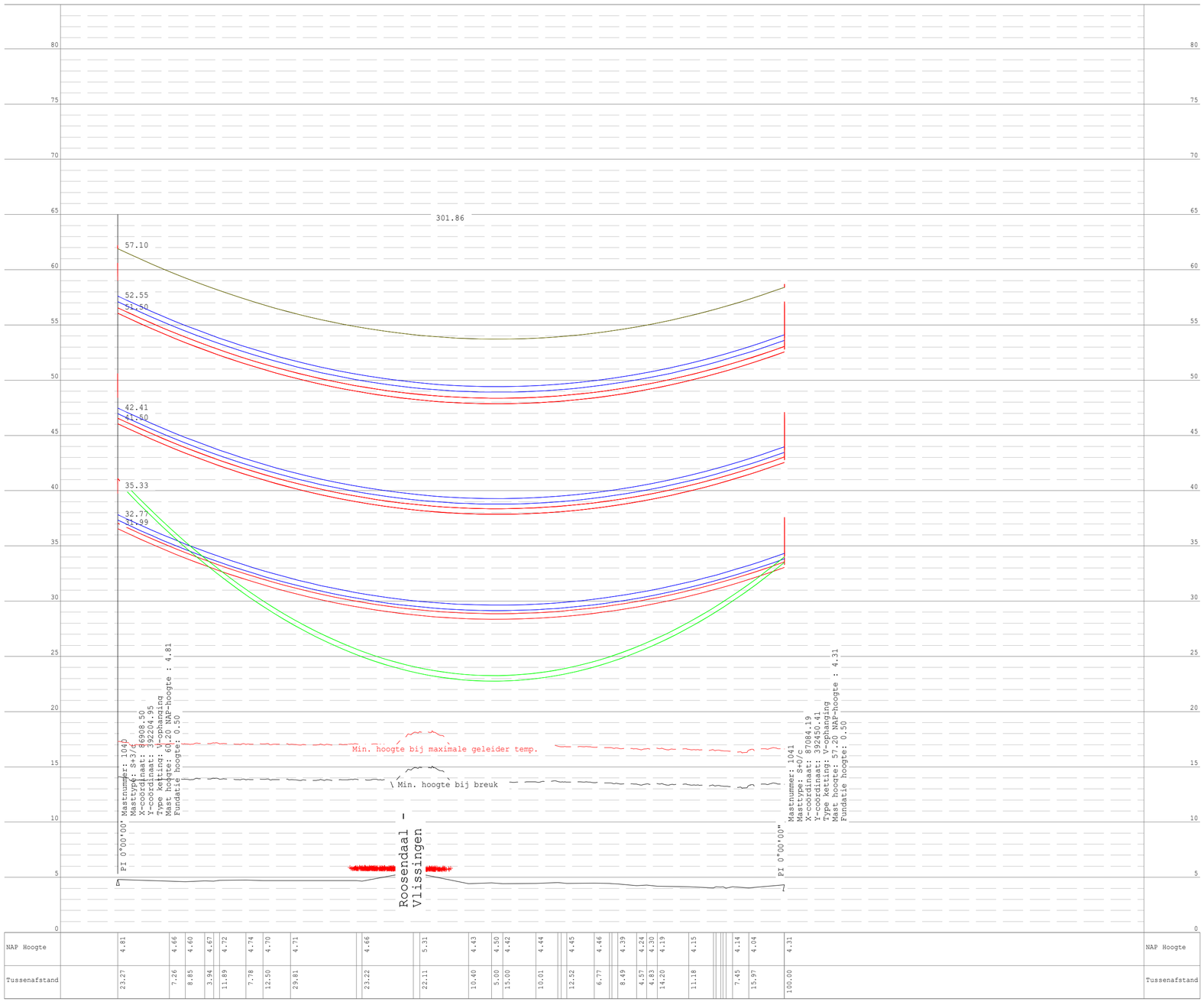
In appendix A en appendix B zijn voor elk spanveld van de bovenbeschreven 2 kruisingslocaties met spoorwegen tekeningen opgesteld. Voor elk van de kruisingslocaties wordt voldaan aan de afstand bij maximale zeeg en bij fase-bundelbreuk van de onderste fase-bundel in de aanliggende spanvelden.

APPENDIX A
Tekeningen spoorwegkruisingen bij geleiderbreuk

De volgende tekeningen zijn opgesteld voor de spoorwegkruisingen:

1. Spanveld 1040 (S+3_c)-1041 (S+0_c), spoorwegkruising Roosendaal-Vlissingen met fase-bundel breuk in veld 1039-1040 (back span)
2. Spanveld 1040 (S+3_c)-1041 (S+0_c), spoorwegkruising Roosendaal-Vlissingen met fase-bundel breuk in veld 1041-1042 (ahead span)
3. Spanveld 1115 (S+12_c)-1116 (S+12_c), spoorwegkruising Barendrecht Aansl. - Breda Grens en Breda - Rotterdam Centraal. Met fase-bundel breuk in veld 1114-1115 (back span)
4. Spanveld 1115 (S+12_c)-1116 (S+12_c), spoorwegkruising Barendrecht Aansl. - Breda Grens en Breda - Rotterdam Centraal. Met fase-bundel breuk in veld 1116-1117 (ahead span)





NAP Hoogte		4.81		4.66	4.60	4.67	4.72	4.74	4.70	4.71		4.66		5.31	4.43	4.50	4.42	4.44		4.45	4.46	4.39	4.24	4.30	4.19	4.15		4.14	4.04		4.31	NAP Hoogte
Tussenafstand		23.27		7.26	8.85	3.94	11.89	7.78	12.50	29.81		23.22		22.11	10.40	5.00	15.00	10.01		12.52	6.77	8.49	4.57	4.83	14.20	11.18		7.45	15.97		100.00	Tussenafstand

Spanveld 1040 (S+3_c)-1041 (S+0_c), spoorwegkruising Roosendaal-Vlissingen met fase-bundel breuk in veld 1039-1040 (back span)

PLS-CADD Drawing

Vereist afstanden

Type	Symb	150kV	380kV RLL-TLB
Grond	○	9.3 m	10.8 m*
Industrieel gebied	○	9.7 m	11.2 m*
Wegen	○	9.3 m	10.8 m*
Land/agrarische wegen	○	10.3 m	11.8 m*
Snel/autowegen	○	7.7 m	12.7x m
Snel/autowegen na geleiderbreuk	○	11.2 m	9.2 m
Spoorlijn met tractie	+	12.5 m	14.0 m*
Spoorlijn met tractie na geleiderbreuk	+	11.1 m	12.4 m
Daken <15 graden	△	6.7 m	8.2 m*
Daken >15 graden	△	4.7 m	6.2 m
Buisleidingstraat/Evides	○	10.8 m	12.3 m*
Tractie	+	7.3 m	8.8 m
Water	M	7.9 m	9.4 m*
Vaarwegen 15m VDH	15	17.3 m	18.8 m
Vaarwegen 20m VDH	20	22.3 m	23.8 m
Vaarwegen 25m VDH	25	27.3 m	28.8 m
Vaarwegen 30m VDH	30	32.3 m	33.8 m

* onderstaande afstanden minimaal te hanteren vanwege dominantie e-velden (5kV/m 1m boven maaiveld) conform AM-Req-0939

Verbinding	Afstand	Aanduiding afstand
RLL-TLB Combi	14.9m	
RLL-TLB Solo	13.8m	
GT-TLB	12.0m	
GT-RLL	Niet dominant	

= Geleider toestand na breuk in aanliggend veld

Revisie	Datum	Omschrijving
1	4-5-2022	RFA Verwerkt
0	19-04-22	Eerste uitgave

DNV

DNV Energy Systems
Utrechtseweg 310, 6812 AR Arnhem, tel: +31 26 3569111

Projectnaam: TenneT Engineering ZW380 kV Oost

Status: Definitief | Schaal: 15.0 m Horiz. Scale / 3.0 m Vert. Scale

Datum: 19-04-22 | Units Meters | Projectie RD-Stelsel

Tekenaar: RLo | Projectnummer: 10124719

Vrijgever: HMe | DNV docnummer: 10124719-031-1012

Naam: Lengteprofiel VKA 2.0.1 Vergunningen Prorail | Tekeningstatus

Rev.	d.d.revisie	Omschrijving revisie	Getekend	d.d As-Built	Schaal	Formaat
					1:15 hor. 1:3 vert.	A2

Relatie: -

Thema:

Categorie:

Documenttype:

Object ID:

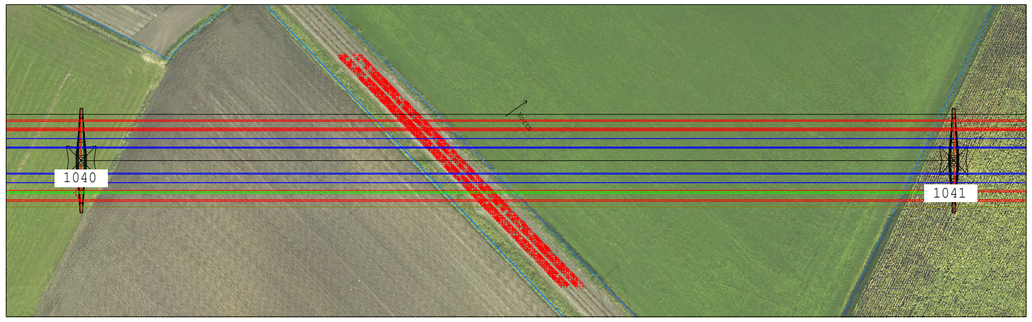
Tekeningnummer (oud of nieuw):

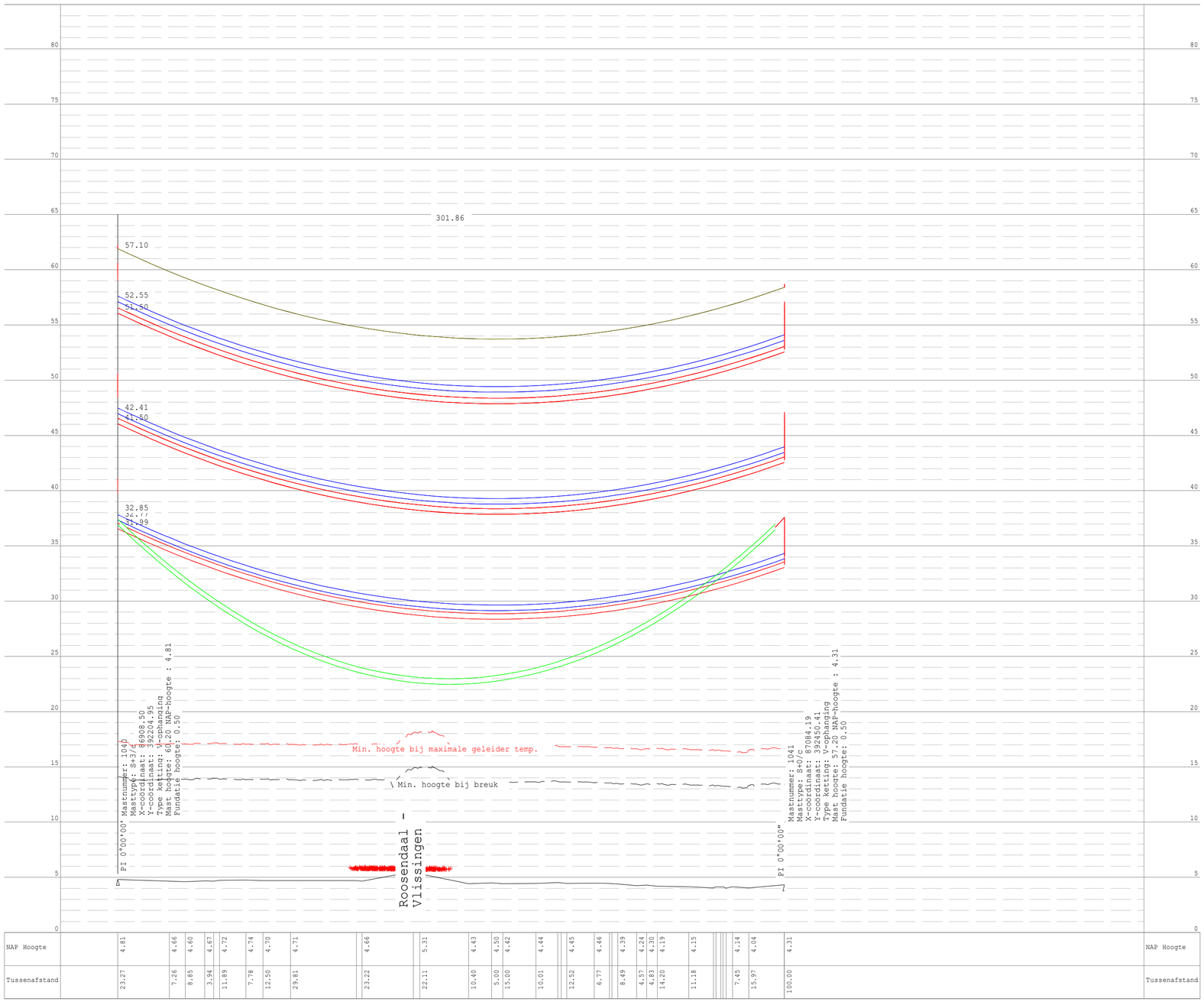
Omschrijving: Lengteprofiel VKA 2.0.1 Vergunningen Prorail

TenneT nummer: 002.678.00 1015085

TenneT Taking power further

Filename: PERMITS DRWAWINGS RWS AND PRORAIL VKA 2.0.1.xyz





NAP Hoogte		4.81		4.66	4.60	4.67	4.72	4.74	4.70	4.71		4.66		5.31	4.43	4.50	4.42	4.44		4.45	4.46	4.39	4.24	4.30	4.19	4.15		4.14	4.04	4.31	NAP Hoogte
Tussenafstand		23.27		7.26	8.85	3.94	11.89	7.78	12.50	29.81		23.22		22.11	10.40	5.00	15.00	10.01		12.52	6.77	8.49	4.57	4.83	14.20	11.18		7.45	15.97	100.00	Tussenafstand

Spanveld 1040 (S+3_c)-1041 (S+0_c), spoorwegkruising Roosendaal-Vlissingen met fase-bundel breuk in veld 1041-1042 (ahead span)

PLS-CADD Drawing

Vereist afstanden

Type	Symb	150kV	380kV RLL-TLB
Grond	○	9.3 m	10.8 m*
Industrieel gebied	○	9.7 m	11.2 m*
Wegen	○	9.3 m	10.8 m*
Land/agrarische wegen	○	10.3 m	11.8 m*
Snel/autowegen	○	7.7 m	12.7x m
Snel/autowegen na geleiderbreuk	○	11.2 m	9.2 m
Spoorlijn met tractie	+	12.5 m	14.0 m*
Spoorlijn met tractie na geleiderbreuk	+	11.1 m	12.4 m
Daken <15 graden	△	6.7 m	8.2 m*
Daken >15 graden	△	4.7 m	6.2 m
Buisleidingstraat/Evides	○	10.8 m	12.3 m*
Tractie	+	7.3 m	8.8 m
Water	M	7.9 m	9.4 m*
Vaarwegen 15m VDH	15	17.3 m	18.8 m
Vaarwegen 20m VDH	20	22.3 m	23.8 m
Vaarwegen 25m VDH	25	27.3 m	28.8 m
Vaarwegen 30m VDH	30	32.3 m	33.8 m

* onderstaande afstanden minimaal te hanteren vanwege dominantie e-velden (5kV/m 1m boven maaiveld) conform AM-Req-0939

Verbinding	Afstand	Aanduiding afstand
RLL-TLB Combi	14.9m	
RLL-TLB Solo	13.8m	
GT-TLB	12.0m	
GT-RLL	Niet dominant	

= Geleider toestand na breuk in aanliggend veld

Revisie	Datum	Omschrijving
1	4-5-2022	RFA Verwerkt
0	19-04-22	Eerste uitgave

DNV Energy Systems
Utrechtseweg 310, 6812 AR Arnhem, tel: +31 26 3569111

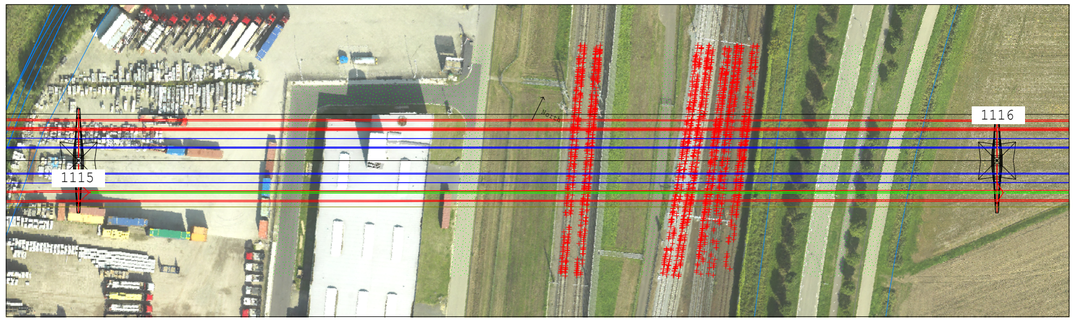
Projectnaam: TenneT Engineering ZW380 kV Oost
Status: Definitief
Schaal: 15.0 m Horiz. Scale / 3.0 m Vert. Scale
Datum: 19-04-22
Units Meters
Projectie RD-Stelsel
Tekenaar: RLo
Projectnummer: 10124719
Vrijgever: HMe
DNV docnummer: 10124719-031-1012

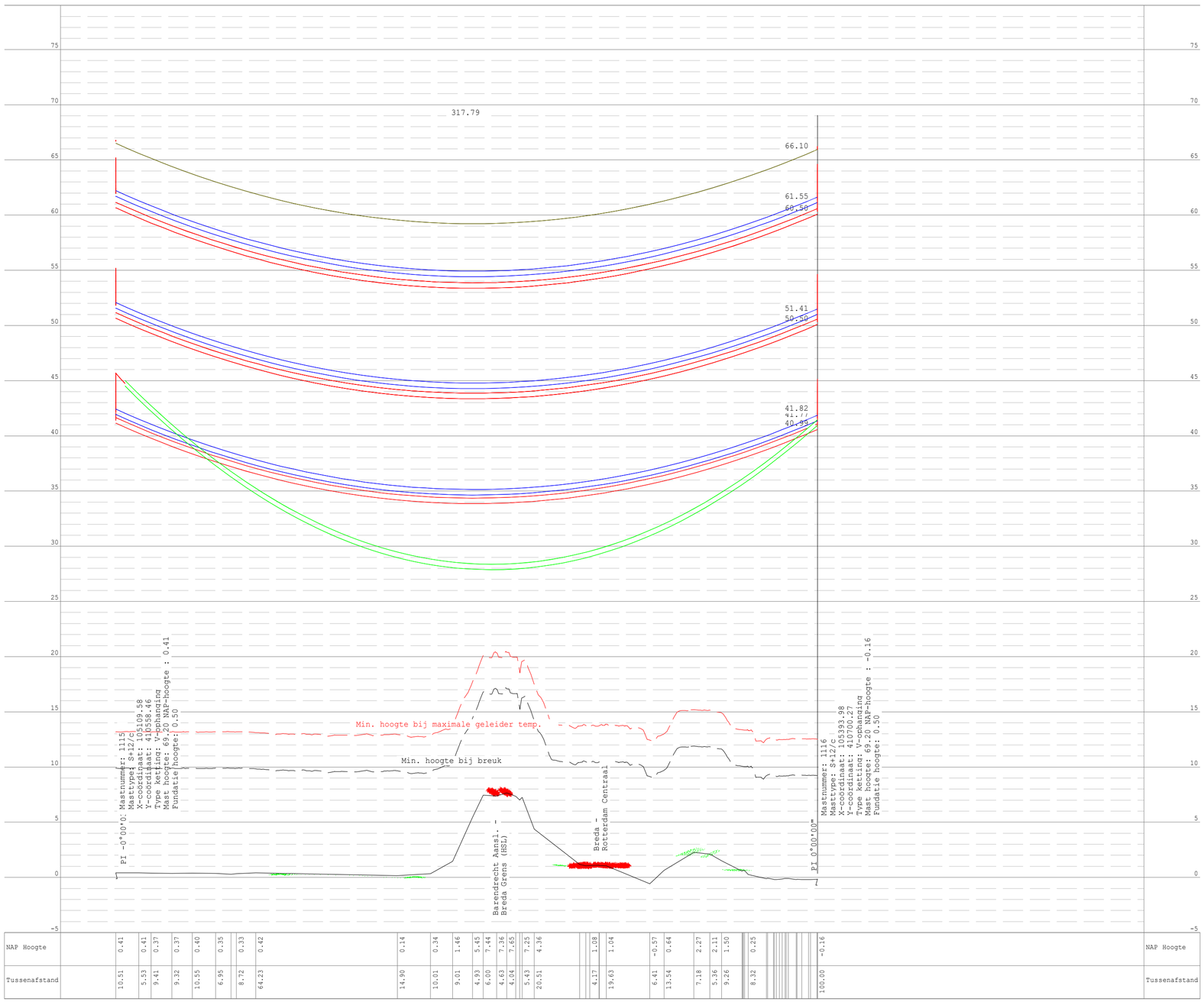
Naam: Lengteprofiel VKA 2.0.1 Vergunningen Prorail
Tekeningstatus

Rev.	d.d.revisie	Omschrijving revisie	Getekend	d.d As-Built	Schaal	Formaat
					1:15 hor. 1:3 vert.	A2

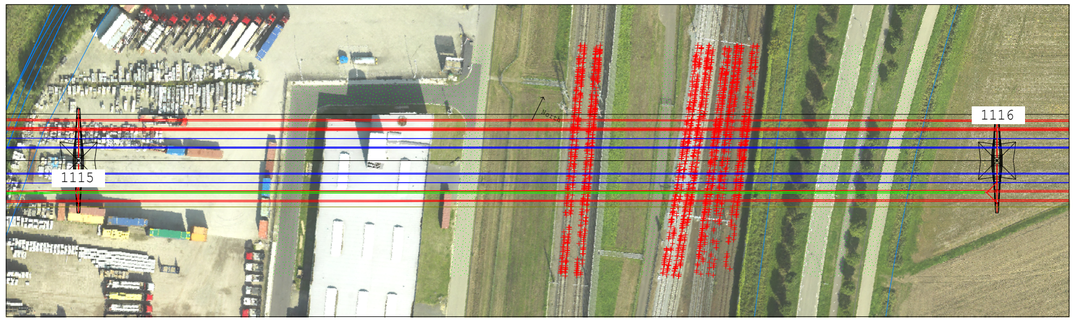
Relatie: -
Thema:
Categorie:
Documenttype:
Object ID:
Tekeningnummer (oud of nieuw):
Omschrijving: Lengteprofiel VKA 2.0.1 Vergunningen Prorail
TenneT nummer: 002.678.00 1015085

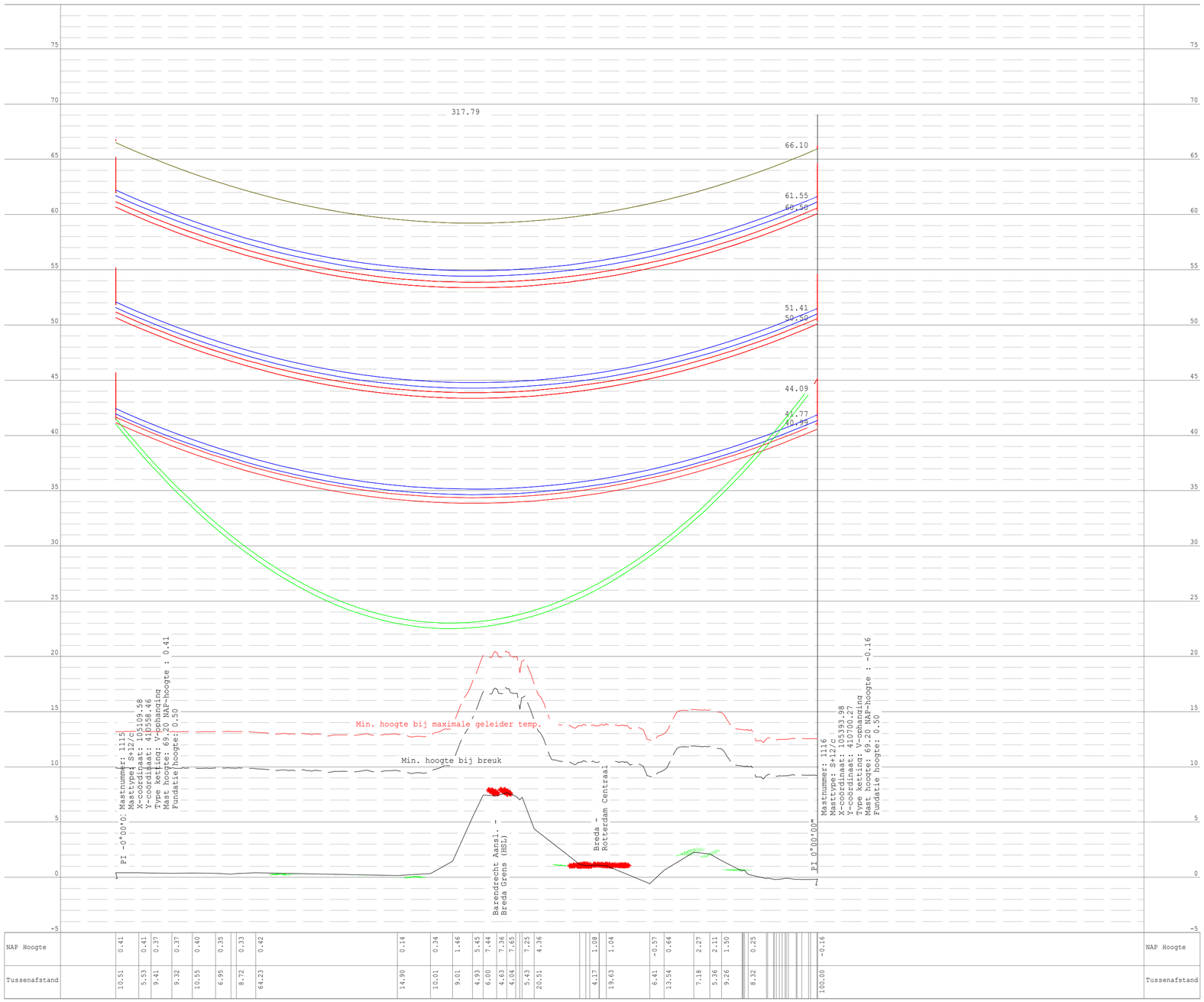
Filename: PERMITS DRWAWINGS RWS AND PRORAIL VKA 2.0.1.xyz


1115
1116


317.79
66.10
61.55
60.56
51.41
50.50
41.82
41.77
40.93
Min. hoogte bij maximale geleider temp.
Min. hoogte bij breuk
PI -0°00'0"
Mastnummer: 1115
Mastype: S+12/c
X-coordinaat: 105109.58
Y-coordinaat: 410558.46
Type ketting: V-ophanging
Mast hoogte: 69.20 NAP-hoogte : 0.41
Fundatie hoogte: 0.50
PI 0°00'00"
Mastnummer: 1116
Mastype: S+12/c
X-coordinaat: 105393.98
Y-coordinaat: 410700.27
Type ketting: V-ophanging
Mast hoogte: 69.20 NAP-hoogte : -0.16
Fundatie hoogte: 0.50
Barendrecht Aansl. -
Breda Grens (HSL)
Breda -
Rotterdam Centraal
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
-5

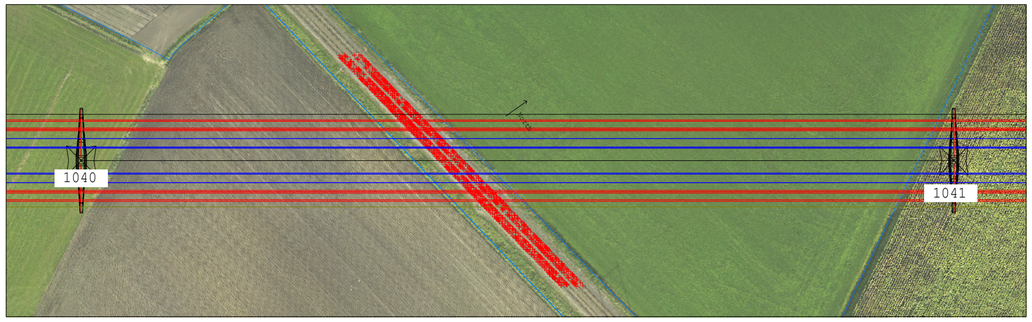
| | | |

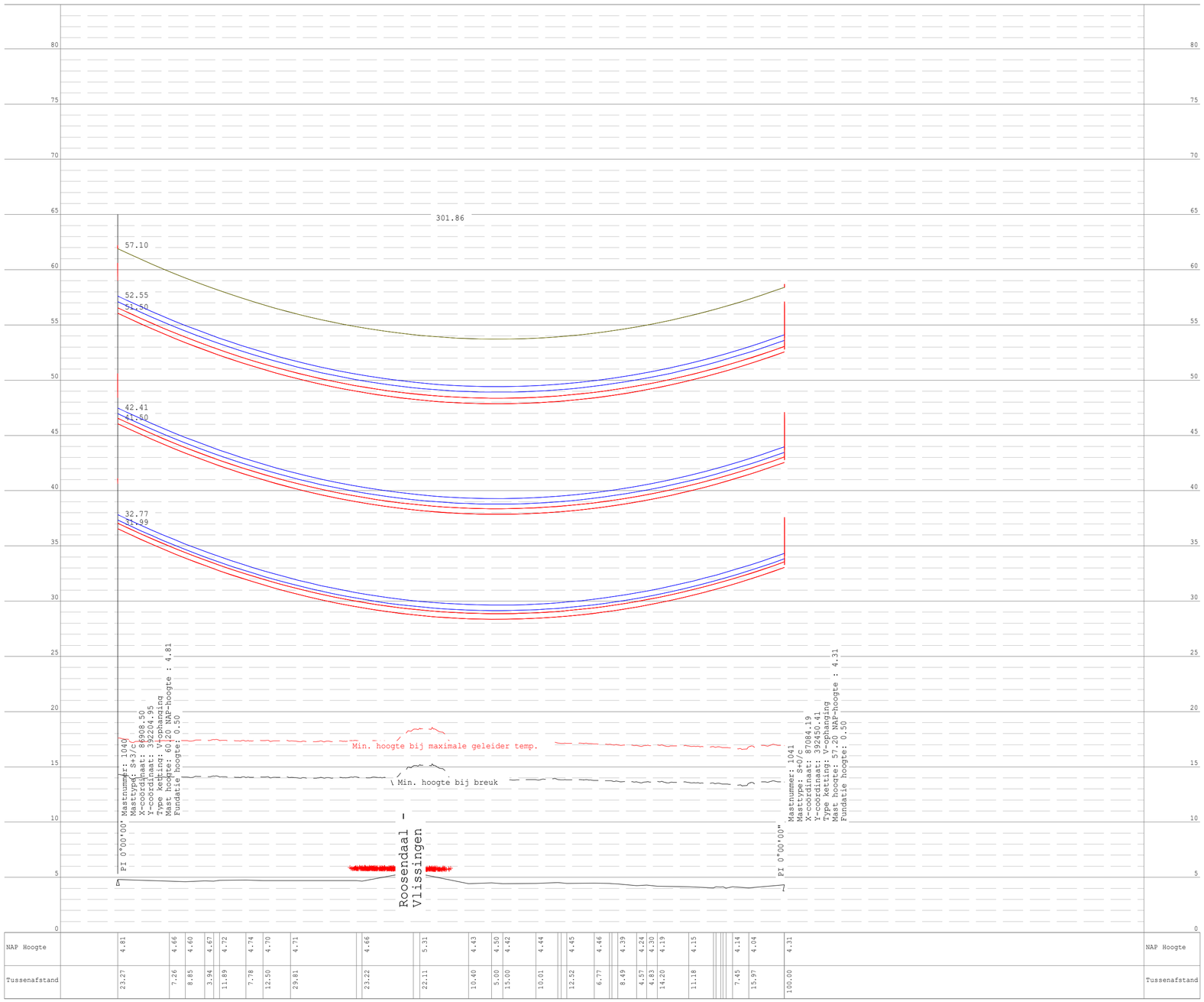

1115
1116


317.79
66.10
61.55
60.56
51.41
50.50
44.09
41.77
40.95
Min. hoogte bij maximale geleider temp.
Min. hoogte bij breuk
Barendrecht Aansl. - Breda Grens (HSL)
Breda - Rotterdam Centraal
PI -0°00'0"
PI 0°00'0"
Mastnummer: 1115
Masttype: S+12/c
X-coordinaat: 105109.58
Y-coordinaat: 415558.46
Type ketting: V-ophanging
Mast hoogte: 69.20 NAP-hoogte : 0.41
Fundatie hoogte: 0.50
Mastnummer: 1116
Masttype: S+12/c
X-coordinaat: 105393.98
Y-coordinaat: 410700.27
Type ketting: V-ophanging
Mast hoogte: 69.20 NAP-hoogte : -0.16
Fundatie hoogte: 0.50
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
-5

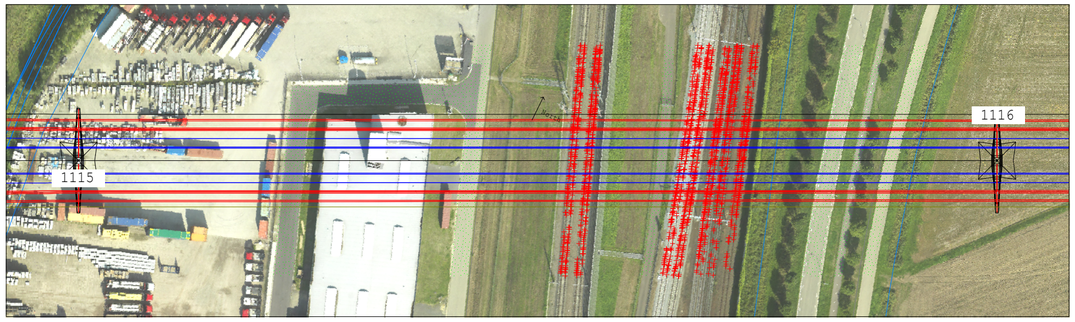
| | | |

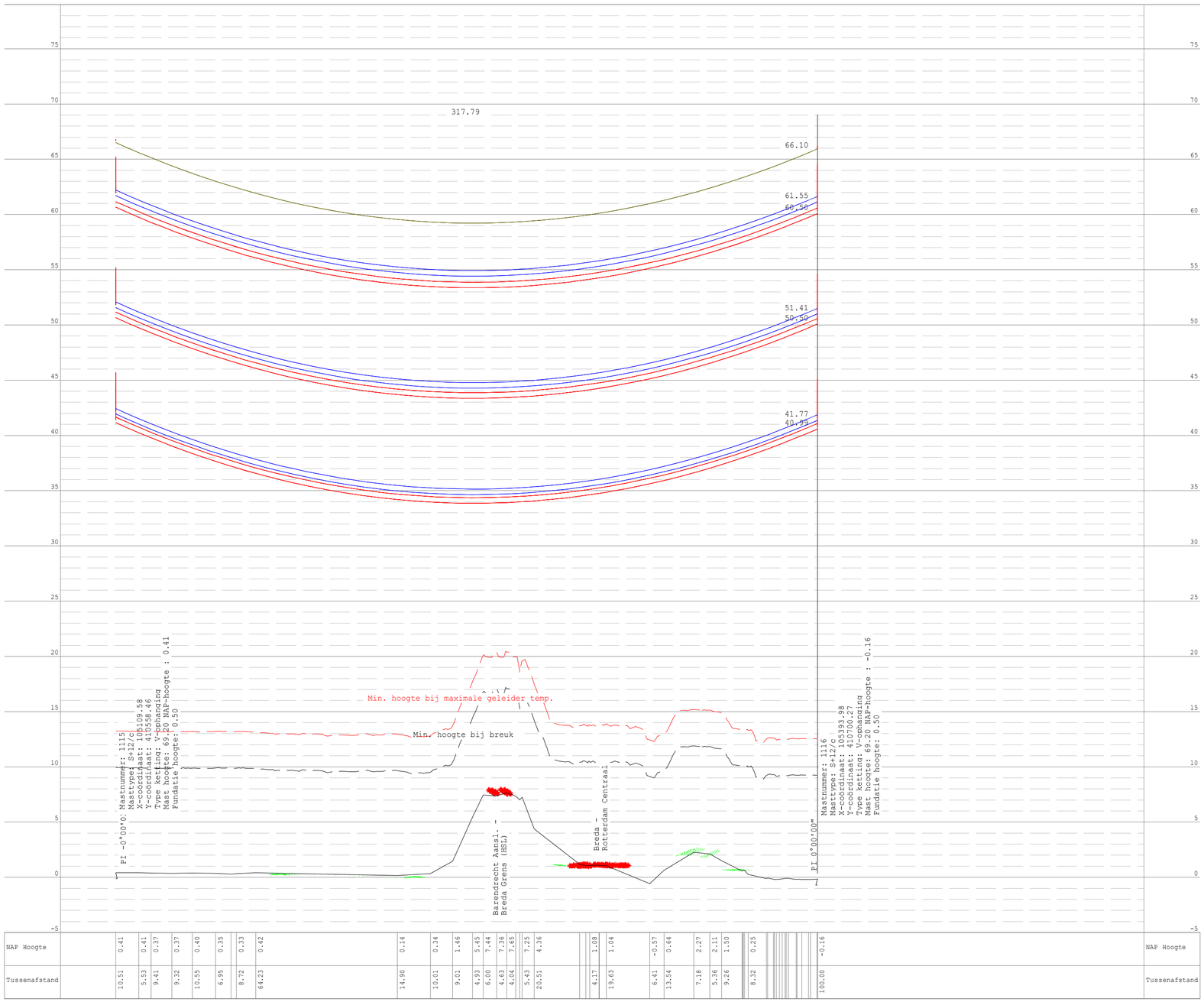
APPENDIX B
Tekeningen spoorwegkruisingen bij maximale zeeg


1040
1041


301.86
57.10
52.55
51.50
42.41
41.60
32.77
31.99
Min. hoogte bij maximale geleider temp.
Min. hoogte bij breuk
Mastnummer: 1040
Masttype: S+3/C
X-coordinaat: 86908.50
Y-coordinaat: 392204.95
Type ketting: V-ophanging
Mast hoogte: 62.20 NAP-hoogte : 4.81
Fundatie hoogte: 0.50
PI 0°00'00"
Mastnummer: 1041
Mastype: S+D/C
X-coordinaat: 87084.19
Y-coordinaat: 392450.41
Type ketting: V-ophanging
Mast hoogte: 57.20 NAP-hoogte : 4.31
Fundatie hoogte: 0.50
PI 0°00'00"
Roosendaal
Vlissingen

| | | |


1115
1116


317.79
66.10
61.55
60.56
51.41
50.50
41.77
40.95
Min. hoogte bij maximale geleider temp.
Min. hoogte bij breuk
Mastnummer: 1115
Masttype: S+12/c
X-coordinaat: 10109.58
Y-coordinaat: 410538.46
Type ketting: V-ophanging
Mast hoogte: 69.20 NAP-hoogte : 0.41
Fundatie hoogte: 0.50
PI -0°00'0"
Mastnummer: 1116
Masttype: S+12/c
X-coordinaat: 10393.98
Y-coordinaat: 410700.27
Type ketting: V-ophanging
Mast hoogte: 69.20 NAP-hoogte : -0.16
Fundatie hoogte: 0.50
PI 0°00'0"
Barendrecht Aansl. - Breda Grens (HSL)
Breda - Rotterdam Centraal
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
-5

| | | |

F.1 Boring 150 kV Spoorlijn Roosendaal – Vlissingen, nabij Rilland

Kruising 2 HDD’s met A58, Spoor en N289

Vergunningsrapport Rijkswaterstaat, provincie Zeeland en ProRail

SWECO

Verantwoording

Titel:	Kruising 2 HDD's met A58, Spoor en N289
Onderwerp:	Vergunningsrapport Rijkswaterstaat en Provincie Zeeland
Projectnummer:	51001237
Klant:	TenneT
Referentienummer:	NL22-648800269-30768
Versie:	D2
Datum:	29-08-2022
Auteur:	[redacted]
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 Diepteligging 8
2.5 Inwendige overdruk 8
2.6 Grondwaterstand 8
2.7 Belasting- en ondersteuningshoek 9
2.8 Importantiefactor 9
2.9 Geotechnische parameters 9
2.10 Boortechnische gegevens 10
2.11 Verkeersbelasting 10
2.12 Boogstralen 10

3. Ontwerp 12
3.1 Gegevens HDD 12
3.2 Berekening horizontaal gestuurde boring 13
3.3 Boorparameters 13
3.4 Intredepunt 13
3.5 Uittredepunt en uitlegstrook 14

4. Berekeningsresultaten 15
4.1 Trekkrachtberekening 16
4.2 Sterkteberekening bedrijfsfase 16
4.3 Muddrukberekening 16
4.4 Implosie 16
4.5 Kwelwegbeschouwing 17
4.5.1 Zoute ondergrond 17
4.5.2 Kwel uit het eerste watervoerende pakket 18
4.5.3 Kwel tussen de peilgebieden 19
4.5.4 Kwelmaatregelen 21

5. Risico’s 22

6. Conclusie 24
6.1 Algemeen 24
6.2 Uitkomsten ontwerp en berekening HDD 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.

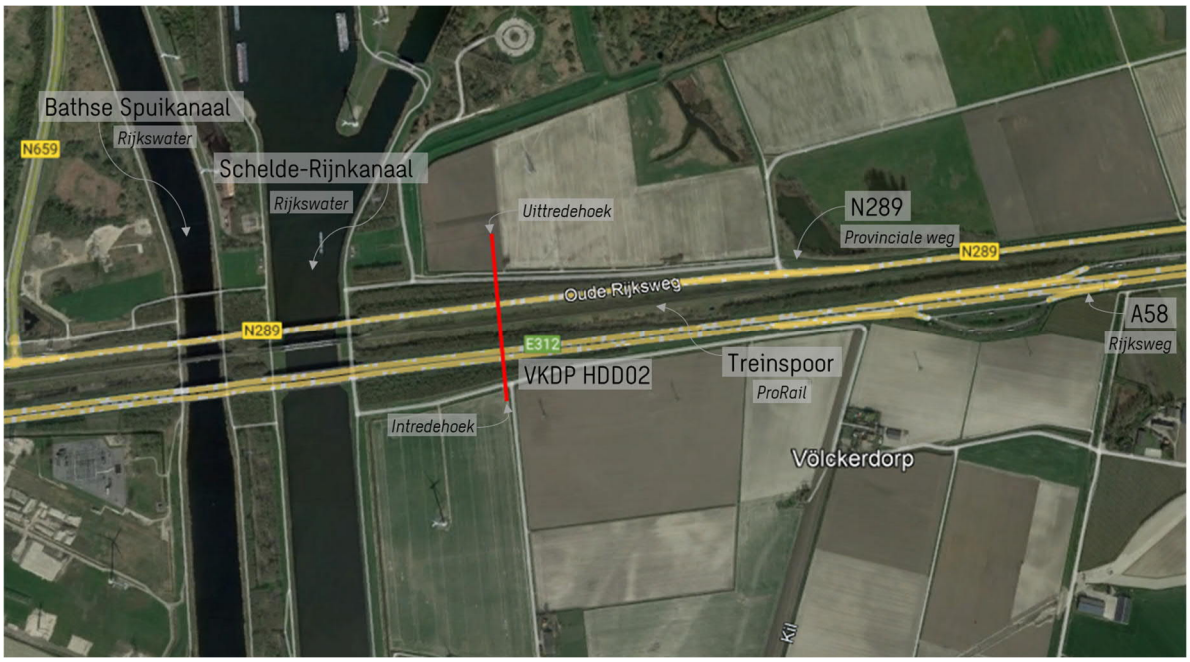
Dit rapport betreft de kruising met de Rijksweg A58, de spoorlijn en de provinciale weg N289. De HDD's (met codering VKDP HDD02) zijn vergunningsplichtig bij Rijkswaterstaat, provincie Zeeland en ProRail met het ontwerp en berekeningen conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020, Richtlijn Boortechnieken en de eisen van ProRail.

1.1 Situatie

Het tracé van de HDD's start ten zuiden van de A58 en ten oosten van de brug over het Schelde-Rijnkanaal en bestaat uit twee 150kV-circuits. Hierdoor moeten twee afzonderlijke parallelle HDD-bundels worden gemaakt. Eén bundel bestaat uit 4 mantelbuizen PE100 Ø315 mm SDR 11. Per bundel wordt in drie van de mantelbuizen een hoogspanningskabel ingetrokken, 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 circa 420 m en een maximale diepte van NAP -13,5 m (hart van de boring). De HDD's kruisen vanuit het zuiden gezien achtereenvolgens de Rijksweg A58, de spoorlijn Roosendaal – Vlissingen (Geocode 127, km 22,5) en de provinciale weg N289 en komen boven net voor de leidingenstraat van LSNed.

Het intredepunt ligt aan de zuidzijde van de A58 in het akkerland waar ook de bestaande mastenroute loopt. Het intredepunt ligt niet onder de mastenroute. Het uittredepunt ligt aan de noordzijde van de N289, zodat de mantelbuizen in de leidingenstraat van LSNed zijn uit te leggen.



Figuur 1 Overzicht situatie VKDP HDD02

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 VKDP HDD2, tekeningnummer VKDP HDD2-ProRail versie B d.d. 26-8-2022 door Sweco (bijlage 1).
- Geotechnisch onderzoek uit Dinoloket (bijlage 2).
- Maaiveldhoogten zijn ontleend aan de Algemene Hoogtekaart van Nederland (AHN-3).
- KLIC-levering 21O094476 en 21O094477 opgevraagd d.d. 21-09-2021.
- Peilbesluiten waterschap Scheldestromen, geraadpleegd d.d. 14-03-2022, website: https://repository.officiele-overheidspublicaties.nl/CVDR/CVDR333586/1/xml/i241828.pdf.

2.2 Vigerende normen en richtlijnen

Het ontwerp van de boring voldoet aan:

- NEN 3650:2020.
- NEN 3651:2020.
- Richtlijn Boortechnieken v1.0 juni 2019 van Rijkswaterstaat.
- Handboek Horizontaal Gestuurd Boren (BTL-rapport 50).
- ProRail Spoorkruising derden, RLN 00427-2 (Sleufloze Techniek).
- Indieningvereisten: Ten behoeve van het aanvragen van een vergunning op grond van artikel 19 Spoorwegwet en het aanvragen van een ontheffing op grond van artikel 13 lid 3 van de Regeling omgevingsregime hoofdspoorwegen, ProRail, 01-07-2021-versie-18 (zie bijlage 1)

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:

- De minimale dagmaat bij een kruising met een bestaande HDD-boring is 5,0 meter, onafhankelijk van de grondslag.
- De minimale dagmaat in zandgrond bij parallelligging tot een bestaande HDD-boring is 5,0 meter.
- De minimale dagmaat in klei-/veengrond bij parallelligging tot een bestaande HDD-boring is 10,0 meter.
- 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 specifieker dan de NEN 3650, voor het ontwerp houden we daarom de Richtlijn Boortechnieken aan.

2.4 Diepteligging

De diepteligging dient aan de volgende eisen te voldoen:

- De HDD's dienen minimaal 12 m beneden het laagst gelegen maaiveld binnen de druklijn 1:1,5 te liggen (paragraaf 7.1 van RLN0047-2 Spoorkruising derden).
  - De bovenkant van de leiding is op een diepte van 16,90 m geprojecteerd t.o.v. het laagst gelegen maaiveld. De leiding voldoet hiermee aan de dekkings- en afstandseisen.
- De HDD's dienen een minimale gronddekking te hebben ter plaatse van de verharding van minimaal 1,5 meter (in cohesieve grond) (Richtlijn Boortechnieken v1.0 juni 2019, NEN3650-1 par. F4.2 en NEN 3651 par. 8.1.5).
  - Bij zowel de provinciale weg als de rijksweg liggen de HDD's dieper dan 17 m t.o.v. maaiveld.

Het ontwerp voldoet aan de eisen voor de diepteligging.

2.5 Inwendige overdruk

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

2.6 Grondwaterstand

De grondwaterstand is ontleend uit de data van DINO-loket (B49D0400-001). De grondwaterstand fluctueert gedurende het jaar maar bedraagt gemiddeld circa NAP 0,35 m.

2.7 Belasting- en ondersteuningshoek

Conform NEN 3650 (C.4.1.3 van NEN3650-1) en NEN 3651 bedraagt voor een HDD de:

- Belastingfactor voor trekkracht : 1,8.
- Belastinghoek : 30°.
- Ondersteuningshoek : 30°.

2.8 Importantiefactor

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

2.9 Geotechnische parameters

De geotechnische gegevens en parameters gebruikt 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 boortrace [m]
B49D2247	Boring	-25	50
B49D1111	Boring	-13	20
1108.S07	Sondering	-18	80

De twee beschikbare boringen en de sondering langs het geplande boortracé geven de bovenkant van de vaste zandlaag weer op -13 m NAP. Deze boringen en sondering laten zien dat boven deze zandlaag de grond bestaat uit relatief slappe klei- en veenlagen. Gezien het zeer kleine aantal boringen kan niet met zekerheid vastgesteld worden of de relatief slappe lagen over het gehele tracé voorkomen. Hieruit kunnen we concluderen 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. Tabel 2.1 laat de in de berekeningen aangehouden grondparameters voor de in het grondonderzoek herkende grondlagen langs het profiel zien.

Tabel 2-2 Grondparameters gebruikt in de berekening.

Niveau bovenkant [m t.o.v. NAP]	Niveau onderkant [m t.o.v. NAP]	Lithologie	γ_d [kN/m^3]	γ_n [kN/m^3]	c' [kPa]	φ' [°]	Su top/bottom [kN/m^2]	E [kN/m^2]
2,0	-3,5	Zand, schoon, los	17	19	0,0	30,0	0,0	7500
-3,5	-6,0	Klei, organisch, slap	13	13	0,0	15,0	35,0	500
-6,0	-11,0	Veen, slap	11	11	1,0	15,0	35,0	200
-11,0	-13,0	Zand, schoon, los	17	19	0,0	30,0	0,0	15000
-13,0	30,0	Zand, schoon, vast	19	21	0,0	35,0	0,0	45000

2.10 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 waardes zijn terug te vinden in de invoer van de muddrukberekeningen in bijlage 3.

2.11 Verkeersbelasting

Ter plaatse van de kruising met de A58 is verkeersklasse I gehanteerd conform figuur C17 uit NEN3650-1:2020. Voor de overige wegen is verkeersklasse II conform figuur C17 uit NEN3650-1:2020 gehanteerd.

2.12 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 verticale bochten van 250 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.

Tabel 2-1 afwijkingstoleranties HDD

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

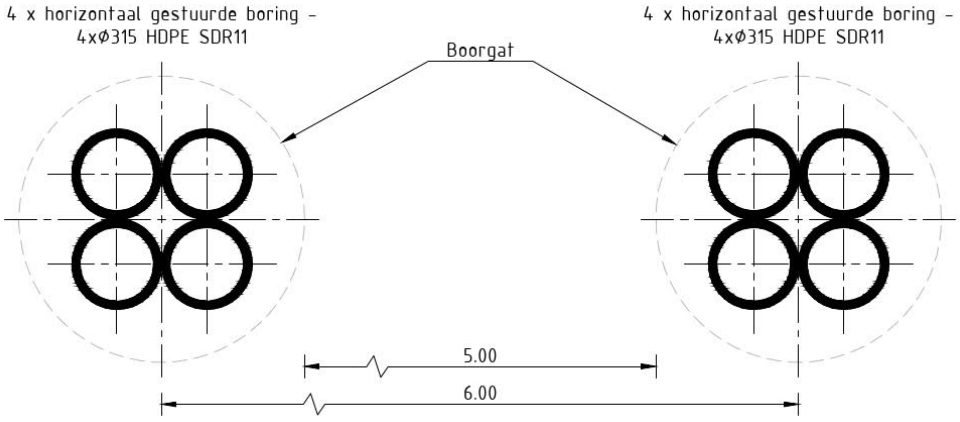
Figuur 2, afwijkingstoleranties HDD's (Bron: tabel 2.1 uit de Richtlijn Boortechnieken)

3. Ontwerp

3.1 Gegevens HDD

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

- Materiaal: PE 100 4xØ315 mm SDR 11.
- Lengte: 420 m.
- Maximale diepte hart buis: NAP -13.83 m.
- Intredehoek: 15°.
- Uittredehoek: 15°.
- Verticale boogstralen: 250 m.
- Horizontale boogstralen: n.v.t.



Figuur 3 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 zijn:

- De HDD's dienen een zodanig tracé te volgen dat er voldoende dekking aanwezig is in het gehele tracé om een blow-out te voorkomen.
- De HDD's dient de snelweg loodrecht te kruisen.
- De sterkte van de leiding dient zodanig te zijn dat deze intact blijft gedurende de aanleg en in de bedrijfsfase.

3.2 Berekening horizontaal gestuurde boring

De volgende berekeningen zijn voor de horizontaal gestuurde boring uitgevoerd:

- Een trekkrachtberekening.
- Een sterkteberekening voor de bedrijfsfase.
- Een muddrukberekening.
- Een implosieberekening.
- Kwelwegbeschouwing.

Bij de berekeningen is het profiel van de huidige situatie gebruikt, aangezien deze ten tijde van de uitvoering van de HDD nog aanwezig is en maatgevend is voor de muddruk en trekkracht.

De berekeningen zijn uitgevoerd met het rekenprogramma D-Geo Pipeline versie 20.1 en zijn toegevoegd in bijlage 3.

3.3 Boorparameters

Bij de berekeningen zijn de volgende boorparameters aangehouden:

- Boorinstallatie : mini-rig.
- Diameter boorstang : 0,17 m.
- Volumegewicht bentoniet : 11,5 kN/m^3.
- Gewicht drillrig : circa 18.000 kg (18 ton).
- Diameter pilothole : Ø300 mm.
- Ruimerdiameter : Ø500 mm.
- Ruimgat : Ø1000 mm.

3.4 Intredepunt

Het intredepunt ligt aan de zuidzijde van het tracé in het bouwland (zie *Figuur 4*). De locatie is bereikbaar via de Kreekrakweg. Indien het werkverkeer de locatie vanuit het noorden benadert, dient rekening te worden gehouden met de doorrijhoogte onderdoor de brug over het kanaal.

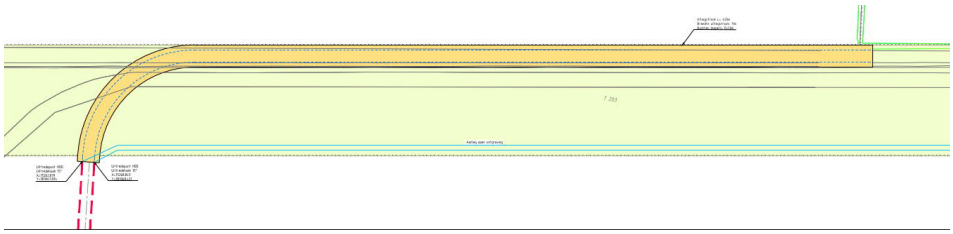
Figuur 4 Intredepunt VKDP HDD02

3.5 Uittredepunt en uitlegstrook

Het uittredepunt ligt in bouwland aan de noordzijde van het boortracé (zie *Figuur 5*). De locatie is bereikbaar via de Markiezaatsweg vanuit de oostzijde van het uittredepunt.

De uitlegstrook ligt in het bouwland en een haakse bocht naar het oosten (zie *Figuur 6*). Met LSNed is afgestemd om gebruik te maken van de leidingstraat voor de uitlegstrook. Bij het uittredepunt en de uitlegstrook dient de aannemer rekening te houden met het werken onder en nabij hoogspanningsmasten.

Figuur 5 Uittredepunt VKDP HDD02



Figuur 6 Uitlegstrook VKDP HDD02

4. Berekeningsresultaten

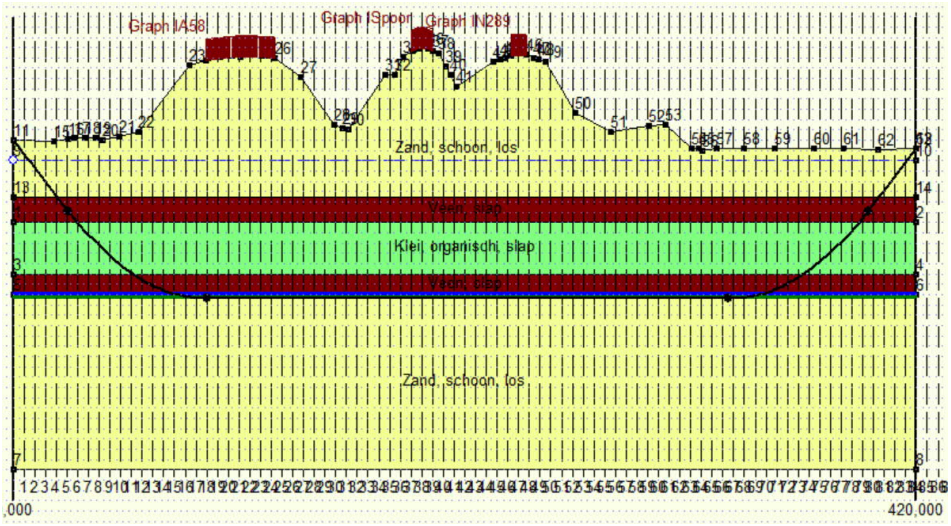
De volgende berekeningen zijn voor de horizontaal gestuurde boring uitgevoerd:

- 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.

Bij de berekeningen is het profiel van de huidige situatie gebruikt, aangezien deze ten tijde van de uitvoering van de HDD nog aanwezig is en maatgevend is voor de muddruk en trekkracht.

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 7 D-Geo Pipeline-model van HDD's

4.1 Trekkrachtberekening

De berekende maximale trekkracht bedraagt 304*1,8 = 547 kN bij niet-gevulde leidingen. Dit leidt tot een maximale spanning tijdens de intrekfase van 5,9 N/mm^2 aan het einde van de intrekoperatie. Toelaatbaar is 10 N/mm^2.

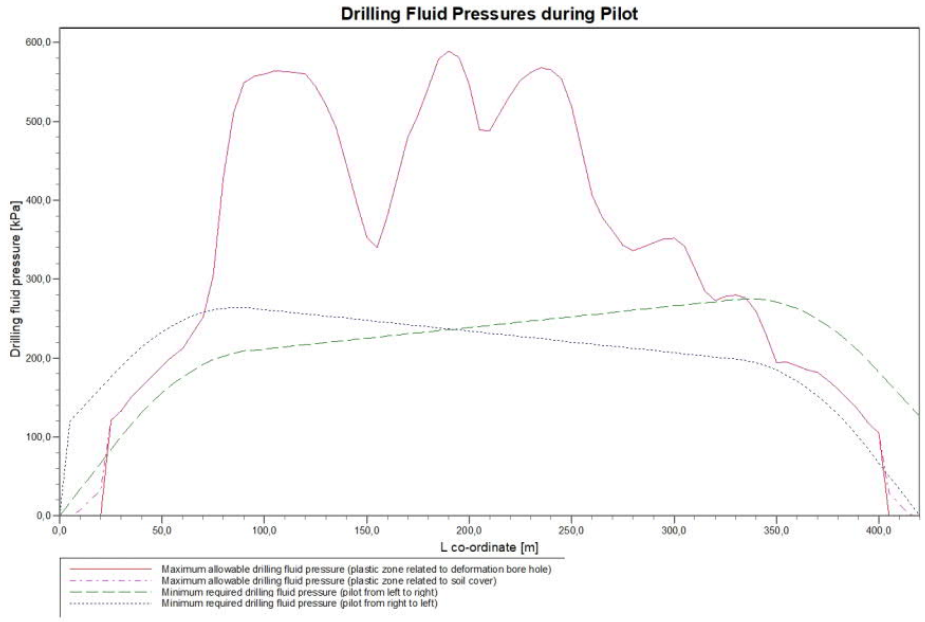
4.2 Sterkteberekening bedrijfsfase

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

Uit de sterkteberekening blijkt dat een deflectie van 15,8 mm (5,03% x D_0) optreedt. Toelaatbaar is een maximale deflectie van 25,2 mm (8,00% x S x D_0).

4.3 Muddrukberekening

Bij de geplande diepteligging van de HDD's bestaat tijdens de pilotboring, getuige de berekeningsresultaten, de kans op muduitbraak in de laatste 80 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 8 Muddrukberekening tijdens pilot boring

4.4 Implosie

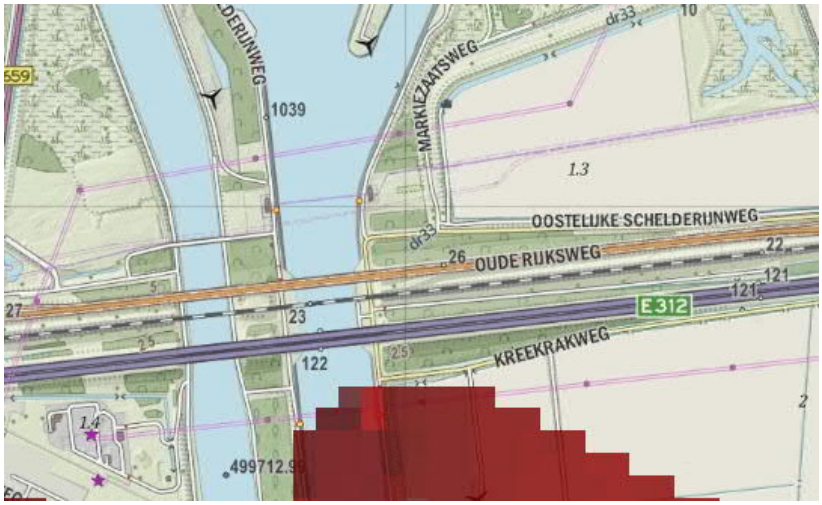
Zowel tijdens de intrekoperatie als de bedrijfstoestand blijkt uit de berekeningen dat geen implosie optreedt. De berekende alzijdige overdruk op de leiding bedraagt circa 140 kN/m^2, terwijl 280 kN/m^2 toelaatbaar is.

4.5 Kwelwegbeschouwing

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 Zoute ondergrond

Door de nabije aanwezigheid van de zee is de ondergrond van Zeeland op veel plekken verzadigd met zout water. Er treedt infiltratie op van zoet regenwater. Het regenwater zorgt voor een zoete bovenlaag van de bodem, maar veel dieper komt de zoete invloed niet. In de omgeving van de HDD komt in diepere grondlagen een hoog chloride-gehalte voor. Voor de locatie van HDD VKDP 2 zijn geen metingen beschikbaar (zie *Figuur 9*). De kans op zout grondwater is aanwezig.

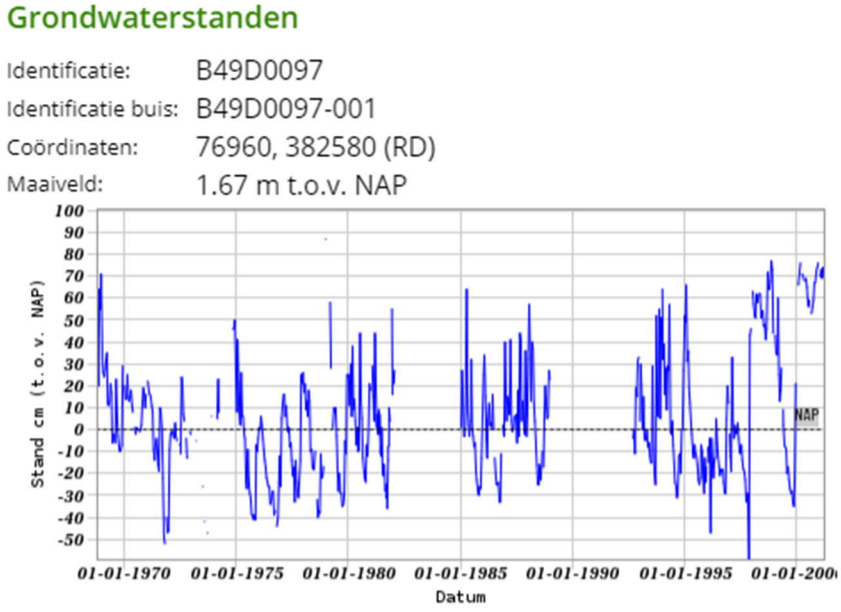


Figuur 9 Grensvlak met chloridegehalte nabij HDD-kruising

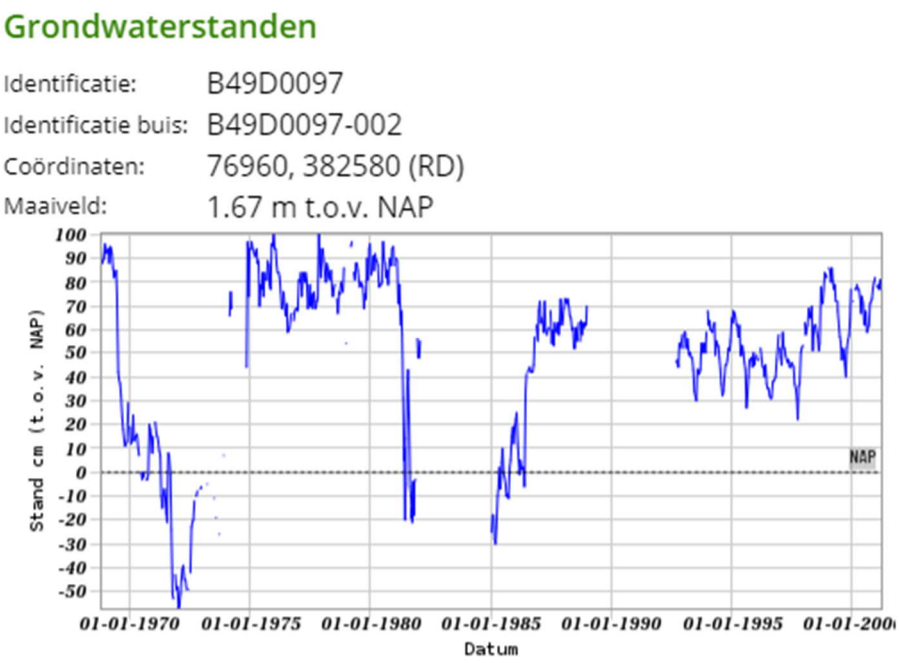
4.5.2 Kwel uit het eerste watervoerende pakket

De HDD's liggen in het deelgebied Zuid-Beveland-Oost waar waterschap Scheldestromen het peilbeheer voert.

Ter illustratie zijn de meetgegevens uit DINOloket van peilbuis B49D0097 hieronder weergegeven. Deze peilbuis ligt op circa 1 km afstand van het boortracé. Te zien is dat de freatische grondwaterstand B49D0097-001 in periodes lager ligt dan de grondwaterstand in het eerste watervoerende pakket B49D0097-002. De bovenliggende kleilagen sluiten 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.



Figuur 10 Freatische grondwaterstand B30H0125-001 uit Dinoloket, filter op NAP -6,5 m



Figuur 11 *Grondwaterstand in het eerste watervoerende pakket, B30H0125-002 uit Dinoloket, filter op NAP -11,9 – 13,96 m*

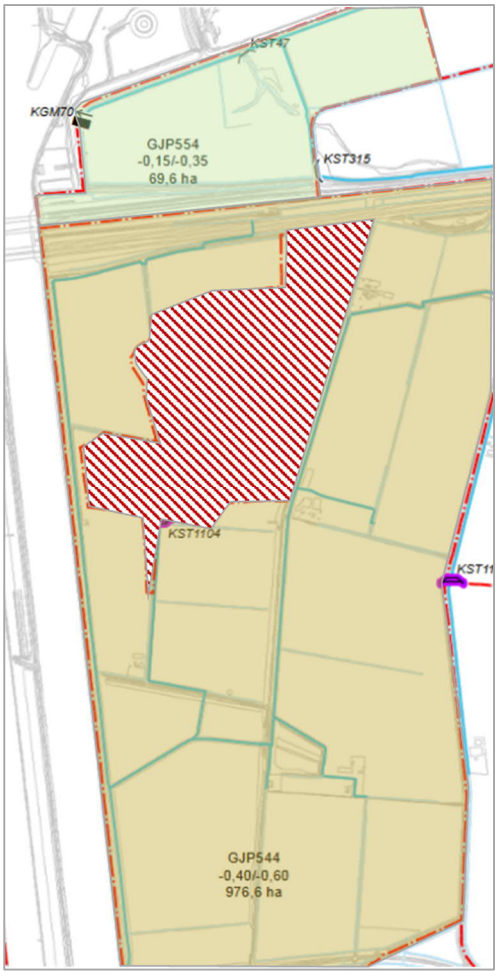
4.5.3 Kwel tussen de peilgebieden

Uit de peilbesluitenkaart van waterschap Scheldestromen blijkt dat de noord- en zuidzijde van de HDD's niet tot dezelfde peilgebieden behoren. De noordzijde van de A58 ligt in het peilgebied GJP545 en zuidzijde behoort tot gebied GJP544.

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

Peilgebied	Zomerpeil (m NAP)	Winterpeil (m NAP)
GJP554	- 0,15	- 0,35
GJP544	- 0,40	- 0,60



Figuur 12 Overzicht peilbesluit

De kwelwegen zijn berekend volgens Bligh-Lane:

$$Natuurlijke\ kwelweg < kwelweg\ via\ HDD$$

$$L_0 \times {}^1/_3 < L_{vert} + L_{hor} \times {}^1/_6$$

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]
GJP554	GJP544	197/3 = 65,6	9+197/6+18 = 60

4.5.4 Kwelmaatregelen

De stijghoogte in het eerste watervoerende pakket is op deze locatie hoger dan de laagste gemiddelde grondwaterstand. De bovenliggende kleilagen sluiten 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

- Veilig werken in de nabijheid van hoogspanningmasten. Deze lijn is in bedrijf ten tijde van de werkzaamheden. Het heeft de voorkeur om de HDD die het meest dichtbij de masten ligt als eerste uit te voeren, zodat deze in ieder geval voldoende afstand heeft tot de fundering van de mast.
- TenneT schrijft het gebruik van een gyroscoop als plaatsbepalings-systeem tijdens de pilotboring voor.
- Afwijking van de boorlijn heeft consequenties voor de daarna volgende HDD’s. De aannemer dient daarom na iedere pilotboring te controleren of de volgende HDD’s nog aangepast moeten worden. Ook dient de aannemer rekening te houden met de volgorde van uitvoeren in verband met afstanden tot obstakels.
- Het nemen van de in paragraaf 4.5.4 benoemde kwelmaatregelen. Voorafgaand aan de uitvoering dienen de plannen hiervoor goedgekeurd te worden door waterschap Scheldestromen.
- De uitlegstrook ligt in de leidingenstraat van LSNed.
- De aanwezigheid van brak grondwater in de ondergrond. De aannemer dient hier bij de samenstelling van het bentoniet rekening mee te houden.
- De mantelbuizen dienen met een sleeve afgesloten te worden om een kwelstroom door de buis onderdoor de waterkering te voorkomen.
- De boorrig en het materieel worden opgesteld aan de westzijde van de boring bij het 150 kV-station Rilland.
- Uitlegstrook: de mantelbuizen worden uitgelegd aan de oostzijde van de HDD in bouwland. De uitlegstrook ligt parallel en kruist de 150 kV mastenroute.
- 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 plaatsbepalings-systeem 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 hoogspanningsmasten.

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.

Deze rapportage betreft de kruising met de A58, het treinspoor en de N289. Dit document betreft de vergunningsrapportage voor Rijkswaterstaat en de provincie Zeeland met het ontwerp en berekeningen conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020, de Richtlijn Boortechnieken, de eisen van ProRail en de beleidsregels van Rijkswaterstaat

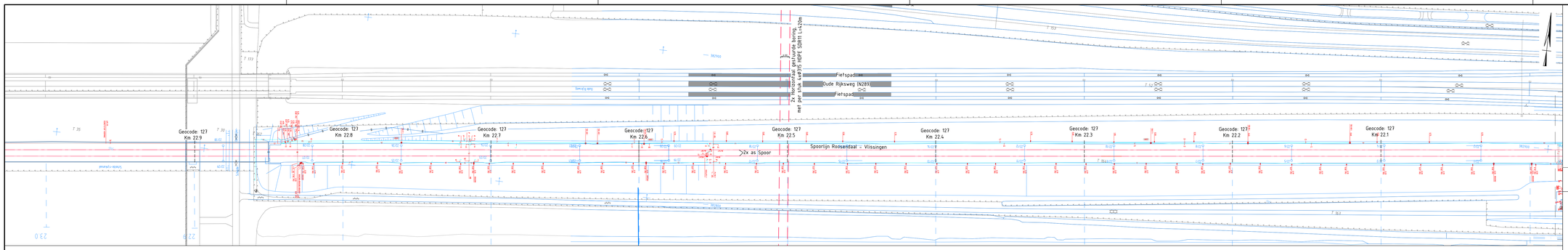
6.2 Uitkomsten ontwerp en berekening HDD

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

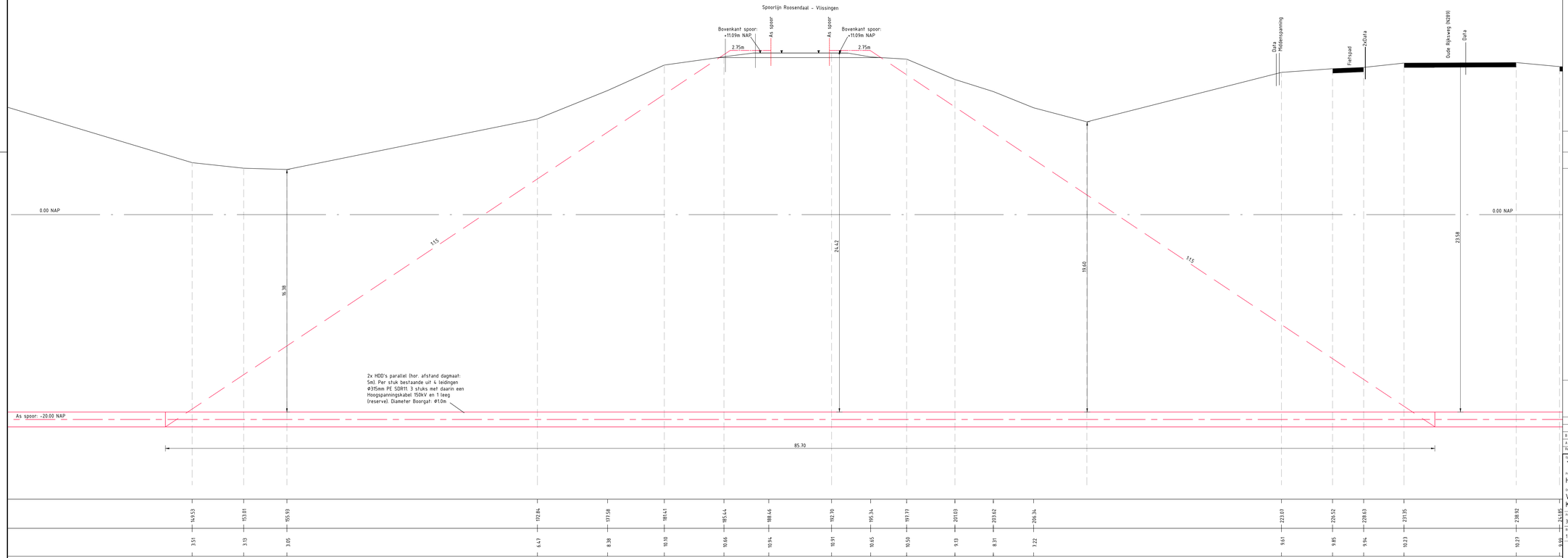
Het is noodzakelijk om kwelmaatregelen te nemen. Als kwelmaatregel stellen wij voor om aan beide zijden van de HDD's een grout-prop aan te brengen door middel van het nagrouten van de boorgang met mantelbuizen vanaf het maaiveld tot 2 à 3 m in het watervoerende pakket. De ruimte tussen de kabel en mantelbuis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

Uit de berekeningen blijkt dat de gekozen tracés van de twee parallelle HDD's met PE 100 4xØ315 mm SDR 11 voldoen aan de eisen.

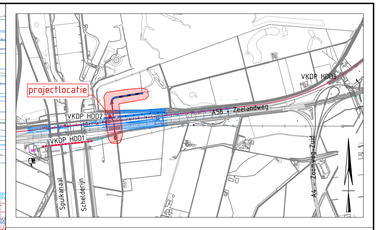
Bijlage 1 – Ontwerptekening



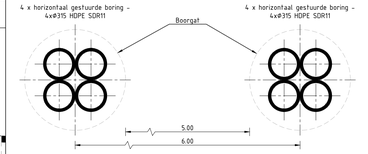
Bovenaanzicht HDD schaal 1:1000



Lengteprofiel schaal 1:100



Overzicht
Schaal 1:25000



Principe doorsnede
Schaal 1:20

Legenda

- Kadastrale grens
- Leiding gevaarlijke inhoud
- Datatransport
- Landelijk hoogspanningsnet
- Laagspanning
- Middenspanning
- Gasleiding hoge druk
- Gasleiding lage druk
- Waterleiding
- Drukriolering
- Riolering vrijverval
- Horizontaal gestuurde boring (HDD)
- Verharding (asfalt)
- Bestaande topo
- Bebouwing
- Primaire waterkering
- Ondergrond KS-bladen van ProRail versie d.d. 28-08-2022
- Leidingstrook LSNed
- Verharding/wegen
- 16 Locatie sondering met nummer

Vergunningstekening

Rev.	Omschrijving	Datum rev.	Get.	Sec.	Goedkj.
B	Toevoegen KO-blad	26-08-2022	BB	MJ	JD
A	T.b.v. vergunningsaanvraag	20-04-2022	BB	MJ	JD

Opdrachtgever
TenneT TSO B.V.

Project
HDD's 150 kV ZWO

Ondertekel
VKDP-HDD2, Rilland-Volkerdorp-Markiezaat
Kruising HDD met spoorlijn Roosendaal - Vlissingen; Geocode 127 - 22.5km

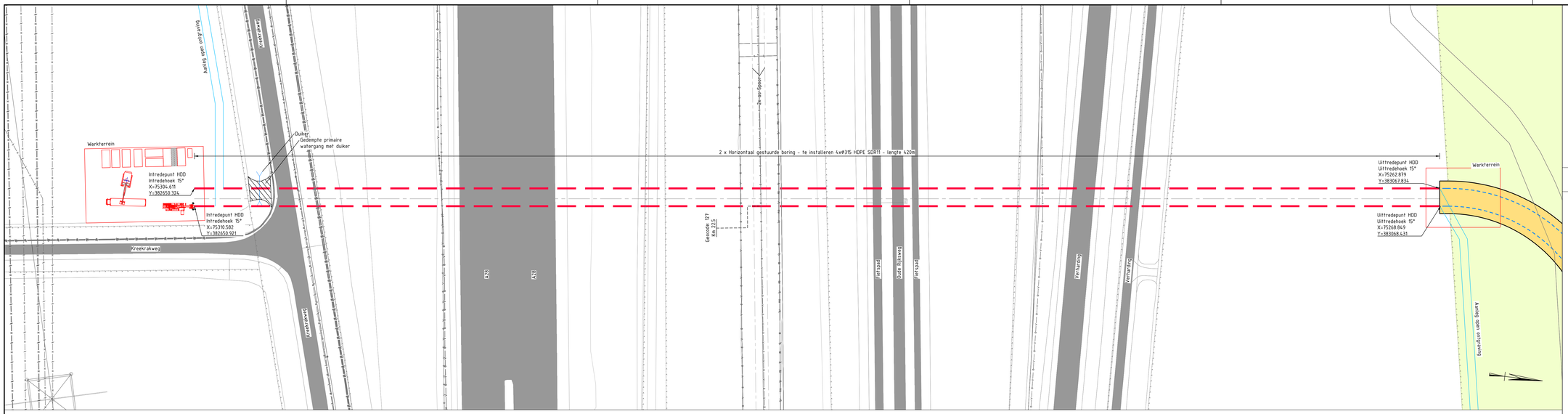
Projectnummer	Tekeningnummer	Versie	Datum van uitgave	Uitvoerfase	Contractnummer
368722	VKDP_HDD2-ProRail	B	20-04-2022	Definitief ontwerp	

Blad	Van	Schaal	Formaat	Kantoor	Get.	Sec.	Goedkj.
1	1	Zie tekening	A1L (1260x594)	de Bilt	BB	MJ	JD

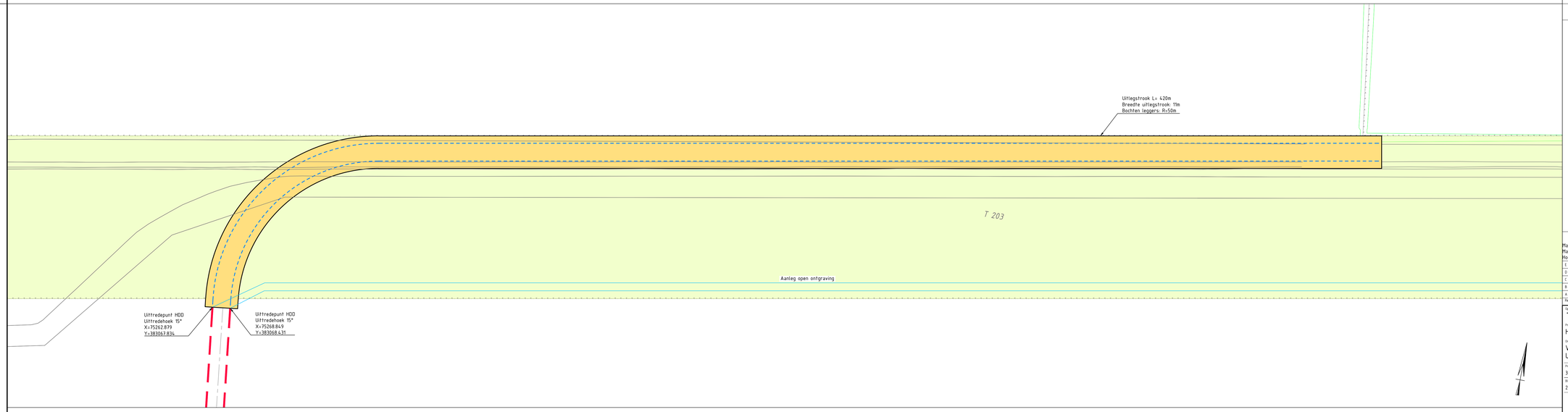
www.sweco.nl
© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden

SWECO

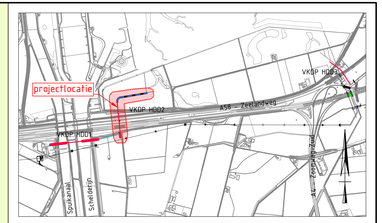
VKDP_HDD2_ProRail



Bovenaanzicht schaal 1:500



Bovenaanzicht uitlegstrook schaal 1:500



Overzicht
Schaal n.v.t.

Legenda

- Kadastrale grens
- Leiding gevaarlijke inhoud
- Datatransport
- Landelijk hoogspanningsnet
- Laagspanning
- Middenspanning
- Gasleiding hoge druk
- Gasleiding lage druk
- Waterleiding
- Drukriolering
- Riolering vrijverval
- Horizontaal gestuurde boring (HDD)
- Verharding (asfalt)
- Bestaande topo
- Bebouwing
- Primaire waterkering
- Uitlegstrook
- Leidingstrook LSNed
- Verharding/wegen
- 16 Locatie sondering met nummer

Maten in meters, tenzij anders aangegeven
Materialen in millimeters
Hoogtematen in meters t.o.v. N.A.P.

Definitief

E	T.b.v. vergunningsaanvraag	17-03-2022	JPR	MJ	JD
D	Definitief ontwerp	19-08-2020	BB	MJ	JD
C	Definitief gemaakt	03-07-2020	BB	MJ	JD
B	Variant 2	05-06-2020	BB	MJ	JD
A	Voorlopig ontwerp	07-05-2020	BB	MJ	JD
Rev.	Omschrijving	Datum rev.	Get.	Gec.	Goedkj.

Opdrachtgever
TenneT TSO B.V.

Project
HDD's 150 kV ZWO

Onderwerp
VKDP-HDD2, Rilland-Volckerdorp-Markiezaat
Uitlegstrook

Projectnummer	Tekeningnummer	Versie	Datum van uitgave	Ontwerpfase	Contractnummer
368722	VKDP-HDD2-U	E	17-03-2022	Definitief	

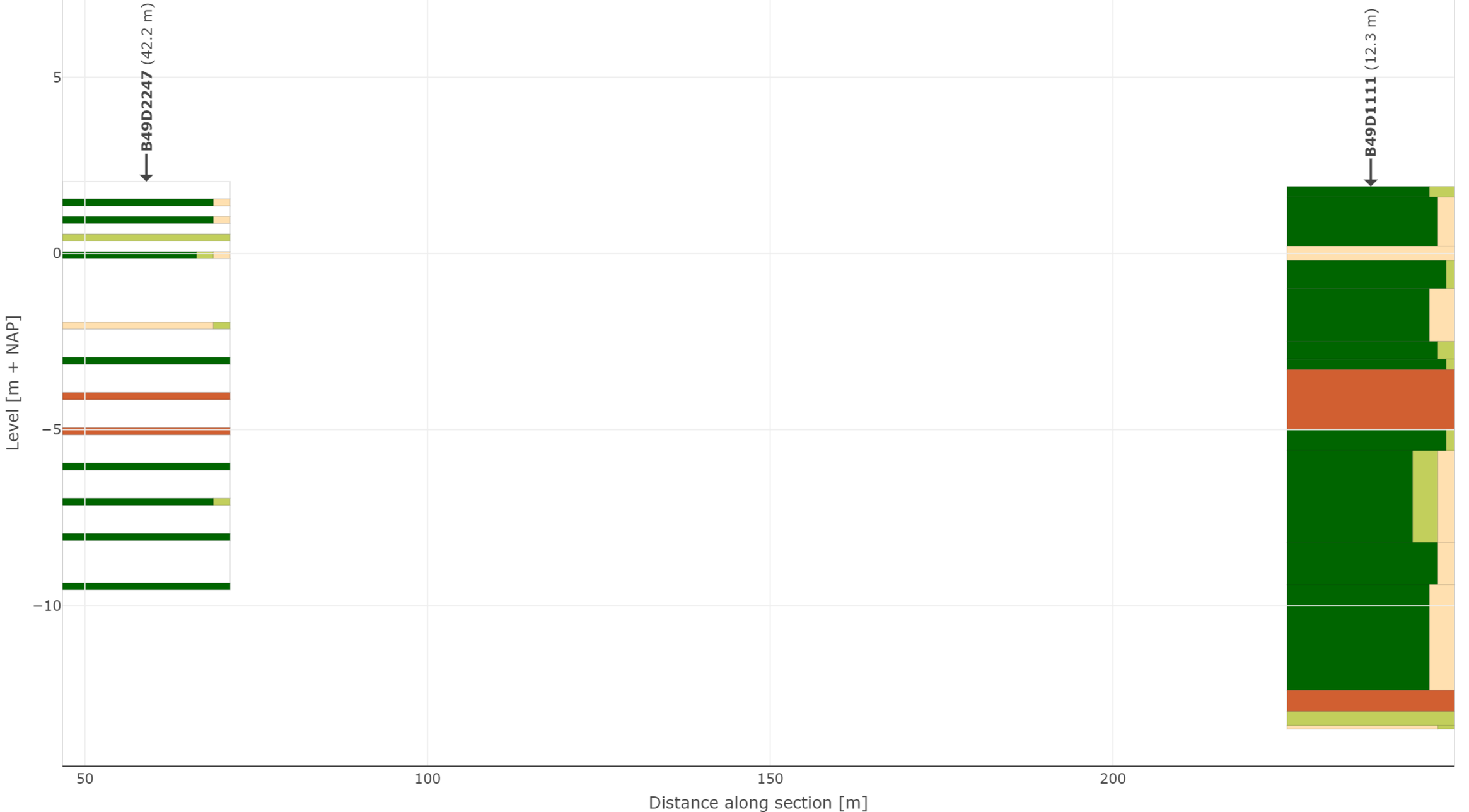
Blad	Van	Schaal	Formaat	Kantoor	Get.	Gec.	Goedkj.
2	2	1:500	A1 L (1260x594)	De Bilt	BB	MJ	JD

www.sweco.nl
© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden

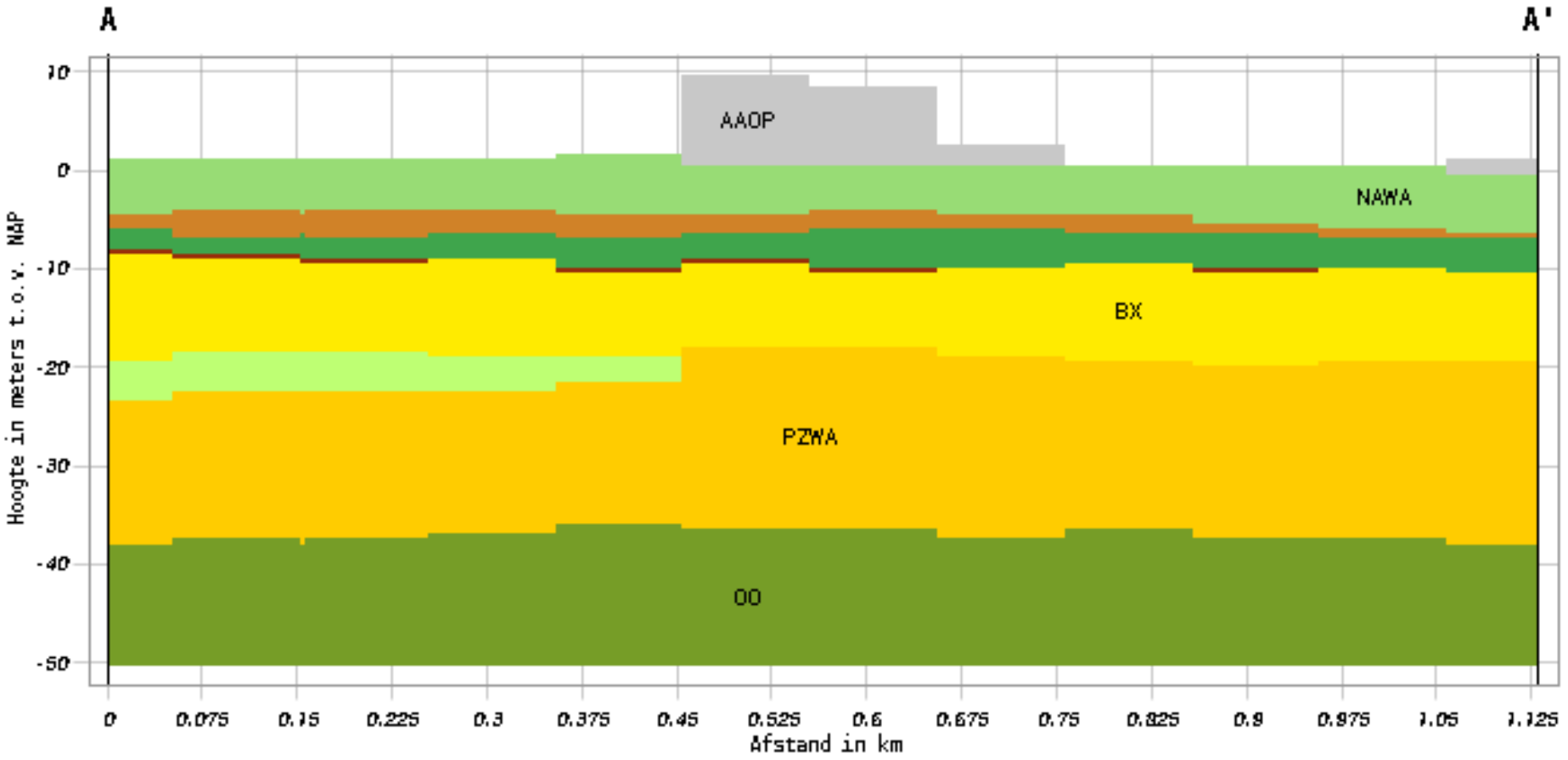
SWECO

VKDP-HDD2

Bijlage 2 – Geotechnisch onderzoek

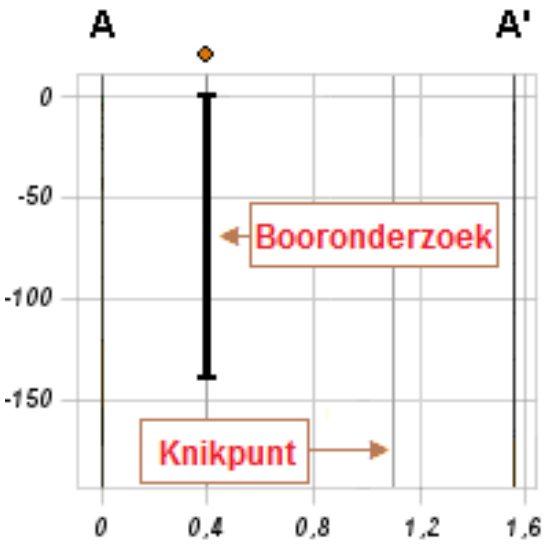

B49D2247 (42.2 m)
B49D1111 (12.3 m)
5
0
−5
−10
Level [m + NAP]
50
100
150
200
Distance along section [m]

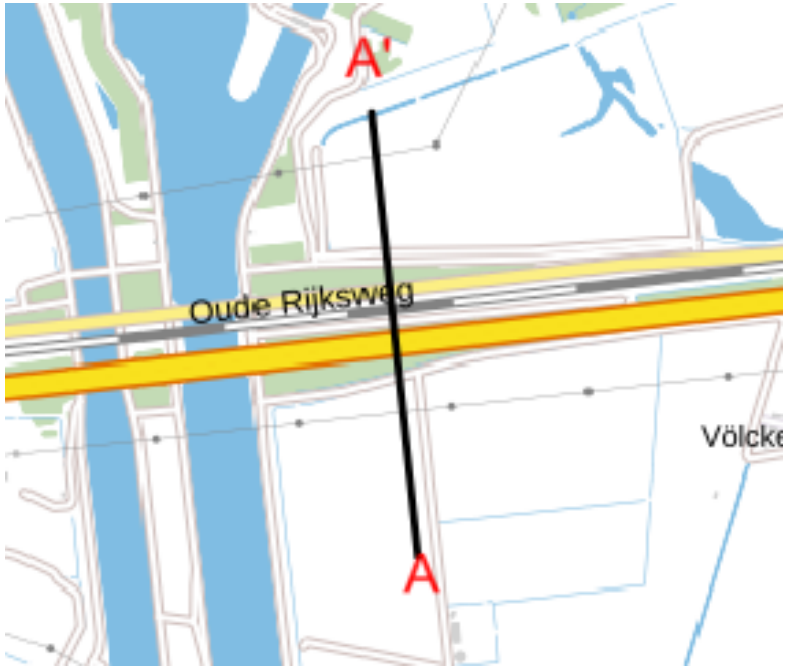
Verticale Doorsnede BRO GeoTOP v1.4



Geologische eenheid

- NWNZ
- AAOP
- NAWA
- NIHO
- NIBA
- BX
- EE
- PZWA
- OO





Find address or place

N659
N289
A58
Oude Rijksweg
Westelijke Scheldedijnweg
Oostelijke Scheldedijnweg
Kreekrakweg
Vierlingweg
Het Rak
Völckerdorp
Waling Koningweg
Westelijke Spuikanaalweg
Nieuwe Kreekrakweg
Sophiaweg

M303.S02
M303.S05
M303.S06
M303.S07
303B.S03
303B.S05
303C.S03
303C.S04
1105.S05
1105.S03
1106.S04
1106.S02
1N.S02
1N.S05
1N.S06
1N.S07
2N.S01
2N.S05
2N.S06
2N.S02
2N.S07
3N.S06
3N.S05
107.S02
107.S03
1108.S05
1108.S06
1108.S02
1108.S04
1108.S07
4N.S02

200m
75,208.139 382,436.893 Meters

Esri Nederland, Community Map Contributors

borehole not shown on sectionplot section

Bijlage 3 – Berekening D-Geo Pipeline

Report for D-Geo Pipeline 20.1

Model : Horizontal Directional Drilling
Developed by Deltares

Date of report:	21-3-2022
Time of report:	17:04:54
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 Pl-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 7
3.8.1 Geometry Section, Detailed 7
3.8.2 Geometry Top View 7
3.9 Calculation Verticals 8
3.10 Traffic Load 9
3.11 Configuration of the Pipeline 9
3.12 Product Pipe Material Data 10
3.13 Pipe Engineering Data 11
3.14 Drilling Fluid Data 11
3.15 Factors 11
3.16 Calculation Options 12
4 Drilling Fluid Pressures 13
4.1 Drilling Fluid Data 13
4.2 Equilibrium between Drilling Fluid Pressure and Pore Pressure 17
4.3 Drilling Fluid Pressure Plots 19
4.3.1 Drilling Fluid Pressures during Pilot 19
4.3.2 Drilling Fluid Pressures during Prereaming 19
4.3.3 Drilling Fluid Pressures during Reaming and Pullback Operation 20
5 Soil Mechanical Data 21
5.1 Soil Mechanical Parameters Pipe 1: pipe nr. 1 21
5.2 Soil Mechanical Parameters Pipe 2: pipe nr. 2 24
5.3 Soil Mechanical Parameters Pipe 3: pipe nr. 3 27
5.4 Soil Mechanical Parameters Pipe 4: pipe nr. 4 30
5.5 Young's Modulus per Layer per Vertical 33
6 Data for Stress Analysis 38
6.1 General Data 38
6.2 Buoyancy Control 38
6.3 Calculation Pulling Force 38
7 Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1 40
7.1 Material Data of Pipe 1: pipe nr. 1 40
7.2 Results Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1 40
7.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation 40
7.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation 41
7.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure 41
7.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure) 41
7.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure) 41
7.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 1: pipe nr. 1 42
7.4 Check for Implosion of Pipe 1: pipe nr. 1 42
8 Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2 43
8.1 Material Data of Pipe 2: pipe nr. 2 43
8.2 Results Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2 43
8.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation 43
8.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation 44
8.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure 44
8.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure) 44
8.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure) 44
8.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 2: pipe nr. 2 45
8.4 Check for Implosion of Pipe 2: pipe nr. 2 45
9 Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3 47
9.1 Material Data of Pipe 3: pipe nr. 3 47
9.2 Results Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3 47
9.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation 47
9.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation 48

9.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure 48
9.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure) 48
9.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure) 48
9.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 3: pipe nr. 3 49
9.4 Check for Implosion of Pipe 3: pipe nr. 3 49
10 Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4 50
10.1 Material Data of Pipe 4: pipe nr. 4 50
10.2 Results Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4 50
10.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation 50
10.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation 51
10.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure 51
10.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure) 51
10.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure) 51
10.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 4: pipe nr. 4 52
10.4 Check for Implosion of Pipe 4: pipe nr. 4 52

2 Messages

2.1 Calculation Warnings

One or more layers above the border between the top undrained and underlying drained layers have a Su-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	18,820	25,880	28,290	33,520
5 - Z -	2,020	1,890	2,120	2,240	2,190
5 - L -	38,070	41,890	49,420	58,400	81,830
5 - Z -	2,210	2,060	2,390	2,870	9,320
5 - L -	89,420	105,590	121,510	133,970	149,530
5 - Z -	9,770	10,150	10,010	8,180	3,510
5 - L -	153,010	155,930	172,840	177,580	181,410
5 - Z -	3,130	3,050	8,380	8,380	10,100
5 - L -	185,440	188,460	192,700	195,340	197,770
5 - Z -	10,660	10,940	10,910	10,650	10,500
5 - L -	201,030	203,620	206,340	223,070	226,520
5 - Z -	9,130	8,310	7,220	9,610	9,850
5 - L -	228,630	231,550	238,920	241,850	243,950
5 - Z -	9,940	10,230	10,270	9,990	9,900
5 - L -	247,310	261,400	277,870	295,710	303,050
5 - Z -	9,680	4,660	2,860	3,440	3,470
5 - L -	315,710	318,530	320,130	326,860	339,810
5 - Z -	1,210	1,190	0,940	1,190	1,160
5 - L -	354,230	372,550	386,160	402,190	419,590
5 - Z -	1,160	1,160	1,170	1,140	1,150
5 - L -	420,000				
5 - Z -	1,150				
4 - L -	0,000	420,000			
4 - Z -	-3,500	-3,500			
3 - L -	0,000	420,000			
3 - Z -	-6,000	-6,000			
2 - L -	0,000	420,000			
2 - Z -	-11,000	-11,000			
1 - L -	0,000	420,000			
1 - Z -	-13,000	-13,000			
0 - L -	0,000	420,000			
0 - Z -	-30,000	-30,000			

3.3 Pl-lines

Pl-line number	Co-ordinates [m]				
1 - L -	0,000	420,000			
1 - Z -	0,000	0,000			

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	Zand, schoon, los	1	1
4	Veen, slap	1	1
3	Klei, organisch, slap	1	1
2	Veen, slap	1	1
1	Zand, schoon, los	1	1

3.6 Selected Boundaries

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

3.7 Soil Material Data

Name	Gamma-unsat			Gamma-sat		
	Single [kN/m³]	Low [kN/m³]	High [kN/m³]	Single [kN/m³]	Low [kN/m³]	High [kN/m³]
Klei, organisch, slap	-	13,00	15,00	-	13,00	15,00
Zand, schoon, los	-	17,00	18,00	-	19,00	20,00
Veen, slap	-	10,00	12,00	-	10,00	12,00

Name	Cohesion			Phi		
	Single [kN/m²]	Low [kN/m²]	High [kN/m²]	Single [deg]	Low [deg]	High [deg]
Klei, organisch, slap	-	0,00	5,00	-	15,00	17,50
Zand, schoon, los	-	0,00	0,00	-	30,00	32,50
Veen, slap	-	1,00	2,50	-	15,00	15,00

Name	Su-top			Su-bottom		
	Single [kN/m²]	Low [kN/m²]	High [kN/m²]	Single [kN/m²]	Low [kN/m²]	High [kN/m²]
Klei, organisch, slap	-	10,00	50,00	-	10,00	50,00
Zand, schoon, los	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00
Veen, slap	-	10,00	20,00	-	10,00	20,00

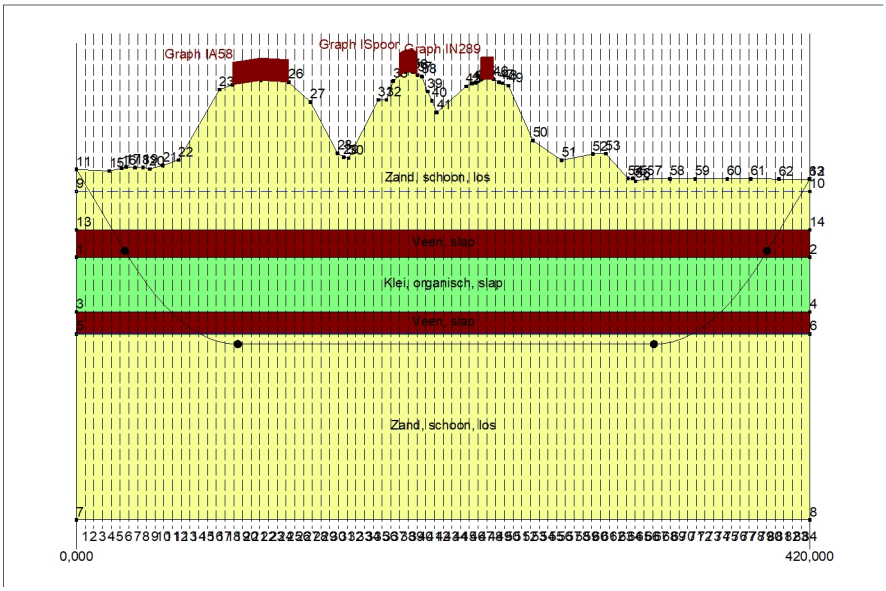
Name	Emod-top			Emod-bottom		
	Single [kN/m²]	Low [kN/m²]	High [kN/m²]	Single [kN/m²]	Low [kN/m²]	High [kN/m²]
Klei, organisch, slap	-	-	-	-	-	-
Zand, schoon, los	-	-	-	-	-	-
Veen, slap	-	-	-	-	-	-

Name	Soil type	Emod 100		
		Single [kN/m²]	Low [kN/m²]	High [kN/m²]
Klei, organisch, slap	Clay	-	2000,00	4000,00
Zand, schoon, los	Sand	-	45000,00	75000,00
Veen, slap	Peat	-	500,00	1000,00

Name	Adhesion A [kN/m²]	Delta D [deg]	Nu [-]
Klei, organisch, slap	-	-	0,20
Zand, schoon, los	-	-	0,30
Veen, slap	-	-	0,40

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	0,680
2	10,000	-0,659
3	15,000	-1,999
4	20,000	-3,339
5	25,000	-4,679
6	30,000	-6,008
7	35,000	-7,244
8	40,000	-8,372
9	45,000	-9,393
10	50,000	-10,309
11	55,000	-11,119
12	60,000	-11,827
13	65,000	-12,431
14	70,000	-12,934
15	75,000	-13,336
16	80,000	-13,637
17	85,000	-13,837
18	90,000	-13,937
19	95,000	-13,950
20	100,000	-13,950
21	105,000	-13,950
22	110,000	-13,950
23	115,000	-13,950
24	120,000	-13,950
25	125,000	-13,950
26	130,000	-13,950
27	135,000	-13,950
28	140,000	-13,950
29	145,000	-13,950
30	150,000	-13,950
31	155,000	-13,950
32	160,000	-13,950
33	165,000	-13,950
34	170,000	-13,950
35	175,000	-13,950
36	180,000	-13,950
37	185,000	-13,950
38	190,000	-13,950
39	195,000	-13,950
40	200,000	-13,950
41	205,000	-13,950
42	210,000	-13,950
43	215,000	-13,950
44	220,000	-13,950
45	225,000	-13,950
46	230,000	-13,950
47	235,000	-13,950
48	240,000	-13,950
49	245,000	-13,950
50	250,000	-13,950
51	255,000	-13,950
52	260,000	-13,950
53	265,000	-13,950
54	270,000	-13,950
55	275,000	-13,950
56	280,000	-13,950
57	285,000	-13,950
58	290,000	-13,950
59	295,000	-13,950
60	300,000	-13,950
61	305,000	-13,950
62	310,000	-13,950

Vertical no.	L-coord. [m]	Z-coord. [m]
63	315,000	-13,950
64	320,000	-13,950
65	325,000	-13,950
66	330,000	-13,950
67	335,000	-13,914
68	340,000	-13,778
69	345,000	-13,543
70	350,000	-13,206
71	355,000	-12,769
72	360,000	-12,231
73	365,000	-11,590
74	370,000	-10,847
75	375,000	-10,000
76	380,000	-9,047
77	385,000	-7,989
78	390,000	-6,823
79	395,000	-5,548
80	400,000	-4,209
81	405,000	-2,869
82	410,000	-1,529
83	415,000	-0,190
84	420,000	1,150

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

A58		
L start	89,42	[m]
L end	121,51	[m]
Load model (graph type)	Graph I	
Spoor		
L start	185,00	[m]
L end	195,00	[m]
Load model (graph type)	Graph I	
N289		
L start	231,50	[m]
L end	238,92	[m]
Load model (graph type)	Graph I	

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	2,020	[m]
X co-ordinate right point	420,000	[m]
Y co-ordinate right point	0,000	[m]
Z co-ordinate right point	1,150	[m]
Angle left	15,0000	[deg]
Angle right	15,0000	[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)	-13,950	[m]
Angle of pipe (between radii)	0,0000	[deg]
Number of horizontal bends	0	

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

3.12 Product Pipe Material Data

Input data pipe nr. 1		
Material	Polyethene	
Quality	PE100	
Young's modulus (short)	975,00	[N/mm²]
Young's modulus (long)	350,00	[N/mm²]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm²]
Allowable strength (long)	8,00	[N/mm²]
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/m³]
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/mm²]
Young's modulus (long)	350,00	[N/mm²]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm²]
Allowable strength (long)	8,00	[N/mm²]
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/m³]
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/mm²]
Young's modulus (long)	350,00	[N/mm²]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm²]
Allowable strength (long)	8,00	[N/mm²]
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/m³]
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/mm²]
Young's modulus (long)	350,00	[N/mm²]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm²]
Allowable strength (long)	8,00	[N/mm²]
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/m³]
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/m³]
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/m³]
Phi drilling fluid	15,00	[deg]
Cohesion drilling fluid	5,00	[kN/m²]
Factor of friction pipe-roller (f1)	0,10	[-]
Friction pipe-drilling fluid (f2)	0,000050	[N/mm²]
Factor of friction pipe-soil (f3)	0,20	[-]

3.14 Drilling Fluid Data

Outer diameter pilot hole	0,350	[m]
Outer diameter pilot pipe	0,127	[m]
Outer diameter preream hole	0,500	[m]
Outer diameter drillpipe	0,127	[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	500,0000	[liter/minute]
Pump flow rate ream and pull-back	500,0000	[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)	11,5	[kN/m³]
Yieldpoint drilling fluid (Tau)	0,014	[kN/m²]
Plastic viscosity drilling fluid (Mu)	0,000040	[kN.s/m²]

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/m³]
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/m²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	0	0	17	120
2	0	7	34	134
3	0	20	50	148
4	0	33	67	162
5	121	121	84	176
6	133	133	101	189
7	151	151	116	202
8	164	164	131	214
9	177	177	144	224
10	190	190	156	233
11	202	202	167	241
12	212	212	176	248
13	232	232	184	254
14	252	252	192	258
15	304	304	198	261
16	430	430	202	263
17	511	511	206	264
18	549	549	209	264
19	557	557	210	263
20	560	560	211	261
21	564	564	213	260
22	563	563	214	259
23	562	562	216	257
24	560	560	217	256
25	544	544	218	255
26	521	521	220	253
27	492	492	221	252
28	445	445	222	251
29	397	397	224	249
30	353	353	225	248
31	340	340	226	246
32	380	380	228	245
33	430	430	229	244
34	480	480	231	242
35	508	508	232	241
36	543	543	233	240
37	579	579	235	238
38	589	589	236	237
39	581	581	237	236
40	546	546	239	234
41	489	489	240	233
42	488	488	241	231
43	511	511	243	230
44	533	533	244	229
45	552	552	246	227
46	562	562	247	226
47	568	568	248	225
48	565	565	250	223
49	554	554	251	222
50	519	519	252	220
51	463	463	254	219
52	406	406	255	218
53	378	378	256	216
54	361	361	258	215
55	343	343	259	214
56	336	336	261	212
57	341	341	262	211

Vertical no.	Drilling fluid pressures pilot [kN/m²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
58	346	346	263	210
59	351	351	265	208
60	352	352	266	207
61	342	342	267	205
62	314	314	269	204
63	285	285	270	203
64	273	273	271	201
65	278	278	273	200
66	280	280	274	199
67	276	276	275	197
68	259	259	275	194
69	229	229	274	190
70	194	194	271	185
71	195	195	267	178
72	190	190	263	171
73	185	185	257	162
74	182	182	249	152
75	172	172	241	141
76	161	161	232	129
77	148	148	221	115
78	134	134	209	100
79	117	117	196	84
80	105	105	182	67
81	0	29	168	50
82	0	15	154	34
83	0	2	140	17
84	0	0	126	0

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	0	0	16	17
2	0	7	32	34
3	0	20	49	50
4	0	33	65	67
5	121	121	81	84
6	135	135	97	101
7	151	151	112	116
8	164	164	126	131
9	177	177	139	144
10	190	190	150	156
11	202	202	160	167
12	213	213	169	176
13	233	233	177	184
14	253	253	183	192
15	271	271	189	198
16	371	371	193	202
17	436	436	196	206
18	467	467	198	209
19	473	473	199	210
20	476	476	200	211
21	479	479	200	213
22	479	479	201	214
23	478	478	202	216
24	477	477	203	217
25	463	463	204	218
26	445	445	204	219
27	422	422	205	219
28	384	384	206	218
29	346	346	207	217
30	310	310	207	216
31	300	300	208	216
32	332	332	209	215
33	372	372	210	214

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
34	412	412	211	213
35	435	435	211	212
36	462	462	212	212
37	491	491	213	211
38	499	499	214	210
39	493	493	215	209
40	465	465	215	208
41	419	419	216	208
42	419	419	217	207
43	437	437	218	206
44	455	455	218	205
45	469	469	219	205
46	478	478	220	204
47	482	482	221	203
48	480	480	222	202
49	472	472	222	201
50	443	443	220	201
51	398	398	219	200
52	353	353	218	199
53	330	330	216	198
54	317	317	215	197
55	303	303	214	197
56	296	296	212	196
57	301	301	211	195
58	305	305	210	194
59	309	309	208	194
60	310	310	207	193
61	301	301	205	192
62	279	279	204	191
63	256	256	203	190
64	246	246	201	190
65	250	250	200	189
66	252	252	199	188
67	248	248	197	187
68	234	234	194	184
69	210	210	190	181
70	194	194	185	176
71	195	195	178	171
72	191	191	171	164
73	186	186	162	155
74	182	182	152	146
75	172	172	141	136
76	161	161	129	124
77	148	148	115	111
78	134	134	100	97
79	118	118	84	81
80	103	103	67	65
81	0	29	50	49
82	0	15	34	32
83	0	2	17	16
84	0	0	0	0

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	0	0	16	16
2	0	7	32	32
3	0	20	49	49
4	0	33	65	65
5	113	113	81	81
6	136	136	97	97
7	151	151	112	112
8	164	164	126	126
9	177	177	138	139

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
10	191	191	150	150
11	203	203	160	160
12	215	215	169	169
13	235	235	177	177
14	255	255	183	183
15	251	251	189	189
16	291	291	193	193
17	331	331	196	196
18	351	351	198	198
19	355	355	199	199
20	357	357	200	200
21	359	359	200	200
22	359	359	201	201
23	358	358	202	202
24	357	357	203	203
25	349	349	203	204
26	337	337	204	204
27	322	322	205	205
28	297	297	206	206
29	273	273	207	207
30	249	249	207	207
31	243	243	208	208
32	264	264	209	209
33	290	290	210	210
34	316	316	210	211
35	330	330	211	211
36	348	348	212	211
37	367	367	211	211
38	372	372	210	210
39	368	368	209	209
40	350	350	208	208
41	320	320	208	207
42	320	320	207	207
43	332	332	206	206
44	343	343	205	205
45	353	353	205	204
46	358	358	204	204
47	361	361	203	203
48	360	360	202	202
49	354	354	201	201
50	336	336	201	200
51	307	307	200	200
52	277	277	199	199
53	263	263	198	198
54	254	254	197	197
55	245	245	197	197
56	241	241	196	196
57	243	243	195	195
58	246	246	194	194
59	249	249	194	193
60	249	249	193	193
61	244	244	192	192
62	229	229	191	191
63	215	215	190	190
64	208	208	190	189
65	211	211	189	189
66	212	212	188	188
67	209	209	187	187
68	205	205	184	184
69	203	203	181	181
70	194	194	176	176
71	198	198	171	170
72	193	193	164	163
73	189	189	155	155

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
74	182	182	146	146
75	172	172	136	135
76	161	161	124	124
77	149	149	111	111
78	134	134	97	97
79	116	116	81	81
80	86	86	65	65
81	0	29	49	49
82	0	15	32	32
83	0	2	16	16
84	0	0	0	0

4.2 Equilibrium between Drilling Fluid Pressure and Pore Pressure

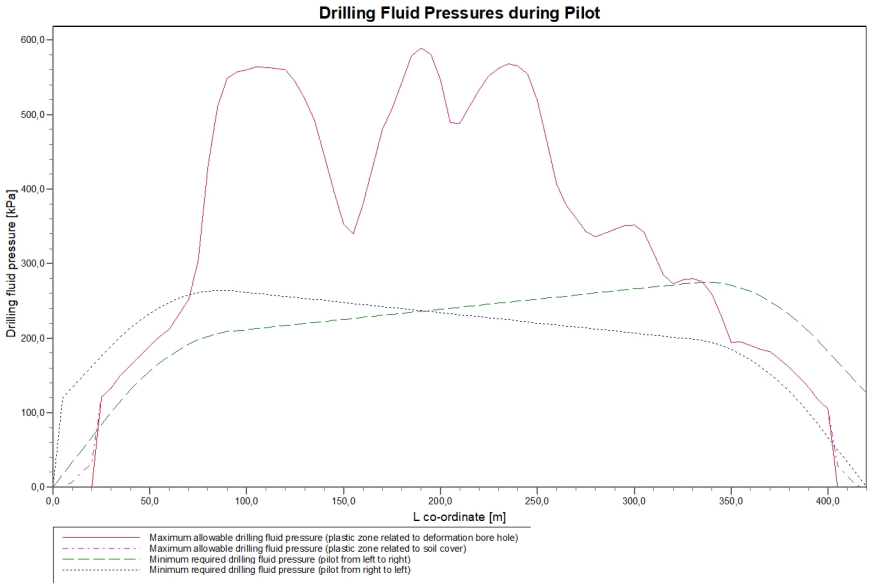
Vertical no.	Static column pressure			
	Drilling fluid [kN/m²]	Water [kN/m²]	Safety [-]	Result
1	15	0	-	sufficient
2	31	7	4,67	sufficient
3	46	20	2,31	sufficient
4	62	33	1,85	sufficient
5	77	47	1,65	sufficient
6	92	60	1,54	sufficient
7	106	72	1,47	sufficient
8	119	84	1,42	sufficient
9	131	94	1,39	sufficient
10	141	103	1,37	sufficient
11	150	111	1,35	sufficient
12	158	118	1,34	sufficient
13	165	124	1,33	sufficient
14	171	129	1,32	sufficient
15	175	133	1,31	sufficient
16	179	136	1,31	sufficient
17	181	138	1,31	sufficient
18	182	139	1,30	sufficient
19	182	140	1,30	sufficient
20	182	140	1,30	sufficient
21	182	140	1,30	sufficient
22	181	140	1,30	sufficient
23	181	140	1,30	sufficient
24	181	140	1,30	sufficient
25	181	140	1,30	sufficient
26	181	140	1,30	sufficient
27	181	140	1,30	sufficient
28	181	140	1,29	sufficient
29	180	140	1,29	sufficient
30	180	140	1,29	sufficient
31	180	140	1,29	sufficient
32	180	140	1,29	sufficient
33	180	140	1,29	sufficient
34	180	140	1,29	sufficient
35	180	140	1,29	sufficient
36	180	140	1,29	sufficient
37	179	140	1,29	sufficient
38	179	140	1,28	sufficient
39	179	140	1,28	sufficient
40	179	140	1,28	sufficient
41	179	140	1,28	sufficient
42	179	140	1,28	sufficient
43	179	140	1,28	sufficient
44	178	140	1,28	sufficient
45	178	140	1,28	sufficient
46	178	140	1,28	sufficient
47	178	140	1,28	sufficient

Vertical no.	Static column pressure			
	Drilling fluid [kN/m²]	Water [kN/m²]	Safety [-]	Result
48	178	140	1,28	sufficient
49	178	140	1,27	sufficient
50	178	140	1,27	sufficient
51	177	140	1,27	sufficient
52	177	140	1,27	sufficient
53	177	140	1,27	sufficient
54	177	140	1,27	sufficient
55	177	140	1,27	sufficient
56	177	140	1,27	sufficient
57	177	140	1,27	sufficient
58	177	140	1,27	sufficient
59	176	140	1,26	sufficient
60	176	140	1,26	sufficient
61	176	140	1,26	sufficient
62	176	140	1,26	sufficient
63	176	140	1,26	sufficient
64	176	140	1,26	sufficient
65	176	140	1,26	sufficient
66	175	140	1,26	sufficient
67	175	139	1,26	sufficient
68	173	138	1,26	sufficient
69	170	135	1,26	sufficient
70	166	132	1,26	sufficient
71	161	128	1,26	sufficient
72	155	122	1,27	sufficient
73	147	116	1,27	sufficient
74	139	108	1,28	sufficient
75	129	100	1,29	sufficient
76	118	90	1,30	sufficient
77	105	80	1,32	sufficient
78	92	68	1,35	sufficient
79	77	55	1,39	sufficient
80	62	42	1,46	sufficient
81	46	29	1,61	sufficient
82	31	15	2,01	sufficient
83	15	2	8,12	sufficient
84	0	0	-	sufficient

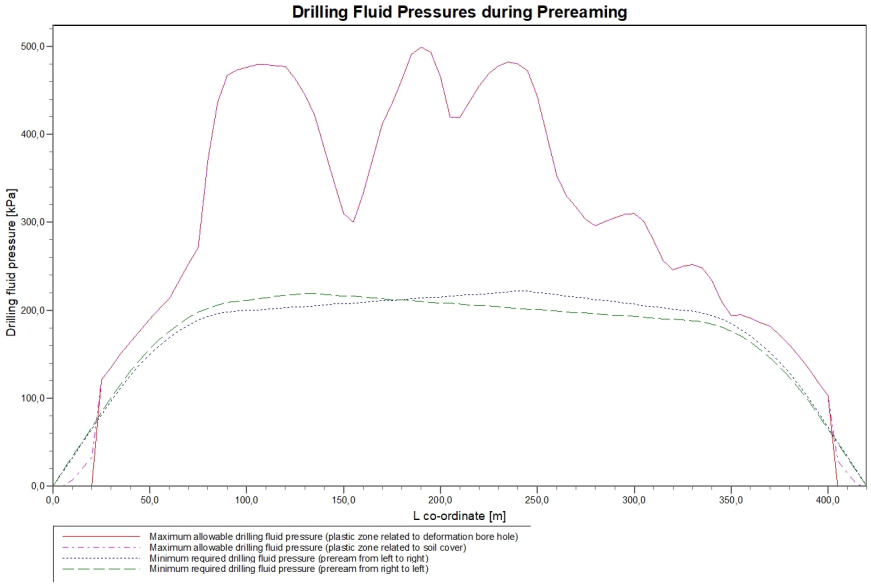
The static drilling fluid pressure is calculated and can be compared with the calculated groundwater pressure. The quotient of the drilling fluid pressure and the groundwater pressure yields the safey factor, which should be higher than the requested factor of safety of 1,10.

4.3 Drilling Fluid Pressure Plots

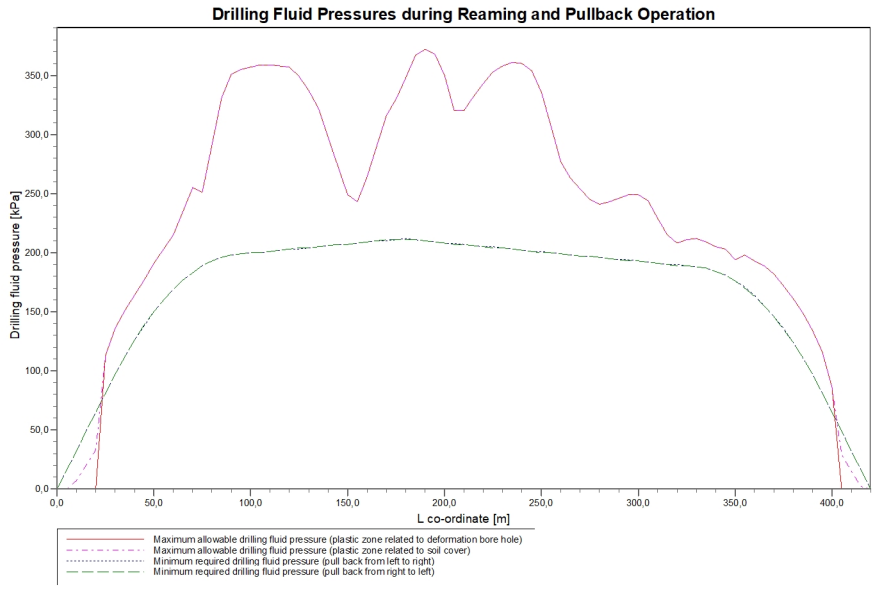
4.3.1 Drilling Fluid Pressures during Pilot



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/m²
q_v;n	Neutral soil stress	kN/m²
q_h;n	Neutral horizontal soil stress	kN/m²
q_v,r;n	Reduced neutral soil stress	kN/m²
q_traffic	Traffic load	kN/m²
q_v;e	Vertical bearing capacity	kN/m²
q_h;e	Horizontal bearing capacity	kN/m²
k_v;bot	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m³
k_v;top	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m³
k_h	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m³
t_max	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m²
d_max	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
1	44	21	16	21	0	767
2	135	40	30	40	0	1421
3	243	53	39	53	0	1874
4	392	67	35	48	0	420
5	154	75	37	50	0	459
6	259	80	38	51	0	677
7	275	85	38	52	0	716
8	288	90	38	51	0	749
9	305	96	38	52	0	795
10	329	104	39	53	0	857
11	225	113	40	54	0	677
12	249	126	42	56	0	748
13	296	152	46	62	0	894
14	343	178	50	67	0	6262
15	2030	205	54	73	0	7220
16	2258	233	59	79	0	8195
17	2374	247	61	82	0	8703
18	2422	253	62	83	2	8913
19	2440	255	62	84	2	8991
20	2457	258	63	84	2	9066
21	2474	260	63	85	2	9140
22	2470	259	63	85	2	9124
23	2464	258	63	85	2	9096
24	2457	258	63	85	2	9069
25	2382	248	61	82	0	8736
26	2276	235	59	79	0	8272
27	2145	219	56	75	0	7708
28	1922	192	51	69	0	6760
29	1692	165	46	62	0	5812
30	1471	140	40	54	0	4920
31	1409	133	39	52	0	4678
32	1609	155	44	59	0	5472
33	1852	184	49	67	0	6468
34	2088	212	55	74	0	7464
35	2220	228	57	78	0	8030
36	2378	248	61	82	0	8717
37	2539	268	64	87	2	9432
38	2586	274	65	88	2	9641
39	2551	270	65	87	2	9486
40	2391	249	61	83	0	8777
41	2129	217	55	75	0	7636
42	2126	217	55	75	0	7627
43	2231	229	58	78	0	8079

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
44	2335	242	60	81	0	8530
45	2418	253	62	83	0	8892
46	2465	259	63	85	0	9102
47	2490	262	63	85	2	9211
48	2478	260	63	85	0	9159
49	2430	254	62	84	0	8947
50	2270	234	59	79	0	8246
51	2007	202	53	71	0	7120
52	1737	170	47	63	0	5994
53	1598	154	43	59	0	5431
54	1512	144	41	56	0	5085
55	1425	134	39	53	0	4740
56	1386	130	38	52	0	4586
57	1412	133	39	52	0	4689
58	1438	136	40	53	0	4791
59	1464	139	40	54	0	4894
60	1470	140	40	54	0	4920
61	1417	133	39	53	0	4708
62	1271	117	35	48	0	4144
63	1123	101	31	42	0	3580
64	1059	95	29	40	0	3343
65	1086	97	30	41	0	3444
66	1097	99	30	41	0	3483
67	1091	98	30	41	0	3463
68	1076	96	30	41	0	3409
69	1054	94	30	41	0	3326
70	1021	91	30	41	0	3208
71	181	89	31	41	0	2545
72	179	88	31	42	0	536
73	176	87	32	43	0	529
74	273	84	32	44	0	516
75	262	80	33	44	0	682
76	249	76	32	44	0	647
77	234	70	32	43	0	609
78	217	64	31	42	0	565
79	125	60	31	41	0	404
80	120	57	30	41	0	358
81	224	48	36	48	0	1693
82	117	35	26	35	0	1222
83	45	21	16	21	0	747
84	0	0	0	0	0	58

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
1	252	54511	2883	38158	0,05	7,5
2	310	119911	83835	83938	0,05	7,5
3	489	114335	111654	80035	0,05	7,5
4	670	1544	129412	1081	0,05	7,5
5	154	2465	48868	1725	0,05	7,5
6	259	5761	1399	4033	0,05	7,5
7	275	6094	4344	4266	0,05	7,5
8	288	6356	5806	4450	0,05	7,5
9	305	6316	6169	4421	0,05	7,5
10	329	3684	6667	2579	0,05	7,5
11	225	1954	7174	1368	0,05	7,5
12	249	70063	5497	49044	0,05	7,5
13	296	165445	3829	115811	0,05	7,5
14	343	246379	2807	172465	0,05	7,5
15	2030	266773	28906	186741	0,05	7,5
16	2258	285338	81973	199737	0,05	7,5
17	2374	294625	120817	206238	0,05	7,5
18	2422	298390	140825	208873	0,05	7,5
19	2440	299795	143860	209857	0,05	7,5
20	2457	301116	144536	210781	0,05	7,5
21	2474	302432	145209	211703	0,05	7,5

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
22	2470	302154	145066	211508	0,05	7,5
23	2464	301661	144814	211163	0,05	7,5
24	2457	301168	144562	210818	0,05	7,5
25	2382	295221	141520	206655	0,05	7,5
26	2276	286752	137184	200727	0,05	7,5
27	2145	276187	131767	193331	0,05	7,5
28	1922	257647	122240	180353	0,05	7,5
29	1692	237975	112092	166583	0,05	7,5
30	1471	218212	101844	152749	0,05	7,5
31	1409	212593	98919	148815	0,05	7,5
32	1609	230617	108284	161432	0,05	7,5
33	1852	251730	119193	176211	0,05	7,5
34	2088	271514	129369	190060	0,05	7,5
35	2220	282254	134879	197578	0,05	7,5
36	2378	294872	141341	206410	0,05	7,5
37	2539	307573	147836	215301	0,05	7,5
38	2586	311200	149689	217840	0,05	7,5
39	2551	308505	148313	215954	0,05	7,5
40	2391	295966	141901	207176	0,05	7,5
41	2129	274815	131063	192370	0,05	7,5
42	2126	274644	130976	192251	0,05	7,5
43	2231	283165	135346	198215	0,05	7,5
44	2335	291486	139608	204040	0,05	7,5
45	2418	298024	142954	208617	0,05	7,5
46	2465	301760	144865	211232	0,05	7,5
47	2490	303690	145851	212583	0,05	7,5
48	2478	302775	145384	211943	0,05	7,5
49	2430	299007	143457	209305	0,05	7,5
50	2270	286268	136936	200388	0,05	7,5
51	2007	264811	125925	185367	0,05	7,5
52	1737	241866	114103	169306	0,05	7,5
53	1598	229695	107806	160787	0,05	7,5
54	1512	221980	103803	155386	0,05	7,5
55	1425	214044	99675	149831	0,05	7,5
56	1386	210417	97784	147292	0,05	7,5
57	1412	212835	99045	148984	0,05	7,5
58	1438	215231	100293	150662	0,05	7,5
59	1464	217606	101529	152324	0,05	7,5
60	1470	218196	101836	152737	0,05	7,5
61	1417	213280	99277	149296	0,05	7,5
62	1271	199742	92202	139819	0,05	7,5
63	1123	185422	84670	129796	0,05	7,5
64	1059	179110	81330	125377	0,05	7,5
65	1086	181825	82768	127277	0,05	7,5
66	1097	182861	83316	128003	0,05	7,5
67	1091	182328	79195	127630	0,05	7,5
68	1076	180876	64302	126613	0,05	7,5
69	1054	178656	39158	125059	0,05	7,5
70	1021	175451	5791	122816	0,05	7,5
71	181	163462	1541	114424	0,05	7,5
72	179	102131	2922	71492	0,05	7,5
73	176	32695	4551	22887	0,05	7,5
74	273	1540	5502	1078	0,05	7,5
75	262	3807	5252	2665	0,05	7,5
76	249	5534	4972	3874	0,05	7,5
77	234	5224	4656	3657	0,05	7,5
78	217	4868	2557	3408	0,05	7,5
79	125	3901	1084	2731	0,05	7,5
80	120	1099	76724	769	0,05	7,5
81	450	35737	104152	25016	0,05	7,5
82	271	112081	80834	78457	0,05	7,5
83	244	49922	3027	34945	0,05	7,5
84	0	0	0	0	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q_v;n;max = 274 kN/m²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q_traffic;max = 90 kN/m²
Maximum reduced soil stress	:	q_v;r;n;max = 88 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k_v;max = 311200 kN/m³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k_v;max = 622399 kN/m³

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/m²
q_v;n	Neutral soil stress	kN/m²
q_h;n	Neutral horizontal soil stress	kN/m²
q_v,r;n	Reduced neutral soil stress	kN/m²
q_traffic	Traffic load	kN/m²
q_v;e	Vertical bearing capacity	kN/m²
q_h;e	Horizontal bearing capacity	kN/m²
k_v;bot	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m³
k_v;top	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m³
k_h	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m³
t_max	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m²
d_max	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
1	44	21	16	21	0	767
2	135	40	30	40	0	1421
3	243	53	39	53	0	1874
4	392	67	35	48	0	420
5	154	75	37	50	0	459
6	259	80	38	51	0	677
7	275	85	38	52	0	716
8	288	90	38	51	0	749
9	305	96	38	52	0	795
10	329	104	39	53	0	857
11	225	113	40	54	0	677
12	249	126	42	56	0	748
13	296	152	46	62	0	894
14	343	178	50	67	0	6262
15	2030	205	54	73	0	7220
16	2258	233	59	79	0	8195
17	2374	247	61	82	0	8703
18	2422	253	62	83	2	8913
19	2440	255	62	84	2	8991
20	2457	258	63	84	2	9066
21	2474	260	63	85	2	9140
22	2470	259	63	85	2	9124
23	2464	258	63	85	2	9096
24	2457	258	63	85	2	9069
25	2382	248	61	82	0	8736
26	2276	235	59	79	0	8272
27	2145	219	56	75	0	7708
28	1922	192	51	69	0	6760
29	1692	165	46	62	0	5812
30	1471	140	40	54	0	4920
31	1409	133	39	52	0	4678
32	1609	155	44	59	0	5472
33	1852	184	49	67	0	6468
34	2088	212	55	74	0	7464
35	2220	228	57	78	0	8030
36	2378	248	61	82	0	8717
37	2539	268	64	87	2	9432

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
38	2586	274	65	88	2	9641
39	2551	270	65	87	2	9486
40	2391	249	61	83	0	8777
41	2129	217	55	75	0	7636
42	2126	217	55	75	0	7627
43	2231	229	58	78	0	8079
44	2335	242	60	81	0	8530
45	2418	253	62	83	0	8892
46	2465	259	63	85	0	9102
47	2490	262	63	85	2	9211
48	2478	260	63	85	0	9159
49	2430	254	62	84	0	8947
50	2270	234	59	79	0	8246
51	2007	202	53	71	0	7120
52	1737	170	47	63	0	5994
53	1598	154	43	59	0	5431
54	1512	144	41	56	0	5085
55	1425	134	39	53	0	4740
56	1386	130	38	52	0	4586
57	1412	133	39	52	0	4689
58	1438	136	40	53	0	4791
59	1464	139	40	54	0	4894
60	1470	140	40	54	0	4920
61	1417	133	39	53	0	4708
62	1271	117	35	48	0	4144
63	1123	101	31	42	0	3580
64	1059	95	29	40	0	3343
65	1086	97	30	41	0	3444
66	1097	99	30	41	0	3483
67	1091	98	30	41	0	3463
68	1076	96	30	41	0	3409
69	1054	94	30	41	0	3326
70	1021	91	30	41	0	3208
71	181	89	31	41	0	2545
72	179	88	31	42	0	536
73	176	87	32	43	0	529
74	273	84	32	44	0	516
75	262	80	33	44	0	682
76	249	76	32	44	0	647
77	234	70	32	43	0	609
78	217	64	31	42	0	565
79	125	60	31	41	0	404
80	120	57	30	41	0	358
81	224	48	36	48	0	1693
82	117	35	26	35	0	1222
83	45	21	16	21	0	747
84	0	0	0	0	0	58

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
1	252	54511	2883	38158	0,05	7,5
2	310	119911	83835	83938	0,05	7,5
3	489	114335	111654	80035	0,05	7,5
4	670	1544	129412	1081	0,05	7,5
5	154	2465	48868	1725	0,05	7,5
6	259	5761	1399	4033	0,05	7,5
7	275	6094	4344	4266	0,05	7,5
8	288	6356	5806	4450	0,05	7,5
9	305	6316	6169	4421	0,05	7,5
10	329	3684	6667	2579	0,05	7,5
11	225	1954	7174	1368	0,05	7,5
12	249	70063	5497	49044	0,05	7,5
13	296	165445	3829	115811	0,05	7,5
14	343	246379	2807	172465	0,05	7,5
15	2030	266773	28906	186741	0,05	7,5

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
16	2258	285338	81973	199737	0,05	7,5
17	2374	294625	120817	206238	0,05	7,5
18	2422	298390	140825	208873	0,05	7,5
19	2440	299795	143860	209857	0,05	7,5
20	2457	301116	144536	210781	0,05	7,5
21	2474	302432	145209	211703	0,05	7,5
22	2470	302154	145066	211508	0,05	7,5
23	2464	301661	144814	211163	0,05	7,5
24	2457	301168	144562	210818	0,05	7,5
25	2382	295221	141520	206655	0,05	7,5
26	2276	286752	137184	200727	0,05	7,5
27	2145	276187	131767	193331	0,05	7,5
28	1922	257647	122240	180353	0,05	7,5
29	1692	237975	112092	166583	0,05	7,5
30	1471	218212	101844	152749	0,05	7,5
31	1409	212593	98919	148815	0,05	7,5
32	1609	230617	108284	161432	0,05	7,5
33	1852	251730	119193	176211	0,05	7,5
34	2088	271514	129369	190060	0,05	7,5
35	2220	282254	134879	197578	0,05	7,5
36	2378	294872	141341	206410	0,05	7,5
37	2539	307573	147836	215301	0,05	7,5
38	2586	311200	149689	217840	0,05	7,5
39	2551	308505	148313	215954	0,05	7,5
40	2391	295966	141901	207176	0,05	7,5
41	2129	274815	131063	192370	0,05	7,5
42	2126	274644	130976	192251	0,05	7,5
43	2231	283165	135346	198215	0,05	7,5
44	2335	291486	139608	204040	0,05	7,5
45	2418	298024	142954	208617	0,05	7,5
46	2465	301760	144865	211232	0,05	7,5
47	2490	303690	145851	212583	0,05	7,5
48	2478	302775	145384	211943	0,05	7,5
49	2430	299007	143457	209305	0,05	7,5
50	2270	286268	136936	200388	0,05	7,5
51	2007	264811	125925	185367	0,05	7,5
52	1737	241866	114103	169306	0,05	7,5
53	1598	229695	107806	160787	0,05	7,5
54	1512	221980	103803	155386	0,05	7,5
55	1425	214044	99675	149831	0,05	7,5
56	1386	210417	97784	147292	0,05	7,5
57	1412	212835	99045	148984	0,05	7,5
58	1438	215231	100293	150662	0,05	7,5
59	1464	217606	101529	152324	0,05	7,5
60	1470	218196	101836	152737	0,05	7,5
61	1417	213280	99277	149296	0,05	7,5
62	1271	199742	92202	139819	0,05	7,5
63	1123	185422	84670	129796	0,05	7,5
64	1059	179110	81330	125377	0,05	7,5
65	1086	181825	82768	127277	0,05	7,5
66	1097	182861	83316	128003	0,05	7,5
67	1091	182328	79195	127630	0,05	7,5
68	1076	180876	64302	126613	0,05	7,5
69	1054	178656	39158	125059	0,05	7,5
70	1021	175451	5791	122816	0,05	7,5
71	181	163462	1541	114424	0,05	7,5
72	179	102131	2922	71492	0,05	7,5
73	176	32695	4551	22887	0,05	7,5
74	273	1540	5502	1078	0,05	7,5
75	262	3807	5252	2665	0,05	7,5
76	249	5534	4972	3874	0,05	7,5
77	234	5224	4656	3657	0,05	7,5
78	217	4868	2557	3408	0,05	7,5
79	125	3901	1084	2731	0,05	7,5
80	120	1099	76724	769	0,05	7,5

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
81	450	35737	104152	25016	0,05	7,5
82	271	112081	80834	78457	0,05	7,5
83	244	49922	3027	34945	0,05	7,5
84	0	0	0	0	0,05	7,5

Maximum soil stress : q_v;n;max = 274 kN/m²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads) : q_traffic;max = 90 kN/m²
Maximum reduced soil stress : q_v;r;n;max = 88 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)
only for verticals in deep situation : k_v;max = 311200 kN/m³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor)
only for verticals in deep situation : k_v;max = 622399 kN/m³

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/m²
q_v;n	Neutral soil stress	kN/m²
q_h;n	Neutral horizontal soil stress	kN/m²
q_v,r;n	Reduced neutral soil stress	kN/m²
q_traffic	Traffic load	kN/m²
q_v;e	Vertical bearing capacity	kN/m²
q_h;e	Horizontal bearing capacity	kN/m²
k_v;bot	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m³
k_v;top	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m³
k_h	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m³
t_max	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m²
d_max	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
1	44	21	16	21	0	767
2	135	40	30	40	0	1421
3	243	53	39	53	0	1874
4	392	67	35	48	0	420
5	154	75	37	50	0	459
6	259	80	38	51	0	677
7	275	85	38	52	0	716
8	288	90	38	51	0	749
9	305	96	38	52	0	795
10	329	104	39	53	0	857
11	225	113	40	54	0	677
12	249	126	42	56	0	748
13	296	152	46	62	0	894
14	343	178	50	67	0	6262
15	2030	205	54	73	0	7220
16	2258	233	59	79	0	8195
17	2374	247	61	82	0	8703
18	2422	253	62	83	2	8913
19	2440	255	62	84	2	8991
20	2457	258	63	84	2	9066
21	2474	260	63	85	2	9140
22	2470	259	63	85	2	9124
23	2464	258	63	85	2	9096
24	2457	258	63	85	2	9069
25	2382	248	61	82	0	8736
26	2276	235	59	79	0	8272
27	2145	219	56	75	0	7708
28	1922	192	51	69	0	6760
29	1692	165	46	62	0	5812
30	1471	140	40	54	0	4920
31	1409	133	39	52	0	4678

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
32	1609	155	44	59	0	5472
33	1852	184	49	67	0	6468
34	2088	212	55	74	0	7464
35	2220	228	57	78	0	8030
36	2378	248	61	82	0	8717
37	2539	268	64	87	2	9432
38	2586	274	65	88	2	9641
39	2551	270	65	87	2	9486
40	2391	249	61	83	0	8777
41	2129	217	55	75	0	7636
42	2126	217	55	75	0	7627
43	2231	229	58	78	0	8079
44	2335	242	60	81	0	8530
45	2418	253	62	83	0	8892
46	2465	259	63	85	0	9102
47	2490	262	63	85	2	9211
48	2478	260	63	85	0	9159
49	2430	254	62	84	0	8947
50	2270	234	59	79	0	8246
51	2007	202	53	71	0	7120
52	1737	170	47	63	0	5994
53	1598	154	43	59	0	5431
54	1512	144	41	56	0	5085
55	1425	134	39	53	0	4740
56	1386	130	38	52	0	4586
57	1412	133	39	52	0	4689
58	1438	136	40	53	0	4791
59	1464	139	40	54	0	4894
60	1470	140	40	54	0	4920
61	1417	133	39	53	0	4708
62	1271	117	35	48	0	4144
63	1123	101	31	42	0	3580
64	1059	95	29	40	0	3343
65	1086	97	30	41	0	3444
66	1097	99	30	41	0	3483
67	1091	98	30	41	0	3463
68	1076	96	30	41	0	3409
69	1054	94	30	41	0	3326
70	1021	91	30	41	0	3208
71	181	89	31	41	0	2545
72	179	88	31	42	0	536
73	176	87	32	43	0	529
74	273	84	32	44	0	516
75	262	80	33	44	0	682
76	249	76	32	44	0	647
77	234	70	32	43	0	609
78	217	64	31	42	0	565
79	125	60	31	41	0	404
80	120	57	30	41	0	358
81	224	48	36	48	0	1693
82	117	35	26	35	0	1222
83	45	21	16	21	0	747
84	0	0	0	0	0	58

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
1	252	54511	2883	38158	0,05	7,5
2	310	119911	83835	83938	0,05	7,5
3	489	114335	111654	80035	0,05	7,5
4	670	1544	129412	1081	0,05	7,5
5	154	2465	48868	1725	0,05	7,5
6	259	5761	1399	4033	0,05	7,5
7	275	6094	4344	4266	0,05	7,5
8	288	6356	5806	4450	0,05	7,5
9	305	6316	6169	4421	0,05	7,5

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
10	329	3684	6667	2579	0,05	7,5
11	225	1954	7174	1368	0,05	7,5
12	249	70063	5497	49044	0,05	7,5
13	296	165445	3829	115811	0,05	7,5
14	343	246379	2807	172465	0,05	7,5
15	2030	266773	28906	186741	0,05	7,5
16	2258	285338	81973	199737	0,05	7,5
17	2374	294625	120817	206238	0,05	7,5
18	2422	298390	140825	208873	0,05	7,5
19	2440	299795	143860	209857	0,05	7,5
20	2457	301116	144536	210781	0,05	7,5
21	2474	302432	145209	211703	0,05	7,5
22	2470	302154	145066	211508	0,05	7,5
23	2464	301661	144814	211163	0,05	7,5
24	2457	301168	144562	210818	0,05	7,5
25	2382	295221	141520	206655	0,05	7,5
26	2276	286752	137184	200727	0,05	7,5
27	2145	276187	131767	193331	0,05	7,5
28	1922	257647	122240	180353	0,05	7,5
29	1692	237975	112092	166583	0,05	7,5
30	1471	218212	101844	152749	0,05	7,5
31	1409	212593	98919	148815	0,05	7,5
32	1609	230617	108284	161432	0,05	7,5
33	1852	251730	119193	176211	0,05	7,5
34	2088	271514	129369	190060	0,05	7,5
35	2220	282254	134879	197578	0,05	7,5
36	2378	294872	141341	206410	0,05	7,5
37	2539	307573	147836	215301	0,05	7,5
38	2586	311200	149689	217840	0,05	7,5
39	2551	308505	148313	215954	0,05	7,5
40	2391	295966	141901	207176	0,05	7,5
41	2129	274815	131063	192370	0,05	7,5
42	2126	274644	130976	192251	0,05	7,5
43	2231	283165	135346	198215	0,05	7,5
44	2335	291486	139608	204040	0,05	7,5
45	2418	298024	142954	208617	0,05	7,5
46	2465	301760	144865	211232	0,05	7,5
47	2490	303690	145851	212583	0,05	7,5
48	2478	302775	145384	211943	0,05	7,5
49	2430	299007	143457	209305	0,05	7,5
50	2270	286268	136936	200388	0,05	7,5
51	2007	264811	125925	185367	0,05	7,5
52	1737	241866	114103	169306	0,05	7,5
53	1598	229695	107806	160787	0,05	7,5
54	1512	221980	103803	155386	0,05	7,5
55	1425	214044	99675	149831	0,05	7,5
56	1386	210417	97784	147292	0,05	7,5
57	1412	212835	99045	148984	0,05	7,5
58	1438	215231	100293	150662	0,05	7,5
59	1464	217606	101529	152324	0,05	7,5
60	1470	218196	101836	152737	0,05	7,5
61	1417	213280	99277	149296	0,05	7,5
62	1271	199742	92202	139819	0,05	7,5
63	1123	185422	84670	129796	0,05	7,5
64	1059	179110	81330	125377	0,05	7,5
65	1086	181825	82768	127277	0,05	7,5
66	1097	182861	83316	128003	0,05	7,5
67	1091	182328	79195	127630	0,05	7,5
68	1076	180876	64302	126613	0,05	7,5
69	1054	178656	39158	125059	0,05	7,5
70	1021	175451	5791	122816	0,05	7,5
71	181	163462	1541	114424	0,05	7,5
72	179	102131	2922	71492	0,05	7,5
73	176	32695	4551	22887	0,05	7,5
74	273	1540	5502	1078	0,05	7,5

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
75	262	3807	5252	2665	0,05	7,5
76	249	5534	4972	3874	0,05	7,5
77	234	5224	4656	3657	0,05	7,5
78	217	4868	2557	3408	0,05	7,5
79	125	3901	1084	2731	0,05	7,5
80	120	1099	76724	769	0,05	7,5
81	450	35737	104152	25016	0,05	7,5
82	271	112081	80834	78457	0,05	7,5
83	244	49922	3027	34945	0,05	7,5
84	0	0	0	0	0,05	7,5

Maximum soil stress : q_v;n;max = 274 kN/m²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads) : q_traffic;max = 90 kN/m²
Maximum reduced soil stress : q_v;r;n;max = 88 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation : k_v;max = 311200 kN/m³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation : k_v;max = 622399 kN/m³

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/m²
q_v;n	Neutral soil stress	kN/m²
q_h;n	Neutral horizontal soil stress	kN/m²
q_v,r;n	Reduced neutral soil stress	kN/m²
q_traffic	Traffic load	kN/m²
q_v;e	Vertical bearing capacity	kN/m²
q_h;e	Horizontal bearing capacity	kN/m²
k_v;bot	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m³
k_v;top	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m³
k_h	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m³
t_max	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m²
d_max	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
1	44	21	16	21	0	767
2	135	40	30	40	0	1421
3	243	53	39	53	0	1874
4	392	67	35	48	0	420
5	154	75	37	50	0	459
6	259	80	38	51	0	677
7	275	85	38	52	0	716
8	288	90	38	51	0	749
9	305	96	38	52	0	795
10	329	104	39	53	0	857
11	225	113	40	54	0	677
12	249	126	42	56	0	748
13	296	152	46	62	0	894
14	343	178	50	67	0	6262
15	2030	205	54	73	0	7220
16	2258	233	59	79	0	8195
17	2374	247	61	82	0	8703
18	2422	253	62	83	2	8913
19	2440	255	62	84	2	8991
20	2457	258	63	84	2	9066
21	2474	260	63	85	2	9140
22	2470	259	63	85	2	9124
23	2464	258	63	85	2	9096
24	2457	258	63	85	2	9069
25	2382	248	61	82	0	8736

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
26	2276	235	59	79	0	8272
27	2145	219	56	75	0	7708
28	1922	192	51	69	0	6760
29	1692	165	46	62	0	5812
30	1471	140	40	54	0	4920
31	1409	133	39	52	0	4678
32	1609	155	44	59	0	5472
33	1852	184	49	67	0	6468
34	2088	212	55	74	0	7464
35	2220	228	57	78	0	8030
36	2378	248	61	82	0	8717
37	2539	268	64	87	2	9432
38	2586	274	65	88	2	9641
39	2551	270	65	87	2	9486
40	2391	249	61	83	0	8777
41	2129	217	55	75	0	7636
42	2126	217	55	75	0	7627
43	2231	229	58	78	0	8079
44	2335	242	60	81	0	8530
45	2418	253	62	83	0	8892
46	2465	259	63	85	0	9102
47	2490	262	63	85	2	9211
48	2478	260	63	85	0	9159
49	2430	254	62	84	0	8947
50	2270	234	59	79	0	8246
51	2007	202	53	71	0	7120
52	1737	170	47	63	0	5994
53	1598	154	43	59	0	5431
54	1512	144	41	56	0	5085
55	1425	134	39	53	0	4740
56	1386	130	38	52	0	4586
57	1412	133	39	52	0	4689
58	1438	136	40	53	0	4791
59	1464	139	40	54	0	4894
60	1470	140	40	54	0	4920
61	1417	133	39	53	0	4708
62	1271	117	35	48	0	4144
63	1123	101	31	42	0	3580
64	1059	95	29	40	0	3343
65	1086	97	30	41	0	3444
66	1097	99	30	41	0	3483
67	1091	98	30	41	0	3463
68	1076	96	30	41	0	3409
69	1054	94	30	41	0	3326
70	1021	91	30	41	0	3208
71	181	89	31	41	0	2545
72	179	88	31	42	0	536
73	176	87	32	43	0	529
74	273	84	32	44	0	516
75	262	80	33	44	0	682
76	249	76	32	44	0	647
77	234	70	32	43	0	609
78	217	64	31	42	0	565
79	125	60	31	41	0	404
80	120	57	30	41	0	358
81	224	48	36	48	0	1693
82	117	35	26	35	0	1222
83	45	21	16	21	0	747
84	0	0	0	0	0	58

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
1	252	54511	2883	38158	0,05	7,5
2	310	119911	83835	83938	0,05	7,5
3	489	114335	111654	80035	0,05	7,5

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
4	670	1544	129412	1081	0,05	7,5
5	154	2465	48868	1725	0,05	7,5
6	259	5761	1399	4033	0,05	7,5
7	275	6094	4344	4266	0,05	7,5
8	288	6356	5806	4450	0,05	7,5
9	305	6316	6169	4421	0,05	7,5
10	329	3684	6667	2579	0,05	7,5
11	225	1954	7174	1368	0,05	7,5
12	249	70063	5497	49044	0,05	7,5
13	296	165445	3829	115811	0,05	7,5
14	343	246379	2807	172465	0,05	7,5
15	2030	266773	28906	186741	0,05	7,5
16	2258	285338	81973	199737	0,05	7,5
17	2374	294625	120817	206238	0,05	7,5
18	2422	298390	140825	208873	0,05	7,5
19	2440	299795	143860	209857	0,05	7,5
20	2457	301116	144536	210781	0,05	7,5
21	2474	302432	145209	211703	0,05	7,5
22	2470	302154	145066	211508	0,05	7,5
23	2464	301661	144814	211163	0,05	7,5
24	2457	301168	144562	210818	0,05	7,5
25	2382	295221	141520	206655	0,05	7,5
26	2276	286752	137184	200727	0,05	7,5
27	2145	276187	131767	193331	0,05	7,5
28	1922	257647	122240	180353	0,05	7,5
29	1692	237975	112092	166583	0,05	7,5
30	1471	218212	101844	152749	0,05	7,5
31	1409	212593	98919	148815	0,05	7,5
32	1609	230617	108284	161432	0,05	7,5
33	1852	251730	119193	176211	0,05	7,5
34	2088	271514	129369	190060	0,05	7,5
35	2220	282254	134879	197578	0,05	7,5
36	2378	294872	141341	206410	0,05	7,5
37	2539	307573	147836	215301	0,05	7,5
38	2586	311200	149689	217840	0,05	7,5
39	2551	308505	148313	215954	0,05	7,5
40	2391	295966	141901	207176	0,05	7,5
41	2129	274815	131063	192370	0,05	7,5
42	2126	274644	130976	192251	0,05	7,5
43	2231	283165	135346	198215	0,05	7,5
44	2335	291486	139608	204040	0,05	7,5
45	2418	298024	142954	208617	0,05	7,5
46	2465	301760	144865	211232	0,05	7,5
47	2490	303690	145851	212583	0,05	7,5
48	2478	302775	145384	211943	0,05	7,5
49	2430	299007	143457	209305	0,05	7,5
50	2270	286268	136936	200388	0,05	7,5
51	2007	264811	125925	185367	0,05	7,5
52	1737	241866	114103	169306	0,05	7,5
53	1598	229695	107806	160787	0,05	7,5
54	1512	221980	103803	155386	0,05	7,5
55	1425	214044	99675	149831	0,05	7,5
56	1386	210417	97784	147292	0,05	7,5
57	1412	212835	99045	148984	0,05	7,5
58	1438	215231	100293	150662	0,05	7,5
59	1464	217606	101529	152324	0,05	7,5
60	1470	218196	101836	152737	0,05	7,5
61	1417	213280	99277	149296	0,05	7,5
62	1271	199742	92202	139819	0,05	7,5
63	1123	185422	84670	129796	0,05	7,5
64	1059	179110	81330	125377	0,05	7,5
65	1086	181825	82768	127277	0,05	7,5
66	1097	182861	83316	128003	0,05	7,5
67	1091	182328	79195	127630	0,05	7,5
68	1076	180876	64302	126613	0,05	7,5

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
69	1054	178656	39158	125059	0,05	7,5
70	1021	175451	5791	122816	0,05	7,5
71	181	163462	1541	114424	0,05	7,5
72	179	102131	2922	71492	0,05	7,5
73	176	32695	4551	22887	0,05	7,5
74	273	1540	5502	1078	0,05	7,5
75	262	3807	5252	2665	0,05	7,5
76	249	5534	4972	3874	0,05	7,5
77	234	5224	4656	3657	0,05	7,5
78	217	4868	2557	3408	0,05	7,5
79	125	3901	1084	2731	0,05	7,5
80	120	1099	76724	769	0,05	7,5
81	450	35737	104152	25016	0,05	7,5
82	271	112081	80834	78457	0,05	7,5
83	244	49922	3027	34945	0,05	7,5
84	0	0	0	0	0,05	7,5

Maximum soil stress : q_v;n;max = 274 kN/m²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads) : q_traffic;max = 90 kN/m²
Maximum reduced soil stress : q_v;r;n;max = 88 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation : k_v;max = 311200 kN/m³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation : k_v;max = 622399 kN/m³

5.5 Young's Modulus per Layer per Vertical

Layer number	Material name	Type of determination
5	Zand, schoon, los	Calculated with E100
4	Veen, slap	Calculated with E100
3	Klei, organisch, slap	Calculated with E100
2	Veen, slap	Calculated with E100
1	Zand, schoon, los	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	63,080	0,000	62,802	0,000	62,523
4	0,758	0,801	0,753	0,795	0,747	0,790
3	3,203	4,024	3,182	4,004	3,161	3,984
2	1,006	1,038	1,001	1,033	0,996	1,028
1	76,756	124,314	76,528	124,174	76,299	124,033

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	62,620	0,000	63,924	0,000	64,963
4	0,749	0,792	0,774	0,817	0,795	0,837
3	3,168	3,991	3,267	4,084	3,347	4,160
2	0,998	1,030	1,021	1,053	1,040	1,072
1	76,379	124,082	77,451	124,745	78,312	125,280

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	64,751	0,000	64,262	0,000	64,750
4	0,790	0,833	0,781	0,823	0,790	0,833
3	3,331	4,145	3,293	4,109	3,330	4,144
2	1,036	1,068	1,027	1,059	1,036	1,068
1	78,136	125,171	77,731	124,919	78,134	125,170

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	66,483	0,000	68,488	0,000	72,942
4	0,825	0,866	0,865	0,906	0,956	0,997
3	3,465	4,272	3,624	4,423	3,987	4,769
2	1,068	1,099	1,106	1,137	1,192	1,223
1	79,577	126,075	81,260	127,144	85,048	129,598

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	81,940	0,000	90,044	0,000	97,476
4	1,152	1,191	1,340	1,377	1,521	1,557
3	4,762	5,514	5,507	6,234	6,228	6,934
2	1,378	1,408	1,559	1,587	1,734	1,761
1	92,880	134,867	100,102	139,939	106,836	144,833

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	104,380	0,000	107,683	0,000	108,971
4	1,697	1,732	1,784	1,818	1,818	1,852
3	6,928	7,617	7,273	7,954	7,410	8,088
2	1,904	1,931	1,989	2,015	2,022	2,049
1	113,171	149,567	116,224	151,890	117,419	152,806

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	109,516	0,000	110,057	0,000	110,597
4	1,833	1,867	1,847	1,881	1,862	1,896
3	7,468	8,144	7,525	8,201	7,583	8,258
2	2,036	2,063	2,050	2,077	2,064	2,091
1	117,924	153,195	118,428	153,583	118,929	153,969

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	110,482	0,000	110,281	0,000	110,079
4	1,859	1,893	1,853	1,887	1,848	1,882
3	7,571	8,246	7,549	8,224	7,528	8,203
2	2,061	2,088	2,056	2,083	2,051	2,078
1	118,823	153,887	118,635	153,743	118,448	153,598

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	107,633	0,000	104,122	0,000	99,690
4	1,782	1,817	1,690	1,725	1,577	1,612
3	7,268	7,949	6,901	7,591	6,449	7,150
2	1,987	2,014	1,898	1,925	1,787	1,815
1	116,178	151,855	112,933	149,387	108,860	146,332

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	91,753	0,000	83,061	0,000	73,964
4	1,381	1,417	1,177	1,216	0,978	1,018
3	5,670	6,392	4,863	5,611	4,072	4,851
2	1,598	1,626	1,403	1,432	1,213	1,243
1	101,642	141,045	93,871	135,551	85,925	130,176

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	71,293	0,000	79,723	0,000	89,171
4	0,922	0,963	1,103	1,142	1,319	1,356
3	3,851	4,639	4,566	5,325	5,425	6,154
2	1,160	1,191	1,331	1,361	1,539	1,567
1	83,637	128,677	90,930	133,532	99,317	139,379

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	97,710	0,000	102,242	0,000	107,489
4	1,527	1,563	1,642	1,677	1,779	1,813
3	6,251	6,957	6,708	7,402	7,253	7,934
2	1,739	1,767	1,851	1,878	1,984	2,010
1	107,050	144,990	111,203	148,083	116,045	151,753

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	112,695	0,000	114,169	0,000	113,074
4	1,918	1,952	1,959	1,992	1,929	1,963
3	7,809	8,479	7,970	8,636	7,851	8,520
2	2,120	2,146	2,159	2,185	2,130	2,156
1	120,883	155,483	122,258	156,555	121,236	155,759

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	107,940	0,000	99,110	0,000	99,037
4	1,791	1,825	1,562	1,598	1,560	1,596
3	7,300	7,981	6,391	7,093	6,384	7,086
2	1,995	2,022	1,773	1,801	1,771	1,799
1	116,463	152,073	108,329	145,937	108,263	145,888

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	102,624	0,000	106,089	0,000	108,788
4	1,652	1,687	1,742	1,776	1,813	1,848
3	6,747	7,440	7,106	7,791	7,390	8,069
2	1,860	1,887	1,948	1,975	2,017	2,044
1	111,553	148,346	114,749	150,764	117,249	152,676

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	110,321	0,000	111,111	0,000	110,737
4	1,854	1,888	1,875	1,910	1,865	1,900
3	7,554	8,229	7,638	8,312	7,598	8,272
2	2,057	2,084	2,078	2,105	2,068	2,095
1	118,673	153,772	119,407	154,339	119,059	154,070

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	109,192	0,000	103,920	0,000	94,846
4	1,824	1,858	1,685	1,720	1,456	1,492
3	7,433	8,111	6,880	7,571	5,969	6,682
2	2,028	2,054	1,893	1,920	1,671	1,699
1	117,624	152,964	112,747	149,246	104,442	143,076

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	84,806	0,000	79,301	0,000	75,732
4	1,217	1,255	1,093	1,132	1,016	1,055
3	5,021	5,763	4,529	5,289	4,221	4,994
2	1,441	1,470	1,322	1,352	1,248	1,279
1	95,418	136,627	90,560	133,280	87,452	131,188

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	71,987	0,000	70,247	0,000	71,409
4	0,936	0,977	0,901	0,941	0,924	0,965
3	3,908	4,694	3,766	4,558	3,860	4,648
2	1,173	1,204	1,139	1,170	1,162	1,193
1	84,229	129,062	82,747	128,100	83,736	128,741

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	72,552	0,000	73,678	0,000	73,956
4	0,948	0,989	0,972	1,012	0,978	1,018
3	3,954	4,738	4,048	4,828	4,071	4,850
2	1,185	1,215	1,207	1,237	1,213	1,243
1	84,713	129,378	85,679	130,013	85,919	130,171

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	71,622	0,000	65,007	0,000	57,639
4	0,929	0,969	0,796	0,838	0,656	0,700
3	3,878	4,665	3,350	4,163	2,801	3,646
2	1,166	1,197	1,041	1,072	0,911	0,944
1	83,918	128,859	78,348	125,303	72,351	121,644

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	54,232	0,000	55,711	0,000	56,270
4	0,595	0,640	0,621	0,666	0,631	0,676
3	2,562	3,422	2,664	3,518	2,704	3,555
2	0,856	0,889	0,880	0,912	0,889	0,922
1	69,668	120,067	70,825	120,742	71,265	121,001

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	56,165	0,000	56,065	0,000	56,065
4	0,630	0,674	0,628	0,672	0,628	0,672
3	2,696	3,548	2,689	3,541	2,689	3,541
2	0,887	0,920	0,885	0,918	0,885	0,918
1	71,183	120,953	71,104	120,906	71,104	120,906

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	56,065	0,000	56,065	0,000	56,065
4	0,628	0,672	0,628	0,672	0,628	0,672
3	2,689	3,541	2,689	3,541	2,689	3,541
2	0,885	0,918	0,885	0,918	0,885	0,918
1	71,104	120,906	71,104	120,906	71,104	120,906

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	56,065	0,000	56,065	0,000	56,081
4	0,628	0,672	0,628	0,672	0,628	0,673
3	2,689	3,541	2,689	3,541	2,690	3,542
2	0,885	0,918	0,885	0,918	0,886	0,918
1	71,104	120,906	71,104	120,906	71,117	120,913

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	56,114	0,000	56,147	0,000	56,090
4	0,629	0,673	0,629	0,674	0,628	0,673
3	2,693	3,545	2,695	3,547	2,691	3,543
2	0,886	0,919	0,887	0,920	0,886	0,919
1	71,143	120,929	71,169	120,944	71,124	120,918

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	56,006	0,000	55,921	0,000	55,898
4	0,627	0,671	0,625	0,670	0,625	0,669
3	2,685	3,538	2,679	3,532	2,678	3,530
2	0,884	0,917	0,883	0,916	0,883	0,915
1	71,057	120,879	70,990	120,839	70,973	120,829

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	55,924	0,000	55,950	0,000	55,974
4	0,625	0,670	0,626	0,670	0,626	0,671
3	2,679	3,532	2,681	3,534	2,683	3,535
2	0,883	0,916	0,883	0,916	0,884	0,917
1	70,993	120,841	71,014	120,853	71,033	120,864

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/m³
Pipeline diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
Pipeline diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
Pipeline diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
Equivalent pipeline diameter	:	Do = 831,29 mm
Equivalent wall thickness	:	t = 41,62 mm
Equivalent unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 163141 kN/m³
Unit weight drilling fluid pullback operation	:	gamma_b = 11,50 kN/m³
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/mm²
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	:	365	[kg/m]	
Weight of pipeline (including filling)	:	100	[kg/m]	

Result	:	265	[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/mm²])
- 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	42
T2	29	58
T3	94	103

Characteristic points	Length pipe in bore hole (m)	Characteristic value pulling force (kN)
T4	332	235
T5	398	290
T6	423	304

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 (f) 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 = 423 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm²
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm²
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm²
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm²
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
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 = 88 kN/m²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 2 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 311200 kN/m³
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 = Mb/Wb = f_k E·Ib /(Rrol·Wb)	=	0,43	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * T1/A = f * f_install (Lrol * Q * f1)/A	=	0,73	N/mm²

Maximum axial stress Sigma_a,max	=	1,01	N/mm²

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·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,86	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * Tmax/A	=	5,30	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	5,86	N/mm²

Tangential stress:

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

qr = kv *·y = (0.322·Lambda^2·E·I)/(Do.R/f_R)

Lambda = (f_kv kv·Do/(4·E·I))^0.25	=	3,7E-3	1/mm
qr	=	0,0161	N/mm²
Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,94	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	0,61	N/mm²

7.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

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

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,31	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,20	N/mm²

Tangential stress:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,57	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	11,38	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	7,77	N/mm²

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

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,31	N/mm²

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_Temp = dt * gamma_t * alpha_g * E	=	0,00	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,20	N/mm²

Tangential stress:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,57	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	11,38	N/mm²
Rerounding factor Frr	=	1,000	
Rerounding factor F'rr	=	1,000	

Sigma_t,max = Sigma_py + ((F'rr·. Sigma_qr) + (Frr·. Sigma_qn))

Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	7,77	N/mm²

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

Load combination 1
- Sigma_AxMax < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < ShortStrength * DamageFactor

Load combination 2
- Sigma_ptest < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_py < LongStrength * DamageFactor

Load combination 3
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

Load combination 4
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm²]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
Sigma_ptest	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
Sigma_py	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
Sigma_axial	10,00 (short)	1,01	5,86	-	-	-
Sigma_axial	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
Sigma_tang...	10,00 (short)	-	0,61	-	-	-
Sigma_tang...	8,00 (long)	-	-	-	7,77	7,77

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 15,8 mm (5,03% 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 not 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 212 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m².

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 140 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m².

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 = 423 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm²
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm²
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm²
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm²
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
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 = 88 kN/m²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 2 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 311200 kN/m³
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:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k E·Ib /(Rrol·Wb)	=	0,43	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * T1/A = f * f_install (Lrol * Q * f1)/A	=	0,73	N/mm²

Maximum axial stress Sigma_a,max	=	1,01	N/mm²

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·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,86	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * Tmax/A	=	5,30	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	5,86	N/mm²

Tangential stress:

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

qr = kv *·y = (0.322·Lambda^2·E·I)/(Do.R/f_R)

Lambda = (f_kv kv·Do/(4·E·I))^0.25	=	3,7E-3	1/mm
qr	=	0,0161	N/mm²
Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,94	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	0,61	N/mm²

8.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

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

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,31	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,20	N/mm²

Tangential stress:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,57	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	11,38	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	7,77	N/mm²

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

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,31	N/mm²

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_Temp = dt * gamma_t * alpha_g * E	=	0,00	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,20	N/mm²

Tangential stress:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,57	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	11,38	N/mm²
Rerounding factor Frr	=	1,000	
Rerounding factor F'rr	=	1,000	

Sigma_t,max = Sigma_py + ((F'rr·. Sigma_qr) + (Frr·. Sigma_qn))

Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	7,77	N/mm²

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

Load combination 1
- Sigma_AxMax < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < ShortStrength * DamageFactor

Load combination 2
- Sigma_ptest < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_py < LongStrength * DamageFactor

Load combination 3
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

Load combination 4
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm²]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
Sigma_ptest	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
Sigma_py	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
Sigma_axial	10,00 (short)	1,01	5,86	-	-	-
Sigma_axial	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
Sigma_tang...	10,00 (short)	-	0,61	-	-	-
Sigma_tang...	8,00 (long)	-	-	-	7,77	7,77

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 15,8 mm (5,03% 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 not 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 212 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m².

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 140 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m².

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 = 423 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm²
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm²
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm²
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm²
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
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 = 88 kN/m²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 2 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 311200 kN/m³
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 = Mb/Wb = f_k E·Ib /(Rrol·Wb)	=	0,43	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * T1/A = f * f_install (Lrol * Q * f1)/A	=	0,73	N/mm²

Maximum axial stress Sigma_a,max	=	1,01	N/mm²

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·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,86	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * Tmax/A	=	5,30	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	5,86	N/mm²

Tangential stress:

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

qr = kv *·y = (0.322·Lambda^2·E·I)/(Do.R/f_R)

Lambda = (f_kv kv·Do/(4·E·I))^0.25	=	3,7E-3	1/mm
qr	=	0,0161	N/mm²
Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,94	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	0,61	N/mm²

9.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

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

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,31	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,20	N/mm²

Tangential stress:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,57	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	11,38	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	7,77	N/mm²

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

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,31	N/mm²

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_Temp = dt * gamma_t * alpha_g * E	=	0,00	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,20	N/mm²

Tangential stress:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,57	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	11,38	N/mm²
Rerounding factor Frr	=	1,000	
Rerounding factor F'rr	=	1,000	

Sigma_t,max = Sigma_py + ((F'rr·. Sigma_qr) + (Frr·. Sigma_qn))

Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	7,77	N/mm²

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

Load combination 1
- Sigma_AxMax < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < ShortStrength * DamageFactor

Load combination 2
- Sigma_ptest < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_py < LongStrength * DamageFactor

Load combination 3
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

Load combination 4
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm²]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
Sigma_ptest	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
Sigma_py	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
Sigma_axial	10,00 (short)	1,01	5,86	-	-	-
Sigma_axial	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
Sigma_tang...	10,00 (short)	-	0,61	-	-	-
Sigma_tang...	8,00 (long)	-	-	-	7,77	7,77

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 15,8 mm (5,03% 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 not 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 212 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m².

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 140 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m².

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 = 423 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm²
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm²
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm²
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm²
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
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 = 88 kN/m²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 2 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 311200 kN/m³
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 = Mb/Wb = f_k E·Ib /(Rrol·Wb)	=	0,43	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * T1/A = f * f_install (Lrol * Q * f1)/A	=	0,73	N/mm²

Maximum axial stress Sigma_a,max	=	1,01	N/mm²

In this load combination the tangential stress is negligible.

10.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,86	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * Tmax/A	=	5,30	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	5,86	N/mm²

Tangential stress:

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

qr = kv *·y = (0.322·Lambda^2·E·I)/(Do.R/f_R)

Lambda = (f_kv kv·Do/(4·E·I))^0.25	=	3,7E-3	1/mm
qr	=	0,0161	N/mm²
Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,94	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	0,61	N/mm²

10.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

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

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,31	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,20	N/mm²

Tangential stress:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,57	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	11,38	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	7,77	N/mm²

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

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,31	N/mm²

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_Temp = dt * gamma_t * alpha_g * E	=	0,00	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,20	N/mm²

Tangential stress:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,57	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	11,38	N/mm²
Rerounding factor Frr	=	1,000	
Rerounding factor F'rr	=	1,000	

Sigma_t,max = Sigma_py + ((F'rr·. Sigma_qr) + (Frr·. Sigma_qn))

Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	7,77	N/mm²

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

Load combination 1
- Sigma_AxMax < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < ShortStrength * DamageFactor

Load combination 2
- Sigma_ptest < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_py < LongStrength * DamageFactor

Load combination 3
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

Load combination 4
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm²]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
Sigma_ptest	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
Sigma_py	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
Sigma_axial	10,00 (short)	1,01	5,86	-	-	-
Sigma_axial	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
Sigma_tang...	10,00 (short)	-	0,61	-	-	-
Sigma_tang...	8,00 (long)	-	-	-	7,77	7,77

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 15,8 mm (5,03% 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 not 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 212 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m².

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 140 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m².

End of Report

F.2 Boring 150 kV Spoorlijn Roosendaal – Vlissingen, nabij Rilland

Kruising 2 HDD's met N289, leidingenstraat LSNed en spoorlijn Roosendaal-Vlissingen

Vergunningsrapport provincie Brabant en ProRail

SWECO

Verantwoording

Titel:	Kruising 2 HDD's met N289, leidingenstraat LSNed en spoorlijn Roosendaal-Vlissingen
Onderwerp:	Vergunningsrapport voor provincie Brabant en ProRail
Projectnummer:	51001237
Klant:	TenneT
Referentienummer:	NL22-648800269-30773
Versie:	D2
Datum:	29-8-2022
Auteurs:	[redacted]
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 8
2.4 Diepteligging 8
2.5 Inwendige overdruk 9
2.6 Grondwaterstand 9
2.7 Belasting- en ondersteuningshoek 10
2.8 Importantiefactor 10
2.9 Geotechnische parameters 10
2.10 Boortechnische gegevens 12
2.11 Verkeersbelasting 12
2.12 Boogstralen 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 16
4.1 Trekkrachtberekening 17
4.2 Sterkteberekening bedrijfsfase 17
4.3 Muddrukberekening 17
4.4 Implosie 17
4.5 Kwelweg 18
4.5.1 Zoute ondergrond 18
4.5.2 Kwel uit het eerste watervoerende pakket 18
4.5.3 Kwel tussen de peilgebieden 19
4.5.4 Kwelmaatregelen 20

5. Risico’s en aandachtspunten 21

6. Conclusie 22
6.1 Algemeen 22
6.2 Uitkomsten ontwerp en berekening 22

Bijlage 1 – Ontwerptekening 23

Bijlage 2 – Geotechnisch onderzoek 24
Bijlage 3 – Berekening D-Geo Pipeline 25

1. Inleiding

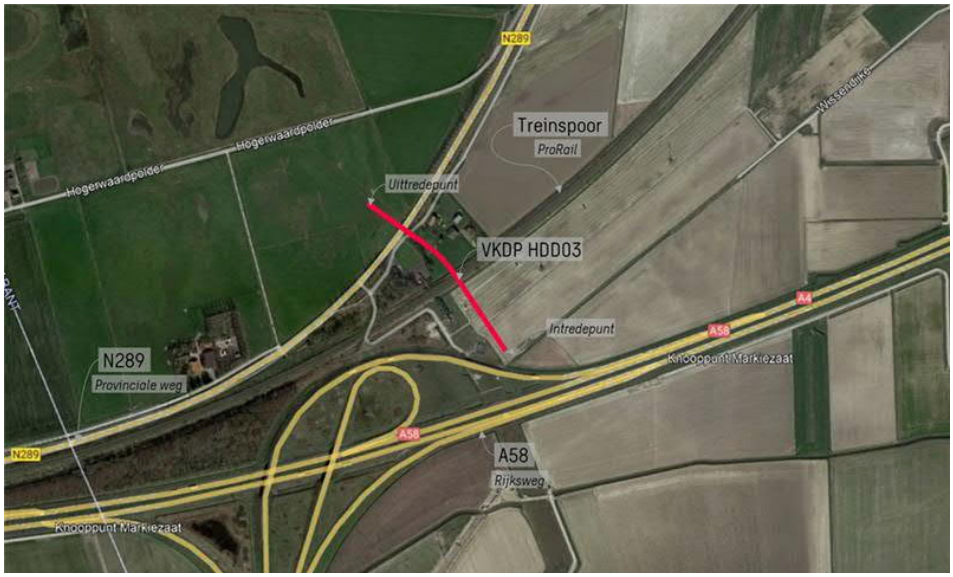
TenneT is voornemens om delen van de bovengrondse 150 kV-verbindingen binnen het projectgebied van *Zuid-West 380 kV Oost* ondergronds te verkabelen. Het projectgebied loopt vanaf Rilland aan de westzijde tot aan Tilburg aan de oostzijde. Bij het ondergronds brengen van de kabels moeten circa 45 kruisingen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

Dit rapport betreft de kruising met de provinciale weg N289 (Reimerswaalweg) en de spoorlijn Roosendaal-Vlissingen en ligt in de leidingenstraat Antwerpen-Rotterdam van LSNed. De HDD's (met codering VKDP HDD03) zijn vergunningsplichtig bij provincie Brabant en ProRail. Het ontwerp en de berekeningen zijn uitgevoerd conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020, de Richtlijn Boortechnieken en de eisen van ProRail. Voor ligging in de leidingenstraat gelden de richtlijnen van LSNed.

1.1 Situatie

Het tracé van de HDD's ligt ten noordoosten van knooppunt Markiezaat en start in de leidingenstraat tussen de A58 en het spoor en eindigt in de leidingenstraat aan de noordzijde van de N289 (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 circa 400 m en een maximale diepte van NAP -16,76 m (hart van de boring). De twee HDD's kruisen van zuid naar noord: de leidingenstraat van LSNed, de spoorlijn Roosendaal – Vlissingen, de provinciale weg N289 en nogmaals de leidingenstraat van LSNed.



Figuur 1 Overzicht situatie VKDP HDD03

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 VKDP HDD03, tekeningnummer VKDP-HDD03-ProRail versie E, d.d. 26-8-2022 opgesteld door Sweco (bijlage 1).
- Geotechnisch onderzoek uit Dinoloket en uit de Sweco-database met historisch grondonderzoek (bijlage 2).
- Maaiveldhoogten zijn ontleend aan de Algemene Hoogtekaart van Nederland (AHN-3).
- KLIC-levering 21O094476 en 21O094477 opgevraagd d.d. 21-09-2021.
- Peilbesluiten waterschap Scheldestromen, geraadpleegd d.d. 14-03-2022, website: https://repository.officiele-overheidspublicaties.nl/CVDR/CVDR333586/1/xml/i241828.pdf.
- Peilbesluiten waterschap Brabantse Delta, geraadpleegd d.d. 22-03-2022, website: https://www.brabantsedelta.nl/peilbesluiten.
- Regeling veranderen en gebruiken van wegen Noord-Brabant https://www.brabant.nl/actueel/regelingen/cvdr93041_2.
- Waterbeheerplan 2016-2021, waterschap Brabantse Delta, website: https://www.brabantsedelta.nl/_flysystem/media/waterbeheerplan-2016-2021.pdf.
- Regeling veranderen en gebruiken van wegen Noord-Brabant, Provincie Noord Brabant 2013, website: https://www.brabant.nl/actueel/regelingen/cvdr93041_2.

2.2 Vigerende normen en richtlijnen

Het ontwerp van de boring voldoet aan:

- NEN 3650:2020.
- NEN 3651:2020.
- Richtlijn boortechnieken juni 2019 v1.0 van Rijkswaterstaat.
- Handboek Horizontaal Gestuurd Boren (BTL-rapport 50).
- ProRail Spoorkruising derden: RLN 00427-2, 31-3-2021.
- Indieningvereisten: Ten behoeve van het aanvragen van een vergunning op grond van artikel 19 Spoorwegwet en het aanvragen van een ontheffing op grond van artikel 13 lid 3 van de Regeling omgevingsregime hoofdspoorwegen, ProRail, 01-07-2021-versie-18 (bijlage 1).

- VELIN Richtlijn nr. 2017/6 Versie september 2019.
- Regeling veranderen en gebruiken van wegen Noord-Brabant, Noord Brabant 2013.
- Voorschriften behorende bij de overeenkomst tot gebruik van de Buisleidingenstraat en tot exploitatie van daarin gelegen leidingen – januari 2017 van LSNed.

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:
  - De minimale dagmaat bij een kruising met een bestaande HDD-boring is 5,0 meter, onafhankelijk van de grondslag.
  - De minimale dagmaat in zandgrond bij parallelligging tot een bestaande HDD-boring is 5,0 meter.
  - De minimale dagmaat in klei-/veengrond bij parallelligging tot een bestaande HDD-boring is 10,0 meter.
  - 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 specifieker dan de NEN 3650, voor het ontwerp houden we daarom de Richtlijn Boortechnieken aan. De eerste circa 10 m -mv bestaat uit wisselende klei- en veenlagen, maar omdat de HDD's voor circa 80% 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 Diepteligging

De diepteligging dient aan de volgende eisen te voldoen:

- Voor de tussenafstand met (kruisende) kabels en leidingen is conform VELIN Richtlijn nr. 2017/6 Versie september 2019 minimaal een dagmaat van 5 m aangehouden.
  - De HDD's kruisen diverse leidingen van Gasunie en Air Liquide die gevaarlijke stoffen transporten binnen de leidingstraat van LSNed. De minimale dagmaat afstand tussen de leidingen en de HDD's is 8,8 m. Dit voldoet aan de minimale dagmaat van 5 m uit de VELIN richtlijn.

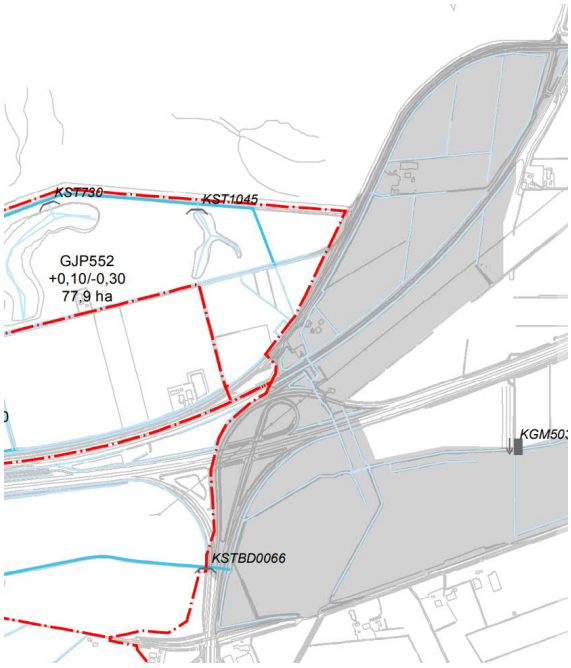
- De HDD's dienen minimaal 12 m beneden het laagst gelegen maaiveld binnen de druklijn 1:1,5 te liggen (paragraaf 7.1 van RLN0047-2 Spoorkruising derden).
  - De bovenkant van de leiding is op een diepte van 16,50 m geprojecteerd ten opzichte van het laagst gelegen maaiveld. De leiding voldoet hiermee aan de dekkings- en afstandseisen.
- De HDD's dienen een minimale afstand tot gesloten verhardingen van Provincie Brabant hebben van 3 meter (Regeling veranderen en gebruiken van wegen Noord-Brabant, 2013)
  - Bij de provinciale weg N289 liggen de HDD's dieper dan 10 m ten opzichte van maaiveld. De leiding voldoet hiermee aan de dekkings- en afstandseisen.

2.5 Inwendige overdruk

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

2.6 Grondwaterstand

Het uittredepunt ligt binnen het peilbesluit van Zuid-Beveland-Oost van waterschap Scheldestromen (zie figuur 2). Het zomerpeil is NAP +0,10 m en het winterpeil is NAP -0,30 m. We gaan in deze rapportage uit van een grondwaterstand van NAP +0,10 m.



Figuur 2 Peilbesluit Zuid-Beveland-Oost

2.7 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°.

2.8 Importantiefactor

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

2.9 Geotechnische parameters

De geotechnische gegevens en parameters gebruikt 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 boortrace [m]
CPT35000	Sondering	-10	20
CPT11849	Sondering	-22	10
118.S02	Sondering	-25	180
118.S04	Sondering	-25	180

De bovenkant van de vaste zandlaag bevindt zich op -6 m NAP aan de zuidkant van het geplande boortracé en op -9 m NAP aan de noordkant van het geplande boortracé. Uit het grondonderzoek blijkt dat boven de zandlaag de grond bestaat uit klei en veenlagen. Het verloop van de diepte van deze klei en veenlagen is met behulp van de beschikbare boringen en sonderingen vrij nauwkeurig vastgesteld. Hieruit kan geconcludeerd worden dat aanvullend grondonderzoek niet noodzakelijk is. Tabel 2- en Tabel 2-3 laten de in de berekeningen aangehouden grondparameters voor de in het grondonderzoek herkende grondlagen langs de zuidkant en noordkant van het profiel zien.

Tabel 2-2 Grondparameters gebruikt in de berekening langs de zuidzijde van het profiel gebaseerd op 118.S02 en 118.S04.

Niveau bovenkant [m t.o.v. NAP]	Niveau onderkant [m t.o.v. NAP]	Lithologie	γ_d [kN/m^3]	γ_n [kN/m^3]	c' [kPa]	φ' [°]	Su top/bottom [kN/m^2]	E [kN/m^2]
1,4	-0,2	Klei, zwak zandig, matig	17	17	5,0	22,5	120,0	6000
-0,2	-2,5	Klei, schoon, slap	14	14	2,5	17,5	35,0	500
-2,5	-5,8	Veen, slap	11	11	1,5	15,0	25,0	200
-5,8	-14,0	Zand, schoon, los	17	19	0,0	30,0	0,0	15000
-14,0	-29,0	Zand, schoon, vast	19	21	0,0	35,0	0,0	60000

Tabel 2-3 Grondparameters gebruikt in de berekening langs de noordzijde van het profiel gebaseerd op CPT 35000 en CPT 11849.

Niveau bovenkant [m t.o.v. NAP]	Niveau onderkant [m t.o.v. NAP]	Lithologie	γ_d [kN/m^3]	γ_n [kN/m^3]	c' [kPa]	φ' [°]	Su top/bottom [kN/m^2]	E [kN/m^2]
1,4	-0,2	Klei, zwak zandig, matig	17	17	5,0	22,5	120,0	6000
-0,2	-2,5	Klei, schoon, slap	14	14	2,5	17,5	35,0	500
-2,5	-5,8	Veen, slap	11	11	1,5	15,0	25,0	200
-5,8	-9,0	Klei, schoon, slap	14	14	2,5	17,5	35,0	500
-5,8	-14,0	Zand, schoon, los	17	19	0,0	30,0	0,0	15000
-14,0	-29,0	Zand, schoon, vast	19	21	0,0	35,0	0,0	60000

2.10 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 waardes zijn terug te vinden in de invoer van de muddrukberekeningen in bijlage 3.

2.11 Verkeersbelasting

Ter plaatse van de kruising met de N289 (Reimerswaalweg) is verkeersklasse I gehanteerd conform figuur C17 uit NEN3650-1:2020. Voor secundaire wegen wordt verkeersklasse II gehanteerd.

2.12 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 horizontale bochten van 219 en 225 m en verticale bochten 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 UITVOERINGSAFWIJKING
Verticaal*	+1/-1 m
Horizontaal: - in lengterichting; t.p.v. uittredepunt - in dwarsrichting; t.p.v. uittredepunt - in dwarsrichting; tracé tussen in- en uittredepunt	 +5/-2 m +1/-1 m +5/-5 m
Bochtstralen	< 10%

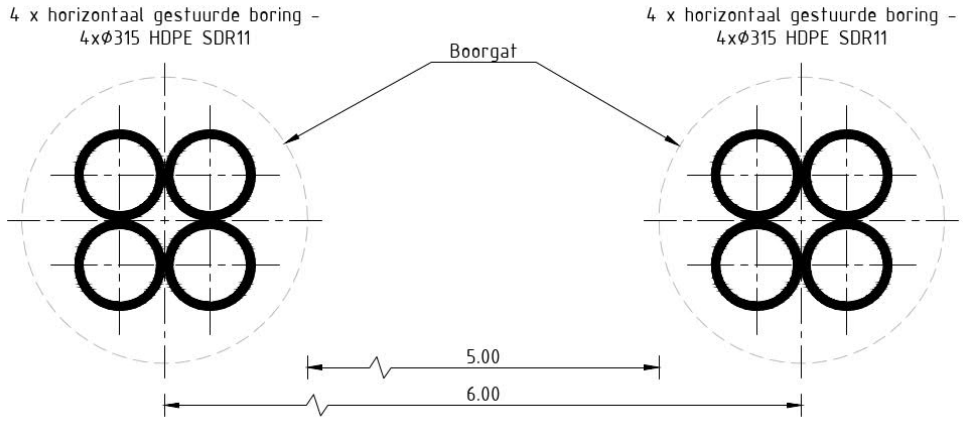
Figuur 3, afwijkingstoleranties HDD's (Bron: Richtlijn Boortechnieken)

3. Ontwerp

3.1 Gegevens HDD

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

- Materiaal: PE100 4x Ø315 mm SDR 11.
- Lengte: 400 m.
- Maximale diepte hart buis: NAP -16,67 m.
- Intredehoek: 15°.
- Uittredehoek: 15°.
- Verticale boogstralen: 250 m.
- Horizontale boogstralen: 219 en 225 m.



Figuur 4 Doorsnede van de 2 HDD's

Aan de hand van NEN 3650 en NEN 3651, de Richtlijn Boortechniek, de eisen van ProRail en de voorschriften van LSNed is een ontwerp gemaakt voor de HDD's. De voornaamste randvoorwaarden voor het ontwerp zijn:

- De diepteligging van de leiding zoals aangegeven in paragraaf 2.4.
- De aansluiting op de door LSNed aangewezen ligging van het 150 kV tracé binnen de leidingenstraat.
- 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 sterkte van de leiding dient zodanig te zijn dat deze intact blijft gedurende de aanleg en in de bedrijfsfase.

3.2 Boorparameters

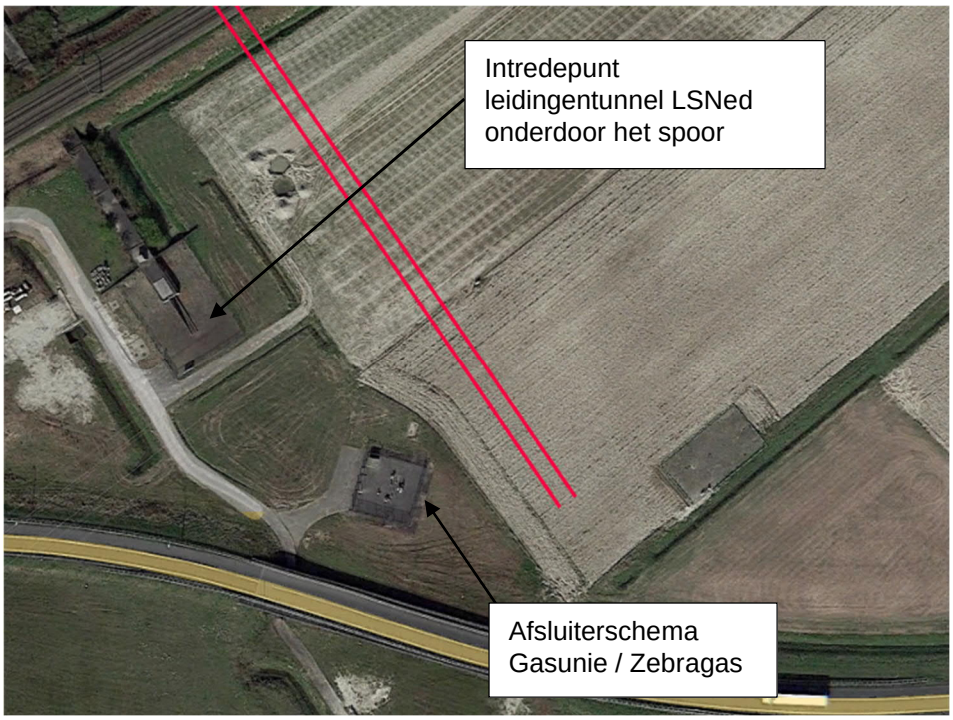
Bij de berekeningen zijn de volgende boorparameters aangehouden:

- Boorinstallatie : maxi-rig 80 ton.
- Diameter boorstang : 0,17 m.
- Volumegewicht bentoniet : 11,5 kN/m^3.
- Gewicht drillrig : circa 18.000 kg (18 ton).
- Diameter pilothole : Ø300 mm.
- Ruimgat : Ø500 mm.
- Boorgat : Ø1000 mm.

3.3 Intredepunt

Het intredepunt ligt aan de zuidzijde in de leidingenstraat waar ook de ondergrondse tracés voor 150 kV en 380 kV zijn geprojecteerd (zie figuur 5). De locatie van de intredepunten dienen in het werk geoptimaliseerd te worden, zodat de te graven aansluitlengte op het ondergrondse 150 kV tracé zo minimaal mogelijk is. Hiermee blijft ook de hoeveelheid beschikbare ruimte in de leidingenstraat zo groot mogelijk.

De locatie is bereikbaar via een afrit van de N289 richting het bouwland. De afrit kruist de spoorlijn en komt uit op het bouwland.

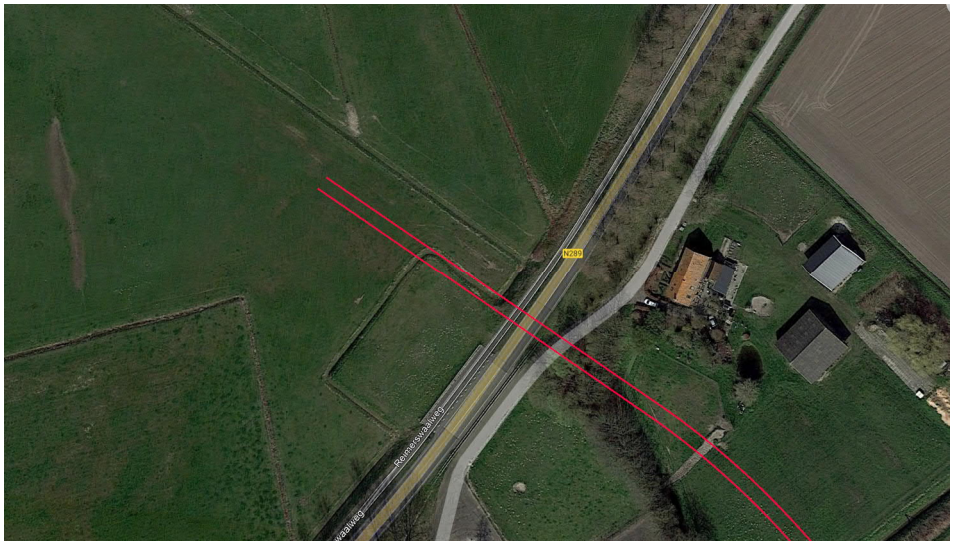


Figuur 5 Intredepunt VKDP HDD03 in de leidingenstraat van LSNed

3.4 Uittredepunt en uitlegstrook

Het uittredepunt ligt in de leidingenstraat aan de noordzijde van het boortracé (zie figuur 6). Het uittredepunt ligt circa 6,1 m voor de kruising met de Zebragas-leiding.

De locatie is bereikbaar via de 3e Hogerwaard Dwarsweg ten westen van het uittredepunt. De uitlegstrook ligt in het bouwland langs een sloot en buigt af naar het westen bij de Hogerwaardpolder (zie figuur 7). De uitlegstrook komt in de leidingenstraat van LSNed te liggen.



Figuur 6 Uittredepunt VKDP HDD03

Figuur 7 Uitlegstrook VKDP HDD03 in de leidingenstraat van LSNed

4. Berekeningsresultaten

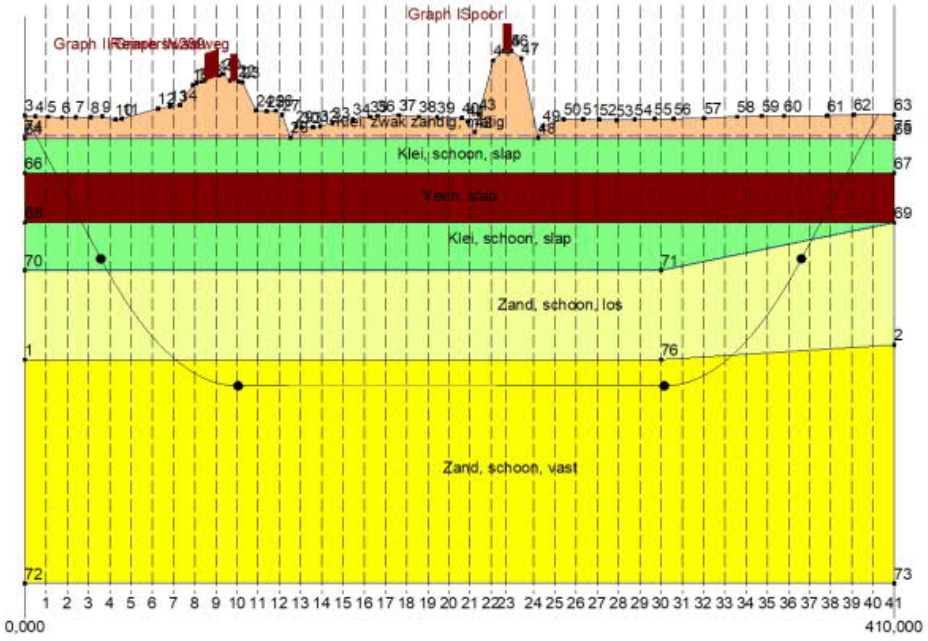
De volgende berekeningen zijn voor de horizontaal gestuurde boring uitgevoerd:

- 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.

Bij de berekeningen is het profiel van de huidige situatie gebruikt, aangezien deze ten tijde van de uitvoering van de HDD nog aanwezig is en maatgevend is voor de muddruk en trekkracht.

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 de HDD's

4.1 Trekkrachtberekening

De berekende maximale trekkracht bedraagt 317*1,8 = 571 kN bij niet-gevulde gevulde leidingen. Dit leidt tot een maximale spanning tijdens de intrekfase van 6,16 N/mm^2 aan het einde van de intrekoperatie. Toelaatbaar is 10 N/mm^2.

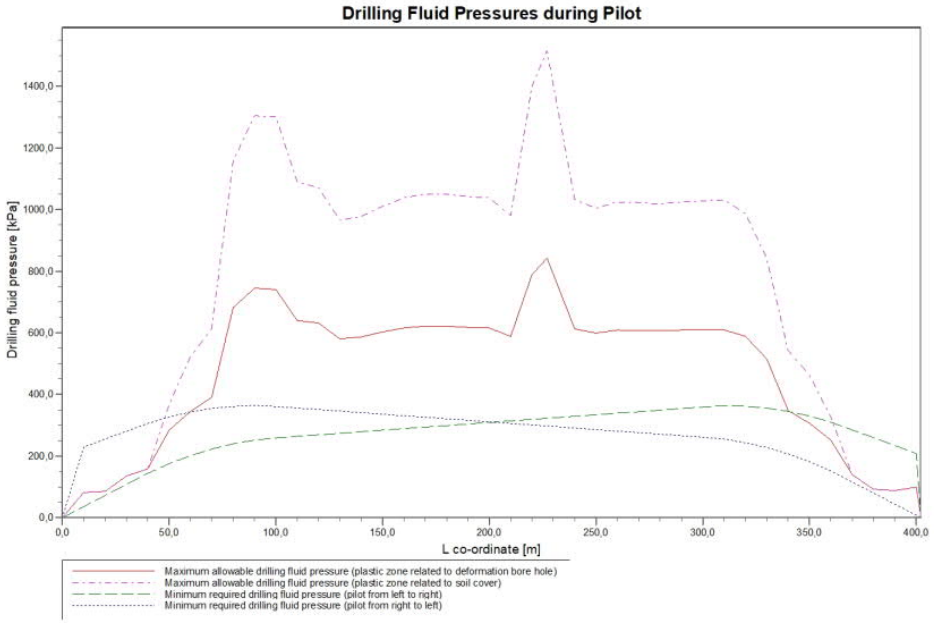
4.2 Sterkteberekening bedrijfsfase

Voor de mantelbuizen is een sterkteberekening in de bedrijfsfase gemaakt. Hieruit volgt een maximaal optredende spanning van 2,95 N/mm^2. Toelaatbaar is 8 N/mm^2 waarbij is uitgegaan van PE 100 SDR 11.

Uit de sterkteberekening blijkt dat een deflectie van 6,0 mm (1,92% x D_0) optreedt. Toelaatbaar is een maximale deflectie van 15,80 mm (5%).

4.3 Muddrukberekening

Bij de geplande diepteligging van de HDD's bestaat tijdens de pilotboring, getuige de berekeningsresultaten, de kans op muduitbraak in de laatste 50 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 Muddrukberekening tijdens pilot fase

4.4 Implosie

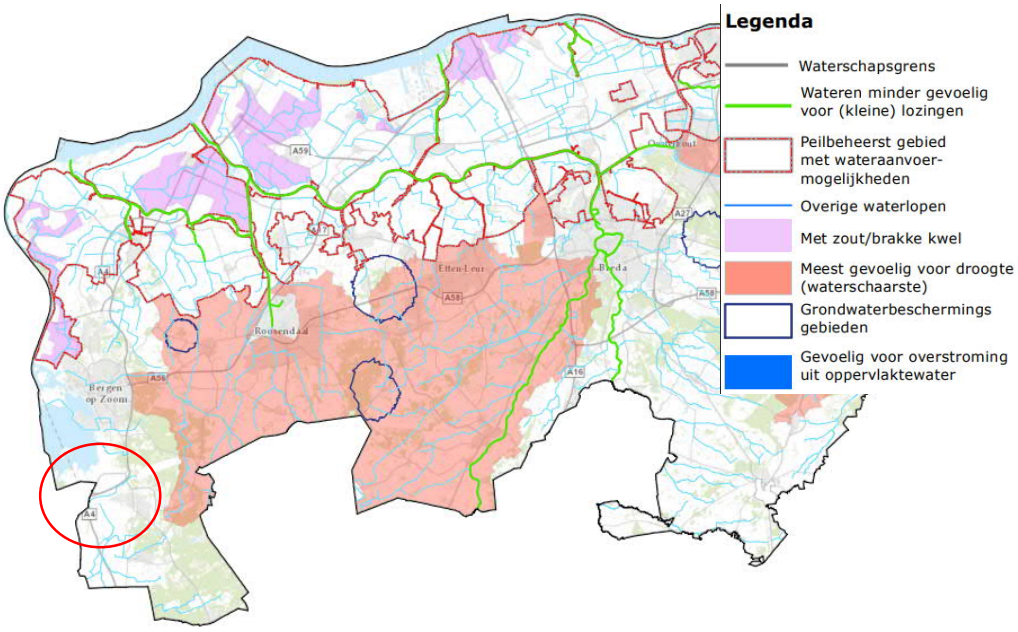
Zowel tijdens de intrekoperatie als de bedrijfstoestand blijkt uit de berekeningen dat geen implosie optreedt. De berekende alzijdige overdruk op lege leiding bedraagt circa 168 kN/m^2, terwijl 280 kN/m^2 toelaatbaar is.

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 Zoute ondergrond

Waterschap Brabantse Delta heeft in het waterbeheerplan een kaart gemaakt van de risicogebieden (droogte, zoute/brakke kwel, overstroming, ect) (zie figuur 10). Het gebied waar VKDP HDD3 wordt aangelegd (rode cirkel) betreft geen risicogebied. Daarom valt geen zoute/brakke kwel te verwachten.

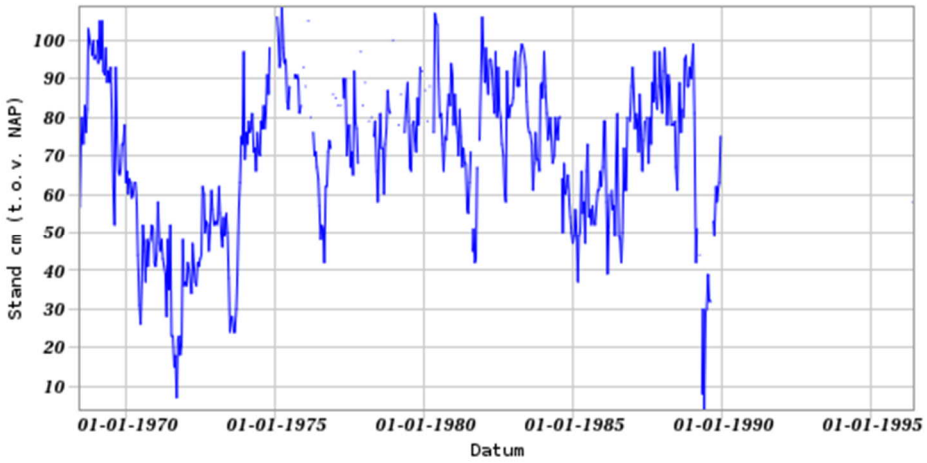


Figuur 10 Risicogebieden waterschap Brabantse Delta

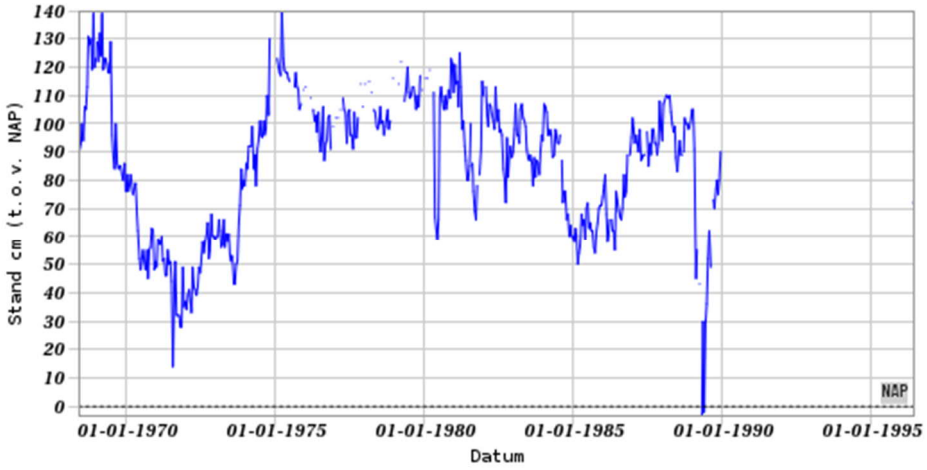
4.5.2 Kwel uit het eerste watervoerende pakket

Het uittredepunt van de HDD's liggen in het deelgebied Zuid-Beveland-Oost waar Waterschap Scheldestromen het peilbeheer voert.

Ter illustratie zijn de meetgegevens uit DINOloket van peilbuis B49D0096 hieronder weergegeven. Deze peilbuis ligt op circa 750 m afstand van het boortracé. Te zien is dat de freatische grondwaterstand B49D0096-001 in periodes iets lager ligt dan de grondwaterstand in het eerste watervoerende pakket B49D0096-002. De bovenliggende kleilagen sluiten 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.



Figuur 11 *Freatische grondwaterstand B49D0096-001 uit Dinoloket, filter op NAP 0,2 tot -0,8m*



Figuur 12 *Grondwaterstand in het eerste watervoerende pakket, B30H0096-002 uit Dinoloket, filter op NAP -10,5 tot -11,5 m*

4.5.3 Kwel tussen de peilgebieden

De twee HDD's hebben hun intredepunt in het beheergebied van waterschap Brabantse Delta en hun uittredepunt in het beheergebied van waterschap Scheldestromen.

Het waterschap Brabantse Delta heeft bij het intredepunt geen peilbesluit vastgesteld. Dit komt omdat dit gebied is gedefinieerd als 'vrij afwaterende gebieden'. In die gebieden kan het waterschap geen extra water aanvoeren, waardoor het meest optimale peil kan zakken. Een gegarandeerd waterpeil is dus niet mogelijk in deze gebieden en deze zal variëren met de hoeveelheid neerslag. Uitgangspunt is daarom dat, met name in natte perioden, een hogere grondwaterstand optreedt en mogelijk kwel via de HDD's kan ontstaan.

4.5.4 Kwelmaatregelen

De stijghoogte in het eerste watervoerende pakket is op deze locatie hoger dan de laagste gemiddelde grondwaterstand. De bovenliggende kleilagen sluiten 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. Ook bestaat de mogelijkheid dat kwel tussen peilgebieden 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 eerste watervoerende pakket (de vaste zandlaag). 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:

- Werken in de leidingenstraat van LSNed. De aannemer dient bij zijn werkzaamheden rekening te houden met de voorschriften van LSNed. Dit betekent dat de werkzaamheden plaatsvinden in de buurt van buisleidingen uit categorie 1: buisleidingen met gevaarlijke inhoud.
- Het nemen van de in paragraaf 4.5.4 benoemde kwelmaatregelen. Voorafgaand aan de uitvoering dienen de plannen hiervoor goedgekeurd te worden door waterschap Scheldestromen en waterschap Brabantse Delta.
- De mantelbuizen dienen met een sleeve afgesloten te worden om een kwelstroom door de buis te voorkomen.
- De boorrig en het materieel worden opgesteld aan de zuidzijde van de boring in de leidingenstraat van LSNed. De locaties van de intredepunten dienen in het werk geoptimaliseerd te worden, zodat de te graven aansluitlengte op het ondergrondse 150 kV tracé zo minimaal mogelijk is.
- Het uittredepunt komt boven voor de transportleiding van Zebragas. Voorafgaand aan de werkzaamheden dient de aannemer zich te vergewissen van de exacte ligging van deze leiding.
- Uitlegstrook: de mantelbuizen worden uitgelegd aan de noordzijde van de HDD in de leidingenstraat van LSNed.
- 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 plaatsbepalings-systeem 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 hoogspanningsmasten.

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 provinciale weg N289, de leidingenstraat van LSNed en de spoorlijn Roosendaal-Vlissingen. Dit document betreft de vergunningsrapportage voor provincie Brabant en ProRail. Het ontwerp en de berekeningen zijn uitgevoerd conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020, de Richtlijn Boortechnieken, de eisen van ProRail en de voorschriften van LSNed.

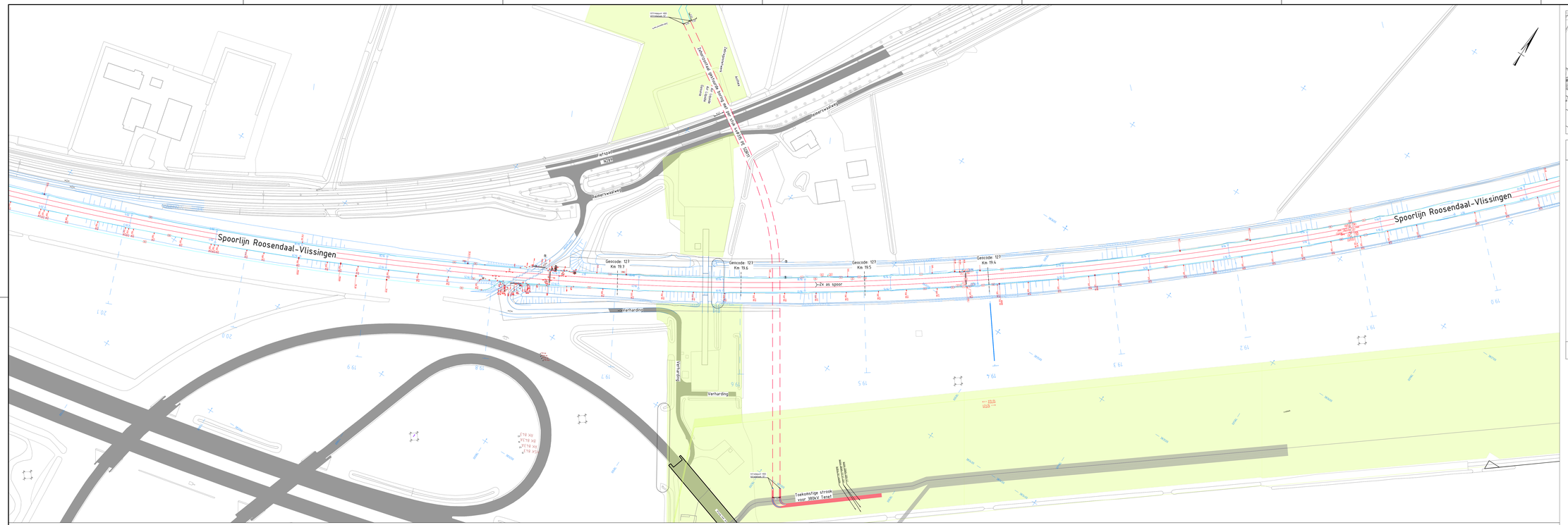
6.2 Uitkomsten ontwerp en berekening

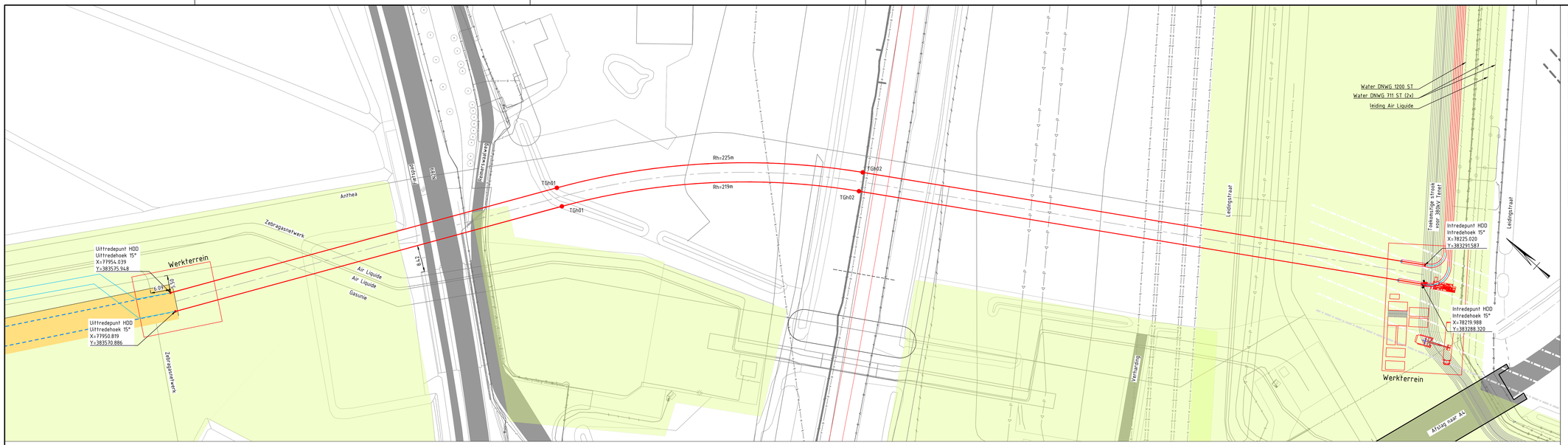
De HDD's, weergegeven op de tekeningen die zijn bijgevoegd als bijlage 1, zijn ontworpen en berekend volgens de vigerende eisen.

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

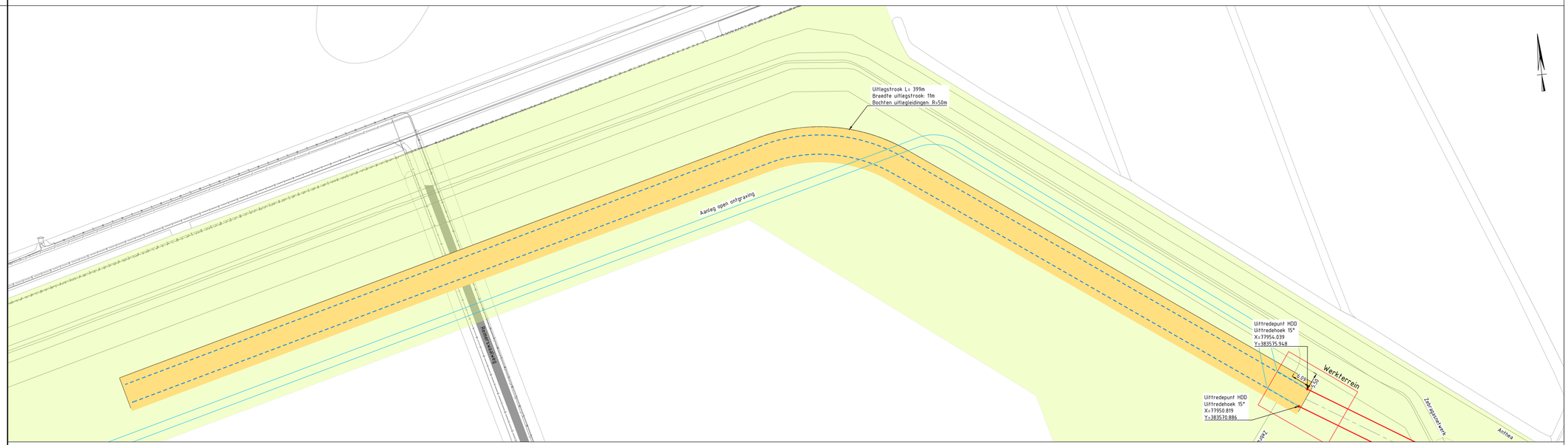
Er dienen kwelmaatregelen genomen te worden. Als kwelmaatregel stellen wij voor om aan beide zijden van de HDD's een grout-prop aan te brengen door middel van het nagrouten van de boorgang met mantelbuizen vanaf het maaiveld tot 2 à 3 m in het eerste watervoerende pakket. De ruimte tussen de kabel en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

Bijlage 1 – Ontwerptekening

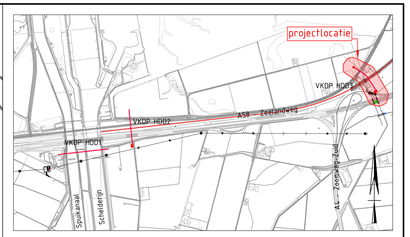

Spoorlijn Roosendaal-Vlissingen
Geocode: 127
Km 19.6
Geocode: 127
Km 19.5
Geocode: 127
Km 19.4
2x 4s spoor
Verharding
Toekomstige stroom voor 380kV Tenet
Rijksweg A58
Zoommeerkade
Zoommeerkade
Zoommeerkade



Bovenaanzicht schaal 1:500



Bovenaanzicht uitlegstrook schaal 1:500



Overzicht
Schaal n.v.t.

Legenda

- Kadastrale grens
- Leiding gevaarlijke inhoud
- DPO-leiding
- Datatransport
- Landelijk hoogspanningsnet
- Laagspanning
- Middenspanning
- Gasleiding hoge druk
- Gasleiding lage druk
- Waterleiding
- Drukriolering
- Riolering vrijverval
- Horizontaal gestuurde boring (HDD)
- Verharding (asfalt)
- Bestaande topo
- Bebouwing
- Primaire waterkering
- Uitlegstrook
- Leidingstrook LSNed
- Verharding/wegen
- 16 Locatie sondering met nummer
- TGh01 Horizontaal tangentpunt
- Rh=225m Horizontale boogstraal

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

Vergunningstekening

E	T.b.v. vergunningsaanvraag	14-04-2022	JPR	MJ	JD
D	Definitief ontwerp	19-08-2020	BB	MJ	JD
C	Definitief	03-07-2020	BB	MJ	JD
B	Variant 5	05-06-2020	BB	MJ	JD
A	Voorlopig ontwerp	24-05-2020	BB	MJ	JD
Rev	Omschrijving	Datum rev.	Get.	Gec.	Goedg.

Opdrachtgever
TenneT TSO B.V.

Project
HDD's 150 kV ZWO

Onderdeel
VKDP-HDD3, Rilland-Volkerdorp-Markiezaat
Uitlegstrook

Projectnummer	Tekeningnummer	Versie	Datum van uitgave	Ontwerpfase	Contractnummer
510012137	VKDP-HDD3-U	E	14-04-2022	Definitief ontwerp	

Blad	Van	Schaal	Formaat	Kantoor	Get.	Gec.	Goedg.
2	2	1:500	A1 L (1260x594)	De Bilt	BB	MJ	JD

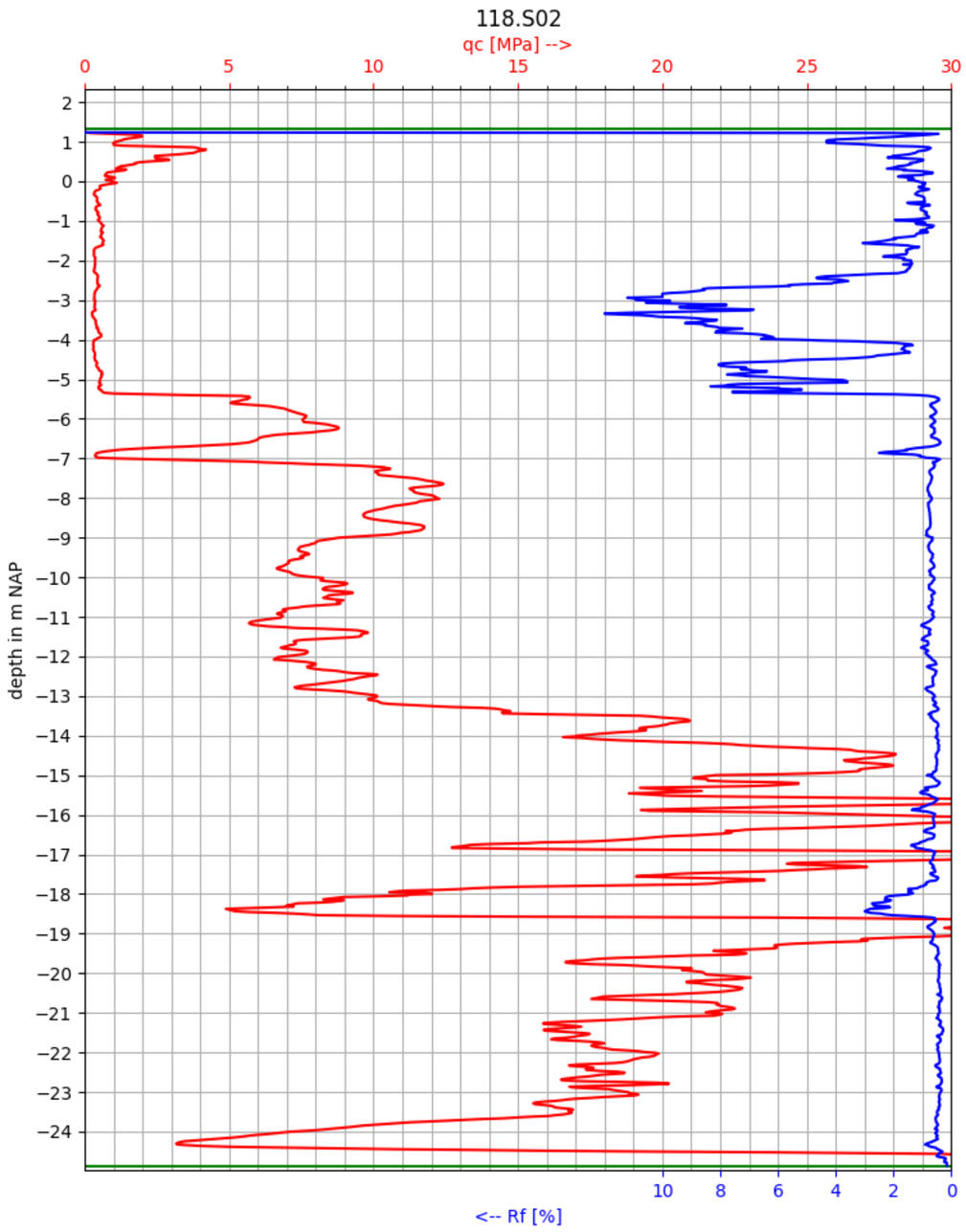
www.sweco.nl
© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden

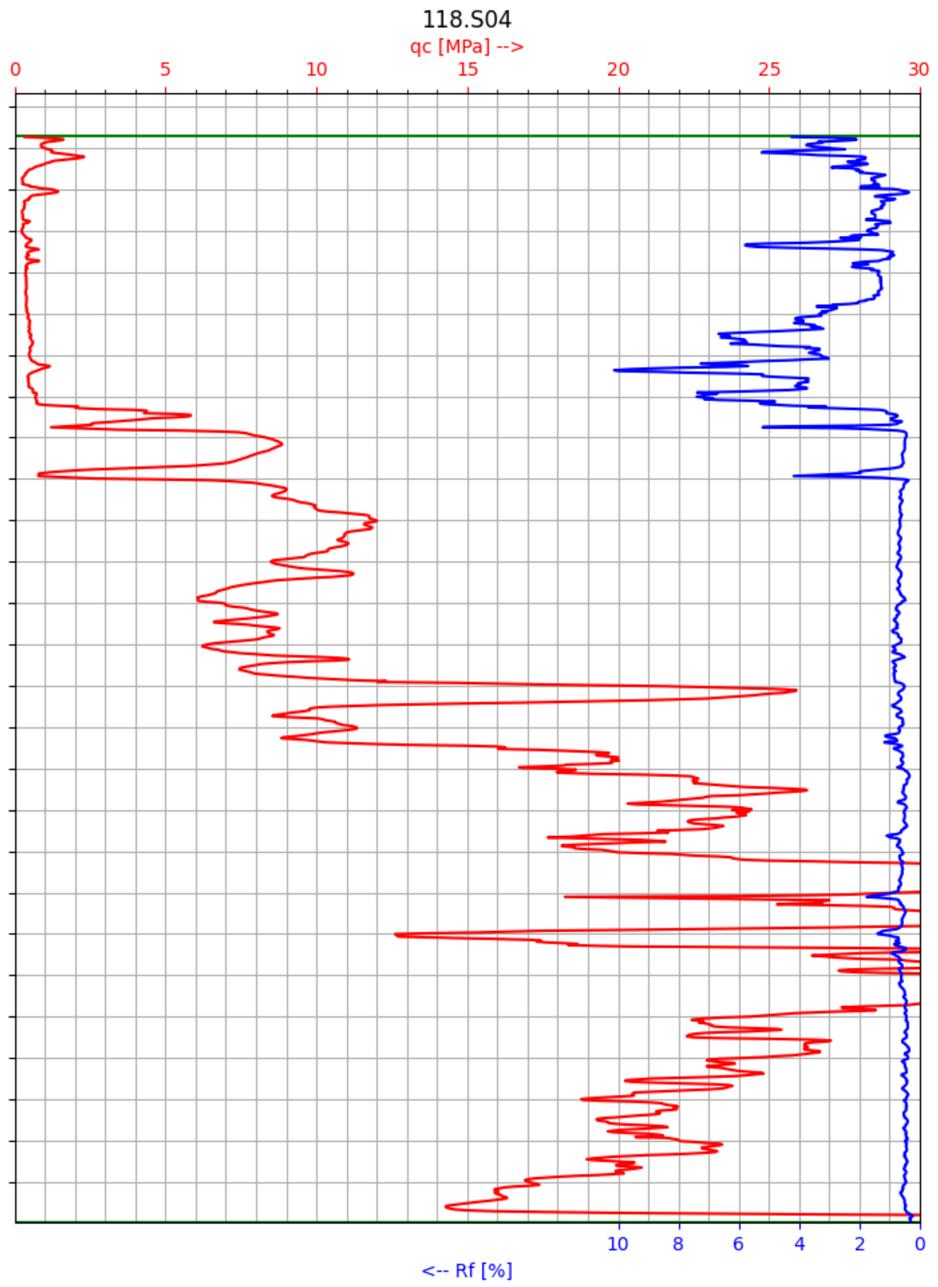
SWECO

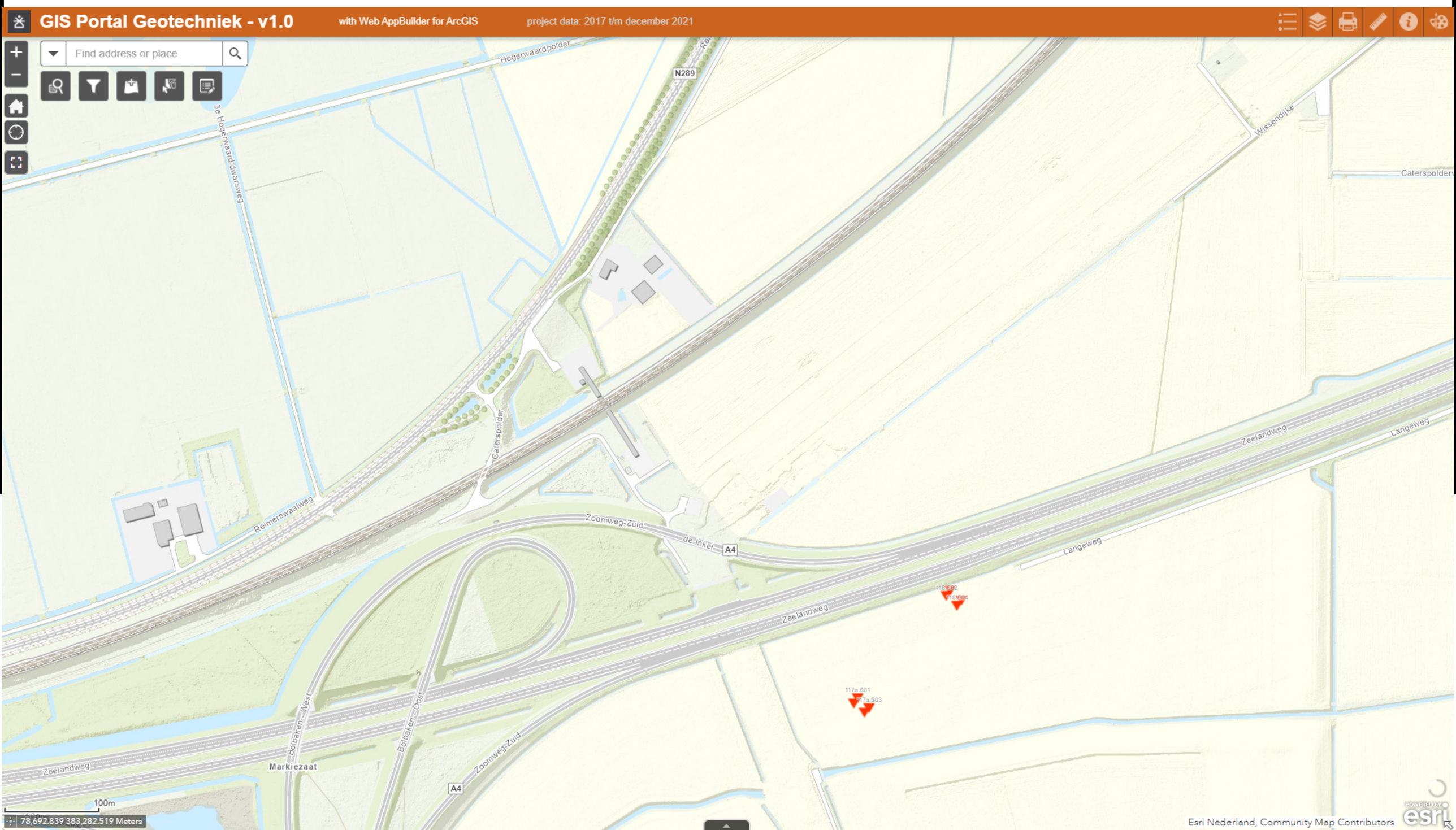
VKDP-HDD3

Bijlage 2 – Geotechnisch onderzoek

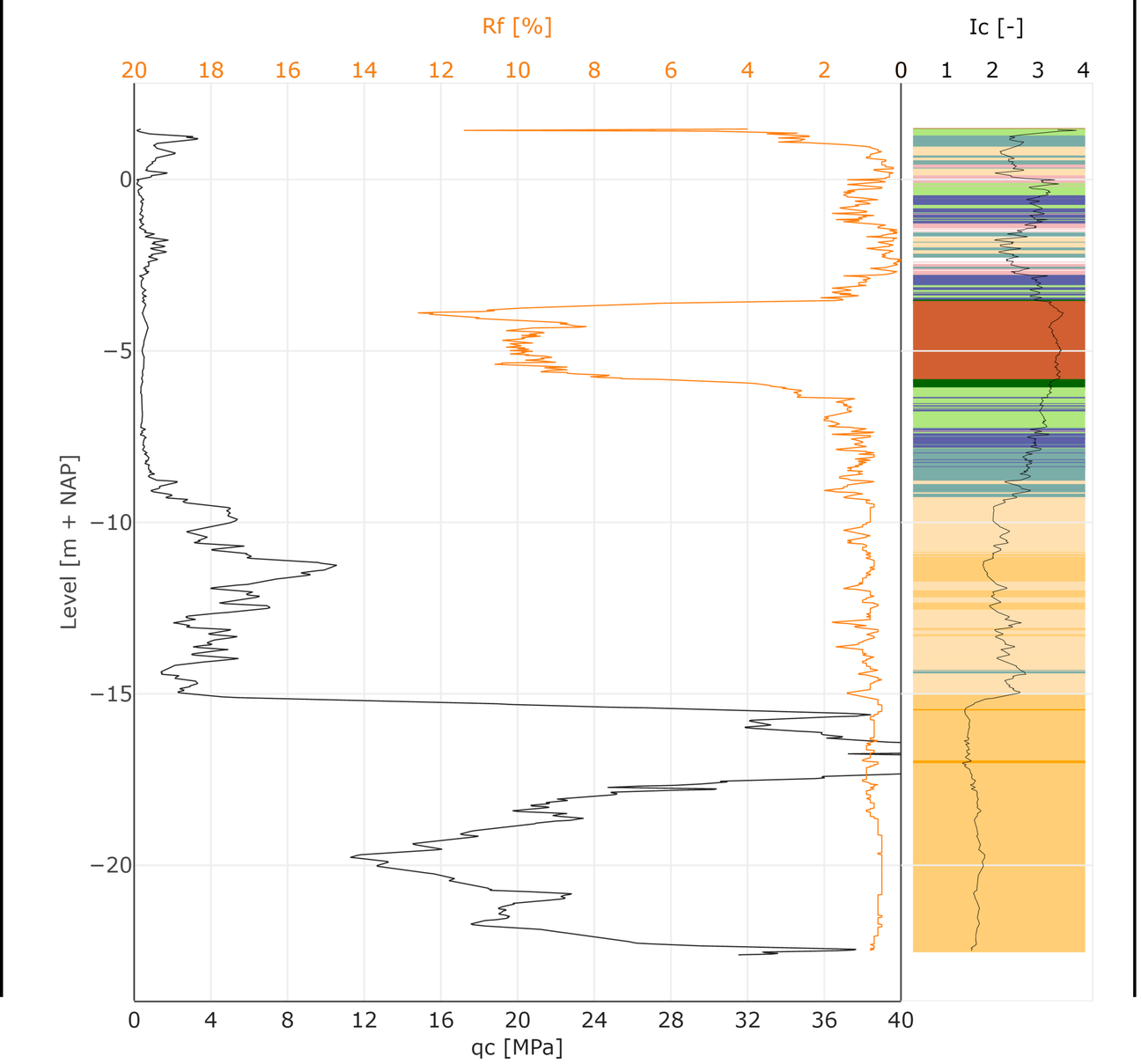
VKDP HDD 3


118.S02
qc [MPa] -->
0
5
10
15
20
25
30
2
1
0
−1
−2
−3
−4
−5
−6
−7
−8
−9
−10
−11
−12
−13
−14
−15
−16
−17
−18
−19
−20
−21
−22
−23
−24
depth in m NAP
10
8
6
4
2
0
<-- Rf [%]

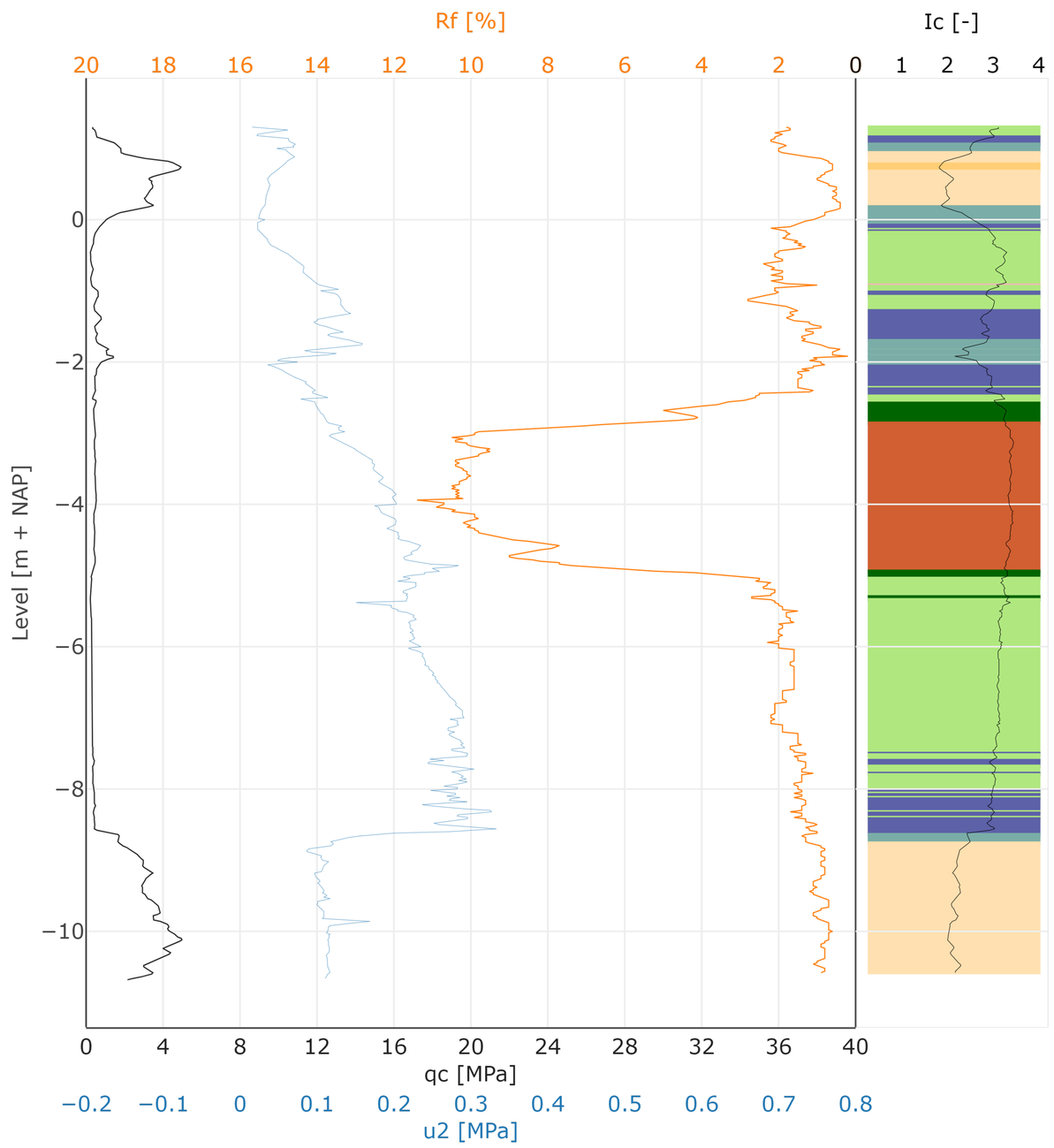

118.S04
qc [MPa] -->
0
5
10
15
20
25
30
10
8
6
4
2
0
<-- Rf [%]


GIS Portal Geotechniek - v1.0
with Web AppBuilder for ArcGIS
project data: 2017 t/m december 2021
Find address or place
Hogerwaardpolder
N289
3e Hogerwaardseweg
Wissendijke
Caterspolder
Reimerswaalweg
Zoomweg-Zuid
de Inkel
A4
Zeelandweg
Langeweg
Bolbaken-West
Bolbaken-Oost
Markiezaat
117a.S01
117a.S03
100m
78,692.839 383,282.519 Meters
Esri Nederland, Community Map Contributors

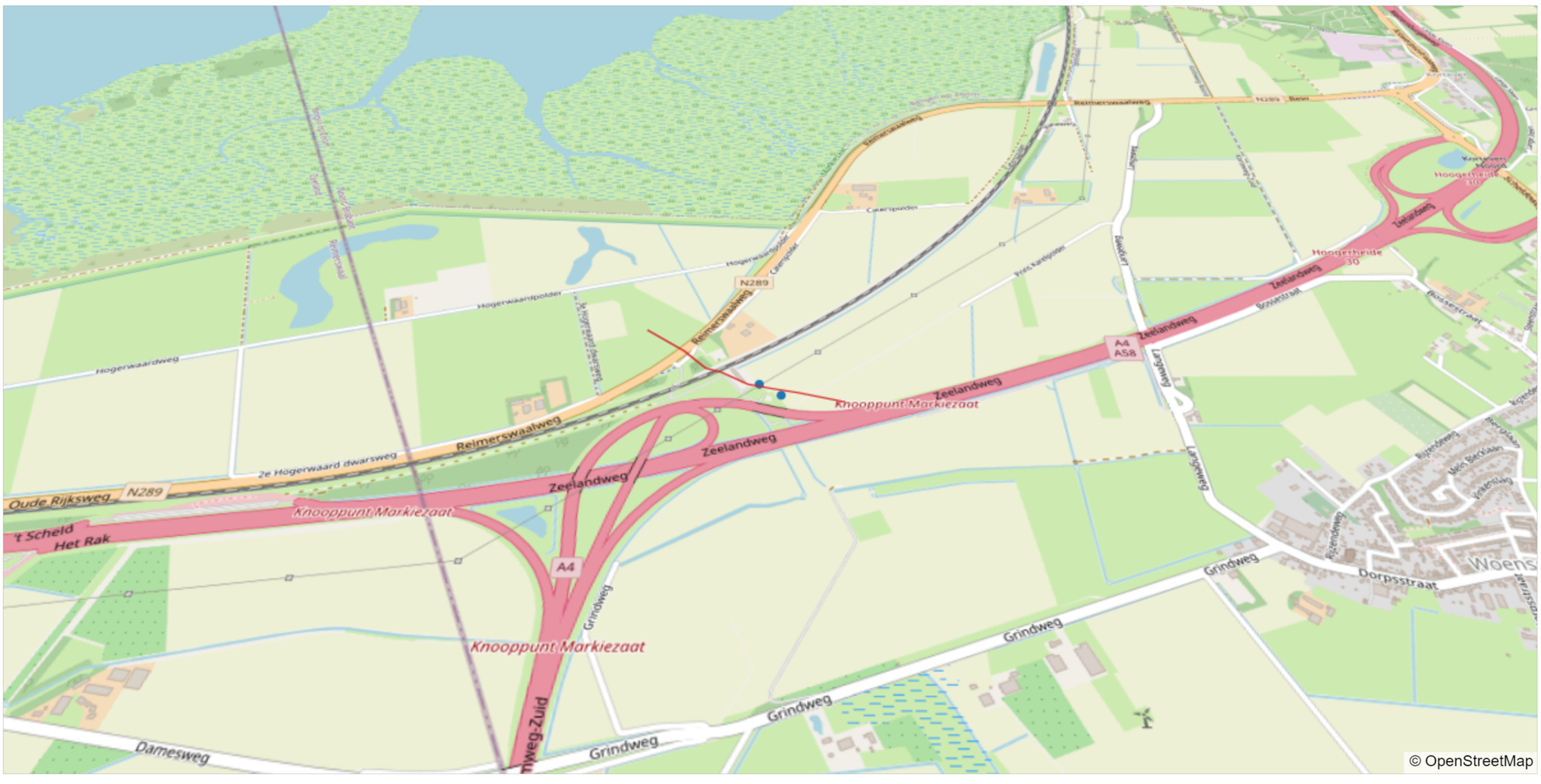
VKDP HDD 3



- Gravelly to dense sand
- Sands
- Sand mixtures
- Silt mixtures
- Clay
- Clay (org. mat) [3<N<15]
- Organic clay [15<N<30]
- Peat [N>30]
- Sensitive, fine grained
- Unknown

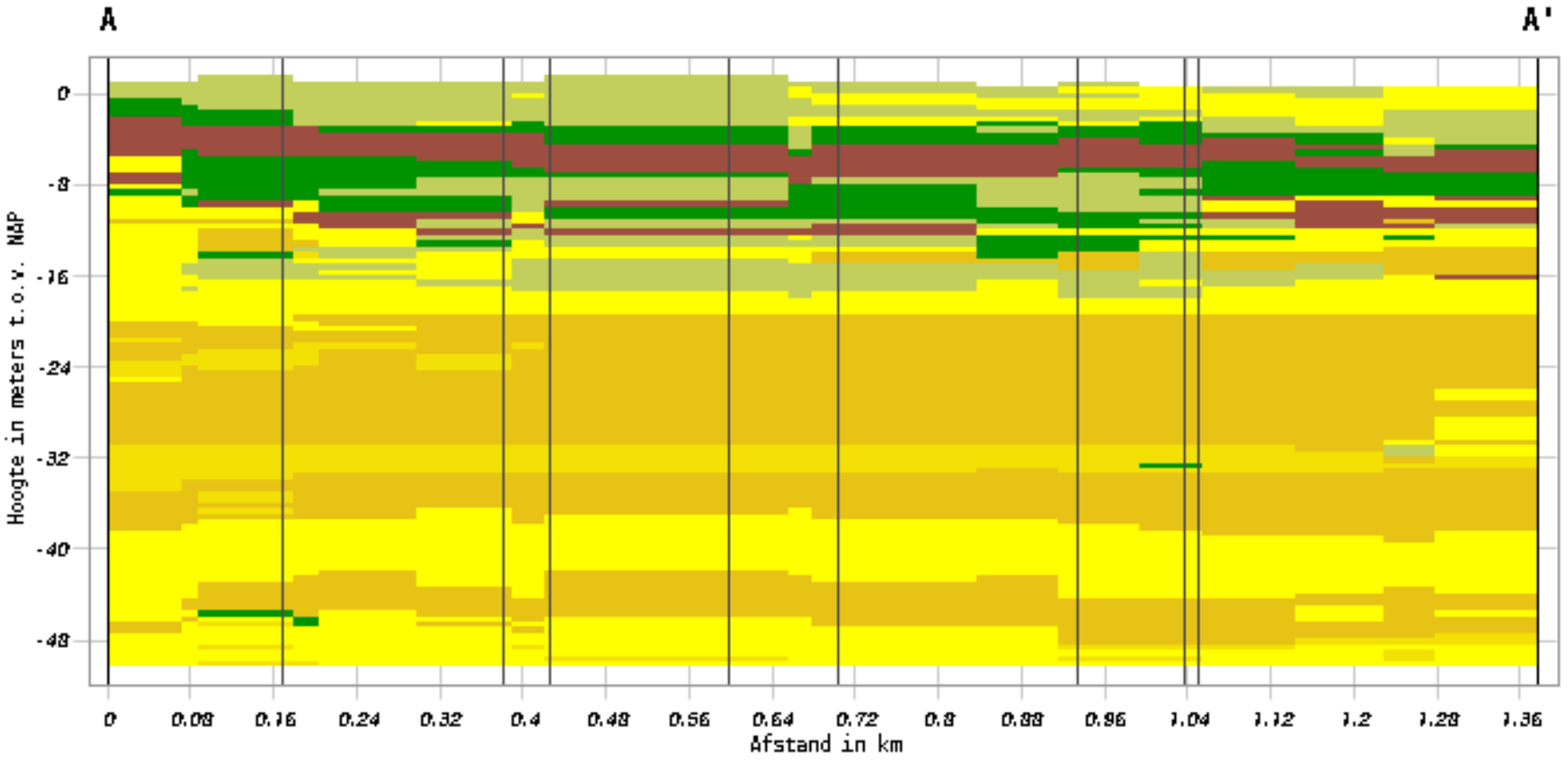


- Sands
- Sand mixtures
- Silt mixtures
- Clay
- Clay (org. mat) [3<N<15]
- Organic clay [15<N<30]
- Peat [N>30]
- Sensitive, fine grained



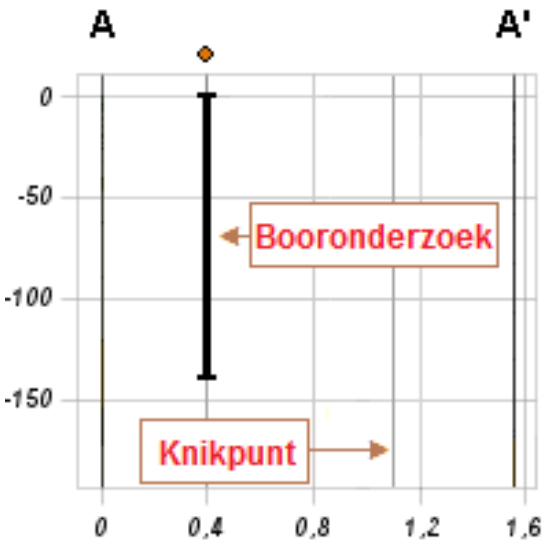
- cpt
- section

Verticale Doorsnede BRO GeoTOP v1.4



Lithoklasse

- a
- v
- k
- kz
- zf
- zm
- zg
- g
- she



Bijlage 3 – Berekening D-Geo Pipeline

Report for D-Geo Pipeline 20.1

Model : Horizontal Directional Drilling
Developed by Deltares

Date of report:	24-3-2022
Time of report:	08:55:25
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 Input Data 4
2.1 Model Used 4
2.2 Layer Boundaries 4
2.3 Pl-lines 4
2.4 Phreatic Line 4
2.5 Soil Profiles 4
2.6 Selected Boundaries 5
2.7 Soil Material Data 5
2.8 Geometry 6
2.8.1 Geometry Section, Detailed 6
2.8.2 Geometry Top View 6
2.9 Calculation Verticals 7
2.10 Traffic Load 7
2.11 Configuration of the Pipeline 8
2.12 Product Pipe Material Data 8
2.13 Pipe Engineering Data 9
2.14 Drilling Fluid Data 9
2.15 Factors 9
2.16 Calculation Options 10
3 Drilling Fluid Pressures 11
3.1 Drilling Fluid Data 11
3.2 Equilibrium between Drilling Fluid Pressure and Pore Pressure 13
3.3 Drilling Fluid Pressure Plots 14
3.3.1 Drilling Fluid Pressures during Pilot 14
3.3.2 Drilling Fluid Pressures during Prereaming 14
3.3.3 Drilling Fluid Pressures during Reaming and Pullback Operation 15
4 Soil Mechanical Data 16
4.1 Soil Mechanical Parameters Pipe 1: pipe nr. 1 16
4.2 Soil Mechanical Parameters Pipe 2: pipe nr. 2 17
4.3 Soil Mechanical Parameters Pipe 3: pipe nr. 3 19
4.4 Soil Mechanical Parameters Pipe 4: pipe nr. 4 21
4.5 Young's Modulus per Layer per Vertical 23
5 Data for Stress Analysis 26
5.1 General Data 26
5.2 Buoyancy Control 26
5.3 Calculation Pulling Force 26
6 Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1 28
6.1 Material Data of Pipe 1: pipe nr. 1 28
6.2 Results Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1 28
6.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation 28
6.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation 29
6.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure 29
6.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure) 29
6.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure) 29
6.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 1: pipe nr. 1 30
6.4 Check for Implosion of Pipe 1: pipe nr. 1 30
7 Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2 31
7.1 Material Data of Pipe 2: pipe nr. 2 31
7.2 Results Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2 31
7.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation 31
7.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation 32
7.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure 32
7.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure) 32
7.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure) 32
7.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 2: pipe nr. 2 33
7.4 Check for Implosion of Pipe 2: pipe nr. 2 33
8 Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3 35
8.1 Material Data of Pipe 3: pipe nr. 3 35
8.2 Results Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3 35
8.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation 35
8.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation 36
8.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure 36
8.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure) 36

8.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure) 36
8.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 3: pipe nr. 3 37
8.4 Check for Implosion of Pipe 3: pipe nr. 3 37
9 Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4 38
9.1 Material Data of Pipe 4: pipe nr. 4 38
9.2 Results Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4 38
9.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation 38
9.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation 39
9.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure 39
9.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure) 39
9.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure) 39
9.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 4: pipe nr. 4 40
9.4 Check for Implosion of Pipe 4: pipe nr. 4 40

2 Input Data

2.1 Model Used

Model Used : Horizontal Directional Drilling

2.2 Layer Boundaries

Boundary number	Co-ordinates [m]				
6 - L -	0,000	4,970	10,880	17,550	23,870
6 - Z -	1,370	1,310	1,280	1,240	1,270
6 - L -	31,150	36,450	42,670	45,610	62,770
6 - Z -	1,260	1,310	1,100	1,160	1,840
6 - L -	68,390	73,120	79,160	80,820	83,000
6 - Z -	1,990	2,070	3,420	3,570	3,630
6 - L -	84,830	91,430	93,600	96,670	100,570
6 - Z -	3,720	4,050	4,140	3,710	3,670
6 - L -	102,470	109,040	113,990	118,380	121,320
6 - Z -	3,600	1,720	1,660	1,700	1,410
6 - L -	125,320	127,890	130,440	135,880	139,280
6 - Z -	-0,110	0,640	0,580	0,590	0,670
6 - L -	144,910	154,690	162,750	166,210	176,340
6 - Z -	0,860	1,120	1,300	1,340	1,390
6 - L -	185,780	194,400	206,110	208,880	212,140
6 - Z -	1,290	1,260	1,210	0,970	0,260
6 - L -	213,980	220,860	225,440	229,390	234,110
6 - Z -	1,460	5,070	5,720	5,720	5,190
6 - L -	241,970	244,120	254,050	263,240	270,890
6 - Z -	-0,140	0,660	1,120	1,120	1,100
6 - L -	278,880	287,510	296,950	305,930	320,230
6 - Z -	1,060	1,110	1,150	1,150	1,190
6 - L -	335,880	347,430	358,050	378,310	390,900
6 - Z -	1,300	1,350	1,350	1,360	1,430
6 - L -	410,000				
6 - Z -	1,430				
5 - L -	0,000	410,000			
5 - Z -	-0,200	-0,200			
4 - L -	0,000	410,000			
4 - Z -	-2,500	-2,500			
3 - L -	0,000	410,000			
3 - Z -	-5,800	-5,800			
2 - L -	0,000	300,000	410,000		
2 - Z -	-9,000	-9,000	-5,800		
1 - L -	0,000	300,000	410,000		
1 - Z -	-15,000	-15,000	-14,000		
0 - L -	0,000	410,000			
0 - Z -	-30,000	-30,000			

2.3 Pl-lines

Pl-line number	Co-ordinates [m]				
1 - L -	0,000	410,000			
1 - Z -	0,000	0,000			

2.4 Phreatic Line

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

2.5 Soil Profiles

Layer number	Material name	Piezo-line at top	Piezo-line at bottom
6	Klei, zwak zandig, m...	1	1
5	Klei, schoon, slap	1	1

Layer number	Material name	Piezo-line at top	Piezo-line at bottom
4	Veen, slap	1	1
3	Klei, schoon, slap	1	1
2	Zand, schoon, los	1	1
1	Zand, schoon, vast	1	1

2.6 Selected Boundaries

The boundary between (cohesive) undrained top layers and underlaying (non-cohesive) drained layers, is situated at the top of layer number 2: Zand, schoon, los
The boundary between compressible top layers and underlaying non-compressible layers, is situated at the top of layer number 2: Zand, schoon, los

2.7 Soil Material Data

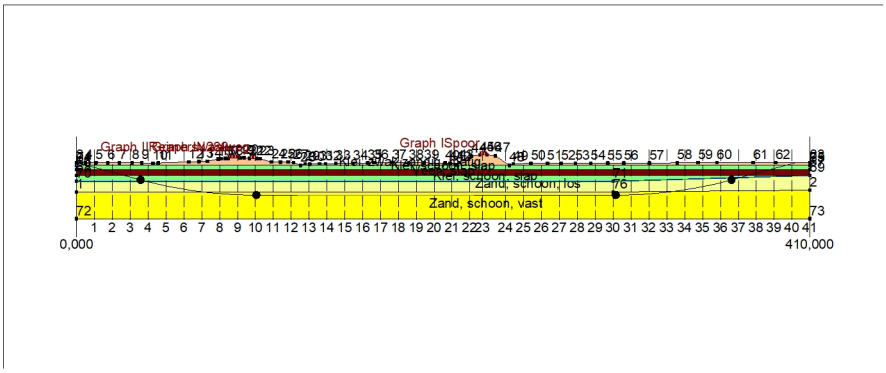
Name	Gamma unsat [kN/m³]	Gamma sat [kN/m³]	Cohesion [kN/m²]	Phi [deg]	Su top [kN/m²]	Su bottom [kN/m²]
Klei, zwak zandig, matig	17,00	17,00	5,00	22,50	120,00	120,00
Klei, schoon, slap	14,00	14,00	2,50	17,50	35,00	35,00
Veen, slap	11,00	11,00	1,50	15,00	25,00	25,00
Zand, schoon, los	17,00	19,00	0,00	30,00	0,00	0,00
Zand, schoon, vast	19,00	21,00	0,00	35,00	0,00	0,00

Name	Soil type	Emod 100 [kN/m²]	Emod top [kN/m²]	Emod bottom [kN/m²]
Klei, zwak zandig, matig	Clay	6000,00	-	-
Klei, schoon, slap	Clay	500,00	-	-
Veen, slap	Peat	200,00	-	-
Zand, schoon, los	Sand	15000,00	-	-
Zand, schoon, vast	Sand	60000,00	-	-

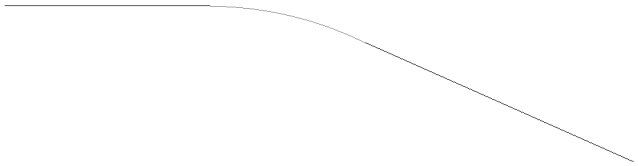
Name	Adhesion A [kN/m²]	Delta D [deg]	Nu [-]
Klei, zwak zandig, matig	-	-	0,20
Klei, schoon, slap	-	-	0,20
Veen, slap	-	-	0,40
Zand, schoon, los	-	-	0,30
Zand, schoon, vast	-	-	0,30

2.8 Geometry

2.8.1 Geometry Section, Detailed



2.8.2 Geometry Top View



2.9 Calculation Verticals

Vertical no.	L-coord. [m]	Z-coord. [m]
1	10,000	-1,309
2	20,000	-3,989
3	30,000	-6,668
4	40,000	-9,310
5	50,000	-11,591
6	60,000	-13,445
7	70,000	-14,883
8	80,000	-15,912
9	90,000	-16,536
10	100,000	-16,759
11	110,000	-16,760
12	120,000	-16,760
13	130,000	-16,760
14	140,000	-16,760
15	150,000	-16,760
16	160,000	-16,760
17	170,000	-16,760
18	180,000	-16,760
19	190,000	-16,760
20	200,000	-16,760
21	210,000	-16,760
22	220,000	-16,760
23	227,000	-16,760
24	240,000	-16,760
25	250,000	-16,760
26	260,000	-16,760
27	270,000	-16,760
28	280,000	-16,760
29	290,000	-16,760
30	300,000	-16,760
31	310,000	-16,615
32	320,000	-16,075
33	330,000	-15,130
34	340,000	-13,778
35	350,000	-12,011
36	360,000	-9,819
37	370,000	-7,225
38	380,000	-4,545
39	390,000	-1,866
40	400,000	0,814
41	410,000	n.a.

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

2.10 Traffic Load

N289		
L start	84,83	[m]
L end	91,43	[m]
Load model (graph type)	Graph I	
Reimerswaalweg		
L start	96,97	[m]
L end	100,43	[m]
Load model (graph type)	Graph II	
Spoor		
L start	225,44	[m]
L end	229,39	[m]
Load model (graph type)	Graph I	

2.11 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	1,370	[m]
X co-ordinate right point	383,550	[m]
Y co-ordinate right point	-94,800	[m]
Z co-ordinate right point	1,430	[m]
Angle left	15,0000	[deg]
Angle right	15,0000	[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)	-16,760	[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	125,300	0,000	219,800	-22,200	220,000	left

2.12 Product Pipe Material Data

Input data pipe nr. 1		
Material	Polyethene	
Quality	PE100	
Young's modulus (short)	975,00	[N/mm²]
Young's modulus (long)	350,00	[N/mm²]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm²]
Allowable strength (long)	8,00	[N/mm²]
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/m³]
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/mm²]
Young's modulus (long)	350,00	[N/mm²]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm²]
Allowable strength (long)	8,00	[N/mm²]
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/m³]
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/mm²]
Young's modulus (long)	350,00	[N/mm²]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm²]
Allowable strength (long)	8,00	[N/mm²]
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/m³]
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/mm²]
Young's modulus (long)	350,00	[N/mm²]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm²]
Allowable strength (long)	8,00	[N/mm²]
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/m³]
Design pressure	0,00	[bar]
Test pressure	0,00	[bar]
Temperature variation	0,00	[deg C]

2.13 Pipe Engineering Data

Pipe filled with water on rollers	No	
Part of cross section filled with fluid	0	[%]
Unit weight fluid	10,00	[kN/m³]
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/m³]
Phi drilling fluid	15,00	[deg]
Cohesion drilling fluid	5,00	[kN/m²]
Factor of friction pipe-roller (f1)	0,10	[-]
Friction pipe-drilling fluid (f2)	0,000050	[N/mm²]
Factor of friction pipe-soil (f3)	0,20	[-]

2.14 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)	11,5	[kN/m³]
Yieldpoint drilling fluid (Tau)	0,014	[kN/m²]
Plastic viscosity drilling fluid (Mu)	0,000040	[kN.s/m²]

2.15 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/m³]
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	[-]

2.16 Calculation Options

Stress analysis option : Standard

3 Drilling Fluid Pressures

3.1 Drilling Fluid Data

Vertical no.	Drilling fluid pressures pilot [kN/m²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	82	82	36	229
2	85	85	72	255
3	135	135	108	281
4	158	158	144	306
5	284	368	175	327
6	345	523	201	343
7	391	614	223	355
8	682	1158	240	361
9	745	1304	252	364
10	741	1302	259	361
11	640	1090	264	356
12	632	1071	269	351
13	581	966	274	346
14	587	978	279	341
15	603	1011	284	336
16	616	1038	289	331
17	622	1051	294	326
18	622	1050	299	321
19	618	1042	304	316
20	616	1038	309	311
21	588	981	314	306
22	789	1401	319	301
23	843	1516	323	298
24	613	1033	329	291
25	599	1004	334	286
26	609	1025	339	281
27	608	1023	344	276
28	607	1019	349	271
29	609	1025	354	266
30	611	1028	359	261
31	610	1032	363	255
32	589	987	362	243
33	515	841	356	228
34	348	543	345	207
35	307	463	330	182
36	252	326	310	151
37	140	140	285	116
38	92	92	260	80
39	88	88	234	44
40	99	99	208	8

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	91	91	33	36
2	87	87	65	72
3	133	133	98	108
4	158	158	130	144
5	284	312	158	175
6	345	465	182	201
7	391	574	200	223
8	661	963	214	240
9	733	1107	223	252
10	731	1112	227	259
11	632	928	229	263
12	623	913	231	261
13	573	822	233	259

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
14	579	832	234	257
15	595	861	236	256
16	607	884	238	254
17	614	895	240	252
18	613	895	242	250
19	609	887	243	248
20	607	884	245	246
21	580	835	247	245
22	777	1199	249	243
23	830	1299	250	242
24	605	880	253	239
25	591	855	254	237
26	601	873	256	235
27	600	871	258	234
28	598	868	260	232
29	601	873	262	230
30	603	876	261	228
31	601	880	255	225
32	576	834	243	217
33	469	679	228	204
34	348	507	207	187
35	307	411	182	164
36	252	275	151	137
37	140	140	116	106
38	94	94	80	73
39	93	93	44	40
40	18	18	8	8

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	103	103	32	33
2	93	93	65	65
3	128	128	97	98
4	158	158	129	130
5	247	247	157	158
6	345	371	180	182
7	391	472	198	200
8	600	686	212	214
9	699	805	220	223
10	703	813	225	227
11	608	683	226	229
12	600	672	228	231
13	552	609	229	233
14	558	616	231	234
15	573	636	232	236
16	585	652	234	238
17	591	660	236	240
18	591	660	237	242
19	587	655	239	243
20	585	652	240	241
21	559	618	242	240
22	747	876	243	238
23	798	948	242	237
24	583	649	239	235
25	570	632	237	234
26	579	644	235	232
27	578	643	234	230
28	576	641	232	229
29	579	644	230	227
30	581	646	228	226
31	578	650	225	222
32	543	610	217	215
33	383	488	204	202

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
34	348	417	187	185
35	307	328	164	163
36	216	216	137	136
37	140	140	106	105
38	99	99	73	72
39	104	104	40	40
40	0	0	8	7

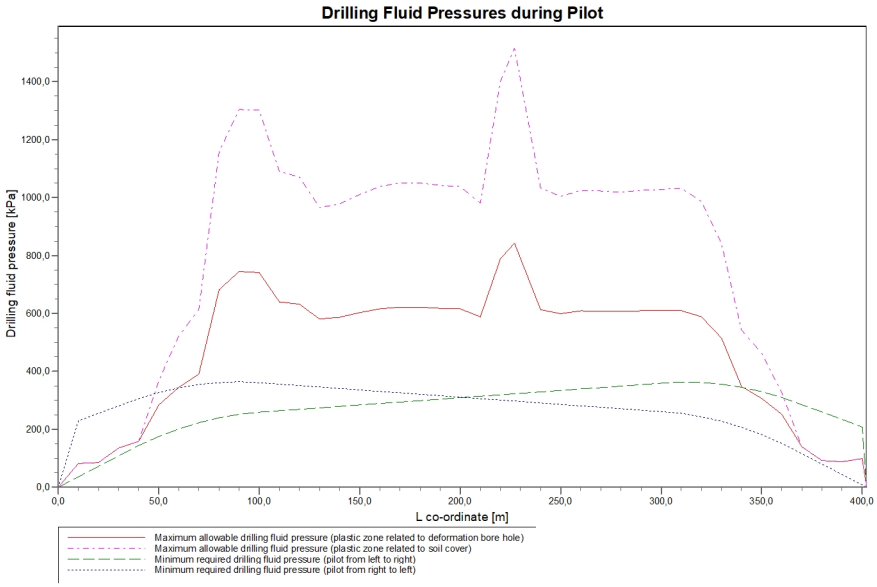
3.2 Equilibrium between Drilling Fluid Pressure and Pore Pressure

Vertical no.	Static column pressure			
	Drilling fluid [kN/m²]	Water [kN/m²]	Safety [-]	Result
1	31	13	2,35	sufficient
2	62	40	1,54	sufficient
3	92	67	1,39	sufficient
4	123	93	1,32	sufficient
5	149	116	1,29	sufficient
6	170	134	1,27	sufficient
7	187	149	1,26	sufficient
8	199	159	1,25	sufficient
9	206	165	1,25	sufficient
10	209	168	1,24	sufficient
11	209	168	1,24	sufficient
12	209	168	1,25	sufficient
13	209	168	1,25	sufficient
14	209	168	1,25	sufficient
15	209	168	1,25	sufficient
16	209	168	1,25	sufficient
17	209	168	1,25	sufficient
18	209	168	1,25	sufficient
19	209	168	1,25	sufficient
20	209	168	1,25	sufficient
21	209	168	1,25	sufficient
22	209	168	1,25	sufficient
23	209	168	1,25	sufficient
24	209	168	1,25	sufficient
25	209	168	1,25	sufficient
26	209	168	1,25	sufficient
27	209	168	1,25	sufficient
28	209	168	1,25	sufficient
29	209	168	1,25	sufficient
30	209	168	1,25	sufficient
31	207	166	1,25	sufficient
32	201	161	1,25	sufficient
33	190	151	1,26	sufficient
34	175	138	1,27	sufficient
35	155	120	1,29	sufficient
36	129	98	1,32	sufficient
37	100	72	1,38	sufficient
38	69	45	1,51	sufficient
39	38	19	2,03	sufficient
40	7	0	-	sufficient

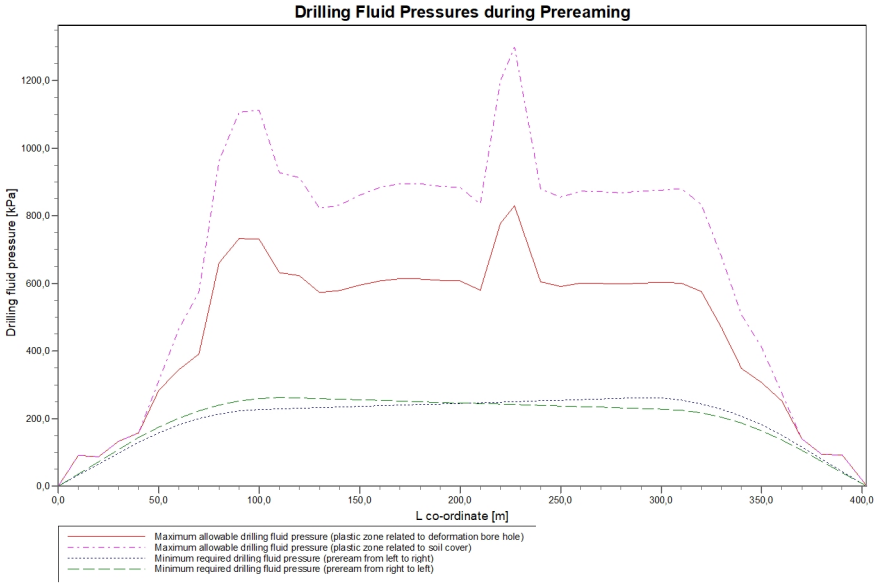
The static drilling fluid pressure is calculated and can be compared with the calculated groundwater pressure. The quotient of the drilling fluid pressure and the groundwater pressure yields the safey factor, which should be higher than the requested factor of safety of 1,10.

3.3 Drilling Fluid Pressure Plots

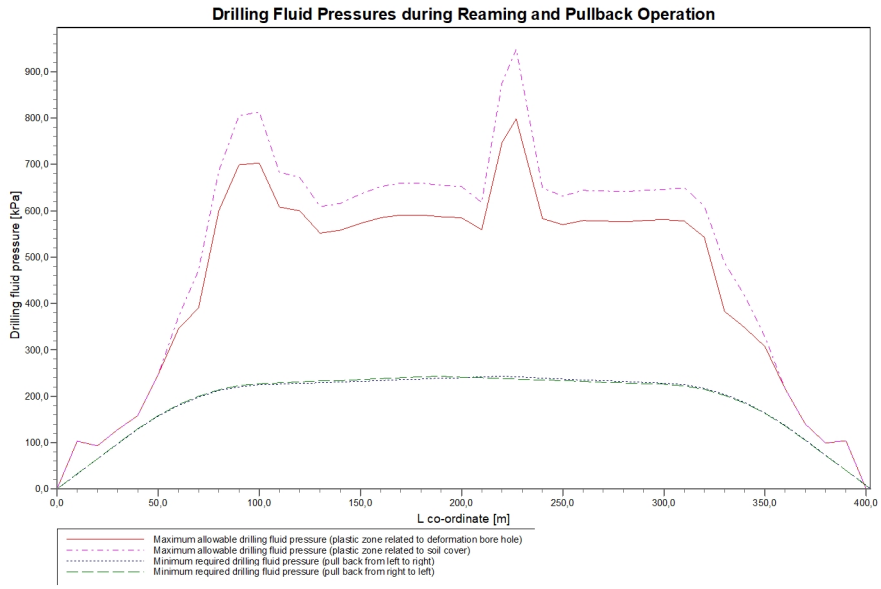
3.3.1 Drilling Fluid Pressures during Pilot



3.3.2 Drilling Fluid Pressures during Prereaming



3.3.3 Drilling Fluid Pressures during Reaming and Pullback Operation



4 Soil Mechanical Data

4.1 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/m²
q_v;n	Neutral soil stress	kN/m²
q_h;n	Neutral horizontal soil stress	kN/m²
q_v,r;n	Reduced neutral soil stress	kN/m²
q_traffic	Traffic load	kN/m²
q_v;e	Vertical bearing capacity	kN/m²
q_h;e	Horizontal bearing capacity	kN/m²
k_v;bot	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m³
k_v;top	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m³
k_h	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m³
t_max	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m²
d_max	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
1	58	27	20	27	0	242
2	50	33	16	21	0	210
3	78	38	18	24	0	327
4	331	49	19	25	0	1308
5	458	72	19	26	0	1919
6	580	95	15	20	0	2543
7	669	113	13	18	0	5318
8	1558	149	13	18	0	7000
9	1688	164	13	17	2	7705
10	1665	161	13	17	0	7580
11	1374	128	12	17	0	6016
12	1349	125	12	17	0	5883
13	1203	109	12	17	0	5128
14	1219	111	12	17	0	5211
15	1266	116	12	17	0	5450
16	1303	120	12	17	0	5643
17	1321	122	12	17	0	5739
18	1320	122	12	17	0	5733
19	1309	120	12	17	0	5672
20	1303	120	12	17	0	5641
21	1224	111	12	17	0	5236
22	1800	177	13	17	0	8329
23	1955	196	13	18	2	9205
24	1296	119	12	17	0	5609
25	1256	115	12	17	0	5400
26	1285	118	12	17	0	5549
27	1282	117	12	17	0	5535
28	1277	117	12	17	0	5506
29	1285	118	12	17	0	5549
30	1289	118	12	17	0	5573
31	1291	118	12	17	0	5584
32	1256	115	12	16	0	5404
33	1186	107	12	16	0	5050
34	589	97	12	17	0	2591
35	517	83	14	18	0	2220
36	420	65	18	24	0	1734
37	296	43	17	22	0	1153
38	54	36	16	22	0	225
39	66	32	24	32	0	277
40	12	8	6	8	0	222

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
1	58	214	1062	150	0,05	7,5
2	50	126	145	88	0,05	7,5
3	78	347	211	243	0,05	7,5
4	331	22022	1891	15415	0,05	7,5
5	458	26432	23233	18502	0,05	7,5
6	580	42172	27558	29520	0,05	7,5
7	669	153305	30502	107313	0,05	7,5
8	1558	176827	95810	123779	0,05	7,5
9	1688	185845	155931	130091	0,05	7,5
10	1665	184261	171633	128983	0,05	7,5
11	1374	163570	149572	114499	0,05	7,5
12	1349	161703	147564	113192	0,05	7,5
13	1203	150814	135778	105570	0,05	7,5
14	1219	152036	137108	106425	0,05	7,5
15	1266	155532	140901	108872	0,05	7,5
16	1303	158311	143907	110818	0,05	7,5
17	1321	159669	145372	111768	0,05	7,5
18	1320	159585	145281	111709	0,05	7,5
19	1309	158727	144356	111109	0,05	7,5
20	1303	158283	143876	110798	0,05	7,5
21	1224	152408	137512	106686	0,05	7,5
22	1800	193545	181436	135482	0,05	7,5
23	1955	203952	192368	142766	0,05	7,5
24	1296	157826	143383	110478	0,05	7,5
25	1256	154806	140115	108364	0,05	7,5
26	1285	156961	142448	109873	0,05	7,5
27	1282	156759	142229	109731	0,05	7,5
28	1277	156349	141785	109444	0,05	7,5
29	1285	156968	142455	109877	0,05	7,5
30	1289	157304	142818	110113	0,05	7,5
31	1291	157465	141110	110225	0,05	7,5
32	1256	154876	106588	108413	0,05	7,5
33	1186	149661	45397	104763	0,05	7,5
34	589	91219	27867	63853	0,05	7,5
35	517	28393	25400	19875	0,05	7,5
36	420	25170	21820	17619	0,05	7,5
37	296	20794	1260	14556	0,05	7,5
38	54	191	128	134	0,05	7,5
39	66	179	359	125	0,05	7,5
40	93	49325	13	34527	0,05	7,5

Maximum soil stress : q_v;n;max = 196 kN/m²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads) : q_traffic;max = 32 kN/m²
Maximum reduced soil stress : q_v;r;n;max = 32 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)
only for verticals in deep situation : k_v;max = 203952 kN/m³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor)
only for verticals in deep situation : k_v;max = 407904 kN/m³

4.2 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/m²
q_v;n	Neutral soil stress	kN/m²
q_h;n	Neutral horizontal soil stress	kN/m²
q_v,r;n	Reduced neutral soil stress	kN/m²
q_traffic	Traffic load	kN/m²
q_v;e	Vertical bearing capacity	kN/m²
q_h;e	Horizontal bearing capacity	kN/m²
k_v;bot	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m³
k_v;top	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m³

k_h	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m³
t_max	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m²
d_max	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
1	58	27	20	27	0	242
2	50	33	16	21	0	210
3	78	38	18	24	0	327
4	331	49	19	25	0	1308
5	458	72	19	26	0	1919
6	580	95	15	20	0	2543
7	669	113	13	18	0	5318
8	1558	149	13	18	0	7000
9	1688	164	13	17	2	7705
10	1665	161	13	17	0	7580
11	1374	128	12	17	0	6016
12	1349	125	12	17	0	5883
13	1203	109	12	17	0	5128
14	1219	111	12	17	0	5211
15	1266	116	12	17	0	5450
16	1303	120	12	17	0	5643
17	1321	122	12	17	0	5739
18	1320	122	12	17	0	5733
19	1309	120	12	17	0	5672
20	1303	120	12	17	0	5641
21	1224	111	12	17	0	5236
22	1800	177	13	17	0	8329
23	1955	196	13	18	2	9205
24	1296	119	12	17	0	5609
25	1256	115	12	17	0	5400
26	1285	118	12	17	0	5549
27	1282	117	12	17	0	5535
28	1277	117	12	17	0	5506
29	1285	118	12	17	0	5549
30	1289	118	12	17	0	5573
31	1291	118	12	17	0	5584
32	1256	115	12	16	0	5404
33	1186	107	12	16	0	5050
34	589	97	12	17	0	2591
35	517	83	14	18	0	2220
36	420	65	18	24	0	1734
37	296	43	17	22	0	1153
38	54	36	16	22	0	225
39	66	32	24	32	0	277
40	12	8	6	8	0	222

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
1	58	214	1062	150	0,05	7,5
2	50	126	145	88	0,05	7,5
3	78	347	211	243	0,05	7,5
4	331	22022	1891	15415	0,05	7,5
5	458	26432	23233	18502	0,05	7,5
6	580	42172	27558	29520	0,05	7,5
7	669	153305	30502	107313	0,05	7,5
8	1558	176827	95810	123779	0,05	7,5
9	1688	185845	155931	130091	0,05	7,5
10	1665	184261	171633	128983	0,05	7,5
11	1374	163570	149572	114499	0,05	7,5
12	1349	161703	147564	113192	0,05	7,5
13	1203	150814	135778	105570	0,05	7,5
14	1219	152036	137108	106425	0,05	7,5
15	1266	155532	140901	108872	0,05	7,5
16	1303	158311	143907	110818	0,05	7,5
17	1321	159669	145372	111768	0,05	7,5
18	1320	159585	145281	111709	0,05	7,5

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
19	1309	158727	144356	111109	0,05	7,5
20	1303	158283	143876	110798	0,05	7,5
21	1224	152408	137512	106686	0,05	7,5
22	1800	193545	181436	135482	0,05	7,5
23	1955	203952	192368	142766	0,05	7,5
24	1296	157826	143383	110478	0,05	7,5
25	1256	154806	140115	108364	0,05	7,5
26	1285	156961	142448	109873	0,05	7,5
27	1282	156759	142229	109731	0,05	7,5
28	1277	156349	141785	109444	0,05	7,5
29	1285	156968	142455	109877	0,05	7,5
30	1289	157304	142818	110113	0,05	7,5
31	1291	157465	141110	110225	0,05	7,5
32	1256	154876	106588	108413	0,05	7,5
33	1186	149661	45397	104763	0,05	7,5
34	589	91219	27867	63853	0,05	7,5
35	517	28393	25400	19875	0,05	7,5
36	420	25170	21820	17619	0,05	7,5
37	296	20794	1260	14556	0,05	7,5
38	54	191	128	134	0,05	7,5
39	66	179	359	125	0,05	7,5
40	93	49325	13	34527	0,05	7,5

Maximum soil stress : q_v;n;max = 196 kN/m²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads) : q_traffic;max = 32 kN/m²
Maximum reduced soil stress : q_v;r;n;max = 32 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)
only for verticals in deep situation : k_v;max = 203952 kN/m³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor)
only for verticals in deep situation : k_v;max = 407904 kN/m³

4.3 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/m²
q_v;n	Neutral soil stress	kN/m²
q_h;n	Neutral horizontal soil stress	kN/m²
q_v,r;n	Reduced neutral soil stress	kN/m²
q_traffic	Traffic load	kN/m²
q_v;e	Vertical bearing capacity	kN/m²
q_h;e	Horizontal bearing capacity	kN/m²
k_v;bot	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m³
k_v;top	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m³
k_h	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m³
t_max	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m²
d_max	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
1	58	27	20	27	0	242
2	50	33	16	21	0	210
3	78	38	18	24	0	327
4	331	49	19	25	0	1308
5	458	72	19	26	0	1919
6	580	95	15	20	0	2543
7	669	113	13	18	0	5318
8	1558	149	13	18	0	7000
9	1688	164	13	17	2	7705
10	1665	161	13	17	0	7580
11	1374	128	12	17	0	6016
12	1349	125	12	17	0	5883
13	1203	109	12	17	0	5128

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
14	1219	111	12	17	0	5211
15	1266	116	12	17	0	5450
16	1303	120	12	17	0	5643
17	1321	122	12	17	0	5739
18	1320	122	12	17	0	5733
19	1309	120	12	17	0	5672
20	1303	120	12	17	0	5641
21	1224	111	12	17	0	5236
22	1800	177	13	17	0	8329
23	1955	196	13	18	2	9205
24	1296	119	12	17	0	5609
25	1256	115	12	17	0	5400
26	1285	118	12	17	0	5549
27	1282	117	12	17	0	5535
28	1277	117	12	17	0	5506
29	1285	118	12	17	0	5549
30	1289	118	12	17	0	5573
31	1291	118	12	17	0	5584
32	1256	115	12	16	0	5404
33	1186	107	12	16	0	5050
34	589	97	12	17	0	2591
35	517	83	14	18	0	2220
36	420	65	18	24	0	1734
37	296	43	17	22	0	1153
38	54	36	16	22	0	225
39	66	32	24	32	0	277
40	12	8	6	8	0	222

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
1	58	214	1062	150	0,05	7,5
2	50	126	145	88	0,05	7,5
3	78	347	211	243	0,05	7,5
4	331	22022	1891	15415	0,05	7,5
5	458	26432	23233	18502	0,05	7,5
6	580	42172	27558	29520	0,05	7,5
7	669	153305	30502	107313	0,05	7,5
8	1558	176827	95810	123779	0,05	7,5
9	1688	185845	155931	130091	0,05	7,5
10	1665	184261	171633	128983	0,05	7,5
11	1374	163570	149572	114499	0,05	7,5
12	1349	161703	147564	113192	0,05	7,5
13	1203	150814	135778	105570	0,05	7,5
14	1219	152036	137108	106425	0,05	7,5
15	1266	155532	140901	108872	0,05	7,5
16	1303	158311	143907	110818	0,05	7,5
17	1321	159669	145372	111768	0,05	7,5
18	1320	159585	145281	111709	0,05	7,5
19	1309	158727	144356	111109	0,05	7,5
20	1303	158283	143876	110798	0,05	7,5
21	1224	152408	137512	106686	0,05	7,5
22	1800	193545	181436	135482	0,05	7,5
23	1955	203952	192368	142766	0,05	7,5
24	1296	157826	143383	110478	0,05	7,5
25	1256	154806	140115	108364	0,05	7,5
26	1285	156961	142448	109873	0,05	7,5
27	1282	156759	142229	109731	0,05	7,5
28	1277	156349	141785	109444	0,05	7,5
29	1285	156968	142455	109877	0,05	7,5
30	1289	157304	142818	110113	0,05	7,5
31	1291	157465	141110	110225	0,05	7,5
32	1256	154876	106588	108413	0,05	7,5
33	1186	149661	45397	104763	0,05	7,5
34	589	91219	27867	63853	0,05	7,5
35	517	28393	25400	19875	0,05	7,5

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
36	420	25170	21820	17619	0,05	7,5
37	296	20794	1260	14556	0,05	7,5
38	54	191	128	134	0,05	7,5
39	66	179	359	125	0,05	7,5
40	93	49325	13	34527	0,05	7,5

Maximum soil stress : q_v;n;max = 196 kN/m²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads) : q_traffic;max = 32 kN/m²
Maximum reduced soil stress : q_v;r;n;max = 32 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation : k_v;max = 203952 kN/m³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation : k_v;max = 407904 kN/m³

4.4 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/m²
q_v;n	Neutral soil stress	kN/m²
q_h;n	Neutral horizontal soil stress	kN/m²
q_v,r;n	Reduced neutral soil stress	kN/m²
q_traffic	Traffic load	kN/m²
q_v;e	Vertical bearing capacity	kN/m²
q_h;e	Horizontal bearing capacity	kN/m²
k_v;bot	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m³
k_v;top	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m³
k_h	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m³
t_max	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m²
d_max	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
1	58	27	20	27	0	242
2	50	33	16	21	0	210
3	78	38	18	24	0	327
4	331	49	19	25	0	1308
5	458	72	19	26	0	1919
6	580	95	15	20	0	2543
7	669	113	13	18	0	5318
8	1558	149	13	18	0	7000
9	1688	164	13	17	2	7705
10	1665	161	13	17	0	7580
11	1374	128	12	17	0	6016
12	1349	125	12	17	0	5883
13	1203	109	12	17	0	5128
14	1219	111	12	17	0	5211
15	1266	116	12	17	0	5450
16	1303	120	12	17	0	5643
17	1321	122	12	17	0	5739
18	1320	122	12	17	0	5733
19	1309	120	12	17	0	5672
20	1303	120	12	17	0	5641
21	1224	111	12	17	0	5236
22	1800	177	13	17	0	8329
23	1955	196	13	18	2	9205
24	1296	119	12	17	0	5609
25	1256	115	12	17	0	5400
26	1285	118	12	17	0	5549
27	1282	117	12	17	0	5535
28	1277	117	12	17	0	5506
29	1285	118	12	17	0	5549
30	1289	118	12	17	0	5573

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
31	1291	118	12	17	0	5584
32	1256	115	12	16	0	5404
33	1186	107	12	16	0	5050
34	589	97	12	17	0	2591
35	517	83	14	18	0	2220
36	420	65	18	24	0	1734
37	296	43	17	22	0	1153
38	54	36	16	22	0	225
39	66	32	24	32	0	277
40	12	8	6	8	0	222

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
1	58	214	1062	150	0,05	7,5
2	50	126	145	88	0,05	7,5
3	78	347	211	243	0,05	7,5
4	331	22022	1891	15415	0,05	7,5
5	458	26432	23233	18502	0,05	7,5
6	580	42172	27558	29520	0,05	7,5
7	669	153305	30502	107313	0,05	7,5
8	1558	176827	95810	123779	0,05	7,5
9	1688	185845	155931	130091	0,05	7,5
10	1665	184261	171633	128983	0,05	7,5
11	1374	163570	149572	114499	0,05	7,5
12	1349	161703	147564	113192	0,05	7,5
13	1203	150814	135778	105570	0,05	7,5
14	1219	152036	137108	106425	0,05	7,5
15	1266	155532	140901	108872	0,05	7,5
16	1303	158311	143907	110818	0,05	7,5
17	1321	159669	145372	111768	0,05	7,5
18	1320	159585	145281	111709	0,05	7,5
19	1309	158727	144356	111109	0,05	7,5
20	1303	158283	143876	110798	0,05	7,5
21	1224	152408	137512	106686	0,05	7,5
22	1800	193545	181436	135482	0,05	7,5
23	1955	203952	192368	142766	0,05	7,5
24	1296	157826	143383	110478	0,05	7,5
25	1256	154806	140115	108364	0,05	7,5
26	1285	156961	142448	109873	0,05	7,5
27	1282	156759	142229	109731	0,05	7,5
28	1277	156349	141785	109444	0,05	7,5
29	1285	156968	142455	109877	0,05	7,5
30	1289	157304	142818	110113	0,05	7,5
31	1291	157465	141110	110225	0,05	7,5
32	1256	154876	106588	108413	0,05	7,5
33	1186	149661	45397	104763	0,05	7,5
34	589	91219	27867	63853	0,05	7,5
35	517	28393	25400	19875	0,05	7,5
36	420	25170	21820	17619	0,05	7,5
37	296	20794	1260	14556	0,05	7,5
38	54	191	128	134	0,05	7,5
39	66	179	359	125	0,05	7,5
40	93	49325	13	34527	0,05	7,5

Maximum soil stress : $q_{v;n;max} = 196$ kN/m²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads) : $q_{traffic;max} = 32$ kN/m²
Maximum reduced soil stress : $q_{v;r;n;max} = 32$ kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)
only for verticals in deep situation : $k_{v;max} = 203952$ kN/m³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor)
only for verticals in deep situation : $k_{v;max} = 407904$ kN/m³

4.5 Young's Modulus per Layer per Vertical

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

Layer number	Vertical 1 (L=10 m)		Vertical 2 (L=20 m)		Vertical 3 (L=30 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	1,867	0,000	1,831	0,000	1,842
5	0,156	0,203	0,153	0,200	0,153	0,201
4	0,081	0,088	0,080	0,087	0,080	0,087
3	0,220	0,280	0,217	0,278	0,218	0,279
2	10,450	15,189	10,390	15,148	10,408	15,160
1	60,756	98,139	60,590	98,037	60,641	98,068

Layer number	Vertical 4 (L=40 m)		Vertical 5 (L=50 m)		Vertical 6 (L=60 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	1,763	0,000	1,921	0,000	2,340
5	0,147	0,195	0,160	0,207	0,195	0,240
4	0,078	0,085	0,083	0,089	0,096	0,102
3	0,212	0,273	0,224	0,284	0,256	0,315
2	10,276	15,070	10,540	15,251	11,236	15,740
1	60,279	97,845	61,005	98,293	62,961	99,519

Layer number	Vertical 7 (L=70 m)		Vertical 8 (L=80 m)		Vertical 9 (L=90 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	2,632	0,000	4,031	0,000	4,461
5	0,219	0,263	0,336	0,376	0,372	0,411
4	0,105	0,112	0,150	0,156	0,164	0,170
3	0,279	0,337	0,390	0,444	0,425	0,477
2	11,715	16,085	13,921	17,757	14,569	18,269
1	64,341	100,398	71,026	104,808	73,076	106,208

Layer number	Vertical 10 (L=100 m)		Vertical 11 (L=110 m)		Vertical 12 (L=120 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	4,193	0,000	2,317	0,000	2,141
5	0,349	0,389	0,193	0,239	0,178	0,225
4	0,156	0,161	0,095	0,102	0,090	0,096
3	0,403	0,456	0,254	0,313	0,241	0,300
2	14,166	17,949	11,199	15,714	10,908	15,508
1	71,797	105,332	62,855	99,452	62,031	98,933

Layer number	Vertical 13 (L=130 m)		Vertical 14 (L=140 m)		Vertical 15 (L=150 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	1,059	0,000	1,188	0,000	1,543
5	0,088	0,141	0,099	0,151	0,129	0,178
4	0,057	0,064	0,060	0,067	0,071	0,078
3	0,159	0,224	0,169	0,233	0,195	0,257
2	9,092	14,288	9,308	14,427	9,907	14,820
1	57,153	95,950	57,707	96,281	59,282	97,233

Layer number	Vertical 16 (L=160 m)		Vertical 17 (L=170 m)		Vertical 18 (L=180 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	1,816	0,000	1,947	0,000	1,939

Layer number	Vertical 16 (L=160 m)		Vertical 17 (L=170 m)		Vertical 18 (L=180 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,151	0,199	0,162	0,209	0,162	0,209
4	0,080	0,086	0,084	0,090	0,084	0,090
3	0,216	0,277	0,226	0,286	0,225	0,286
2	10,366	15,131	10,585	15,282	10,572	15,273
1	60,524	97,996	61,129	98,370	61,091	98,347

Layer number	Vertical 19 (L=190 m)		Vertical 20 (L=200 m)		Vertical 21 (L=210 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	1,857	0,000	1,814	0,000	1,226
5	0,155	0,202	0,151	0,199	0,102	0,154
4	0,081	0,087	0,080	0,086	0,062	0,069
3	0,219	0,280	0,215	0,277	0,171	0,236
2	10,433	15,177	10,361	15,128	9,373	14,469
1	60,710	98,111	60,512	97,988	57,875	96,382

Layer number	Vertical 22 (L=220 m)		Vertical 23 (L=227 m)		Vertical 24 (L=240 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	5,015	0,000	5,935	0,000	1,769
5	0,418	0,456	0,495	0,531	0,147	0,196
4	0,182	0,188	0,212	0,218	0,078	0,085
3	0,469	0,521	0,544	0,594	0,212	0,273
2	15,386	18,927	16,699	20,009	10,287	15,077
1	75,709	108,036	80,036	111,112	60,308	97,863

Layer number	Vertical 25 (L=250 m)		Vertical 26 (L=260 m)		Vertical 27 (L=270 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	1,471	0,000	1,685	0,000	1,665
5	0,123	0,173	0,140	0,189	0,139	0,187
4	0,069	0,076	0,076	0,082	0,075	0,082
3	0,190	0,252	0,206	0,267	0,204	0,266
2	9,785	14,739	10,145	14,980	10,111	14,958
1	58,956	97,035	59,922	97,625	59,832	97,570

Layer number	Vertical 28 (L=280 m)		Vertical 29 (L=290 m)		Vertical 30 (L=300 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	1,624	0,000	1,685	0,000	1,718
5	0,135	0,184	0,140	0,189	0,143	0,192
4	0,074	0,080	0,076	0,082	0,077	0,083
3	0,201	0,263	0,206	0,267	0,208	0,270
2	10,043	14,912	10,146	14,981	10,201	15,019
1	59,648	97,457	59,925	97,627	60,075	97,719

Layer number	Vertical 31 (L=310 m)		Vertical 32 (L=320 m)		Vertical 33 (L=330 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	1,731	0,000	1,762	0,000	1,838
5	0,144	0,193	0,147	0,195	0,153	0,201
4	0,077	0,084	0,078	0,085	0,080	0,087
3	0,209	0,265	0,212	0,262	0,217	0,262
2	10,094	15,081	10,017	15,163	10,018	15,298
1	60,323	98,055	60,654	98,442	61,190	98,956

Layer number	Vertical 34 (L=340 m)		Vertical 35 (L=350 m)		Vertical 36 (L=360 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	1,903	0,000	1,938	0,000	1,939
5	0,159	0,206	0,161	0,209	0,162	0,209
4	0,082	0,089	0,083	0,090	0,084	0,090
3	0,222	0,261	0,225	0,258	0,225	0,253
2	10,000	15,418	9,931	15,504	9,800	15,551

Layer number	Vertical 34 (L=340 m)		Vertical 35 (L=350 m)		Vertical 36 (L=360 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
1	61,671	99,435	62,016	99,830	62,205	100,127

Layer number	Vertical 37 (L=370 m)		Vertical 38 (L=380 m)		Vertical 39 (L=390 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	1,944	0,000	1,959	0,000	2,019
5	0,162	0,209	0,163	0,210	0,168	0,215
4	0,084	0,090	0,084	0,091	0,086	0,092
3	0,225	0,248	0,227	0,243	0,231	0,242
2	9,675	15,603	9,566	15,666	9,540	15,779
1	62,413	100,436	62,662	100,770	63,115	101,230

Layer number	Vertical 40 (L=400 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	2,024
5	0,169	0,215
4	0,086	0,093
3	0,232	0,237
2	9,412	15,830
1	63,320	101,535

5 Data for Stress Analysis

5.1 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/m³
Pipeline diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
Pipeline diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
Pipeline diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
Equivalent pipeline diameter	:	Do = 831,29 mm
Equivalent wall thickness	:	t = 41,62 mm
Equivalent unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 107801 kN/m³
Unit weight drilling fluid pullback operation	:	gamma_b = 11,50 kN/m³
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/mm²
Friction coefficient pipe / soil	:	f3 = 0,20

5.2 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	:	365	[kg/m]	
Weight of pipeline (including filling)	:	100	[kg/m]	

Result	:	265	[kg/m]	(Pipeline moves upwards)

5.3 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/mm²])
- 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	40
T2	37	61
T3	103	106

Characteristic points	Length pipe in bore hole (m)	Characteristic value pulling force (kN)
T4	304	241
T5	369	296
T6	406	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 (f) 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.

6 Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1

6.1 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 = 406 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm²
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm²
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm²
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm²
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
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 = 32 kN/m²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 203952 kN/m³
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 220,000 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

6.2 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.

6.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k E·Ib /(Rrol·Wb)	=	0,43	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * T1/A = f * f_install (Lrol * Q * f1)/A	=	0,70	N/mm²

Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,98	N/mm²

In this load combination the tangential stress is negligible.

6.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,98	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * Tmax/A	=	5,52	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	6,16	N/mm²

Tangential stress:

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

qr = kv *·y = (0.322·Lambda^2·E·I)/(Do.R/f_R)

Lambda = (f_kv kv·Do/(4·E·I))^0.25	=	3,3E-3	1/mm
qr	=	0,0148	N/mm²
Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,87	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	0,57	N/mm²

6.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

6.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,35	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,23	N/mm²

Tangential stress:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,52	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	4,02	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	2,95	N/mm²

6.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,35	N/mm²

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_Temp = dt * gamma_t * alpha_g * E	=	0,00	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,23	N/mm²

Tangential stress:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,52	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	4,02	N/mm²
Rerounding factor Frr	=	1,000	
Rerounding factor F'rr	=	1,000	

Sigma_t,max = Sigma_py + ((F'rr·. Sigma_qr) + (Frr·. Sigma_qn))

Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	2,95	N/mm²

6.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 1: pipe nr. 1

Load combination 1
- Sigma_AxMax < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < ShortStrength * DamageFactor

Load combination 2
- Sigma_ptest < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_py < LongStrength * DamageFactor

Load combination 3
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

Load combination 4
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm²]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
Sigma_ptest	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
Sigma_py	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
Sigma_axial	10,00 (short)	0,98	6,16	-	-	-
Sigma_axial	8,00 (long)	-	-	-	0,23	0,23
Sigma_tang...	10,00 (short)	-	0,57	-	-	-
Sigma_tang...	8,00 (long)	-	-	-	2,95	2,95

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 6,0 mm (1,92% 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.

6.4 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 243 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m².

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 168 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m².

7 Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2

7.1 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 = 406 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm²
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm²
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm²
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm²
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
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 = 32 kN/m²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 203952 kN/m³
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 220,000 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 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.

7.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k E·Ib /(Rrol·Wb)	=	0,43	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * T1/A = f * f_install (Lrol * Q * f1)/A	=	0,70	N/mm²

Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,98	N/mm²

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·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,98	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * Tmax/A	=	5,52	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	6,16	N/mm²

Tangential stress:

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

qr = kv *·y = (0.322·Lambda^2·E·I)/(Do.R/f_R)

Lambda = (f_kv kv·Do/(4·E·I))^0.25	=	3,3E-3	1/mm
qr	=	0,0148	N/mm²
Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,87	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	0,57	N/mm²

7.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

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

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,35	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,23	N/mm²

Tangential stress:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,52	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	4,02	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	2,95	N/mm²

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

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,35	N/mm²

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_Temp = dt * gamma_t * alpha_g * E	=	0,00	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,23	N/mm²

Tangential stress:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,52	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	4,02	N/mm²
Rerounding factor Frr	=	1,000	
Rerounding factor F'rr	=	1,000	

Sigma_t,max = Sigma_py + ((F'rr·. Sigma_qr) + (Frr·. Sigma_qn))

Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	2,95	N/mm²

7.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 2: pipe nr. 2

Load combination 1
- Sigma_AxMax < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < ShortStrength * DamageFactor

Load combination 2
- Sigma_ptest < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_py < LongStrength * DamageFactor

Load combination 3
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

Load combination 4
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm²]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
Sigma_ptest	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
Sigma_py	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
Sigma_axial	10,00 (short)	0,98	6,16	-	-	-
Sigma_axial	8,00 (long)	-	-	-	0,23	0,23
Sigma_tang...	10,00 (short)	-	0,57	-	-	-
Sigma_tang...	8,00 (long)	-	-	-	2,95	2,95

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 6,0 mm (1,92% 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 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 243 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m².

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 168 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m².

8 Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3

8.1 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 = 406 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm²
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm²
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm²
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm²
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
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 = 32 kN/m²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 203952 kN/m³
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 220,000 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 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.

8.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k E·Ib /(Rrol·Wb)	=	0,43	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * T1/A = f * f_install (Lrol * Q * f1)/A	=	0,70	N/mm²

Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,98	N/mm²

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·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,98	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * Tmax/A	=	5,52	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	6,16	N/mm²

Tangential stress:

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

qr = kv *·y = (0.322·Lambda^2·E·I)/(Do.R/f_R)

Lambda = (f_kv kv·Do/(4·E·I))^0.25	=	3,3E-3	1/mm
qr	=	0,0148	N/mm²
Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,87	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	0,57	N/mm²

8.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

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

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,35	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,23	N/mm²

Tangential stress:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,52	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	4,02	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	2,95	N/mm²

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

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,35	N/mm²

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_Temp = dt * gamma_t * alpha_g * E	=	0,00	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,23	N/mm²
Tangential stress:			
Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,52	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	4,02	N/mm²
Rerounding factor Frr	=	1,000	
Rerounding factor F'rr	=	1,000	
Sigma_t,max = Sigma_py + ((F'rr·. Sigma_qr) + (Frr·. Sigma_qn))			
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	2,95	N/mm²

8.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 3: pipe nr. 3

Load combination 1
- Sigma_AxMax < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < ShortStrength * DamageFactor

Load combination 2
- Sigma_ptest < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_py < LongStrength * DamageFactor

Load combination 3
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

Load combination 4
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm²]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
Sigma_ptest	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
Sigma_py	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
Sigma_axial	10,00 (short)	0,98	6,16	-	-	-
Sigma_axial	8,00 (long)	-	-	-	0,23	0,23
Sigma_tang...	10,00 (short)	-	0,57	-	-	-
Sigma_tang...	8,00 (long)	-	-	-	2,95	2,95

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 6,0 mm (1,92% 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 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 243 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m².

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 168 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m².

9 Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4

9.1 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 = 406 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm²
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm²
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm²
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm²
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
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 = 32 kN/m²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 203952 kN/m³
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 220,000 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 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.

9.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k E·Ib /(Rrol·Wb)	=	0,43	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * T1/A = f * f_install (Lrol * Q * f1)/A	=	0,70	N/mm²

Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,98	N/mm²

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·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,98	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * Tmax/A	=	5,52	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	6,16	N/mm²

Tangential stress:

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

qr = kv *·y = (0.322·Lambda^2·E·I)/(Do.R/f_R)

Lambda = (f_kv kv·Do/(4·E·I))^0.25	=	3,3E-3	1/mm
qr	=	0,0148	N/mm²
Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,87	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	0,57	N/mm²

9.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

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

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,35	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,23	N/mm²

Tangential stress:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,52	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	4,02	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	2,95	N/mm²

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

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,35	N/mm²

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_Temp = dt * gamma_t * alpha_g * E	=	0,00	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,23	N/mm²

Tangential stress:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,52	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	4,02	N/mm²
Rerounding factor Frr	=	1,000	
Rerounding factor F'rr	=	1,000	

Sigma_t,max = Sigma_py + ((F'rr·. Sigma_qr) + (Frr·. Sigma_qn))

Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	2,95	N/mm²

9.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 4: pipe nr. 4

Load combination 1
- Sigma_AxMax < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < ShortStrength * DamageFactor

Load combination 2
- Sigma_ptest < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_py < LongStrength * DamageFactor

Load combination 3
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

Load combination 4
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm²]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
Sigma_ptest	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
Sigma_py	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
Sigma_axial	10,00 (short)	0,98	6,16	-	-	-
Sigma_axial	8,00 (long)	-	-	-	0,23	0,23
Sigma_tang...	10,00 (short)	-	0,57	-	-	-
Sigma_tang...	8,00 (long)	-	-	-	2,95	2,95

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 6,0 mm (1,92% 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 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 243 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m².

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 168 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m².

End of Report

F.3 Persing 150 kV onder goederenspoor, nabij Geertruidenberg

Kruising 2 persingen met spoor

Vergunningsrapport ProRail

SWECO

Verantwoording

Titel:	Kruising 2 persingen met het spoor
Onderwerp:	Vergunningsrapport ProRail
Projectnummer:	51001237
Klant:	TenneT
Referentienummer:	NL22-648800269-30734
Versie:	D2
Datum:	29-08-2022
Auteurs:	[redacted]
E-mailadres:	
Gecontroleerd door:	
Paraaf gecontroleerd:	
Vrijgegeven door:	
Paraaf vrijgegeven:	

Inhoudsopgave

1. Inleiding 4
1.1 Situatie 4
1.2 Leeswijzer 5

2. Uitgangspunten 6
2.1 Gebruikte documenten 6
2.2 Vigerende normen en richtlijnen 6
2.3 Minimale dagmaat tussen nieuwe boringen 7
2.4 Diepteligging 7
2.5 Oversnijding 8
2.6 Inwendige overdruk 8
2.7 Grondwaterstand 8
2.8 Geotechnische parameters 8
2.9 Afwijkingstoleranties 9

3. Ontwerp 10
3.1 Gegevens 10
3.2 Pers- en ontvangkuipen 11

4. Berekeningsresultaten 13
4.1 Perskrachtberekening 14
4.2 Steundrukberekening 14
4.3 Opdrijving 15
4.4 Zettingstrog 16

5. Risico's en aandachtspunten 17

6. Conclusie 18
6.1 Algemeen 18
6.2 Uitkomsten ontwerp en berekening 18

Bijlage 1 – Ontwerptekening 19
Bijlage 2 – Geotechnisch onderzoek 20
Bijlage 3 – Berekening D-Geo Pipeline 21

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 twee persingen met een goederenspoor en de Bergseweg. De kruising (met codering GTB-Persing1) is vergunningsplichtig bij ProRail. Het ontwerp en de berekeningen zijn uitgevoerd conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020 en Spoorkruising derden: RLN 00427-2 van ProRail.

1.1 Situatie

De twee persingen zijn onderdeel van een nieuwe ondergrondse 150 kV-verbinding vanaf een nieuw te plaatsen mast aan de noordzijde van de Bergseweg naar hoogspanningsstation Geertruidenberg-Zuid. Het tracé van de persingen kruist de Bergseweg en het goederenspoor met Geocode 823, tussen kilometrering 0,3 en 0,4 (zie figuur 1). Het goederenspoor betreft een niet-geëlektrificeerd enkel spoor. De locatie ligt ten westen van de Amertak en ten noorden van de N623. Het tracé bestaat uit twee 150kV-circuits, waardoor twee afzonderlijke parallelle persingen moeten worden gemaakt. Eén persing bestaat uit een boorbuis GVK Ø1026 mm met daarin 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 persingen liggen naast elkaar met een dagmaat van 8 meter tussen de boorbuizen. De persingen hebben een lengte van circa 42 m en een diepte van NAP -2,28 m (hart van de boring). De bovenkant van de persingen liggen op circa 3,3 m onder bovenkant spoor (BS). Gezien de grondwaterstand worden de persingen uitgevoerd middels een gesloten front techniek (GFT).

Figuur 1 Overzicht situatie GTB-Persing1

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-Persing1, tekeningnummer GTB-Persing1 versie D, d.d. 26-08-2022 opgesteld door Sweco (bijlage 1).
- Geotechnisch onderzoek uit Dinoloket (bijlage 2).
- Maaiveldhoogten zijn ontleend aan de Algemene Hoogtekaart van Nederland (AHN-3).
- KLIC-levering 22O053708_1 opgevraagd d.d. 21-04-2022;
- Peilbesluiten waterschap Brabantse Delta, geraadpleegd d.d. 20-04-2022, website: https://wsbd.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=d6037ee85e784521be739b8ae5b38f7d.
- ProRail Referentiesysteem Hectometerpunt (Geocode) shapefile: https://data.overheid.nl/dataset/prorail-referentiesysteem#panel-resources.
- Specificaties GVK boorbuizen Amiblu / Hobas: https://www.amiblu.com/wp-content/uploads/Hobas-Technical-Product-Data-PN1.pdf.

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.
- Spoorkruising derden: RLN 00427-2, 31-3-2021.
- Indieningvereisten: Ten behoeve van het aanvragen van een vergunning op grond van artikel 19 Spoorwegwet en het aanvragen van een ontheffing op grond van artikel 13 lid 3 van de Regeling omgevingsregime hoofdspoorwegen, ProRail, 01-07-2021-versie-18 (bijlage 1).

2.3 Minimale dagmaat tussen nieuwe boringen

In Spoorkruising derden: RLN 00427-2 van ProRail staat in Eis-3.24 het volgende:

Eis-3.24: Wanneer een persing moet worden gerealiseerd horizontaal naast een (bestaande) boring of persing, dan dient deze persing te worden gerealiseerd op een afstand conform tabel 1 gemeten vanaf de buitenzijde van de (beschermbuis van de) (bestaande) boring of persing.

Buisdiameter [mm]	Minimale afstand tussen buizen [m]	Maximale aantal buizen in een buisgroep
< 200	2,00	3
> 200 tot 400	2,00	3
> 400 tot 800	8,00	2
> 800 tot 1500	8,00	2
> 1500 tot 5000	20,00	1

Tabel 1: Minimale afstanden en maximale aantal evenwijdige buizen

Toelichting: Met een ontwerp van een persing type OFT of GFT naast een HDD klasse SA of SB moet afstand worden gehouden, immers bij een OFT of GFT persing is de kans groot dat met het intrillen van de damwanden voor de pers- en of ontvangstput de bestaande HDD wordt geraakt. Een HDD boring naast een bestaande OFT of GFT is minder risicovol, echter dient er rekening gehouden te worden met mogelijk achtergebleven damwanden van de OFT en GFT pers- en ontvangstput onder maaiveld.

Eis 3.24-1: Het maximaal aantal buizen in een buisgroep wordt bepaald door de buis met de grootste (bestaande) diameter.

Toelichting: Een buisgroep is een aantal evenwijdig gelegen spoorkruisende buizen. Een buisgroep mag dus bijvoorbeeld maximaal bestaan uit 1 buis met een diameter van 200mm en 1 buis met een diameter van 700mm.
NB: een bestaande (vierkante of anders vormgegeven) duiker/spoorkruising geldt ook als spoorkruisende buis en maakt daarmee ook deel uit van een buisgroep.

Eis 3.24-2: Bij overschrijding van het aantal naast elkaar gelegen buizen moet tussen de buisgroepen een minimale afstand van 20 meter aanwezig zijn.

Eis 3.24-3: De bepalingen zijn ook van toepassing voor beschermbuizen waarin meerdere leidingen of kabels worden aangebracht.

Op basis hiervan is tussen de twee persingen GVK Ø1026 mm een dagmaat van 8,00 m aangehouden. Er is sprake van één buisgroep.

2.4 Diepteligging

De diepteligging dient aan de volgende eisen te voldoen:

- ProRail vereist voor gesloten frontboringen tussen 1000 en 5000 mm een minimale afstand tussen boorbuis en bovenkant spoorstaaf (BS) van 2x uitwendige diameter van de mantelbuis. Dit houdt in dit geval een afstand van 2x 1,026 = 2,052 m in. Onder het spoor hebben de persingen een dekking van 3,3 m en voldoen daarmee aan de eis.
- NEN 3650-1 2020 paragraaf F2.1 vereist een diepteligging onder wegen van 1,0 + de uitwendige diameter. Dit houdt in dit geval een afstand van 1 + 1,026 = 2,026 m in. Onder de Bergseweg hebben de persingen een dekking van 2,5 m en voldoen daarmee aan de eis.
- VELIN schrijft voor dat tussen kabels en leidingen en een gesloten frontboring minimaal een dagmaat van 1,0 m aanwezig dient te zijn, onder voorwaarde dat de leiding zichtbaar is. De kritische kabels en leidingen moeten daarom, indien mogelijk, vooraf opgezocht worden middels een proefsleuf naast de boorlijn.

2.5 Oversnijding

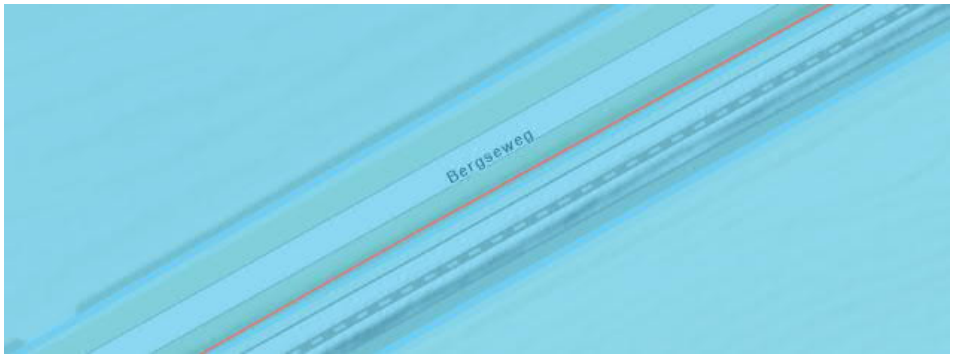
Voor de persingen is een maximale oversnijding van 10 mm gehanteerd in de berekening. In de buis zijn smeernippels aanwezig voor een maximale vulling te krijgen van de loze ruimte om de buis.

2.6 Inwendige overdruk

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

2.7 Grondwaterstand

De persingen liggen binnen het peilbesluit van Gat van de Ham. Echter heeft het de noordzijde van de kruising een ander zomer- en winterpeil dan de zuidzijde. De scheiding van de peilgebieden ligt tussen het spoor en de Bergseweg. Aan de noordzijde is het zomerpeil -1,0 m NAP en het winterpeil -1,5 m NAP. Aan de zuidzijde is het zomerpeil -0,6 m NAP en het winterpeil -0,8 m NAP. We gaan in de berekening uit van een gemiddelde waterstand van -0,7 m NAP ter plaatse van het spoor.



Figuur 2 de peilscheiding ter plaatse van de Bergseweg en het spoor (rode lijn)

2.8 Geotechnische parameters

TenneT voert momenteel nog specifieke grondonderzoeken uit voor dit project, waardoor de geotechnische gegevens en parameters nu zijn gebaseerd op grondonderzoek uit Dinoloket en uit de Sweco-database met historisch grondonderzoek. De ID-nummers en dieptes van de gebruikte boringen en sonderingen staan in Tabel 2-1. Het gebruikte grondonderzoek ligt voornamelijk rond de Amertak op circa 300 m afstand. 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 [m NAP]
B44D1229	Boring	-7
CPT98999	Sondering	-12
B44D0959	Boring	-5
CPT98964	Sondering	-12
B44D1222	Boring	-3

Uit het beschikbare grondonderzoek blijkt dat de bovenkant van de vaste zandlaag zich bevindt op circa -1,0 m NAP van het geplande boortracé. Boven de zandlaag bestaat de grond uit een laag zandige klei, zoals geobserveerd in het grondonderzoek. Tabel 2-1 laat de in de berekeningen aangehouden grondparameters en grondlagen 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 Su zijn gecorreleerd met de conusweerstand conform CUR2003-7 (2003) en CUR162 (1992).

Tabel 2-2 Grondparameters gebruikt in de berekening

Niveau bovenkant [m t.o.v. NAP]	Niveau onderkant [m t.o.v. NAP]	Lithologie	γ_d [kN/m^3]	γ_n [kN/m^3]	c' [kPa]	φ' [°]	Su top/bottom [kN/m^2]	E [kN/m^2]
0,3	-1,2	Klei; sterk zandig	18	18	0,5	27,5	30,0	2000
-1,2	-30,0	Zand; schoon; matig	18	20	0,0	32,5	0,0	30000

2.9 Afwijkingstoleranties

ProRail vereist bij zowel OFT als GFT persingen de volgende afwijkingstoleranties: ten aanzien van plaats-toleranties geldt dat de persing zo nauwkeurig mogelijk dient te worden uitgevoerd. Deze mag ten opzichte van de uitgezette boorlijn:

- in het verticale vlak geen grotere afwijking vertonen dan +100 mm en -100 mm,
- in het horizontale vlak geen grotere afwijking vertonen dan +1000 mm en -1000 mm en

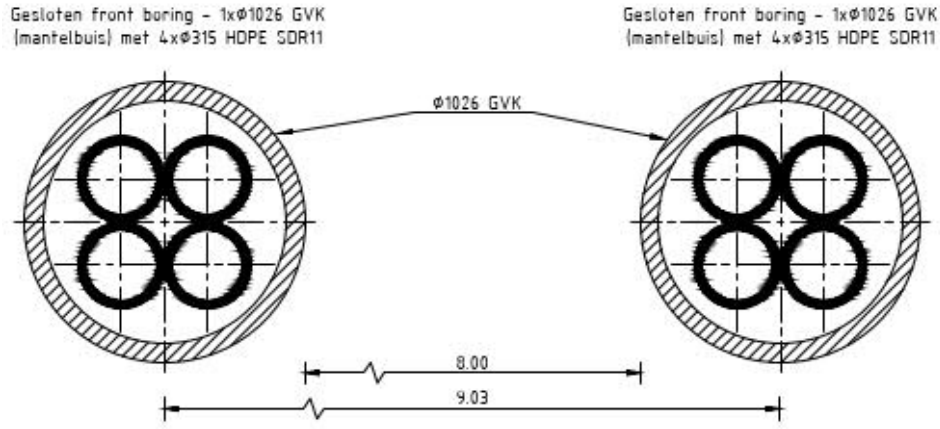
rekening houdend met risicovolle (spoor)objecten.

3. Ontwerp

3.1 Gegevens

Het ontwerp van de twee persingen heeft de volgende kenmerkende parameters:

- Materiaal: boorbuis GVK Ø1026 x 34 mm SN 32000.
- Gewicht buis: 227 kg/m.
- Maximaal toelaatbare perskracht: 1830 kN.
- Lengte: 42 m.
- Maximale diepte hart persing: NAP -2,28 m.



Figuur 3 Doorsnede van de 2 persingen

Aan de hand van vigerende normen en richtlijnen is een ontwerp gemaakt voor de persingen. De voornaamste randvoorwaarden voor het ontwerp, naast de afstandseisen uit hoofdstuk 2, zijn:

- De persingen dienen het spoor loodrecht te kruisen.
- De buis dient voldoende sterk te zijn om de perskrachten aan te kunnen.
- De diepteligging dient voldoende te zijn om een stabiel boorfront te hebben.
- Aan de zuidzijde ligt parallel aan de spoorlijn een databundel van KPN. Vanwege deze bundel is de persing verlengd, zodat de ontvangkuipen op 5 m van deze bundel blijven.

Uit de KLIC is geen nadere info bekend over de diepte van deze bundel. Uitgaande van een standaarddekking van 0,6 m passeert de persing deze veilig. Mogelijk is sprake van een HDD-bundel en ligt de bundel op diepte onder het voorgenomen boorprofiel.

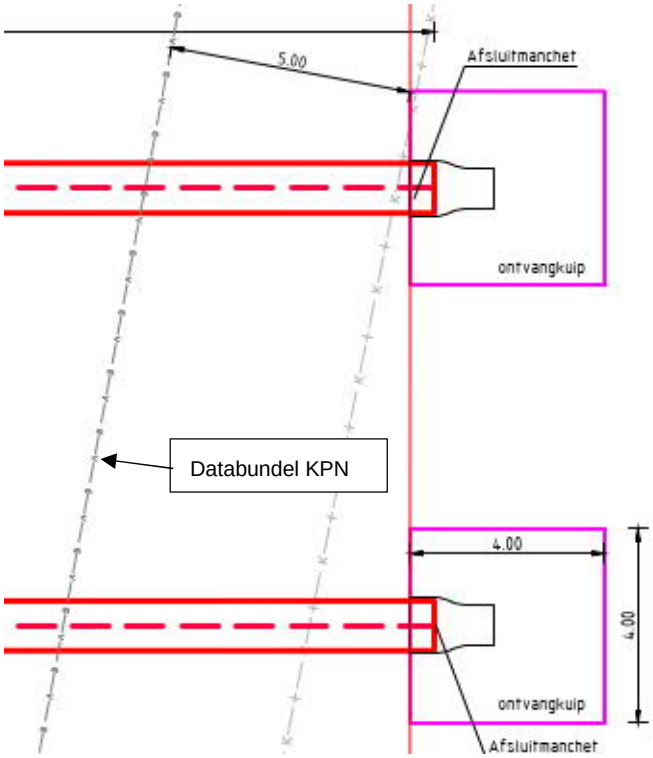
- De uitvoering vindt plaats middels de gesloten front techniek.

3.2 Pers- en ontvangkuipen

Elke persing heeft een aparte perskuip van 10 x 4 m. De perskuipen liggen aan de noordzijde van het tracé (zie figuur 4). De perskuip is bereikbaar via de Bergseweg en het weiland.

De ontvangkuipen zijn 4 x 4 m. De ontvangkuipen liggen 5 m uit een databundel van KPN die hier ligt. De ontvangkuip is bereikbaar via de spoorwegovergang Bergsepolder en het weiland.

Figuur 4 locatie en bereikbaarheid van GTB-Persing1



Figuur 5 ligging ontvangkuipen ten opzichte van databundel KPN

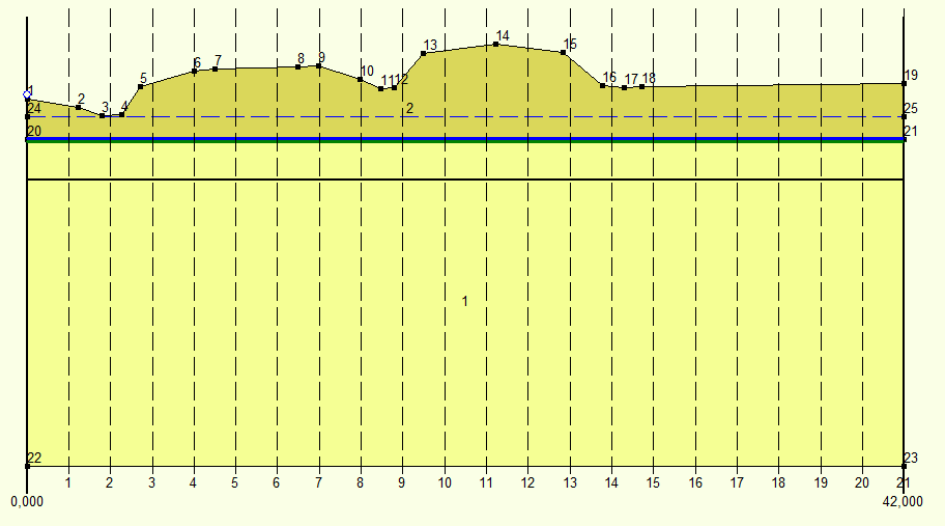
4. Berekeningsresultaten

De volgende berekeningen zijn voor de persingen uitgevoerd:

- Een perskrachtberekening.
- Stabiliteit boorfront.
- Risico op opdrijven.
- De zettingstrog.

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

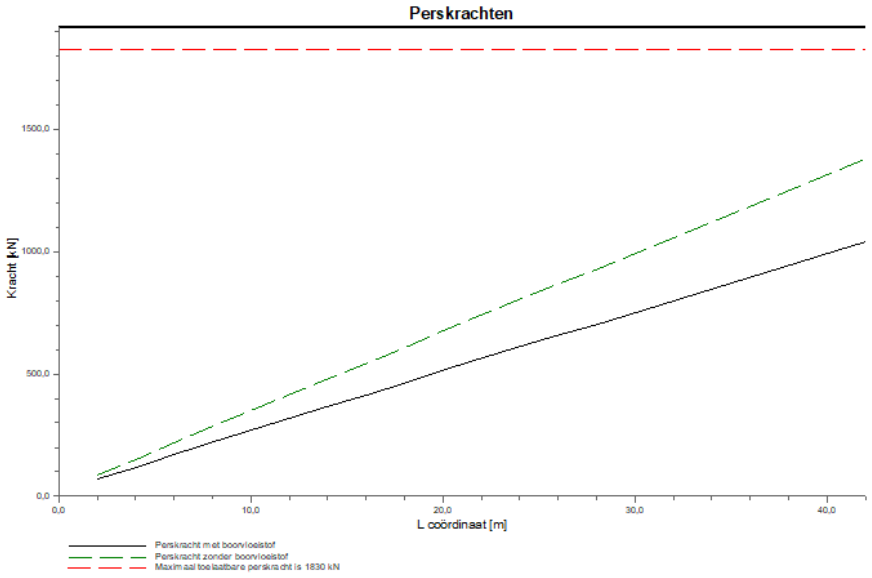
De berekeningen zijn uitgevoerd met het rekenprogramma D-Geo Pipeline versie 20.1 en zijn toegevoegd als bijlage 3. In dit hoofdstuk zijn de resultaten van de berekeningen weergegeven.



Figuur 6 D-Geo Pipeline-model van GTB-Persing1

4.1 Perskrachtberekening

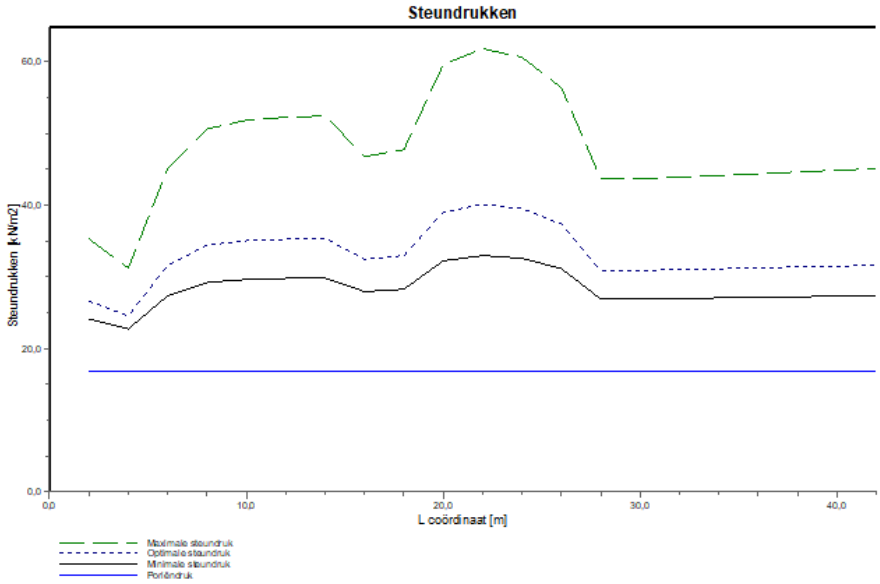
De berekende maximale perskracht bedraagt 1.379 kN zonder smering en gerekend met een wrijving tussen buis en de grond van 10 kN/m^2. Dit bedraagt 75% van de toelaatbare perskracht. Bij 70% van de maximaal toelaatbare perskracht vereist ProRail een tussendrukstation. Door boorvloeistof als smering toe te passen, verlaagt de wrijving tussen buis en grond naar 7,5 kN/m^2 en bedraagt de maximale perskracht 1.041 kN (56%) en voldoet het buistype GVK Ø1026 x 34 mm SN32.000. Toelaatbaar op dit buistype is een perskracht van 1.830 kN.



Figuur 7 perskrachten benodigd voor GTB-persing1 met en zonder boorvloeistof

4.2 Steundrukberekening

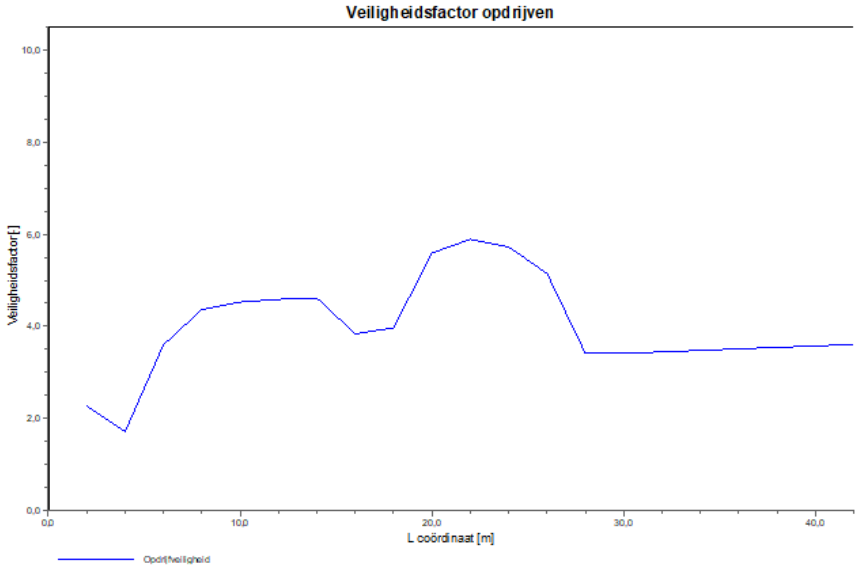
Het verloop van de steundrukken is weergegeven in figuur 8. Te zien is dat gemiddeld een gebied van circa 20 kN/m^2 beschikbaar is tussen de minimale benodigde en maximaal toelaatbare steundruk. Ter plaatse van de watergang is circa 10 kN/m^2 beschikbaar. Hier kan eventueel een maatregel genomen worden door de watergang tijdelijk te dempen. Conclusie is dat de boring te realiseren is met een stabiel boorfront.



Figuur 8 steundrukberekening GTB-persing1

4.3 Opdrijving

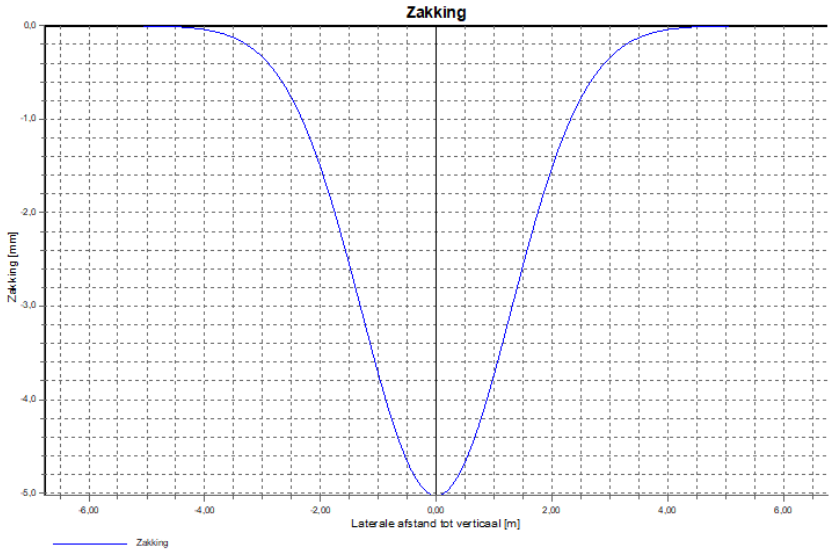
De veiligheidsfactor voor opdrijven bedraagt minimaal 1,7 ter plaatse van de watergang. Dit betreft een lege boorbuis. Na aanleg zullen de mantelbuizen en kabels ingetrokken worden, waardoor het gewicht en de veiligheid toeneemt. Conclusie is dat de leiding niet zal opdrijven, zowel in de aanleg- als bedrijfsfase.



Figuur 9 veiligheid tegen opdrijven voor GTB-persing1

4.4 Zettingstrog

Op basis van de oversnijding hebben we een voorspelling van de zettingstrog aan maaiveld berekend. De zakking is berekend met een volumeverliespercentage van het oversnijdingsoppervlak van 50%. Dit betekent dat de oppervlakte van de zettingstrog gelijk is aan 50% van de oppervlakte van de oversnijding, het overige deel van het volume wordt opgevuld door de bentonietsmering. Dit leidt ter plaatse van het spoor (verticaal 11) tot een voorspelde zetting van circa 5 mm aan maaiveld, recht onder de boring. De zettingstrog heeft een totale breedte van circa 9 m. Hierdoor zullen de zettingstroggen van de twee parallelle persingen circa 0,5 m overlappen. Bij elkaar opgeteld geeft dit een zettingsprognose voor het overlappende deel van < 1,0 mm. Volgens Eis-3.72 is een zettingstrogbreedte van 12 m toelaatbaar. Aan de hand van de ingrijpmaatstaven uit het door de aannemer op te stellen monitoringsplan dient door ProRail beoordeeld te worden welke zetting toelaatbaar is.



Figuur 10 *zettingstrog ter plaatse van verticaal 11, waar de persing het spoor kruist*

5. Risico’s en aandachtspunten

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

- De werkzaamheden dienen uitgevoerd te worden door een door ProRail gekwalificeerde aannemer. Tevens dienen de gebruikte boorbuizen en materialen te voldoen aan de specificaties van ProRail.
- De bouwkuipen en bemaling dienen nog uitgewerkt te worden door de aannemer gebruikmakend van het door TenneT te leveren geotechnische onderzoek. Op basis van dit ontwerp dient een definitieve zettingsprognoses en monitoringsplan opgesteld te worden.
- Bij de perskuip ligt een databundel van KPN 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 de perskuip dient te aanwezige watergang gedempt te worden om de veiligheid voor de stabiliteit van het boorfront te vergroten.
- Om de werkterreinen te betreden zullen bouwinritten nodig zijn en de aannemer dient de benodigde verkeersplannen met de gemeente te bespreken.
- De uiteinden van de persingen dienen afgesloten te worden met een sleeve.
- Spiegellassen in PE-mantelbuizen aanbrengen conform NEN7200.
- Bij het spiegellassen van de PE leidingdelen dienen alle inwendige lasrillen verwijderd te worden; in overleg met de toezichthouder moeten de verwijderde lasrillen aangetoond kunnen worden.

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.

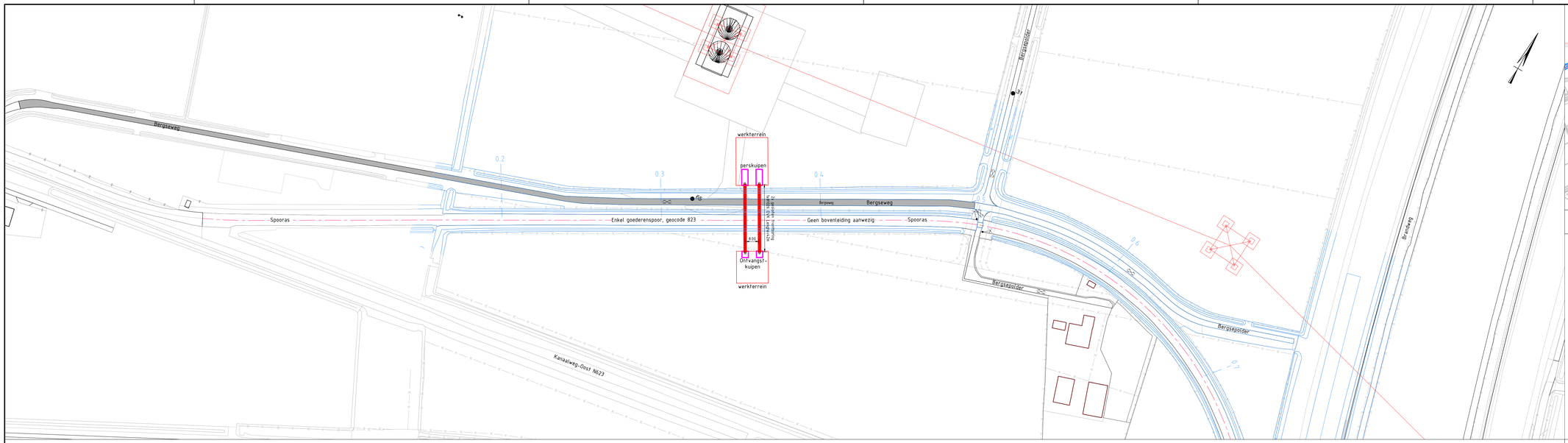
Dit rapport betreft de kruising van twee persingen met een goederenspoor en de Bergseweg. De kruising (met codering GTB Persing 1) is vergunningsplichtig bij ProRail. Het ontwerp en de berekeningen zijn uitgevoerd conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020 en Spoorkruising derden: RLN 00427-2 van ProRail.

6.2 Uitkomsten ontwerp en berekening

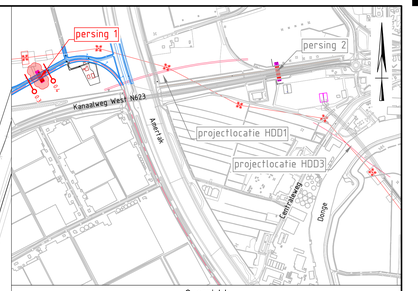
De persingen, weergegeven op de tekeningen die zijn bijgevoegd als bijlage 1, zijn ontworpen en berekend volgens de vigerende eisen.

Uit de berekeningen, bijgevoegd als bijlage 3, blijkt dat de tracés van de twee parallel gelegen persingen met GVK Ø1026 x 34 mm SN 32000 voldoen aan de eisen.

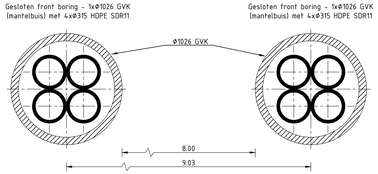
Bijlage 1 – Ontwerptekening



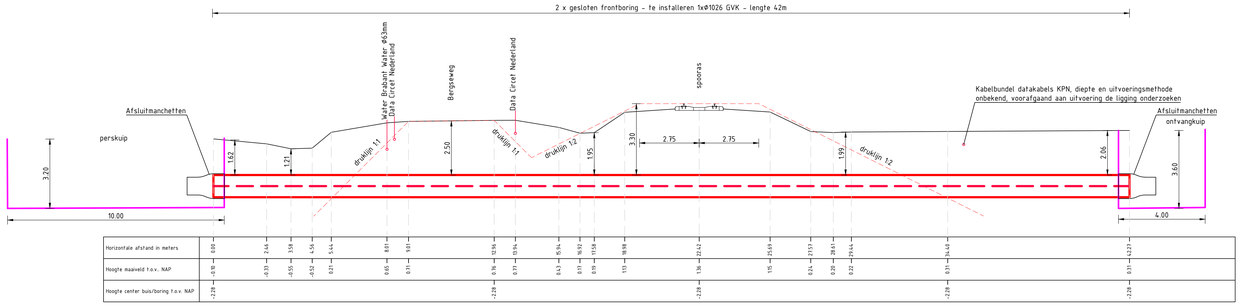
Bovenaanzicht schaal 1:1000



Overzicht
Schaal 1:10.000

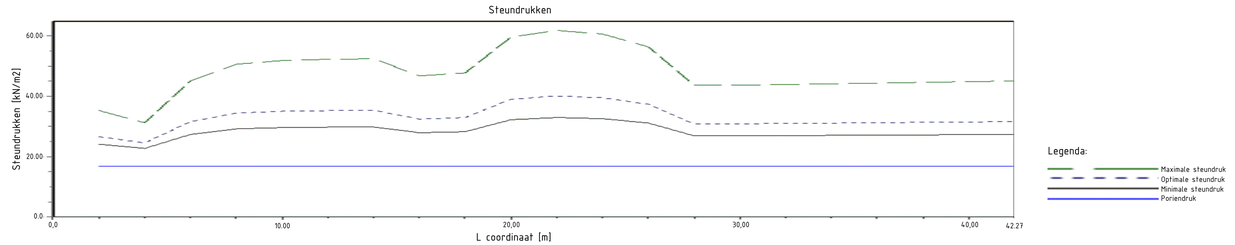


Principe doorsnede
Schaal 1:20



Legenda

- Kadastrale grens
- Leiding gevaarlijke inhoud
- Datatransport
- Landelijk hoogspanningsnet
- Laagspanning
- Middenspanning
- Gasleiding hoge druk
- Gasleiding lage druk
- Waterleiding
- Drukriolering
- Riolering vrijverval
- Horizontale persing
- Verharding (asfalt)
- Bestaande topo
- Bebouwing
- Primaire waterkering
- Verharding/wegen



Lengteprofiel schaal 1:100

Maten in meters, tenzij anders aangegeven
Materialen in millimeters
Hoogtematen in meters t.o.v. N.A.P.

Vergunningstekening

D	T.b.v. vergunningsaanvraag + KS-blad + steundrukgrafiek	26-05-2022	BB	MJ	JD
C	T.b.v. vergunningsaanvraag incl. aanvullende informatie KPN kabel	29-04-2022	JPR	MJ	JD
B	T.b.v. vergunningsaanvraag	22-04-2022	JPR	MJ	JD
A	Eerste uitgave	17-01-2020	NJ	MJ	JD
Rev	Omschrijving	Datum rev.	Get.	Gec.	Goedg.

Opdrachtgever
TenneT TSO B.V.

Project
HDD's 150 kV ZWO

Onderdeel
Gesloten frontboring-Persing 1
Geertruidenberg, ProRail Geocode 823, kilometrering 0.3 en 0.4

Projectnummer	Tekeningnummer	Versie	Datum van uitgave	Ontwerpfase	Contractnummer
368722	GTB-Persing1	D	29-04-2022	BO	

Blad	Van	Schaal	Formaat	Kantoor	Get.	Gec.	Goedg.
1	1	1:100	A1	De Bilt	NJ	MJ	JD

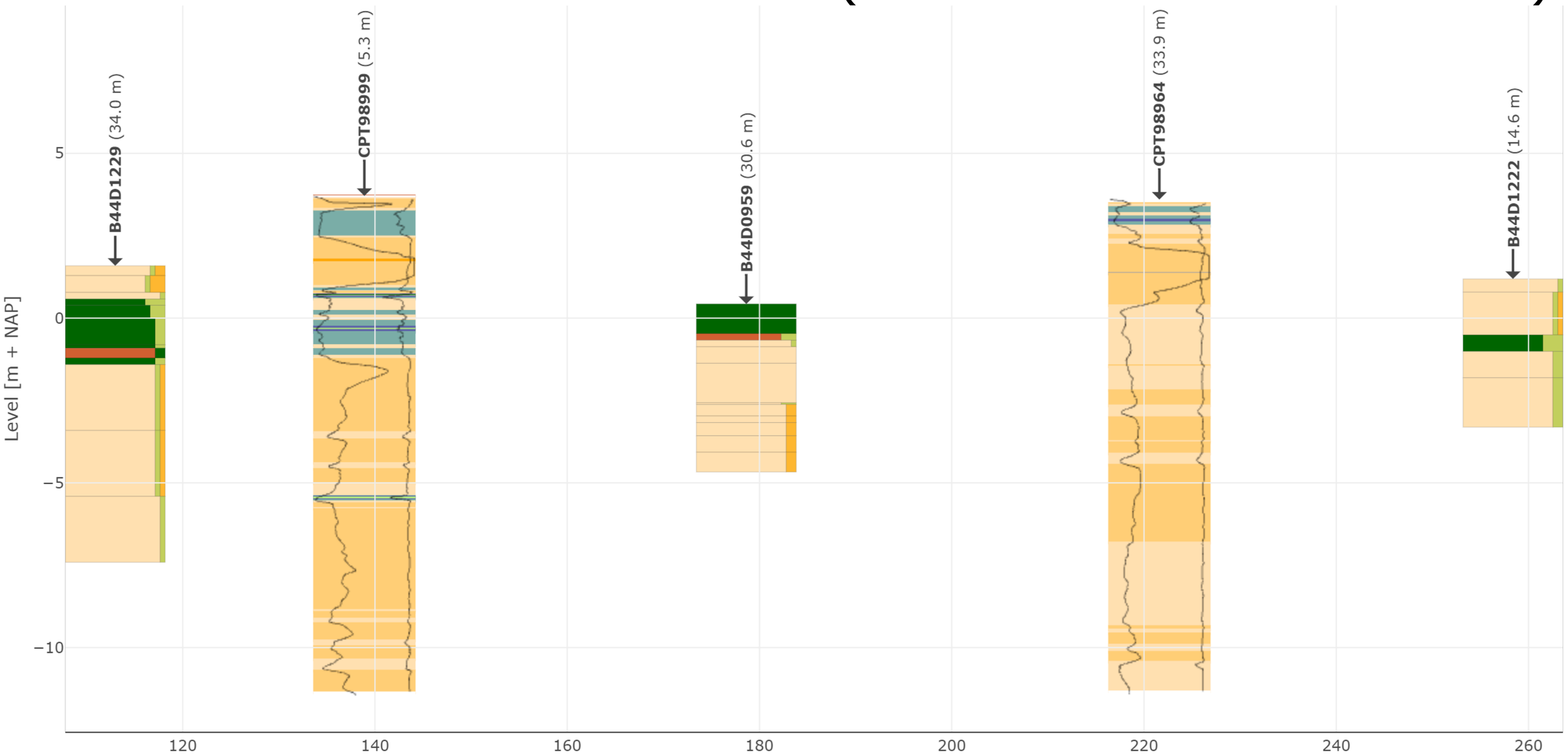
www.sweco.nl
© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden

SWECO

TMSR-BIM-010-265439-SWE-GTB-DRW-00001_D

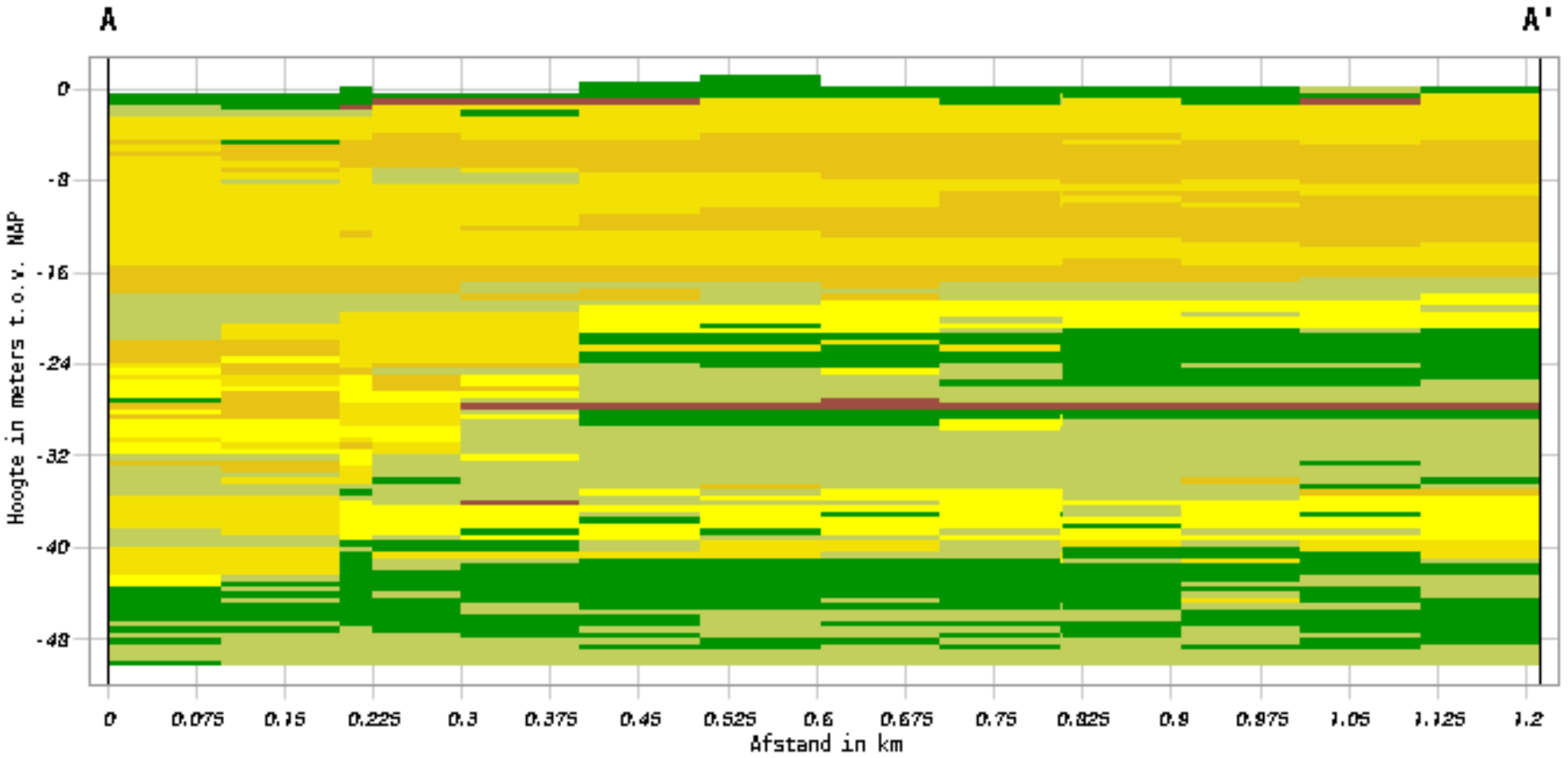
Bijlage 2 – Geotechnisch onderzoek

Grondonderzoek BRO (tot 60 m afstand van trace)



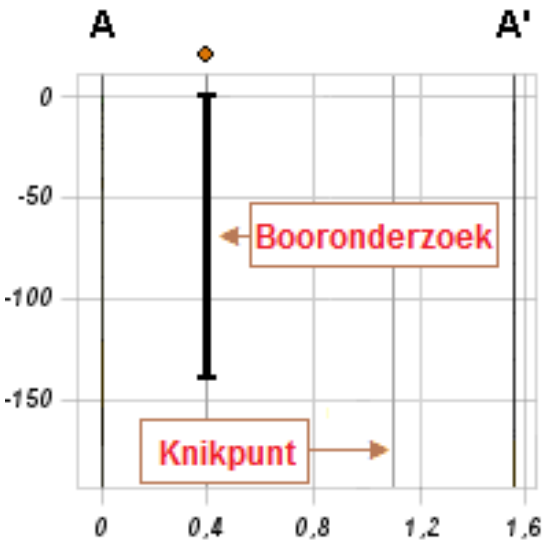
cpt borehole not shown on sectionplot section

Verticale Doorsnede BRO GeoTOP v1.4.1



Lithoklasse

- a
- v
- k
- kz
- zf
- zm
- zg
- g
- she



Bijlage 3 – Berekening D-Geo Pipeline

Rapport voor D-Geo Pipeline 20.1

Model : Micro Tunneling
Ontwikkeld door Deltares

Datum van rapport:	22-4-2022
Tijd van rapport:	18:35:26
Rapport met versie:	20.1.1.30040
Berekend met versie:	20.1.1.30040
Bestandsnaam:	GTB Persing 1 - spoor

1 Inhoudsopgave

1 Inhoudsopgave 2
2 Berichten 3
2.1 Berekeningswaarschuwingen 3
3 Invoergegevens 4
3.1 Gebruikt Model 4
3.2 Laagscheidingen 4
3.3 PN-Lijnen 4
3.4 Freatische Lijn 4
3.5 Grondprofielen 4
3.6 Grenslagen 4
3.7 Grondeigenschappen 4
3.8 Geometrie 5
3.8.1 Geometrie Sectie, Detail 5
3.8.2 Geometrie Bovenaanzicht 5
3.9 Berekenings Verticalen 6
3.10 Configuratie van de Pijpleiding 6
3.11 Materiaalgegevens van de Leiding 6
3.12 Gegevens voor Leidingberekening 6
3.13 Factoren 7
4 Grondmechanische Data 8
4.1 Grondmechanische Parameters 8
5 Uitvoeringsparameters 10
5.1 Schilddrukken en Drukkrachten 10
5.1.1 Resultaten tabel 10
5.1.2 Front Steundrukken Grafiek 11
5.1.3 Drukkrachten 11
5.2 Verificatie Opdrijven 12
5.2.1 Opdrijf Factoren 12
5.2.2 Opdrijven 12
6 Deformaties 13
6.1 Zakking 13
6.1.1 Zakkingswaardentabel 13
6.1.2 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 1 14
6.1.3 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 2 14
6.1.4 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 3 15
6.1.5 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 4 15
6.1.6 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 5 16
6.1.7 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 6 16
6.1.8 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 7 17
6.1.9 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 8 17
6.1.10 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 9 18
6.1.11 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 10 18
6.1.12 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 11 19
6.1.13 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 12 19
6.1.14 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 13 20
6.1.15 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 14 20
6.1.16 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 15 21
6.1.17 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 16 21
6.1.18 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 17 22
6.1.19 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 18 22
6.1.20 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 19 23
6.1.21 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 20 23
6.1.22 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 21 24

2 Berichten

2.1 Berekeningswaarschuwingen

Bij de berekening van de grondmechanische parameters wordt de maximale beddingscontante (k_v;max) alleen bepaald met de verticalen die in diepe situatie liggen.Op basis van de opgegeven grens H/Do tussen diepe en ondiepe situaties van 7,50 zijn geen verticalen in diepe situatie gevonden voor pijp nr. 1.Daarom is de verhouding gereduceerd tot 2,50 voor deze pijp om een waarde ongelijk aan 0 te krijgen voor k_v;max.

3 Invoergegevens

3.1 Gebruikt Model

Gebruikt Model : Micro Tunneling

3.2 Laagscheidingen

Laagscheidingnummer	Coördinaten [m]				
2 - L -	0,000	2,460	3,580	4,560	5,440
2 - Z -	-0,100	-0,330	-0,550	-0,520	0,210
2 - L -	8,010	9,010	12,960	13,940	15,940
2 - Z -	0,650	0,710	0,760	0,770	0,430
2 - L -	16,920	17,580	18,980	22,420	25,690
2 - Z -	0,170	0,190	1,130	1,360	1,150
2 - L -	27,570	28,610	29,440	42,000	
2 - Z -	0,240	0,200	0,220	0,310	
1 - L -	0,000	42,000			
1 - Z -	-1,200	-1,200			
0 - L -	0,000	42,000			
0 - Z -	-10,000	-10,000			

3.3 PN-Lijnen

PN-lijnnummer	Coördinaten [m]				
1 - L -	0,000	42,000			
1 - Z -	-0,700	-0,700			

3.4 Freatische Lijn

Piezo lijn 1 is gebruikt als freatische lijn (grondwater).

3.5 Grondprofielen

Laag nummer	Materiaalnaam	Piezo lijn op boven	Piezo lijn op onder
2	Klei, sterk zandig, m...	1	1
1	Zand, schoon matig	1	1

3.6 Grenslagen

De grens tussen (cohesieve) ongedraineerde toplagen en onderliggende (niet-cohesieve) gedraineerde lagen, ligt aan de bovenzijde van laag nummer 1: Zand, schoon matig
De grens tussen compressibele toplagen en de onderliggende niet-compressibele lagen, ligt aan de bovenzijde van laag nummer 1: Zand, schoon matig

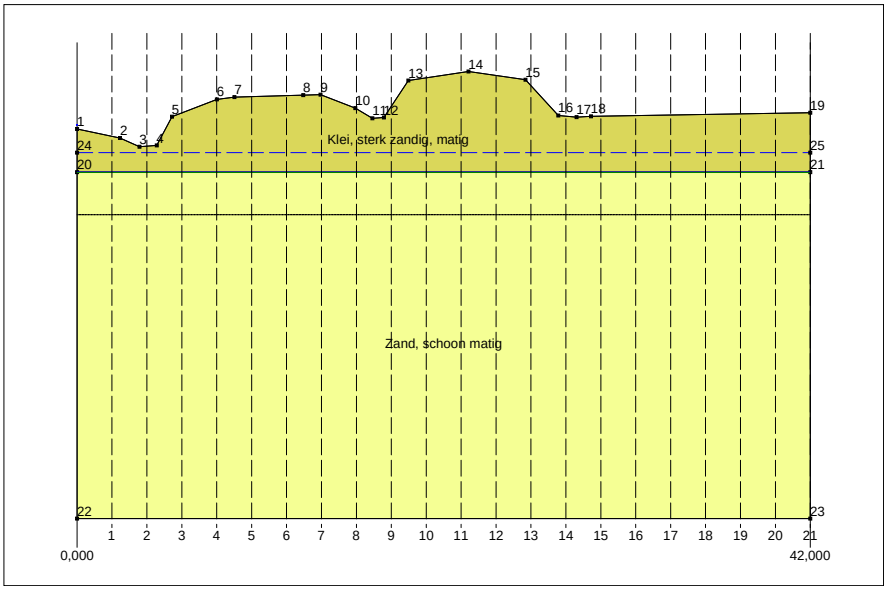
3.7 Grondeigenschappen

Naam	Gamma onverz [kN/m³]	Gamma verz [kN/m³]	Cohesie [kN/m²]	Phi [grd]	Su top [kN/m²]	Su onder [kN/m²]	Emod top [kN/m²]	Emod onder [kN/m²]
Zand, schoon matig	18,00	20,00	0,00	32,50	0,00	0,00	30000,00	30000,0
Klei, sterk zandig, matig	18,00	18,00	0,50	27,50	30,00	30,00	2000,00	2000,0

Naam	Adhesie A [kN/m²]	Delta D [grd]	Nu [-]
Zand, schoon matig	0,00	20,00	0,20
Klei, sterk zandig, matig	10,00	20,00	0,20

3.8 Geometrie

3.8.1 Geometrie Sectie, Detail



3.8.2 Geometrie Bovenaanzicht

3.9 Berekenings Verticalen

Verticaal nr.	L-coörd. [m]	Z-coörd. [m]
1	2,000	-2,280
2	4,000	-2,280
3	6,000	-2,280
4	8,000	-2,280
5	10,000	-2,280
6	12,000	-2,280
7	14,000	-2,280
8	16,000	-2,280
9	18,000	-2,280
10	20,000	-2,280
11	22,000	-2,280
12	24,000	-2,280
13	26,000	-2,280
14	28,000	-2,280
15	30,000	-2,280
16	32,000	-2,280
17	34,000	-2,280
18	36,000	-2,280
19	38,000	-2,280
20	40,000	-2,280
21	42,000	-2,280

Locaties berekenings verticalen; L is de horizontale coördinaat langs de leiding geprojecteerd op het horizontale vlak, opgehoogd met de intrede coördinaat.

3.10 Configuratie van de Pijpleiding

X coördinaat linker punt	0,000	[m]
Y coördinaat linker punt	0,000	[m]
Z coördinaat linker punt	-2,280	[m]
X coördinaat rechter punt	42,000	[m]
Y coördinaat rechter punt	0,000	[m]
Z coördinaat rechter punt	-2,280	[m]
Hoek links	0,0001	[grd]
Hoek rechts	0,0001	[grd]
Kromtestraal links, verticaal in/uit	0,001	[m]
Kromtestraal rechts, verticaal in/uit	0,001	[m]
Diepste punt van de pijpleiding (hart boortracé)	-2,280	[m]
Hoek van de pijpleiding (tussen de stralen)	0,0000	[grd]
Aantal horizontale bochten:	0	

De pijpleiding wordt van links naar rechts ingeduwd.

3.11 Materiaalgegevens van de Leiding

Materiaal	Synthetisch	
Kwaliteit	SN 32000	
Elasticiteitsmodulus (kort)	20500,00	[N/mm²]
Elasticiteitsmodulus (lang)	12500,00	[N/mm²]
Uitwendige diameter leiding	1026,00	[mm]
Oversnijding op de straal	10	[mm]
Wanddikte (Nominaal)	34,00	[mm]
Volumegewicht leidingmateriaal	21,42	[kN/m³]

3.12 Gegevens voor Leidingberekening

Toegestane druk kracht	1830,00	[kN]
Volume verlies als percentage van het oversnijdingsoppervlak	50,00	[%]
Relatieve verplaatsing	10,00	[mm]

Samendrukkingsconstante	6,00	[-]
Beddingsconstante boorvloeistof (Kv)	500,00	[kN/m³]
Hoek van inwendige wrijving smeervloeistof	15,00	[grd]
Adhesie smeervloeistof	5,00	kN/m²
Factor op phi voor gereduceerde grond belasting	0,50	[-]
Delta smeervloeistof	7,50	[grd]
Wrijving met injectie	7,50	[kPa]
Wrijving zonder injectie	10,00	[kPa]

3.13 Factoren

Veiligheidsfactor (gedraineerde) cohesie C	1,40	[-]
Veiligheidsfactor ongedraineerde schuifsterkte Su	1,40	[-]
Veiligheidsfactor Phi	1,10	[-]
Veiligheidsfactor effectieve druk	1,50	[-]
Veiligheidsfactor waterdruk	1,05	[-]
Veiligheidsfactor opdrijven	1,00	[-]
Onzekerheidsfactor gronddruk	1,10	[-]
Factor silo effect bovenliggende laagpakket	2,00	[-]
Stabiliteitsverhouding N	3,00	[-]
Volumegewicht water	10,00	[kN/m³]
Verhouding H/Do voor grens tussen ondiepe en diepe situatie	7,50	[-]

4 Grondmechanische Data

4.1 Grondmechanische Parameters

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:
Merk op: veiligheidsfactoren niet toegepast.

q_v;p	Passieve grondspanning	kN/m²
q_v;n	Neutrale grondspanning	kN/m²
q_h;n	Neutrale horizontale grondspanning	kN/m²
q_v,r;n	Gereduceerde neutrale grondspanning	kN/m²
q_verkeer	Verkeersbelasting	kN/m²
q_v;e	Verticaal evenwichtsdraagvermogen	kN/m²
q_h;e	Horizontaal evenwichtsdraagvermogen	kN/m²
k_v;bot	Verticaal beddingsgetal omlaag	kN/m³
k_v;top	Verticaal beddingsgetal omhoog	kN/m³
k_h	Horizontaal beddinggetal	kN/m³
t_max	Maximale wrijving leiding	kN/m²
d_max	Corresponderende verplaatsing bij mobilisatie maximale wrijving	mm
mat	Bodemtype	-

Verticaal nr.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_verkeer [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
1	26	18	8	18	0	687
2	19	14	6	14	0	538
3	46	29	13	29	0	1047
4	60	35	16	35	0	1258
5	63	36	17	36	0	1304
6	64	37	17	37	0	1320
7	64	37	17	37	0	1327
8	50	31	14	31	0	1114
9	53	32	15	32	0	1149
10	84	45	21	45	0	1599
11	90	47	22	47	0	1682
12	87	46	21	46	0	1636
13	75	41	19	41	0	1476
14	43	27	13	27	0	997
15	43	27	13	27	0	997
16	44	28	13	28	0	1006
17	44	28	13	28	0	1015
18	45	28	13	28	0	1024
19	45	28	13	28	0	1032
20	46	29	13	29	0	1041
21	47	29	13	29	0	1050

Verticaal nr.	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]	mat [-]
1	10049	165	7034	6,44	4,0	Zand
2	7869	102	5508	6,06	4,0	Zand
3	15313	377	10719	7,36	4,0	Zand
4	18392	542	12874	7,88	4,0	Zand
5	19062	582	13344	8,00	4,0	Zand
6	19291	596	13504	8,04	4,0	Zand
7	19399	602	13579	8,06	4,0	Zand
8	16283	425	11398	7,52	4,0	Zand
9	16804	453	11763	7,61	4,0	Zand
10	14461	3219	10123	8,73	4,0	Zand
11	14461	3112	10123	8,94	4,0	Zand
12	14461	3169	10123	8,82	4,0	Zand
13	14461	3398	10123	8,43	4,0	Zand
14	14575	342	10203	7,23	4,0	Zand
15	14580	342	10206	7,23	4,0	Zand
16	14708	348	10296	7,25	4,0	Zand
17	14836	354	10385	7,27	4,0	Zand
18	14965	360	10475	7,30	4,0	Zand

Verticaal nr.	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]	mat [-]
19	15093	366	10565	7,32	4,0	Zand
20	15221	372	10655	7,34	4,0	Zand
21	15350	379	10745	7,36	4,0	Zand

Maximale grondspanning : q_v;n;max = 47 kN/m²
Maximale gereduceerde grondspanning (incl. verkeersbelastingen) : q_verkeer;max = 47 kN/m²
Maximale gereduceerde grondspanning : q_v;r;n;max = 47 kN/m²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)
alleen voor verticalen in diepe situatie : k_v;max = 14461 kN/m³
Maximale verticale beddingsconstante (veiligheidsfactor toegepast)
alleen voor verticalen in diepe situatie : k_v;max = 28923 kN/m³

WAARSCHUWING:
Bij de berekening van de grondmechanische parameters wordt de maximale beddingscontante (k_v;max) alleen bepaald met de verticalen die in diepe situatie liggen.
Op basis van de opgegeven grens H/Do tussen diepe en ondiepe situaties van 7,50 zijn geen verticalen in diepe situatie gevonden voor pijp nr. 1.
Daarom is de verhouding gereduceerd tot 2,50 voor deze pijp om een waarde ongelijk aan 0 te krijgen voor k_v;max.

5 Uitvoeringsparameters

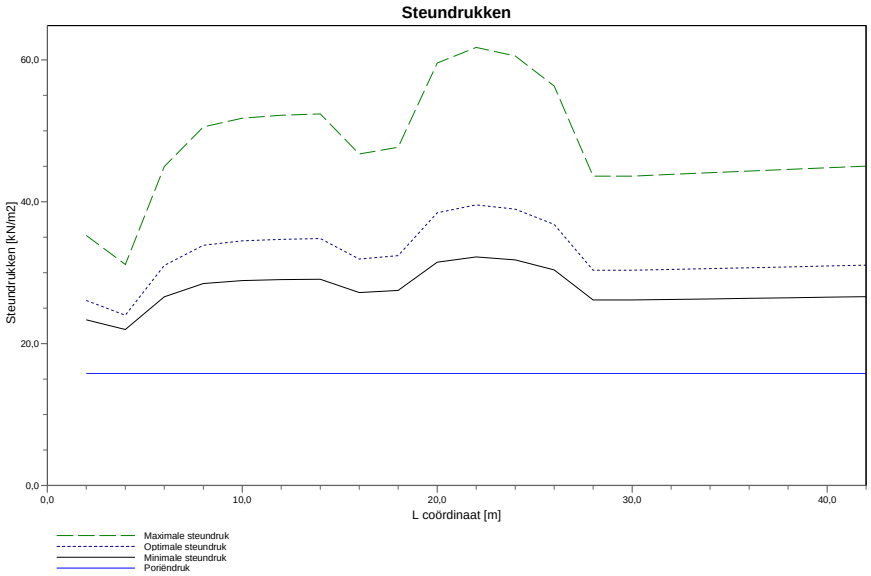
5.1 Schilddrukken en Drukkrachten

5.1.1 Resultaten tabel

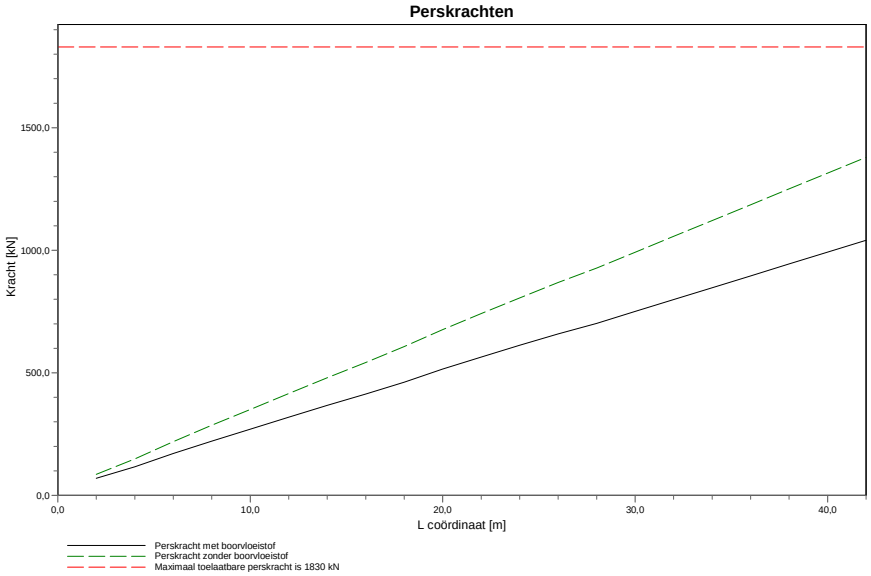
De maximaal toelaatbare schild druk en de minimaal benodigde schild druk zijn berekend voor de opgegeven grond condities. De maximale schilddruk moet niet overschreden worden teneinde frac-out te voorkomen De minimale schilddruk moet niet onderschreden worden om maaiveld zakkingen te voorkomen. De target druk is de druk die minimale grond deformaties veroorzaakt tijdens het drillen.

Verticaal nr.	Front Vloeistofdrukken			Duw Kracht	
	Pmax [kN/m²]	Pmin [kN/m²]	Pstreef [kN/m²]	Smeer [kN]	Normaal [kN]
1	35	23	26	70	86
2	31	22	24	117	149
3	45	27	31	171	219
4	51	28	34	221	286
5	52	29	34	270	351
6	52	29	35	319	415
7	52	29	35	367	480
8	47	27	32	413	542
9	48	28	32	462	607
10	60	31	38	515	676
11	62	32	40	565	742
12	61	32	39	612	806
13	56	30	37	659	868
14	44	26	30	702	928
15	44	26	30	750	992
16	44	26	30	799	1057
17	44	26	31	847	1121
18	44	26	31	896	1186
19	45	26	31	944	1250
20	45	27	31	993	1315
21	45	27	31	1041	1379

5.1.2 Front Steundrukken Grafiek



5.1.3 Drukkrachten



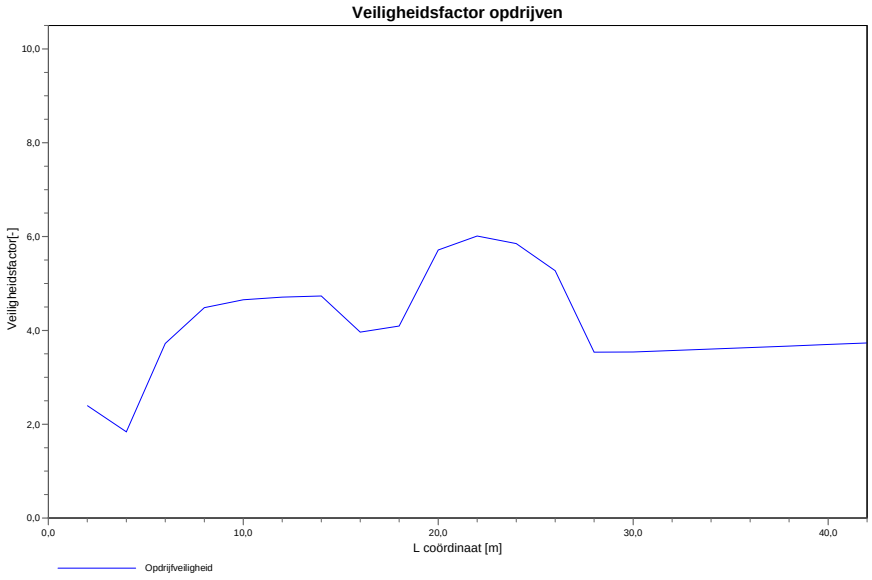
5.2 Verificatie Opdrijven

Door het drijfvermogen van de pijp onder de grondwater spiegel moet het opdrijven worden gecontroleerd. In de volgende berekening is de veiligheids factor tegen opdrijven bepaald. Deze berekening is gebaseerd op een lege pijp.

5.2.1 Opdrijf Factoren

Verticaal nr.	Veiligheidsfactor berekend [-]	Veiligheidsfactor vereist [-]
1	2,40	1,00
2	1,84	1,00
3	3,72	1,00
4	4,49	1,00
5	4,65	1,00
6	4,71	1,00
7	4,74	1,00
8	3,96	1,00
9	4,09	1,00
10	5,71	1,00
11	6,01	1,00
12	5,85	1,00
13	5,27	1,00
14	3,54	1,00
15	3,54	1,00
16	3,57	1,00
17	3,60	1,00
18	3,63	1,00
19	3,67	1,00
20	3,70	1,00
21	3,73	1,00

5.2.2 Opdrijven



6 Deformaties

6.1 Zakking

Ten gevolge van de oversnijding zal maaiveld zakking optreden. De zakking is berekend met een volume verlies percentage van het oversnijdings oppervlak. In de berekening is 50,0 procent gebruikt.

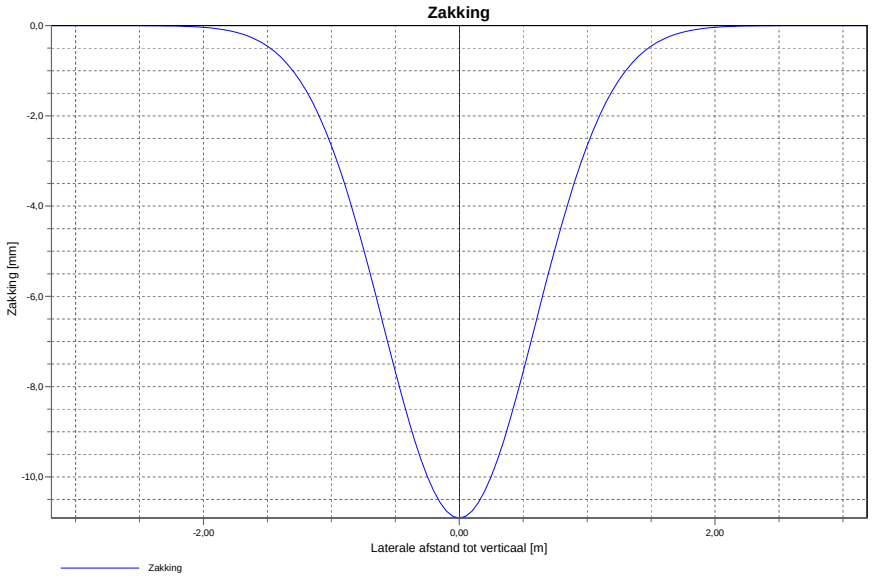
Uitwendige diameter leiding	1026	[mm]
Oversnijding op de straal	10	[mm]
Volume verlies	16273,4	[mm²]

6.1.2 Zakkingswaardentabel

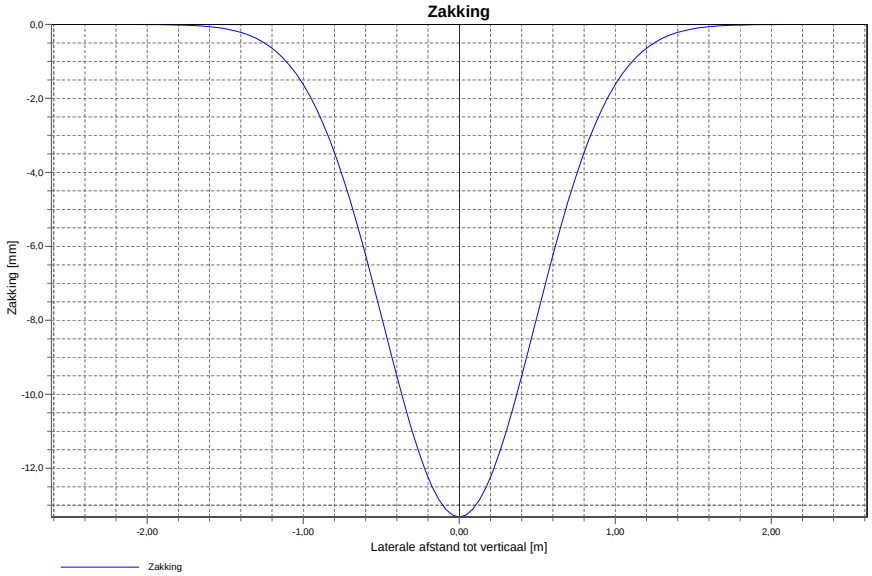
Verticaal nr.	Zakking op horizontale afstand van de z as:										
	0 W [mm]	0.1 W [mm]	0.2 W [mm]	0.4 W [mm]	0.7 W [mm]	1.0 W [mm]	1.3 W [mm]	1.6 W [mm]	2.0 W [mm]	2.5 W [mm]	3.0 W [mm]
1	11	10	9	4	1	0	0	0	0	0	0
2	13	12	10	5	1	0	0	0	0	0	0
3	8	7	6	4	1	0	0	0	0	0	0
4	7	6	5	3	1	0	0	0	0	0	0
5	6	6	5	3	1	0	0	0	0	0	0
6	6	6	5	3	1	0	0	0	0	0	0
7	6	6	5	3	1	0	0	0	0	0	0
8	7	7	6	4	1	0	0	0	0	0	0
9	7	7	6	3	1	0	0	0	0	0	0
10	5	5	4	3	1	0	0	0	0	0	0
11	5	5	4	3	1	0	0	0	0	0	0
12	5	5	4	3	1	0	0	0	0	0	0
13	6	5	5	3	1	0	0	0	0	0	0
14	8	8	7	4	1	0	0	0	0	0	0
15	8	8	7	4	1	0	0	0	0	0	0
16	8	8	7	4	1	0	0	0	0	0	0
17	8	7	7	4	1	0	0	0	0	0	0
18	8	7	6	4	1	0	0	0	0	0	0
19	8	7	6	4	1	0	0	0	0	0	0
20	8	7	6	4	1	0	0	0	0	0	0
21	8	7	6	4	1	0	0	0	0	0	0

W is de verticale afstand tussen het maaiveld en het buiscentrum

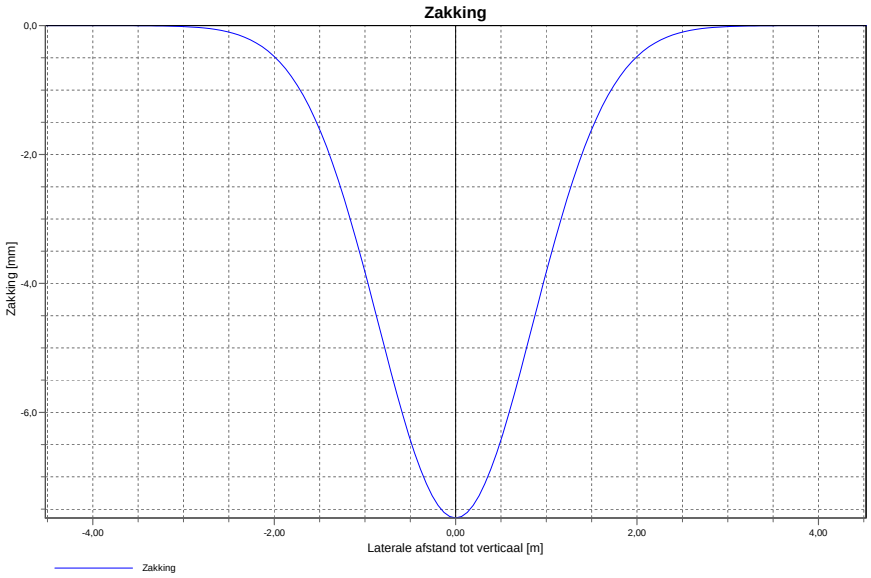
6.1.4 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 1



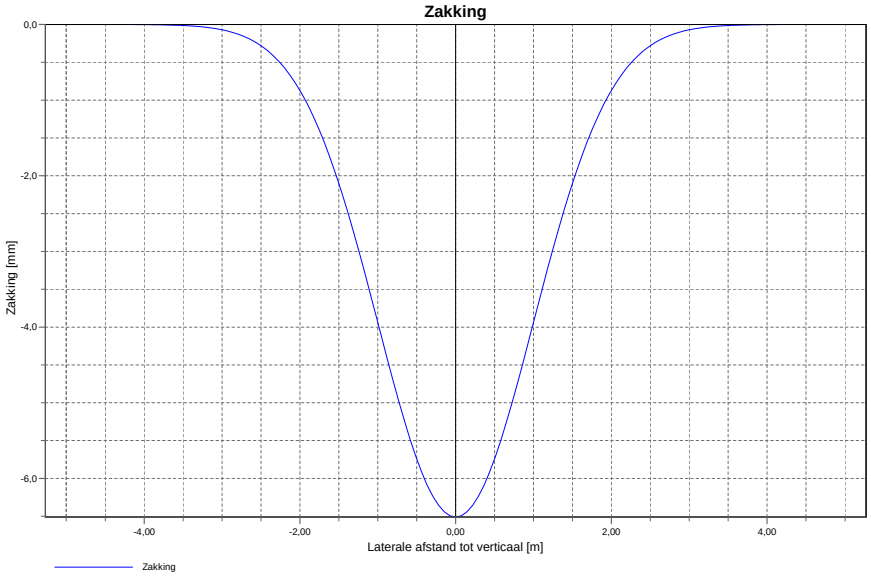
6.1.5 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 2



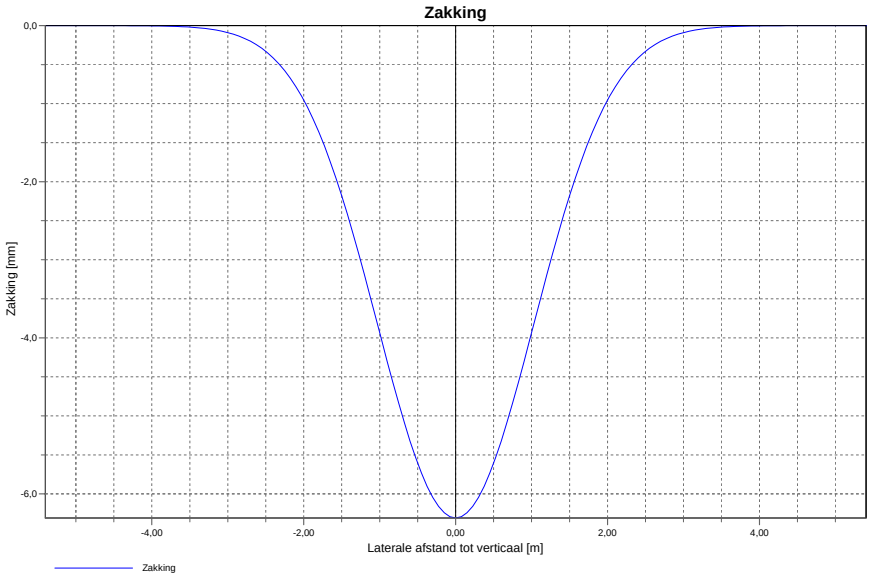
6.1.6 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 3



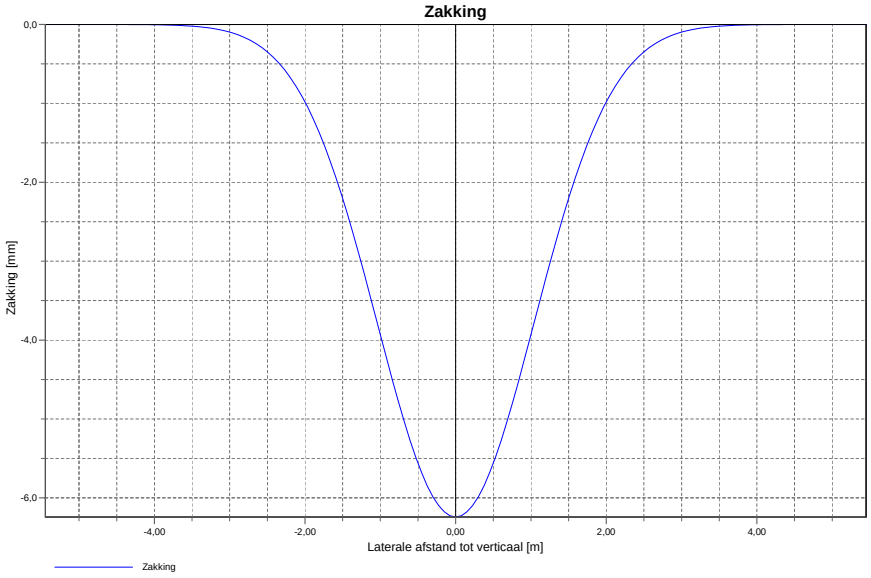
6.1.7 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 4



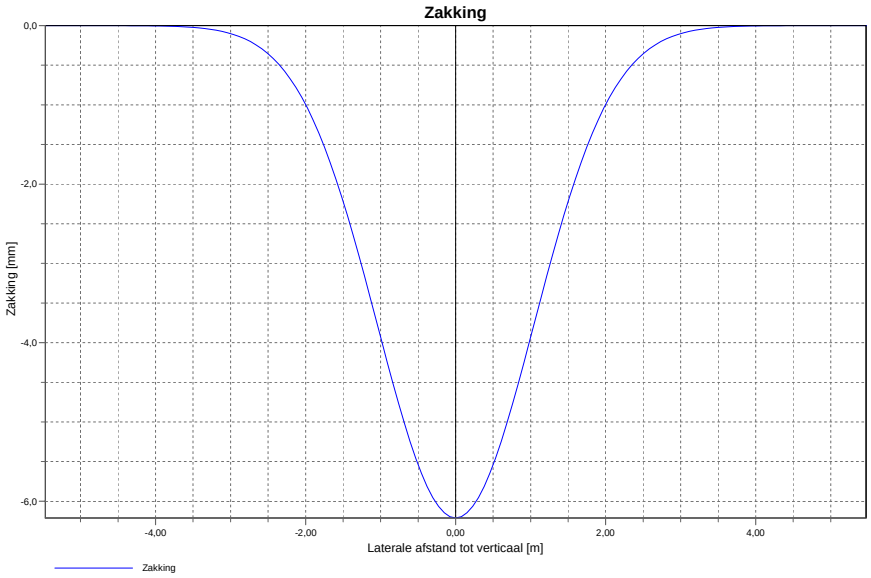
6.1.8 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 5



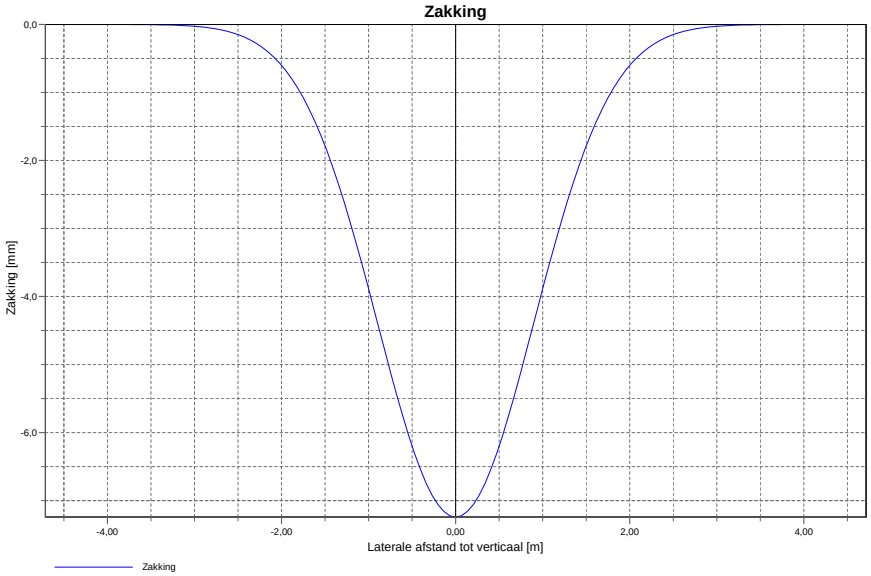
6.1.9 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 6



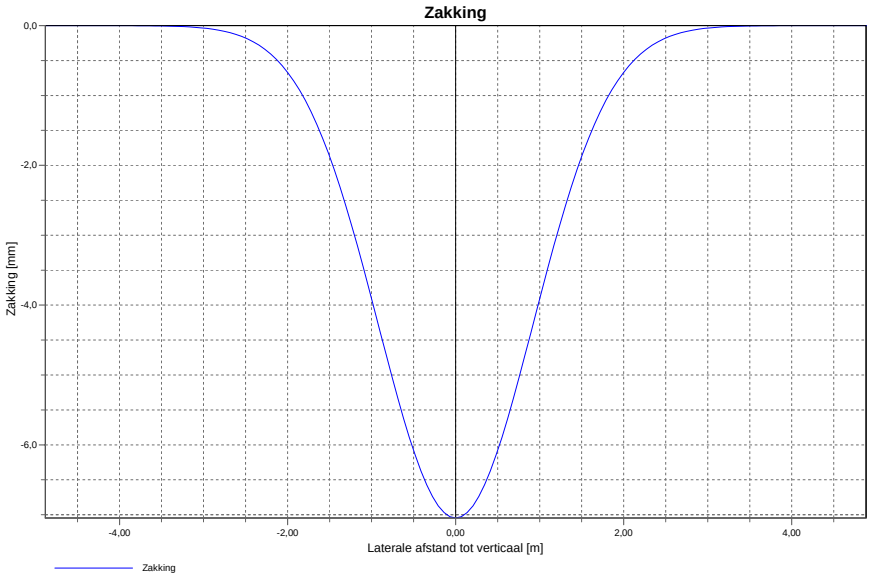
6.1.10 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 7



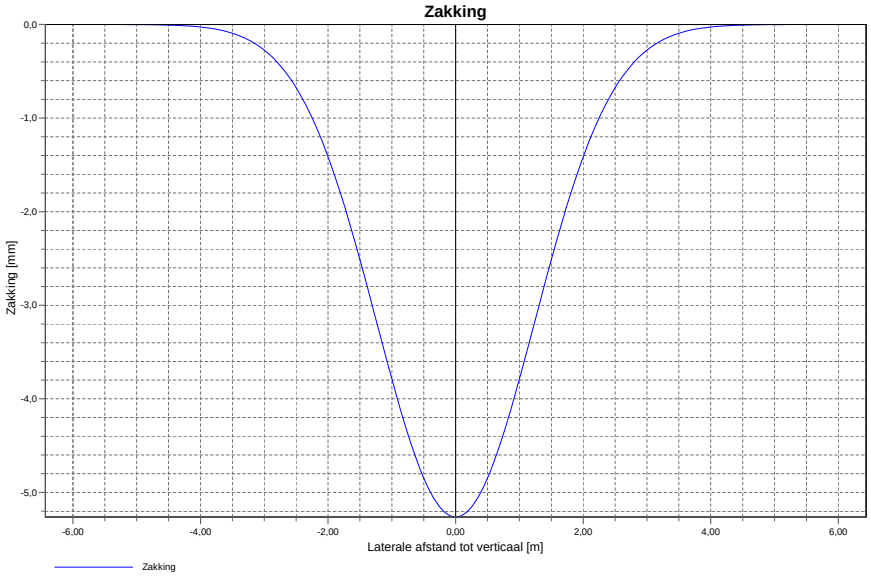
6.1.11 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 8



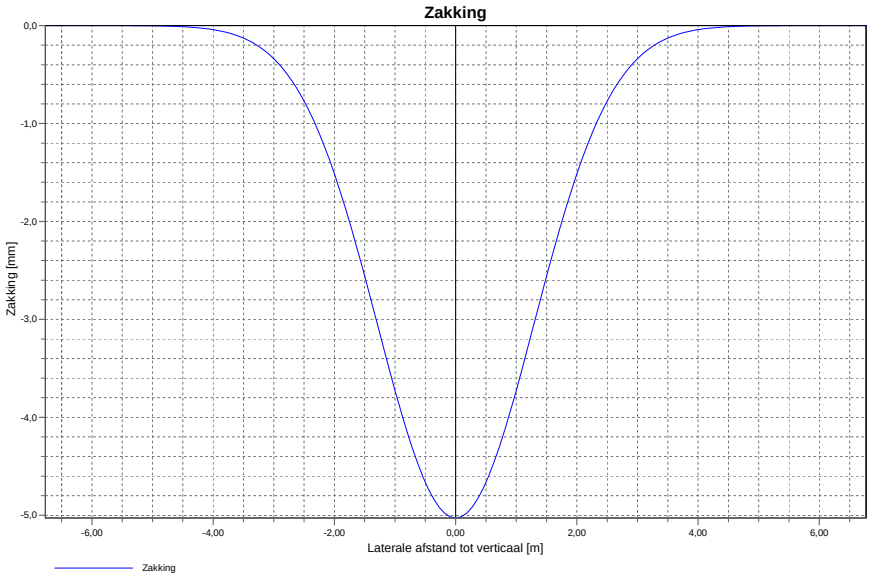
6.1.12 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 9



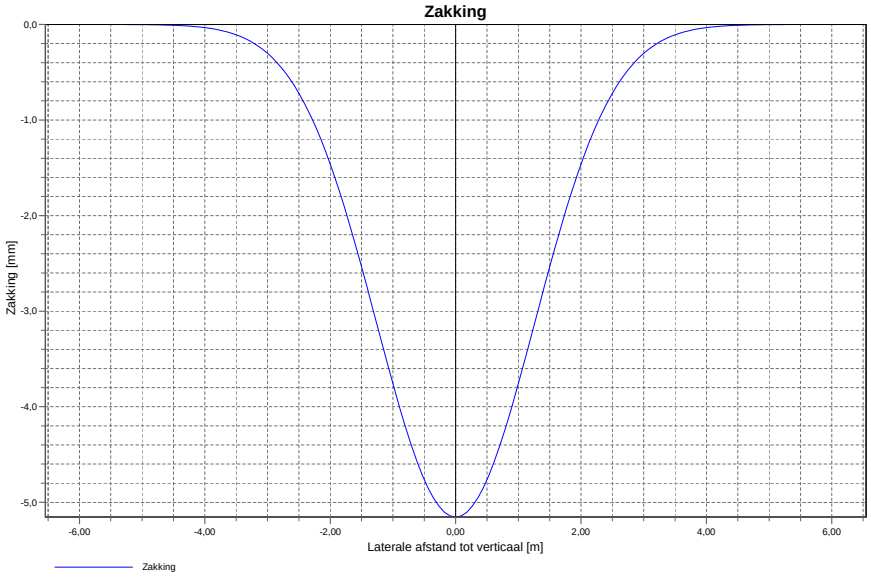
6.1.13 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 10



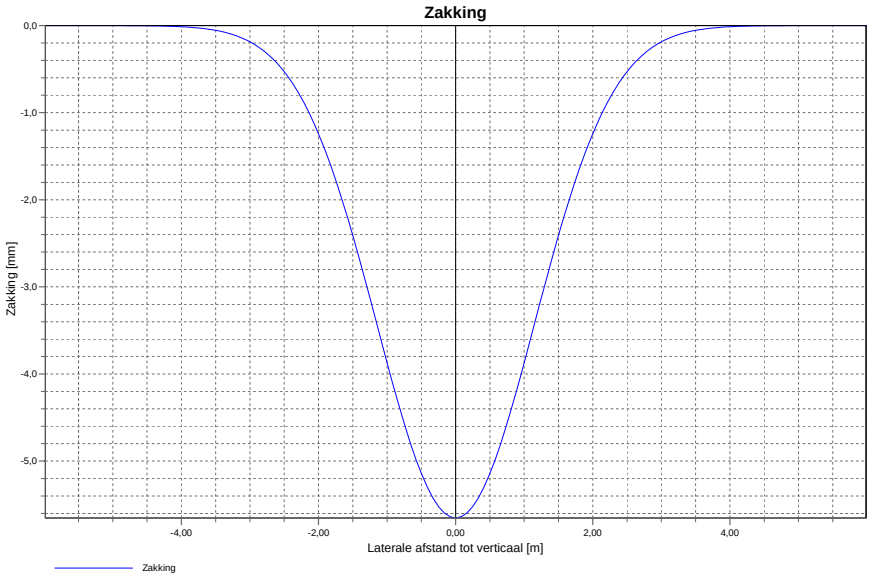
6.1.14 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 11



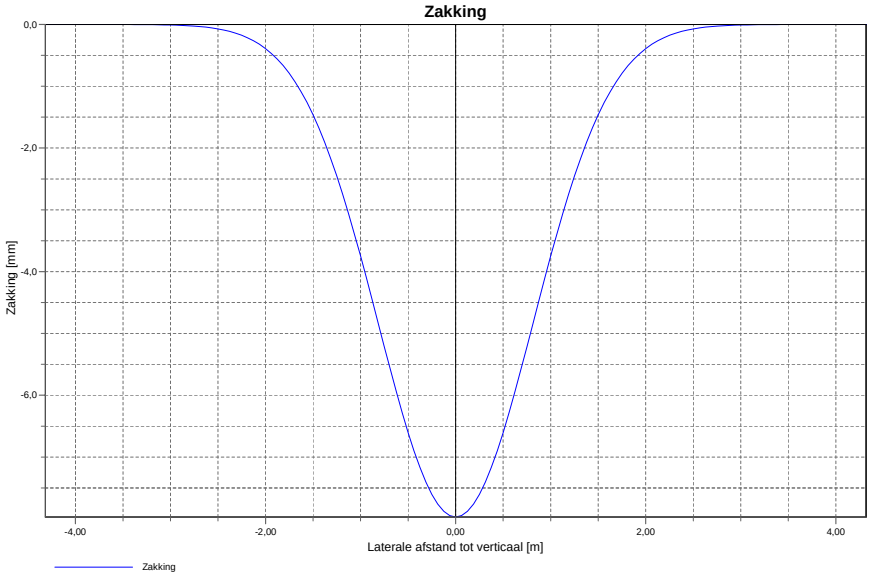
6.1.15 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 12



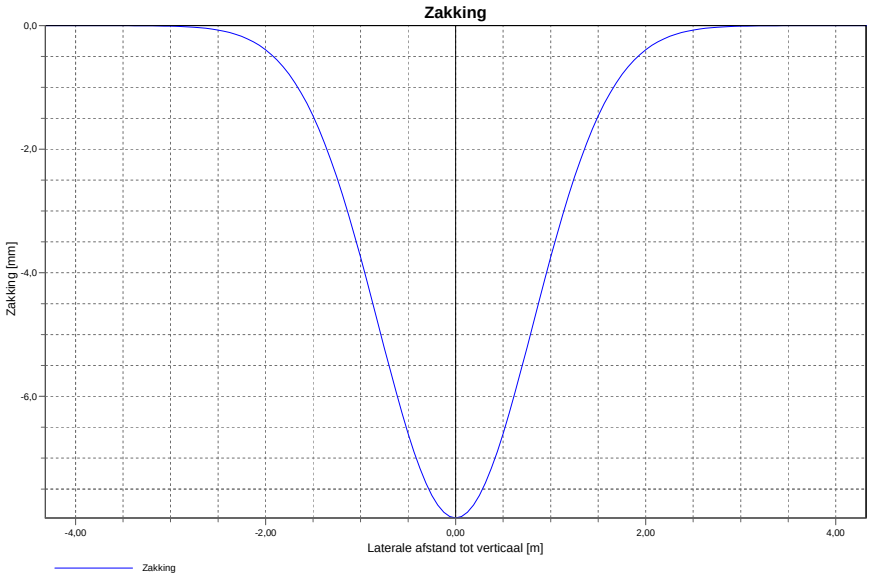
6.1.16 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 13



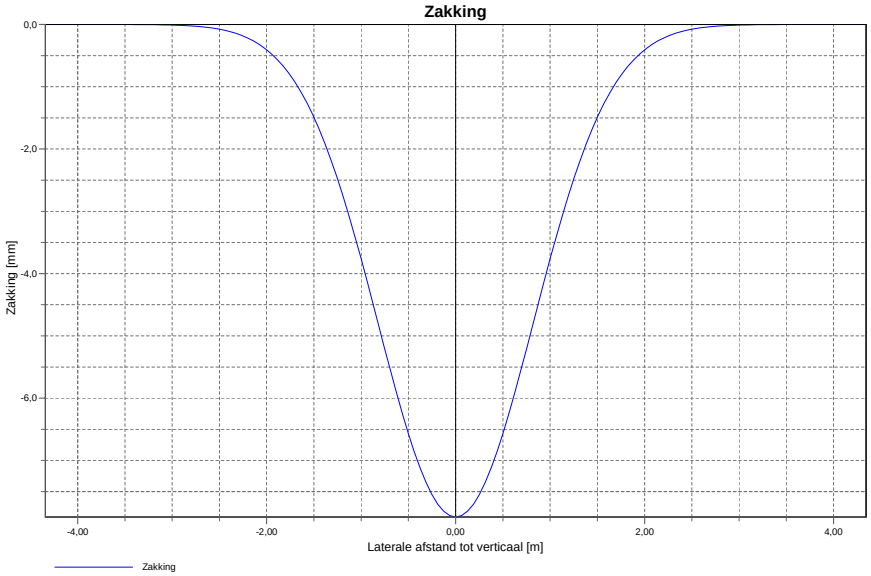
6.1.17 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 14



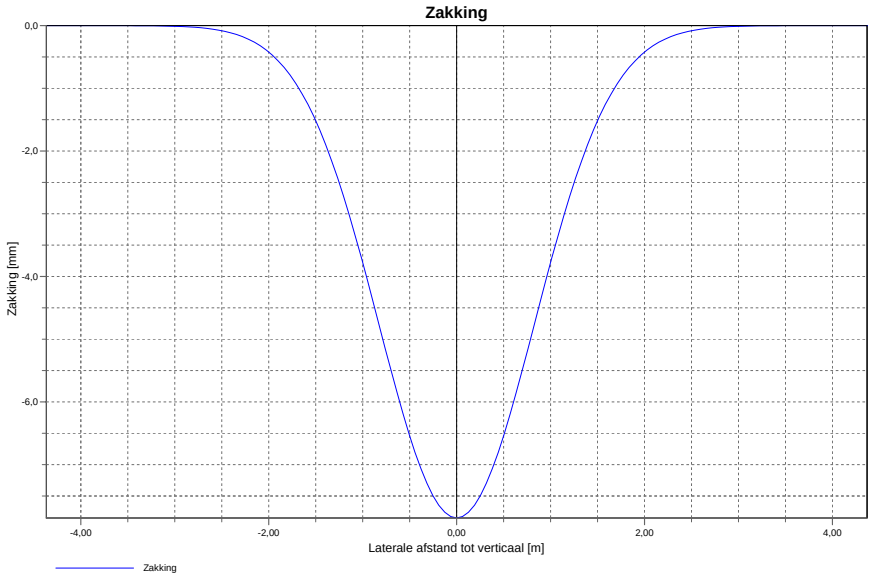
6.1.18 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 15



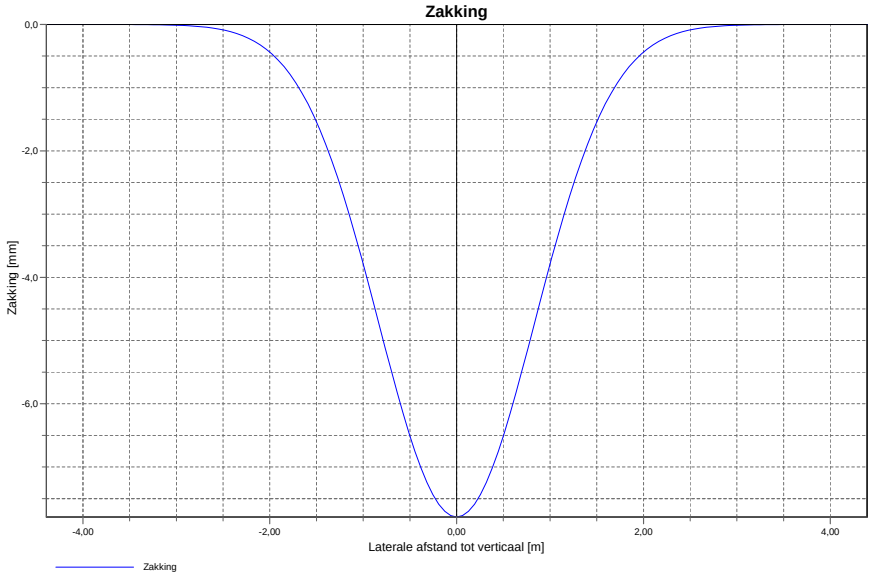
6.1.19 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 16



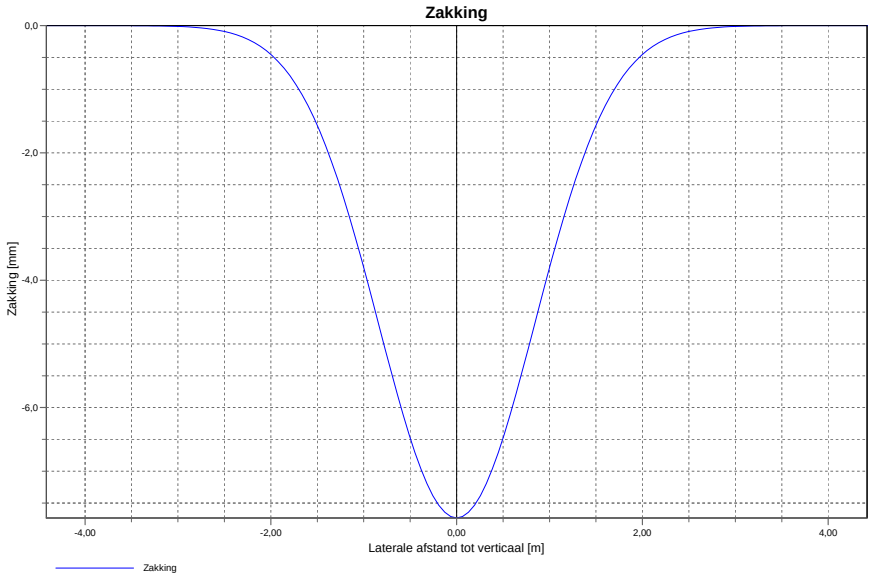
6.1.20 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 17



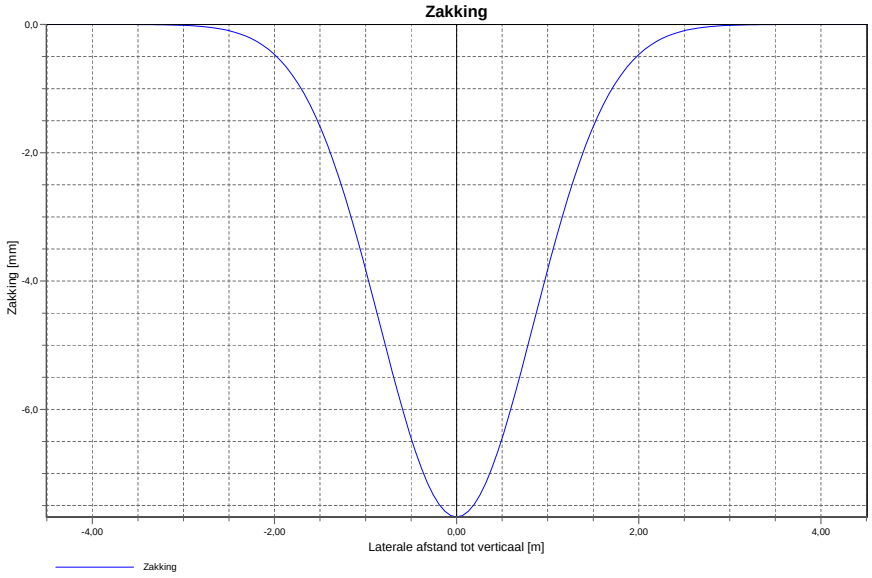
6.1.21 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 18



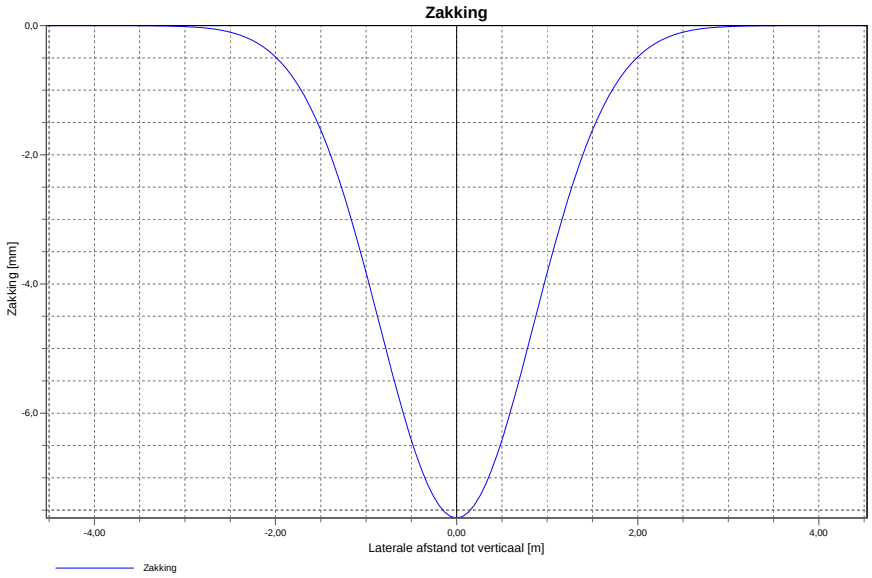
6.1.22 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 19



6.1.23 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 20



6.1.24 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 21



Einde Rapport

F.4 Boring 150 kV onder goederenspoor, nabij Geertruidenberg

Kruising 2 HDD's met een spoor, primaire waterkeringen en de Amertak

Vergunningsrapport ProRail, waterschap Brabantse Delta en Rijkswaterstaat

SWECO

Verantwoording

Titel	Kruising 2 HDD's met een spoor, primaire waterkeringen en de Amertak
Onderwerp	Vergunningsrapport ProRail, waterschap Brabantse Delta en Rijkswaterstaat
Projectnummer	51001237
Klant	TenneT
Referentienummer	NL22-648800269-31697
Versie	D1
Datum	13-09-2022
Auteur	[redacted]
E-mailadres	
Gecontroleerd door	[redacted]
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 8
2.4 Horizontale afstand tot overige objecten 8
2.5 Diepteligging 8
2.6 Inwendige overdruk 9
2.7 Grondwaterstand 9
2.8 Belasting- en ondersteuningshoek 9
2.9 Importantiefactor 9
2.10 Geotechnische parameters 9
2.11 Boortechnische gegevens 10
2.12 Verkeersbelasting 11
2.13 Boogstralen 11

3. Ontwerp 12
3.1 Gegevens HDD 12
3.2 Boorparameters 13
3.3 Intredepunt 13
3.4 Uittredepunt en uitlegstrook 13

4. Berekeningsresultaten 15
4.1 Trekkrachtberekening 16
4.2 Sterkteberekening bedrijfsfase 16
4.3 Muddrukberekening 16
4.4 Implosie 16
4.5 Kwelweg 17
4.5.1 Kwel uit het eerste watervoerende pakket 17
4.5.2 Kwel tussen de peilgebieden 17

5. Risico’s en aandachtspunten 19

6. Conclusie 20
6.1 Algemeen 20
6.2 Uitkomsten ontwerp en berekening 20

Bijlage 1 – Ontwerptekening
Bijlage 2 – Geotechnisch onderzoek
Bijlage 3 – Berekening D-Geo Pipeline

1. Inleiding

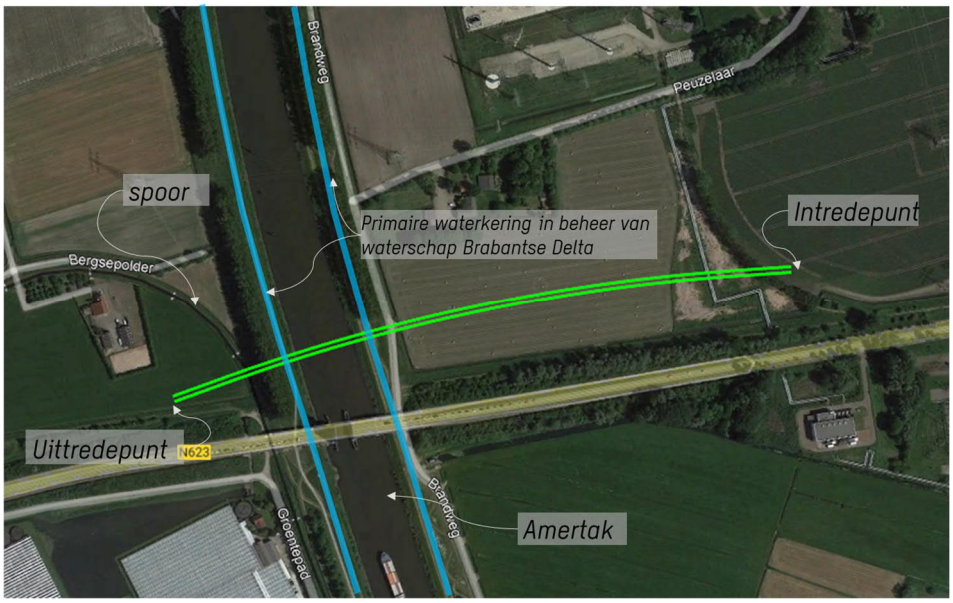
TenneT is voornemens om delen van de bovengrondse 150 kV-verbindingen binnen het projectgebied van Zuid-West 380 kV Oost ondergronds te verkabelen. Het projectgebied loopt vanaf Rilland aan de westzijde tot aan Tilburg aan de oostzijde. Bij het ondergronds brengen van de kabels moeten circa 45 kruisingen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

Dit rapport betreft de kruising met een spoor, 2 primaire waterkeringen en de Amertak. De kruising (met codering GTB HDD1) is vergunningsplichtig bij ProRail, waterschap Brabantse Delta en Rijkswaterstaat. Het ontwerp en de berekeningen zijn uitgevoerd conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020, Richtlijn Boortechnieken en de eisen van ProRail.

1.1 Situatie

Het tracé van de HDD's start ten oosten van de Amertak in het bouwland ten noorden van de N623 en hoogspanningsstation Geertruidenberg-Zuid. Het tracé eindigt in het bouwland aan de westzijde van de Amertak (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. Per bundel wordt in drie van de mantelbuizen een hoogspanningskabel ingetrokken, 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 circa 681 m en een maximale diepte van NAP -20,0 m (hart van de boring). De twee HDD's kruisen van oost naar west: een watergang, hoogspanningskabels, een onverharde weg, ondergrondse warmtenetleidingen, bovengrondse warmtenetleidingen, diverse kabels en leidingen, de Brandweg, een primaire waterkering, de Amertak, nogmaals een primaire waterkering en een verharde weg (de Oude Dijk), een middenspanningskabel, een watergang, een enkel spoor en tenslotte nogmaals een watergang. De primaire waterkeringen zijn in beheer bij waterschap Brabantse Delta en de Amertak is rijkswater in beheer bij Rijkswaterstaat. Het spoor betreft een niet geëlektrificeerd enkelvoudig goederenspoor in beheer bij ProRail.



Figuur 1 Overzicht situatie GTB-HDD01

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 HDD1, tekeningnummer GTB-HDD1 versie D, d.d. 12-09-2022 opgesteld door Sweco (bijlage 1).
- Geotechnisch onderzoek uit Dinoloket (bijlage 2).
- Maaiveldhoogten zijn ontleend aan de Algemene Hoogtekaart van Nederland (AHN-3).
- KLIC-levering 22O052793 opgevraagd d.d. 20-04-2022.
- Peilbesluiten waterschap Brabantse Delta, geraadpleegd d.d. 19-04-2022, 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/.
- Wegbeheerders, opgevraagd d.d. 24-03-2022, website: https://www.rijkswaterstaat.nl/kaarten/wegbeheerders

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.
- Spoorkruising derden: RLN 00427-2, 31-3-2021.
- Indieningvereisten: Ten behoeve van het aanvragen van een vergunning op grond van artikel 19 Spoorwegwet en het aanvragen van een ontheffing op grond van artikel 13 lid 3 van de Regeling omgevingsregime hoofdspoorwegen, ProRail, 01-07-2021-versie-18 (bijlage 1).

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:
  - De minimale dagmaat bij een kruising met een bestaande HDD-boring is 5,0 meter, onafhankelijk van de grondslag.
  - De minimale dagmaat in zandgrond bij parallelligging tot een bestaande HDD-boring is 5,0 meter.
  - De minimale dagmaat in klei-/veengrond bij parallelligging tot een bestaande HDD-boring is 10,0 meter.
  - 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 specifieker dan de NEN 3650, voor het ontwerp houden we daarom de Richtlijn Boortechnieken aan. Aangezien vrijwel de gehele HDD's in een 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 tot de toekomstige mastenroute van TenneT is aan maaiveld een afstand van minimaal 10 meter uit de teen van de mast gehanteerd. De funderingswijze van de toekomstige masten is onbekend en dus ook of de funderingspalen geschoord staan. Bij een afstand van 10 m is een schoring van 1:3 toelaatbaar om op niveau boorlijn een minimale afstand van 5,0 m te hebben.
  - De afstand tussen hart boring en de teen van de toekomstige mast 1056 bedraagt circa 18,52 m.

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 3651:2020 paragraaf 9.6.2).
  - De kruinhoogte van de primaire watering is circa NAP +3,7 m en de teen op circa NAP +1,2 m. De HDD's liggen hier op een diepte (hart boring) van circa NAP -20 m en voldoen daarmee aan de eis.

- De HDD’s dienen 10 meter onder de waterbodem van beide kanalen te liggen (NEN 3551:2020 paragraaf 9.6.2).
  - De bodemdieptes zijn ontleend aan het vaarwegenoverzicht van Rijkswaterstaat. De Amertak heeft een diepte van NAP -4,20 m. De HDD’s liggen hier op een diepte van NAP -20 m hart boring, met een dagmaat van 15,3 m onder de bodem. Dit voldoet hiermee aan de eis.
- De HDD’s dienen minimaal 12 m beneden het laagst gelegen maaiveld binnen de druklijn 1:1,5 te liggen (paragraaf 7.1 van RLN0047-2 Spoorkruising derden)
  - De bovenkant van de leiding is op een diepte van 21,36 m geprojecteerd ten opzichte van het laagst gelegen maaiveld. De leiding voldoet hiermee aan de dekkings- en afstandseisen.
- Voor kruising met overige kabels en leidingen waaronder leidingen van het warmtenet (zowel bovengronds als ondergronds) 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

De HDD’s liggen binnen het peilbesluit van Gat van de Ham. Echter heeft het intredepunt een ander zomer- en winterpeil dan het uittredepunt. Bij het intredepunt is het zomerpeil -0,6 m NAP en het winterpeil -0,8 m NAP. Bij het uittredepunt is het zomerpeil -0,65 m NAP en het winterpeil -0,95 m NAP. We gaan in de berekening uit van een gemiddelde waterstand van -0,8 m NAP.

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 geotechnische gegevens en parameters gebruikt 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 [m NAP]	Afstand tot boortrace [m]
B44D1229	Boring	-7	40
CPT98999	Sondering	-12	10
B44D0959	Boring	-5	40
CPT98964	Sondering	-12	40
B44D1222	Boring	-3	20

Uit het grondonderzoek blijkt dat de bovenkant van de vaste zandlaag zich bevindt op circa -1,0 m NAP van het geplande boortracé. Boven de zandlaag bestaat de grond uit een laag zandige klei, zoals geobserveerd in het grondonderzoek. Gezien het kleine aantal boringen en sonderingen kan niet met zekerheid vastgesteld worden of de zandige klei over het gehele tracé voorkomt. 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, is de zandige klei over het gehele boortracé aangehouden. Tabel 2-2 laat de in de berekeningen aangehouden grondparameters en grondlagen 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 Su zijn gecorreleerd met de conusweerstand conform CUR2003-7 (2003) en CUR162 (1992).

Tabel 2-1 Grondparameters gebruikt in de berekening

Niveau bovenkant [m t.o.v. NAP]	Niveau onderkant [m t.o.v. NAP]	Lithologie	γ_d [kN/m^3]	γ_n [kN/m^3]	c' [kPa]	φ' [°]	Su top/bottom [kN/m^2]	E [kN/m^2]
0,3	-1,2	Klei; sterk zandig	18	18	0,5	27,5	30,0	2000
-1,2	-30,0	Zand; schoon; matig	18	20	0,0	32,5	0,0	30000

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 waardes zijn terug te vinden in de invoer van de muddrukberekeningen in bijlage 3.

2.12 Verkeersbelasting

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

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 horizontale bochten van 2018 en 2024 m, een verticale bocht van 250 m en een gecombineerde bocht met een boogstraal van 248 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.

Tabel 2-2 afwijkingstoleranties HDD

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

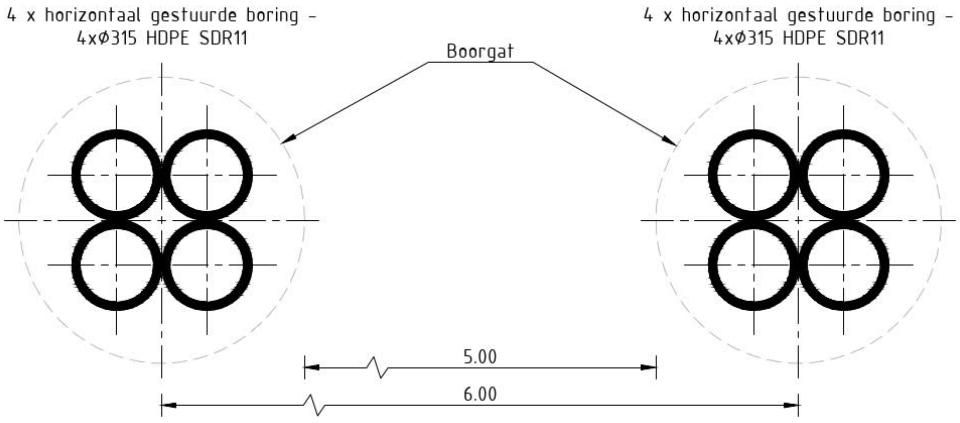
Figuur 2, afwijkingstoleranties HDD's (Bron: tabel 2.1 uit de Richtlijn Boortechnieken)

3. Ontwerp

3.1 Gegevens HDD

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

- Materiaal: 4x PE100 Ø315 mm SDR 11.
- Lengte: 681 m.
- Maximale diepte hart boring: NAP -20,0 m.
- Intredehoek: 15°.
- Uittredehoek: 15°.
- Verticale boogstralen: 250 m.
- Horizontale boogstralen: 2018 en 2024 m.
- Gecombineerde boogstralen: 248 m.



Figuur 3 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's dienen een zodanig tracé te volgen dat er voldoende dekking aanwezig is in het gehele tracé om een blow-out te voorkomen.
- De HDD's dienen buiten de kernzone van de primaire waterkeringen 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 100 ton.
- Diameter boorstang : 0,17 m.
- Volumegewicht bentoniet : 11,5 kN/m^3.
- Diameter pilothole : Ø300 mm.
- Ruimgat : Ø700 mm.
- Boorgat : Ø1000 mm.

3.3 Intredepunt

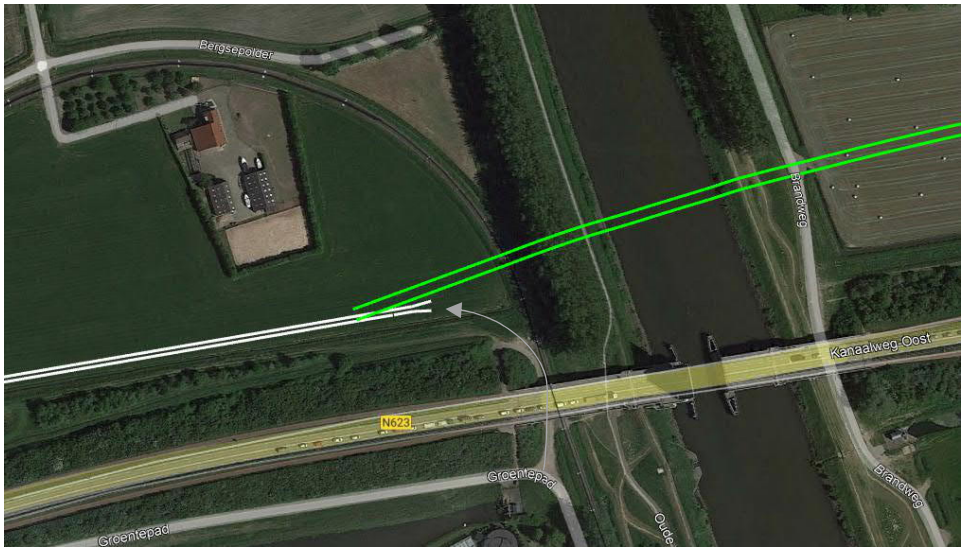
Het intredepunt ligt in bouwland aan de oostzijde van het boortracé ten noorden van de N623 en hoogspanningsstation Geertruidenberg-Zuid (zie figuur 4). De locatie is door het bouwland bereikbaar vanaf de noordzijde via de Peuzelaar. Bij het intredepunt dient de aannemer rekening te houden met het werken onder en nabij hoogspanningsmasten.

Figuur 4 Intredepunt GTB-HDD1

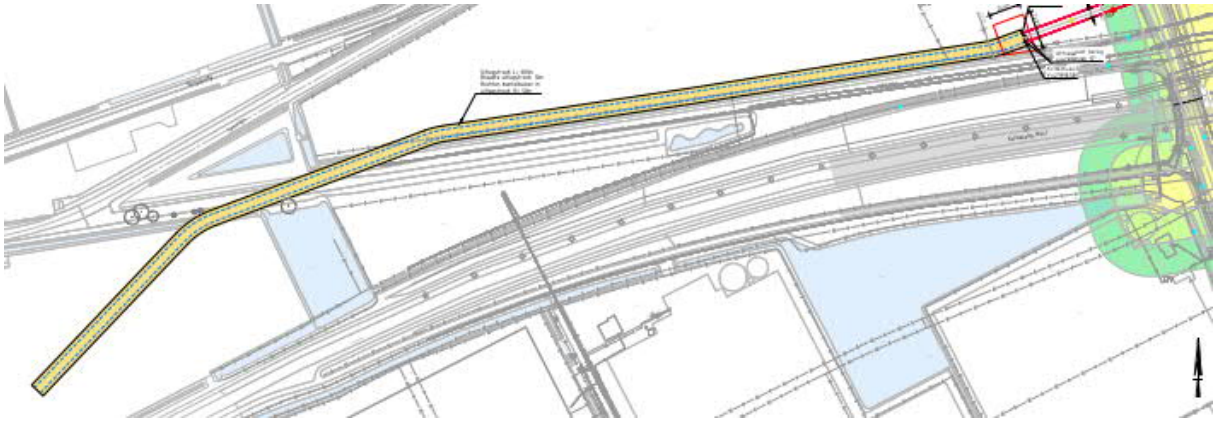
3.4 Uittredepunt en uitlegstrook

Het uittredepunt ligt in bouwland aan de westzijde van het boortracé (zie figuur 5). De locatie is bereikbaar via het Groentepad en de onderdoorgang van de brug N623. Hier kan gebruik gemaakt worden van de werkstrook van TenneT.

De uitlegstrook ligt in het bouwland en loopt grofweg parallel aan de N623 (Kanaalweg West) (zie figuur 6). De uitlegstrook kruist een categorie A waterloop en dijkje. Voor de waterloop dient een tijdelijke constructie aangelegd te worden. Langs het dijkje staan bomen en bosschages, deze dienen zoveel mogelijk behouden te blijven.



Figuur 5 Uittredepunt GTB HDD1



Figuur 6 Uitlegstrook GTB HDD1

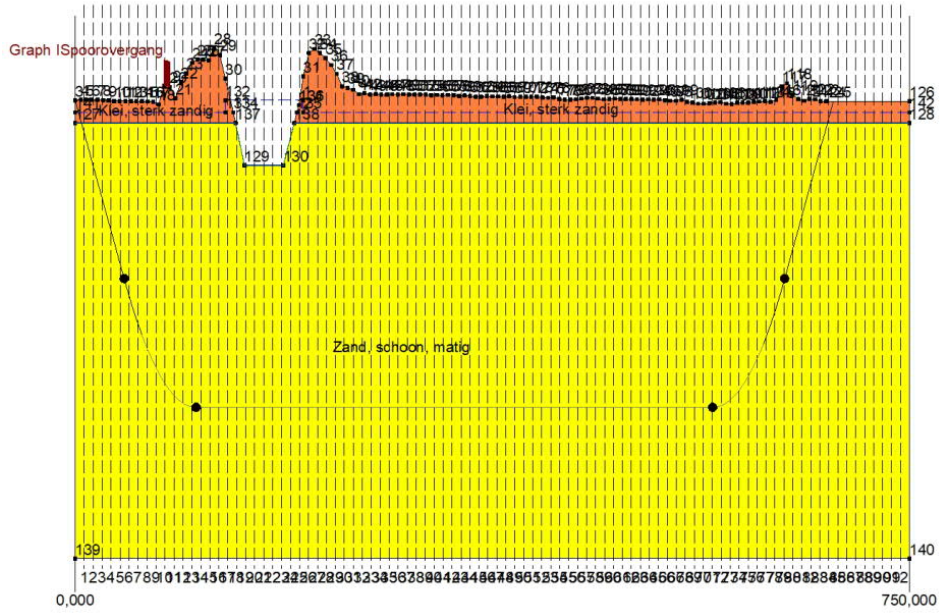
4. Berekeningsresultaten

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 7 D-Geo Pipeline-model van HDD's

4.1 Trekkrachtberekening

De berekende maximale trekkracht bedraagt 491*1,8 = 884 kN bij niet-gevulde leidingen. Dit leidt tot een maximale spanning tijdens de intrekfase van 9,12 N/mm^2 aan het einde van de intrekoperatie. Toelaatbaar is 10 N/mm^2.

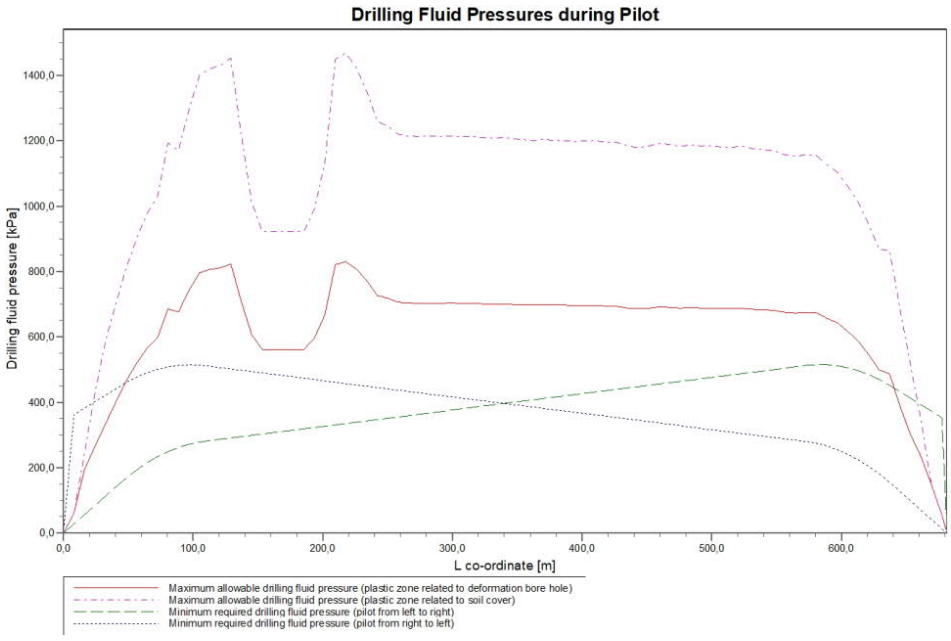
4.2 Sterkteberekening bedrijfsfase

Voor de mantelbuizen is een sterkteberekening in de bedrijfsfase gemaakt. Hieruit volgt een maximaal optredende spanning van 4,37 N/mm^2. Toelaatbaar is 8 N/mm^2 waarbij is uitgegaan van PE100 SDR 11.

Uit de sterkteberekening blijkt dat een deflectie van 8,8 mm (2,8% x D_0) optreedt. Toelaatbaar is een maximale deflectie van 25,2 mm (8%).

4.3 Muddrukberekening

Bij de geplande diepteligging van de HDD's bestaat tijdens de pilotboring, getuige de berekeningsresultaten, de kans op muduitbraak in de laatste 50 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 8 Muddrukberekening 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 203 kN/m^2, terwijl 280 kN/m^2 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

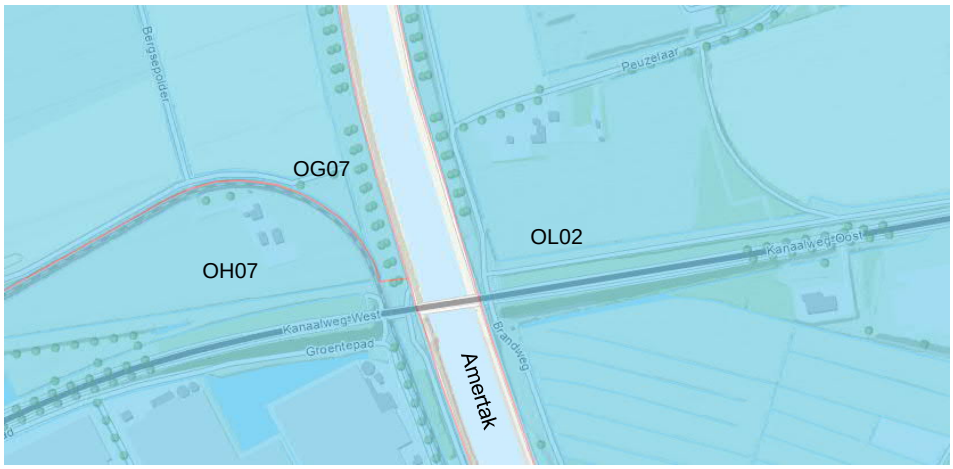
In het gebied zijn in DINOloket geen representatieve peilbuisgegevens te vinden van de diepere grondlagen. Op basis van het geotechnisch profiel, dat voornamelijk uit zand bestaat en geen diepere afsluitende kleilagen bevat, is de verwachting dat het peil van de freatische grondwaterstand en het eerste watervoerende pakket aan elkaar gelijk is. Het is daarom niet noodzakelijk om kwelmaatregelen te nemen. Dit zal geverifieerd dienen te worden met een te plaatsen peilbuis bij het tracé.

4.5.2 Kwel tussen de peilgebieden

De HDD's liggen binnen het peilbesluit van Gat van de Ham. Echter heeft het intredepunt een ander zomer- en winterpeil dan het uittredepunt (zie tabel 4-1). 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)
Amertak	+ 0,50	+ 0,50
OH07 – Plukmade	- 0,60	- 0,80
OG07 – Oud Drimmelen	-1,0	-1,5
OL02 – Middelschans	- 0,65	- 0,95



Figuur 9 Peilgebieden bij GTB-HDD1

De kwelwegen zijn berekend volgens Bligh-Lane:

$$Natuurlijke\ kwelweg < kwelweg\ via\ HDD$$

$$L_0 \times {}^1/_3 < L_{vert} + L_{hor} \times {}^1/_6$$

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 geen kwel tussen de peilgebieden via de HDD's valt te verwachten. Er zijn dus geen kwelmaatregelen nodig.

Tabel 4-2 Berekening van de kortste kwelwegen

Van peilgebied	Naar peilgebied	Kortste natuurlijke kwelweg [m]	Kortste kwelweg via HDD [m]
Amertak	OH07	60/3 = 17	18 + 60/6 + 15 = 43
Amertak	OL02	60/3 = 20	20 +60/6 + 15 = 45
Amertak	OG07	55/3 = 18	19 + 55/6 + 15 = 43
OL02	OG07	170/3 = 57	19 + 170/6 + 20 = 67
OH07	OL02	175/3 = 58	255/6 +20 = 62,5
OH07	OG07	6/3 = 2	18 + 6/6 + 19 = 38

5. Risico’s en aandachtspunten

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

- Werken in de nabijheid van hoogspanningsmasten, met name bij het uittredepunt. Ten oosten van het uittredepunt liggen verschillende mastenroutes die aansluiten op hoogspanningsstation Geertruidenberg-Zuid.
- Werken in de beschermingszones van de waterkeringen van waterschap Brabantse Delta.
- Voor de werkzaamheden zal een door ProRail gekwalificeerde aannemer nodig zijn.
- Uitlegstrook: de mantelbuizen worden uitgelegd aan de westzijde van de HDD in bouwland. De uitlegstrook kruist een categorie A waterloop, dit dient te worden afgestemd met het waterschap Brabantse Delta.
- Kruisingen met kabels en leidingen dienen te worden afgestemd met de betreffende beheerders.
- 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 plaatsbepalings-systeem 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 toekomstige hoogspanningsmasten.

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.

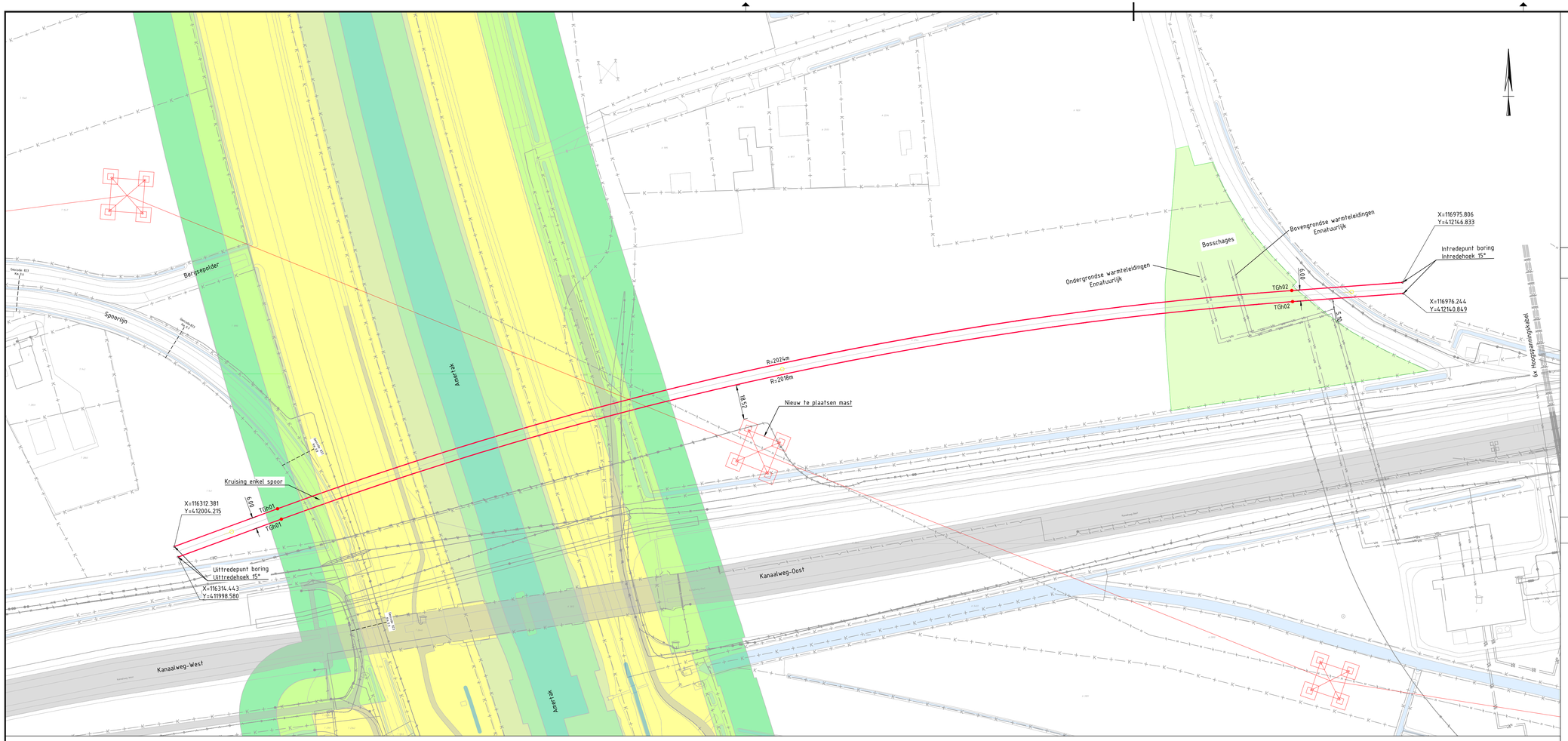
Dit rapport betreft de kruising met een spoor, twee primaire waterkeringen en de Amertak. De kruising (met codering GTB HDD1) is vergunningsplichtig bij ProRail, waterschap Brabantse Delta en Rijkswaterstaat. Het ontwerp en de berekeningen zijn uitgevoerd conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020, Richtlijn Boortechnieken en de eisen van ProRail.

6.2 Uitkomsten ontwerp en berekening

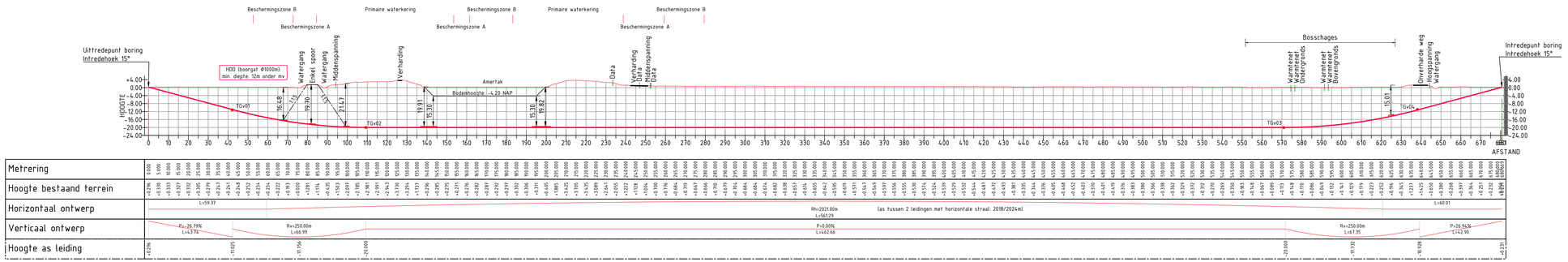
De HDD's, weergegeven op de tekeningen die zijn bijgevoegd als bijlage 1, zijn ontworpen en berekend volgens de vigerende eisen.

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

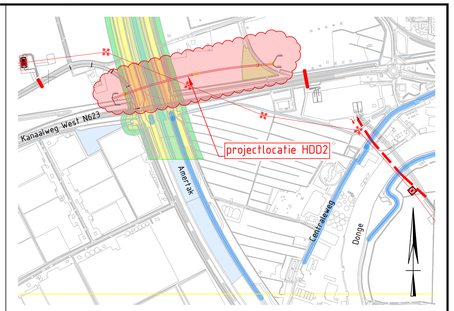


Bovenaanzicht Schaal 1:1000

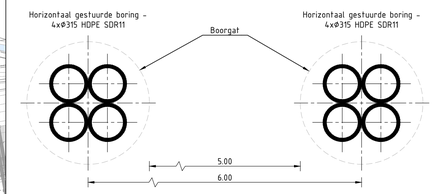


Metrering	0.000 5.000 10.000 15.000 20.000 25.000 30.000 35.000 40.000 45.000 50.000 55.000 60.000 65.000 70.000 75.000 80.000 85.000 90.000 95.000 100.000 105.000 110.000 115.000 120.000 125.000 130.000 135.000 140.000 145.000 150.000 155.000 160.000 165.000 170.000 175.000 180.000 185.000 190.000 195.000 200.000 205.000 210.000 215.000 220.000 225.000 230.000 235.000 240.000 245.000 250.000 255.000 260.000 265.000 270.000 275.000 280.000 285.000 290.000 295.000 300.000 305.000 310.000 315.000 320.000 325.000 330.000 335.000 340.000 345.000 350.000 355.000 360.000 365.000 370.000 375.000 380.000 385.000 390.000 395.000 400.000 405.000 410.000 415.000 420.000 425.000 430.000 435.000 440.000 445.000 450.000 455.000 460.000 465.000 470.000 475.000 480.000 485.000 490.000 495.000 500.000 505.000 510.000 515.000 520.000 525.000 530.000 535.000 540.000 545.000 550.000 555.000 560.000 565.000 570.000 575.000 580.000 585.000 590.000 595.000 600.000 605.000 610.000 615.000 620.000 625.000 630.000 635.000 640.000 645.000 650.000 655.000 660.000 665.000 670.000 675.000 680.000 684.294
Hoogte bestaand terrein	+0.296 +0.330 +0.333 +0.327 +0.332 +0.395 +0.379 +0.247 +0.241 +0.264 +0.226 +0.234 +0.222 +0.193 +0.020 +1.281 +1.174 +0.533 +2.897 +2.785 +2.981 +2.991 +2.943 +3.130 +3.231 +3.296 +3.295 +3.271 +3.276 +3.282 +3.297 +3.297 +3.302 +3.396 +3.311 +3.405 +3.385 +3.425 +3.475 +3.389 +3.641 +2.955 +1.122 +0.184 +0.184 +0.176 +0.179 +0.667 +0.666 +0.170 +0.179 +0.184 +0.184 +0.174 +0.638 +0.657 +0.614 +0.642 +0.595 +0.571 +0.547 +0.549 +0.597 +0.555 +0.555 +0.539 +0.524 +0.539 +0.529 +0.532 +0.547 +0.472 +0.493 +0.381 +0.335 +0.344 +0.376 +0.366 +0.408 +0.433 +0.370 +0.401 +0.419 +0.436 +0.380 +0.366 +0.362 +0.372 +0.372 +0.350 +0.183 +0.067 +0.089 +0.113 +0.138 +0.086 +0.043 +0.132 +0.541 +0.439 +0.223 +0.196 +0.345 +1.137 +1.425 +0.650 +0.380 +0.269 +0.364 +0.251 +0.232 +0.194 +0.194
Horizontaal ontwerp	L=59.37 Rh=2021.00m L=56.129 (as tussen 2 leidingen met horizontale straal: 2018/2024m) L=60.01
Verticaal ontwerp	P=-26.79% L=4.374 Rvv=250.00m L=66.99 P=0.00% L=452.66 Rvv=250.00m L=63.35 P=26.96% L=42.90
Hoogte as leiding	+0.296 -11.025 -17.194 -20.000 -20.000 -17.132 -10.928 -0.231

Lengteprofiel schaal 1:1000



Overzicht Schaal 1:10.000



Principe doorsnede
Schaal 1:20

- Kadastrale grens
- Leiding gevaarlijke inhoud
- Datatransport
- Landelijk hoogspanningsnet
- Laagspanning
- Middenspanning
- Gasleiding hoge druk
- Gasleiding lage druk
- Waterleiding
- Drukriolering
- Riolering vrijverval
- Horizontaal gestuurde boring (HDD)
- Verharding (asfalt)
- Bestaande topo
- Bebouwing
- Bosschage
- Verharding/wegen
- 16 Locatie sondering met nummer
- Primaire waterkering Waterschap Brabantse Delta
- Beschermingszone A
- Beschermingszone B

Vergunningstekening

D	T.b.v. vergunningsaanvraag II	20-04-2022	BB	MJ	JD
C	T.b.v. vergunningsaanvraag	14-04-2022	JPR	MJ	JD
B	Nieuwe locatie HDD's	25-02-2022	BB	MJ	JD
A	Eerste uitgave	17-01-2020	NJ	MJ	JD
Rev	Omschrijving	Datum rev.	Get.	Gec.	Goedg.

Opdrachtgever
TenneT TSO B.V.

Project
HDD's 150 kV ZWO

Onderdeel
GTB-HDD1
Kruising Amertak

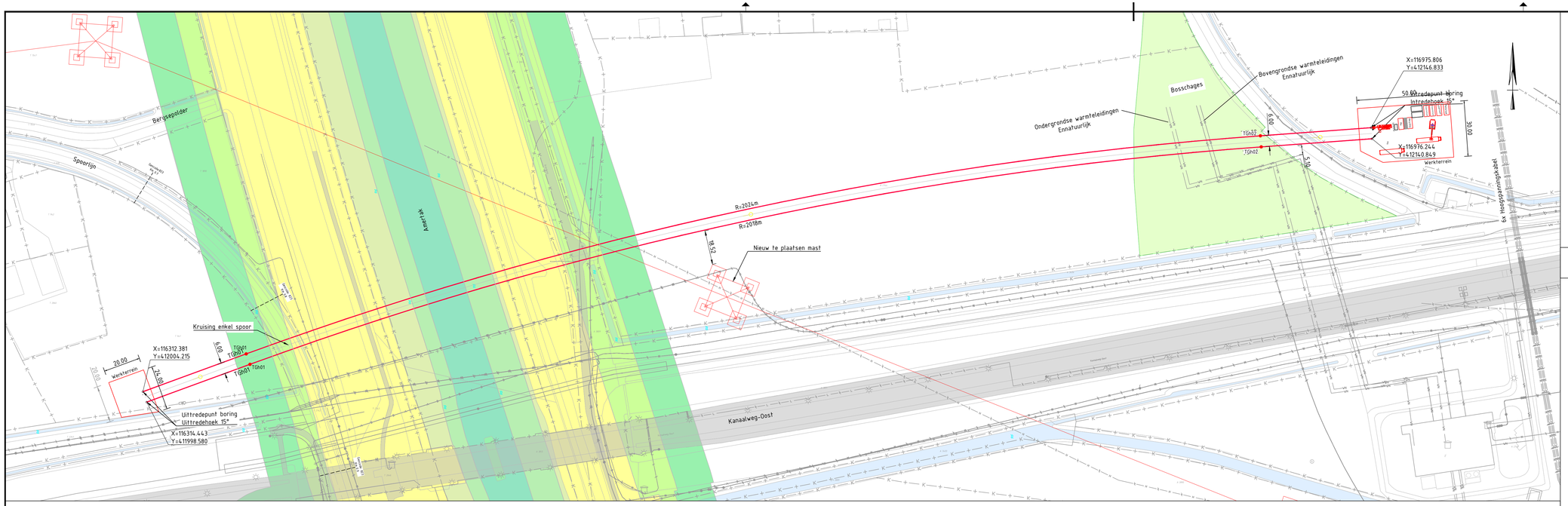
Projectnummer	Tekeningnummer	Versie	Datum van uitgave	Ontwerpfase	Contractnummer
368722	GTB-HDD1	D	14-04-2022	BO	

Blad	Van	Schaal	Formaat	Kantoor	Get.	Gec.	Goedg.
1	2	Zie tekening	A1	De Bilt	BB	MJ	JD

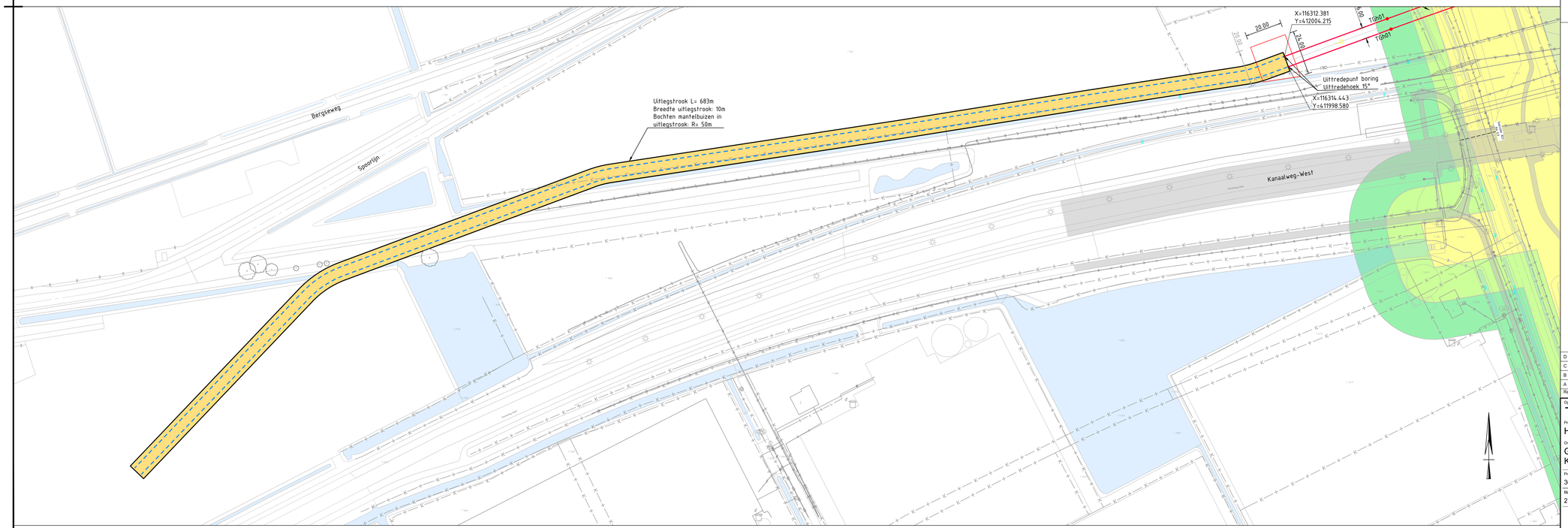
www.sweco.nl
© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden

SWECO

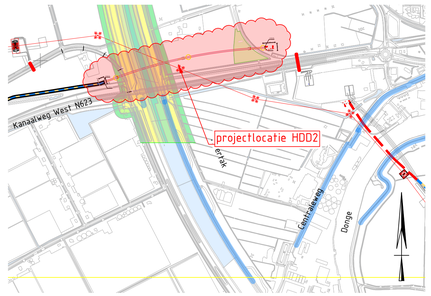
GTB-HDD1



Bovenaanzicht schaal 1:1000



Bovenaanzicht uitlegstrook schaal 1:1000



Overzicht Schaal 1:10.000

Principe doorsnede
Schaal 1:20

- Kadastrale grens
- Leiding gevaarlijke inhoud
- Datatransport
- Landelijk hoogspanningsnet
- Laagspanning
- Middenspanning
- Gasleiding hoge druk
- Gasleiding lage druk
- Waterleiding
- Drukriolering
- Riolering vrijverval
- Horizontaal gestuurde boring (HDD)
- Verharding (asfalt)
- Bestaande topo
- Bebouwing
- Leidingstrook
- Verharding/wegen
- Locatie sondering met nummer

- Primaire waterkering Waterschap Brabantse Delta
- Beschermingszone A
- Beschermingszone B

Vergunningstekening

Rev	Omschrijving	Datum rev.	Get.	Gec.	Goedg.
D	T.b.v. vergunningsaanvraag	20-04-2022	BB	MJ	JD
C	T.b.v. vergunningsaanvraag	14-04-2022	JPR	MJ	JD
B	Aanpassingen op werkterreinen	07-03-2022	BB	MJ	JD
A	Eerste uitgave	17-01-2020	NJ	MJ	JD

Opdrachtgever
TenneT TSO B.V.

Project
HDD's 150 kV ZWO

Onderdeel
GTB-HDD1
Kruising Amertak

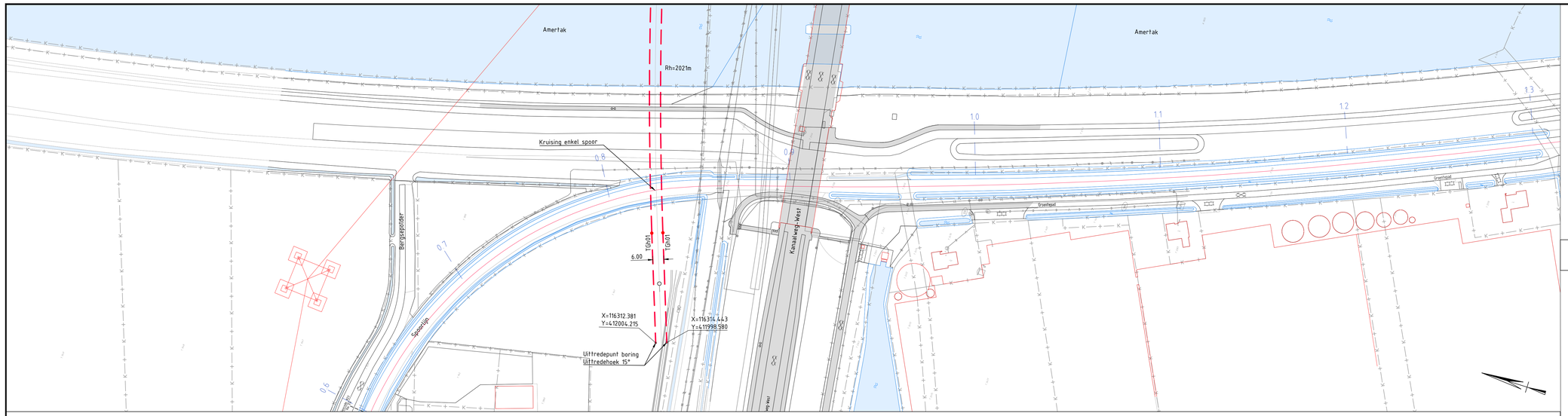
Projectnummer	Tekeningnummer	Versie	Datum van uitgave	Ontwerpfase	Contractnummer
368722	GTB-HDD1	D	20-04-2022	Definitief ontwerp	

Blad	Van	Schaal	Formaat	Kantoor	Get.	Gec.	Goedg.
2	2	1:1000	A1	De Bilt	BB	MJ	JD

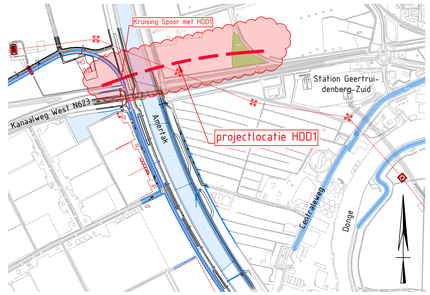
www.sweco.nl
© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden

SWECO

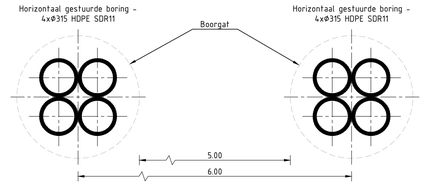
GTB-HDD1



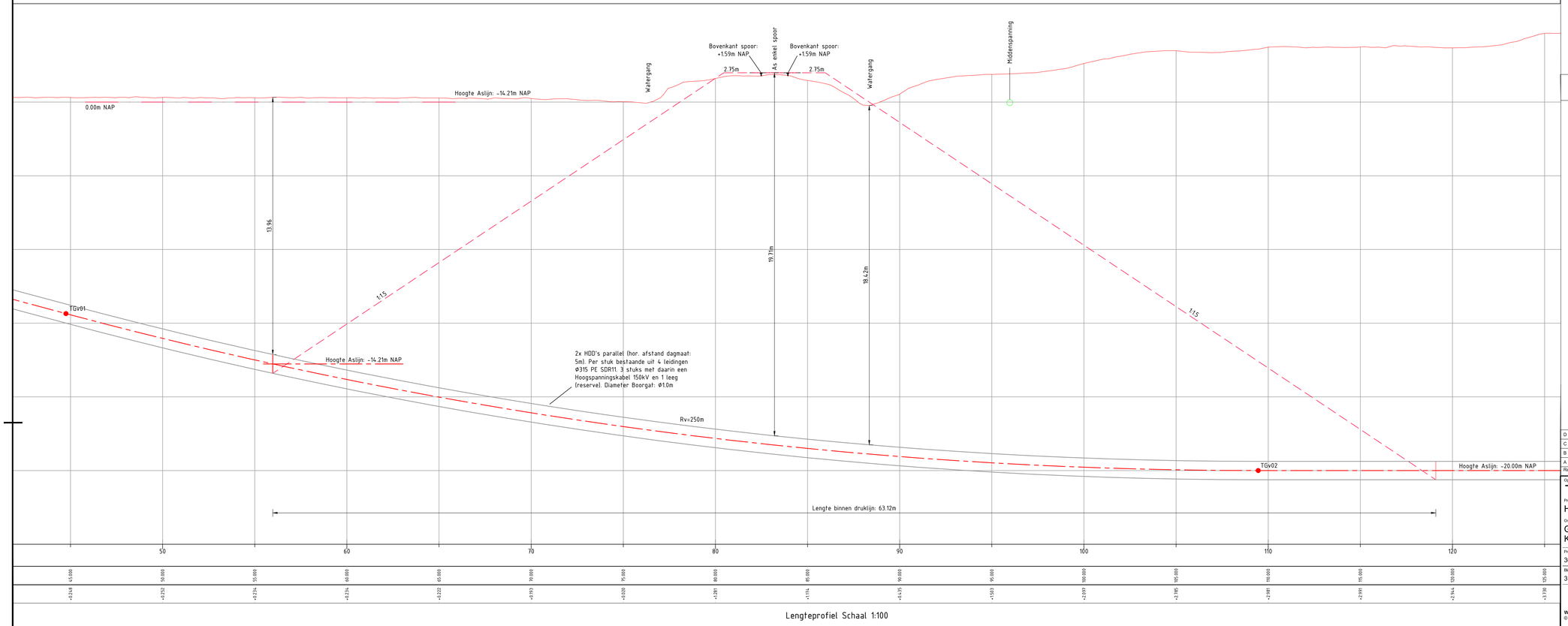
Bovenaanzicht Schaal 1:1000



Overzicht Schaal 1:10.000



Principe doorsnede
Schaal 1:20



Lengteprofiel Schaal 1:100

Legenda

- Kadastrale grens
- Leiding gevaarlijke inhoud
- Datatransport
- Landelijk hoogspanningsnet
- Laagspanning
- Middenspanning
- Gasleiding hoge druk
- Gasleiding lage druk
- Waterleiding
- Drukriolering
- Riolering vrijverval
- Horizontaal gestuurde boring (HDD)
- Verharding (asfalt)
- Bestaande topo
- Bebouwing
- Verharding/wegen
- 1.0 Kilometrering
- Ondergrond KS-bladen van ProRail versie d.d. 28-08-2022

Vergunningstekening

D	T.b.v. vergunningsaanvraag + toevoegen KS-blad	12-09-2022	BB	MJ	JD
C	T.b.v. vergunningsaanvraag	20-04-2022	BB	MJ	JD
B	Nieuwe locatie HDD's	25-02-2022	BB	MJ	JD
A	Eerste uitgave	17-01-2020	NJ	MJ	JD
Rev	Omschrijving	Datum rev.	Get.	Gec.	Goedg.

Opdrachtgever
TenneT TSO B.V.

Project
HDD's 150 kV ZWO

Onderdeel
GTB-HDD1
Kruising Amertak Prorail Geocode 823 Km 0.826

Projectnummer	Tekeningnummer	Versie	Datum van uitgave	Ontwerpfase	Contractnummer
368722	GTB-HDD1	D	14-04-2022	Definitief ontwerp	

Blad	Van	Schaal	Formaat	Kantoor	Get.	Gec.	Goedg.
3	3	1:1000	A1-L (1050)	De Bilt	BB	MJ	JD

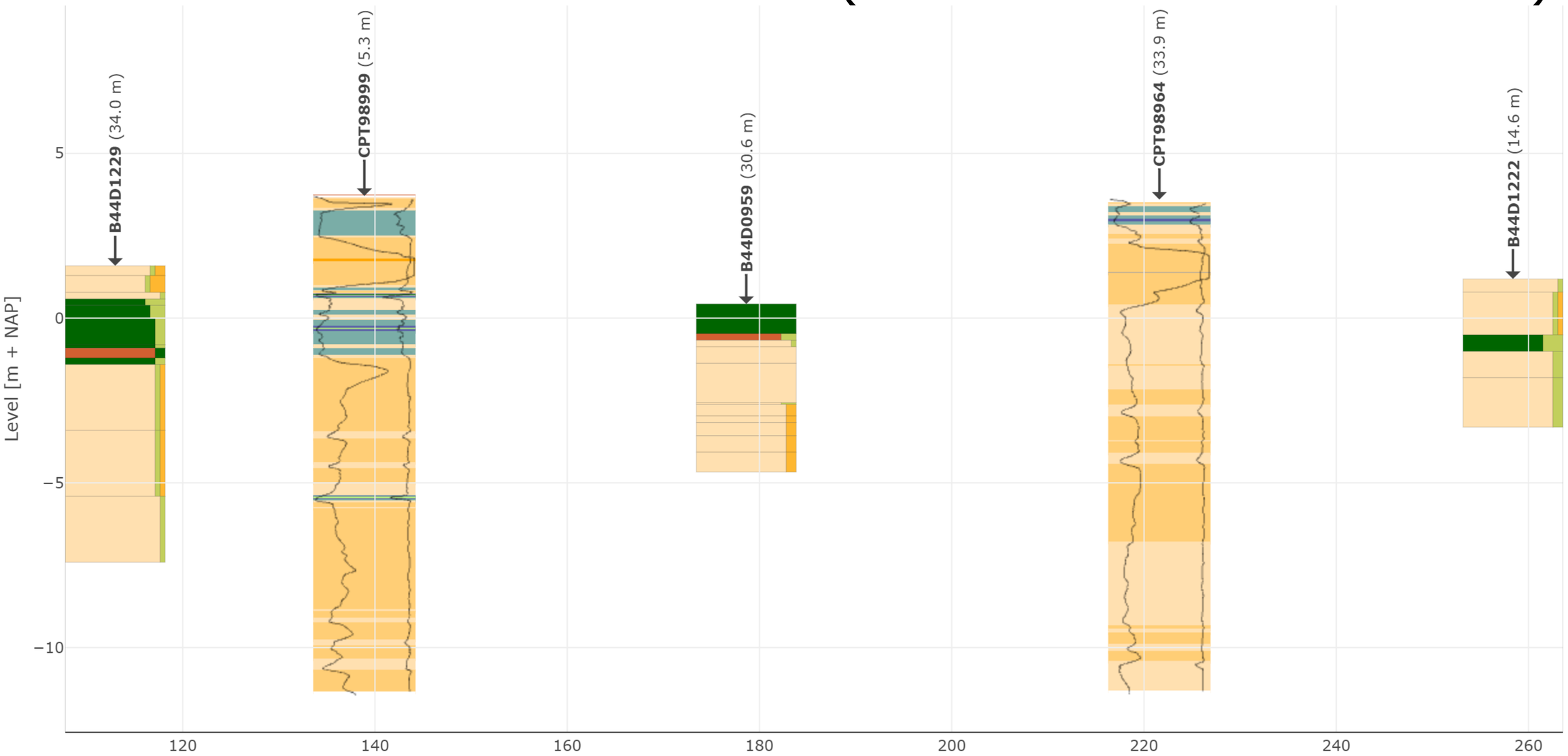
www.sweco.nl
© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden

SWECO

GTB-HDD1-ProRail

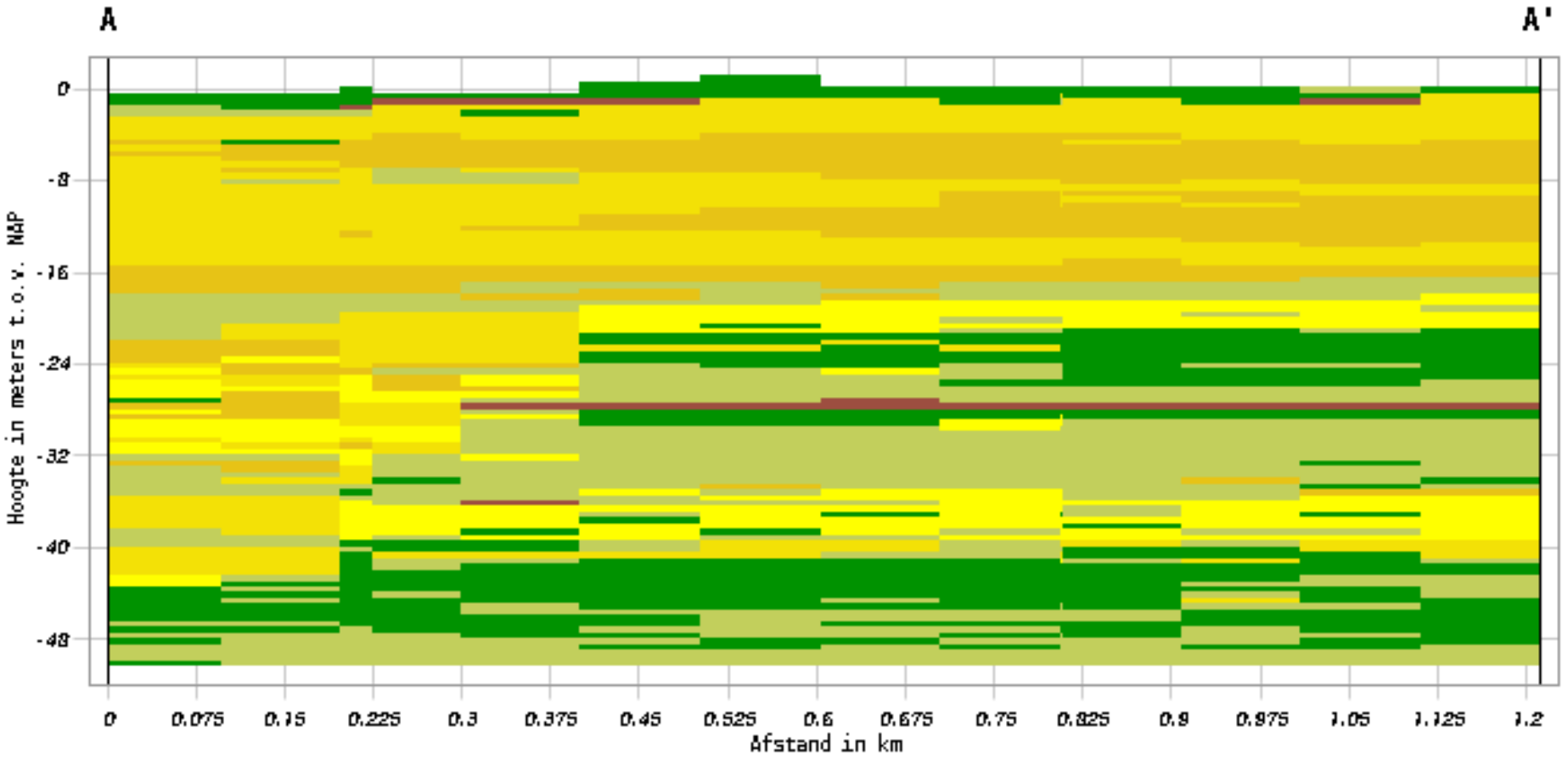
Bijlage 2 – Geotechnisch onderzoek

Grondonderzoek BRO (tot 60 m afstand van trace)



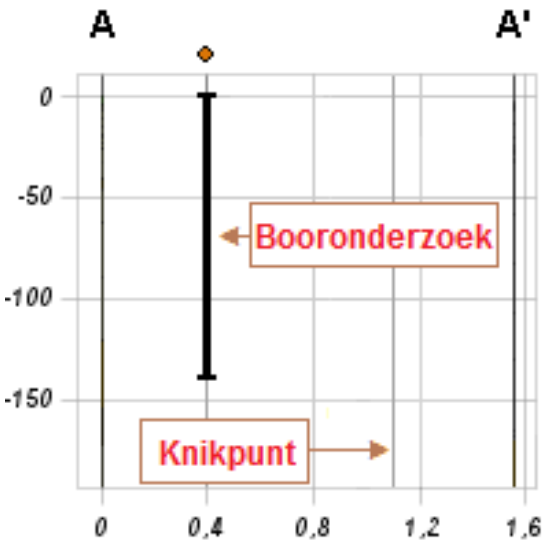
cpt borehole not shown on sectionplot section

Verticale Doorsnede BRO GeoTOP v1.4.1



Lithoklasse

- a
- v
- k
- kz
- zf
- zm
- zg
- g
- she



Bijlage 3 – Berekening D-Geo Pipeline

Report for D-Geo Pipeline 20.1

Model : Horizontal Directional Drilling
Developed by Deltares

Date of report:	19-4-2022
Time of report:	16:53:40
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 Input Data 4
2.1 Model Used 4
2.2 Layer Boundaries 4
2.3 Pl-lines 5
2.4 Phreatic Line 5
2.5 Soil Profiles 5
2.6 Selected Boundaries 6
2.7 Soil Material Data 6
2.8 Geometry 7
2.8.1 Geometry Section, Detailed 7
2.8.2 Geometry Top View 7
2.9 Calculation Verticals 8
2.10 Traffic Load 9
2.11 Configuration of the Pipeline 9
2.12 Product Pipe Material Data 10
2.13 Pipe Engineering Data 11
2.14 Drilling Fluid Data 11
2.15 Factors 11
2.16 Calculation Options 12
3 Drilling Fluid Pressures 13
3.1 Drilling Fluid Data 13
3.2 Equilibrium between Drilling Fluid Pressure and Pore Pressure 17
3.3 Drilling Fluid Pressure Plots 19
3.3.1 Drilling Fluid Pressures during Pilot 19
3.3.2 Drilling Fluid Pressures during Prereaming 19
3.3.3 Drilling Fluid Pressures during Reaming and Pullback Operation 20
4 Soil Mechanical Data 21
4.1 Soil Mechanical Parameters Pipe 1: pipe nr. 1 21
4.2 Soil Mechanical Parameters Pipe 2: pipe nr. 2 24
4.3 Soil Mechanical Parameters Pipe 3: pipe nr. 3 27
4.4 Soil Mechanical Parameters Pipe 4: pipe nr. 4 30
4.5 Young's Modulus per Layer per Vertical 33
5 Data for Stress Analysis 37
5.1 General Data 37
5.2 Buoyancy Control 37
5.3 Calculation Pulling Force 37
6 Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1 39
6.1 Material Data of Pipe 1: pipe nr. 1 39
6.2 Results Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1 39
6.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation 39
6.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation 40
6.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure 40
6.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure) 40
6.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure) 40
6.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 1: pipe nr. 1 41
6.4 Check for Implosion of Pipe 1: pipe nr. 1 41
7 Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2 42
7.1 Material Data of Pipe 2: pipe nr. 2 42
7.2 Results Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2 42
7.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation 42
7.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation 43
7.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure 43
7.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure) 43
7.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure) 43
7.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 2: pipe nr. 2 44
7.4 Check for Implosion of Pipe 2: pipe nr. 2 44
8 Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3 46
8.1 Material Data of Pipe 3: pipe nr. 3 46
8.2 Results Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3 46
8.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation 46
8.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation 47
8.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure 47
8.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure) 47

8.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure) 47
8.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 3: pipe nr. 3 48
8.4 Check for Implosion of Pipe 3: pipe nr. 3 48
9 Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4 49
9.1 Material Data of Pipe 4: pipe nr. 4 49
9.2 Results Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4 49
9.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation 49
9.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation 50
9.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure 50
9.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure) 50
9.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure) 50
9.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 4: pipe nr. 4 51
9.4 Check for Implosion of Pipe 4: pipe nr. 4 51

2 Input Data

2.1 Model Used

Model Used : Horizontal Directional Drilling

2.2 Layer Boundaries

Boundary number	Co-ordinates [m]				
3 - L -	0,000	5,000	10,000	15,000	20,000
3 - Z -	0,296	0,330	0,333	0,327	0,332
3 - L -	25,000	30,000	35,000	40,000	45,000
3 - Z -	0,305	0,279	0,247	0,241	0,248
3 - L -	50,000	55,000	60,000	65,000	70,000
3 - Z -	0,252	0,234	0,234	0,222	0,193
3 - L -	75,000	80,000	85,000	90,000	95,000
3 - Z -	0,020	1,281	1,174	0,435	1,503
3 - L -	100,000	105,000	110,000	115,000	120,000
3 - Z -	2,097	2,785	2,981	2,991	2,944
3 - L -	125,000	130,000	135,000	142,223	144,178
3 - Z -	3,730	3,294	1,737	-0,500	-1,200
3 - L -	152,000	187,000	196,853	199,316	201,007
3 - Z -	-4,000	-4,000	-1,200	-0,500	-0,019
3 - L -	205,000	210,000	215,000	220,000	225,000
3 - Z -	1,885	3,425	3,705	3,434	3,088
3 - L -	230,000	235,000	240,000	245,000	250,000
3 - Z -	2,641	2,055	1,221	1,128	1,004
3 - L -	255,000	260,000	265,000	270,000	275,000
3 - Z -	0,700	0,777	0,683	0,718	0,667
3 - L -	280,000	285,000	290,000	295,000	300,000
3 - Z -	0,666	0,710	0,679	0,704	0,684
3 - L -	305,000	310,000	315,000	320,000	325,000
3 - Z -	0,684	0,674	0,682	0,637	0,656
3 - L -	330,000	335,000	340,000	345,000	350,000
3 - Z -	0,613	0,655	0,642	0,595	0,618
3 - L -	355,000	360,000	365,000	370,000	375,000
3 - Z -	0,571	0,548	0,548	0,597	0,555
3 - L -	380,000	385,000	390,000	395,000	400,000
3 - Z -	0,555	0,531	0,573	0,524	0,540
3 - L -	405,000	410,000	415,000	420,000	425,000
3 - Z -	0,530	0,532	0,544	0,486	0,472
3 - L -	430,000	435,000	440,000	445,000	450,000
3 - Z -	0,493	0,380	0,335	0,342	0,376
3 - L -	455,000	460,000	465,000	470,000	475,000
3 - Z -	0,405	0,468	0,453	0,403	0,370
3 - L -	480,000	485,000	490,000	495,000	500,000
3 - Z -	0,400	0,418	0,377	0,383	0,381
3 - L -	505,000	510,000	515,000	520,000	525,000
3 - Z -	0,366	0,338	0,362	0,329	0,372
3 - L -	530,000	535,000	540,000	545,000	550,000
3 - Z -	0,312	0,270	0,268	0,350	0,183
3 - L -	555,000	560,000	565,000	570,000	575,000
3 - Z -	0,147	0,067	0,089	0,113	0,148
3 - L -	580,000	585,000	590,000	595,000	600,000
3 - Z -	0,170	0,086	0,049	0,132	0,141
3 - L -	605,000	610,000	615,000	620,000	625,000
3 - Z -	0,129	0,179	0,223	0,252	0,196
3 - L -	630,000	635,000	640,000	645,000	650,000
3 - Z -	0,345	1,236	1,425	0,651	0,380
3 - L -	655,000	660,000	665,000	670,000	675,000
3 - Z -	0,268	0,397	0,364	0,250	0,231
3 - L -	750,000				
3 - Z -	0,250				
2 - L -	0,000	144,178	152,000	187,000	196,853

Boundary number	Co-ordinates [m]				
2 - Z -	-1,200	-1,200	-4,000	-4,000	-1,200
2 - L -	199,316	201,007	205,000	210,000	215,000
2 - Z -	-0,500	-0,019	1,885	3,425	3,705
2 - L -	220,000	225,000	230,000	235,000	240,000
2 - Z -	3,434	3,088	2,641	2,055	1,221
2 - L -	245,000	250,000	255,000	260,000	265,000
2 - Z -	1,128	1,004	0,700	0,777	0,683
2 - L -	270,000	275,000	280,000	285,000	290,000
2 - Z -	0,718	0,667	0,666	0,710	0,679
2 - L -	295,000	300,000	305,000	310,000	315,000
2 - Z -	0,704	0,684	0,684	0,674	0,682
2 - L -	320,000	325,000	330,000	335,000	340,000
2 - Z -	0,637	0,656	0,613	0,655	0,642
2 - L -	345,000	350,000	355,000	360,000	365,000
2 - Z -	0,595	0,618	0,571	0,548	0,548
2 - L -	370,000	375,000	380,000	385,000	390,000
2 - Z -	0,597	0,555	0,555	0,531	0,573
2 - L -	395,000	400,000	405,000	410,000	415,000
2 - Z -	0,524	0,540	0,530	0,532	0,544
2 - L -	420,000	425,000	430,000	435,000	440,000
2 - Z -	0,486	0,472	0,493	0,380	0,335
2 - L -	445,000	450,000	455,000	460,000	465,000
2 - Z -	0,342	0,376	0,405	0,468	0,453
2 - L -	470,000	475,000	480,000	485,000	490,000
2 - Z -	0,403	0,370	0,400	0,418	0,377
2 - L -	495,000	500,000	505,000	510,000	515,000
2 - Z -	0,383	0,381	0,366	0,338	0,362
2 - L -	520,000	525,000	530,000	535,000	540,000
2 - Z -	0,329	0,372	0,312	0,270	0,268
2 - L -	545,000	550,000	555,000	560,000	565,000
2 - Z -	0,350	0,183	0,147	0,067	0,089
2 - L -	570,000	575,000	580,000	585,000	590,000
2 - Z -	0,113	0,148	0,170	0,086	0,049
2 - L -	595,000	600,000	605,000	610,000	615,000
2 - Z -	0,132	0,141	0,129	0,179	0,223
2 - L -	620,000	625,000	630,000	635,000	640,000
2 - Z -	0,252	0,196	0,345	1,236	1,425
2 - L -	645,000	650,000	655,000	660,000	665,000
2 - Z -	0,651	0,380	0,268	0,397	0,364
2 - L -	670,000	675,000	750,000		
2 - Z -	0,250	0,231	0,250		
1 - L -	0,000	144,178	152,000	187,000	196,853
1 - Z -	-1,200	-1,200	-4,000	-4,000	-1,200
1 - L -	750,000				
1 - Z -	-1,200				
0 - L -	0,000	750,000			
0 - Z -	-30,000	-30,000			

2.3 Pl-lines

Pl-line number	Co-ordinates [m]				
1 - L -	0,000	135,000	135,000	205,000	205,000
1 - Z -	-0,800	-0,800	0,300	0,300	-0,800
1 - L -	750,000				
1 - Z -	-0,800				

2.4 Phreatic Line

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

2.5 Soil Profiles

Layer number	Material name	Piezo-line at top	Piezo-line at bottom
3	Klei, sterk zandig	1	1
2	Klei, sterk zandig	1	1

Layer number	Material name	Piezo-line at top	Piezo-line at bottom
1	Zand, schoon, matig	1	1

2.6 Selected Boundaries

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

2.7 Soil Material Data

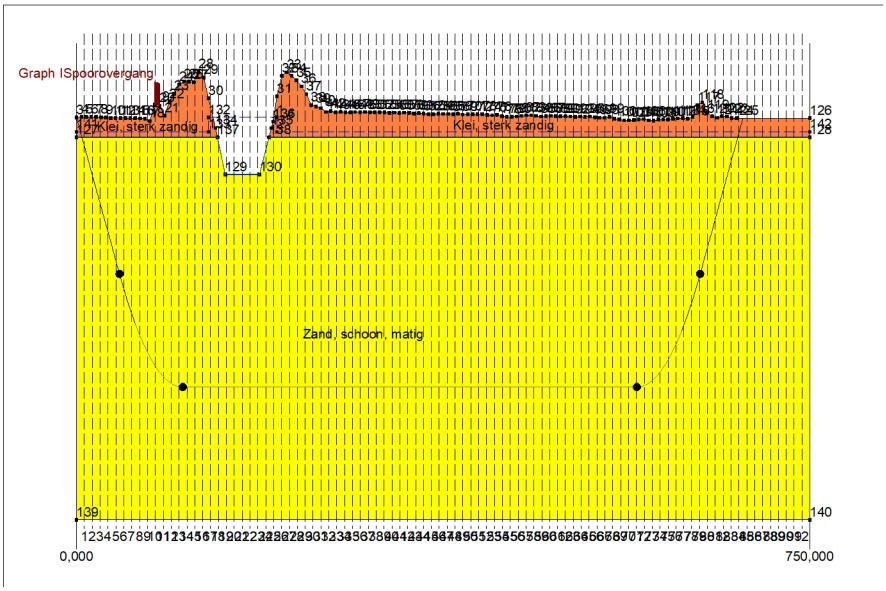
Name	Gamma unsat [kN/m³]	Gamma sat [kN/m³]	Cohesion [kN/m²]	Phi [deg]	Su top [kN/m²]	Su bottom [kN/m²]
Zand, sterk siltig, kleig	18,00	20,00	0,00	30,00	0,00	0,00
Klei, sterk zandig	18,00	18,00	0,50	27,50	30,00	30,00
Veen, slap	11,00	11,00	1,50	15,00	25,00	25,00
Zand, schoon, matig	18,00	20,00	0,00	32,50	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/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	-	-

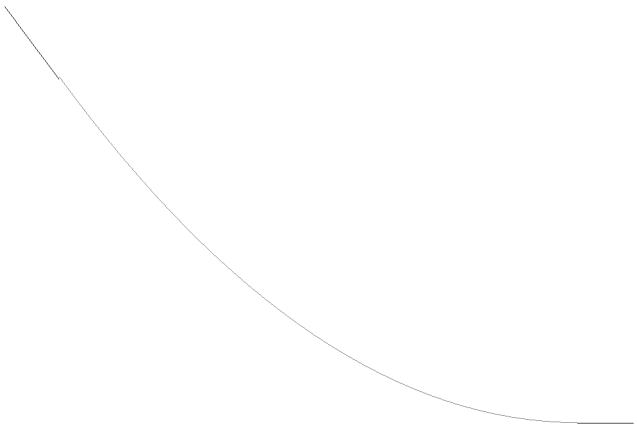
Name	Adhesion A [kN/m²]	Delta D [deg]	Nu [-]
Zand, sterk siltig, kleig	-	-	0,20
Klei, sterk zandig	-	-	0,20
Veen, slap	-	-	0,20
Zand, schoon, matig	-	-	0,20
Klei, zwak zandig, matig	-	-	0,20
Zand, schoon, vast	-	-	0,30

2.8 Geometry

2.8.1 Geometry Section, Detailed



2.8.2 Geometry Top View



2.9 Calculation Verticals

Vertical no.	L-coord. [m]	Z-coord. [m]
1	8,065	-1,865
2	16,130	-4,026
3	24,195	-6,187
4	32,260	-8,348
5	40,325	-10,509
6	48,390	-12,627
7	56,455	-14,489
8	64,520	-16,073
9	72,585	-17,384
10	80,650	-18,426
11	88,715	-19,203
12	96,780	-19,718
13	104,845	-19,971
14	112,910	-20,000
15	120,975	-20,000
16	129,040	-20,000
17	137,105	-20,000
18	145,170	-20,000
19	153,235	-20,000
20	161,300	-20,000
21	169,365	-20,000
22	177,430	-20,000
23	185,495	-20,000
24	193,560	-20,000
25	201,625	-20,000
26	209,690	-20,000
27	217,755	-20,000
28	225,820	-20,000
29	233,885	-20,000
30	241,950	-20,000
31	250,015	-20,000
32	258,080	-20,000
33	266,145	-20,000
34	274,210	-20,000
35	282,275	-20,000
36	290,340	-20,000
37	298,405	-20,000
38	306,470	-20,000
39	314,535	-20,000
40	322,600	-20,000
41	330,665	-20,000
42	338,730	-20,000
43	346,795	-20,000
44	354,860	-20,000
45	362,925	-20,000
46	370,990	-20,000
47	379,055	-20,000
48	387,120	-20,000
49	395,185	-20,000
50	403,250	-20,000
51	411,315	-20,000
52	419,380	-20,000
53	427,445	-20,000
54	435,510	-20,000
55	443,575	-20,000
56	451,640	-20,000
57	459,705	-20,000
58	467,770	-20,000
59	475,835	-20,000
60	483,900	-20,000
61	491,965	-20,000
62	500,030	-20,000

Vertical no.	L-coord. [m]	Z-coord. [m]
63	508,095	-20,000
64	516,160	-20,000
65	524,225	-20,000
66	532,290	-20,000
67	540,355	-20,000
68	548,420	-20,000
69	556,485	-20,000
70	564,550	-20,000
71	572,615	-20,000
72	580,680	-19,884
73	588,745	-19,507
74	596,810	-18,869
75	604,875	-17,967
76	612,940	-16,798
77	621,005	-15,359
78	629,070	-13,644
79	637,135	-11,648
80	645,200	-9,488
81	653,265	-7,327
82	661,330	-5,166
83	669,395	-3,005
84	677,460	-0,844
85	685,525	n.a.
86	693,590	n.a.
87	701,655	n.a.
88	709,720	n.a.
89	717,785	n.a.
90	725,850	n.a.
91	733,915	n.a.
92	741,980	n.a.

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

2.10 Traffic Load

Spoorovergang

L start	80,00	[m]
L end	85,00	[m]
Load model (graph type)	Graph I	

2.11 Configuration of the Pipeline

X co-ordinate left point	0,000	[m]
Y co-ordinate left point	94,000	[m]
Z co-ordinate left point	0,296	[m]
X co-ordinate right point	672,000	[m]
Y co-ordinate right point	0,000	[m]
Z co-ordinate right point	0,233	[m]
Angle left	15,0000	[deg]
Angle right	15,0000	[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)	-20,000	[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	58,000	77,600	612,000	0,000	2024,000	right

2.12 Product Pipe Material Data

Input data pipe nr. 1		
Material	Polyethene	
Quality	PE100	
Young's modulus (short)	975,00	[N/mm²]
Young's modulus (long)	350,00	[N/mm²]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm²]
Allowable strength (long)	8,00	[N/mm²]
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/m³]
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/mm²]
Young's modulus (long)	350,00	[N/mm²]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm²]
Allowable strength (long)	8,00	[N/mm²]
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/m³]
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/mm²]
Young's modulus (long)	350,00	[N/mm²]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm²]
Allowable strength (long)	8,00	[N/mm²]
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/m³]
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/mm²]
Young's modulus (long)	350,00	[N/mm²]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm²]
Allowable strength (long)	8,00	[N/mm²]
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/m³]

Design pressure	0,00	[bar]
Test pressure	0,00	[bar]
Temperature variation	0,00	[deg C]

2.13 Pipe Engineering Data

Pipe filled with water on rollers	No	
Part of cross section filled with fluid	0	[%]
Unit weight fluid	10,00	[kN/m³]
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/m³]
Phi drilling fluid	15,00	[deg]
Cohesion drilling fluid	5,00	[kN/m²]
Factor of friction pipe-roller (f1)	0,10	[-]
Friction pipe-drilling fluid (f2)	0,000050	[N/mm²]
Factor of friction pipe-soil (f3)	0,20	[-]

2.14 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/m³]
Yieldpoint drilling fluid (Tau)	0,014	[kN/m²]
Plastic viscosity drilling fluid (Mu)	0,000040	[kN.s/m²]

2.15 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/m³]
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	[-]

2.16 Calculation Options

Stress analysis option : Standard

3 Drilling Fluid Pressures

3.1 Drilling Fluid Data

Vertical no.	Drilling fluid pressures pilot [kN/m²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	63	63	28	362
2	199	252	56	382
3	271	439	84	402
4	338	599	113	421
5	405	714	141	441
6	470	824	168	460
7	525	916	193	477
8	572	992	215	491
9	604	1044	234	501
10	690	1206	249	508
11	683	1183	262	513
12	747	1308	272	515
13	800	1411	278	514
14	810	1431	283	510
15	815	1441	287	506
16	827	1464	291	502
17	709	1217	295	498
18	607	1013	299	494
19	562	923	303	490
20	562	923	307	486
21	562	923	311	482
22	562	923	315	478
23	562	923	319	474
24	597	992	323	470
25	668	1135	327	465
26	825	1460	331	461
27	834	1479	335	457
28	812	1434	339	453
29	776	1363	343	449
30	732	1273	347	445
31	723	1257	351	441
32	711	1233	355	437
33	709	1227	359	433
34	708	1226	363	429
35	708	1227	367	425
36	708	1226	371	421
37	709	1227	376	417
38	708	1226	380	413
39	708	1226	384	409
40	706	1223	388	405
41	705	1220	392	401
42	706	1223	396	397
43	704	1219	400	393
44	703	1216	404	389
45	702	1213	408	385
46	704	1217	412	381
47	702	1214	416	377
48	702	1214	420	373
49	701	1211	424	369
50	701	1212	428	365
51	701	1212	432	361
52	699	1208	436	357
53	699	1207	440	353
54	693	1197	444	349
55	692	1193	448	345
56	694	1198	452	341
57	698	1205	456	337

Vertical no.	Drilling fluid pressures pilot [kN/m²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
58	696	1202	460	333
59	693	1197	464	328
60	695	1200	468	324
61	693	1197	472	320
62	694	1197	476	316
63	692	1194	480	312
64	692	1195	484	308
65	693	1196	488	304
66	689	1188	492	300
67	688	1187	496	296
68	686	1183	500	292
69	681	1171	504	288
70	679	1168	509	284
71	681	1172	513	280
72	679	1169	515	275
73	663	1141	515	267
74	649	1119	512	255
75	622	1075	506	241
76	592	1026	497	224
77	552	959	485	204
78	504	882	470	181
79	492	877	452	155
80	393	701	433	127
81	308	529	413	99
82	241	359	393	70
83	155	155	373	42
84	57	57	353	14

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	55	55	26	28
2	196	196	51	56
3	271	366	77	84
4	338	533	102	113
5	405	688	128	141
6	470	824	153	168
7	525	916	175	193
8	572	992	194	215
9	604	1044	210	234
10	690	1206	223	249
11	683	1183	233	262
12	747	1308	240	272
13	800	1411	244	278
14	810	1431	246	283
15	815	1441	248	287
16	827	1464	249	291
17	709	1217	251	295
18	607	1013	252	299
19	562	923	254	303
20	562	923	255	307
21	562	923	257	311
22	562	923	258	315
23	562	923	260	315
24	597	992	261	314
25	668	1135	262	312
26	825	1460	264	311
27	834	1479	265	310
28	812	1434	267	308
29	776	1363	268	307
30	732	1273	270	305
31	723	1257	271	304
32	711	1233	273	302
33	709	1227	274	301

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
34	708	1226	276	299
35	708	1227	277	298
36	708	1226	279	296
37	709	1227	280	295
38	708	1226	282	293
39	708	1226	283	292
40	706	1223	285	290
41	705	1220	286	289
42	706	1223	287	287
43	704	1219	289	286
44	703	1216	290	285
45	702	1213	292	283
46	704	1217	293	282
47	702	1214	295	280
48	702	1214	296	279
49	701	1211	298	277
50	701	1212	299	276
51	701	1212	301	274
52	699	1208	302	273
53	699	1207	304	271
54	693	1197	305	270
55	692	1193	307	268
56	694	1198	308	267
57	698	1205	309	265
58	696	1202	311	264
59	693	1197	312	262
60	695	1200	314	261
61	693	1197	315	260
62	694	1197	316	258
63	692	1194	312	257
64	692	1195	308	255
65	693	1196	304	254
66	689	1188	300	252
67	688	1187	296	251
68	686	1183	292	249
69	681	1171	288	248
70	679	1168	284	246
71	681	1172	280	245
72	679	1169	275	242
73	663	1141	267	236
74	649	1119	255	228
75	622	1075	241	216
76	592	1026	224	202
77	552	959	204	184
78	504	882	181	164
79	492	867	155	140
80	393	652	127	115
81	308	457	99	89
82	241	289	70	64
83	118	118	42	38
84	45	45	14	13

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	61	61	25	26
2	137	137	51	51
3	266	266	76	77
4	338	409	101	102
5	405	559	127	128
6	470	708	151	153
7	525	833	173	175
8	572	936	192	194
9	604	1009	208	210

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
10	690	1179	221	223
11	683	1169	231	233
12	747	1298	238	240
13	800	1404	242	244
14	810	1425	243	246
15	815	1434	245	248
16	827	1458	246	249
17	709	1215	247	251
18	607	1013	249	252
19	562	909	250	254
20	562	909	251	255
21	562	909	252	257
22	562	909	254	258
23	562	909	255	260
24	597	992	256	261
25	668	1135	257	262
26	825	1454	259	264
27	834	1473	260	265
28	812	1427	261	267
29	776	1357	263	268
30	732	1269	264	270
31	723	1252	265	271
32	711	1229	266	273
33	709	1224	268	274
34	708	1222	269	276
35	708	1223	270	277
36	708	1223	271	279
37	709	1224	273	280
38	708	1223	274	282
39	708	1223	275	283
40	706	1220	277	282
41	705	1217	278	280
42	706	1220	279	279
43	704	1216	280	278
44	703	1213	282	276
45	702	1211	283	275
46	704	1214	282	274
47	702	1211	280	273
48	702	1211	279	271
49	701	1208	277	270
50	701	1209	276	269
51	701	1209	274	268
52	699	1205	273	266
53	699	1204	271	265
54	693	1194	270	264
55	692	1191	268	262
56	694	1195	267	261
57	698	1203	265	260
58	696	1199	264	259
59	693	1194	262	257
60	695	1198	261	256
61	693	1195	260	255
62	694	1195	258	254
63	692	1192	257	252
64	692	1192	255	251
65	693	1193	254	250
66	689	1187	252	248
67	688	1185	251	247
68	686	1181	249	246
69	681	1170	248	245
70	679	1167	246	243
71	681	1171	245	242
72	679	1167	242	240
73	663	1134	236	234

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
74	649	1103	228	226
75	622	1047	216	214
76	592	981	202	200
77	552	891	184	183
78	504	783	164	163
79	492	721	140	139
80	393	515	115	114
81	308	341	89	89
82	206	206	64	63
83	83	83	38	38
84	9	9	13	13

3.2 Equilibrium between Drilling Fluid Pressure and Pore Pressure

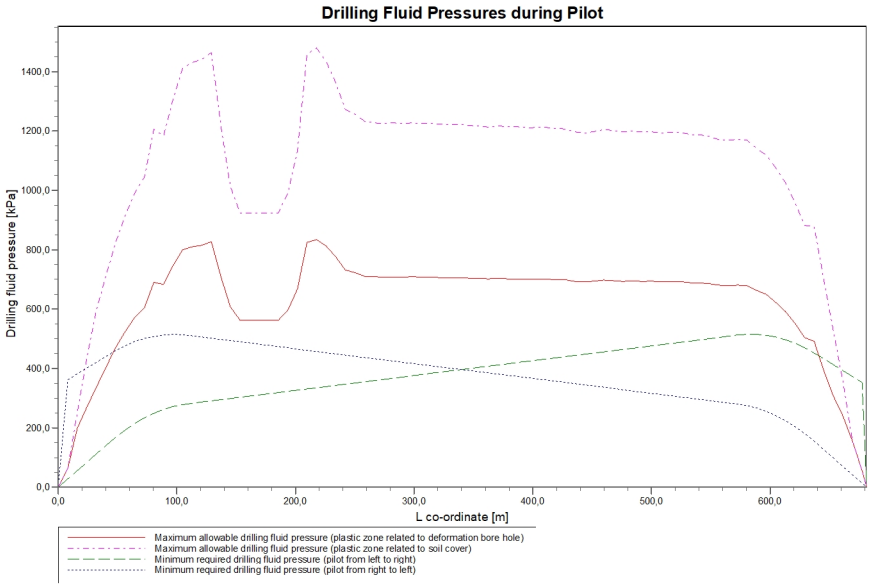
Vertical no.	Static column pressure			
	Drilling fluid [kN/m²]	Water [kN/m²]	Safety [-]	Result
1	24	11	2,25	sufficient
2	48	32	1,49	sufficient
3	72	54	1,34	sufficient
4	96	75	1,27	sufficient
5	120	97	1,24	sufficient
6	143	118	1,21	sufficient
7	164	137	1,20	sufficient
8	182	153	1,19	sufficient
9	196	166	1,18	sufficient
10	208	176	1,18	sufficient
11	216	184	1,18	sufficient
12	222	189	1,17	sufficient
13	225	192	1,17	sufficient
14	225	192	1,17	sufficient
15	225	192	1,17	sufficient
16	225	192	1,17	sufficient
17	225	203	1,11	sufficient
18	225	203	1,11	sufficient
19	225	203	1,11	sufficient
20	225	203	1,11	sufficient
21	225	203	1,11	sufficient
22	225	203	1,11	sufficient
23	225	203	1,11	sufficient
24	225	203	1,11	sufficient
25	225	203	1,11	sufficient
26	225	192	1,17	sufficient
27	225	192	1,17	sufficient
28	225	192	1,17	sufficient
29	225	192	1,17	sufficient
30	225	192	1,17	sufficient
31	225	192	1,17	sufficient
32	225	192	1,17	sufficient
33	225	192	1,17	sufficient
34	225	192	1,17	sufficient
35	225	192	1,17	sufficient
36	225	192	1,17	sufficient
37	225	192	1,17	sufficient
38	225	192	1,17	sufficient
39	225	192	1,17	sufficient
40	225	192	1,17	sufficient
41	225	192	1,17	sufficient
42	225	192	1,17	sufficient
43	225	192	1,17	sufficient
44	225	192	1,17	sufficient
45	225	192	1,17	sufficient
46	225	192	1,17	sufficient
47	225	192	1,17	sufficient

Vertical no.	Static column pressure			
	Drilling fluid [kN/m²]	Water [kN/m²]	Safety [-]	Result
48	225	192	1,17	sufficient
49	225	192	1,17	sufficient
50	225	192	1,17	sufficient
51	225	192	1,17	sufficient
52	225	192	1,17	sufficient
53	225	192	1,17	sufficient
54	225	192	1,17	sufficient
55	225	192	1,17	sufficient
56	225	192	1,17	sufficient
57	225	192	1,17	sufficient
58	225	192	1,17	sufficient
59	225	192	1,17	sufficient
60	225	192	1,17	sufficient
61	225	192	1,17	sufficient
62	225	192	1,17	sufficient
63	225	192	1,17	sufficient
64	225	192	1,17	sufficient
65	225	192	1,17	sufficient
66	225	192	1,17	sufficient
67	225	192	1,17	sufficient
68	225	192	1,17	sufficient
69	225	192	1,17	sufficient
70	225	192	1,17	sufficient
71	225	192	1,17	sufficient
72	223	191	1,17	sufficient
73	219	187	1,17	sufficient
74	212	181	1,17	sufficient
75	202	172	1,18	sufficient
76	189	160	1,18	sufficient
77	173	146	1,19	sufficient
78	154	128	1,20	sufficient
79	132	108	1,22	sufficient
80	108	87	1,24	sufficient
81	84	65	1,29	sufficient
82	60	44	1,37	sufficient
83	36	22	1,63	sufficient
84	12	0	27,10	sufficient

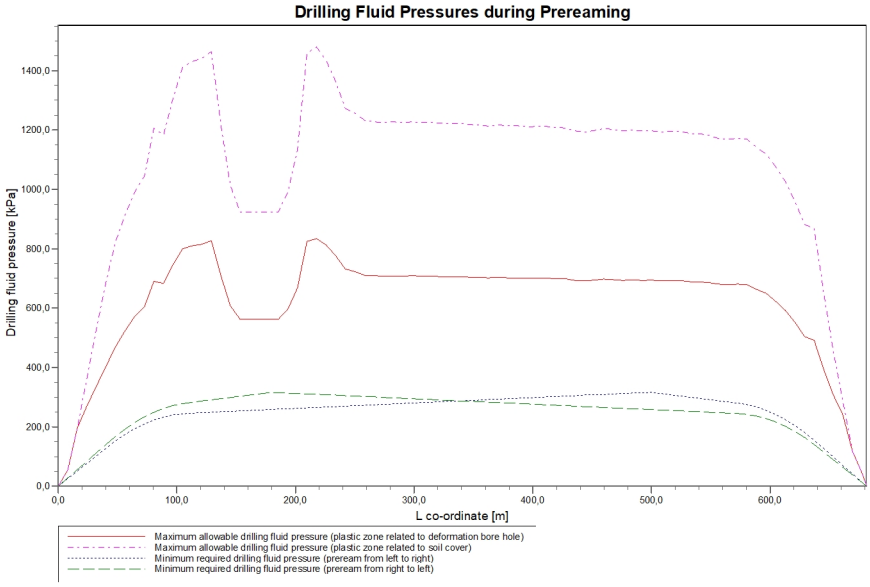
The static drilling fluid pressure is calculated and can be compared with the calculated groundwater pressure. The quotient of the drilling fluid pressure and the groundwater pressure yields the safey factor, which should be higher than the requested factor of safety of 1,10.

3.3 Drilling Fluid Pressure Plots

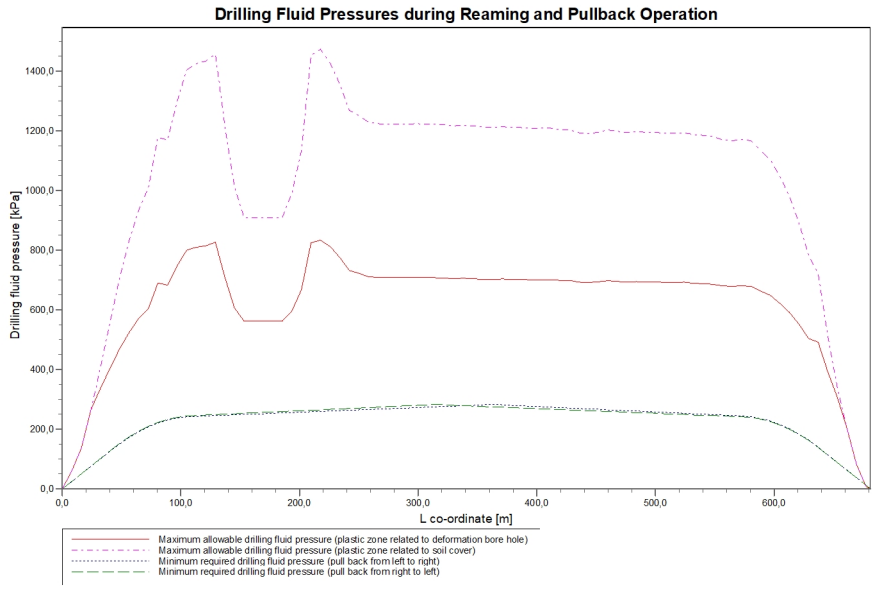
3.3.1 Drilling Fluid Pressures during Pilot



3.3.2 Drilling Fluid Pressures during Prereaming



3.3.3 Drilling Fluid Pressures during Reaming and Pullback Operation



4 Soil Mechanical Data

4.1 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/m²
q_v;n	Neutral soil stress	kN/m²
q_h;n	Neutral horizontal soil stress	kN/m²
q_v,r;n	Reduced neutral soil stress	kN/m²
q_traffic	Traffic load	kN/m²
q_v;e	Vertical bearing capacity	kN/m²
q_h;e	Horizontal bearing capacity	kN/m²
k_v;bot	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m³
k_v;top	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m³
k_h	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m³
t_max	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m²
d_max	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
1	85	29	21	29	0	1022
2	252	50	37	50	0	1783
3	505	72	13	17	0	2532
4	771	93	13	17	0	3264
5	926	114	13	17	0	4009
6	1073	135	13	17	0	4760
7	1195	153	13	17	0	5404
8	1297	169	13	17	0	5955
9	1367	180	13	17	0	6340
10	1563	211	13	17	2	7442
11	1540	208	13	17	0	7310
12	1690	232	13	17	0	8179
13	1818	254	13	17	0	8932
14	1844	258	13	17	0	9083
15	1856	260	13	17	0	9153
16	1885	265	13	17	0	9330
17	1573	213	13	17	0	7495
18	1388	183	13	17	0	6452
19	1231	159	13	17	0	5593
20	1231	159	13	17	0	5593
21	1231	159	13	17	0	5593
22	1231	159	13	17	0	5593
23	1231	159	13	17	0	5593
24	1351	177	13	17	0	6248
25	1485	199	13	17	0	6992
26	1880	264	13	17	0	9300
27	1904	268	13	17	0	9443
28	1847	259	13	17	0	9101
29	1758	244	13	17	0	8577
30	1650	226	13	17	0	7944
31	1630	222	13	17	0	7829
32	1602	218	13	17	0	7668
33	1596	217	13	17	0	7632
34	1594	217	13	17	0	7622
35	1595	217	13	17	0	7629
36	1595	217	13	17	0	7625
37	1596	217	13	17	0	7632
38	1595	217	13	17	0	7626
39	1595	217	13	17	0	7626
40	1591	216	13	17	0	7604
41	1588	216	13	17	0	7586
42	1591	216	13	17	0	7603
43	1586	215	13	17	0	7576

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
44	1583	215	13	17	0	7557
45	1580	214	13	17	0	7542
46	1585	215	13	17	0	7567
47	1581	214	13	17	0	7546
48	1580	214	13	17	0	7542
49	1578	214	13	17	0	7527
50	1579	214	13	17	0	7532
51	1579	214	13	17	0	7533
52	1574	213	13	17	0	7507
53	1573	213	13	17	0	7500
54	1561	211	13	17	0	7432
55	1557	210	13	17	0	7410
56	1562	211	13	17	0	7439
57	1571	213	13	17	0	7489
58	1567	212	13	17	0	7464
59	1561	211	13	17	0	7432
60	1566	212	13	17	0	7457
61	1562	211	13	17	0	7435
62	1562	211	13	17	0	7436
63	1558	211	13	17	0	7416
64	1559	211	13	17	0	7419
65	1560	211	13	17	0	7426
66	1552	210	13	17	0	7380
67	1550	209	13	17	0	7368
68	1546	209	13	17	0	7344
69	1534	207	13	17	0	7273
70	1529	206	13	17	0	7250
71	1534	207	13	17	0	7278
72	1530	206	13	17	0	7255
73	1496	200	13	17	0	7059
74	1465	195	13	17	0	6883
75	1407	186	13	17	0	6562
76	1342	176	13	17	0	6198
77	1253	162	13	17	0	5715
78	1149	146	13	17	0	5160
79	1135	145	13	17	0	5089
80	903	111	13	17	0	3902
81	674	83	13	17	0	2931
82	386	63	13	18	0	2222
83	155	39	29	39	0	1382
84	32	17	13	17	0	510

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
1	365	30506	5183	21354	0,05	7,5
2	417	45561	37119	31892	0,05	7,5
3	607	53719	46529	37603	0,05	7,5
4	771	60811	54399	42568	0,05	7,5
5	926	67400	61552	47180	0,05	7,5
6	1073	73542	68126	51479	0,05	7,5
7	1196	78499	73381	54949	0,05	7,5
8	1297	82539	77637	57777	0,05	7,5
9	1367	85276	80508	59693	0,05	7,5
10	1563	92744	88305	64921	0,05	7,5
11	1540	91869	87394	64308	0,05	7,5
12	1690	97476	93220	68233	0,05	7,5
13	1818	102125	98032	71488	0,05	7,5
14	1844	103039	98977	72128	0,05	7,5
15	1856	103459	99410	72422	0,05	7,5
16	1885	104519	100505	73163	0,05	7,5
17	1573	93081	88655	65156	0,05	7,5
18	1388	86049	81318	60234	0,05	7,5
19	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
20	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
21	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
22	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
23	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
24	1351	84618	79819	59233	0,05	7,5
25	1485	89743	85178	62820	0,05	7,5
26	1880	104338	100317	73036	0,05	7,5
27	1904	105187	101194	73631	0,05	7,5
28	1847	103146	99086	72202	0,05	7,5
29	1758	99952	95784	69966	0,05	7,5
30	1650	95982	91670	67187	0,05	7,5
31	1630	95247	90907	66673	0,05	7,5
32	1602	94206	89825	65944	0,05	7,5
33	1596	93974	89585	65782	0,05	7,5
34	1594	93909	89517	65736	0,05	7,5
35	1595	93954	89563	65768	0,05	7,5
36	1595	93932	89541	65752	0,05	7,5
37	1596	93972	89582	65780	0,05	7,5
38	1595	93934	89542	65753	0,05	7,5
39	1595	93934	89543	65754	0,05	7,5
40	1591	93793	89396	65655	0,05	7,5
41	1588	93677	89275	65574	0,05	7,5
42	1591	93787	89390	65651	0,05	7,5
43	1586	93614	89210	65530	0,05	7,5
44	1583	93486	89077	65441	0,05	7,5
45	1580	93386	88973	65370	0,05	7,5
46	1585	93554	89147	65488	0,05	7,5
47	1581	93415	89003	65391	0,05	7,5
48	1580	93390	88977	65373	0,05	7,5
49	1578	93290	88873	65303	0,05	7,5
50	1579	93327	88911	65329	0,05	7,5
51	1579	93333	88918	65333	0,05	7,5
52	1574	93160	88738	65212	0,05	7,5
53	1573	93115	88691	65181	0,05	7,5
54	1561	92673	88231	64871	0,05	7,5
55	1557	92526	88078	64768	0,05	7,5
56	1562	92714	88274	64900	0,05	7,5
57	1571	93041	88614	65128	0,05	7,5
58	1567	92879	88446	65016	0,05	7,5
59	1561	92671	88229	64870	0,05	7,5
60	1566	92833	88397	64983	0,05	7,5
61	1562	92689	88248	64882	0,05	7,5
62	1562	92695	88255	64887	0,05	7,5
63	1558	92562	88115	64793	0,05	7,5
64	1559	92585	88140	64810	0,05	7,5
65	1560	92631	88187	64842	0,05	7,5
66	1552	92329	87873	64630	0,05	7,5
67	1550	92250	87791	64575	0,05	7,5
68	1546	92092	87626	64464	0,05	7,5
69	1534	91622	87137	64135	0,05	7,5
70	1529	91470	86979	64029	0,05	7,5
71	1534	91656	87172	64159	0,05	7,5
72	1530	91499	87009	64049	0,05	7,5
73	1496	90195	85650	63136	0,05	7,5
74	1465	89011	84415	62308	0,05	7,5
75	1407	86816	82121	60771	0,05	7,5
76	1342	84277	79462	58994	0,05	7,5
77	1253	80797	75805	56558	0,05	7,5
78	1149	76650	71425	53655	0,05	7,5
79	1135	76120	70863	53284	0,05	7,5
80	903	66490	60572	46543	0,05	7,5
81	698	57679	50950	40376	0,05	7,5
82	531	50480	42852	35336	0,05	7,5
83	305	40660	31144	28462	0,05	7,5
84	135	11338	196	7937	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q_v;n;max = 268 kN/m²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q_traffic;max = 50 kN/m²
Maximum reduced soil stress	:	q_v;r;n;max = 50 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k_v;max = 105187 kN/m³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k_v;max = 210375 kN/m³

4.2 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/m²
q_v;n	Neutral soil stress	kN/m²
q_h;n	Neutral horizontal soil stress	kN/m²
q_v,r;n	Reduced neutral soil stress	kN/m²
q_traffic	Traffic load	kN/m²
q_v;e	Vertical bearing capacity	kN/m²
q_h;e	Horizontal bearing capacity	kN/m²
k_v;bot	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m³
k_v;top	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m³
k_h	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m³
t_max	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m²
d_max	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
1	85	29	21	29	0	1022
2	252	50	37	50	0	1783
3	505	72	13	17	0	2532
4	771	93	13	17	0	3264
5	926	114	13	17	0	4009
6	1073	135	13	17	0	4760
7	1195	153	13	17	0	5404
8	1297	169	13	17	0	5955
9	1367	180	13	17	0	6340
10	1563	211	13	17	2	7442
11	1540	208	13	17	0	7310
12	1690	232	13	17	0	8179
13	1818	254	13	17	0	8932
14	1844	258	13	17	0	9083
15	1856	260	13	17	0	9153
16	1885	265	13	17	0	9330
17	1573	213	13	17	0	7495
18	1388	183	13	17	0	6452
19	1231	159	13	17	0	5593
20	1231	159	13	17	0	5593
21	1231	159	13	17	0	5593
22	1231	159	13	17	0	5593
23	1231	159	13	17	0	5593
24	1351	177	13	17	0	6248
25	1485	199	13	17	0	6992
26	1880	264	13	17	0	9300
27	1904	268	13	17	0	9443
28	1847	259	13	17	0	9101
29	1758	244	13	17	0	8577
30	1650	226	13	17	0	7944
31	1630	222	13	17	0	7829
32	1602	218	13	17	0	7668
33	1596	217	13	17	0	7632
34	1594	217	13	17	0	7622
35	1595	217	13	17	0	7629
36	1595	217	13	17	0	7625
37	1596	217	13	17	0	7632

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
38	1595	217	13	17	0	7626
39	1595	217	13	17	0	7626
40	1591	216	13	17	0	7604
41	1588	216	13	17	0	7586
42	1591	216	13	17	0	7603
43	1586	215	13	17	0	7576
44	1583	215	13	17	0	7557
45	1580	214	13	17	0	7542
46	1585	215	13	17	0	7567
47	1581	214	13	17	0	7546
48	1580	214	13	17	0	7542
49	1578	214	13	17	0	7527
50	1579	214	13	17	0	7532
51	1579	214	13	17	0	7533
52	1574	213	13	17	0	7507
53	1573	213	13	17	0	7500
54	1561	211	13	17	0	7432
55	1557	210	13	17	0	7410
56	1562	211	13	17	0	7439
57	1571	213	13	17	0	7489
58	1567	212	13	17	0	7464
59	1561	211	13	17	0	7432
60	1566	212	13	17	0	7457
61	1562	211	13	17	0	7435
62	1562	211	13	17	0	7436
63	1558	211	13	17	0	7416
64	1559	211	13	17	0	7419
65	1560	211	13	17	0	7426
66	1552	210	13	17	0	7380
67	1550	209	13	17	0	7368
68	1546	209	13	17	0	7344
69	1534	207	13	17	0	7273
70	1529	206	13	17	0	7250
71	1534	207	13	17	0	7278
72	1530	206	13	17	0	7255
73	1496	200	13	17	0	7059
74	1465	195	13	17	0	6883
75	1407	186	13	17	0	6562
76	1342	176	13	17	0	6198
77	1253	162	13	17	0	5715
78	1149	146	13	17	0	5160
79	1135	145	13	17	0	5089
80	903	111	13	17	0	3902
81	674	83	13	17	0	2931
82	386	63	13	18	0	2222
83	155	39	29	39	0	1382
84	32	17	13	17	0	510

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
1	365	30506	5183	21354	0,05	7,5
2	417	45561	37119	31892	0,05	7,5
3	607	53719	46529	37603	0,05	7,5
4	771	60811	54399	42568	0,05	7,5
5	926	67400	61552	47180	0,05	7,5
6	1073	73542	68126	51479	0,05	7,5
7	1196	78499	73381	54949	0,05	7,5
8	1297	82539	77637	57777	0,05	7,5
9	1367	85276	80508	59693	0,05	7,5
10	1563	92744	88305	64921	0,05	7,5
11	1540	91869	87394	64308	0,05	7,5
12	1690	97476	93220	68233	0,05	7,5
13	1818	102125	98032	71488	0,05	7,5
14	1844	103039	98977	72128	0,05	7,5
15	1856	103459	99410	72422	0,05	7,5

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
16	1885	104519	100505	73163	0,05	7,5
17	1573	93081	88655	65156	0,05	7,5
18	1388	86049	81318	60234	0,05	7,5
19	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
20	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
21	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
22	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
23	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
24	1351	84618	79819	59233	0,05	7,5
25	1485	89743	85178	62820	0,05	7,5
26	1880	104338	100317	73036	0,05	7,5
27	1904	105187	101194	73631	0,05	7,5
28	1847	103146	99086	72202	0,05	7,5
29	1758	99952	95784	69966	0,05	7,5
30	1650	95982	91670	67187	0,05	7,5
31	1630	95247	90907	66673	0,05	7,5
32	1602	94206	89825	65944	0,05	7,5
33	1596	93974	89585	65782	0,05	7,5
34	1594	93909	89517	65736	0,05	7,5
35	1595	93954	89563	65768	0,05	7,5
36	1595	93932	89541	65752	0,05	7,5
37	1596	93972	89582	65780	0,05	7,5
38	1595	93934	89542	65753	0,05	7,5
39	1595	93934	89543	65754	0,05	7,5
40	1591	93793	89396	65655	0,05	7,5
41	1588	93677	89275	65574	0,05	7,5
42	1591	93787	89390	65651	0,05	7,5
43	1586	93614	89210	65530	0,05	7,5
44	1583	93486	89077	65441	0,05	7,5
45	1580	93386	88973	65370	0,05	7,5
46	1585	93554	89147	65488	0,05	7,5
47	1581	93415	89003	65391	0,05	7,5
48	1580	93390	88977	65373	0,05	7,5
49	1578	93290	88873	65303	0,05	7,5
50	1579	93327	88911	65329	0,05	7,5
51	1579	93333	88918	65333	0,05	7,5
52	1574	93160	88738	65212	0,05	7,5
53	1573	93115	88691	65181	0,05	7,5
54	1561	92673	88231	64871	0,05	7,5
55	1557	92526	88078	64768	0,05	7,5
56	1562	92714	88274	64900	0,05	7,5
57	1571	93041	88614	65128	0,05	7,5
58	1567	92879	88446	65016	0,05	7,5
59	1561	92671	88229	64870	0,05	7,5
60	1566	92833	88397	64983	0,05	7,5
61	1562	92689	88248	64882	0,05	7,5
62	1562	92695	88255	64887	0,05	7,5
63	1558	92562	88115	64793	0,05	7,5
64	1559	92585	88140	64810	0,05	7,5
65	1560	92631	88187	64842	0,05	7,5
66	1552	92329	87873	64630	0,05	7,5
67	1550	92250	87791	64575	0,05	7,5
68	1546	92092	87626	64464	0,05	7,5
69	1534	91622	87137	64135	0,05	7,5
70	1529	91470	86979	64029	0,05	7,5
71	1534	91656	87172	64159	0,05	7,5
72	1530	91499	87009	64049	0,05	7,5
73	1496	90195	85650	63136	0,05	7,5
74	1465	89011	84415	62308	0,05	7,5
75	1407	86816	82121	60771	0,05	7,5
76	1342	84277	79462	58994	0,05	7,5
77	1253	80797	75805	56558	0,05	7,5
78	1149	76650	71425	53655	0,05	7,5
79	1135	76120	70863	53284	0,05	7,5
80	903	66490	60572	46543	0,05	7,5

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
81	698	57679	50950	40376	0,05	7,5
82	531	50480	42852	35336	0,05	7,5
83	305	40660	31144	28462	0,05	7,5
84	135	11338	196	7937	0,05	7,5

Maximum soil stress : q_v;n;max = 268 kN/m²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads) : q_traffic;max = 50 kN/m²
Maximum reduced soil stress : q_v;r;n;max = 50 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)
only for verticals in deep situation : k_v;max = 105187 kN/m³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor)
only for verticals in deep situation : k_v;max = 210375 kN/m³

4.3 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/m²
q_v;n	Neutral soil stress	kN/m²
q_h;n	Neutral horizontal soil stress	kN/m²
q_v,r;n	Reduced neutral soil stress	kN/m²
q_traffic	Traffic load	kN/m²
q_v;e	Vertical bearing capacity	kN/m²
q_h;e	Horizontal bearing capacity	kN/m²
k_v;bot	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m³
k_v;top	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m³
k_h	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m³
t_max	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m²
d_max	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
1	85	29	21	29	0	1022
2	252	50	37	50	0	1783
3	505	72	13	17	0	2532
4	771	93	13	17	0	3264
5	926	114	13	17	0	4009
6	1073	135	13	17	0	4760
7	1195	153	13	17	0	5404
8	1297	169	13	17	0	5955
9	1367	180	13	17	0	6340
10	1563	211	13	17	2	7442
11	1540	208	13	17	0	7310
12	1690	232	13	17	0	8179
13	1818	254	13	17	0	8932
14	1844	258	13	17	0	9083
15	1856	260	13	17	0	9153
16	1885	265	13	17	0	9330
17	1573	213	13	17	0	7495
18	1388	183	13	17	0	6452
19	1231	159	13	17	0	5593
20	1231	159	13	17	0	5593
21	1231	159	13	17	0	5593
22	1231	159	13	17	0	5593
23	1231	159	13	17	0	5593
24	1351	177	13	17	0	6248
25	1485	199	13	17	0	6992
26	1880	264	13	17	0	9300
27	1904	268	13	17	0	9443
28	1847	259	13	17	0	9101
29	1758	244	13	17	0	8577
30	1650	226	13	17	0	7944
31	1630	222	13	17	0	7829

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
32	1602	218	13	17	0	7668
33	1596	217	13	17	0	7632
34	1594	217	13	17	0	7622
35	1595	217	13	17	0	7629
36	1595	217	13	17	0	7625
37	1596	217	13	17	0	7632
38	1595	217	13	17	0	7626
39	1595	217	13	17	0	7626
40	1591	216	13	17	0	7604
41	1588	216	13	17	0	7586
42	1591	216	13	17	0	7603
43	1586	215	13	17	0	7576
44	1583	215	13	17	0	7557
45	1580	214	13	17	0	7542
46	1585	215	13	17	0	7567
47	1581	214	13	17	0	7546
48	1580	214	13	17	0	7542
49	1578	214	13	17	0	7527
50	1579	214	13	17	0	7532
51	1579	214	13	17	0	7533
52	1574	213	13	17	0	7507
53	1573	213	13	17	0	7500
54	1561	211	13	17	0	7432
55	1557	210	13	17	0	7410
56	1562	211	13	17	0	7439
57	1571	213	13	17	0	7489
58	1567	212	13	17	0	7464
59	1561	211	13	17	0	7432
60	1566	212	13	17	0	7457
61	1562	211	13	17	0	7435
62	1562	211	13	17	0	7436
63	1558	211	13	17	0	7416
64	1559	211	13	17	0	7419
65	1560	211	13	17	0	7426
66	1552	210	13	17	0	7380
67	1550	209	13	17	0	7368
68	1546	209	13	17	0	7344
69	1534	207	13	17	0	7273
70	1529	206	13	17	0	7250
71	1534	207	13	17	0	7278
72	1530	206	13	17	0	7255
73	1496	200	13	17	0	7059
74	1465	195	13	17	0	6883
75	1407	186	13	17	0	6562
76	1342	176	13	17	0	6198
77	1253	162	13	17	0	5715
78	1149	146	13	17	0	5160
79	1135	145	13	17	0	5089
80	903	111	13	17	0	3902
81	674	83	13	17	0	2931
82	386	63	13	18	0	2222
83	155	39	29	39	0	1382
84	32	17	13	17	0	510

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
1	365	30506	5183	21354	0,05	7,5
2	417	45561	37119	31892	0,05	7,5
3	607	53719	46529	37603	0,05	7,5
4	771	60811	54399	42568	0,05	7,5
5	926	67400	61552	47180	0,05	7,5
6	1073	73542	68126	51479	0,05	7,5
7	1196	78499	73381	54949	0,05	7,5
8	1297	82539	77637	57777	0,05	7,5
9	1367	85276	80508	59693	0,05	7,5

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
10	1563	92744	88305	64921	0,05	7,5
11	1540	91869	87394	64308	0,05	7,5
12	1690	97476	93220	68233	0,05	7,5
13	1818	102125	98032	71488	0,05	7,5
14	1844	103039	98977	72128	0,05	7,5
15	1856	103459	99410	72422	0,05	7,5
16	1885	104519	100505	73163	0,05	7,5
17	1573	93081	88655	65156	0,05	7,5
18	1388	86049	81318	60234	0,05	7,5
19	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
20	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
21	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
22	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
23	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
24	1351	84618	79819	59233	0,05	7,5
25	1485	89743	85178	62820	0,05	7,5
26	1880	104338	100317	73036	0,05	7,5
27	1904	105187	101194	73631	0,05	7,5
28	1847	103146	99086	72202	0,05	7,5
29	1758	99952	95784	69966	0,05	7,5
30	1650	95982	91670	67187	0,05	7,5
31	1630	95247	90907	66673	0,05	7,5
32	1602	94206	89825	65944	0,05	7,5
33	1596	93974	89585	65782	0,05	7,5
34	1594	93909	89517	65736	0,05	7,5
35	1595	93954	89563	65768	0,05	7,5
36	1595	93932	89541	65752	0,05	7,5
37	1596	93972	89582	65780	0,05	7,5
38	1595	93934	89542	65753	0,05	7,5
39	1595	93934	89543	65754	0,05	7,5
40	1591	93793	89396	65655	0,05	7,5
41	1588	93677	89275	65574	0,05	7,5
42	1591	93787	89390	65651	0,05	7,5
43	1586	93614	89210	65530	0,05	7,5
44	1583	93486	89077	65441	0,05	7,5
45	1580	93386	88973	65370	0,05	7,5
46	1585	93554	89147	65488	0,05	7,5
47	1581	93415	89003	65391	0,05	7,5
48	1580	93390	88977	65373	0,05	7,5
49	1578	93290	88873	65303	0,05	7,5
50	1579	93327	88911	65329	0,05	7,5
51	1579	93333	88918	65333	0,05	7,5
52	1574	93160	88738	65212	0,05	7,5
53	1573	93115	88691	65181	0,05	7,5
54	1561	92673	88231	64871	0,05	7,5
55	1557	92526	88078	64768	0,05	7,5
56	1562	92714	88274	64900	0,05	7,5
57	1571	93041	88614	65128	0,05	7,5
58	1567	92879	88446	65016	0,05	7,5
59	1561	92671	88229	64870	0,05	7,5
60	1566	92833	88397	64983	0,05	7,5
61	1562	92689	88248	64882	0,05	7,5
62	1562	92695	88255	64887	0,05	7,5
63	1558	92562	88115	64793	0,05	7,5
64	1559	92585	88140	64810	0,05	7,5
65	1560	92631	88187	64842	0,05	7,5
66	1552	92329	87873	64630	0,05	7,5
67	1550	92250	87791	64575	0,05	7,5
68	1546	92092	87626	64464	0,05	7,5
69	1534	91622	87137	64135	0,05	7,5
70	1529	91470	86979	64029	0,05	7,5
71	1534	91656	87172	64159	0,05	7,5
72	1530	91499	87009	64049	0,05	7,5
73	1496	90195	85650	63136	0,05	7,5
74	1465	89011	84415	62308	0,05	7,5

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
75	1407	86816	82121	60771	0,05	7,5
76	1342	84277	79462	58994	0,05	7,5
77	1253	80797	75805	56558	0,05	7,5
78	1149	76650	71425	53655	0,05	7,5
79	1135	76120	70863	53284	0,05	7,5
80	903	66490	60572	46543	0,05	7,5
81	698	57679	50950	40376	0,05	7,5
82	531	50480	42852	35336	0,05	7,5
83	305	40660	31144	28462	0,05	7,5
84	135	11338	196	7937	0,05	7,5

Maximum soil stress : q_v;n;max = 268 kN/m²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads) : q_traffic;max = 50 kN/m²
Maximum reduced soil stress : q_v;r;n;max = 50 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation : k_v;max = 105187 kN/m³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation : k_v;max = 210375 kN/m³

4.4 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/m²
q_v;n	Neutral soil stress	kN/m²
q_h;n	Neutral horizontal soil stress	kN/m²
q_v,r;n	Reduced neutral soil stress	kN/m²
q_traffic	Traffic load	kN/m²
q_v;e	Vertical bearing capacity	kN/m²
q_h;e	Horizontal bearing capacity	kN/m²
k_v;bot	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m³
k_v;top	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m³
k_h	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m³
t_max	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m²
d_max	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
1	85	29	21	29	0	1022
2	252	50	37	50	0	1783
3	505	72	13	17	0	2532
4	771	93	13	17	0	3264
5	926	114	13	17	0	4009
6	1073	135	13	17	0	4760
7	1195	153	13	17	0	5404
8	1297	169	13	17	0	5955
9	1367	180	13	17	0	6340
10	1563	211	13	17	2	7442
11	1540	208	13	17	0	7310
12	1690	232	13	17	0	8179
13	1818	254	13	17	0	8932
14	1844	258	13	17	0	9083
15	1856	260	13	17	0	9153
16	1885	265	13	17	0	9330
17	1573	213	13	17	0	7495
18	1388	183	13	17	0	6452
19	1231	159	13	17	0	5593
20	1231	159	13	17	0	5593
21	1231	159	13	17	0	5593
22	1231	159	13	17	0	5593
23	1231	159	13	17	0	5593
24	1351	177	13	17	0	6248
25	1485	199	13	17	0	6992

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
26	1880	264	13	17	0	9300
27	1904	268	13	17	0	9443
28	1847	259	13	17	0	9101
29	1758	244	13	17	0	8577
30	1650	226	13	17	0	7944
31	1630	222	13	17	0	7829
32	1602	218	13	17	0	7668
33	1596	217	13	17	0	7632
34	1594	217	13	17	0	7622
35	1595	217	13	17	0	7629
36	1595	217	13	17	0	7625
37	1596	217	13	17	0	7632
38	1595	217	13	17	0	7626
39	1595	217	13	17	0	7626
40	1591	216	13	17	0	7604
41	1588	216	13	17	0	7586
42	1591	216	13	17	0	7603
43	1586	215	13	17	0	7576
44	1583	215	13	17	0	7557
45	1580	214	13	17	0	7542
46	1585	215	13	17	0	7567
47	1581	214	13	17	0	7546
48	1580	214	13	17	0	7542
49	1578	214	13	17	0	7527
50	1579	214	13	17	0	7532
51	1579	214	13	17	0	7533
52	1574	213	13	17	0	7507
53	1573	213	13	17	0	7500
54	1561	211	13	17	0	7432
55	1557	210	13	17	0	7410
56	1562	211	13	17	0	7439
57	1571	213	13	17	0	7489
58	1567	212	13	17	0	7464
59	1561	211	13	17	0	7432
60	1566	212	13	17	0	7457
61	1562	211	13	17	0	7435
62	1562	211	13	17	0	7436
63	1558	211	13	17	0	7416
64	1559	211	13	17	0	7419
65	1560	211	13	17	0	7426
66	1552	210	13	17	0	7380
67	1550	209	13	17	0	7368
68	1546	209	13	17	0	7344
69	1534	207	13	17	0	7273
70	1529	206	13	17	0	7250
71	1534	207	13	17	0	7278
72	1530	206	13	17	0	7255
73	1496	200	13	17	0	7059
74	1465	195	13	17	0	6883
75	1407	186	13	17	0	6562
76	1342	176	13	17	0	6198
77	1253	162	13	17	0	5715
78	1149	146	13	17	0	5160
79	1135	145	13	17	0	5089
80	903	111	13	17	0	3902
81	674	83	13	17	0	2931
82	386	63	13	18	0	2222
83	155	39	29	39	0	1382
84	32	17	13	17	0	510

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
1	365	30506	5183	21354	0,05	7,5
2	417	45561	37119	31892	0,05	7,5
3	607	53719	46529	37603	0,05	7,5

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
4	771	60811	54399	42568	0,05	7,5
5	926	67400	61552	47180	0,05	7,5
6	1073	73542	68126	51479	0,05	7,5
7	1196	78499	73381	54949	0,05	7,5
8	1297	82539	77637	57777	0,05	7,5
9	1367	85276	80508	59693	0,05	7,5
10	1563	92744	88305	64921	0,05	7,5
11	1540	91869	87394	64308	0,05	7,5
12	1690	97476	93220	68233	0,05	7,5
13	1818	102125	98032	71488	0,05	7,5
14	1844	103039	98977	72128	0,05	7,5
15	1856	103459	99410	72422	0,05	7,5
16	1885	104519	100505	73163	0,05	7,5
17	1573	93081	88655	65156	0,05	7,5
18	1388	86049	81318	60234	0,05	7,5
19	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
20	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
21	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
22	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
23	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
24	1351	84618	79819	59233	0,05	7,5
25	1485	89743	85178	62820	0,05	7,5
26	1880	104338	100317	73036	0,05	7,5
27	1904	105187	101194	73631	0,05	7,5
28	1847	103146	99086	72202	0,05	7,5
29	1758	99952	95784	69966	0,05	7,5
30	1650	95982	91670	67187	0,05	7,5
31	1630	95247	90907	66673	0,05	7,5
32	1602	94206	89825	65944	0,05	7,5
33	1596	93974	89585	65782	0,05	7,5
34	1594	93909	89517	65736	0,05	7,5
35	1595	93954	89563	65768	0,05	7,5
36	1595	93932	89541	65752	0,05	7,5
37	1596	93972	89582	65780	0,05	7,5
38	1595	93934	89542	65753	0,05	7,5
39	1595	93934	89543	65754	0,05	7,5
40	1591	93793	89396	65655	0,05	7,5
41	1588	93677	89275	65574	0,05	7,5
42	1591	93787	89390	65651	0,05	7,5
43	1586	93614	89210	65530	0,05	7,5
44	1583	93486	89077	65441	0,05	7,5
45	1580	93386	88973	65370	0,05	7,5
46	1585	93554	89147	65488	0,05	7,5
47	1581	93415	89003	65391	0,05	7,5
48	1580	93390	88977	65373	0,05	7,5
49	1578	93290	88873	65303	0,05	7,5
50	1579	93327	88911	65329	0,05	7,5
51	1579	93333	88918	65333	0,05	7,5
52	1574	93160	88738	65212	0,05	7,5
53	1573	93115	88691	65181	0,05	7,5
54	1561	92673	88231	64871	0,05	7,5
55	1557	92526	88078	64768	0,05	7,5
56	1562	92714	88274	64900	0,05	7,5
57	1571	93041	88614	65128	0,05	7,5
58	1567	92879	88446	65016	0,05	7,5
59	1561	92671	88229	64870	0,05	7,5
60	1566	92833	88397	64983	0,05	7,5
61	1562	92689	88248	64882	0,05	7,5
62	1562	92695	88255	64887	0,05	7,5
63	1558	92562	88115	64793	0,05	7,5
64	1559	92585	88140	64810	0,05	7,5
65	1560	92631	88187	64842	0,05	7,5
66	1552	92329	87873	64630	0,05	7,5
67	1550	92250	87791	64575	0,05	7,5
68	1546	92092	87626	64464	0,05	7,5

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
69	1534	91622	87137	64135	0,05	7,5
70	1529	91470	86979	64029	0,05	7,5
71	1534	91656	87172	64159	0,05	7,5
72	1530	91499	87009	64049	0,05	7,5
73	1496	90195	85650	63136	0,05	7,5
74	1465	89011	84415	62308	0,05	7,5
75	1407	86816	82121	60771	0,05	7,5
76	1342	84277	79462	58994	0,05	7,5
77	1253	80797	75805	56558	0,05	7,5
78	1149	76650	71425	53655	0,05	7,5
79	1135	76120	70863	53284	0,05	7,5
80	903	66490	60572	46543	0,05	7,5
81	698	57679	50950	40376	0,05	7,5
82	531	50480	42852	35336	0,05	7,5
83	305	40660	31144	28462	0,05	7,5
84	135	11338	196	7937	0,05	7,5

Maximum soil stress : $q_{v;n;max} = 268$ kN/m²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads) : $q_{traffic;max} = 50$ kN/m²
Maximum reduced soil stress : $q_{v;r;n;max} = 50$ kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation : $k_{v;max} = 105187$ kN/m³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation : $k_{v;max} = 210375$ kN/m³

4.5 Young's Modulus per Layer per Vertical

Layer number	Material name	Type of determination
3	Klei, sterk zandig	Calculated with E100
2	Klei, sterk zandig	Calculated with E100
1	Zand, schoon, matig	Calculated with E100

Layer number	Vertical 1 (L=8,065 m)		Vertical 2 (L=16,13 m)		Vertical 3 (L=24,195 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	0,000	0,629	0,000	0,628	0,000	0,621
2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
1	14,566	52,954	14,545	52,949	14,440	52,920

Layer number	Vertical 4 (L=32,26 m)		Vertical 5 (L=40,325 m)		Vertical 6 (L=48,39 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	0,000	0,603	0,000	0,594	0,000	0,598
2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
1	14,186	52,851	14,054	52,816	14,107	52,830

Layer number	Vertical 7 (L=56,455 m)		Vertical 8 (L=64,52 m)		Vertical 9 (L=72,585 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	0,000	0,592	0,000	0,587	0,000	0,540
2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
1	14,011	52,804	13,948	52,788	13,235	52,604

Layer number	Vertical 10 (L=80,65 m)		Vertical 11 (L=88,715 m)		Vertical 12 (L=96,78 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	0,000	0,969	0,000	0,740	0,000	1,120
2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
1	19,070	54,366	16,113	53,401	20,884	55,029

Layer number	Vertical 13 (L=104,845 m)		Vertical 14 (L=112,91 m)		Vertical 15 (L=120,975 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	0,000	1,458	0,000	1,527	0,000	1,561
2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
1	24,619	56,552	25,343	56,871	25,694	57,028

Layer number	Vertical 16 (L=129,04 m)		Vertical 17 (L=137,105 m)		Vertical 18 (L=145,17 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	0,000	1,646	0,000	0,684	n.a.	n.a.
2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
1	26,563	57,425	15,336	53,171	0,000	50,597

Layer number	Vertical 19 (L=153,235 m)		Vertical 20 (L=161,3 m)		Vertical 21 (L=169,365 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
1	0,000	48,374	0,000	48,374	0,000	48,374

Layer number	Vertical 22 (L=177,43 m)		Vertical 23 (L=185,495 m)		Vertical 24 (L=193,56 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
1	0,000	48,374	0,000	48,374	0,000	50,078

Layer number	Vertical 25 (L=201,625 m)		Vertical 26 (L=209,69 m)		Vertical 27 (L=217,755 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,362	0,000	1,632	0,000	1,700
1	10,308	51,945	26,416	57,357	27,100	57,675

Layer number	Vertical 28 (L=225,82 m)		Vertical 29 (L=233,885 m)		Vertical 30 (L=241,95 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	1,535	0,000	1,275	0,000	0,940
1	25,432	56,910	22,638	55,718	18,717	54,243

Layer number	Vertical 31 (L=250,015 m)		Vertical 32 (L=258,08 m)		Vertical 33 (L=266,145 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,876	0,000	0,785	0,000	0,764
1	17,914	53,971	16,718	53,586	16,442	53,501

Layer number	Vertical 34 (L=274,21 m)		Vertical 35 (L=282,275 m)		Vertical 36 (L=290,34 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,758	0,000	0,762	0,000	0,760
1	16,363	53,477	16,418	53,493	16,391	53,485

Layer number	Vertical 37 (L=298,405 m)		Vertical 38 (L=306,47 m)		Vertical 39 (L=314,535 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,764	0,000	0,760	0,000	0,761
1	16,439	53,500	16,393	53,486	16,394	53,486

Layer number	Vertical 40 (L=322,6 m)		Vertical 41 (L=330,665 m)		Vertical 42 (L=338,73 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,748	0,000	0,737	0,000	0,747
1	16,223	53,434	16,081	53,391	16,215	53,432

Layer number	Vertical 43 (L=346,795 m)		Vertical 44 (L=354,86 m)		Vertical 45 (L=362,925 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,732	0,000	0,720	0,000	0,711
1	16,004	53,368	15,847	53,321	15,722	53,284

Layer number	Vertical 46 (L=370,99 m)		Vertical 47 (L=379,055 m)		Vertical 48 (L=387,12 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,726	0,000	0,714	0,000	0,712
1	15,930	53,346	15,758	53,295	15,726	53,285

Layer number	Vertical 49 (L=395,185 m)		Vertical 50 (L=403,25 m)		Vertical 51 (L=411,315 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,703	0,000	0,706	0,000	0,706
1	15,601	53,248	15,647	53,262	15,656	53,264

Layer number	Vertical 52 (L=419,38 m)		Vertical 53 (L=427,445 m)		Vertical 54 (L=435,51 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,691	0,000	0,687	0,000	0,646
1	15,437	53,201	15,379	53,184	14,806	53,021

Layer number	Vertical 55 (L=443,575 m)		Vertical 56 (L=451,64 m)		Vertical 57 (L=459,705 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,633	0,000	0,650	0,000	0,680
1	14,611	52,967	14,861	53,036	15,284	53,157

Layer number	Vertical 58 (L=467,77 m)		Vertical 59 (L=475,835 m)		Vertical 60 (L=483,9 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,665	0,000	0,646	0,000	0,661
1	15,076	53,097	14,804	53,020	15,016	53,080

Layer number	Vertical 61 (L=491,965 m)		Vertical 62 (L=500,03 m)		Vertical 63 (L=508,095 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,648	0,000	0,648	0,000	0,636
1	14,828	53,027	14,836	53,029	14,659	52,980

Layer number	Vertical 64 (L=516,16 m)		Vertical 65 (L=524,225 m)		Vertical 66 (L=532,29 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,638	0,000	0,642	0,000	0,614
1	14,690	52,989	14,751	53,006	14,347	52,894

Layer number	Vertical 67 (L=540,355 m)		Vertical 68 (L=548,42 m)		Vertical 69 (L=556,485 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,607	0,000	0,592	0,000	0,548
1	14,239	52,865	14,021	52,807	13,355	52,634

Layer number	Vertical 70 (L=564,55 m)		Vertical 71 (L=572,615 m)		Vertical 72 (L=580,68 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,533	0,000	0,551	0,000	0,562
1	13,134	52,578	13,404	52,647	13,568	52,689

Layer number	Vertical 73 (L=588,745 m)		Vertical 74 (L=596,81 m)		Vertical 75 (L=604,875 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,522	0,000	0,553	0,000	0,550
1	12,955	52,534	13,428	52,653	13,392	52,644

Layer number	Vertical 76 (L=612,94 m)		Vertical 77 (L=621,005 m)		Vertical 78 (L=629,07 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,580	0,000	0,594	0,000	0,624
1	13,842	52,760	14,050	52,815	14,484	52,932

Layer number	Vertical 79 (L=637,135 m)		Vertical 80 (L=645,2 m)		Vertical 81 (L=653,265 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,986	0,000	0,745	0,000	0,620
1	19,280	54,440	16,190	53,424	14,426	52,916

Layer number	Vertical 82 (L=661,33 m)		Vertical 83 (L=669,395 m)		Vertical 84 (L=677,46 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,651	0,000	0,603	0,000	0,591
1	14,876	53,040	14,182	52,850	13,997	52,801

5 Data for Stress Analysis

5.1 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/m³
Pipeline diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
Pipeline diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
Pipeline diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
Equivalent pipeline diameter	:	Do = 831,29 mm
Equivalent wall thickness	:	t = 41,62 mm
Equivalent unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 54335 kN/m³
Unit weight drilling fluid pullback operation	:	gamma_b = 11,10 kN/m³
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/mm²
Friction coefficient pipe / soil	:	f3 = 0,20

5.2 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)

5.3 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/mm²])
- 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	68
T2	45	91
T3	111	139

Characteristic points	Length pipe in bore hole (m)	Characteristic value pulling force (kN)
T4	575	403
T5	641	467
T6	686	491

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 (f) 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.

6 Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1

6.1 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 = 686 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm²
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm²
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm²
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm²
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
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 = 50 kN/m²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 105187 kN/m³
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 248,114 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

6.2 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.

6.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k E·Ib /(Rrol·Wb)	=	0,43	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * T1/A = f * f_install (Lrol * Q * f1)/A	=	1,18	N/mm²

Maximum axial stress Sigma_a,max	=	1,46	N/mm²

In this load combination the tangential stress is negligible.

6.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,87	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * Tmax/A	=	8,56	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	9,12	N/mm²

Tangential stress:

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

qr = kv *·y = (0.322·Lambda^2·E·I)/(Do.R/f_R)

Lambda = (f_kv kv·Do/(4·E·I))^0.25	=	2,8E-3	1/mm
qr	=	0,0094	N/mm²
Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,55	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	0,36	N/mm²

6.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

6.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,31	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,20	N/mm²

Tangential stress:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,33	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	6,39	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	4,37	N/mm²

6.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,31	N/mm²

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_Temp = dt * gamma_t * alpha_g * E	=	0,00	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,20	N/mm²
Tangential stress:			
Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,33	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	6,39	N/mm²
Rerounding factor Frr	=	1,000	
Rerounding factor F'rr	=	1,000	
Sigma_t,max = Sigma_py + ((F'rr·. Sigma_qr) + (Frr·. Sigma_qn))			
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	4,37	N/mm²

6.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 1: pipe nr. 1

Load combination 1
- Sigma_AxMax < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < ShortStrength * DamageFactor

Load combination 2
- Sigma_ptest < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_py < LongStrength * DamageFactor

Load combination 3
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

Load combination 4
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm²]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
Sigma_ptest	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
Sigma_py	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
Sigma_axial	10,00 (short)	1,46	9,12	-	-	-
Sigma_axial	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
Sigma_tang...	10,00 (short)	-	0,36	-	-	-
Sigma_tang...	8,00 (long)	-	-	-	4,37	4,37

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 8,8 mm (2,80% 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.

6.4 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 283 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m².

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 203 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m².

7 Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2

7.1 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 = 686 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm²
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm²
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm²
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm²
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
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 = 50 kN/m²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 105187 kN/m³
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 248,114 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 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.

7.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k E·Ib /(Rrol·Wb)	=	0,43	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * T1/A = f * f_install (Lrol * Q * f1)/A	=	1,18	N/mm²

Maximum axial stress Sigma_a,max	=	1,46	N/mm²

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·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,87	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * Tmax/A	=	8,56	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	9,12	N/mm²

Tangential stress:

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

qr = kv *·y = (0.322·Lambda^2·E·I)/(Do.R/f_R)

Lambda = (f_kv kv·Do/(4·E·I))^0.25	=	2,8E-3	1/mm
qr	=	0,0094	N/mm²
Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,55	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	0,36	N/mm²

7.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

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

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,31	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,20	N/mm²

Tangential stress:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,33	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	6,39	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	4,37	N/mm²

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

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,31	N/mm²

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_Temp = dt * gamma_t * alpha_g * E	=	0,00	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,20	N/mm²

Tangential stress:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,33	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	6,39	N/mm²
Rerounding factor Frr	=	1,000	
Rerounding factor F'rr	=	1,000	

Sigma_t,max = Sigma_py + ((F'rr·. Sigma_qr) + (Frr·. Sigma_qn))

Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	4,37	N/mm²

7.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 2: pipe nr. 2

Load combination 1
- Sigma_AxMax < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < ShortStrength * DamageFactor

Load combination 2
- Sigma_ptest < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_py < LongStrength * DamageFactor

Load combination 3
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

Load combination 4
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm²]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
Sigma_ptest	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
Sigma_py	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
Sigma_axial	10,00 (short)	1,46	9,12	-	-	-
Sigma_axial	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
Sigma_tang...	10,00 (short)	-	0,36	-	-	-
Sigma_tang...	8,00 (long)	-	-	-	4,37	4,37

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 8,8 mm (2,80% 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 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 283 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m².

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 203 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m².

8 Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3

8.1 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 = 686 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm²
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm²
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm²
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm²
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
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 = 50 kN/m²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 105187 kN/m³
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 248,114 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 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.

8.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k E·Ib /(Rrol·Wb)	=	0,43	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * T1/A = f * f_install (Lrol * Q * f1)/A	=	1,18	N/mm²

Maximum axial stress Sigma_a,max	=	1,46	N/mm²

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·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,87	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * Tmax/A	=	8,56	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	9,12	N/mm²

Tangential stress:

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

qr = kv *·y = (0.322·Lambda^2·E·I)/(Do.R/f_R)

Lambda = (f_kv kv·Do/(4·E·I))^0.25	=	2,8E-3	1/mm
qr	=	0,0094	N/mm²
Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,55	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	0,36	N/mm²

8.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

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

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,31	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,20	N/mm²

Tangential stress:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,33	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	6,39	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	4,37	N/mm²

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

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,31	N/mm²

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_Temp = dt * gamma_t * alpha_g * E	=	0,00	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,20	N/mm²
Tangential stress:			
Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,33	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	6,39	N/mm²
Rerounding factor Frr	=	1,000	
Rerounding factor F'rr	=	1,000	
Sigma_t,max = Sigma_py + ((F'rr·. Sigma_qr) + (Frr·. Sigma_qn))			
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	4,37	N/mm²

8.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 3: pipe nr. 3

Load combination 1
- Sigma_AxMax < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < ShortStrength * DamageFactor

Load combination 2
- Sigma_ptest < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_py < LongStrength * DamageFactor

Load combination 3
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

Load combination 4
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm²]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
Sigma_ptest	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
Sigma_py	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
Sigma_axial	10,00 (short)	1,46	9,12	-	-	-
Sigma_axial	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
Sigma_tang...	10,00 (short)	-	0,36	-	-	-
Sigma_tang...	8,00 (long)	-	-	-	4,37	4,37

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 8,8 mm (2,80% 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 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 283 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m².

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 203 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m².

9 Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4

9.1 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 = 686 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm²
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm²
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm²
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm²
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
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 = 50 kN/m²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 105187 kN/m³
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 248,114 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 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.

9.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k E·Ib /(Rrol·Wb)	=	0,43	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * T1/A = f * f_install (Lrol * Q * f1)/A	=	1,18	N/mm²

Maximum axial stress Sigma_a,max	=	1,46	N/mm²

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·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,87	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * Tmax/A	=	8,56	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	9,12	N/mm²

Tangential stress:

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

qr = kv *·y = (0.322·Lambda^2·E·I)/(Do.R/f_R)

Lambda = (f_kv kv·Do/(4·E·I))^0.25	=	2,8E-3	1/mm
qr	=	0,0094	N/mm²
Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,55	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	0,36	N/mm²

9.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

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

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,31	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,20	N/mm²

Tangential stress:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,33	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	6,39	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	4,37	N/mm²

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

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,31	N/mm²

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_Temp = dt * gamma_t * alpha_g * E	=	0,00	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,20	N/mm²

Tangential stress:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,33	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	6,39	N/mm²
Rerounding factor Frr	=	1,000	
Rerounding factor F'rr	=	1,000	

Sigma_t,max = Sigma_py + ((F'rr·. Sigma_qr) + (Frr·. Sigma_qn))

Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	4,37	N/mm²

9.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 4: pipe nr. 4

Load combination 1
- Sigma_AxMax < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < ShortStrength * DamageFactor

Load combination 2
- Sigma_ptest < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_py < LongStrength * DamageFactor

Load combination 3
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

Load combination 4
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm²]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
Sigma_ptest	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
Sigma_py	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
Sigma_axial	10,00 (short)	1,46	9,12	-	-	-
Sigma_axial	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
Sigma_tang...	10,00 (short)	-	0,36	-	-	-
Sigma_tang...	8,00 (long)	-	-	-	4,37	4,37

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 8,8 mm (2,80% 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 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 283 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m².

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 203 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m².

End of Report

Aanvullende stukken

RE_ Verzoek om aanvullende informatie ProRail - Z2022-001199_4008841

[redacted]

Van: [redacted]
Verzonden: maandag 23 januari 2023 08:56
Aan: [redacted]
Onderwerp: RE: Verzoek om aanvullende informatie ProRail - Z2022-001199/4008841
Bijlagen: 230120_Kruisen spoor Bergen op Zoom – Roosendaal mast 1040 - 1041 .pdf; 230120 _Kruisen spoor 150 kV boringen.pdf; 230120_Kruisen spoor Goes - Bergen op Zoom 150 kV boringen - 1.pdf; 230120_Kruisen spoor Goes - Bergen op Zoom 150 kV boringen - 2.pdf; 230120_Kruisen spoor Zevenbergen – Lage Zwaluwe en HSL mast 1115 - 1116 .pdf

Beste mevrouw [redacted]

Eerder berichtte ik u over uitstel voor de termijn voor het aanleveren van de door u verzochte aanvullende gegevens voor de vergunning aanvraag Hoogspanningsverbinding ZWO380kV (Z2022-001199/4008841).

In deze mail wil ik een eerste reactie geven op uw verzoek tot aanvulling.
 Een 1:1000 situatietekening met kilometeraanduiding;
Voor de verschillende kruisingen van de hoogspanningsverbinding met de spoorlijn hebben wij de betreffende situatietekeningen aangepast en in schaal 1:1000 gemaakt.
De betreffende tekeningen zijn als bijlage bij deze mail gevoegd.

 Een werktekening op A0 formaat, zoals in de indieningsvereisten is omschreven;
Op dit moment hebben wij nog geen werktekeningen beschikbaar waarop wij de informatie kunnen geven zoals in jullie indieningsvereisten gevraagd worden. Deze kunnen wij nu dus niet bij de aanvraag voegen.
Zelf kunnen wij ons goed voorstellen dat door middel van een voorschrift in de vergunning wordt afgedwongen dat de juiste en volledige werktekeningen tijdig voorafgaand aan de werkzaamheden bij u worden aangeleverd.
Graag vernemen wij of dit voor u een mogelijkheid is en uiteraard willen wij hierover met u van gedachte wisselen.

 Een overzicht kabelsituatie waarin de boorlijn in het horizontale vlak is ingetekend met noordpijl op een duidelijke overzicht van een kabelsituatie-blad (KS-blad), schaal 1:1000;
Het aanleveren van deze informatie hebben wij uitgezet bij onze externe adviseur. Wij verwachten hier op korte termijn bij u op terug te kunnen komen.
Voor dit deel van de aanvullende gegevens vragen wij derhalve nog uitstel tot aanvulling.

 Bovenaanzicht en dwarsprofiel van de spoorwegkruising zoals in de indieningsvereisten is omschreven.
Het aanleveren van deze informatie hebben wij uitgezet bij onze externe adviseur. Wij verwachten hier op korte termijn bij u op terug te kunnen komen.
Voor dit deel van de aanvullende gegevens vragen wij derhalve nog uitstel tot aanvulling.

Graag vernemen wij uw reactie op deze mail
Uiteraard horen wij graag of de bijgevoegde tekeningen in goede orde zijn ontvangen en op deze wijze voldoen aan hetgeen u verzocht.
Daarnaast vernemen wij graag ook uw reactie op de overige 3 punten.
In navolging op deze mail zal ik ook proberen om met u in contact te komen.

Wij vertrouwen erop u hiermee voldoende te hebben geïnformeerd.

Met vriendelijke groeten / Kind regards / Mit freundlichen Grüßen,

[redacted]

[redacted]

TenneT TSO B.V.
Utrechtseweg 310
Arnhem
Postbus 718
6800 AS Arnhem
Nederland

Handelsregister: Arnhem 09155985

From: [redacted]
Sent: 05 December 2022 15:42
To: [redacted]
Subject: Verzoek om aanvullende informatie ProRail

Geachte [redacted]

Voor het verder behandelen van uw vergunningaanvraag met het kenmerk Z2022-001199/4008841, verzoek ik u om aanvullende informatie. Deze ontvang ik graag binnen vier weken. Voor nadere informatie verwijs ik u naar de inhoud van de bijgaande brief.

Hopende u hiermee voldoende geïnformeerd te hebben.

Met vriendelijke groet,

[redacted] | medewerker Juridische Zaken | Leefomgeving, Juridische zaken en Vastgoed |
The Core, Professor Dr. Dorgelolaan 14, 5613 AM Eindhoven | Postbus 2038, 3500 GA Utrecht

[redacted]

ProRail

Verbindt. Verbetert. Verduurzaamt.

B.1A Boring 150 kV Spoorlijn Roosendaal – Vlissingen, nabij Rilland (gemeente Reimerswaal)

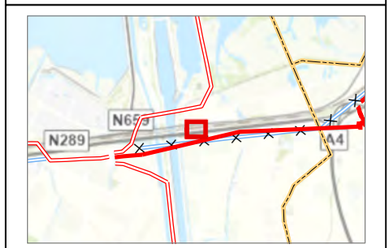
Zuid • West 380 kV Oost

Kruisen spoor Goes - Bergen op Zoom 150 kV boringen - 1

Legenda

Nieuwe 150kV kabeltracés

- boring
- Gemeentegrenzen
- Provinciegrenzen
- ProRail Referentiesysteem



Versie	VKA 2.0.1	Datum	20-1-2023
Schaal	1:1.000	Formaat	A3
Kenmerk	220805_spoorwegkruisingen.mxd A:\ig_vw\080\produkten\ZW\805-Oost\Vergunningen\220202_vergunningsaanvraag\mxd\220805_spoorwegkruisingen.mxd		

0 10 20 30 40 m

N

Aan deze tekening kunnen geen rechten worden ontleend. © TenneT TSO B.V.

Roosendaal - Vlissingen
Lage Zwaluwe - Nispen
127
22,6
22,5
22,4
Zeeland
N285
Oude Rijksweg
A58

B.2A Boring 150 kV Spoorlijn Roosendaal – Vlissingen, nabij Rilland (gemeente Woensdrecht)

Zuid • West 380 kV Oost

Kruisen spoor Goes - Bergen op Zoom 150 kV boringen - 2

Legenda

VKA2.0.1

× × Te amoveren verbinding

Nieuwe 150kV kabeltracés

boring

open ontgraving

Bestaande verbinding

150 kV bovengronds

Gemeentegrenzen

Provinciegrenzen

ProRail Referentiesysteem

Versie	VKA 2.0.1	Datum	20-1-2023
Schaal	1:1.000	Formaat	A3
Kenmerk	220805_spoorwegkruisingen.mxd A:\ip_mx\09\projecten\ZW380-Oost\Vergunningen\220202_vergunningskaarten\mxd\220805_spoorwegkruisingen.mxd		

0 10 20 30 40 m

N

Aan deze tekening kunnen geen rechten worden ontleend. © TenneT TSO B.V.

Noord-Brabant

Roosendaal - Vlissingen
Lage Zwaluwe - Nispen

19,5

19,6

127

B.3A Kruisen spoor Bergen op Zoom Roosendaal mast 1040 – 1041

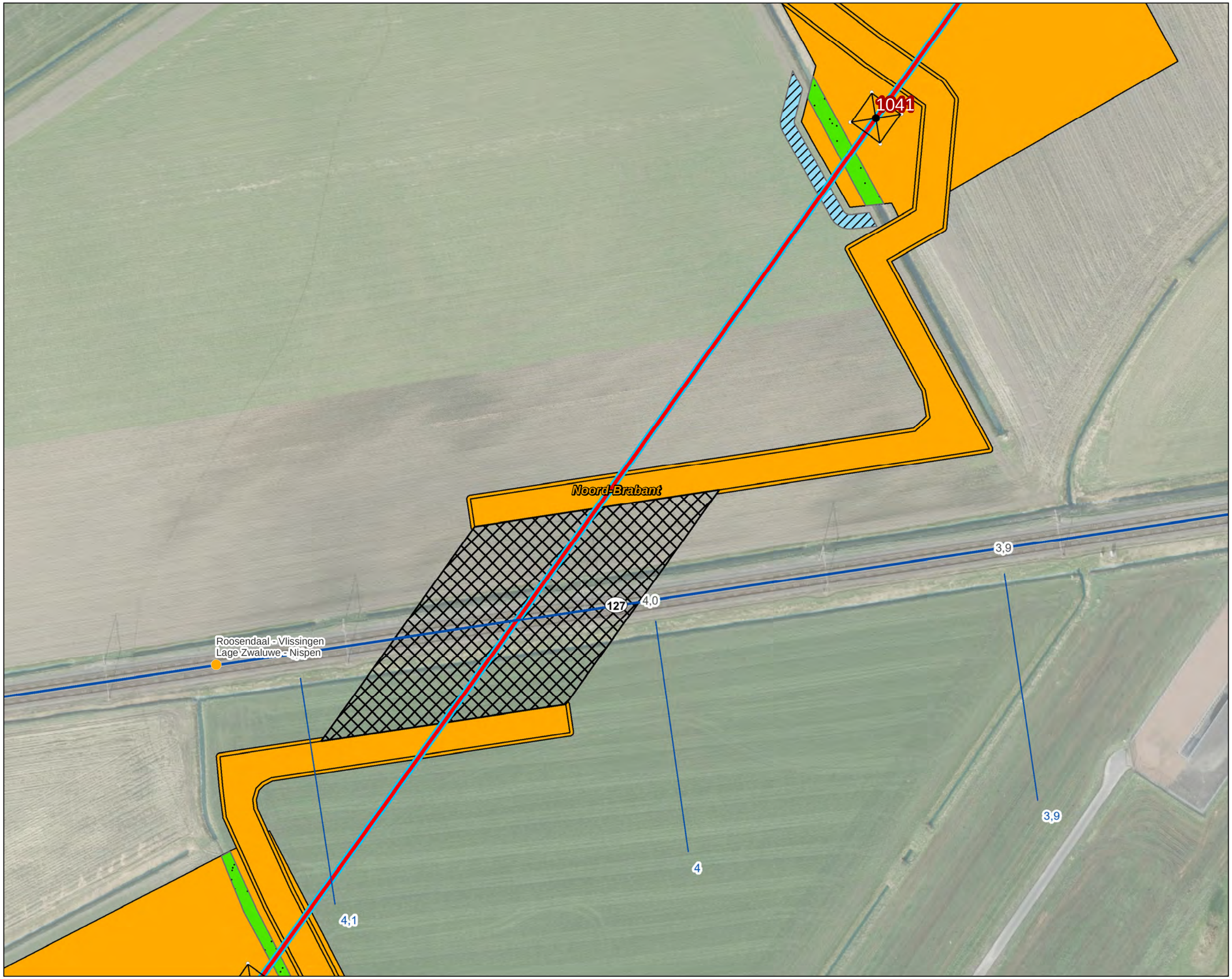
Zuid • West 380 kV Oost

Kruisen spoor Bergen op Zoom – Roosendaal mast 1040 - 1041

Legenda

VKA2.0.1

- Combi 380kV / 150kV
- Indicatieve mastpunten
- Fundaties
- Gemeentegrenzen
- Provinciegrenzen
- ProRail Referentiesysteem
- Tijdelijk dempen
- Tijdelijk omleggen
- Werkterreinen/Werkwegen
- Stalen jukken



Versie	VKA 2.0.1	Datum	20-1-2023
Schaal	1:1.000	Formaat	A3
Kenmerk	220805_sporenwegkruisingen.mxd A:\ja_ew380\producten\ZW380-Oost\Vergunningen\220202_vergunningskaarten\mxd\220805_sporenwegkruisingen.mxd		

0 10 20 30 40 m

N

Aan deze tekening kunnen geen rechten worden ontleend. © TenneT TSO B.V.

B.4A Kruisen spoor Zevenbergen Lage Zwaluwe en HSL mast 1115 – 1116

Zuid • West 380 kV Oost

Kruisen spoor Zevenbergen – Lage Zwaluwe en HSL mast 1115 - 1116

Legenda

VKA2.0.1

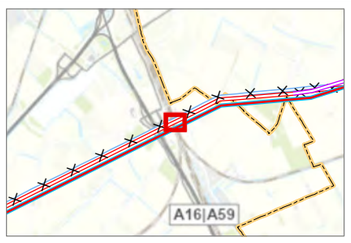
- Combi 380kV / 150kV
- Te amoveren verbinding
- Indicatieve mastpunten
- Te amoveren masten
- Fundaties
- Ontgravingsvlak

Nieuwe 150kV kabeltracés

- open ontgraving

Bestaande verbinding

- 380 kV bovengronds
- 150 kV bovengronds
- Masten
- Stations
- Gemeentegrenzen
- Provinciegrenzen
- ProRail Referentiesysteem
- Werkterreinen/Werkwegen
- Stalen jukken



Versie	VKA 2.0.1	Datum	20-1-2023
Schaal	1:1.000	Formaat	A3
Kenmerk	220805_spoorwegkruisingen.mxd A:\p_rw380\producten\ZW380-Oost\Vergunningen\220202_vergunningsbasis\mxd\220805_spoorwegkruisingen.mxd		

0 10 20 30 40 m

N

Aan deze tekening kunnen geen rechten worden ontleend. © TenneT TSO B.V.

Station Zevenbergschenhoek 150
MPB
MPA
039B
039A
039C
032A
038A
032
1116
625
14,2
231,4
14,2
14,1
231,5
14,1
231,5
14,0
231,6
14
231,6
Noord-Brabant
Lage Zwaluwe - Hooge Zwaluwe
Breda - Rotterdam Centraal
Spoordijk

B.5A Boring en persing 150 kV onder goederenspoor, nabij Geertruidenberg (gemeente Drimmelen)

Zuid • West 380 kV Oost

Kruisen spoor 150 kV boringen

Legenda

VKA2.0.1

- Combi 380kV / 150kV
- Solo 380 kV
- Te amoveren verbinding
- Indicatieve mastpunten
- Te amoveren masten
- Fundaties
- Ontgravingsvlak
- Opstijgpunten
- Opstijgpunten +2.5m

Nieuwe 150kV kabeltracés

- boring
- open ontgraving

Bestaande verbinding

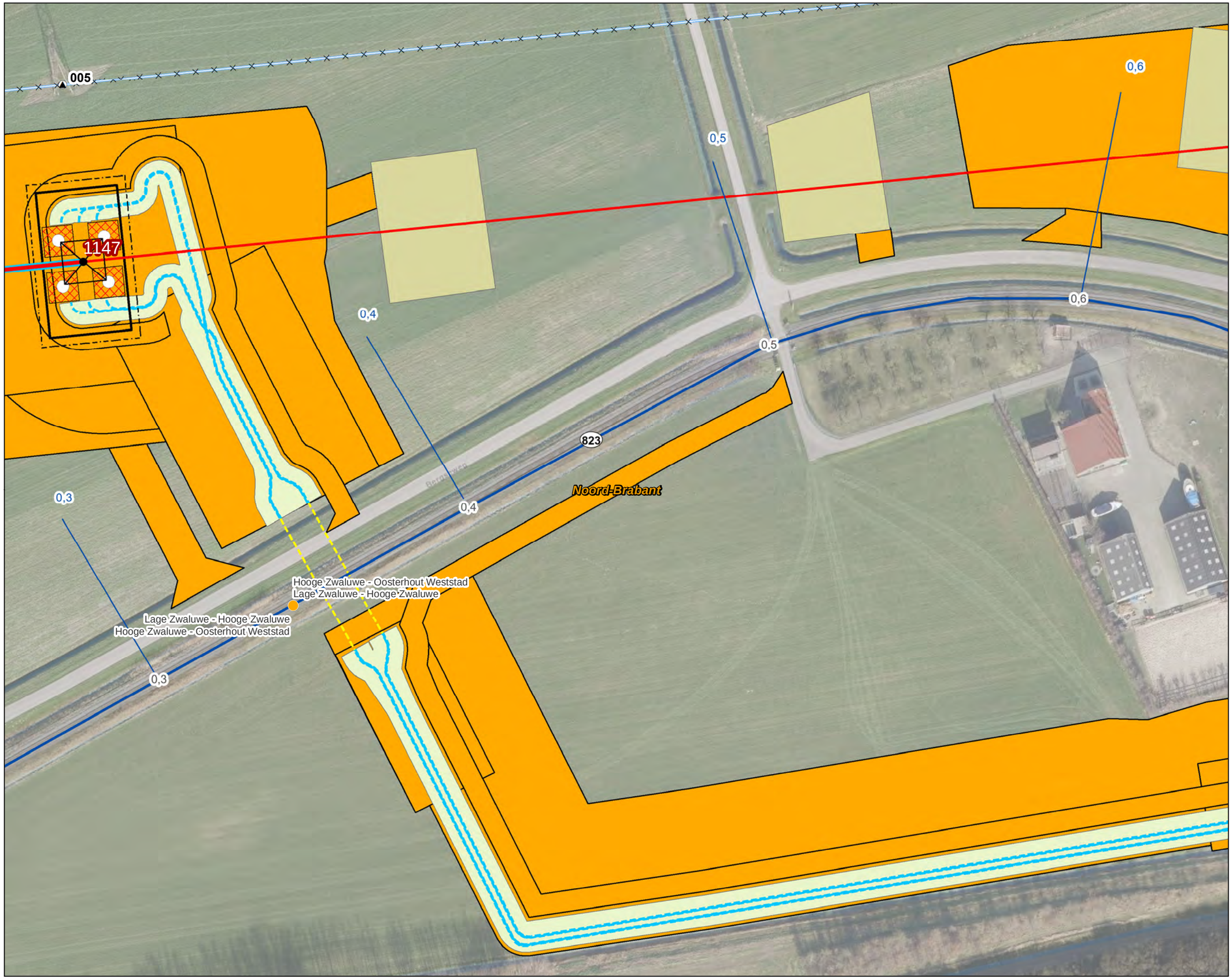
- 150 kV bovengronds
- Masten
- Gemeentegrenzen
- Provinciegrenzen
- ProRail Referentiesysteem
- Lierterreinen
- Werkterreinen/Werkwegen

Versie	VKA 2.0.1	Datum	20-1-2023
Schaal	1:1.000	Formaat	A3
Kenmerk	220805_spoorwegkruisingen.mxd A:\ip_ms\09\projecten\ZW380-Oost\Vergunningen\220202_vergunningskaarten\mxd\220805_spoorwegkruisingen.mxd		

0 10 20 30 40 m

N

Aan deze tekening kunnen geen rechten worden ontleend. © TenneT TSO B.V.



F.1A Boring 150 kV Spoorlijn Roosendaal – Vlissingen, nabij Rilland

Kruising 2 HDD’s met A58, Spoor en N289

Vergunningsrapport Rijkswaterstaat, provincie Zeeland en ProRail

SWECO

Verantwoording

Titel:	Kruising 2 HDD’s met A58, Spoor en N289
Onderwerp:	Vergunningsrapport Rijkswaterstaat en Provincie Zeeland
Projectnummer:	51001237
Klant:	TenneT
Referentienummer:	NL23-648800269-54524
Versie:	D3
Datum:	07-07-2023
Auteur:	[redacted]
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 Diepteligging 8
2.5 Inwendige overdruk 8
2.6 Grondwaterstand 8
2.7 Belasting- en ondersteuningshoek 9
2.8 Importantiefactor 9
2.9 Geotechnische parameters 9
2.10 Boortechnische gegevens 10
2.11 Verkeersbelasting 10
2.12 Boogstralen 11

3. Ontwerp 12
3.1 Gegevens HDD 12
3.2 Berekening horizontaal gestuurde boring 13
3.3 Boorparameters 13
3.4 Intredepunt 13
3.5 Uittredepunt en uitlegstrook 14

4. Berekeningsresultaten 15
4.1 Trekkrachtberekening 16
4.2 Sterkteberekening bedrijfsfase 16
4.3 Muddrukberekening 16
4.4 Implosie 16
4.5 Kwelwegbeschouwing 17
4.5.1 Zoute ondergrond 17
4.5.2 Kwel uit het eerste watervoerende pakket 18
4.5.3 Kwel tussen de peilgebieden 19
4.5.4 Kwelmaatregelen 21

5. Risico's 22

6. Conclusie 24
6.1 Algemeen 24
6.2 Uitkomsten ontwerp en berekening HDD 24

Bijlage 1 – Ontwerptekening
Bijlage 2 – Geotechnisch onderzoek
Bijlage 3 – Berekening D-Geo Pipeline

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.

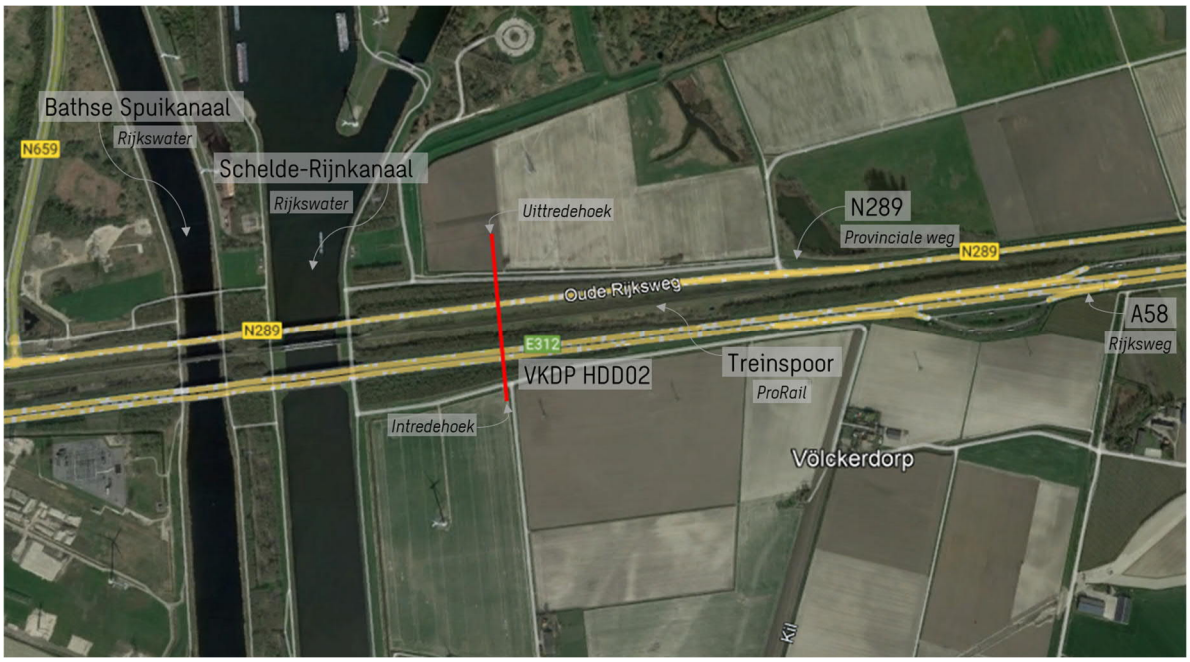
Dit rapport betreft de kruising met de Rijksweg A58, de spoorlijn en de provinciale weg N289. De HDD's (met codering VKDP HDD02) zijn vergunningsplichtig bij Rijkswaterstaat, provincie Zeeland en ProRail met het ontwerp en berekeningen conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020, Richtlijn Boortechnieken en de eisen van ProRail.

1.1 Situatie

Het tracé van de HDD's start ten zuiden van de A58 en ten oosten van de brug over het Schelde-Rijnkanaal en bestaat uit twee 150kV-circuits. Hierdoor moeten twee afzonderlijke parallelle HDD-bundels worden gemaakt. Eén bundel bestaat uit 4 mantelbuizen PE100 Ø315 mm SDR 11. Per bundel wordt in drie van de mantelbuizen een hoogspanningskabel ingetrokken, 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 circa 420 m en een maximale diepte van NAP -13,5 m (hart van de boring). De HDD's kruisen vanuit het zuiden gezien achtereenvolgens de Rijksweg A58, de spoorlijn Roosendaal – Vlissingen (Geocode 127, km 22,5) en de provinciale weg N289 en komen boven net voor de leidingenstraat van LSNed.

Het intredepunt ligt aan de zuidzijde van de A58 in het akkerland waar ook de bestaande mastenroute loopt. Het intredepunt ligt niet onder de mastenroute. Het uittredepunt ligt aan de noordzijde van de N289, zodat de mantelbuizen in de leidingenstraat van LSNed zijn uit te leggen.



Figuur 1 Overzicht situatie VKDP HDD02

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 VKDP HDD2, tekeningnummer VKDP HDD2-ProRail versie D d.d. 02-06-2023 door Sweco (bijlage 1).
- Geotechnisch onderzoek uit Dinoloket (bijlage 2).
- Maaiveldhoogten zijn ontleend aan de Algemene Hoogtekaart van Nederland (AHN-3).
- KLIC-levering 21O094476 en 21O094477 opgevraagd d.d. 21-09-2021.
- Peilbesluiten waterschap Scheldestromen, geraadpleegd d.d. 14-03-2022, website: https://repository.officiele-overheidspublicaties.nl/CVDR/CVDR333586/1/xml/i241828.pdf.

2.2 Vigerende normen en richtlijnen

Het ontwerp van de boring voldoet aan:

- NEN 3650:2020.
- NEN 3651:2020.
- Richtlijn Boortechnieken v1.0 juni 2019 van Rijkswaterstaat.
- Handboek Horizontaal Gestuurd Boren (BTL-rapport 50).
- ProRail Spoorkruising derden, RLN 00427-2 (Sleufloze Techniek).
- Indieningvereisten: Ten behoeve van het aanvragen van een vergunning op grond van artikel 19 Spoorwegwet en het aanvragen van een ontheffing op grond van artikel 13 lid 3 van de Regeling omgevingsregime hoofdspoorwegen, ProRail, 01-07-2021-versie-18 (zie bijlage 1).

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:

- De minimale dagmaat bij een kruising met een bestaande HDD-boring is 5,0 meter, onafhankelijk van de grondslag.
- De minimale dagmaat in zandgrond bij parallelligging tot een bestaande HDD-boring is 5,0 meter.
- De minimale dagmaat in klei-/veengrond bij parallelligging tot een bestaande HDD-boring is 10,0 meter.
- 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 specifieker dan de NEN 3650, voor het ontwerp houden we daarom de Richtlijn Boortechnieken aan.

2.4 Diepteligging

De diepteligging dient aan de volgende eisen te voldoen:

- De HDD's dienen minimaal 12 m beneden het laagst gelegen maaiveld binnen de druklijn 1:1,5 te liggen (paragraaf 7.1 van RLN0047-2 Spoorkruising derden).
  - De bovenkant van de leiding is op een diepte van 16,90 m geprojecteerd t.o.v. het laagst gelegen maaiveld. De leiding voldoet hiermee aan de dekkings- en afstandseisen.
- De HDD's dienen een minimale gronddekking te hebben ter plaatse van de verharding van minimaal 1,5 meter (in cohesieve grond) (Richtlijn Boortechnieken v1.0 juni 2019, NEN3650-1 par. F4.2 en NEN 3651 par. 8.1.5).
  - Bij zowel de provinciale weg als de rijksweg liggen de HDD's dieper dan 17 m t.o.v. maaiveld.

Het ontwerp voldoet aan de eisen voor de diepteligging.

2.5 Inwendige overdruk

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

2.6 Grondwaterstand

De grondwaterstand is ontleend uit de data van DINO-loket (B49D0400-001). De grondwaterstand fluctueert gedurende het jaar maar bedraagt gemiddeld circa NAP 0,35 m.

2.7 Belasting- en ondersteuningshoek

Conform NEN 3650 (C.4.1.3 van NEN3650-1) en NEN 3651 bedraagt voor een HDD de:

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

2.8 Importantiefactor

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

2.9 Geotechnische parameters

De geotechnische gegevens en parameters gebruikt 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 boortrace [m]
B49D2247	Boring	-25	50
B49D1111	Boring	-13	20
1108.S07	Sondering	-18	80

De twee beschikbare boringen en de sondering langs het geplande boortracé geven de bovenkant van de vaste zandlaag weer op -13 m NAP. Deze boringen en sondering laten zien dat boven deze zandlaag de grond bestaat uit relatief slappe klei- en veenlagen. Gezien het zeer kleine aantal boringen kan niet met zekerheid vastgesteld worden of de relatief slappe lagen over het gehele tracé voorkomen. Hieruit kunnen we concluderen 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. Tabel 2.1 laat de in de berekeningen aangehouden grondparameters voor de in het grondonderzoek herkende grondlagen langs het profiel zien.

Tabel 2-2 Grondparameters gebruikt in de berekening.

Niveau bovenkant [m t.o.v. NAP]	Niveau onderkant [m t.o.v. NAP]	Lithologie	γ_d [kN/m^3]	γ_n [kN/m^3]	c' [kPa]	φ' [°]	Su top/bottom [kN/m^2]	E [kN/m^2]
2,0	-3,5	Zand, schoon, los	17	19	0,0	30,0	0,0	7500
-3,5	-6,0	Klei, organisch, slap	13	13	0,0	15,0	35,0	500
-6,0	-11,0	Veen, slap	11	11	1,0	15,0	35,0	200
-11,0	-13,0	Zand, schoon, los	17	19	0,0	30,0	0,0	15000
-13,0	30,0	Zand, schoon, vast	19	21	0,0	35,0	0,0	45000

2.10 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 waardes zijn terug te vinden in de invoer van de muddrukberekeningen in bijlage 3.

2.11 Verkeersbelasting

Ter plaatse van de kruising met de A58 is verkeersklasse I gehanteerd conform figuur C17 uit NEN3650-1:2020. Voor de overige wegen is verkeersklasse II conform figuur C17 uit NEN3650-1:2020 gehanteerd.

2.12 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 verticale bochten van 250 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.

Tabel 2-1 afwijkingstoleranties HDD

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

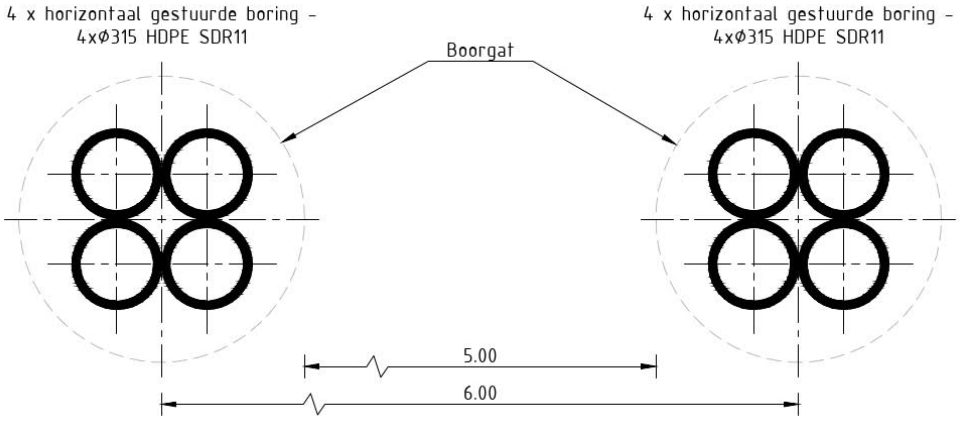
Figuur 2, afwijkingstoleranties HDD's (Bron: tabel 2.1 uit de Richtlijn Boortechnieken)

3. Ontwerp

3.1 Gegevens HDD

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

- materiaal: PE 100 4xØ315 mm SDR 11;
- lengte: 420 m;
- maximale diepte hart buis: NAP -13.83 m;
- intredehoek: 15°;
- uittredehoek: 15°;
- verticale boogstralen: 250 m;
- horizontale boogstralen: n.v.t.



Figuur 3 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 zijn:

- De HDD's dienen een zodanig tracé te volgen dat er voldoende dekking aanwezig is in het gehele tracé om een blow-out te voorkomen.
- De HDD's dient de snelweg loodrecht te kruisen.
- De sterkte van de leiding dient zodanig te zijn dat deze intact blijft gedurende de aanleg en in de bedrijfsfase.

3.2 Berekening horizontaal gestuurde boring

De volgende berekeningen zijn voor de horizontaal gestuurde boring uitgevoerd:

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

Bij de berekeningen is het profiel van de huidige situatie gebruikt, aangezien deze ten tijde van de uitvoering van de HDD nog aanwezig is en maatgevend is voor de muddruk en trekkracht.

De berekeningen zijn uitgevoerd met het rekenprogramma D-Geo Pipeline versie 20.1 en zijn toegevoegd in bijlage 3.

3.3 Boorparameters

Bij de berekeningen zijn de volgende boorparameters aangehouden:

- boorinstallatie : mini-rig;
- diameter boorstang : 0,17 m;
- volumegewicht bentoniet : 11,5 kN/m^3;
- Gewicht drillrig : circa 18.000 kg (18 ton);
- Diameter pilothole : Ø300 mm;
- Ruimerdiameter : Ø500 mm;
- Ruimgat : Ø1000 mm.

3.4 Intredepunt

Het intredepunt ligt aan de zuidzijde van het tracé in het bouwland (zie *Figuur 4*). De locatie is bereikbaar via de Kreekrakweg. Indien het werkverkeer de locatie vanuit het noorden benadert, dient rekening te worden gehouden met de doorrijhoogte onderdoor de brug over het kanaal.

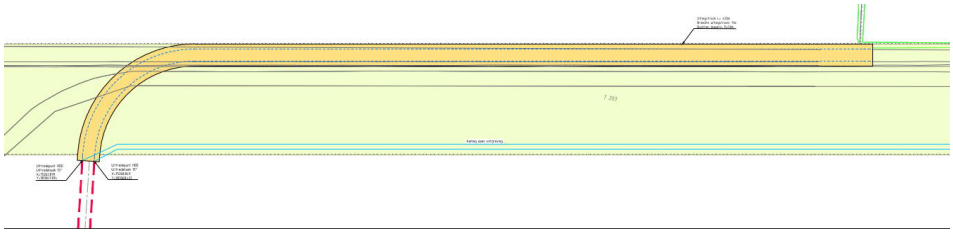
Figuur 4 Intredepunt VKDP HDD02

3.5 Uittredepunt en uitlegstrook

Het uittredepunt ligt in bouwland aan de noordzijde van het boortracé (zie *Figuur 5*). De locatie is bereikbaar via de Markiezaatsweg vanuit de oostzijde van het uittredepunt.

De uitlegstrook ligt in het bouwland en een haakse bocht naar het oosten (zie *Figuur 6*). Met LSNed is afgestemd om gebruik te maken van de leidingstraat voor de uitlegstrook. Bij het uittredepunt en de uitlegstrook dient de aannemer rekening te houden met het werken onder en nabij hoogspanningsmasten.

Figuur 5 *Uittredepunt VKDP HDD02*



Figuur 6 *Uitlegstrook VKDP HDD02*

4. Berekeningsresultaten

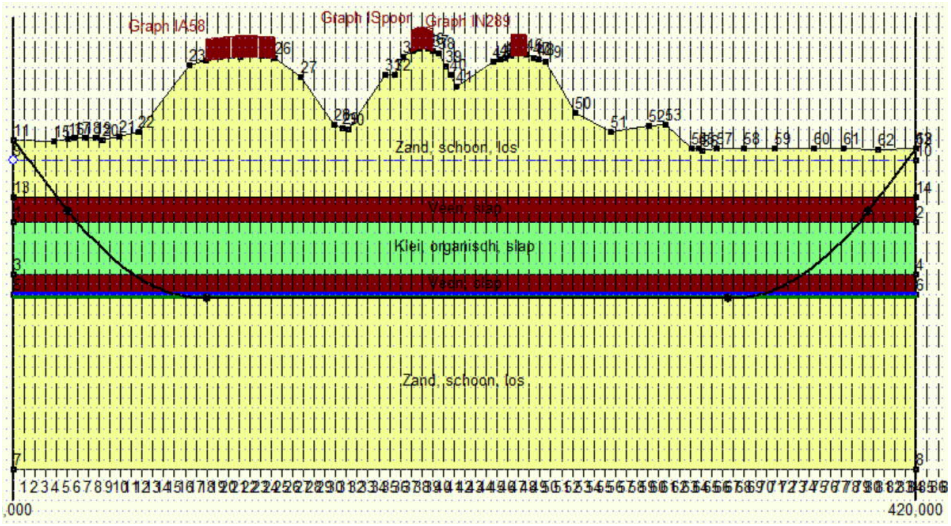
De volgende berekeningen zijn voor de horizontaal gestuurde boring uitgevoerd:

- 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.

Bij de berekeningen is het profiel van de huidige situatie gebruikt, aangezien deze ten tijde van de uitvoering van de HDD nog aanwezig is en maatgevend is voor de muddruk en trekkracht.

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 7 D-Geo Pipeline-model van HDD's

4.1 Trekkrachtberekening

De berekende maximale trekkracht bedraagt 304*1,8 = 547 kN bij niet-gevulde leidingen. Dit leidt tot een maximale spanning tijdens de intrekfase van 5,9 N/mm^2 aan het einde van de intrekoperatie. Toelaatbaar is 10 N/mm^2.

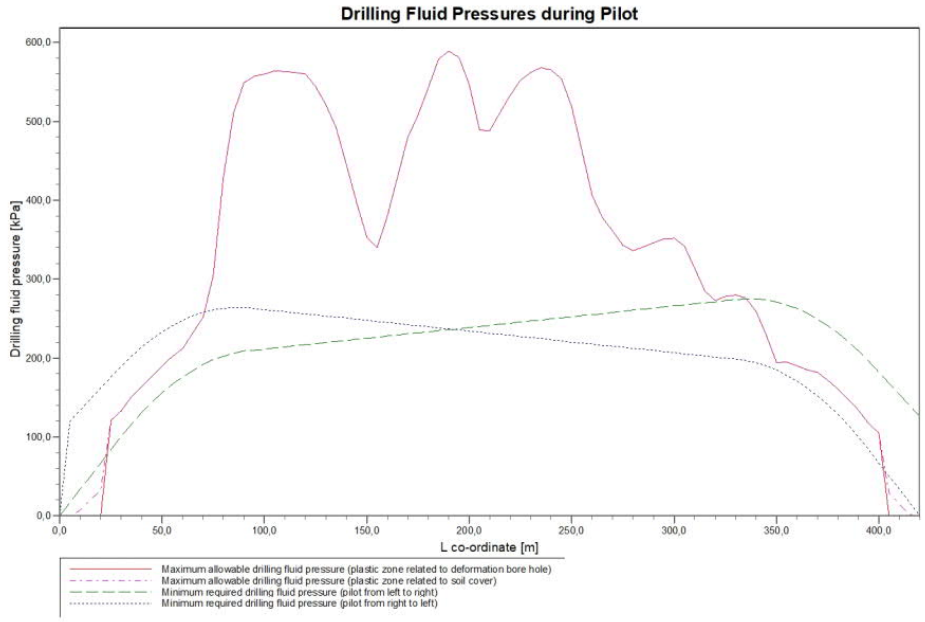
4.2 Sterkteberekening bedrijfsfase

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

Uit de sterkteberekening blijkt dat een deflectie van 15,8 mm (5,03% x D_0) optreedt. Toelaatbaar is een maximale deflectie van 25,2 mm (8,00% x S x D_0).

4.3 Muddrukberekening

Bij de geplande diepteligging van de HDD's bestaat tijdens de pilotboring, getuige de berekeningsresultaten, de kans op muduitbraak in de laatste 80 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 8 Muddrukbereking tijdens pilot boring

4.4 Implosie

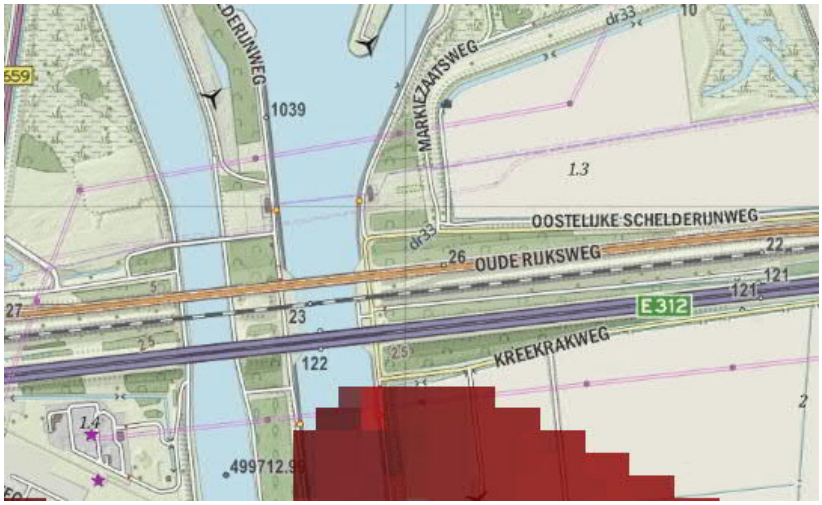
Zowel tijdens de intrekoperatie als de bedrijfstoestand blijkt uit de berekeningen dat geen implosie optreedt. De berekende alzijdige overdruk op de leiding bedraagt circa 140 kN/m^2, terwijl 280 kN/m^2 toelaatbaar is.

4.5 Kwelwegbeschouwing

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 Zoute ondergrond

Door de nabije aanwezigheid van de zee is de ondergrond van Zeeland op veel plekken verzadigd met zout water. Er treedt infiltratie op van zoet regenwater. Het regenwater zorgt voor een zoete bovenlaag van de bodem, maar veel dieper komt de zoete invloed niet. In de omgeving van de HDD komt in diepere grondlagen een hoog chloride-gehalte voor. Voor de locatie van HDD VKDP 2 zijn geen metingen beschikbaar (zie *Figuur 9*). De kans op zout grondwater is aanwezig.

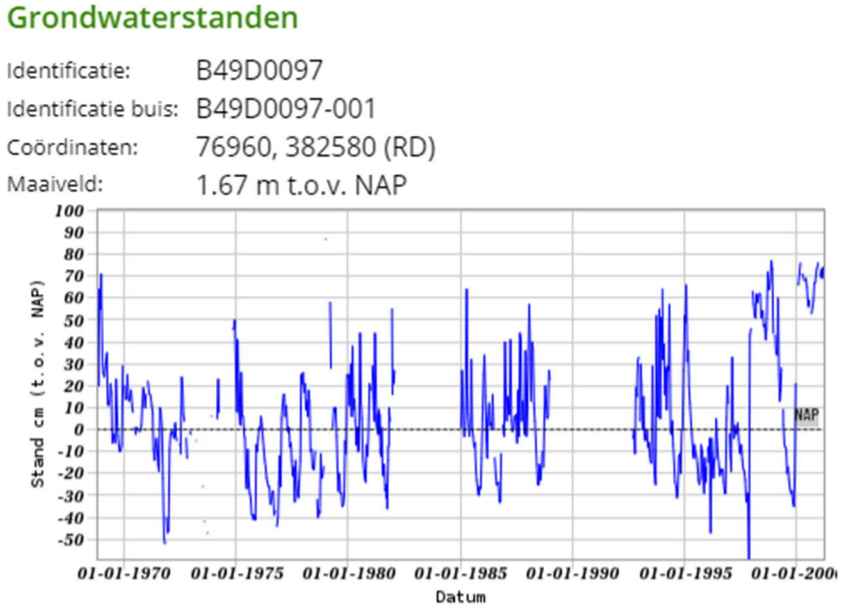


Figuur 9 *Grensvlak met chloridegehalte nabij HDD-kruising*

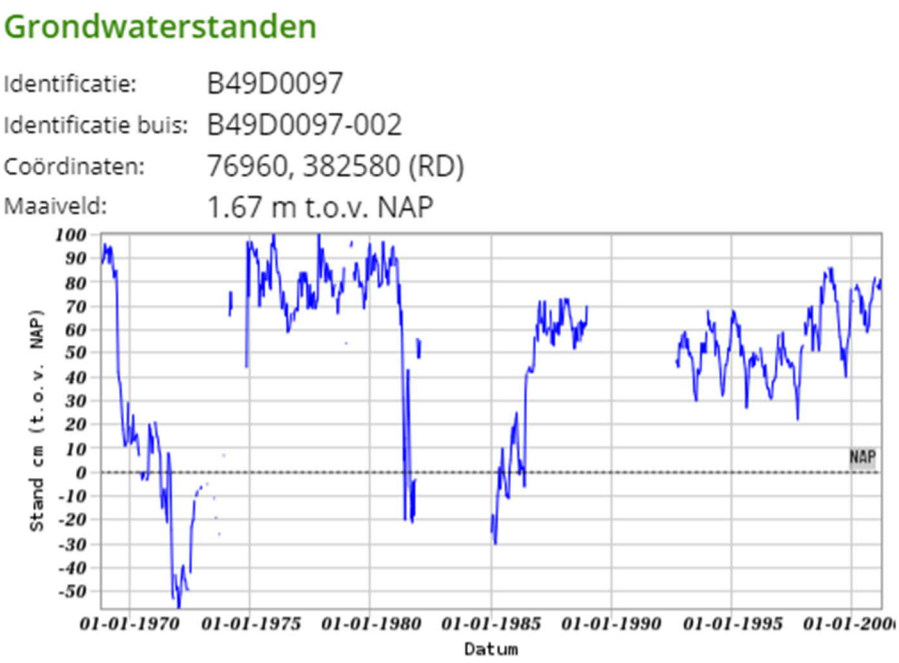
4.5.2 Kwel uit het eerste watervoerende pakket

De HDD's liggen in het deelgebied Zuid-Beveland-Oost waar waterschap Scheldestromen het peilbeheer voert.

Ter illustratie zijn de meetgegevens uit DINOloket van peilbuis B49D0097 hieronder weergegeven. Deze peilbuis ligt op circa 1 km afstand van het boortracé. Te zien is dat de freatische grondwaterstand B49D0097-001 in periodes lager ligt dan de grondwaterstand in het eerste watervoerende pakket B49D0097-002. De bovenliggende kleilagen sluiten 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.



Figuur 10 *Freatische grondwaterstand B30H0125-001 uit Dinoloket, filter op NAP -6,5 m*



Figuur 11 *Grondwaterstand in het eerste watervoerende pakket, B30H0125-002 uit Dinoloket, filter op NAP -11,9 – 13,96 m*

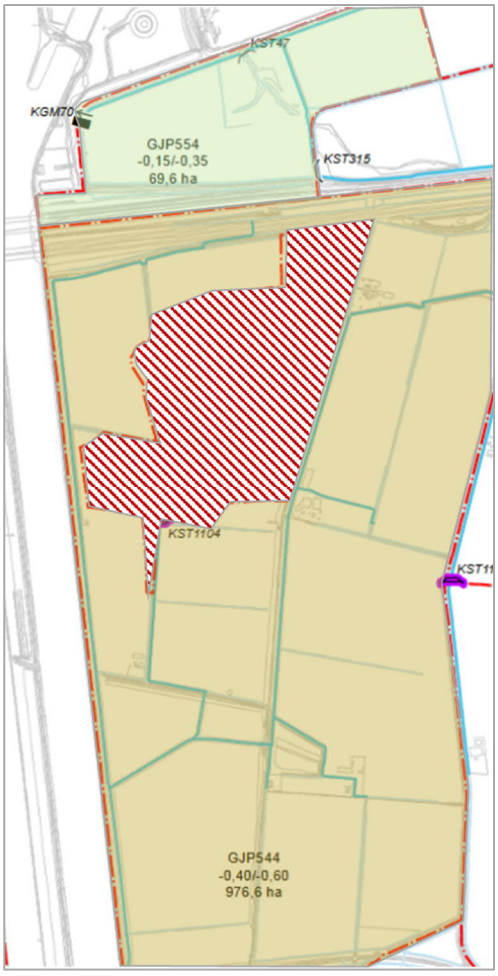
4.5.3 Kwel tussen de peilgebieden

Uit de peilbesluitenkaart van waterschap Scheldestromen blijkt dat de noord- en zuidzijde van de HDD's niet tot dezelfde peilgebieden behoren. De noordzijde van de A58 ligt in het peilgebied GJP545 en zuidzijde behoort tot gebied GJP544.

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

Peilgebied	Zomerpeil (m NAP)	Winterpeil (m NAP)
GJP554	- 0,15	- 0,35
GJP544	- 0,40	- 0,60



Figuur 12 Overzicht peilbesluit

De kwelwegen zijn berekend volgens Bligh-Lane:

$$Natuurlijke\ kwelweg < kwelweg\ via\ HDD$$

$$L_0 \times {}^1/_3 < L_{vert} + L_{hor} \times {}^1/_6$$

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]
GJP554	GJP544	197/3 = 65,6	9+197/6+18 = 60

4.5.4 Kwelmaatregelen

De stijghoogte in het eerste watervoerende pakket is op deze locatie hoger dan de laagste gemiddelde grondwaterstand. De bovenliggende kleilagen sluiten 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

- Veilig werken in de nabijheid van hoogspanningmasten. Deze lijn is in bedrijf ten tijde van de werkzaamheden. Het heeft de voorkeur om de HDD die het meest dichtbij de masten ligt als eerste uit te voeren, zodat deze in ieder geval voldoende afstand heeft tot de fundering van de mast.
- TenneT schrijft het gebruik van een gyroscoop als plaatsbepalings-systeem tijdens de pilotboring voor.
- Afwijking van de boorlijn heeft consequenties voor de daarna volgende HDD’s. De aannemer dient daarom na iedere pilotboring te controleren of de volgende HDD’s nog aangepast moeten worden. Ook dient de aannemer rekening te houden met de volgorde van uitvoeren in verband met afstanden tot obstakels.
- Het nemen van de in paragraaf 4.5.4 benoemde kwelmaatregelen. Voorafgaand aan de uitvoering dienen de plannen hiervoor goedgekeurd te worden door waterschap Scheldestromen.
- De uitlegstrook ligt in de leidingenstraat van LSNed.
- De aanwezigheid van brak grondwater in de ondergrond. De aannemer dient hier bij de samenstelling van het bentoniet rekening mee te houden.
- De mantelbuizen dienen met een sleeve afgesloten te worden om een kwelstroom door de buis onderdoor de waterkering te voorkomen.
- De boorrig en het materieel worden opgesteld aan de westzijde van de boring bij het 150 kV-station Rilland.
- Uitlegstrook: de mantelbuizen worden uitgelegd aan de oostzijde van de HDD in bouwland. De uitlegstrook ligt parallel en kruist de 150 kV mastenroute.
- 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 plaatsbepalings-systeem 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 hoogspanningsmasten.

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.

Deze rapportage betreft de kruising met de A58, het treinspoor en de N289. Dit document betreft de vergunningsrapportage voor Rijkswaterstaat en de provincie Zeeland met het ontwerp en berekeningen conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020, de Richtlijn Boortechnieken, de eisen van ProRail en de beleidsregels van Rijkswaterstaat

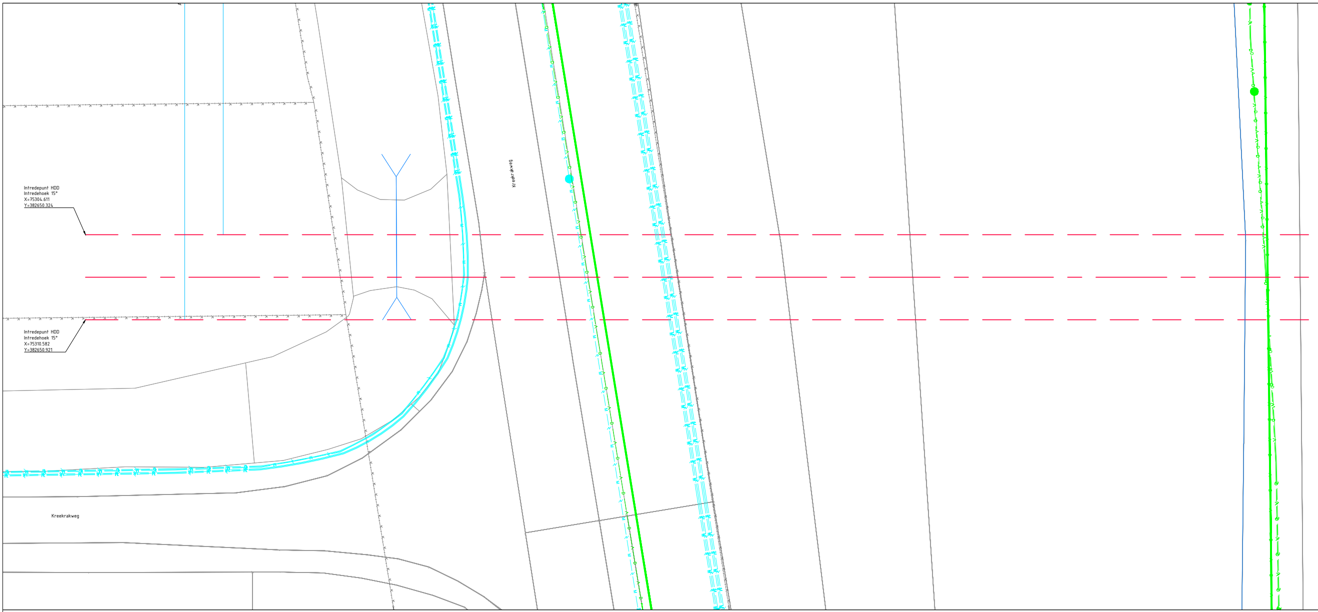
6.2 Uitkomsten ontwerp en berekening HDD

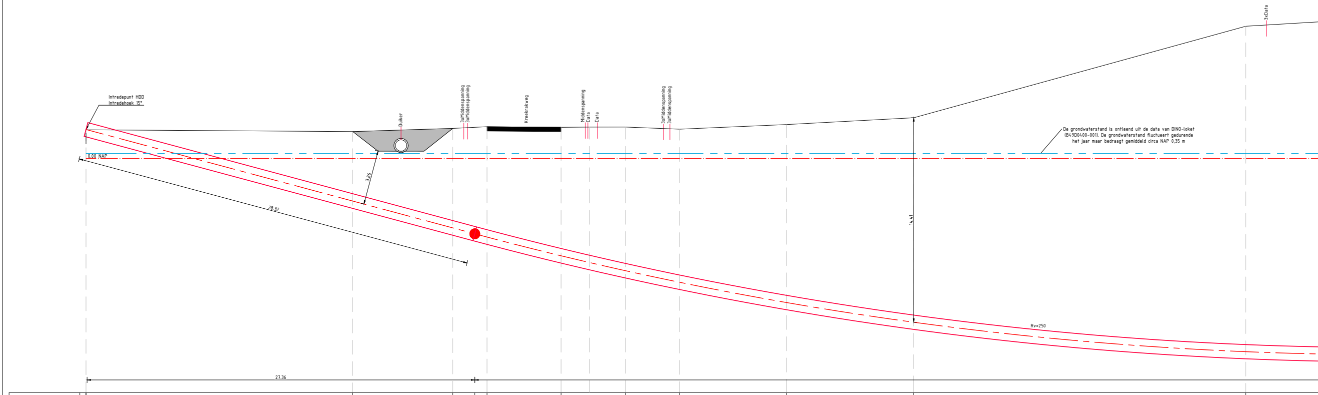
De HDD's, weergegeven op de tekeningen die zijn bijgevoegd als bijlage 1, zijn ontworpen en berekend volgens de vigerende eisen.

Het is 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.

Uit de berekeningen blijkt dat de gekozen tracés van de twee parallelle HDD's met PE 100 4xØ315 mm SDR 11 voldoen aan de eisen.

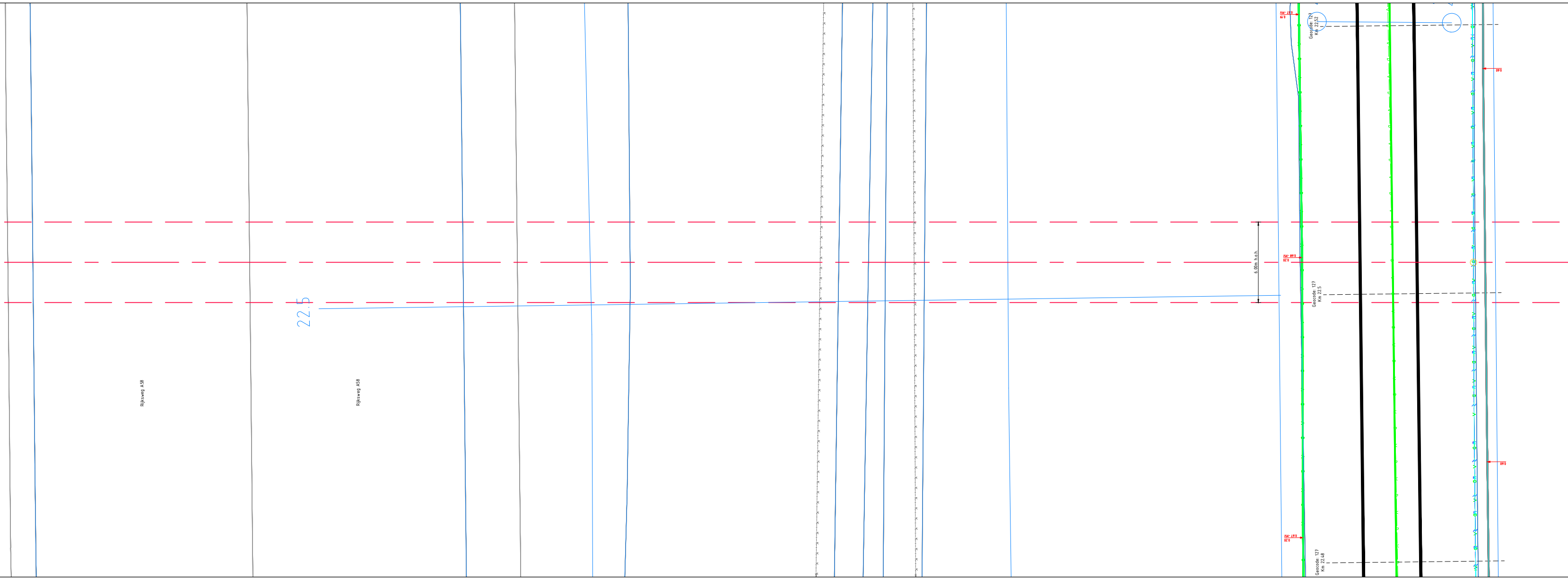
Bijlage 1 – Ontwerptekening


Intredepunt HDD
Intredehoek 15°
X=75304.611
Y=382650.324
Intredepunt HDD
Intredehoek 15°
X=75310.582
Y=382650.921
Kreekrakweg
Kreekrakweg

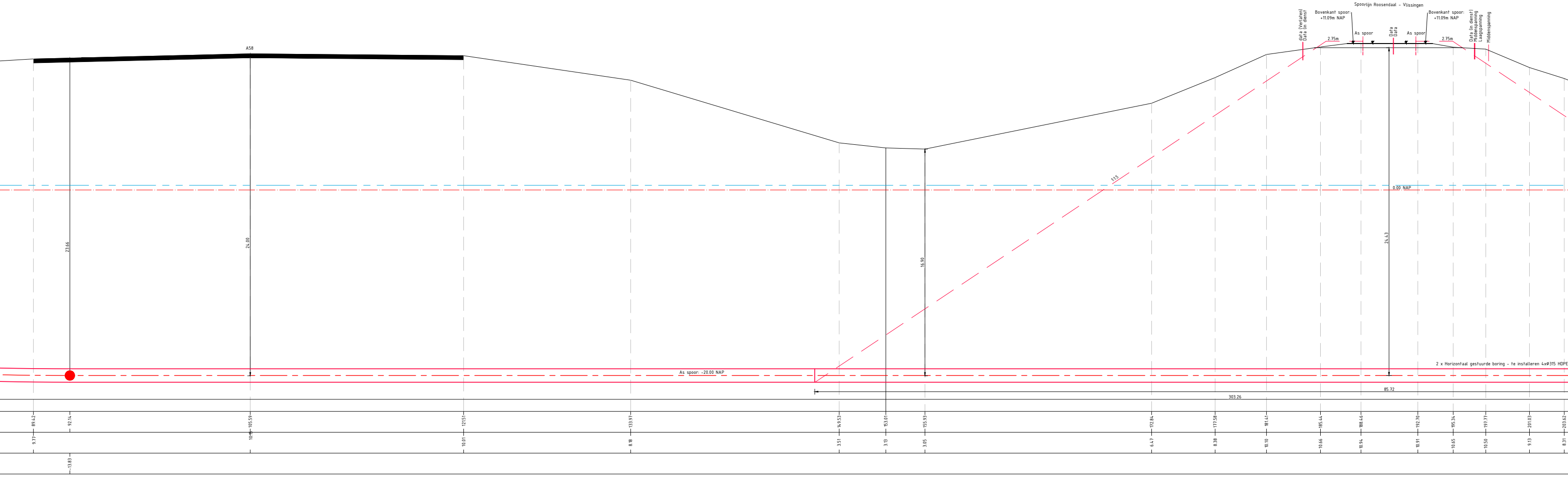

Intredepunt HDD
Intredehoek 15°
0.00 NAP
Duiker
3xMiddenspanning
3xMiddenspanning
Kreekrakweg
Middenspanning
Data
Data
3xMiddenspanning
3xMiddenspanning
3xData
3.86
28.32
14.41
Rv=250
27.36

De grondwaterstand is ontleend uit de data van DINO-loket (B49D0400-001). De grondwaterstand fluctueert gedurende het jaar maar bedraagt gemiddeld circa NAP 0,35 m

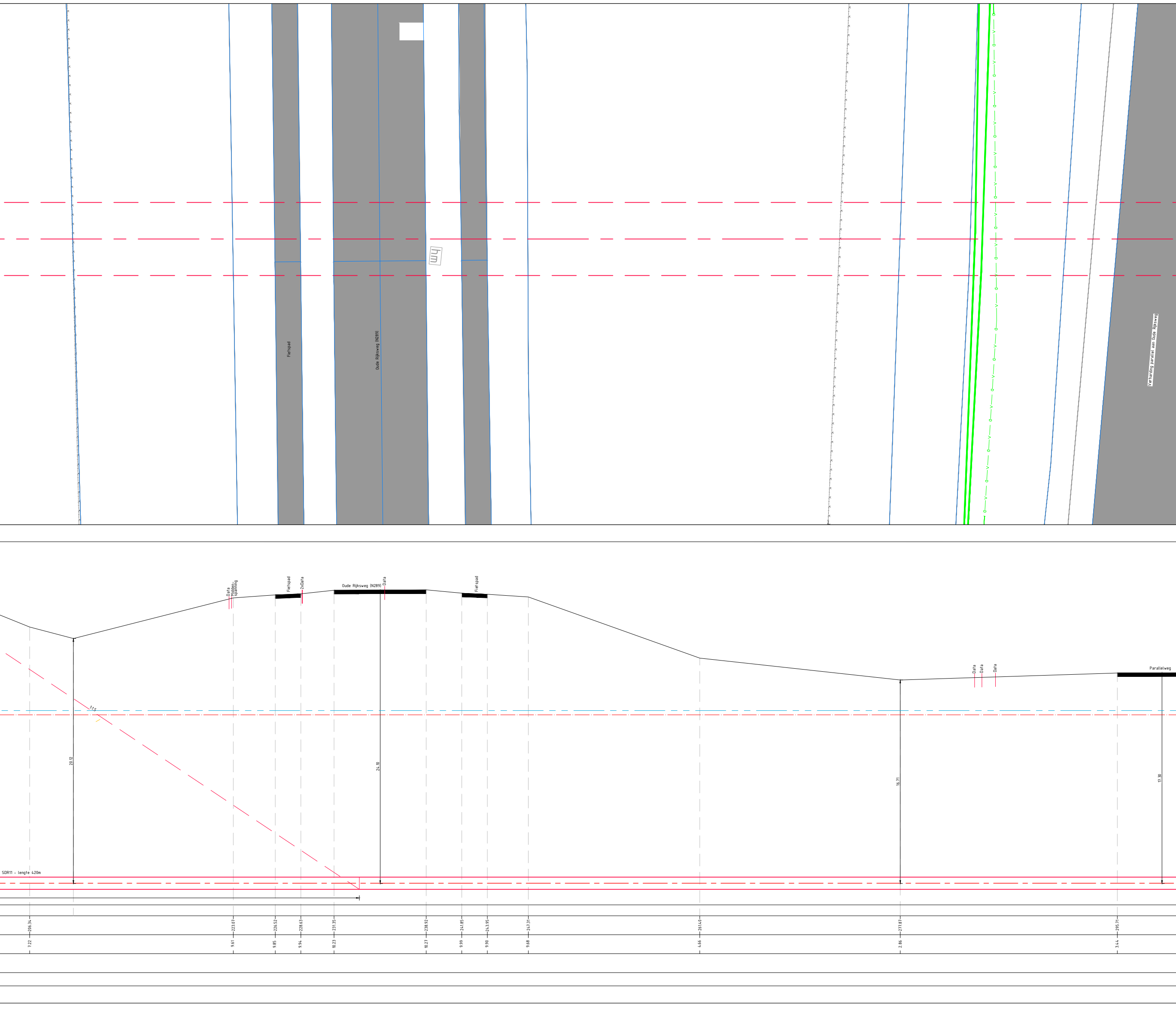
Horizontale afstand in meters	0.00	18.82	25.88	27.43	28.29	33.52	38.07	41.89	49.42	58.40	81.83
Hoogte maaiveld t.o.v.. NAP	2.02	1.89	2.12		2.24	2.19	2.21	2.06	2.39	2.87	9.32
Hoogte center buis/boring t.o.v. NAP	2.02			-5.31							

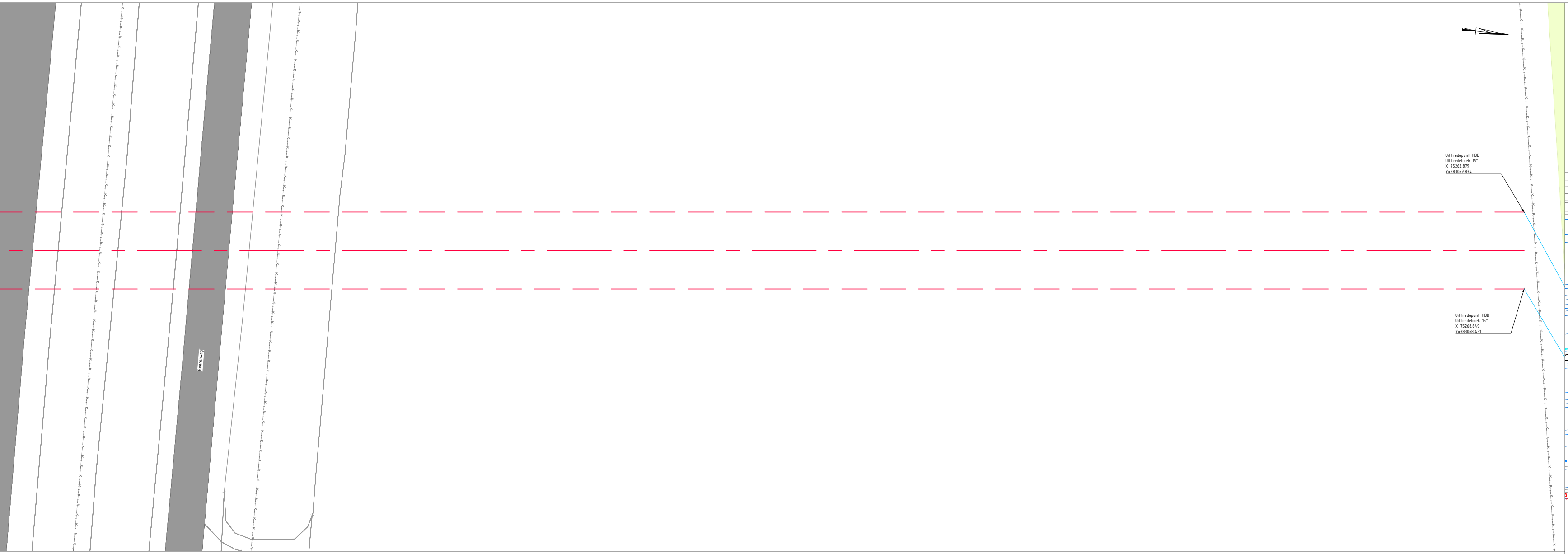

0.67 -MV
0.19
Geocode: 127
Km 22.52
0.60
6.00m h.o.h.
0.68 -MV
0.20
Geocode: 127
Km 22.5
22.5
Rijksweg A58
Rijksweg A58
0.67 -MV
0.20
Geocode: 127
Km 22.48

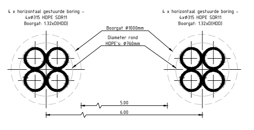
Bovenaanzicht HDD schaal 1:100


Spoorlijn Roosendaal - Vlissingen
data (Verlaten)
Data (in dienst
Bovenkant spoor:
+11.09m NAP
As spoor
2.75m
Data
Data
As spoor
Bovenkant spoor:
+11.09m NAP
2.75m
Data (in dienst)
Middenspanning
Laagspanning
Middenspanning
A58
1:15
0.00 NAP
23.66
24.00
16.90
24.43
As spoor: -20.00 NAP
2 x Horizontaal gestuurde boring - te installeren 4xØ315 HDPE
85.72
303.26
89.42
92.14
105.59
121.51
133.97
149.53
153.01
155.93
172.84
177.58
181.41
185.44
188.46
192.70
195.34
197.77
201.03
203.62
9.77
10.16
10.01
8.18
3.51
3.13
3.05
6.47
8.38
10.10
10.66
10.94
10.91
10.65
10.50
9.13
8.31
-13.83

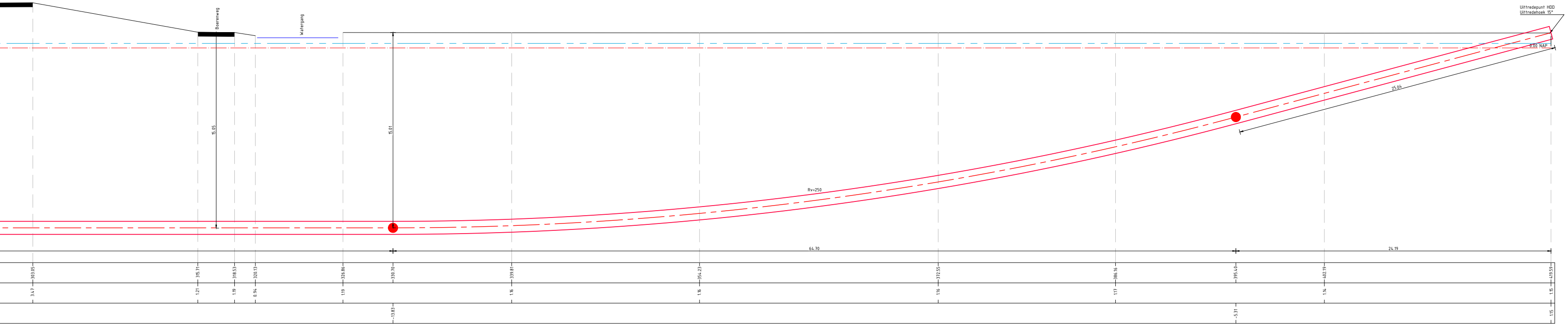
Lengteprofiel schaal 1:100

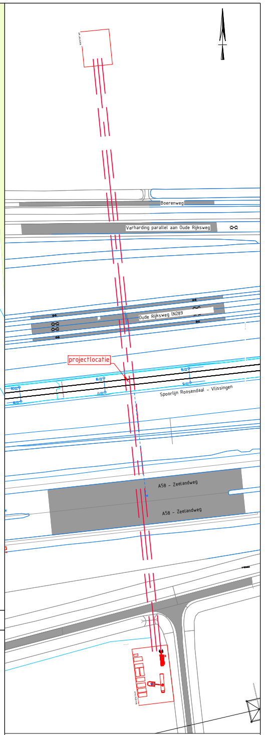

Fietspad
Oude Rijksweg (N289)
hm
Verharding parallel aan Oude Rijksweg
Data
Middenspanning
Fietspad
2xData
Oude Rijksweg (N289)
Data
Fietspad
Data
Data
Data
Parallelweg
1:1.5
20.12
24.10
16.71
17.30
SDR11 - lengte 420m
206.34
223.07
226.52
228.63
231.35
238.92
241.85
243.95
247.31
261.40
277.87
295.71
7.22
9.61
9.85
9.94
10.23
10.27
9.99
9.90
9.68
4.66
2.86
3.44


Boerenweg
Uittredepunt HDD
Uittredehoek 15°
X=75262.879
Y=383067.834
Uittredepunt HDD
Uittredehoek 15°
X=75268.849
Y=383068.431


4 x horizontaal gestuurde boring -
4xØ315 HDPE SDR11
Boorgat: 1.32xD(HDD)
Boorgat Ø1000mm
Diameter rond
HDPE's: Ø760mm
4 x horizontaal gestuurde boring -
4xØ315 HDPE SDR11
Boorgat: 1.32xD(HDD)
5.00
6.00

Principe doorsnede schaal 1:20


Boerenweg
Watergang
15.05
15.01
Rv=250
25.04
Uittredepunt HDD
Uittredehoek 15°
0.00 NAP
64.70
24.19
303.05
315.71
318.53
320.13
326.86
330.70
339.81
354.23
372.55
386.16
395.40
402.19
419.59
3.47
1.21
1.19
0.94
1.19
1.16
1.16
1.16
1.17
1.14
1.15
-13.83
-5.31
1.15


Boerenweg
Verharding parallel aan Oude Rijksweg
Oude Rijksweg (N289
projectlocatie
Spoorlijn Roosendaal - Vlissingen
A58 - Zeelandweg
A58 - Zeelandweg

Overzicht schaal 1:1000

Legenda

—K—K—K—	Kadastrale grens	🟩	Leidingstrook LSNed
— - — - —	Leiding gevaarlijke inhoud	▨	Verharding/wegen
—D—D—D—	Datatransport	●16	Locatie sondering met nummer
—H—H—	Landelijk hoogspanningsnet		
—L—L—	Laagspanning		
—M—M—	Middenspanning		
—H—H—	Gasleiding hoge druk		
—L—L—	Gasleiding lage druk		
—∽—∽—	Waterleiding		
—P—P—	Drukriolering		
— — · — —	Riolering vrijverval		
——— ———	Horizontaal gestuurde boring (HDD)		
———	Verharding (asfalt)		
———	Bestaande topo		
———	Bebouwing		
———	Primaire waterkering		
22/10 22/9	Ondergrond KS-bladen van ProRail versie d.d. 28-08-2022		

Vergunningstekening

Rev	Omschrijving	Datum rev.	Get.	Gec.	Goedg.
D	Vergunningstekening definitief	02-06-2023	BB	MJ	JD
C	Aanpassingen schalen	13-02-2023	BB	MJ	JD
B	Toevoegen KD-blad	26-08-2022	BB	MJ	JD
A	T.b.v. vergunningsaanvraag	20-04-2022	BB	MJ	JD

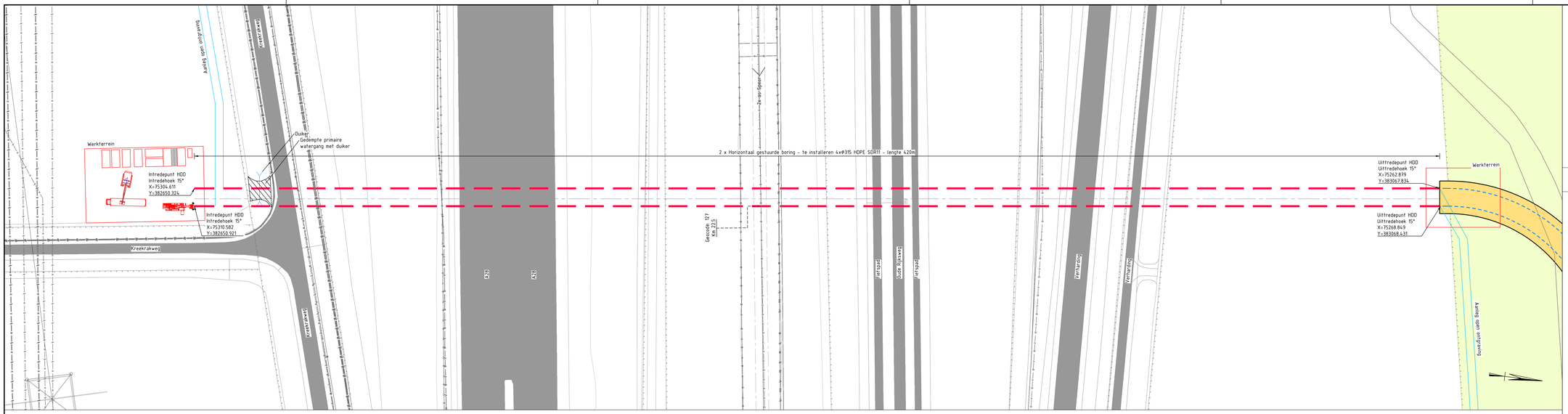
Opdrachtgever
TenneT TSO B.V.
Project
HDD's 150 kV ZWO
Onderdeel
VKDP-HDD2, Rilland-Volkerdorp-Markiezaat
Kruising HDD met spoorlijn Roosendaal - Vlissingen; Geocode 127 - 22.5km

Projectnummer	Tekeningnummer	Versie	Datum van uitgave	Ontwerpfase	Contractnummer
368722	VKDP HDD2-ProRail	D	02-06-2023	Definitief ontwerp	

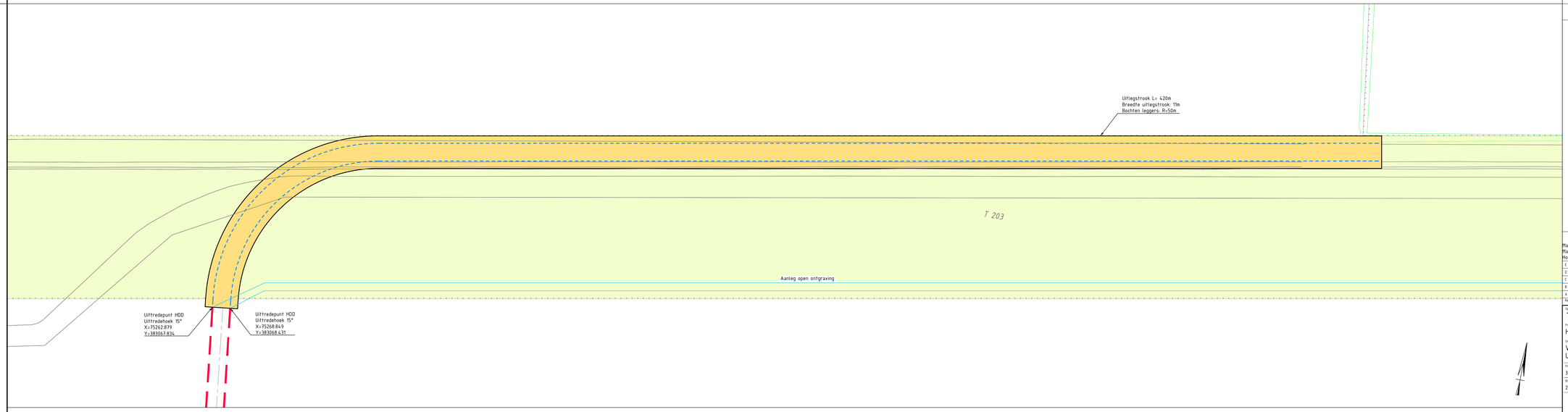
Blad	Van	Schaal	Formaat	Kantoor	Get.	Gec.	Goedg.
1	1	Zie tekening	A0L (4830x841)	de Bilt	BB	MJ	JD

www.sweco.nl
© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden

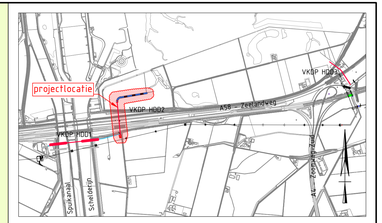
VKDP HDD2-ProRail



Bovenaanzicht schaal 1:500



Bovenaanzicht uitlegstrook schaal 1:500



Overzicht
Schaal n.v.t.

Legenda

- Kadastrale grens
- Leiding gevaarlijke inhoud
- Datatransport
- Landelijk hoogspanningsnet
- Laagspanning
- Middenspanning
- Gasleiding hoge druk
- Gasleiding lage druk
- Waterleiding
- Drukriolering
- Riolering vrijverval
- Horizontaal gestuurde boring (HDD)
- Verharding (asfalt)
- Bestaande topo
- Bebouwing
- Primaire waterkering
- Uitlegstrook
- Leidingstrook LSNed
- Verharding/wegen
- 16 Locatie sondering met nummer

Maten in meters, tenzij anders aangegeven
Materialen in millimeters
Hoogtematen in meters t.o.v. N.A.P.

Definitief

E	T.b.v. vergunningsaanvraag	17-03-2022	JPR	MJ	JD
D	Definitief ontwerp	19-08-2020	BB	MJ	JD
C	Definitief gemaakt	03-07-2020	BB	MJ	JD
B	Variant 2	05-06-2020	BB	MJ	JD
A	Voorlopig ontwerp	07-05-2020	BB	MJ	JD
Rev.	Omschrijving	Datum rev.	Get.	Gec.	Goedkj.

Opdrachtgever
TenneT TSO B.V.

Project
HDD's 150 kV ZWO

Onderwerp
VKDP-HDD2, Rilland-Volckerdorp-Markiezaat
Uitlegstrook

Projectnummer	Tekeningnummer	Versie	Datum van uitgave	Ontwerpfase	Contractnummer
368722	VKDP-HDD2-U	E	17-03-2022	Definitief	

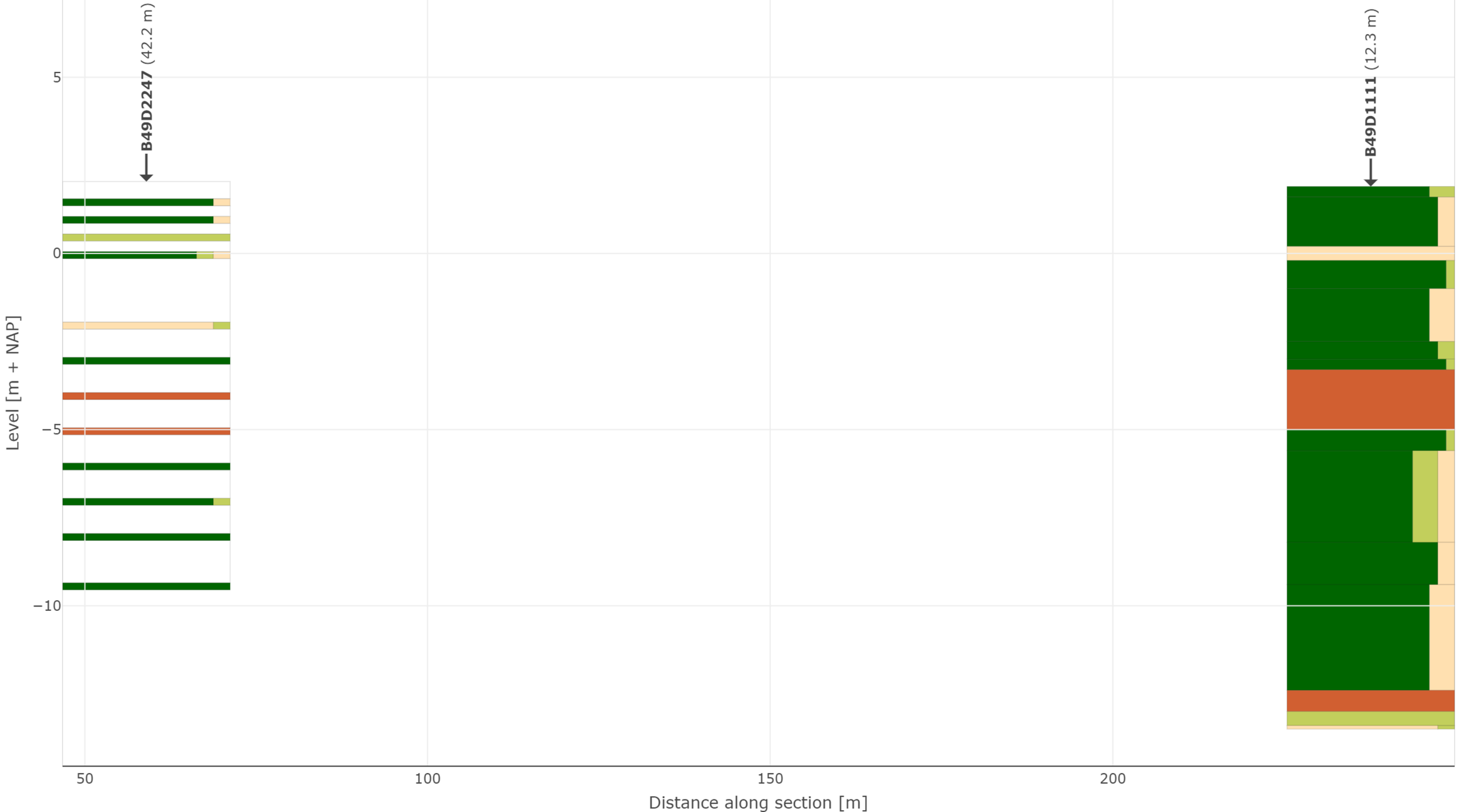
Blad	Van	Schaal	Formaat	Kantoor	Get.	Gec.	Goedkj.
2	2	1:500	A1 L (1260x594)	De Bilt	BB	MJ	JD

www.sweco.nl
© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden

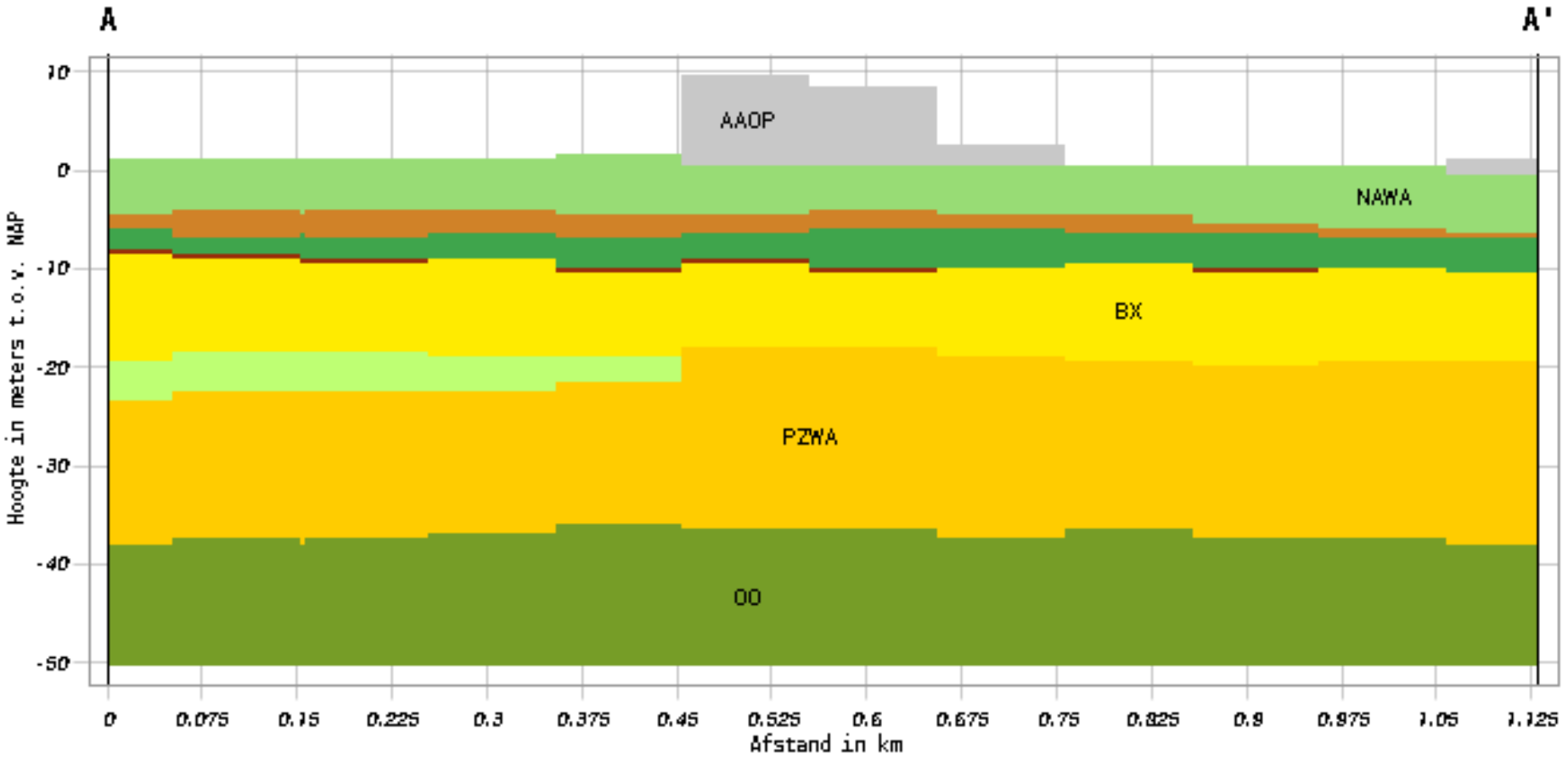
SWECO

VKDP-HDD2

Bijlage 2 – Geotechnisch onderzoek

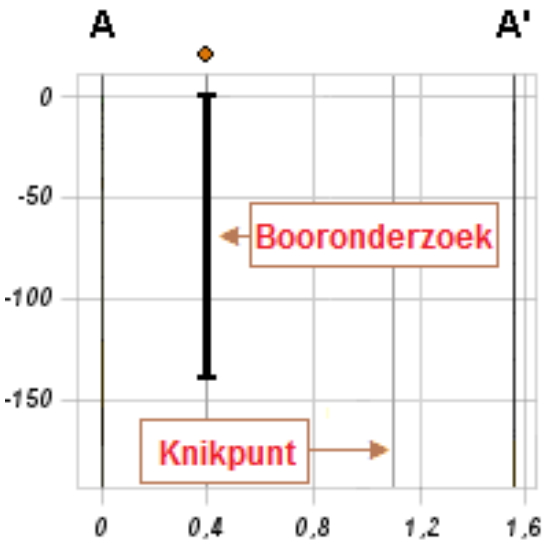

B49D2247 (42.2 m)
B49D1111 (12.3 m)
5
0
−5
−10
Level [m + NAP]
50
100
150
200
Distance along section [m]

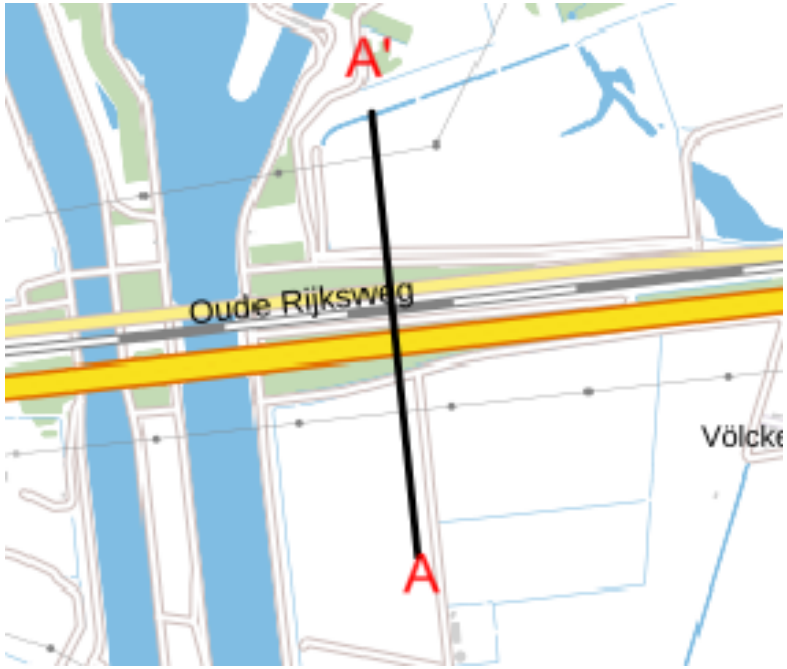
Verticale Doorsnede BRO GeoTOP v1.4



Geologische eenheid

- NWNZ
- AAOP
- NAWA
- NIHO
- NIBA
- BX
- EE
- PZWA
- OO





Find address or place

N659
N289
A58
Oude Rijksweg
Westelijke Scheldedijnweg
Oostelijke Scheldedijnweg
Kreekrakweg
Vierlingweg
Het Rak
Völckerdorp
Waling Koningweg
Westelijke Spuikanaalweg
Nieuwe Kreekrakweg
Sophiaweg

M303.S02
M303.S05
M303.S06
M303.S07
303B.S03
303B.S05
303C.S03
303C.S04
1105.S05
1105.S03
1106.S04
1106.S02
1N.S02
1N.S05
1N.S06
1N.S07
2N.S01
2N.S05
2N.S06
2N.S02
2N.S07
3N.S06
3N.S05
107.S02
107.S03
1108.S05
1108.S06
1108.S02
1108.S04
1108.S07
4N.S02

200m
75,208.139 382,436.893 Meters

Esri Nederland, Community Map Contributors

borehole not shown on sectionplot section

Bijlage 3 – Berekening D-Geo Pipeline

Report for D-Geo Pipeline 20.1

Model : Horizontal Directional Drilling
Developed by Deltares

Date of report:	21-3-2022
Time of report:	17:04:54
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 Pl-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 7
3.8.1 Geometry Section, Detailed 7
3.8.2 Geometry Top View 7
3.9 Calculation Verticals 8
3.10 Traffic Load 9
3.11 Configuration of the Pipeline 9
3.12 Product Pipe Material Data 10
3.13 Pipe Engineering Data 11
3.14 Drilling Fluid Data 11
3.15 Factors 11
3.16 Calculation Options 12
4 Drilling Fluid Pressures 13
4.1 Drilling Fluid Data 13
4.2 Equilibrium between Drilling Fluid Pressure and Pore Pressure 17
4.3 Drilling Fluid Pressure Plots 19
4.3.1 Drilling Fluid Pressures during Pilot 19
4.3.2 Drilling Fluid Pressures during Prereaming 19
4.3.3 Drilling Fluid Pressures during Reaming and Pullback Operation 20
5 Soil Mechanical Data 21
5.1 Soil Mechanical Parameters Pipe 1: pipe nr. 1 21
5.2 Soil Mechanical Parameters Pipe 2: pipe nr. 2 24
5.3 Soil Mechanical Parameters Pipe 3: pipe nr. 3 27
5.4 Soil Mechanical Parameters Pipe 4: pipe nr. 4 30
5.5 Young's Modulus per Layer per Vertical 33
6 Data for Stress Analysis 38
6.1 General Data 38
6.2 Buoyancy Control 38
6.3 Calculation Pulling Force 38
7 Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1 40
7.1 Material Data of Pipe 1: pipe nr. 1 40
7.2 Results Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1 40
7.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation 40
7.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation 41
7.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure 41
7.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure) 41
7.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure) 41
7.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 1: pipe nr. 1 42
7.4 Check for Implosion of Pipe 1: pipe nr. 1 42
8 Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2 43
8.1 Material Data of Pipe 2: pipe nr. 2 43
8.2 Results Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2 43
8.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation 43
8.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation 44
8.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure 44
8.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure) 44
8.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure) 44
8.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 2: pipe nr. 2 45
8.4 Check for Implosion of Pipe 2: pipe nr. 2 45
9 Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3 47
9.1 Material Data of Pipe 3: pipe nr. 3 47
9.2 Results Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3 47
9.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation 47
9.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation 48

9.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure 48
9.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure) 48
9.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure) 48
9.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 3: pipe nr. 3 49
9.4 Check for Implosion of Pipe 3: pipe nr. 3 49
10 Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4 50
10.1 Material Data of Pipe 4: pipe nr. 4 50
10.2 Results Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4 50
10.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation 50
10.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation 51
10.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure 51
10.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure) 51
10.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure) 51
10.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 4: pipe nr. 4 52
10.4 Check for Implosion of Pipe 4: pipe nr. 4 52

2 Messages

2.1 Calculation Warnings

One or more layers above the border between the top undrained and underlying drained layers have a Su-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	18,820	25,880	28,290	33,520
5 - Z -	2,020	1,890	2,120	2,240	2,190
5 - L -	38,070	41,890	49,420	58,400	81,830
5 - Z -	2,210	2,060	2,390	2,870	9,320
5 - L -	89,420	105,590	121,510	133,970	149,530
5 - Z -	9,770	10,150	10,010	8,180	3,510
5 - L -	153,010	155,930	172,840	177,580	181,410
5 - Z -	3,130	3,050	8,380	8,380	10,100
5 - L -	185,440	188,460	192,700	195,340	197,770
5 - Z -	10,660	10,940	10,910	10,650	10,500
5 - L -	201,030	203,620	206,340	223,070	226,520
5 - Z -	9,130	8,310	7,220	9,610	9,850
5 - L -	228,630	231,550	238,920	241,850	243,950
5 - Z -	9,940	10,230	10,270	9,990	9,900
5 - L -	247,310	261,400	277,870	295,710	303,050
5 - Z -	9,680	4,660	2,860	3,440	3,470
5 - L -	315,710	318,530	320,130	326,860	339,810
5 - Z -	1,210	1,190	0,940	1,190	1,160
5 - L -	354,230	372,550	386,160	402,190	419,590
5 - Z -	1,160	1,160	1,170	1,140	1,150
5 - L -	420,000				
5 - Z -	1,150				
4 - L -	0,000	420,000			
4 - Z -	-3,500	-3,500			
3 - L -	0,000	420,000			
3 - Z -	-6,000	-6,000			
2 - L -	0,000	420,000			
2 - Z -	-11,000	-11,000			
1 - L -	0,000	420,000			
1 - Z -	-13,000	-13,000			
0 - L -	0,000	420,000			
0 - Z -	-30,000	-30,000			

3.3 Pl-lines

Pl-line number	Co-ordinates [m]				
1 - L -	0,000	420,000			
1 - Z -	0,000	0,000			

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	Zand, schoon, los	1	1
4	Veen, slap	1	1
3	Klei, organisch, slap	1	1
2	Veen, slap	1	1
1	Zand, schoon, los	1	1

3.6 Selected Boundaries

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

3.7 Soil Material Data

Name	Gamma-unsat			Gamma-sat		
	Single [kN/m³]	Low [kN/m³]	High [kN/m³]	Single [kN/m³]	Low [kN/m³]	High [kN/m³]
Klei, organisch, slap	-	13,00	15,00	-	13,00	15,00
Zand, schoon, los	-	17,00	18,00	-	19,00	20,00
Veen, slap	-	10,00	12,00	-	10,00	12,00

Name	Cohesion			Phi		
	Single [kN/m²]	Low [kN/m²]	High [kN/m²]	Single [deg]	Low [deg]	High [deg]
Klei, organisch, slap	-	0,00	5,00	-	15,00	17,50
Zand, schoon, los	-	0,00	0,00	-	30,00	32,50
Veen, slap	-	1,00	2,50	-	15,00	15,00

Name	Su-top			Su-bottom		
	Single [kN/m²]	Low [kN/m²]	High [kN/m²]	Single [kN/m²]	Low [kN/m²]	High [kN/m²]
Klei, organisch, slap	-	10,00	50,00	-	10,00	50,00
Zand, schoon, los	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00
Veen, slap	-	10,00	20,00	-	10,00	20,00

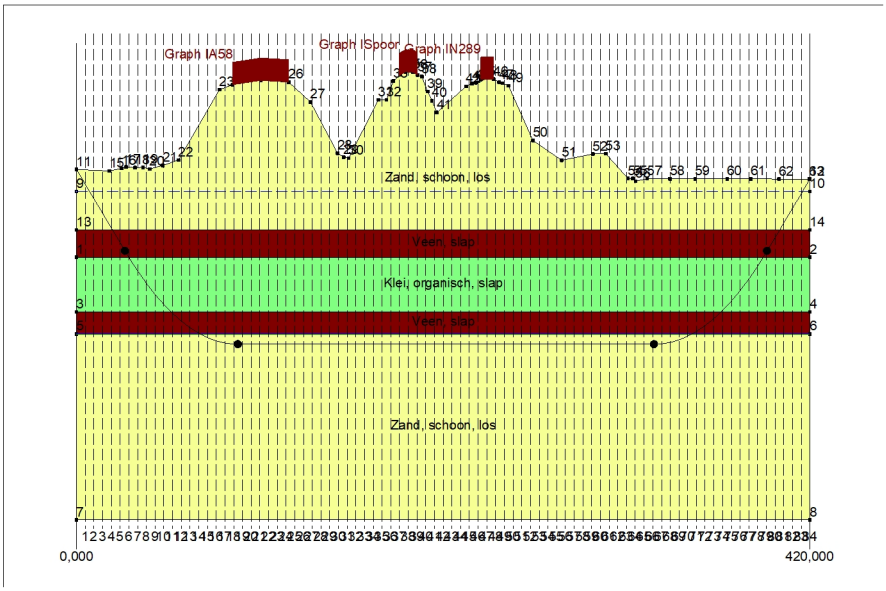
Name	Emod-top			Emod-bottom		
	Single [kN/m²]	Low [kN/m²]	High [kN/m²]	Single [kN/m²]	Low [kN/m²]	High [kN/m²]
Klei, organisch, slap	-	-	-	-	-	-
Zand, schoon, los	-	-	-	-	-	-
Veen, slap	-	-	-	-	-	-

Name	Soil type	Emod 100		
		Single [kN/m²]	Low [kN/m²]	High [kN/m²]
Klei, organisch, slap	Clay	-	2000,00	4000,00
Zand, schoon, los	Sand	-	45000,00	75000,00
Veen, slap	Peat	-	500,00	1000,00

Name	Adhesion A [kN/m²]	Delta D [deg]	Nu [-]
Klei, organisch, slap	-	-	0,20
Zand, schoon, los	-	-	0,30
Veen, slap	-	-	0,40

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	0,680
2	10,000	-0,659
3	15,000	-1,999
4	20,000	-3,339
5	25,000	-4,679
6	30,000	-6,008
7	35,000	-7,244
8	40,000	-8,372
9	45,000	-9,393
10	50,000	-10,309
11	55,000	-11,119
12	60,000	-11,827
13	65,000	-12,431
14	70,000	-12,934
15	75,000	-13,336
16	80,000	-13,637
17	85,000	-13,837
18	90,000	-13,937
19	95,000	-13,950
20	100,000	-13,950
21	105,000	-13,950
22	110,000	-13,950
23	115,000	-13,950
24	120,000	-13,950
25	125,000	-13,950
26	130,000	-13,950
27	135,000	-13,950
28	140,000	-13,950
29	145,000	-13,950
30	150,000	-13,950
31	155,000	-13,950
32	160,000	-13,950
33	165,000	-13,950
34	170,000	-13,950
35	175,000	-13,950
36	180,000	-13,950
37	185,000	-13,950
38	190,000	-13,950
39	195,000	-13,950
40	200,000	-13,950
41	205,000	-13,950
42	210,000	-13,950
43	215,000	-13,950
44	220,000	-13,950
45	225,000	-13,950
46	230,000	-13,950
47	235,000	-13,950
48	240,000	-13,950
49	245,000	-13,950
50	250,000	-13,950
51	255,000	-13,950
52	260,000	-13,950
53	265,000	-13,950
54	270,000	-13,950
55	275,000	-13,950
56	280,000	-13,950
57	285,000	-13,950
58	290,000	-13,950
59	295,000	-13,950
60	300,000	-13,950
61	305,000	-13,950
62	310,000	-13,950

Vertical no.	L-coord. [m]	Z-coord. [m]
63	315,000	-13,950
64	320,000	-13,950
65	325,000	-13,950
66	330,000	-13,950
67	335,000	-13,914
68	340,000	-13,778
69	345,000	-13,543
70	350,000	-13,206
71	355,000	-12,769
72	360,000	-12,231
73	365,000	-11,590
74	370,000	-10,847
75	375,000	-10,000
76	380,000	-9,047
77	385,000	-7,989
78	390,000	-6,823
79	395,000	-5,548
80	400,000	-4,209
81	405,000	-2,869
82	410,000	-1,529
83	415,000	-0,190
84	420,000	1,150

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

A58		
L start	89,42	[m]
L end	121,51	[m]
Load model (graph type)	Graph I	
Spoor		
L start	185,00	[m]
L end	195,00	[m]
Load model (graph type)	Graph I	
N289		
L start	231,50	[m]
L end	238,92	[m]
Load model (graph type)	Graph I	

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	2,020	[m]
X co-ordinate right point	420,000	[m]
Y co-ordinate right point	0,000	[m]
Z co-ordinate right point	1,150	[m]
Angle left	15,0000	[deg]
Angle right	15,0000	[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)	-13,950	[m]
Angle of pipe (between radii)	0,0000	[deg]
Number of horizontal bends	0	

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

3.12 Product Pipe Material Data

Input data pipe nr. 1		
Material	Polyethene	
Quality	PE100	
Young's modulus (short)	975,00	[N/mm²]
Young's modulus (long)	350,00	[N/mm²]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm²]
Allowable strength (long)	8,00	[N/mm²]
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/m³]
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/mm²]
Young's modulus (long)	350,00	[N/mm²]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm²]
Allowable strength (long)	8,00	[N/mm²]
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/m³]
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/mm²]
Young's modulus (long)	350,00	[N/mm²]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm²]
Allowable strength (long)	8,00	[N/mm²]
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/m³]
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/mm²]
Young's modulus (long)	350,00	[N/mm²]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm²]
Allowable strength (long)	8,00	[N/mm²]
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/m³]
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/m³]
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/m³]
Phi drilling fluid	15,00	[deg]
Cohesion drilling fluid	5,00	[kN/m²]
Factor of friction pipe-roller (f1)	0,10	[-]
Friction pipe-drilling fluid (f2)	0,000050	[N/mm²]
Factor of friction pipe-soil (f3)	0,20	[-]

3.14 Drilling Fluid Data

Outer diameter pilot hole	0,350	[m]
Outer diameter pilot pipe	0,127	[m]
Outer diameter preream hole	0,500	[m]
Outer diameter drillpipe	0,127	[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	500,0000	[liter/minute]
Pump flow rate ream and pull-back	500,0000	[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)	11,5	[kN/m³]
Yieldpoint drilling fluid (Tau)	0,014	[kN/m²]
Plastic viscosity drilling fluid (Mu)	0,000040	[kN.s/m²]

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/m³]
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/m²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	0	0	17	120
2	0	7	34	134
3	0	20	50	148
4	0	33	67	162
5	121	121	84	176
6	133	133	101	189
7	151	151	116	202
8	164	164	131	214
9	177	177	144	224
10	190	190	156	233
11	202	202	167	241
12	212	212	176	248
13	232	232	184	254
14	252	252	192	258
15	304	304	198	261
16	430	430	202	263
17	511	511	206	264
18	549	549	209	264
19	557	557	210	263
20	560	560	211	261
21	564	564	213	260
22	563	563	214	259
23	562	562	216	257
24	560	560	217	256
25	544	544	218	255
26	521	521	220	253
27	492	492	221	252
28	445	445	222	251
29	397	397	224	249
30	353	353	225	248
31	340	340	226	246
32	380	380	228	245
33	430	430	229	244
34	480	480	231	242
35	508	508	232	241
36	543	543	233	240
37	579	579	235	238
38	589	589	236	237
39	581	581	237	236
40	546	546	239	234
41	489	489	240	233
42	488	488	241	231
43	511	511	243	230
44	533	533	244	229
45	552	552	246	227
46	562	562	247	226
47	568	568	248	225
48	565	565	250	223
49	554	554	251	222
50	519	519	252	220
51	463	463	254	219
52	406	406	255	218
53	378	378	256	216
54	361	361	258	215
55	343	343	259	214
56	336	336	261	212
57	341	341	262	211

Vertical no.	Drilling fluid pressures pilot [kN/m²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
58	346	346	263	210
59	351	351	265	208
60	352	352	266	207
61	342	342	267	205
62	314	314	269	204
63	285	285	270	203
64	273	273	271	201
65	278	278	273	200
66	280	280	274	199
67	276	276	275	197
68	259	259	275	194
69	229	229	274	190
70	194	194	271	185
71	195	195	267	178
72	190	190	263	171
73	185	185	257	162
74	182	182	249	152
75	172	172	241	141
76	161	161	232	129
77	148	148	221	115
78	134	134	209	100
79	117	117	196	84
80	105	105	182	67
81	0	29	168	50
82	0	15	154	34
83	0	2	140	17
84	0	0	126	0

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	0	0	16	17
2	0	7	32	34
3	0	20	49	50
4	0	33	65	67
5	121	121	81	84
6	135	135	97	101
7	151	151	112	116
8	164	164	126	131
9	177	177	139	144
10	190	190	150	156
11	202	202	160	167
12	213	213	169	176
13	233	233	177	184
14	253	253	183	192
15	271	271	189	198
16	371	371	193	202
17	436	436	196	206
18	467	467	198	209
19	473	473	199	210
20	476	476	200	211
21	479	479	200	213
22	479	479	201	214
23	478	478	202	216
24	477	477	203	217
25	463	463	204	218
26	445	445	204	219
27	422	422	205	219
28	384	384	206	218
29	346	346	207	217
30	310	310	207	216
31	300	300	208	216
32	332	332	209	215
33	372	372	210	214

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
34	412	412	211	213
35	435	435	211	212
36	462	462	212	212
37	491	491	213	211
38	499	499	214	210
39	493	493	215	209
40	465	465	215	208
41	419	419	216	208
42	419	419	217	207
43	437	437	218	206
44	455	455	218	205
45	469	469	219	205
46	478	478	220	204
47	482	482	221	203
48	480	480	222	202
49	472	472	222	201
50	443	443	220	201
51	398	398	219	200
52	353	353	218	199
53	330	330	216	198
54	317	317	215	197
55	303	303	214	197
56	296	296	212	196
57	301	301	211	195
58	305	305	210	194
59	309	309	208	194
60	310	310	207	193
61	301	301	205	192
62	279	279	204	191
63	256	256	203	190
64	246	246	201	190
65	250	250	200	189
66	252	252	199	188
67	248	248	197	187
68	234	234	194	184
69	210	210	190	181
70	194	194	185	176
71	195	195	178	171
72	191	191	171	164
73	186	186	162	155
74	182	182	152	146
75	172	172	141	136
76	161	161	129	124
77	148	148	115	111
78	134	134	100	97
79	118	118	84	81
80	103	103	67	65
81	0	29	50	49
82	0	15	34	32
83	0	2	17	16
84	0	0	0	0

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	0	0	16	16
2	0	7	32	32
3	0	20	49	49
4	0	33	65	65
5	113	113	81	81
6	136	136	97	97
7	151	151	112	112
8	164	164	126	126
9	177	177	138	139

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
10	191	191	150	150
11	203	203	160	160
12	215	215	169	169
13	235	235	177	177
14	255	255	183	183
15	251	251	189	189
16	291	291	193	193
17	331	331	196	196
18	351	351	198	198
19	355	355	199	199
20	357	357	200	200
21	359	359	200	200
22	359	359	201	201
23	358	358	202	202
24	357	357	203	203
25	349	349	203	204
26	337	337	204	204
27	322	322	205	205
28	297	297	206	206
29	273	273	207	207
30	249	249	207	207
31	243	243	208	208
32	264	264	209	209
33	290	290	210	210
34	316	316	210	211
35	330	330	211	211
36	348	348	212	211
37	367	367	211	211
38	372	372	210	210
39	368	368	209	209
40	350	350	208	208
41	320	320	208	207
42	320	320	207	207
43	332	332	206	206
44	343	343	205	205
45	353	353	205	204
46	358	358	204	204
47	361	361	203	203
48	360	360	202	202
49	354	354	201	201
50	336	336	201	200
51	307	307	200	200
52	277	277	199	199
53	263	263	198	198
54	254	254	197	197
55	245	245	197	197
56	241	241	196	196
57	243	243	195	195
58	246	246	194	194
59	249	249	194	193
60	249	249	193	193
61	244	244	192	192
62	229	229	191	191
63	215	215	190	190
64	208	208	190	189
65	211	211	189	189
66	212	212	188	188
67	209	209	187	187
68	205	205	184	184
69	203	203	181	181
70	194	194	176	176
71	198	198	171	170
72	193	193	164	163
73	189	189	155	155

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
74	182	182	146	146
75	172	172	136	135
76	161	161	124	124
77	149	149	111	111
78	134	134	97	97
79	116	116	81	81
80	86	86	65	65
81	0	29	49	49
82	0	15	32	32
83	0	2	16	16
84	0	0	0	0

4.2 Equilibrium between Drilling Fluid Pressure and Pore Pressure

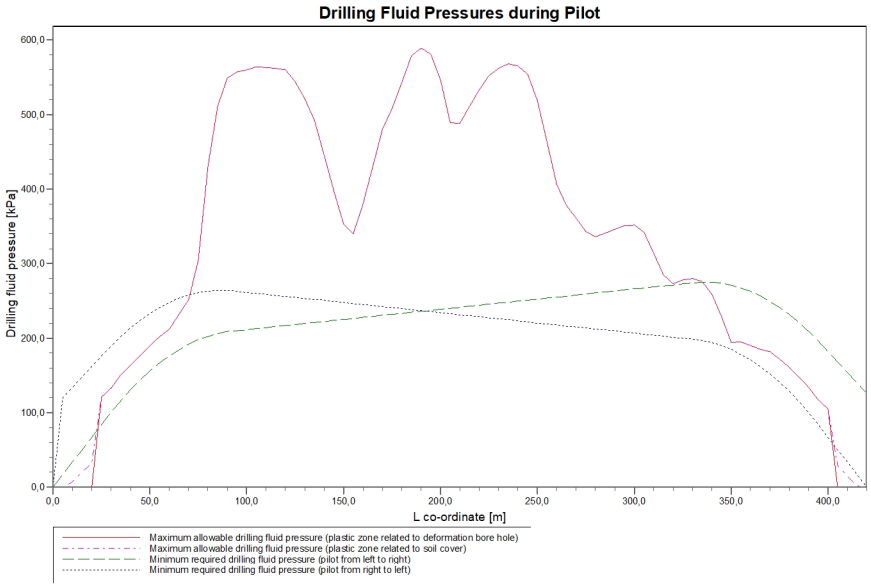
Vertical no.	Static column pressure			
	Drilling fluid [kN/m²]	Water [kN/m²]	Safety [-]	Result
1	15	0	-	sufficient
2	31	7	4,67	sufficient
3	46	20	2,31	sufficient
4	62	33	1,85	sufficient
5	77	47	1,65	sufficient
6	92	60	1,54	sufficient
7	106	72	1,47	sufficient
8	119	84	1,42	sufficient
9	131	94	1,39	sufficient
10	141	103	1,37	sufficient
11	150	111	1,35	sufficient
12	158	118	1,34	sufficient
13	165	124	1,33	sufficient
14	171	129	1,32	sufficient
15	175	133	1,31	sufficient
16	179	136	1,31	sufficient
17	181	138	1,31	sufficient
18	182	139	1,30	sufficient
19	182	140	1,30	sufficient
20	182	140	1,30	sufficient
21	182	140	1,30	sufficient
22	181	140	1,30	sufficient
23	181	140	1,30	sufficient
24	181	140	1,30	sufficient
25	181	140	1,30	sufficient
26	181	140	1,30	sufficient
27	181	140	1,30	sufficient
28	181	140	1,29	sufficient
29	180	140	1,29	sufficient
30	180	140	1,29	sufficient
31	180	140	1,29	sufficient
32	180	140	1,29	sufficient
33	180	140	1,29	sufficient
34	180	140	1,29	sufficient
35	180	140	1,29	sufficient
36	180	140	1,29	sufficient
37	179	140	1,29	sufficient
38	179	140	1,28	sufficient
39	179	140	1,28	sufficient
40	179	140	1,28	sufficient
41	179	140	1,28	sufficient
42	179	140	1,28	sufficient
43	179	140	1,28	sufficient
44	178	140	1,28	sufficient
45	178	140	1,28	sufficient
46	178	140	1,28	sufficient
47	178	140	1,28	sufficient

Vertical no.	Static column pressure			
	Drilling fluid [kN/m²]	Water [kN/m²]	Safety [-]	Result
48	178	140	1,28	sufficient
49	178	140	1,27	sufficient
50	178	140	1,27	sufficient
51	177	140	1,27	sufficient
52	177	140	1,27	sufficient
53	177	140	1,27	sufficient
54	177	140	1,27	sufficient
55	177	140	1,27	sufficient
56	177	140	1,27	sufficient
57	177	140	1,27	sufficient
58	177	140	1,27	sufficient
59	176	140	1,26	sufficient
60	176	140	1,26	sufficient
61	176	140	1,26	sufficient
62	176	140	1,26	sufficient
63	176	140	1,26	sufficient
64	176	140	1,26	sufficient
65	176	140	1,26	sufficient
66	175	140	1,26	sufficient
67	175	139	1,26	sufficient
68	173	138	1,26	sufficient
69	170	135	1,26	sufficient
70	166	132	1,26	sufficient
71	161	128	1,26	sufficient
72	155	122	1,27	sufficient
73	147	116	1,27	sufficient
74	139	108	1,28	sufficient
75	129	100	1,29	sufficient
76	118	90	1,30	sufficient
77	105	80	1,32	sufficient
78	92	68	1,35	sufficient
79	77	55	1,39	sufficient
80	62	42	1,46	sufficient
81	46	29	1,61	sufficient
82	31	15	2,01	sufficient
83	15	2	8,12	sufficient
84	0	0	-	sufficient

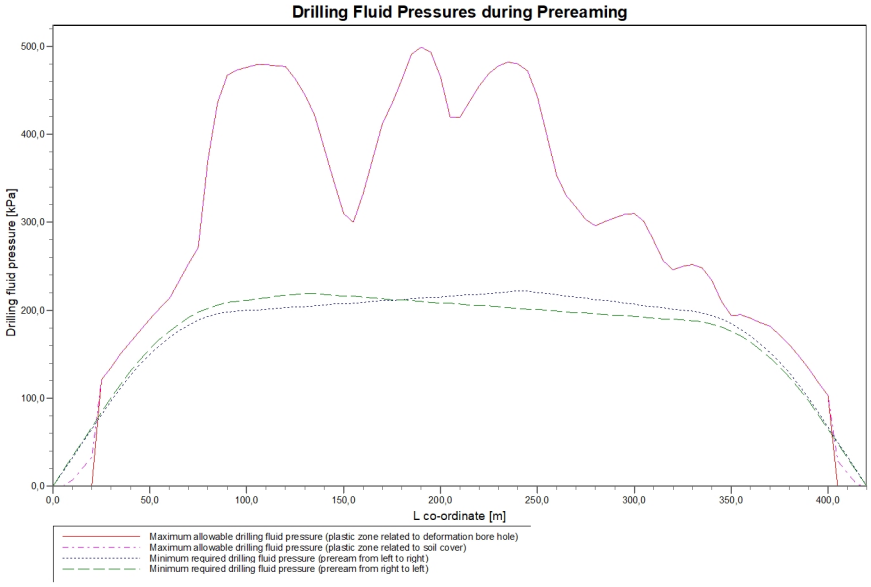
The static drilling fluid pressure is calculated and can be compared with the calculated groundwater pressure. The quotient of the drilling fluid pressure and the groundwater pressure yields the safey factor, which should be higher than the requested factor of safety of 1,10.

4.3 Drilling Fluid Pressure Plots

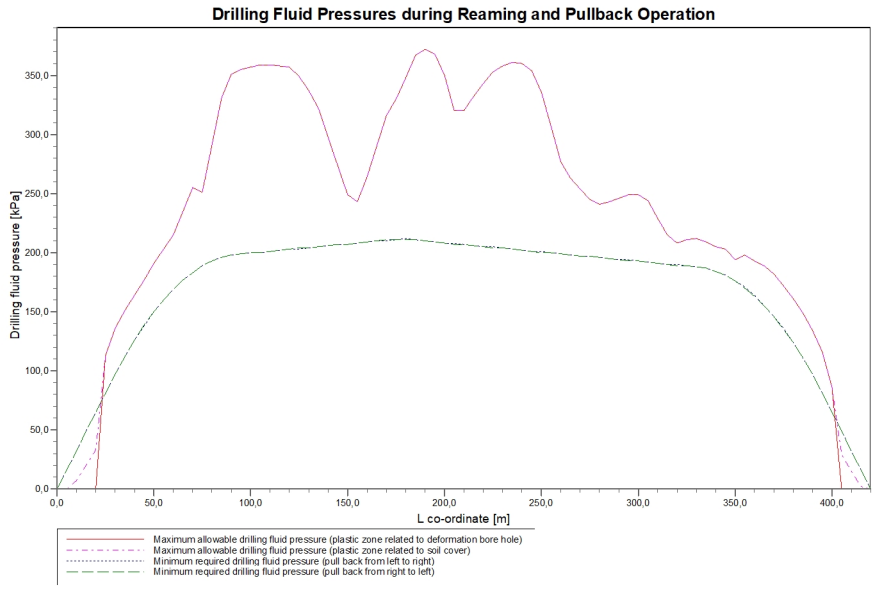
4.3.1 Drilling Fluid Pressures during Pilot



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/m²
q_v;n	Neutral soil stress	kN/m²
q_h;n	Neutral horizontal soil stress	kN/m²
q_v,r;n	Reduced neutral soil stress	kN/m²
q_traffic	Traffic load	kN/m²
q_v;e	Vertical bearing capacity	kN/m²
q_h;e	Horizontal bearing capacity	kN/m²
k_v;bot	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m³
k_v;top	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m³
k_h	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m³
t_max	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m²
d_max	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
1	44	21	16	21	0	767
2	135	40	30	40	0	1421
3	243	53	39	53	0	1874
4	392	67	35	48	0	420
5	154	75	37	50	0	459
6	259	80	38	51	0	677
7	275	85	38	52	0	716
8	288	90	38	51	0	749
9	305	96	38	52	0	795
10	329	104	39	53	0	857
11	225	113	40	54	0	677
12	249	126	42	56	0	748
13	296	152	46	62	0	894
14	343	178	50	67	0	6262
15	2030	205	54	73	0	7220
16	2258	233	59	79	0	8195
17	2374	247	61	82	0	8703
18	2422	253	62	83	2	8913
19	2440	255	62	84	2	8991
20	2457	258	63	84	2	9066
21	2474	260	63	85	2	9140
22	2470	259	63	85	2	9124
23	2464	258	63	85	2	9096
24	2457	258	63	85	2	9069
25	2382	248	61	82	0	8736
26	2276	235	59	79	0	8272
27	2145	219	56	75	0	7708
28	1922	192	51	69	0	6760
29	1692	165	46	62	0	5812
30	1471	140	40	54	0	4920
31	1409	133	39	52	0	4678
32	1609	155	44	59	0	5472
33	1852	184	49	67	0	6468
34	2088	212	55	74	0	7464
35	2220	228	57	78	0	8030
36	2378	248	61	82	0	8717
37	2539	268	64	87	2	9432
38	2586	274	65	88	2	9641
39	2551	270	65	87	2	9486
40	2391	249	61	83	0	8777
41	2129	217	55	75	0	7636
42	2126	217	55	75	0	7627
43	2231	229	58	78	0	8079

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
44	2335	242	60	81	0	8530
45	2418	253	62	83	0	8892
46	2465	259	63	85	0	9102
47	2490	262	63	85	2	9211
48	2478	260	63	85	0	9159
49	2430	254	62	84	0	8947
50	2270	234	59	79	0	8246
51	2007	202	53	71	0	7120
52	1737	170	47	63	0	5994
53	1598	154	43	59	0	5431
54	1512	144	41	56	0	5085
55	1425	134	39	53	0	4740
56	1386	130	38	52	0	4586
57	1412	133	39	52	0	4689
58	1438	136	40	53	0	4791
59	1464	139	40	54	0	4894
60	1470	140	40	54	0	4920
61	1417	133	39	53	0	4708
62	1271	117	35	48	0	4144
63	1123	101	31	42	0	3580
64	1059	95	29	40	0	3343
65	1086	97	30	41	0	3444
66	1097	99	30	41	0	3483
67	1091	98	30	41	0	3463
68	1076	96	30	41	0	3409
69	1054	94	30	41	0	3326
70	1021	91	30	41	0	3208
71	181	89	31	41	0	2545
72	179	88	31	42	0	536
73	176	87	32	43	0	529
74	273	84	32	44	0	516
75	262	80	33	44	0	682
76	249	76	32	44	0	647
77	234	70	32	43	0	609
78	217	64	31	42	0	565
79	125	60	31	41	0	404
80	120	57	30	41	0	358
81	224	48	36	48	0	1693
82	117	35	26	35	0	1222
83	45	21	16	21	0	747
84	0	0	0	0	0	58

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
1	252	54511	2883	38158	0,05	7,5
2	310	119911	83835	83938	0,05	7,5
3	489	114335	111654	80035	0,05	7,5
4	670	1544	129412	1081	0,05	7,5
5	154	2465	48868	1725	0,05	7,5
6	259	5761	1399	4033	0,05	7,5
7	275	6094	4344	4266	0,05	7,5
8	288	6356	5806	4450	0,05	7,5
9	305	6316	6169	4421	0,05	7,5
10	329	3684	6667	2579	0,05	7,5
11	225	1954	7174	1368	0,05	7,5
12	249	70063	5497	49044	0,05	7,5
13	296	165445	3829	115811	0,05	7,5
14	343	246379	2807	172465	0,05	7,5
15	2030	266773	28906	186741	0,05	7,5
16	2258	285338	81973	199737	0,05	7,5
17	2374	294625	120817	206238	0,05	7,5
18	2422	298390	140825	208873	0,05	7,5
19	2440	299795	143860	209857	0,05	7,5
20	2457	301116	144536	210781	0,05	7,5
21	2474	302432	145209	211703	0,05	7,5

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
22	2470	302154	145066	211508	0,05	7,5
23	2464	301661	144814	211163	0,05	7,5
24	2457	301168	144562	210818	0,05	7,5
25	2382	295221	141520	206655	0,05	7,5
26	2276	286752	137184	200727	0,05	7,5
27	2145	276187	131767	193331	0,05	7,5
28	1922	257647	122240	180353	0,05	7,5
29	1692	237975	112092	166583	0,05	7,5
30	1471	218212	101844	152749	0,05	7,5
31	1409	212593	98919	148815	0,05	7,5
32	1609	230617	108284	161432	0,05	7,5
33	1852	251730	119193	176211	0,05	7,5
34	2088	271514	129369	190060	0,05	7,5
35	2220	282254	134879	197578	0,05	7,5
36	2378	294872	141341	206410	0,05	7,5
37	2539	307573	147836	215301	0,05	7,5
38	2586	311200	149689	217840	0,05	7,5
39	2551	308505	148313	215954	0,05	7,5
40	2391	295966	141901	207176	0,05	7,5
41	2129	274815	131063	192370	0,05	7,5
42	2126	274644	130976	192251	0,05	7,5
43	2231	283165	135346	198215	0,05	7,5
44	2335	291486	139608	204040	0,05	7,5
45	2418	298024	142954	208617	0,05	7,5
46	2465	301760	144865	211232	0,05	7,5
47	2490	303690	145851	212583	0,05	7,5
48	2478	302775	145384	211943	0,05	7,5
49	2430	299007	143457	209305	0,05	7,5
50	2270	286268	136936	200388	0,05	7,5
51	2007	264811	125925	185367	0,05	7,5
52	1737	241866	114103	169306	0,05	7,5
53	1598	229695	107806	160787	0,05	7,5
54	1512	221980	103803	155386	0,05	7,5
55	1425	214044	99675	149831	0,05	7,5
56	1386	210417	97784	147292	0,05	7,5
57	1412	212835	99045	148984	0,05	7,5
58	1438	215231	100293	150662	0,05	7,5
59	1464	217606	101529	152324	0,05	7,5
60	1470	218196	101836	152737	0,05	7,5
61	1417	213280	99277	149296	0,05	7,5
62	1271	199742	92202	139819	0,05	7,5
63	1123	185422	84670	129796	0,05	7,5
64	1059	179110	81330	125377	0,05	7,5
65	1086	181825	82768	127277	0,05	7,5
66	1097	182861	83316	128003	0,05	7,5
67	1091	182328	79195	127630	0,05	7,5
68	1076	180876	64302	126613	0,05	7,5
69	1054	178656	39158	125059	0,05	7,5
70	1021	175451	5791	122816	0,05	7,5
71	181	163462	1541	114424	0,05	7,5
72	179	102131	2922	71492	0,05	7,5
73	176	32695	4551	22887	0,05	7,5
74	273	1540	5502	1078	0,05	7,5
75	262	3807	5252	2665	0,05	7,5
76	249	5534	4972	3874	0,05	7,5
77	234	5224	4656	3657	0,05	7,5
78	217	4868	2557	3408	0,05	7,5
79	125	3901	1084	2731	0,05	7,5
80	120	1099	76724	769	0,05	7,5
81	450	35737	104152	25016	0,05	7,5
82	271	112081	80834	78457	0,05	7,5
83	244	49922	3027	34945	0,05	7,5
84	0	0	0	0	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q_v;n;max = 274 kN/m²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q_traffic;max = 90 kN/m²
Maximum reduced soil stress	:	q_v;r;n;max = 88 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k_v;max = 311200 kN/m³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k_v;max = 622399 kN/m³

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/m²
q_v;n	Neutral soil stress	kN/m²
q_h;n	Neutral horizontal soil stress	kN/m²
q_v,r;n	Reduced neutral soil stress	kN/m²
q_traffic	Traffic load	kN/m²
q_v;e	Vertical bearing capacity	kN/m²
q_h;e	Horizontal bearing capacity	kN/m²
k_v;bot	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m³
k_v;top	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m³
k_h	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m³
t_max	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m²
d_max	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
1	44	21	16	21	0	767
2	135	40	30	40	0	1421
3	243	53	39	53	0	1874
4	392	67	35	48	0	420
5	154	75	37	50	0	459
6	259	80	38	51	0	677
7	275	85	38	52	0	716
8	288	90	38	51	0	749
9	305	96	38	52	0	795
10	329	104	39	53	0	857
11	225	113	40	54	0	677
12	249	126	42	56	0	748
13	296	152	46	62	0	894
14	343	178	50	67	0	6262
15	2030	205	54	73	0	7220
16	2258	233	59	79	0	8195
17	2374	247	61	82	0	8703
18	2422	253	62	83	2	8913
19	2440	255	62	84	2	8991
20	2457	258	63	84	2	9066
21	2474	260	63	85	2	9140
22	2470	259	63	85	2	9124
23	2464	258	63	85	2	9096
24	2457	258	63	85	2	9069
25	2382	248	61	82	0	8736
26	2276	235	59	79	0	8272
27	2145	219	56	75	0	7708
28	1922	192	51	69	0	6760
29	1692	165	46	62	0	5812
30	1471	140	40	54	0	4920
31	1409	133	39	52	0	4678
32	1609	155	44	59	0	5472
33	1852	184	49	67	0	6468
34	2088	212	55	74	0	7464
35	2220	228	57	78	0	8030
36	2378	248	61	82	0	8717
37	2539	268	64	87	2	9432

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
38	2586	274	65	88	2	9641
39	2551	270	65	87	2	9486
40	2391	249	61	83	0	8777
41	2129	217	55	75	0	7636
42	2126	217	55	75	0	7627
43	2231	229	58	78	0	8079
44	2335	242	60	81	0	8530
45	2418	253	62	83	0	8892
46	2465	259	63	85	0	9102
47	2490	262	63	85	2	9211
48	2478	260	63	85	0	9159
49	2430	254	62	84	0	8947
50	2270	234	59	79	0	8246
51	2007	202	53	71	0	7120
52	1737	170	47	63	0	5994
53	1598	154	43	59	0	5431
54	1512	144	41	56	0	5085
55	1425	134	39	53	0	4740
56	1386	130	38	52	0	4586
57	1412	133	39	52	0	4689
58	1438	136	40	53	0	4791
59	1464	139	40	54	0	4894
60	1470	140	40	54	0	4920
61	1417	133	39	53	0	4708
62	1271	117	35	48	0	4144
63	1123	101	31	42	0	3580
64	1059	95	29	40	0	3343
65	1086	97	30	41	0	3444
66	1097	99	30	41	0	3483
67	1091	98	30	41	0	3463
68	1076	96	30	41	0	3409
69	1054	94	30	41	0	3326
70	1021	91	30	41	0	3208
71	181	89	31	41	0	2545
72	179	88	31	42	0	536
73	176	87	32	43	0	529
74	273	84	32	44	0	516
75	262	80	33	44	0	682
76	249	76	32	44	0	647
77	234	70	32	43	0	609
78	217	64	31	42	0	565
79	125	60	31	41	0	404
80	120	57	30	41	0	358
81	224	48	36	48	0	1693
82	117	35	26	35	0	1222
83	45	21	16	21	0	747
84	0	0	0	0	0	58

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
1	252	54511	2883	38158	0,05	7,5
2	310	119911	83835	83938	0,05	7,5
3	489	114335	111654	80035	0,05	7,5
4	670	1544	129412	1081	0,05	7,5
5	154	2465	48868	1725	0,05	7,5
6	259	5761	1399	4033	0,05	7,5
7	275	6094	4344	4266	0,05	7,5
8	288	6356	5806	4450	0,05	7,5
9	305	6316	6169	4421	0,05	7,5
10	329	3684	6667	2579	0,05	7,5
11	225	1954	7174	1368	0,05	7,5
12	249	70063	5497	49044	0,05	7,5
13	296	165445	3829	115811	0,05	7,5
14	343	246379	2807	172465	0,05	7,5
15	2030	266773	28906	186741	0,05	7,5

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
16	2258	285338	81973	199737	0,05	7,5
17	2374	294625	120817	206238	0,05	7,5
18	2422	298390	140825	208873	0,05	7,5
19	2440	299795	143860	209857	0,05	7,5
20	2457	301116	144536	210781	0,05	7,5
21	2474	302432	145209	211703	0,05	7,5
22	2470	302154	145066	211508	0,05	7,5
23	2464	301661	144814	211163	0,05	7,5
24	2457	301168	144562	210818	0,05	7,5
25	2382	295221	141520	206655	0,05	7,5
26	2276	286752	137184	200727	0,05	7,5
27	2145	276187	131767	193331	0,05	7,5
28	1922	257647	122240	180353	0,05	7,5
29	1692	237975	112092	166583	0,05	7,5
30	1471	218212	101844	152749	0,05	7,5
31	1409	212593	98919	148815	0,05	7,5
32	1609	230617	108284	161432	0,05	7,5
33	1852	251730	119193	176211	0,05	7,5
34	2088	271514	129369	190060	0,05	7,5
35	2220	282254	134879	197578	0,05	7,5
36	2378	294872	141341	206410	0,05	7,5
37	2539	307573	147836	215301	0,05	7,5
38	2586	311200	149689	217840	0,05	7,5
39	2551	308505	148313	215954	0,05	7,5
40	2391	295966	141901	207176	0,05	7,5
41	2129	274815	131063	192370	0,05	7,5
42	2126	274644	130976	192251	0,05	7,5
43	2231	283165	135346	198215	0,05	7,5
44	2335	291486	139608	204040	0,05	7,5
45	2418	298024	142954	208617	0,05	7,5
46	2465	301760	144865	211232	0,05	7,5
47	2490	303690	145851	212583	0,05	7,5
48	2478	302775	145384	211943	0,05	7,5
49	2430	299007	143457	209305	0,05	7,5
50	2270	286268	136936	200388	0,05	7,5
51	2007	264811	125925	185367	0,05	7,5
52	1737	241866	114103	169306	0,05	7,5
53	1598	229695	107806	160787	0,05	7,5
54	1512	221980	103803	155386	0,05	7,5
55	1425	214044	99675	149831	0,05	7,5
56	1386	210417	97784	147292	0,05	7,5
57	1412	212835	99045	148984	0,05	7,5
58	1438	215231	100293	150662	0,05	7,5
59	1464	217606	101529	152324	0,05	7,5
60	1470	218196	101836	152737	0,05	7,5
61	1417	213280	99277	149296	0,05	7,5
62	1271	199742	92202	139819	0,05	7,5
63	1123	185422	84670	129796	0,05	7,5
64	1059	179110	81330	125377	0,05	7,5
65	1086	181825	82768	127277	0,05	7,5
66	1097	182861	83316	128003	0,05	7,5
67	1091	182328	79195	127630	0,05	7,5
68	1076	180876	64302	126613	0,05	7,5
69	1054	178656	39158	125059	0,05	7,5
70	1021	175451	5791	122816	0,05	7,5
71	181	163462	1541	114424	0,05	7,5
72	179	102131	2922	71492	0,05	7,5
73	176	32695	4551	22887	0,05	7,5
74	273	1540	5502	1078	0,05	7,5
75	262	3807	5252	2665	0,05	7,5
76	249	5534	4972	3874	0,05	7,5
77	234	5224	4656	3657	0,05	7,5
78	217	4868	2557	3408	0,05	7,5
79	125	3901	1084	2731	0,05	7,5
80	120	1099	76724	769	0,05	7,5

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
81	450	35737	104152	25016	0,05	7,5
82	271	112081	80834	78457	0,05	7,5
83	244	49922	3027	34945	0,05	7,5
84	0	0	0	0	0,05	7,5

Maximum soil stress : q_v;n;max = 274 kN/m²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads) : q_traffic;max = 90 kN/m²
Maximum reduced soil stress : q_v;r;n;max = 88 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)
only for verticals in deep situation : k_v;max = 311200 kN/m³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor)
only for verticals in deep situation : k_v;max = 622399 kN/m³

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/m²
q_v;n	Neutral soil stress	kN/m²
q_h;n	Neutral horizontal soil stress	kN/m²
q_v,r;n	Reduced neutral soil stress	kN/m²
q_traffic	Traffic load	kN/m²
q_v;e	Vertical bearing capacity	kN/m²
q_h;e	Horizontal bearing capacity	kN/m²
k_v;bot	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m³
k_v;top	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m³
k_h	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m³
t_max	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m²
d_max	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
1	44	21	16	21	0	767
2	135	40	30	40	0	1421
3	243	53	39	53	0	1874
4	392	67	35	48	0	420
5	154	75	37	50	0	459
6	259	80	38	51	0	677
7	275	85	38	52	0	716
8	288	90	38	51	0	749
9	305	96	38	52	0	795
10	329	104	39	53	0	857
11	225	113	40	54	0	677
12	249	126	42	56	0	748
13	296	152	46	62	0	894
14	343	178	50	67	0	6262
15	2030	205	54	73	0	7220
16	2258	233	59	79	0	8195
17	2374	247	61	82	0	8703
18	2422	253	62	83	2	8913
19	2440	255	62	84	2	8991
20	2457	258	63	84	2	9066
21	2474	260	63	85	2	9140
22	2470	259	63	85	2	9124
23	2464	258	63	85	2	9096
24	2457	258	63	85	2	9069
25	2382	248	61	82	0	8736
26	2276	235	59	79	0	8272
27	2145	219	56	75	0	7708
28	1922	192	51	69	0	6760
29	1692	165	46	62	0	5812
30	1471	140	40	54	0	4920
31	1409	133	39	52	0	4678

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
32	1609	155	44	59	0	5472
33	1852	184	49	67	0	6468
34	2088	212	55	74	0	7464
35	2220	228	57	78	0	8030
36	2378	248	61	82	0	8717
37	2539	268	64	87	2	9432
38	2586	274	65	88	2	9641
39	2551	270	65	87	2	9486
40	2391	249	61	83	0	8777
41	2129	217	55	75	0	7636
42	2126	217	55	75	0	7627
43	2231	229	58	78	0	8079
44	2335	242	60	81	0	8530
45	2418	253	62	83	0	8892
46	2465	259	63	85	0	9102
47	2490	262	63	85	2	9211
48	2478	260	63	85	0	9159
49	2430	254	62	84	0	8947
50	2270	234	59	79	0	8246
51	2007	202	53	71	0	7120
52	1737	170	47	63	0	5994
53	1598	154	43	59	0	5431
54	1512	144	41	56	0	5085
55	1425	134	39	53	0	4740
56	1386	130	38	52	0	4586
57	1412	133	39	52	0	4689
58	1438	136	40	53	0	4791
59	1464	139	40	54	0	4894
60	1470	140	40	54	0	4920
61	1417	133	39	53	0	4708
62	1271	117	35	48	0	4144
63	1123	101	31	42	0	3580
64	1059	95	29	40	0	3343
65	1086	97	30	41	0	3444
66	1097	99	30	41	0	3483
67	1091	98	30	41	0	3463
68	1076	96	30	41	0	3409
69	1054	94	30	41	0	3326
70	1021	91	30	41	0	3208
71	181	89	31	41	0	2545
72	179	88	31	42	0	536
73	176	87	32	43	0	529
74	273	84	32	44	0	516
75	262	80	33	44	0	682
76	249	76	32	44	0	647
77	234	70	32	43	0	609
78	217	64	31	42	0	565
79	125	60	31	41	0	404
80	120	57	30	41	0	358
81	224	48	36	48	0	1693
82	117	35	26	35	0	1222
83	45	21	16	21	0	747
84	0	0	0	0	0	58

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
1	252	54511	2883	38158	0,05	7,5
2	310	119911	83835	83938	0,05	7,5
3	489	114335	111654	80035	0,05	7,5
4	670	1544	129412	1081	0,05	7,5
5	154	2465	48868	1725	0,05	7,5
6	259	5761	1399	4033	0,05	7,5
7	275	6094	4344	4266	0,05	7,5
8	288	6356	5806	4450	0,05	7,5
9	305	6316	6169	4421	0,05	7,5

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
10	329	3684	6667	2579	0,05	7,5
11	225	1954	7174	1368	0,05	7,5
12	249	70063	5497	49044	0,05	7,5
13	296	165445	3829	115811	0,05	7,5
14	343	246379	2807	172465	0,05	7,5
15	2030	266773	28906	186741	0,05	7,5
16	2258	285338	81973	199737	0,05	7,5
17	2374	294625	120817	206238	0,05	7,5
18	2422	298390	140825	208873	0,05	7,5
19	2440	299795	143860	209857	0,05	7,5
20	2457	301116	144536	210781	0,05	7,5
21	2474	302432	145209	211703	0,05	7,5
22	2470	302154	145066	211508	0,05	7,5
23	2464	301661	144814	211163	0,05	7,5
24	2457	301168	144562	210818	0,05	7,5
25	2382	295221	141520	206655	0,05	7,5
26	2276	286752	137184	200727	0,05	7,5
27	2145	276187	131767	193331	0,05	7,5
28	1922	257647	122240	180353	0,05	7,5
29	1692	237975	112092	166583	0,05	7,5
30	1471	218212	101844	152749	0,05	7,5
31	1409	212593	98919	148815	0,05	7,5
32	1609	230617	108284	161432	0,05	7,5
33	1852	251730	119193	176211	0,05	7,5
34	2088	271514	129369	190060	0,05	7,5
35	2220	282254	134879	197578	0,05	7,5
36	2378	294872	141341	206410	0,05	7,5
37	2539	307573	147836	215301	0,05	7,5
38	2586	311200	149689	217840	0,05	7,5
39	2551	308505	148313	215954	0,05	7,5
40	2391	295966	141901	207176	0,05	7,5
41	2129	274815	131063	192370	0,05	7,5
42	2126	274644	130976	192251	0,05	7,5
43	2231	283165	135346	198215	0,05	7,5
44	2335	291486	139608	204040	0,05	7,5
45	2418	298024	142954	208617	0,05	7,5
46	2465	301760	144865	211232	0,05	7,5
47	2490	303690	145851	212583	0,05	7,5
48	2478	302775	145384	211943	0,05	7,5
49	2430	299007	143457	209305	0,05	7,5
50	2270	286268	136936	200388	0,05	7,5
51	2007	264811	125925	185367	0,05	7,5
52	1737	241866	114103	169306	0,05	7,5
53	1598	229695	107806	160787	0,05	7,5
54	1512	221980	103803	155386	0,05	7,5
55	1425	214044	99675	149831	0,05	7,5
56	1386	210417	97784	147292	0,05	7,5
57	1412	212835	99045	148984	0,05	7,5
58	1438	215231	100293	150662	0,05	7,5
59	1464	217606	101529	152324	0,05	7,5
60	1470	218196	101836	152737	0,05	7,5
61	1417	213280	99277	149296	0,05	7,5
62	1271	199742	92202	139819	0,05	7,5
63	1123	185422	84670	129796	0,05	7,5
64	1059	179110	81330	125377	0,05	7,5
65	1086	181825	82768	127277	0,05	7,5
66	1097	182861	83316	128003	0,05	7,5
67	1091	182328	79195	127630	0,05	7,5
68	1076	180876	64302	126613	0,05	7,5
69	1054	178656	39158	125059	0,05	7,5
70	1021	175451	5791	122816	0,05	7,5
71	181	163462	1541	114424	0,05	7,5
72	179	102131	2922	71492	0,05	7,5
73	176	32695	4551	22887	0,05	7,5
74	273	1540	5502	1078	0,05	7,5

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
75	262	3807	5252	2665	0,05	7,5
76	249	5534	4972	3874	0,05	7,5
77	234	5224	4656	3657	0,05	7,5
78	217	4868	2557	3408	0,05	7,5
79	125	3901	1084	2731	0,05	7,5
80	120	1099	76724	769	0,05	7,5
81	450	35737	104152	25016	0,05	7,5
82	271	112081	80834	78457	0,05	7,5
83	244	49922	3027	34945	0,05	7,5
84	0	0	0	0	0,05	7,5

Maximum soil stress : q_v;n;max = 274 kN/m²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads) : q_traffic;max = 90 kN/m²
Maximum reduced soil stress : q_v;r;n;max = 88 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation : k_v;max = 311200 kN/m³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation : k_v;max = 622399 kN/m³

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/m²
q_v;n	Neutral soil stress	kN/m²
q_h;n	Neutral horizontal soil stress	kN/m²
q_v,r;n	Reduced neutral soil stress	kN/m²
q_traffic	Traffic load	kN/m²
q_v;e	Vertical bearing capacity	kN/m²
q_h;e	Horizontal bearing capacity	kN/m²
k_v;bot	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m³
k_v;top	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m³
k_h	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m³
t_max	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m²
d_max	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
1	44	21	16	21	0	767
2	135	40	30	40	0	1421
3	243	53	39	53	0	1874
4	392	67	35	48	0	420
5	154	75	37	50	0	459
6	259	80	38	51	0	677
7	275	85	38	52	0	716
8	288	90	38	51	0	749
9	305	96	38	52	0	795
10	329	104	39	53	0	857
11	225	113	40	54	0	677
12	249	126	42	56	0	748
13	296	152	46	62	0	894
14	343	178	50	67	0	6262
15	2030	205	54	73	0	7220
16	2258	233	59	79	0	8195
17	2374	247	61	82	0	8703
18	2422	253	62	83	2	8913
19	2440	255	62	84	2	8991
20	2457	258	63	84	2	9066
21	2474	260	63	85	2	9140
22	2470	259	63	85	2	9124
23	2464	258	63	85	2	9096
24	2457	258	63	85	2	9069
25	2382	248	61	82	0	8736

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
26	2276	235	59	79	0	8272
27	2145	219	56	75	0	7708
28	1922	192	51	69	0	6760
29	1692	165	46	62	0	5812
30	1471	140	40	54	0	4920
31	1409	133	39	52	0	4678
32	1609	155	44	59	0	5472
33	1852	184	49	67	0	6468
34	2088	212	55	74	0	7464
35	2220	228	57	78	0	8030
36	2378	248	61	82	0	8717
37	2539	268	64	87	2	9432
38	2586	274	65	88	2	9641
39	2551	270	65	87	2	9486
40	2391	249	61	83	0	8777
41	2129	217	55	75	0	7636
42	2126	217	55	75	0	7627
43	2231	229	58	78	0	8079
44	2335	242	60	81	0	8530
45	2418	253	62	83	0	8892
46	2465	259	63	85	0	9102
47	2490	262	63	85	2	9211
48	2478	260	63	85	0	9159
49	2430	254	62	84	0	8947
50	2270	234	59	79	0	8246
51	2007	202	53	71	0	7120
52	1737	170	47	63	0	5994
53	1598	154	43	59	0	5431
54	1512	144	41	56	0	5085
55	1425	134	39	53	0	4740
56	1386	130	38	52	0	4586
57	1412	133	39	52	0	4689
58	1438	136	40	53	0	4791
59	1464	139	40	54	0	4894
60	1470	140	40	54	0	4920
61	1417	133	39	53	0	4708
62	1271	117	35	48	0	4144
63	1123	101	31	42	0	3580
64	1059	95	29	40	0	3343
65	1086	97	30	41	0	3444
66	1097	99	30	41	0	3483
67	1091	98	30	41	0	3463
68	1076	96	30	41	0	3409
69	1054	94	30	41	0	3326
70	1021	91	30	41	0	3208
71	181	89	31	41	0	2545
72	179	88	31	42	0	536
73	176	87	32	43	0	529
74	273	84	32	44	0	516
75	262	80	33	44	0	682
76	249	76	32	44	0	647
77	234	70	32	43	0	609
78	217	64	31	42	0	565
79	125	60	31	41	0	404
80	120	57	30	41	0	358
81	224	48	36	48	0	1693
82	117	35	26	35	0	1222
83	45	21	16	21	0	747
84	0	0	0	0	0	58

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
1	252	54511	2883	38158	0,05	7,5
2	310	119911	83835	83938	0,05	7,5
3	489	114335	111654	80035	0,05	7,5

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
4	670	1544	129412	1081	0,05	7,5
5	154	2465	48868	1725	0,05	7,5
6	259	5761	1399	4033	0,05	7,5
7	275	6094	4344	4266	0,05	7,5
8	288	6356	5806	4450	0,05	7,5
9	305	6316	6169	4421	0,05	7,5
10	329	3684	6667	2579	0,05	7,5
11	225	1954	7174	1368	0,05	7,5
12	249	70063	5497	49044	0,05	7,5
13	296	165445	3829	115811	0,05	7,5
14	343	246379	2807	172465	0,05	7,5
15	2030	266773	28906	186741	0,05	7,5
16	2258	285338	81973	199737	0,05	7,5
17	2374	294625	120817	206238	0,05	7,5
18	2422	298390	140825	208873	0,05	7,5
19	2440	299795	143860	209857	0,05	7,5
20	2457	301116	144536	210781	0,05	7,5
21	2474	302432	145209	211703	0,05	7,5
22	2470	302154	145066	211508	0,05	7,5
23	2464	301661	144814	211163	0,05	7,5
24	2457	301168	144562	210818	0,05	7,5
25	2382	295221	141520	206655	0,05	7,5
26	2276	286752	137184	200727	0,05	7,5
27	2145	276187	131767	193331	0,05	7,5
28	1922	257647	122240	180353	0,05	7,5
29	1692	237975	112092	166583	0,05	7,5
30	1471	218212	101844	152749	0,05	7,5
31	1409	212593	98919	148815	0,05	7,5
32	1609	230617	108284	161432	0,05	7,5
33	1852	251730	119193	176211	0,05	7,5
34	2088	271514	129369	190060	0,05	7,5
35	2220	282254	134879	197578	0,05	7,5
36	2378	294872	141341	206410	0,05	7,5
37	2539	307573	147836	215301	0,05	7,5
38	2586	311200	149689	217840	0,05	7,5
39	2551	308505	148313	215954	0,05	7,5
40	2391	295966	141901	207176	0,05	7,5
41	2129	274815	131063	192370	0,05	7,5
42	2126	274644	130976	192251	0,05	7,5
43	2231	283165	135346	198215	0,05	7,5
44	2335	291486	139608	204040	0,05	7,5
45	2418	298024	142954	208617	0,05	7,5
46	2465	301760	144865	211232	0,05	7,5
47	2490	303690	145851	212583	0,05	7,5
48	2478	302775	145384	211943	0,05	7,5
49	2430	299007	143457	209305	0,05	7,5
50	2270	286268	136936	200388	0,05	7,5
51	2007	264811	125925	185367	0,05	7,5
52	1737	241866	114103	169306	0,05	7,5
53	1598	229695	107806	160787	0,05	7,5
54	1512	221980	103803	155386	0,05	7,5
55	1425	214044	99675	149831	0,05	7,5
56	1386	210417	97784	147292	0,05	7,5
57	1412	212835	99045	148984	0,05	7,5
58	1438	215231	100293	150662	0,05	7,5
59	1464	217606	101529	152324	0,05	7,5
60	1470	218196	101836	152737	0,05	7,5
61	1417	213280	99277	149296	0,05	7,5
62	1271	199742	92202	139819	0,05	7,5
63	1123	185422	84670	129796	0,05	7,5
64	1059	179110	81330	125377	0,05	7,5
65	1086	181825	82768	127277	0,05	7,5
66	1097	182861	83316	128003	0,05	7,5
67	1091	182328	79195	127630	0,05	7,5
68	1076	180876	64302	126613	0,05	7,5

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
69	1054	178656	39158	125059	0,05	7,5
70	1021	175451	5791	122816	0,05	7,5
71	181	163462	1541	114424	0,05	7,5
72	179	102131	2922	71492	0,05	7,5
73	176	32695	4551	22887	0,05	7,5
74	273	1540	5502	1078	0,05	7,5
75	262	3807	5252	2665	0,05	7,5
76	249	5534	4972	3874	0,05	7,5
77	234	5224	4656	3657	0,05	7,5
78	217	4868	2557	3408	0,05	7,5
79	125	3901	1084	2731	0,05	7,5
80	120	1099	76724	769	0,05	7,5
81	450	35737	104152	25016	0,05	7,5
82	271	112081	80834	78457	0,05	7,5
83	244	49922	3027	34945	0,05	7,5
84	0	0	0	0	0,05	7,5

Maximum soil stress : q_v;n;max = 274 kN/m²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads) : q_traffic;max = 90 kN/m²
Maximum reduced soil stress : q_v;r;n;max = 88 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation : k_v;max = 311200 kN/m³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation : k_v;max = 622399 kN/m³

5.5 Young's Modulus per Layer per Vertical

Layer number	Material name	Type of determination
5	Zand, schoon, los	Calculated with E100
4	Veen, slap	Calculated with E100
3	Klei, organisch, slap	Calculated with E100
2	Veen, slap	Calculated with E100
1	Zand, schoon, los	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	63,080	0,000	62,802	0,000	62,523
4	0,758	0,801	0,753	0,795	0,747	0,790
3	3,203	4,024	3,182	4,004	3,161	3,984
2	1,006	1,038	1,001	1,033	0,996	1,028
1	76,756	124,314	76,528	124,174	76,299	124,033

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	62,620	0,000	63,924	0,000	64,963
4	0,749	0,792	0,774	0,817	0,795	0,837
3	3,168	3,991	3,267	4,084	3,347	4,160
2	0,998	1,030	1,021	1,053	1,040	1,072
1	76,379	124,082	77,451	124,745	78,312	125,280

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	64,751	0,000	64,262	0,000	64,750
4	0,790	0,833	0,781	0,823	0,790	0,833
3	3,331	4,145	3,293	4,109	3,330	4,144
2	1,036	1,068	1,027	1,059	1,036	1,068
1	78,136	125,171	77,731	124,919	78,134	125,170

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	66,483	0,000	68,488	0,000	72,942
4	0,825	0,866	0,865	0,906	0,956	0,997
3	3,465	4,272	3,624	4,423	3,987	4,769
2	1,068	1,099	1,106	1,137	1,192	1,223
1	79,577	126,075	81,260	127,144	85,048	129,598

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	81,940	0,000	90,044	0,000	97,476
4	1,152	1,191	1,340	1,377	1,521	1,557
3	4,762	5,514	5,507	6,234	6,228	6,934
2	1,378	1,408	1,559	1,587	1,734	1,761
1	92,880	134,867	100,102	139,939	106,836	144,833

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	104,380	0,000	107,683	0,000	108,971
4	1,697	1,732	1,784	1,818	1,818	1,852
3	6,928	7,617	7,273	7,954	7,410	8,088
2	1,904	1,931	1,989	2,015	2,022	2,049
1	113,171	149,567	116,224	151,890	117,419	152,806

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	109,516	0,000	110,057	0,000	110,597
4	1,833	1,867	1,847	1,881	1,862	1,896
3	7,468	8,144	7,525	8,201	7,583	8,258
2	2,036	2,063	2,050	2,077	2,064	2,091
1	117,924	153,195	118,428	153,583	118,929	153,969

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	110,482	0,000	110,281	0,000	110,079
4	1,859	1,893	1,853	1,887	1,848	1,882
3	7,571	8,246	7,549	8,224	7,528	8,203
2	2,061	2,088	2,056	2,083	2,051	2,078
1	118,823	153,887	118,635	153,743	118,448	153,598

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	107,633	0,000	104,122	0,000	99,690
4	1,782	1,817	1,690	1,725	1,577	1,612
3	7,268	7,949	6,901	7,591	6,449	7,150
2	1,987	2,014	1,898	1,925	1,787	1,815
1	116,178	151,855	112,933	149,387	108,860	146,332

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	91,753	0,000	83,061	0,000	73,964
4	1,381	1,417	1,177	1,216	0,978	1,018
3	5,670	6,392	4,863	5,611	4,072	4,851
2	1,598	1,626	1,403	1,432	1,213	1,243
1	101,642	141,045	93,871	135,551	85,925	130,176

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	71,293	0,000	79,723	0,000	89,171
4	0,922	0,963	1,103	1,142	1,319	1,356
3	3,851	4,639	4,566	5,325	5,425	6,154
2	1,160	1,191	1,331	1,361	1,539	1,567
1	83,637	128,677	90,930	133,532	99,317	139,379

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	97,710	0,000	102,242	0,000	107,489
4	1,527	1,563	1,642	1,677	1,779	1,813
3	6,251	6,957	6,708	7,402	7,253	7,934
2	1,739	1,767	1,851	1,878	1,984	2,010
1	107,050	144,990	111,203	148,083	116,045	151,753

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	112,695	0,000	114,169	0,000	113,074
4	1,918	1,952	1,959	1,992	1,929	1,963
3	7,809	8,479	7,970	8,636	7,851	8,520
2	2,120	2,146	2,159	2,185	2,130	2,156
1	120,883	155,483	122,258	156,555	121,236	155,759

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	107,940	0,000	99,110	0,000	99,037
4	1,791	1,825	1,562	1,598	1,560	1,596
3	7,300	7,981	6,391	7,093	6,384	7,086
2	1,995	2,022	1,773	1,801	1,771	1,799
1	116,463	152,073	108,329	145,937	108,263	145,888

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	102,624	0,000	106,089	0,000	108,788
4	1,652	1,687	1,742	1,776	1,813	1,848
3	6,747	7,440	7,106	7,791	7,390	8,069
2	1,860	1,887	1,948	1,975	2,017	2,044
1	111,553	148,346	114,749	150,764	117,249	152,676

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	110,321	0,000	111,111	0,000	110,737
4	1,854	1,888	1,875	1,910	1,865	1,900
3	7,554	8,229	7,638	8,312	7,598	8,272
2	2,057	2,084	2,078	2,105	2,068	2,095
1	118,673	153,772	119,407	154,339	119,059	154,070

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	109,192	0,000	103,920	0,000	94,846
4	1,824	1,858	1,685	1,720	1,456	1,492
3	7,433	8,111	6,880	7,571	5,969	6,682
2	2,028	2,054	1,893	1,920	1,671	1,699
1	117,624	152,964	112,747	149,246	104,442	143,076

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	84,806	0,000	79,301	0,000	75,732
4	1,217	1,255	1,093	1,132	1,016	1,055
3	5,021	5,763	4,529	5,289	4,221	4,994
2	1,441	1,470	1,322	1,352	1,248	1,279
1	95,418	136,627	90,560	133,280	87,452	131,188

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	71,987	0,000	70,247	0,000	71,409
4	0,936	0,977	0,901	0,941	0,924	0,965
3	3,908	4,694	3,766	4,558	3,860	4,648
2	1,173	1,204	1,139	1,170	1,162	1,193
1	84,229	129,062	82,747	128,100	83,736	128,741

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	72,552	0,000	73,678	0,000	73,956
4	0,948	0,989	0,972	1,012	0,978	1,018
3	3,954	4,738	4,048	4,828	4,071	4,850
2	1,185	1,215	1,207	1,237	1,213	1,243
1	84,713	129,378	85,679	130,013	85,919	130,171

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	71,622	0,000	65,007	0,000	57,639
4	0,929	0,969	0,796	0,838	0,656	0,700
3	3,878	4,665	3,350	4,163	2,801	3,646
2	1,166	1,197	1,041	1,072	0,911	0,944
1	83,918	128,859	78,348	125,303	72,351	121,644

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	54,232	0,000	55,711	0,000	56,270
4	0,595	0,640	0,621	0,666	0,631	0,676
3	2,562	3,422	2,664	3,518	2,704	3,555
2	0,856	0,889	0,880	0,912	0,889	0,922
1	69,668	120,067	70,825	120,742	71,265	121,001

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	56,165	0,000	56,065	0,000	56,065
4	0,630	0,674	0,628	0,672	0,628	0,672
3	2,696	3,548	2,689	3,541	2,689	3,541
2	0,887	0,920	0,885	0,918	0,885	0,918
1	71,183	120,953	71,104	120,906	71,104	120,906

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	56,065	0,000	56,065	0,000	56,065
4	0,628	0,672	0,628	0,672	0,628	0,672
3	2,689	3,541	2,689	3,541	2,689	3,541
2	0,885	0,918	0,885	0,918	0,885	0,918
1	71,104	120,906	71,104	120,906	71,104	120,906

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	56,065	0,000	56,065	0,000	56,081
4	0,628	0,672	0,628	0,672	0,628	0,673
3	2,689	3,541	2,689	3,541	2,690	3,542
2	0,885	0,918	0,885	0,918	0,886	0,918
1	71,104	120,906	71,104	120,906	71,117	120,913

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	56,114	0,000	56,147	0,000	56,090
4	0,629	0,673	0,629	0,674	0,628	0,673
3	2,693	3,545	2,695	3,547	2,691	3,543
2	0,886	0,919	0,887	0,920	0,886	0,919
1	71,143	120,929	71,169	120,944	71,124	120,918

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	56,006	0,000	55,921	0,000	55,898
4	0,627	0,671	0,625	0,670	0,625	0,669
3	2,685	3,538	2,679	3,532	2,678	3,530
2	0,884	0,917	0,883	0,916	0,883	0,915
1	71,057	120,879	70,990	120,839	70,973	120,829

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	55,924	0,000	55,950	0,000	55,974
4	0,625	0,670	0,626	0,670	0,626	0,671
3	2,679	3,532	2,681	3,534	2,683	3,535
2	0,883	0,916	0,883	0,916	0,884	0,917
1	70,993	120,841	71,014	120,853	71,033	120,864

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/m³
Pipeline diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
Pipeline diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
Pipeline diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
Equivalent pipeline diameter	:	Do = 831,29 mm
Equivalent wall thickness	:	t = 41,62 mm
Equivalent unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 163141 kN/m³
Unit weight drilling fluid pullback operation	:	gamma_b = 11,50 kN/m³
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/mm²
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	:	365	[kg/m]	
Weight of pipeline (including filling)	:	100	[kg/m]	

Result	:	265	[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/mm²])
- 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	42
T2	29	58
T3	94	103

Characteristic points	Length pipe in bore hole (m)	Characteristic value pulling force (kN)
T4	332	235
T5	398	290
T6	423	304

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 (f) 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 = 423 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm²
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm²
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm²
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm²
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
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 = 88 kN/m²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 2 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 311200 kN/m³
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 = Mb/Wb = f_k E·Ib /(Rrol·Wb)	=	0,43	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * T1/A = f * f_install (Lrol * Q * f1)/A	=	0,73	N/mm²

Maximum axial stress Sigma_a,max	=	1,01	N/mm²

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·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,86	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * Tmax/A	=	5,30	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	5,86	N/mm²

Tangential stress:

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

qr = kv *·y = (0.322·Lambda^2·E·I)/(Do.R/f_R)

Lambda = (f_kv kv·Do/(4·E·I))^0.25	=	3,7E-3	1/mm
qr	=	0,0161	N/mm²
Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,94	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	0,61	N/mm²

7.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

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

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,31	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,20	N/mm²

Tangential stress:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,57	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	11,38	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	7,77	N/mm²

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

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,31	N/mm²

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_Temp = dt * gamma_t * alpha_g * E	=	0,00	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,20	N/mm²

Tangential stress:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,57	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	11,38	N/mm²
Rerounding factor Frr	=	1,000	
Rerounding factor F'rr	=	1,000	

Sigma_t,max = Sigma_py + ((F'rr·. Sigma_qr) + (Frr·. Sigma_qn))

Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	7,77	N/mm²

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

Load combination 1
- Sigma_AxMax < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < ShortStrength * DamageFactor

Load combination 2
- Sigma_ptest < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_py < LongStrength * DamageFactor

Load combination 3
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

Load combination 4
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm²]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
Sigma_ptest	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
Sigma_py	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
Sigma_axial	10,00 (short)	1,01	5,86	-	-	-
Sigma_axial	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
Sigma_tang...	10,00 (short)	-	0,61	-	-	-
Sigma_tang...	8,00 (long)	-	-	-	7,77	7,77

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 15,8 mm (5,03% 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 not 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 212 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m².

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 140 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m².

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 = 423 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm²
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm²
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm²
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm²
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
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 = 88 kN/m²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 2 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 311200 kN/m³
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:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k E·Ib /(Rrol·Wb)	=	0,43	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * T1/A = f * f_install (Lrol * Q * f1)/A	=	0,73	N/mm²

Maximum axial stress Sigma_a,max	=	1,01	N/mm²

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·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,86	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * Tmax/A	=	5,30	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	5,86	N/mm²

Tangential stress:

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

qr = kv *·y = (0.322·Lambda^2·E·I)/(Do.R/f_R)

Lambda = (f_kv kv·Do/(4·E·I))^0.25	=	3,7E-3	1/mm
qr	=	0,0161	N/mm²
Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,94	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	0,61	N/mm²

8.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

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

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,31	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,20	N/mm²

Tangential stress:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,57	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	11,38	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	7,77	N/mm²

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

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,31	N/mm²

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_Temp = dt * gamma_t * alpha_g * E	=	0,00	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,20	N/mm²

Tangential stress:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,57	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	11,38	N/mm²
Rerounding factor Frr	=	1,000	
Rerounding factor F'rr	=	1,000	

Sigma_t,max = Sigma_py + ((F'rr·. Sigma_qr) + (Frr·. Sigma_qn))

Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	7,77	N/mm²

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

Load combination 1
- Sigma_AxMax < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < ShortStrength * DamageFactor

Load combination 2
- Sigma_ptest < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_py < LongStrength * DamageFactor

Load combination 3
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

Load combination 4
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm²]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
Sigma_ptest	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
Sigma_py	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
Sigma_axial	10,00 (short)	1,01	5,86	-	-	-
Sigma_axial	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
Sigma_tang...	10,00 (short)	-	0,61	-	-	-
Sigma_tang...	8,00 (long)	-	-	-	7,77	7,77

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 15,8 mm (5,03% 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 not 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 212 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m².

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 140 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m².

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 = 423 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm²
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm²
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm²
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm²
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
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 = 88 kN/m²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 2 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 311200 kN/m³
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 = Mb/Wb = f_k E·Ib /(Rrol·Wb)	=	0,43	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * T1/A = f * f_install (Lrol * Q * f1)/A	=	0,73	N/mm²

Maximum axial stress Sigma_a,max	=	1,01	N/mm²

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·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,86	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * Tmax/A	=	5,30	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	5,86	N/mm²

Tangential stress:

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

qr = kv *·y = (0.322·Lambda^2·E·I)/(Do.R/f_R)

Lambda = (f_kv kv·Do/(4·E·I))^0.25	=	3,7E-3	1/mm
qr	=	0,0161	N/mm²
Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,94	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	0,61	N/mm²

9.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

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

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,31	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,20	N/mm²

Tangential stress:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,57	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	11,38	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	7,77	N/mm²

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

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,31	N/mm²

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_Temp = dt * gamma_t * alpha_g * E	=	0,00	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,20	N/mm²

Tangential stress:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,57	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	11,38	N/mm²
Rerounding factor Frr	=	1,000	
Rerounding factor F'rr	=	1,000	

Sigma_t,max = Sigma_py + ((F'rr·. Sigma_qr) + (Frr·. Sigma_qn))

Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	7,77	N/mm²

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

Load combination 1
- Sigma_AxMax < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < ShortStrength * DamageFactor

Load combination 2
- Sigma_ptest < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_py < LongStrength * DamageFactor

Load combination 3
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

Load combination 4
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm²]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
Sigma_ptest	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
Sigma_py	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
Sigma_axial	10,00 (short)	1,01	5,86	-	-	-
Sigma_axial	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
Sigma_tang...	10,00 (short)	-	0,61	-	-	-
Sigma_tang...	8,00 (long)	-	-	-	7,77	7,77

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 15,8 mm (5,03% 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 not 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 212 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m².

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 140 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m².

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 = 423 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm²
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm²
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm²
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm²
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
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 = 88 kN/m²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 2 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 311200 kN/m³
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 = Mb/Wb = f_k E·Ib /(Rrol·Wb)	=	0,43	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * T1/A = f * f_install (Lrol * Q * f1)/A	=	0,73	N/mm²

Maximum axial stress Sigma_a,max	=	1,01	N/mm²

In this load combination the tangential stress is negligible.

10.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,86	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * Tmax/A	=	5,30	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	5,86	N/mm²

Tangential stress:

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

qr = kv *·y = (0.322·Lambda^2·E·I)/(Do.R/f_R)

Lambda = (f_kv kv·Do/(4·E·I))^0.25	=	3,7E-3	1/mm
qr	=	0,0161	N/mm²
Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,94	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	0,61	N/mm²

10.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

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

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,31	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,20	N/mm²

Tangential stress:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,57	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	11,38	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	7,77	N/mm²

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

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,31	N/mm²

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_Temp = dt * gamma_t * alpha_g * E	=	0,00	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,20	N/mm²

Tangential stress:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,57	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	11,38	N/mm²
Rerounding factor Frr	=	1,000	
Rerounding factor F'rr	=	1,000	

Sigma_t,max = Sigma_py + ((F'rr·. Sigma_qr) + (Frr·. Sigma_qn))

Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	7,77	N/mm²

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

Load combination 1
- Sigma_AxMax < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < ShortStrength * DamageFactor

Load combination 2
- Sigma_ptest < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_py < LongStrength * DamageFactor

Load combination 3
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

Load combination 4
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm²]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
Sigma_ptest	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
Sigma_py	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
Sigma_axial	10,00 (short)	1,01	5,86	-	-	-
Sigma_axial	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
Sigma_tang...	10,00 (short)	-	0,61	-	-	-
Sigma_tang...	8,00 (long)	-	-	-	7,77	7,77

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 15,8 mm (5,03% 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 not 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 212 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m².

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 140 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m².

End of Report

F.2A Boring 150 kV Spoorlijn Roosendaal – Vlissingen, nabij Rilland

Kruising 2 HDD's met N289, leidingenstraat LSNed en spoorlijn Roosendaal-Vlissingen

Vergunningsrapport provincie Brabant en ProRail

SWECO

Verantwoording

Titel:	Kruising 2 HDD's met N289, leidingenstraat LSNed en spoorlijn Roosendaal-Vlissingen
Onderwerp:	Vergunningsrapport voor provincie Brabant en ProRail
Projectnummer:	51001237
Klant:	TenneT
Referentienummer:	NL23-648800269-54531
Versie:	D4
Datum:	07-07-2023
Auteurs:	[redacted]
E-mailadres:	
Gecontroleerd door:	
Paraaf gecontroleerd:	
Vrijgegeven door:	
Paraaf vrijgegeven:	

Inhoudsopgave

1. Inleiding 4
1.1 Situatie 4
1.2 Leeswijzer 5

2. Uitgangspunten 6
2.1 Gebruikte documenten 6
2.2 Vigerende normen en richtlijnen 6
2.3 Minimale dagmaat tot bestaande en nieuwe boringen 7
2.4 Diepteligging 7
2.5 Inwendige overdruk 8
2.6 Grondwaterstand 8
2.7 Belasting- en ondersteuningshoek 8
2.8 Importantiefactor 9
2.9 Geotechnische parameters 9
2.10 Boortechnische gegevens 10
2.11 Verkeersbelasting 10
2.12 Boogstralen 10

3. Ontwerp 12
3.1 Gegevens HDD 12
3.2 Boorparameters 13
3.3 Intredepunt 13
3.4 Uittredepunt en uitlegstrook 14

4. Berekeningsresultaten 15
4.1 Trekkrachtberekening 16
4.2 Sterkteberekening bedrijfsfase 16
4.3 Muddrukberekening 16
4.4 Implosie 16
4.5 Kwelweg 17
4.5.1 Zoute ondergrond 17
4.5.2 Kwel uit het eerste watervoerende pakket 17
4.5.3 Kwel tussen de peilgebieden 18
4.5.4 Kwelmaatregelen 18

5. Risico's en aandachtspunten 20

6. Conclusie 21
6.1 Algemeen 21
6.2 Uitkomsten ontwerp en berekening 21

Bijlage 1 – Ontwerptekening
Bijlage 2 – Geotechnisch onderzoek
Bijlage 3 – Berekening D-Geo Pipeline

1. Inleiding

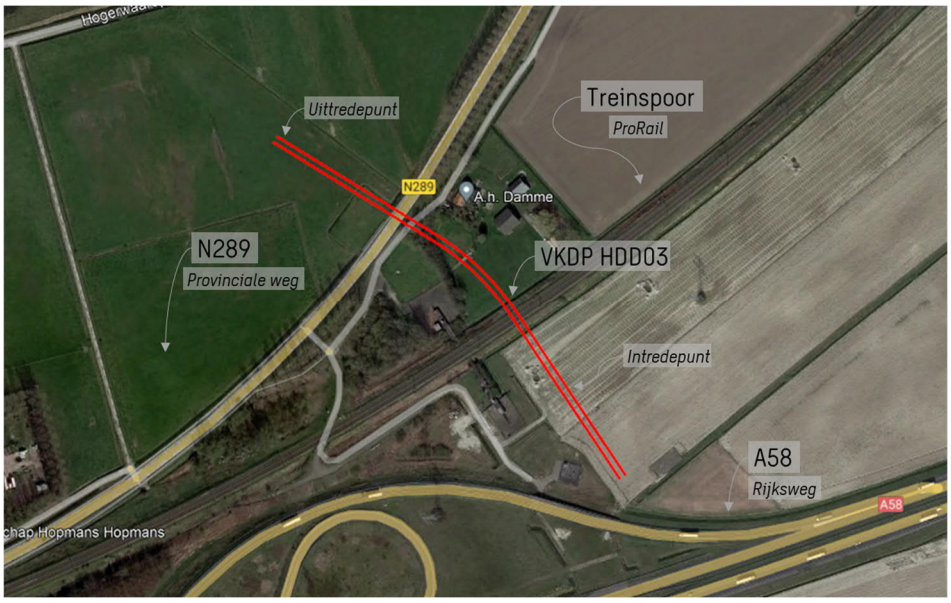
TenneT is voornemens om delen van de bovengrondse 150 kV-verbindingen binnen het projectgebied van *Zuid-West 380 kV Oost* ondergronds te verkabelen. Het projectgebied loopt vanaf Rilland aan de westzijde tot aan Tilburg aan de oostzijde. Bij het ondergronds brengen van de kabels moeten circa 45 kruisingen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

Dit rapport betreft de kruising met de provinciale weg N289 (Reimerswaalweg) en de spoorlijn Roosendaal-Vlissingen en ligt in de leidingenstraat Antwerpen-Rotterdam van LSNed. De HDD's (met codering VKDP HDD03) zijn vergunningsplichtig bij provincie Brabant en ProRail. Het ontwerp en de berekeningen zijn uitgevoerd conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020, de Richtlijn Boortechnieken en de eisen van ProRail. Voor ligging in de leidingenstraat gelden de richtlijnen van LSNed.

1.1 Situatie

Het tracé van de HDD's ligt ten noordoosten van knooppunt Markiezaat en start in de leidingenstraat tussen de A58 en het spoor en eindigt in de leidingenstraat aan de noordzijde van de N289 (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 circa 443 m en een maximale diepte van NAP -16,76 m (hart van de boring). De twee HDD's kruisen van zuid naar noord: de leidingenstraat van LSNed, de spoorlijn Roosendaal – Vlissingen, de provinciale weg N289 en nogmaals de leidingenstraat van LSNed.



Figuur 1 Overzicht situatie VKDP HDD03

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 VKDP HDD03, tekeningnummer VKDP-HDD03-ProRail versie H, d.d. 06-07-2023 opgesteld door Sweco (bijlage 1).
- Geotechnisch onderzoek uit Dinoloket en uit de Sweco-database met historisch grondonderzoek (bijlage 2).
- Maaiveldhoogten zijn ontleend aan de Algemene Hoogtekaart van Nederland (AHN-3).
- KLIC-levering 21O094476 en 21O094477 opgevraagd d.d. 21-09-2021.
- Peilbesluiten waterschap Scheldestromen, geraadpleegd d.d. 14-03-2022, website: https://repository.officiele-overheidspublicaties.nl/CVDR/CVDR333586/1/xml/i241828.pdf
- Peilbesluiten waterschap Brabantse Delta, geraadpleegd d.d. 22-03-2022, website: https://www.brabantsedelta.nl/peilbesluiten
- Regeling veranderen en gebruiken van wegen Noord-Brabant https://www.brabant.nl/actueel/regelingen/cvdr93041_2
- Waterbeheerplan 2016-2021, waterschap Brabantse Delta, website: https://www.brabantsedelta.nl/_flysystem/media/waterbeheerplan-2016-2021.pdf
- Regeling veranderen en gebruiken van wegen Noord-Brabant, Provincie Noord Brabant 2013, website: https://www.brabant.nl/actueel/regelingen/cvdr93041_2

2.2 Vigerende normen en richtlijnen

Het ontwerp van de boring voldoet aan:

- NEN 3650:2020;
- NEN 3651:2020;
- Richtlijn boortechnieken juni 2019 v1.0 van Rijkswaterstaat;
- Handboek Horizontaal Gestuurd Boren (BTL-rapport 50);
- ProRail Spoorkruising derden: RLN 00427-2, 31-3-2021;
- Indieningvereisten: Ten behoeve van het aanvragen van een vergunning op grond van artikel 19 Spoorwegwet en het aanvragen van een ontheffing op grond van artikel 13 lid 3 van de Regeling omgevingsregime hoofdspoorwegen, ProRail, 01-07-2021-versie-18 (bijlage 1).
- VELIN Richtlijn nr 2017/6 Versie september 2019;

- Regeling veranderen en gebruiken van wegen Noord-Brabant, Noord-Brabant 2013;
- Voorschriften behorende bij de overeenkomst tot gebruik van de Buisleidingenstraat en tot exploitatie van daarin gelegen leidingen – januari 2017 van LSNed.

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:
    - De minimale dagmaat bij een kruising met een bestaande HDD-boring is 5,0 meter, onafhankelijk van de grondslag.
    - De minimale dagmaat in zandgrond bij parallelligging tot een bestaande HDD-boring is 5,0 meter.
    - De minimale dagmaat in klei-/veengrond bij parallelligging tot een bestaande HDD-boring is 10,0 meter.
    - 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 specifieker dan de NEN 3650, voor het ontwerp houden we daarom de Richtlijn Boortechnieken aan. De eerste circa 10 m -mv bestaat uit wisselende klei- en veenlagen, maar omdat de HDD's voor circa 80% 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 Diepteligging

De diepteligging dient aan de volgende eisen te voldoen:

- Voor de tussenafstand met (kruisende) kabels en leidingen is conform VELIN Richtlijn nr. 2017/6 Versie september 2019 minimaal een dagmaat van 5 m aangehouden.
    - De HDD's kruisen diverse leidingen van Gasunie en Air Liquide die gevaarlijke stoffen transporten binnen de leidingstraat van LSNed. De minimale dagmaat afstand tussen de leidingen en de HDD's is 8,8 m. Dit voldoet aan de minimale dagmaat van 5 m uit de VELIN-richtlijn.
    - De HDD's kruisen nabij het uittredepunt een hogedruk gasleiding. De minimale dagmaat afstand tussen de leidingen en de HDD's is 5 m. Dit voldoet aan de VELIN-richtlijn.

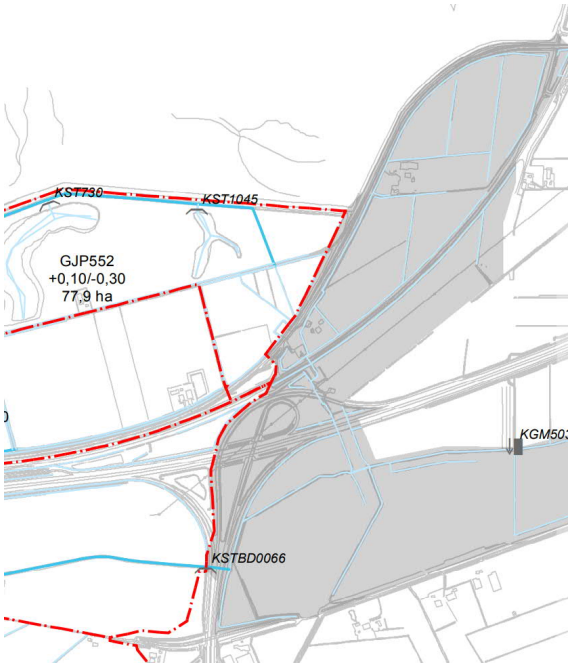
- De HDD's dienen minimaal 12 m beneden het laagstgelegen maaiveld binnen de druklijn 1:1,5 te liggen (paragraaf 7.1 van RLN0047-2 Spoorkruising derden)
    - De bovenkant van de leiding is op een diepte van 16,00 m geprojecteerd t.o.v. het laagstgelegen maaiveld. De leiding voldoet hiermee aan de dekkings- en afstandseisen.
- De HDD's dienen een minimale afstand tot gesloten verhardingen van Provincie Brabant hebben van 3 meter (Regeling veranderen en gebruiken van wegen Noord-Brabant, 2013)
    - Bij de provinciale weg N289 liggen de HDD's dieper dan 10 m t.o.v. maaiveld. De leiding voldoet hiermee aan de dekkings- en afstandseisen.

2.5 Inwendige overdruk

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

2.6 Grondwaterstand

Het uittredepunt ligt binnen het peilbesluit van Zuid-Beveland-Oost van waterschap Scheldestromen (zie figuur 2). Het zomerpeil is NAP +0,10 m en het winterpeil is NAP -0,30 m. We gaan in deze rapportage uit van een grondwaterstand van NAP +0,10 m.



Figuur 2 Peilbesluit Zuid-Beveland-Oost

2.7 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°.

2.8 Importantiefactor

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

2.9 Geotechnische parameters

De geotechnische gegevens en parameters gebruikt 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 boortrace [m]
CPT35000	Sondering	-10	20
CPT11849	Sondering	-22	10
118.S02	Sondering	-25	180
118.S04	Sondering	-25	180

De bovenkant van de vaste zandlaag bevindt zich op -6 m NAP aan de zuidkant van het geplande boortracé en op -9 m NAP aan de noordkant van het geplande boortracé. Uit het grondonderzoek blijkt dat boven de zandlaag de grond bestaat uit klei en veenlagen. Het verloop van de diepte van deze klei en veenlagen is met behulp van de beschikbare boringen en sonderingen vrij nauwkeurig vastgesteld. Hieruit kan geconcludeerd worden dat aanvullend grondonderzoek niet noodzakelijk is. Tabel 2- en Tabel 2-3 laten de in de berekeningen aangehouden grondparameters voor de in het grondonderzoek herkende grondlagen langs de zuidkant en noordkant van het profiel zien.

Tabel 2-2 Grondparameters gebruikt in de berekening langs de zuidzijde van het profiel gebaseerd op 118.S02 en 118.S04.

Niveau bovenkant [m t.o.v. NAP]	Niveau onderkant [m t.o.v. NAP]	Lithologie	γ_d [kN/m^3]	γ_n [kN/m^3]	c' [kPa]	φ' [°]	Su top/bottom [kN/m^2]	E [kN/m^2]
1,4	-0,2	Klei, zwak zandig, matig	17	17	5,0	22,5	120,0	6000
-0,2	-2,5	Klei, schoon, slap	14	14	2,5	17,5	35,0	500
-2,5	-5,8	Veen, slap	11	11	1,5	15,0	25,0	200

-5,8	-14,0	Zand, schoon, los	17	19	0,0	30,0	0,0	15000
-14,0	-29,0	Zand, schoon, vast	19	21	0,0	35,0	0,0	60000

Tabel 2-3 Grondparameters gebruikt in de berekening langs de noordzijde van het profiel gebaseerd op CPT 35000 en CPT 11849.

Niveau bovenkant [m t.o.v. NAP]	**Niveau onderkant [m t.o.v. NAP]**	**Lithologie**	**γ_d [kN/m^3]**	**γ_n [kN/m^3]**	**c' [kPa]**	**φ' [°]**	**Su top/bottom [kN/m^2]**	**E [kN/m^2]**
1,4	-0,2	Klei, zwak zandig, matig	17	17	5,0	22,5	120,0	6000
-0,2	-2,5	Klei, schoon, slap	14	14	2,5	17,5	35,0	500
-2,5	-5,8	Veen, slap	11	11	1,5	15,0	25,0	200
-5,8	-9,0	Klei, schoon, slap	14	14	2,5	17,5	35,0	500
-5,8	-14,0	Zand, schoon, los	17	19	0,0	30,0	0,0	15000
-14,0	-29,0	Zand, schoon, vast	19	21	0,0	35,0	0,0	60000

2.10 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 waardes zijn terug te vinden in de invoer van de muddrukberekeningen in bijlage 3.

2.11 Verkeersbelasting

Ter plaatse van de kruising met de N289 (Reimerswaalweg) is verkeersklasse I gehanteerd conform figuur C17 uit NEN3650-1:2020. Voor secundaire wegen wordt verkeersklasse II gehanteerd.

2.12 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 horizontale bochten van 219 en 225 m en verticale bochten 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 UITVOERINGSAFWIJKING
Verticaal*	+1/-1 m
Horizontaal: - in lengterichting; t.p.v. uittredepunt - in dwarsrichting; t.p.v. uittredepunt - in dwarsrichting; tracé tussen in- en uittredepunt	 +5/-2 m +1/-1 m +5/-5 m
Bochtstralen	< 10%

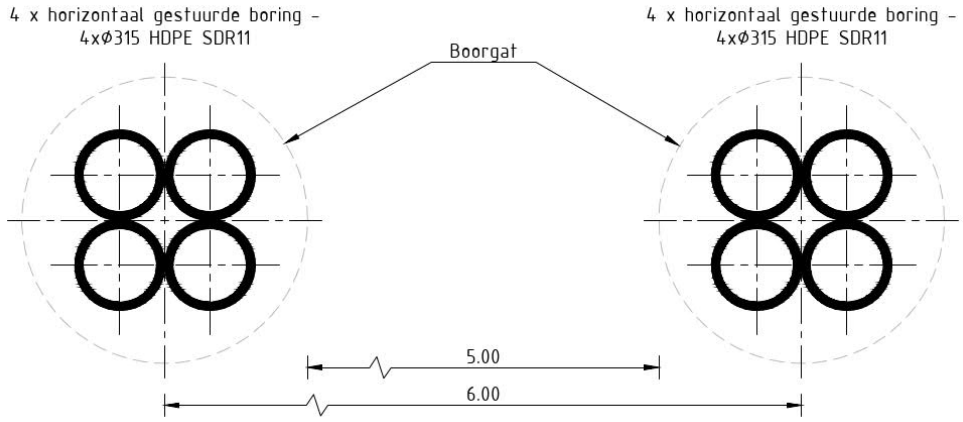
Figuur 3, afwijkingstoleranties HDD's (Bron: Richtlijn Boortechnieken)

3. Ontwerp

3.1 Gegevens HDD

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

- materiaal: PE100 4x Ø315 mm SDR 11;
- lengte: 443 m;
- maximale diepte hart buis: NAP -16,76 m;
- intredehoek: 15°;
- uittredehoek: 15°;
- verticale boogstralen: 250 m;
- horizontale boogstralen: 219 en 225 m.



Figuur 4 Doorsnede van de 2 HDD's

Aan de hand van NEN 3650 en NEN 3651, de Richtlijn Boortechniek, de eisen van ProRail en de voorschriften van LSNed is een ontwerp gemaakt voor de HDD's. De voornaamste randvoorwaarden voor het ontwerp zijn:

- De diepteligging van de leiding zoals aangegeven in paragraaf 2.4.
- De aansluiting op de door LSNed aangewezen ligging van het 150 kV tracé binnen de leidingenstraat.
- 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 sterkte van de leiding dient zodanig te zijn dat deze intact blijft gedurende de aanleg en in de bedrijfsfase.

3.2 Boorparameters

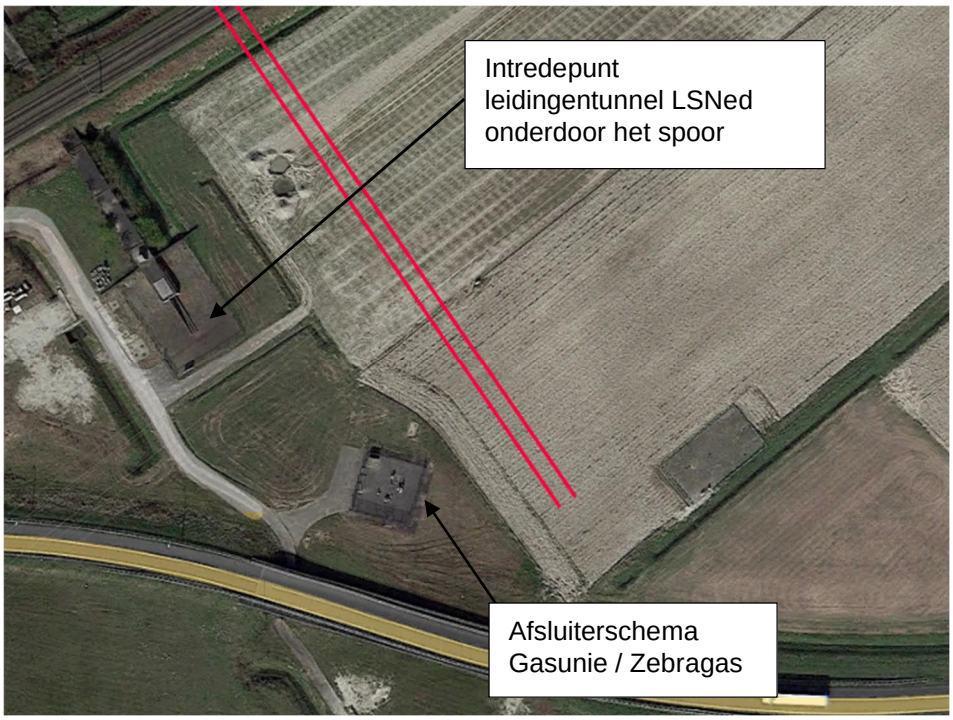
Bij de berekeningen zijn de volgende boorparameters aangehouden:

- boorinstallatie : maxi-rig 80 ton;
- diameter boorstang : 0,17 m;
- volumegewicht bentoniet : 11,5 kN/m^3;
- gewicht drillrig : circa 18.000 kg (18 ton);
- diameter pilothole : Ø300 mm;
- ruimgat : Ø500 mm;
- boorgat : Ø1000 mm.

3.3 Intredepunt

Het intredepunt ligt aan de zuidzijde in de leidingenstraat waar ook de ondergrondse tracés voor 150 kV en 380 kV zijn geprojecteerd (zie figuur 5). De locatie van de intredepunten dienen in het werk geoptimaliseerd te worden, zodat de te graven aansluitlengte op het ondergrondse 150 kV tracé zo minimaal mogelijk is. Hiermee blijft ook de hoeveelheid beschikbare ruimte in de leidingenstraat zo groot mogelijk.

De locatie is bereikbaar via een afrit van de N289 richting het bouwland. De afrit kruist de spoorlijn en komt uit op het bouwland.

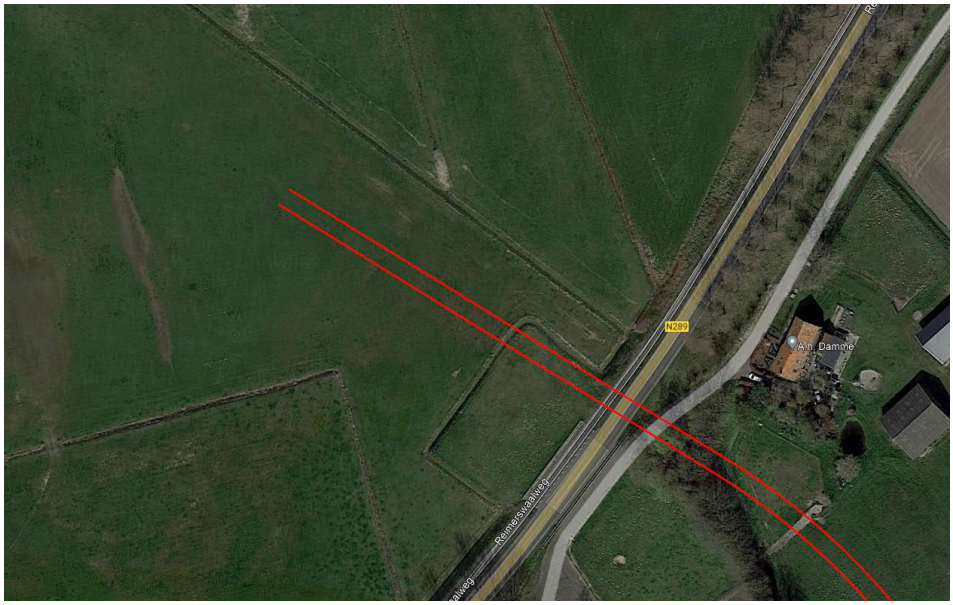


Figuur 5 Intredepunt VKDP HDD03 in de leidingenstraat van LSNed

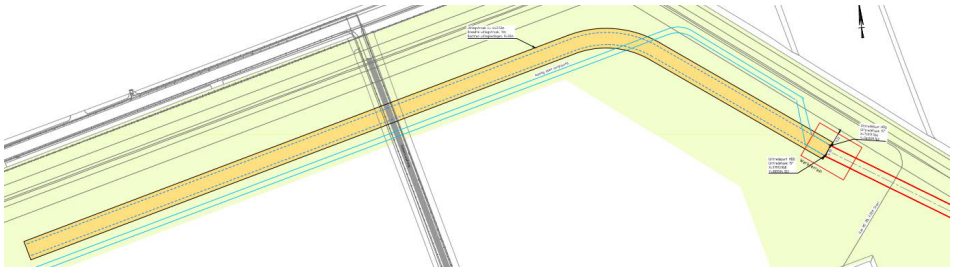
3.4 Uittredepunt en uitlegstrook

Het uittredepunt ligt in het bouwland aan de noordzijde van het boortracé (zie figuur 6).

De locatie is bereikbaar via de 3e Hogerwaard Dwarsweg ten westen van het uittredepunt. De uitlegstrook ligt in het bouwland langs een sloot en buigt af naar het westen bij de Hogerwaardpolder (zie figuur 7). De uitlegstrook komt in de leidingenstraat van LSNed te liggen.



Figuur 6 Uittredepunt VKDP HDD03



Figuur 7 Uitlegstrook VKDP HDD03 in de leidingenstraat van LSNed

4. Berekeningsresultaten

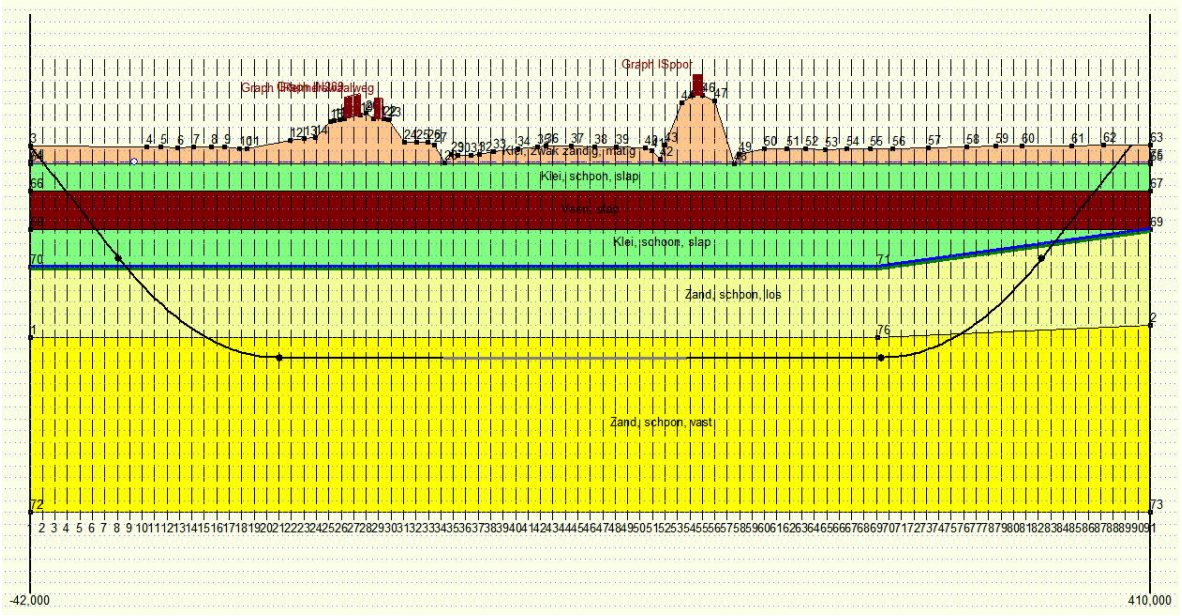
De volgende berekeningen zijn voor de horizontaal gestuurde boring uitgevoerd:

- 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.

Bij de berekeningen is het profiel van de huidige situatie gebruikt, aangezien deze ten tijde van de uitvoering van de HDD nog aanwezig is en maatgevend is voor de muddruk en trekkracht.

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 de HDD's

4.1 Trekkrachtberekening

De berekende maximale trekkracht bedraagt 346*1,8 = 623 kN bij niet-gevulde gevulde leidingen. Dit leidt tot een maximale spanning tijdens de intrekfase van 6,67 N/mm^2 aan het einde van de intrekoperatie. Toelaatbaar is 10 N/mm^2.

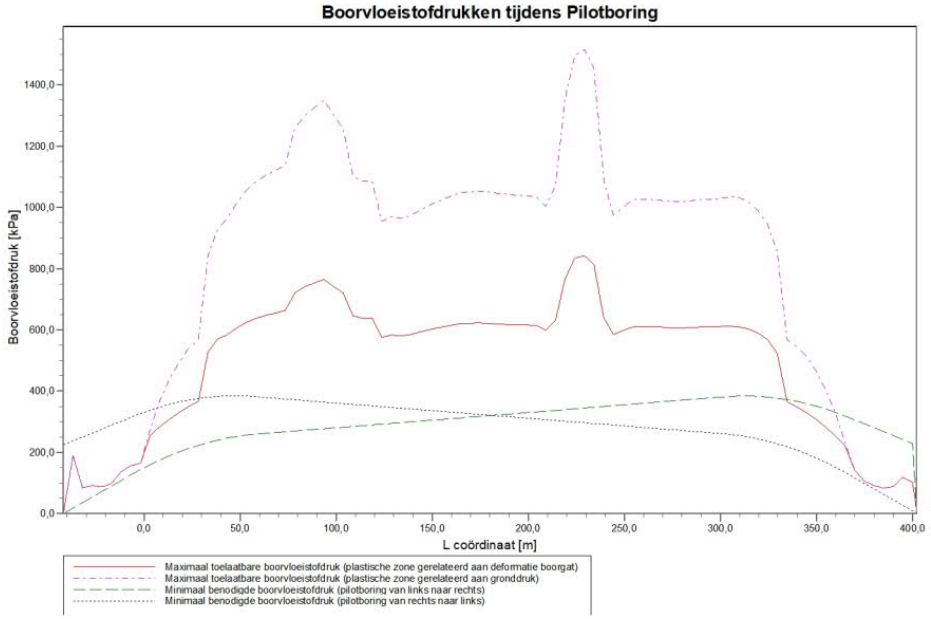
4.2 Sterkteberekening bedrijfsfase

Voor de mantelbuizen is een sterkteberekening in de bedrijfsfase gemaakt. Hieruit volgt een maximaal optredende spanning van 3,10 N/mm^2. Toelaatbaar is 8 N/mm^2 waarbij is uitgegaan van PE 100 SDR 11.

Uit de sterkteberekening blijkt dat een deflectie van 6,3 mm (2,01% x D_0) optreedt. Toelaatbaar is een maximale deflectie van 25,20 mm (8% x S x D_0).

4.3 Muddrukberekening

Bij de geplande diepteligging van de HDD's bestaat tijdens de pilotboring, getuige de berekeningsresultaten, de kans op muduitbraak in de laatste 50 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 Muddrukberekening tijdens pilot fase

4.4 Implosie

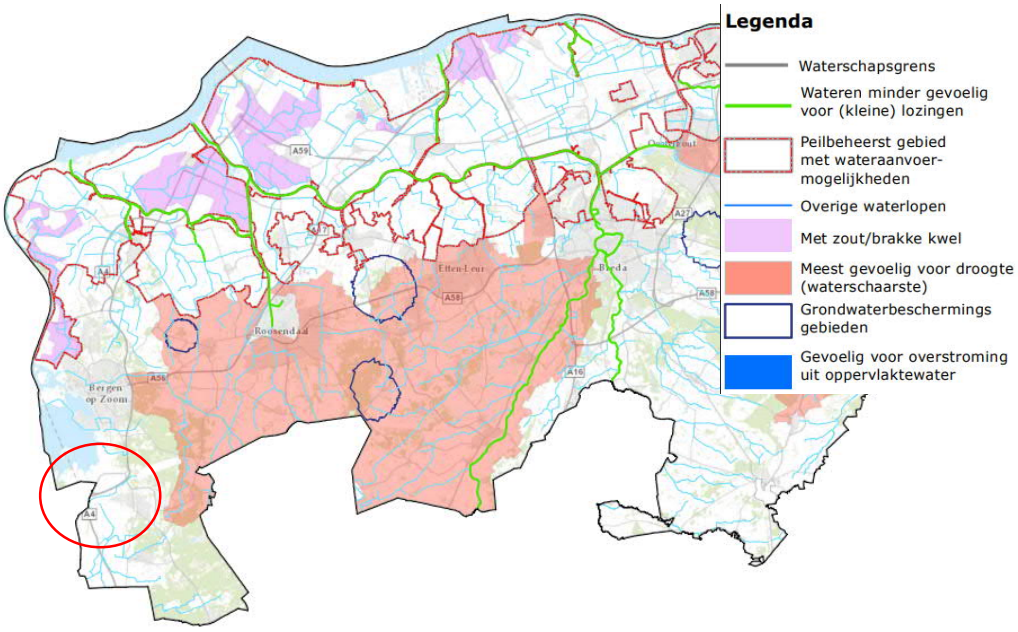
Zowel tijdens de intrekoperatie als de bedrijfstoestand blijkt uit de berekeningen dat geen implosie optreedt. De berekende alzijdige overdruk op lege leiding bedraagt circa 168 kN/m^2, terwijl 280 kN/m^2 toelaatbaar is.

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 Zoute ondergrond

Waterschap Brabantse Delta heeft in het waterbeheerplan een kaart gemaakt van de risicogebieden (droogte, zoute/brakke kwel, overstroming, ect) (zie figuur 10). Het gebied waar VKDP HDD3 wordt aangelegd (rode cirkel) betreft geen risicogebied. Daarom valt geen zoute/brakke kwel te verwachten.

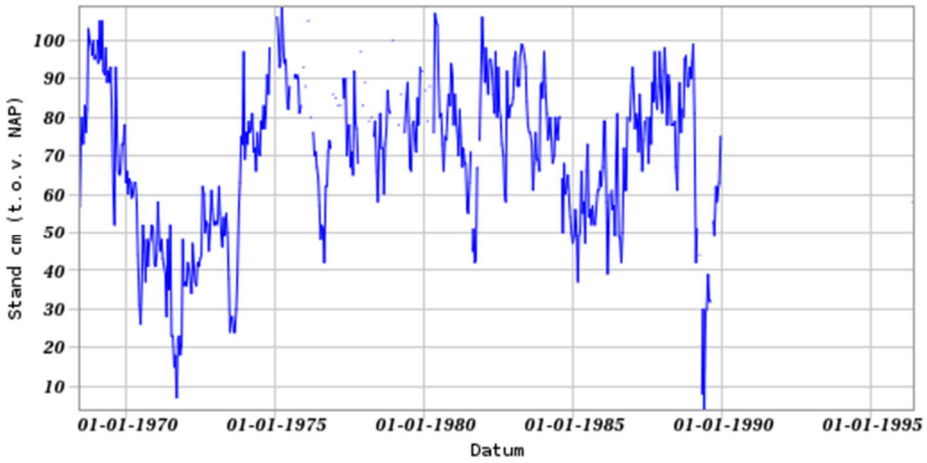


Figuur 10 Risicogebieden waterschap Brabantse Delta

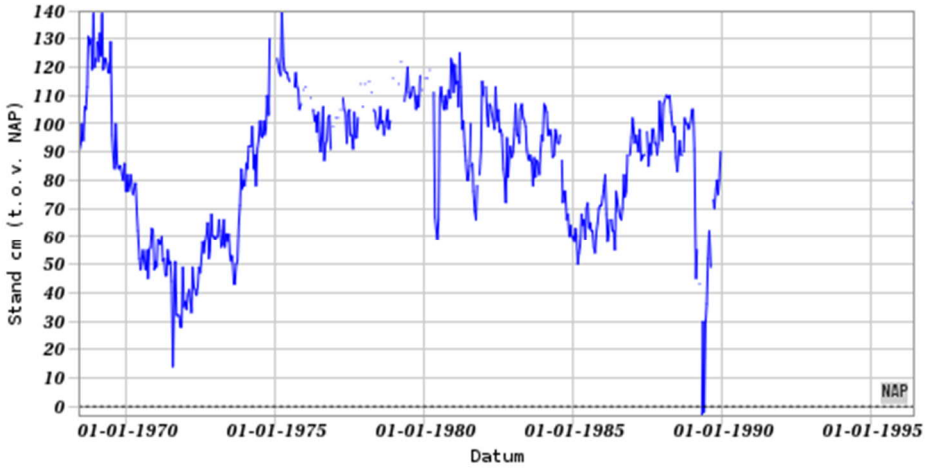
4.5.2 Kwel uit het eerste watervoerende pakket

Het uittredepunt van de HDD's liggen in het deelgebied Zuid-Beveland-Oost waar Waterschap Scheldestromen het peilbeheer voert.

Ter illustratie zijn de meetgegevens uit DINOloket van peilbuis B49D0096 hieronder weergegeven. Deze peilbuis ligt op circa 750 m afstand van het boortracé. Te zien is dat de freatische grondwaterstand B49D0096-001 in periodes iets lager ligt dan de grondwaterstand in het eerste watervoerende pakket B49D0096-002. De bovenliggende kleilagen sluiten 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.



Figuur 11 *Freatische grondwaterstand B49D0096-001 uit Dinoloket, filter op NAP 0,2 tot -0,8m*



Figuur 12 *Grondwaterstand in het eerste watervoerende pakket, B30H0096-002 uit Dinoloket, filter op NAP -10,5 tot -11,5 m*

4.5.3 Kwel tussen de peilgebieden

De twee HDD's hebben hun intredepunt in het beheergebied van waterschap Brabantse Delta en hun uittredepunt in het beheergebied van waterschap Scheldestromen.

Het waterschap Brabantse Delta heeft bij het intredepunt geen peilbesluit vastgesteld. Dit komt omdat dit gebied is gedefinieerd als 'vrij afwaterende gebieden'. In die gebieden kan het waterschap geen extra water aanvoeren, waardoor het meest optimale peil kan zakken. Een gegarandeerd waterpeil is dus niet mogelijk in deze gebieden en deze zal variëren met de hoeveelheid neerslag. Uitgangspunt is daarom dat, met name in natte perioden, een hogere grondwaterstand optreedt en mogelijk kwel via de HDD's kan ontstaan.

4.5.4 Kwelmaatregelen

De stijghoogte in het eerste watervoerende pakket is op deze locatie hoger dan de laagste gemiddelde grondwaterstand. De bovenliggende kleilagen sluiten 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. Ook bestaat de mogelijkheid dat kwel tussen peilgebieden 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 eerste watervoerende pakket (de vaste zandlaag). 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:

- Werken in de leidingenstraat van LSNed. De aannemer dient bij zijn werkzaamheden rekening te houden met de voorschriften van LSNed. Dit betekent dat de werkzaamheden plaatsvinden in de buurt van buisleidingen uit categorie 1: buisleidingen met gevaarlijke inhoud.
- Het nemen van de in paragraaf 4.5.4 benoemde kwelmaatregelen. Voorafgaand aan de uitvoering dienen de plannen hiervoor goedgekeurd te worden door waterschap Scheldestromen en waterschap Brabantse Delta.
- De mantelbuizen dienen met een sleeve afgesloten te worden om een kwelstroom door de buis te voorkomen.
- De boorrig en het materieel worden opgesteld aan de zuidzijde van de boring in de leidingenstraat van LSNed. De locaties van de intredepunten dienen in het werk geoptimaliseerd te worden, zodat de te graven aansluitlengte op het ondergrondse 150 kV tracé zo minimaal mogelijk is.
- Het uittredepunt komt boven voor de transportleiding van Zebragas. Voorafgaand aan de werkzaamheden dient de aannemer zich te vergewissen van de exacte ligging van deze leiding.
- Uitlegstrook: de mantelbuizen worden uitgelegd aan de noordzijde van de HDD in de leidingenstraat van LSNed.
- 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 plaatsbepalings-systeem 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 hoogspanningsmasten.

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 provinciale weg N289, de leidingenstraat van LSNed en de spoorlijn Roosendaal-Vlissingen. Dit document betreft de vergunningsrapportage voor provincie Brabant en ProRail. Het ontwerp en de berekeningen zijn uitgevoerd conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020, de Richtlijn Boortechnieken, de eisen van ProRail en de voorschriften van LSNed.

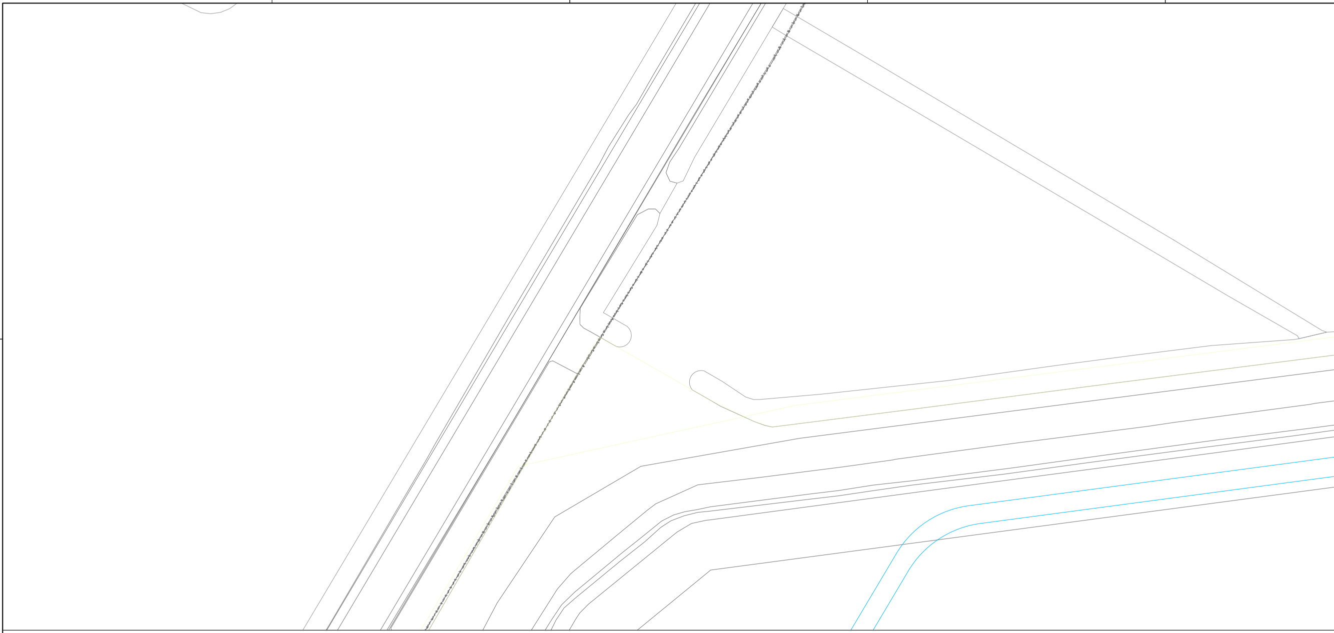
6.2 Uitkomsten ontwerp en berekening

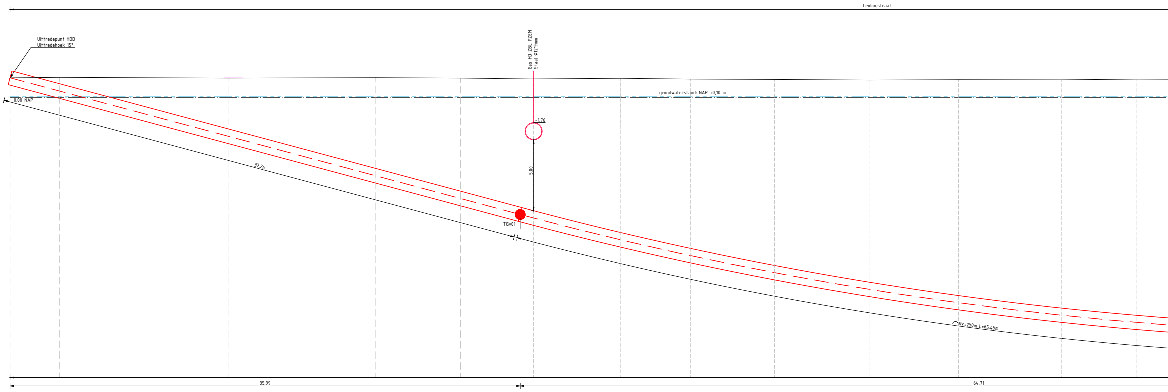
De HDD's, weergegeven op de tekeningen die zijn bijgevoegd als bijlage 1, zijn ontworpen en berekend volgens de vigerende eisen.

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

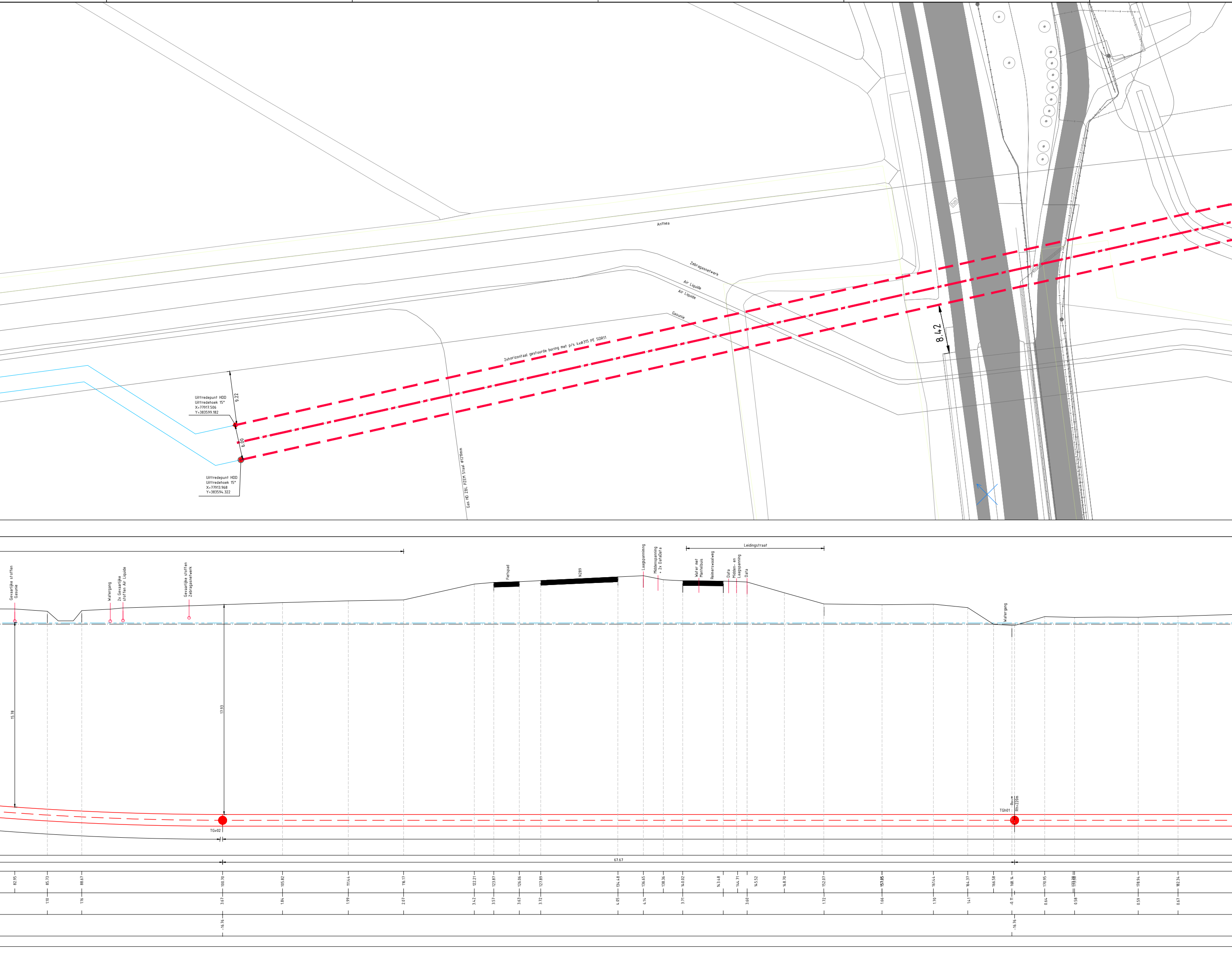
Er dienen kwelmaatregelen genomen te worden. Als kwelmaatregel stellen wij voor om aan beide zijden van de HDD's een grout-prop aan te brengen door middel van het nagrouten van de boorgang met mantelbuizen vanaf het maaiveld tot 2 à 3 m in het eerste watervoerende pakket. De ruimte tussen de kabel en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

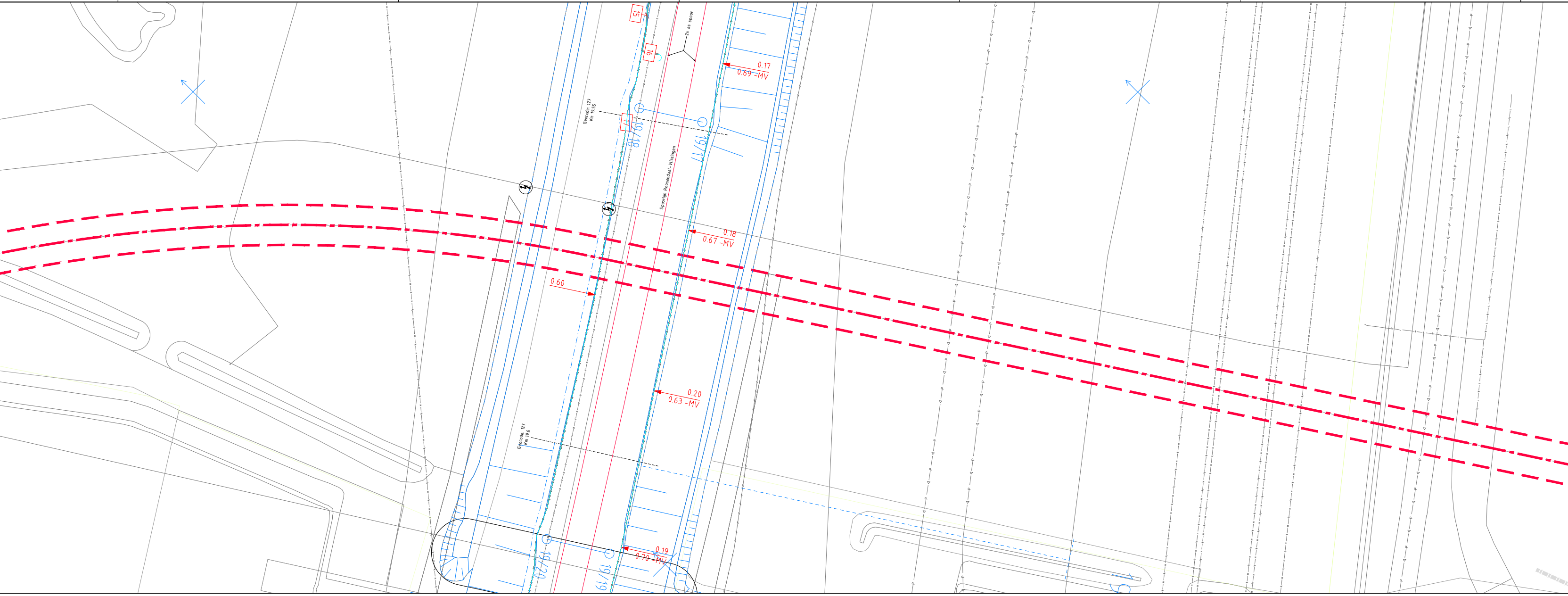
Bijlage 1 – Ontwerptekening



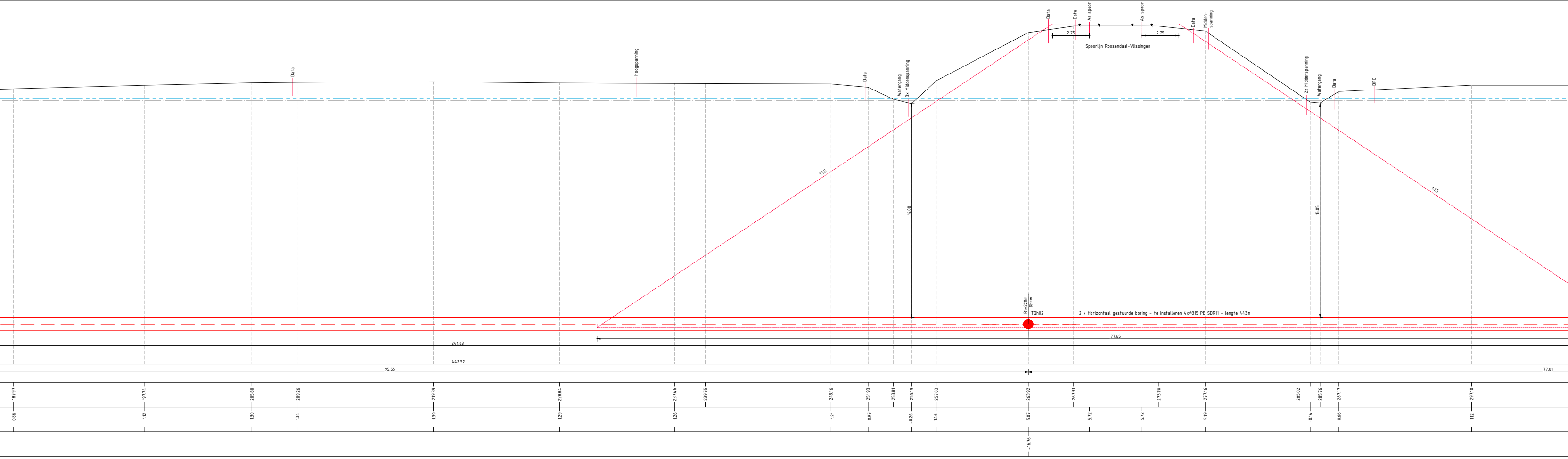

Leidingstraat
Uittredepunt HDD
Uittredehoek 15°
0.00 NAP
Gas HD ZBL PZEM
Staal Φ1219mm
grondwaterstand: NAP +0,10 m.
-1.76
5.00
37.26
TGv01
R=250m L=65.45m
35.99
64.71

Horizontale afstand in meters	0.00	3.50	15.44	25.80	31.78		36.94	43.05	48.02	53.93	60.61	66.92	74.20	79.50
Hoogte maaiveld t.o.v.. NAP	1.40	1.43	1.39	1.41	1.38	1.33	1.32	1.32	1.31	1.28	1.24	1.27	1.26	1.31
Hoogte center buis/boring t.o.v. NAP	1.40					-8.24								

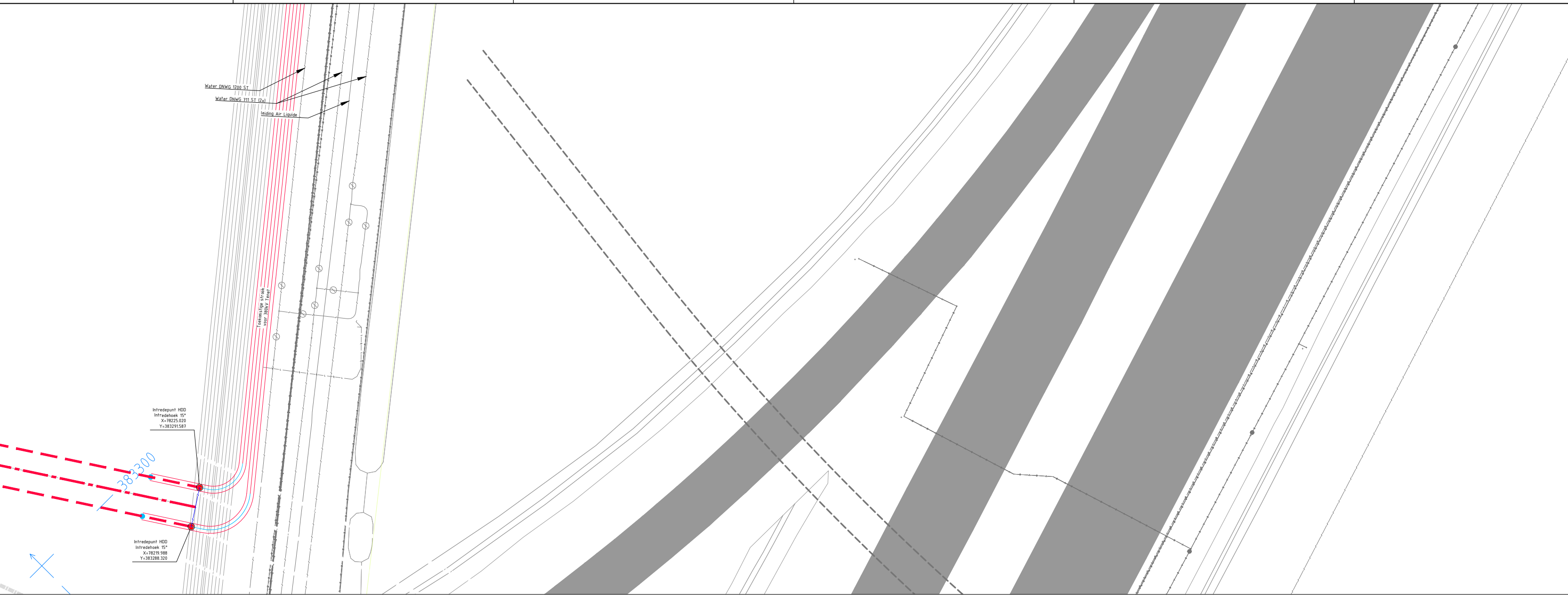

Anthea
Zebragasnetwerk
Air Liquide
Air Liquide
Gasunie
2xhorizontaal gestuurde boring met p/s 4xΦ315 PE SDR11
8.42
9.22
6.00
Uittredepunt HDD
Uittredehoek 15°
X=77917.506
Y=383599.182
Uittredepunt HDD
Uittredehoek 15°
X=77913.968
Y=383594.322
Gas HD ZBL PZEM Staal Φ1219mm
Gevaarlijke stoffen Gasunie
Watergang
2x Gevaarlijke stoffen Air Liquide
Gevaarlijke stoffen Zebragasnetwerk
Fietspad
N289
Laagspanning
Middenspanning + 2x DataData
Leidingstraat
Water met Mantelbuis
Reimerswaalweg
Data
Midden- en Laagspanning
Data
Watergang
15.38
17.93
TGv02
TGh01
Rv=∞
Rh=220m
67.67
82.95
85.73
88.67
100.70
105.82
111.44
116.17
122.21
123.87
126.06
127.89
134.48
136.65
138.36
140.02
143.48
144.71
145.52
148.70
152.07
157.05
161.44
164.37
166.58
168.14
170.95
173.38
178.94
182.34
1.10
1.16
3.67
1.84
1.99
2.07
3.42
3.57
3.63
3.72
4.05
4.14
3.71
3.60
1.72
1.66
1.70
1.41
-0.11
0.64
0.58
0.59
0.67
-16.76
-16.76

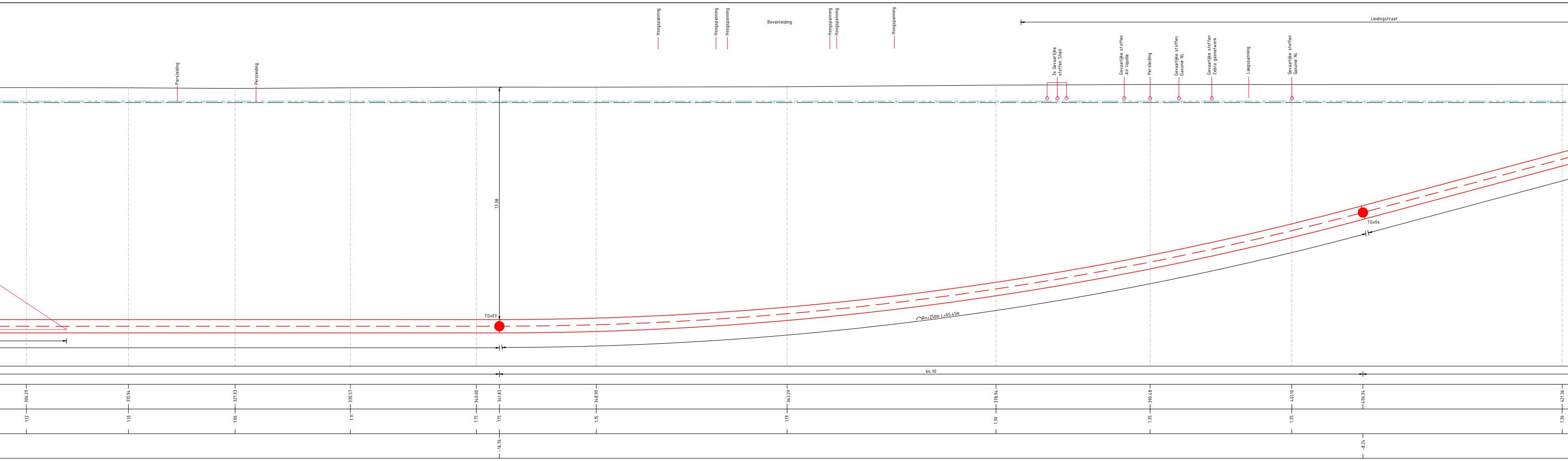

15
16
2x as spoor
0.17
0.69 -MV
Geocode: 127
Km 19.55
19/18
19/17
Spoorlijn Roosendaal-Vlissingen
0.18
0.67 -MV
0.60
0.20
0.63 -MV
Geocode: 127
Km 19.6
19/20
19/19
0.19
0.70 -MV

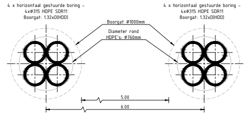
Bovenaanzicht schaal 1:200


Data
Data
As spoor
As spoor
Data
Midden-
spanning
2.75
2.75
Spoorlijn Roosendaal-Vlissingen
Data
Hoogspanning
Data
Watergang
3x Middenspanning
2x Middenspanning
Watergang
Data
DPO
1:15
1:15
16.80
16.05
Rh=220m
Rh=∞
TGh02
2 x Horizontaal gestuurde boring - te installeren 4xΦ315 PE SDR11 - lengte 443m
77.65
241.03
442.52
95.55
77.81
187.97
197.74
205.80
209.26
219.39
228.84
237.46
239.75
249.76
251.93
253.81
255.19
257.03
263.92
267.31
273.70
277.16
285.02
285.76
287.17
297.10
0.86
1.12
1.30
1.34
1.39
1.29
1.26
1.21
0.97
-0.26
1.46
5.07
5.72
5.72
5.19
-0.14
0.66
1.12
-16.76

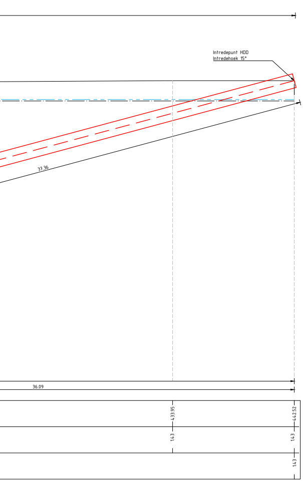
Lengteprofiel schaal 1:100

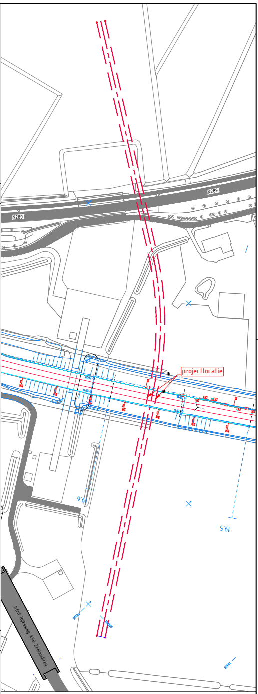

Water DNWG 1200 ST
Water DNWG 711 ST (2x)
leiding Air Liquide
Toekomstige strook voor 380kV Tenet
Intredepunt HDD
Intredehoek 15°
X=78225.020
Y=383291.587
383300
Intredepunt HDD
Intredehoek 15°
X=78219.988
Y=383288.320


Persleiding
Persleiding
Hoogspanning
Hoogspanning
Hoogspanning
Bovenleiding
Hoogspanning
Hoogspanning
Hoogspanning
Leidingstraat
3x Gevaarlijke stoffen Shell
Gevaarlijke stoffen Air liquide
Persleiding
Gevaarlijke stoffen Gasunie NL
Gevaarlijke stoffen Zebra gasnetwerk
Laagspanning
Gevaarlijke stoffen Gasunie NL
17.38
TGv03
TGv04
Rv=250m L=65.45m
64.70
306.29
313.94
321.93
330.57
340.00
341.83
348.99
363.29
378.94
390.48
401.10
406.34
421.36
1.12
1.10
1.06
1.11
1.15
1.15
1.15
1.19
1.30
1.35
1.35
1.36
-16.76
-8.24


4 x horizontaal gestuurde boring -
4xØ315 HDPE SDR11
Boorgat: 1.32xD(HDD)
Boorgat Ø1000mm
Diameter rond
HDPE's: Ø760mm
4 x horizontaal gestuurde boring -
4xØ315 HDPE SDR11
Boorgat: 1.32xD(HDD)
5.00
6.00

Principe doorsnede Schaal 1:20


Intredepunt HDD
Intredehoek 15°
37.36
36.09
4.33.95
1.43
4.42.52
1.43
1.43


N289
N289
projectlocatie
9.6
19.5
Afrit Rijksweg A58 Zeelandweg

Overzicht Schaal 1:1000

Legenda

Kadastrale grens
Leiding gevaarlijke inhoud
DPO-leiding
Datatransport
Landelijk hoogspanningsnet
Laagspanning
Middenspanning
Gasleiding hoge druk
Gasleiding lage druk
Waterleiding
Drukriolering
Riolering vrijverval
Horizontaal gestuurde boring (HDD)
Verharding (asfalt)
Bestaande topo
Bebouwing
Primaire waterkering
Leidingstrook LSNed
Verharding/wegen
Ondergrond KS-bladen van ProRail versie d.d. 28-08-2022

● 16	Locatie sondering met nummer
● TGv04	Verticaal tangentpunt
● TGh01	Horizontaal tangentpunt
Rh=225m	Horizontale boogstraal
Rv=250m	Verticale boogstraal

Vergunningstekening

Rev	Omschrijving	Datum rev.	Get.	Gec.	Goedg.
H	Vergunningstekening definitief, wijziging principedetail, Overzicht	06-07-2023	BB	MJ	JD
G	Vergunningstekening definitief	01-06-2023	BB	MJ	JD
F	T.b.v. vergunningsaanvraag + toevoegen KS-blad	23-08-2022	JPR/BB	MJ	JD
D	Definitief ontwerp	11-10-2020	BB	MJ	JD
C	Definitief (Diversen w.o. diepteligging HDD)	03-07-2020	BB	MJ	JD
B	Variant 5	05-06-2020	BB	MJ	JD
A	Voorlopig ontwerp	24-05-2020	BB	MJ	JD

Opdrachtgever
TenneT TSO B.V.

Project
HDD's 150 kV ZWO

Onderdeel
VKDP-HDD3
Kruising spoorlijn Roosendaal-Vlissingen Geocode: 127 KM 19.57

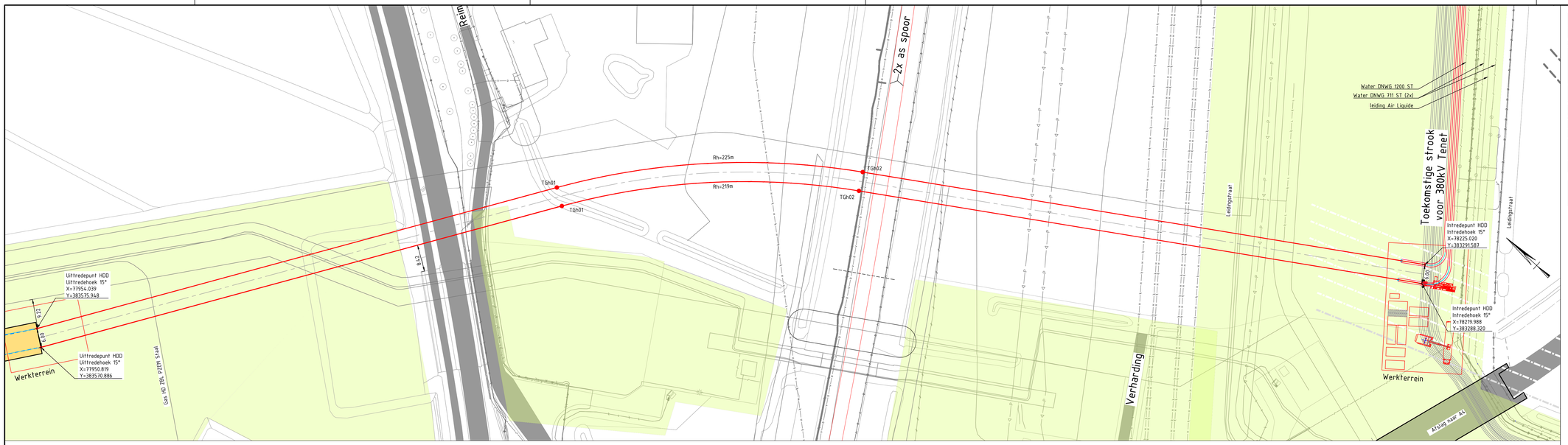
Projectnummer	Tekeningnummer	Versie	Datum van uitgave	Ontwerpfase	Contractnummer
51001237	VKDP-HDD3-ProRail	H	06-07-2023	Vergunningstekening	

Blad	Van	Schaal	Formaat	Kantoor	Get.	Gec.	Goedg.
1	1	Zie tekening	A1 L (4830x594)	De Bilt	BB	MJ	JD

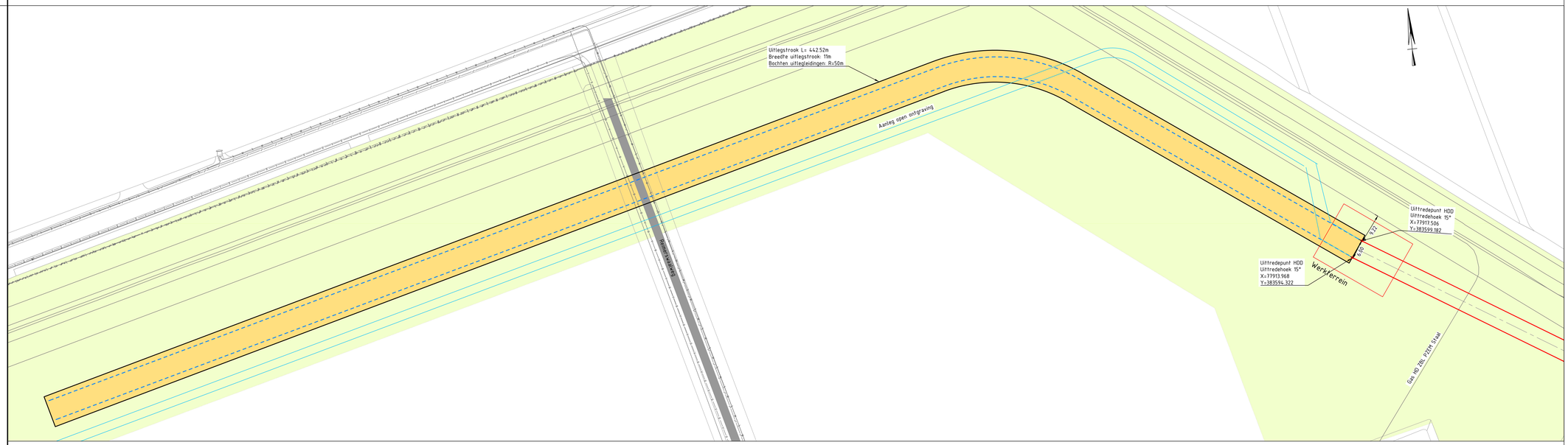
www.sweco.nl

© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden

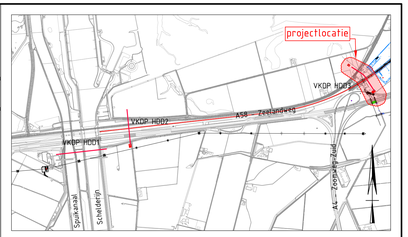
SWECO



Bovenaanzicht schaal 1:500



Bovenaanzicht uitlegstrook schaal 1:500



Overzicht
Schaal n.v.t.

Legenda

- Kadastrale grens
- Leiding gevaarlijke inhoud
- DPO-leiding
- Datatransport
- Landelijk hoogspanningsnet
- Laagspanning
- Middenspanning
- Gasleiding hoge druk
- Gasleiding lage druk
- Waterleiding
- Drukriolering
- Riolering vrijverval
- Horizontaal gestuurde boring (HDD)
- Verharding (asfalt)
- Bestaande topo
- Bebouwing
- Primaire waterkering
- Uitlegstrook
- Leidingstrook LSNed
- Verharding/wegen
- 16 Locatie sondering met nummer
- TGh01 Horizontaal tangentpunt
- Rh=225m Horizontale boogstraal

Vergunningstekening

F	T.b.v. vergunningsaanvraag II	19-09-2022	BB	MJ	JD
E	T.b.v. vergunningsaanvraag	14-04-2022	JPR	MJ	JD
D	Definitief ontwerp	19-08-2020	BB	MJ	JD
C	Definitief	03-07-2020	BB	MJ	JD
B	Variant 5	05-06-2020	BB	MJ	JD
A	Voorlopig ontwerp	24-05-2020	BB	MJ	JD
Rev	Omschrijving	Datum rev.	Get.	Gec.	Goedg.

Opdrachtgever: TenneT TSO B.V.

Project: HDD's 150 kV ZWO

Onderdeel: VKDP-HDD3, Rilland-Volkerdorp-Markiezaat Uitlegstrook

Projectnummer	Tekeningnummer	Versie	Datum van uitgave	Ontwerpfase	Contractnummer
51001237	VKDP-HDD3-U	F	19-09-2022	Definitief ontwerp	

Blad	Van	Schaal	Formaat	Kantoor	Get.	Gec.	Goedg.
2	2	1:500	A1 L (1260x594)	De Bilt	BB	MJ	JD

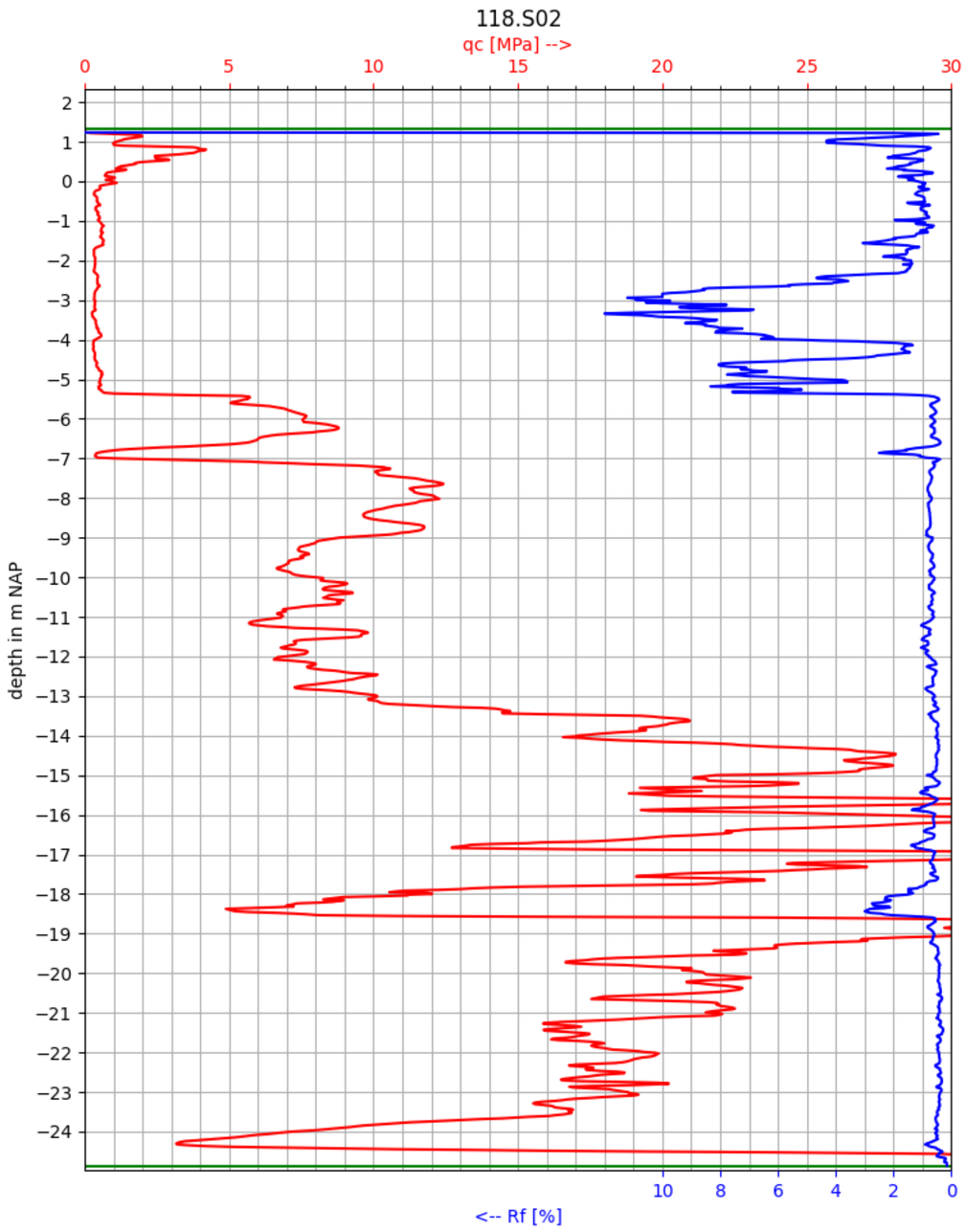
www.sweco.nl
© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden

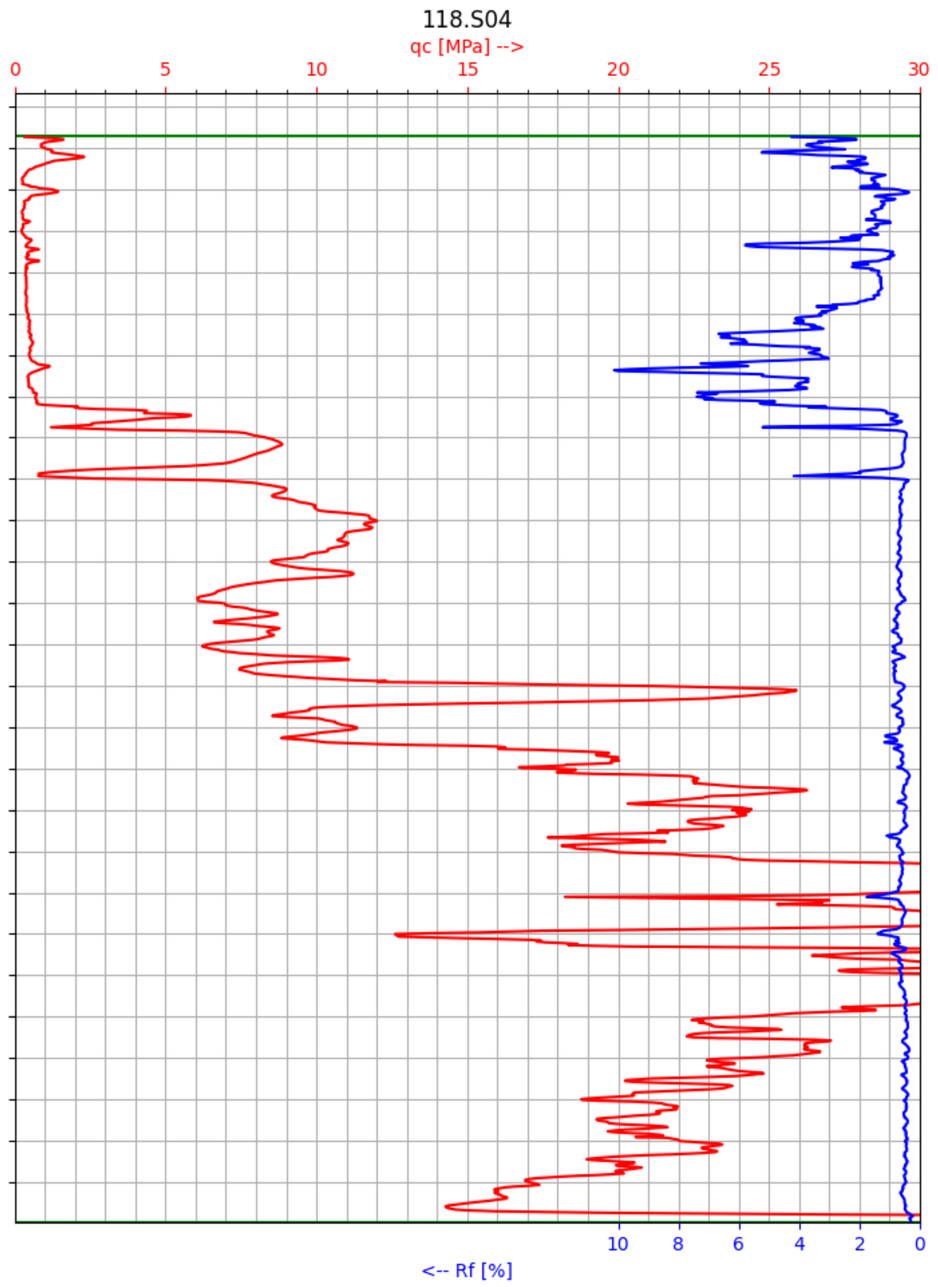
SWECO

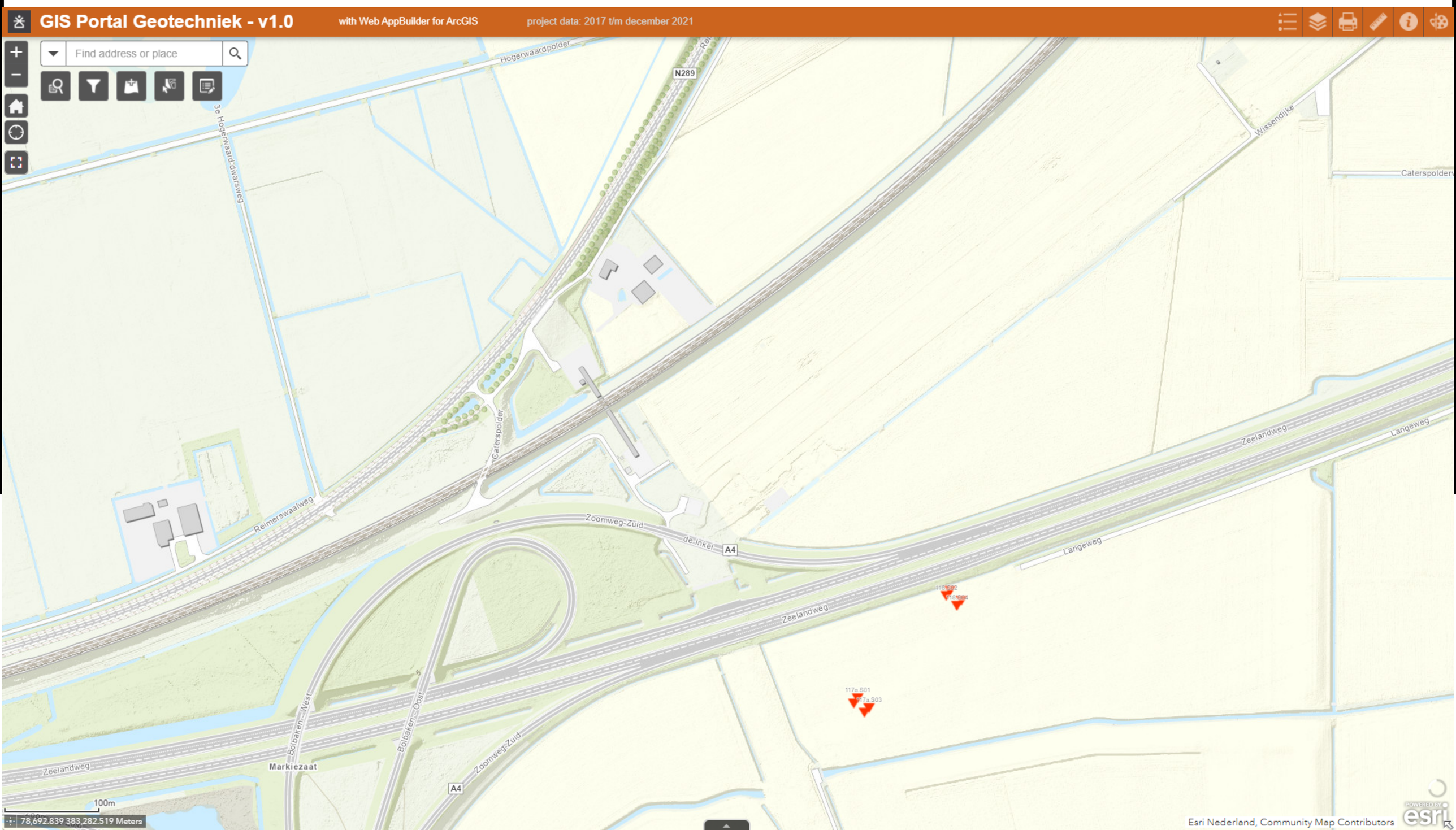
VKDP-HDD3

Bijlage 2 – Geotechnisch onderzoek

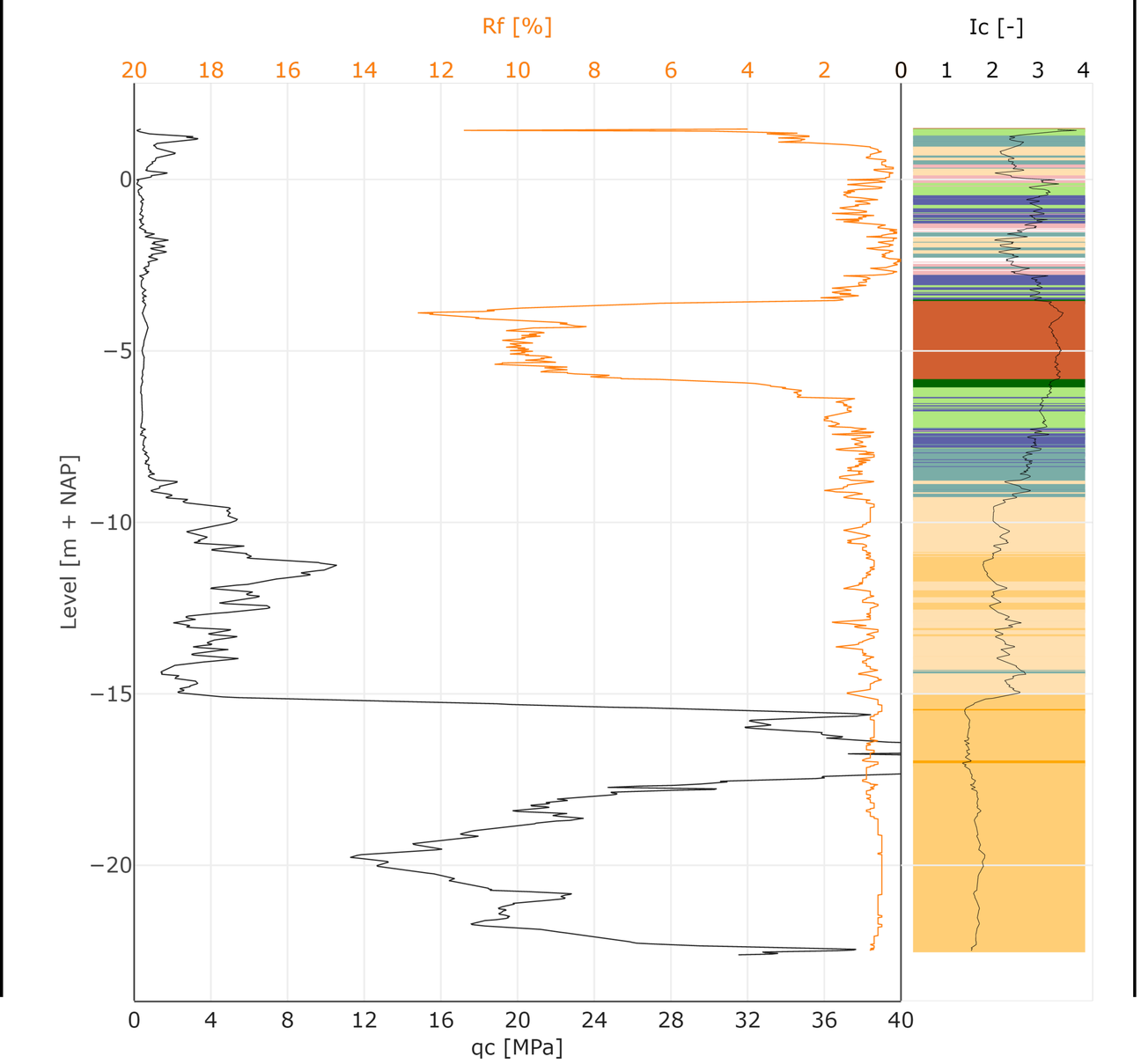
VKDP HDD 3


118.S02
qc [MPa] -->
0
5
10
15
20
25
30
2
1
0
−1
−2
−3
−4
−5
−6
−7
−8
−9
−10
−11
−12
−13
−14
−15
−16
−17
−18
−19
−20
−21
−22
−23
−24
depth in m NAP
10
8
6
4
2
0
<-- Rf [%]

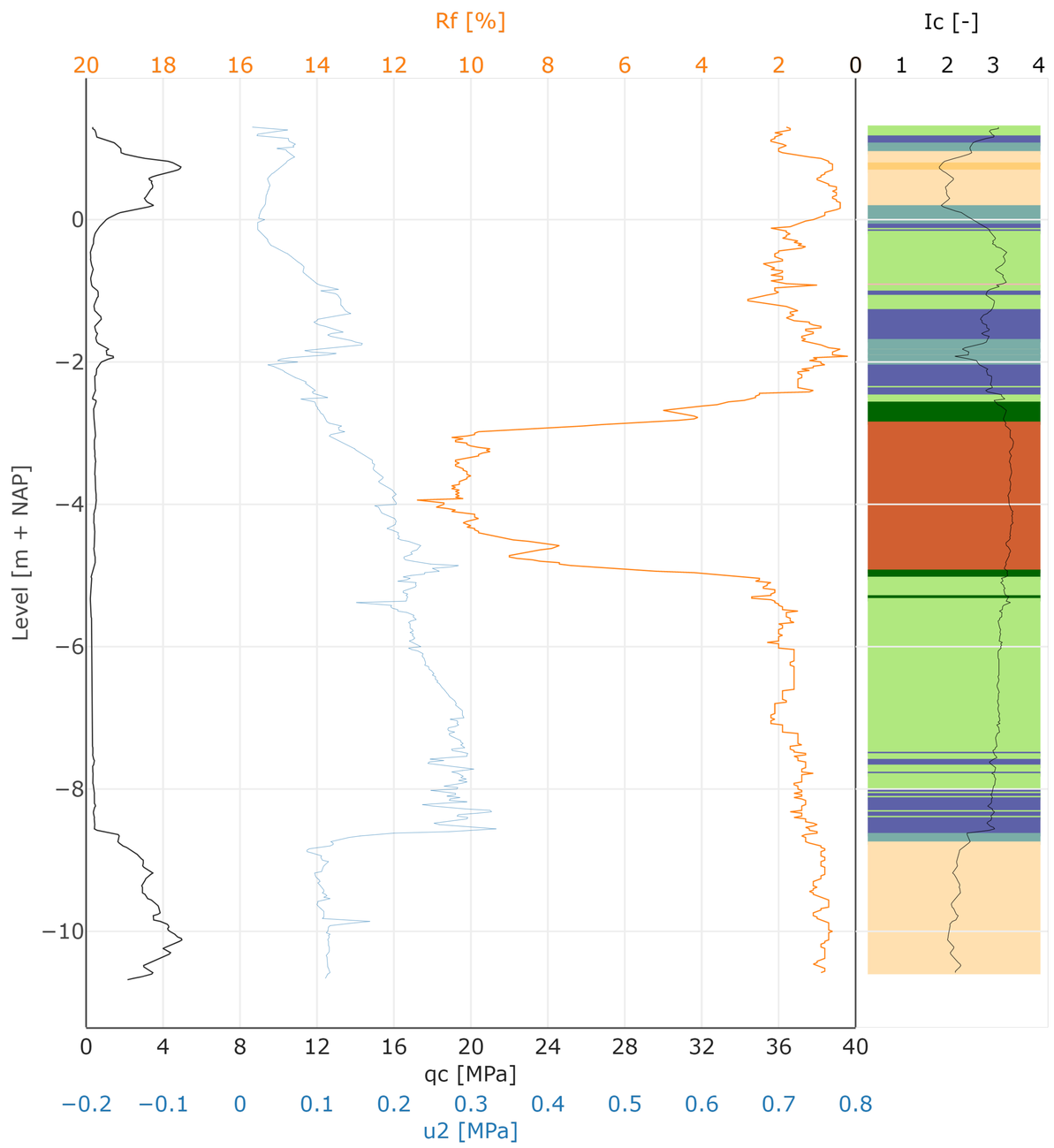

118.S04
qc [MPa] -->
0
5
10
15
20
25
30
10
8
6
4
2
0
<-- Rf [%]


GIS Portal Geotechniek - v1.0
with Web AppBuilder for ArcGIS
project data: 2017 t/m december 2021
Find address or place
Hogerwaardpolder
N289
3e Hogerwaardseweg
Wissendijke
Caterspolder
Reimerswaalweg
Zoomweg-Zuid
de Inkel
A4
Zeelandweg
Langeweg
Bolbaken-West
Bolbaken-Oost
Markiezaat
117a.S01
117a.S03
100m
78,692.839 383,282.519 Meters
Esri Nederland, Community Map Contributors

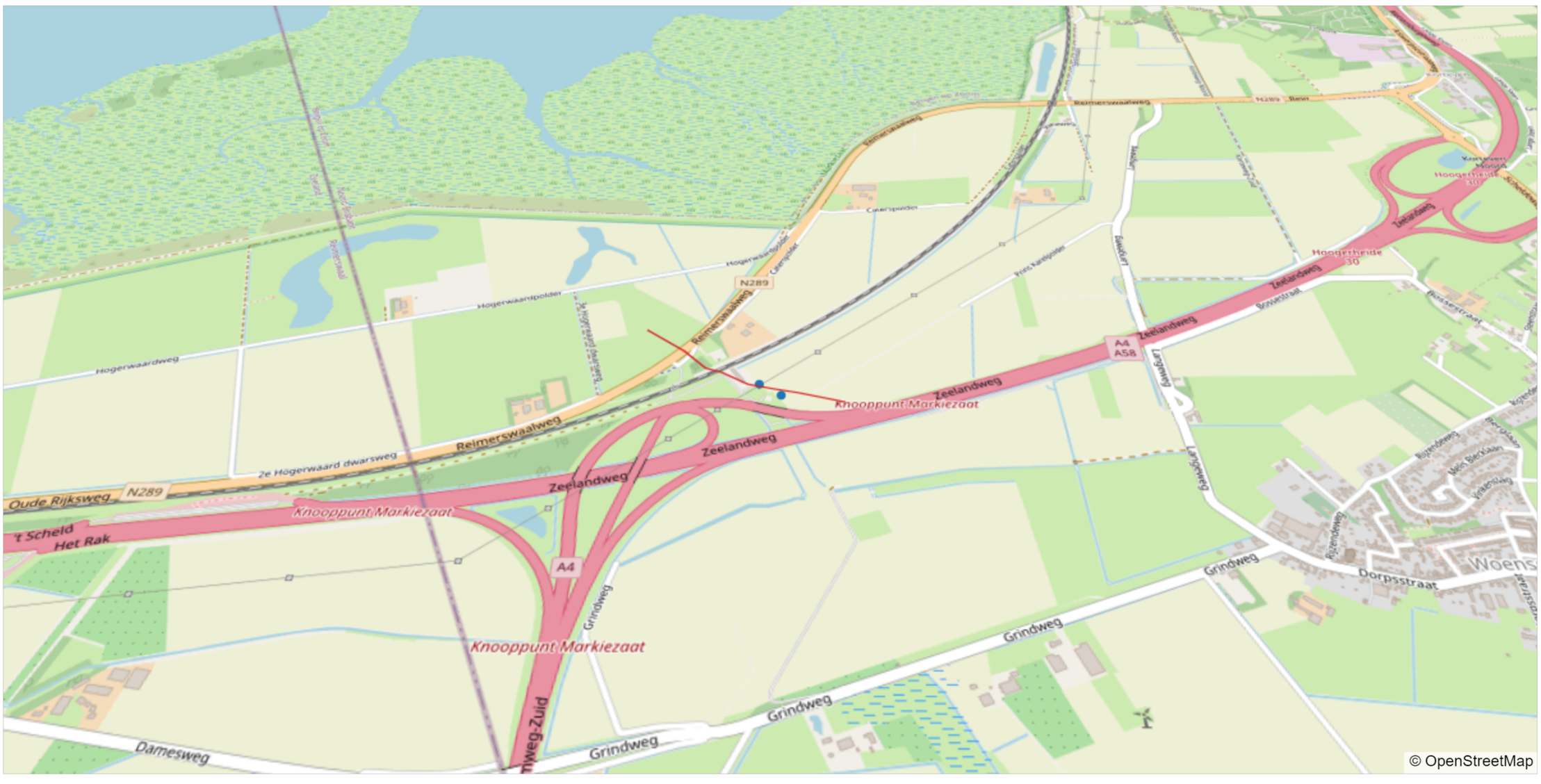
VKDP HDD 3



- Gravelly to dense sand
- Sands
- Sand mixtures
- Silt mixtures
- Clay
- Clay (org. mat) [3<N<15]
- Organic clay [15<N<30]
- Peat [N>30]
- Sensitive, fine grained
- Unknown

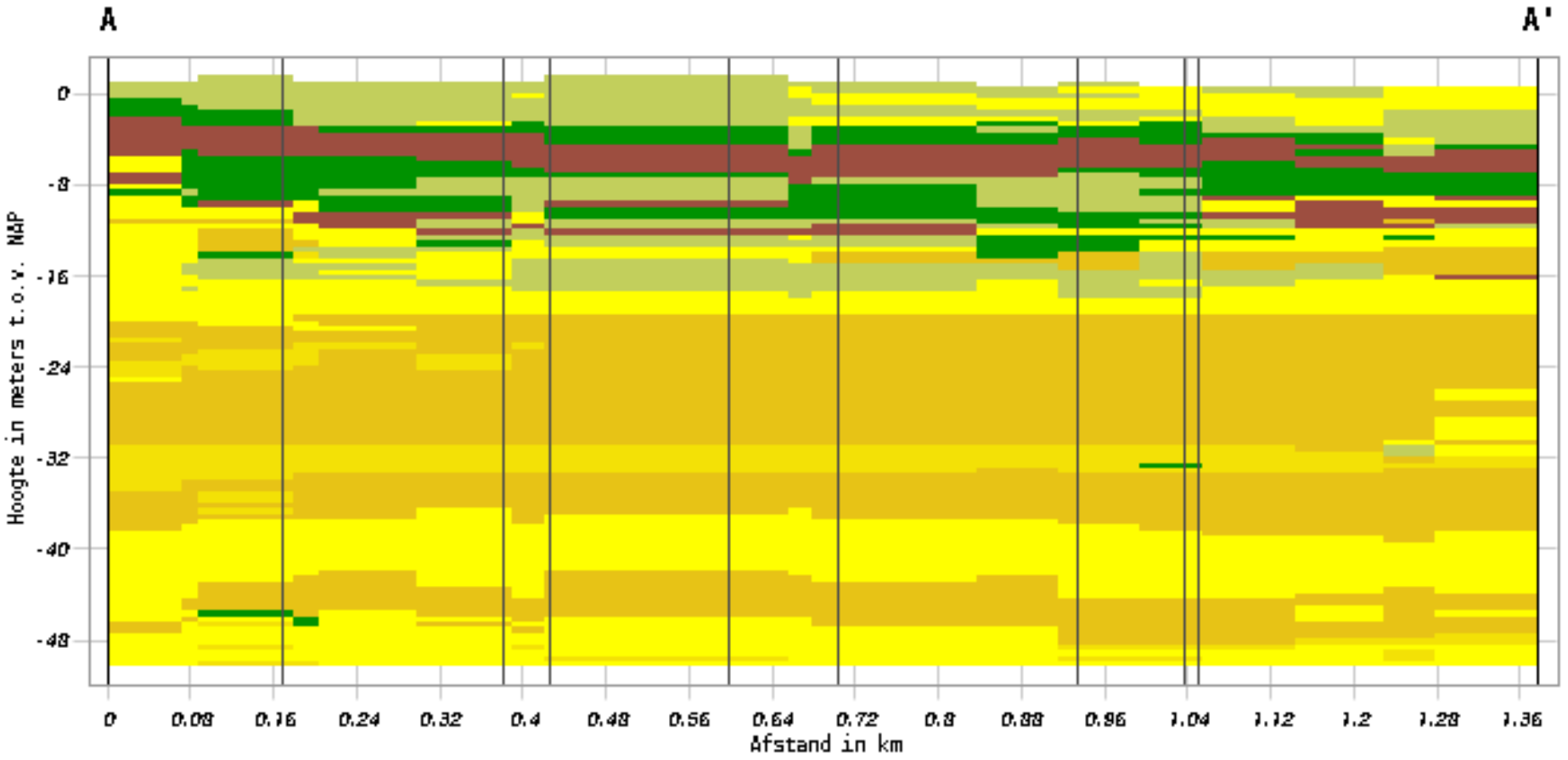


- Sands
- Sand mixtures
- Silt mixtures
- Clay
- Clay (org. mat) [3<N<15]
- Organic clay [15<N<30]
- Peat [N>30]
- Sensitive, fine grained



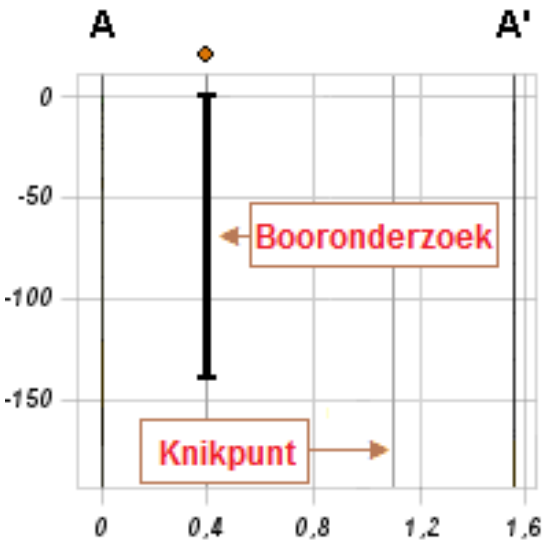
- cpt
- section

Verticale Doorsnede BRO GeoTOP v1.4



Lithoklasse

- a
- v
- k
- kz
- zf
- zm
- zg
- g
- she



Bijlage 3 – Berekening D-Geo Pipeline

Rapport voor D-Geo Pipeline 20.1

Model : Horizontaal Gestuurde Boring
Ontwikkeld door Deltares

Datum van rapport:	20-9-2022
Tijd van rapport:	09:18:11
Rapport met versie:	20.1.2.31161
Berekend met versie:	20.1.2.31161
Bestandsnaam:	HDD berekening

1 Inhoudsopgave

1 Inhoudsopgave 2
2 Invoergegevens 4
2.1 Gebruikt Model 4
2.2 Laagscheidingen 4
2.3 PN-Lijnen 4
2.4 Freatische Lijn 4
2.5 Grondprofielen 4
2.6 Grenslagen 5
2.7 Grondeigenschappen 5
2.8 Geometrie 6
2.8.1 Geometrie Sectie, Detail 6
2.8.2 Geometrie Bovenaanzicht 6
2.9 Berekenings Verticalen 7
2.10 Verkeersbelasting 8
2.11 Configuratie van de Pijpleiding 8
2.12 Materiaalgegevens van de Leiding 9
2.13 Gegevens voor Leidingberekening 10
2.14 Boorvloeistof Gegevens 10
2.15 Factoren 10
2.16 Rekenopties 11
3 Boorvloeistofdrukken 12
3.1 Boorvloeistof Gegevens 12
3.2 Evenwicht tussen Waterdruk en Boorvloeistofdruk 16
3.3 Boorvloeistofdruk Grafieken 18
3.3.1 Boorvloeistofdrukken tijdens Pilotboring 18
3.3.2 Boorvloeistofdrukken tijdens Voorruimen 18
3.3.3 Boorvloeistofdrukken tijdens Ruim- en Intrekoperatie 19
4 Grondmechanische Data 20
4.1 Grondmechanische Parameters Pipe 1: leiding no. 1 20
4.2 Grondmechanische Parameters Pipe 2: leiding no. 2 23
4.3 Grondmechanische Parameters Pipe 3: leiding no. 3 26
4.4 Grondmechanische Parameters Pipe 4: leiding no. 4 29
4.5 Young's Modulus per Laag per Verticaal 33
5 Gegevens voor Sterkteberekening 38
5.1 Algemene Gegevens 38
5.2 Ballasten Leiding 38
5.3 Trekkrachtberekening 38
6 Sterkteberekening van Pipe 1: leiding no. 1 40
6.1 Materiaalgegevens van Pipe 1: leiding no. 1 40
6.2 Resultaten Sterkteberekening van Pipe 1: leiding no. 1 40
6.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie 40
6.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie 41
6.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen 41
6.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie 41
6.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk 41
6.3 Controle van de Berekende Spanningen van Pipe 1: leiding no. 1 42
6.4 Toetsing op Implosie van Pipe 1: leiding no. 1 42
7 Sterkteberekening van Pipe 2: leiding no. 2 43
7.1 Materiaalgegevens van Pipe 2: leiding no. 2 43
7.2 Resultaten Sterkteberekening van Pipe 2: leiding no. 2 43
7.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie 43
7.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie 44
7.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen 44
7.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie 44
7.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk 44
7.3 Controle van de Berekende Spanningen van Pipe 2: leiding no. 2 45
7.4 Toetsing op Implosie van Pipe 2: leiding no. 2 45
8 Sterkteberekening van Pipe 3: leiding no. 3 47
8.1 Materiaalgegevens van Pipe 3: leiding no. 3 47
8.2 Resultaten Sterkteberekening van Pipe 3: leiding no. 3 47
8.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie 47
8.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie 48
8.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen 48
8.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie 48

8.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk 48
8.3 Controle van de Berekende Spanningen van Pipe 3: leiding no. 3 49
8.4 Toetsing op Implosie van Pipe 3: leiding no. 3 49
9 Sterkteberekening van Pipe 4: leiding no. 4 50
9.1 Materiaalgegevens van Pipe 4: leiding no. 4 50
9.2 Resultaten Sterkteberekening van Pipe 4: leiding no. 4 50
9.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie 50
9.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie 51
9.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen 51
9.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie 51
9.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk 51
9.3 Controle van de Berekende Spanningen van Pipe 4: leiding no. 4 52
9.4 Toetsing op Implosie van Pipe 4: leiding no. 4 52

2 Invoergegevens

2.1 Gebruikt Model

Gebruikt Model : Horizontaal Gestuurde Boring

2.2 Laagscheidingen

Laagscheidingnummer	Coördinaten [m]				
6 - L -	-42,000	4,970	10,880	17,550	23,870
6 - Z -	1,370	1,310	1,280	1,240	1,270
6 - L -	31,150	36,450	42,670	45,610	62,770
6 - Z -	1,260	1,310	1,100	1,160	1,840
6 - L -	68,390	73,120	79,160	80,820	83,000
6 - Z -	1,990	2,070	3,420	3,570	3,630
6 - L -	84,830	91,430	93,600	96,670	100,570
6 - Z -	3,720	4,050	4,140	3,710	3,670
6 - L -	102,470	109,040	113,990	118,380	121,320
6 - Z -	3,600	1,720	1,660	1,700	1,410
6 - L -	125,320	127,890	130,440	135,880	139,280
6 - Z -	-0,110	0,640	0,580	0,590	0,670
6 - L -	144,910	154,690	162,750	166,210	176,340
6 - Z -	0,860	1,120	1,300	1,340	1,390
6 - L -	185,780	194,400	206,110	208,880	212,140
6 - Z -	1,290	1,260	1,210	0,970	0,260
6 - L -	213,980	220,860	225,440	229,390	234,110
6 - Z -	1,460	5,070	5,720	5,720	5,190
6 - L -	241,970	244,120	254,050	263,240	270,890
6 - Z -	-0,140	0,660	1,120	1,120	1,100
6 - L -	278,880	287,510	296,950	305,930	320,230
6 - Z -	1,060	1,110	1,150	1,150	1,190
6 - L -	335,880	347,430	358,050	378,310	390,900
6 - Z -	1,300	1,350	1,350	1,360	1,430
6 - L -	410,000				
6 - Z -	1,430				
5 - L -	-42,000	410,000			
5 - Z -	-0,200	-0,200			
4 - L -	-42,000	410,000			
4 - Z -	-2,500	-2,500			
3 - L -	-42,000	410,000			
3 - Z -	-5,800	-5,800			
2 - L -	-42,000	300,000	410,000		
2 - Z -	-9,000	-9,000	-5,800		
1 - L -	-42,000	300,000	410,000		
1 - Z -	-15,000	-15,000	-14,000		
0 - L -	-42,000	410,000			
0 - Z -	-30,000	-30,000			

2.3 PN-Lijnen

PN-lijnnummer	Coördinaten [m]				
1 - L -	-42,000	410,000			
1 - Z -	0,000	0,000			

2.4 Freatische Lijn

Piezo lijn 1 is gebruikt als freatische lijn (grondwater).

2.5 Grondprofielen

Laag nummer	Materiaalnaam	Piezo lijn op boven	Piezo lijn op onder
6	Klei, zwak zandig, m...	1	1
5	Klei, schoon, slap	1	1

Laag nummer	Materiaalnaam	Piezo lijn op boven	Piezo lijn op onder
4	Veen, slap	1	1
3	Klei, schoon, slap	1	1
2	Zand, schoon, los	1	1
1	Zand, schoon, vast	1	1

2.6 Grenslagen

De grens tussen (cohesieve) ongedraineerde toplagen en onderliggende (niet-cohesieve) gedraineerde lagen, ligt aan de bovenzijde van laag nummer 2: Zand, schoon, los
De grens tussen compressibele toplagen en de onderliggende niet-compressibele lagen, ligt aan de bovenzijde van laag nummer 2: Zand, schoon, los

2.7 Grondeigenschappen

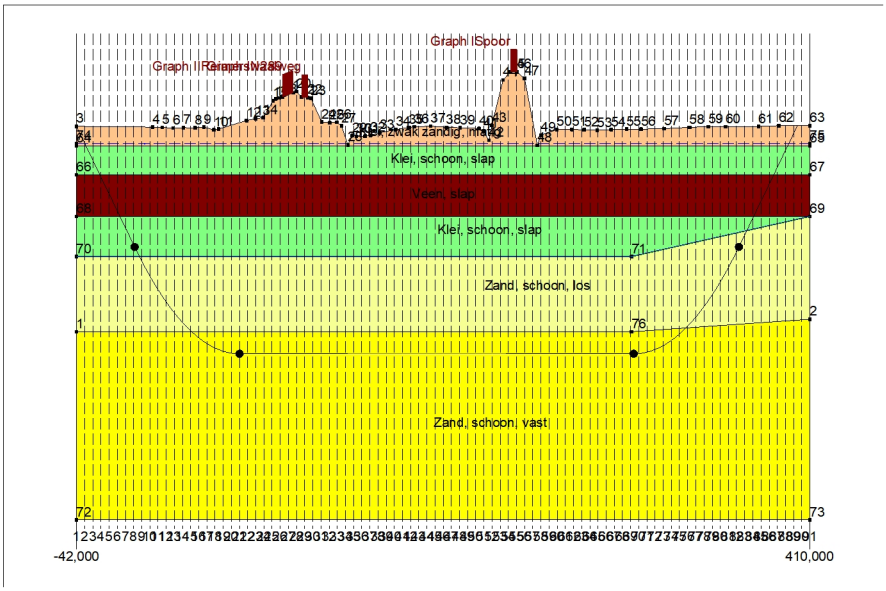
Naam	Gamma onverz [kN/m³]	Gamma verz [kN/m³]	Cohesie [kN/m²]	Phi [grd]	Su top [kN/m²]	Su onder [kN/m²]
Klei, zwak zandig, matig	17,00	17,00	5,00	22,50	120,00	120,00
Klei, schoon, slap	14,00	14,00	2,50	17,50	35,00	35,00
Veen, slap	11,00	11,00	1,50	15,00	25,00	25,00
Zand, schoon, los	17,00	19,00	0,00	30,00	0,00	0,00
Zand, schoon, vast	19,00	21,00	0,00	35,00	0,00	0,00

Naam	Grondtype	Emod 100 [kN/m²]	Emod top [kN/m²]	Emod onder [kN/m²]
Klei, zwak zandig, matig	Clay	6000,00	-	-
Klei, schoon, slap	Clay	500,00	-	-
Veen, slap	Peat	200,00	-	-
Zand, schoon, los	Sand	15000,00	-	-
Zand, schoon, vast	Sand	60000,00	-	-

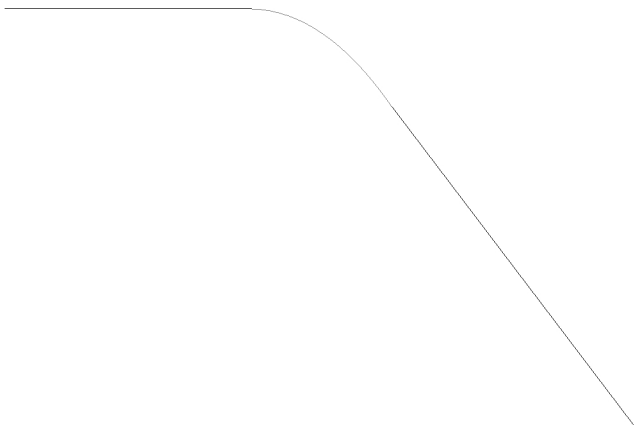
Naam	Adhesie A [kN/m²]	Delta D [grd]	Nu [-]
Klei, zwak zandig, matig	-	-	0,20
Klei, schoon, slap	-	-	0,20
Veen, slap	-	-	0,40
Zand, schoon, los	-	-	0,30
Zand, schoon, vast	-	-	0,30

2.8 Geometrie

2.8.1 Geometrie Sectie, Detail



2.8.2 Geometrie Bovenaanzicht



2.9 Berekenings Verticalen

Verticaal nr.	L-coörd. [m]	Z-coörd. [m]
1	-42,000	1,370
2	-36,978	0,024
3	-31,956	-1,321
4	-26,934	-2,667
5	-21,912	-4,013
6	-16,890	-5,358
7	-11,868	-6,704
8	-6,846	-8,049
9	-1,824	-9,354
10	3,198	-10,550
11	8,220	-11,636
12	13,242	-12,615
13	18,264	-13,489
14	23,286	-14,257
15	28,308	-14,921
16	33,330	-15,482
17	38,352	-15,941
18	43,374	-16,297
19	48,396	-16,553
20	53,418	-16,707
21	58,440	-16,760
22	63,462	-16,760
23	68,484	-16,760
24	73,506	-16,760
25	78,528	-16,760
26	83,550	-16,760
27	88,572	-16,760
28	93,594	-16,760
29	98,616	-16,760
30	103,638	-16,760
31	108,660	-16,760
32	113,682	-16,760
33	118,704	-16,760
34	123,726	-16,760
35	128,748	-16,760
36	133,770	-16,760
37	138,792	-16,760
38	143,814	-16,760
39	148,836	-16,760
40	153,858	-16,760
41	158,880	-16,760
42	163,902	-16,760
43	168,924	-16,760
44	173,946	-16,760
45	178,968	-16,760
46	183,990	-16,760
47	189,012	-16,760
48	194,034	-16,760
49	199,056	-16,760
50	204,078	-16,760
51	209,100	-16,760
52	214,122	-16,760
53	219,144	-16,760
54	224,166	-16,760
55	229,188	-16,760
56	234,210	-16,760
57	239,232	-16,760
58	244,254	-16,760
59	249,276	-16,760
60	254,298	-16,760
61	259,320	-16,760
62	264,342	-16,760

Verticaal nr.	L-coörd. [m]	Z-coörd. [m]
63	269,364	-16,760
64	274,386	-16,760
65	279,408	-16,760
66	284,430	-16,760
67	289,452	-16,760
68	294,474	-16,760
69	299,496	-16,760
70	304,518	-16,742
71	309,540	-16,631
72	314,562	-16,419
73	319,584	-16,105
74	324,606	-15,690
75	329,628	-15,173
76	334,650	-14,553
77	339,672	-13,829
78	344,694	-13,000
79	349,716	-12,067
80	354,738	-11,026
81	359,760	-9,877
82	364,782	-8,618
83	369,804	-7,277
84	374,826	-5,932
85	379,848	-4,586
86	384,870	-3,240
87	389,892	-1,895
88	394,914	-0,549
89	399,936	0,797
90	404,958	n.a.
91	409,980	n.a.

Locaties berekenings verticalen; L is de horizontale coördinaat langs de leiding geprojecteerd op het horizontale vlak, opgehoogd met de intrede coördinaat.

2.10 Verkeersbelasting

N289		
L begin	84,83	[m]
L einde	91,43	[m]
Belastingsmodel (grafiektype)	Graph I	
Reimerswaalweg		
L begin	96,97	[m]
L einde	100,43	[m]
Belastingsmodel (grafiektype)	Graph II	
Spoor		
L begin	225,44	[m]
L einde	229,39	[m]
Belastingsmodel (grafiektype)	Graph I	

2.11 Configuratie van de Pijpleiding

X coördinaat linker punt	-42,000	[m]
Y coördinaat linker punt	0,000	[m]
Z coördinaat linker punt	1,370	[m]
X coördinaat rechter punt	383,550	[m]
Y coördinaat rechter punt	-94,800	[m]
Z coördinaat rechter punt	1,430	[m]
Hoek links	15,0000	[grd]
Hoek rechts	15,0000	[grd]
Kromtestraal links, verticaal in/uit	250,000	[m]
Kromtestraal rechts, verticaal in/uit	250,000	[m]
Kromtestraal rollenbaan (intrekboog)	500,000	[m]
Diepste punt van de pijpleiding (hart boortracé)	-16,760	[m]

Hoek van de pijpleiding (tussen de stralen)	0,0000	[grd]
Aantal horizontale bochten:	1	

De pijpleiding wordt van rechts naar links ingetrokken.

Bocht nr.	X1-coörd. [m]	Y1-coörd. [m]	X2-coörd. [m]	Y2-coörd. [m]	Kromtestraal [m]	Richting
1	125,300	0,000	219,800	-22,200	220,000	links

2.12 Materiaalgegevens van de Leiding

Invoergegevens leiding no. 1

Materiaal	Polyetheen	
Kwaliteit	PE100	
Elasticiteitsmodulus (kort)	975,00	[N/mm²]
Elasticiteitsmodulus (lang)	350,00	[N/mm²]
Toelaatbare spanning (kort)	10,00	[N/mm²]
Toelaatbare spanning (lang)	8,00	[N/mm²]
Tensile factor (alfa)	0,65	[-]
Lineaire uitzettingscoëff. (alfa_g)	0,0001600	[mm/mmK]
Uitwendige diameter leiding	315,00	[mm]
Wanddikte (Nominaal)	28,70	[mm]
Volumegewicht leidingmateriaal	9,54	[kN/m³]
Ontwerpdruk	0,00	[bar]
Incidentele druk	0,00	[bar]
Temperatuur variatie	0,00	[gr C]

Invoergegevens leiding no. 2

Materiaal	Polyetheen	
Kwaliteit	PE100	
Elasticiteitsmodulus (kort)	975,00	[N/mm²]
Elasticiteitsmodulus (lang)	350,00	[N/mm²]
Toelaatbare spanning (kort)	10,00	[N/mm²]
Toelaatbare spanning (lang)	8,00	[N/mm²]
Tensile factor (alfa)	0,65	[-]
Lineaire uitzettingscoëff. (alfa_g)	0,0001600	[mm/mmK]
Uitwendige diameter leiding	315,00	[mm]
Wanddikte (Nominaal)	28,70	[mm]
Volumegewicht leidingmateriaal	9,54	[kN/m³]
Ontwerpdruk	0,00	[bar]
Incidentele druk	0,00	[bar]
Temperatuur variatie	0,00	[gr C]

Invoergegevens leiding no. 3

Materiaal	Polyetheen	
Kwaliteit	PE100	
Elasticiteitsmodulus (kort)	975,00	[N/mm²]
Elasticiteitsmodulus (lang)	350,00	[N/mm²]
Toelaatbare spanning (kort)	10,00	[N/mm²]
Toelaatbare spanning (lang)	8,00	[N/mm²]
Tensile factor (alfa)	0,65	[-]
Lineaire uitzettingscoëff. (alfa_g)	0,0001600	[mm/mmK]
Uitwendige diameter leiding	315,00	[mm]
Wanddikte (Nominaal)	28,70	[mm]
Volumegewicht leidingmateriaal	9,54	[kN/m³]
Ontwerpdruk	0,00	[bar]
Incidentele druk	0,00	[bar]
Temperatuur variatie	0,00	[gr C]

Invoergegevens leiding no. 4

Materiaal	Polyetheen	
Kwaliteit	PE100	
Elasticiteitsmodulus (kort)	975,00	[N/mm²]
Elasticiteitsmodulus (lang)	350,00	[N/mm²]
Toelaatbare spanning (kort)	10,00	[N/mm²]
Toelaatbare spanning (lang)	8,00	[N/mm²]
Tensile factor (alfa)	0,65	[-]

Lineaire uitzettingscoëff. (alfa_g)	0,0001600	[mm/mmK]
Uitwendige diameter leiding	315,00	[mm]
Wanddikte (Nominaal)	28,70	[mm]
Volumegewicht leidingmateriaal	9,54	[kN/m³]
Ontwerpdruk	0,00	[bar]
Incidentele druk	0,00	[bar]
Temperatuur variatie	0,00	[gr C]

2.13 Gegevens voor Leidingberekening

Leiding gevuld met water op rollen	Nee	
Percentage leiding gevuld met vloeistof	0	[%]
Volume gewicht vloeistof	10,00	[kN/m³]
Opleghoek	30	[grd]
Belastingshoek	30	[grd]
Relatieve verplaatsing	10,00	[mm]
Samendrukkingsconstante	6,00	[-]
Beddingsconstante boorvloeistof (Kv)	500,00	[kN/m³]
Hoek van inwendige wrijving boorvloeistof	15,00	[grd]
Cohesie boorvloeistof	5,00	[kN/m²]
Wrijvingsfactor leiding-rollenbaan (f1)	0,10	[-]
Wrijvingscoefficient leiding-boorvloeistof (f2)	0,000050	[N/mm²]
Wrijvingsfactor leiding-grond (f3)	0,20	[-]

2.14 Boorvloeistof Gegevens

Uitwendige diameter boorgat pilotboring	0,300	[m]
Uitwendige diameter pilotbuis	0,170	[m]
Uitwendige diameter boorgat voorruimen	0,500	[m]
Uitwendige diameter buis voorruimen	0,170	[m]
Uitwendige diameter uiteindelijke boorgat	1,000	[m]
Uitwendige diameter leiding	0,630	[m]
Debiet tijdens pilotboring	500,0000	[liter/minuut]
Debiet tijdens voorruimen	1000,0000	[liter/minuut]
Debiet tijdens intrekken	1000,0000	[liter/minuut]
Factor debietverlies tijdens pilotboring	0,30	[-]
Factor debietverlies tijdens voorruimen	0,20	[-]
Factor debietverlies tijdens intrekken	0,20	[-]
Volumegewicht boorvloeistof	11,5	[kN/m³]
Zwichtspanning boorvloeistof	0,014	[kN/m²]
Viscositeit boorvloeistof	0,000040	[kN.s/m²]

2.15 Factoren

(Polyetheen)Veiligheidsfactor implosie (Lang)	3,0	[-]
(Polyetheen)Veiligheidsfactor implosie (Kort)	1,5	[-]
Onzekerheidsfactor volumegewicht van materiaaltypen onder en boven freatische lijn	1,10	[-]
Onzekerheidsfactor (gedraineerde) cohesie C	1,40	[-]
Onzekerheidsfactor ongedraineerde schuifsterkte Su	1,40	[-]
Onzekerheidsfactor Phi	1,10	[-]
Onzekerheidsfactor E-modulus	1,25	[-]
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	2,00	[-]
Belastingsfactor ontwerpdruk (Polyetheen)	1,00	[-]
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie) (Polyetheen)	1,00	[-]
Belastingsfactor testdruk (Polyetheen)	1,00	[-]
Belastingsfactor aanlegbelasting (Polyetheen)	1,00	[-]
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. q_n;r (Polyetheen)	1,50	[-]
Belastingsfactor temperatuur (Polyetheen)	1,10	[-]
Belastingsfactor verkeersbelasting (Polyetheen)	1,35	[-]
Importantie factor (S)	1,00	[-]
Toelaatbare deflectie stalen leiding	15,00	[%]
Toelaatb. deflectie stalen leiding bij inspectie ('piggability')	5,00	[%]
Toelaatbare deflectie polyetheen leiding	8,00	[%]
Toelaat. deflectie polyetheen leiding bij inspectie ('piggability')	5,00	[%]
Volumegewicht water	10,00	[kN/m³]

Veiligheidsfactor dekking (gedraineerde lagen)	0,50	[-]
Veiligheidsfactor dekking (ongedraineerde lagen)	0,50	[-]
Verhouding H/Do voor grens tussen ondiepe en diepe situatie	7,50	[-]

2.16 Rekenopties

Stress analyse optie : Standaard

3 Boorvloeistofdrukken

3.1 Boorvloeistof Gegevens

Verticaal nr.	Boorvloeistofdrukken pilot [kN/m²]			
	Max, deformatie	Max, gronddruk	Min, links	Min, rechts
1	0	0	0	225
2	189	189	18	238
3	84	84	36	250
4	92	92	54	263
5	87	87	72	276
6	99	99	90	289
7	137	137	108	302
8	157	157	127	315
9	164	164	144	327
10	256	276	160	338
11	284	369	175	348
12	308	440	189	357
13	330	494	202	365
14	350	541	213	371
15	367	568	223	376
16	528	843	232	380
17	570	929	240	383
18	585	966	247	384
19	607	1016	252	385
20	625	1057	257	384
21	638	1085	260	382
22	648	1106	262	379
23	655	1121	265	377
24	664	1139	267	374
25	721	1259	270	372
26	741	1300	272	369
27	753	1326	275	367
28	765	1351	277	364
29	742	1303	280	362
30	721	1258	282	359
31	647	1103	285	357
32	638	1085	287	354
33	638	1085	290	352
34	576	955	292	349
35	583	969	295	347
36	581	965	297	344
37	585	974	300	342
38	594	992	302	339
39	601	1008	305	337
40	608	1022	307	334
41	614	1035	310	332
42	620	1046	312	329
43	622	1051	315	327
44	623	1053	317	324
45	622	1052	320	322
46	619	1046	322	319
47	618	1042	325	317
48	617	1040	327	314
49	616	1038	330	312
50	615	1036	332	309
51	599	1003	335	307
52	631	1071	337	304
53	766	1354	340	302
54	834	1497	342	299
55	843	1516	345	297
56	813	1454	348	294
57	641	1091	350	292

Verticaal nr.	Boorvloeistofdrukken pilot [kN/m²]			
	Max, deformatie	Max, gronddruk	Min, links	Min, rechts
58	585	974	353	289
59	598	1000	355	287
60	609	1025	358	284
61	609	1025	360	282
62	609	1025	363	279
63	609	1023	365	277
64	607	1021	368	274
65	606	1019	370	272
66	608	1022	373	269
67	609	1025	375	267
68	610	1027	378	264
69	611	1028	380	262
70	613	1035	382	259
71	610	1033	384	255
72	603	1018	384	250
73	590	990	383	244
74	569	945	380	237
75	522	854	377	228
76	366	569	372	219
77	349	545	367	208
78	330	514	360	196
79	308	466	351	182
80	283	406	342	168
81	254	330	331	152
82	222	235	319	135
83	143	143	307	117
84	106	106	294	99
85	92	92	281	81
86	83	83	268	63
87	88	88	255	45
88	119	119	242	27
89	103	103	229	9

Verticaal nr.	Boorvloeistofdrukken voorruimen [kN/m²]			
	Max, deformatie	Max, gronddruk	Min, links	Min, rechts
1	0	0	0	0
2	162	162	16	18
3	93	93	33	36
4	94	94	49	54
5	89	89	66	72
6	100	100	82	90
7	135	135	99	108
8	156	156	115	127
9	177	177	131	144
10	232	232	146	160
11	284	314	159	175
12	308	383	171	189
13	330	441	182	202
14	350	491	192	213
15	367	531	201	223
16	491	683	208	232
17	553	772	214	240
18	574	812	219	247
19	597	861	223	252
20	616	899	226	257
21	630	925	227	260
22	639	943	228	262
23	646	955	229	265
24	655	970	230	267
25	711	1075	231	269
26	730	1110	232	268
27	742	1133	233	267
28	754	1155	234	266

Verticaal nr.	Boorvloeistofdrukken voorruimen [kN/m²]			
	Max, deformatie	Max, gronddruk	Min, links	Min, rechts
29	732	1113	234	265
30	711	1074	235	264
31	638	940	236	263
32	629	924	237	262
33	630	925	238	261
34	568	813	239	260
35	575	825	240	259
36	573	822	241	259
37	577	829	242	258
38	585	845	243	257
39	593	858	244	256
40	600	871	245	255
41	606	882	245	254
42	611	891	246	253
43	613	895	247	252
44	615	897	248	251
45	614	896	249	250
46	611	891	250	249
47	609	888	251	248
48	608	886	252	248
49	607	884	253	247
50	606	882	254	246
51	591	854	255	245
52	623	912	256	244
53	755	1157	256	243
54	822	1283	257	242
55	830	1299	258	241
56	802	1245	259	240
57	632	929	260	239
58	577	830	261	238
59	589	852	262	237
60	601	873	263	237
61	601	873	264	236
62	601	872	265	235
63	600	871	266	234
64	599	869	267	233
65	598	867	267	232
66	600	870	268	231
67	601	873	267	230
68	602	875	264	229
69	603	876	262	228
70	604	883	259	227
71	602	881	255	225
72	594	866	250	222
73	578	837	244	217
74	551	791	237	211
75	481	693	228	205
76	366	544	219	196
77	349	509	208	187
78	330	467	196	177
79	308	414	182	165
80	283	352	168	152
81	254	279	152	138
82	196	196	135	123
83	143	143	117	106
84	107	107	99	90
85	94	94	81	73
86	87	87	63	57
87	93	93	45	41
88	159	159	27	24
89	25	25	9	8

Verticaal nr.	Boorvloeistofdrukken intrekken [kN/m²]			
	Max, deformatie	Max, gronddruk	Min, links	Min, rechts
1	0	0	0	0
2	56	56	16	16
3	106	106	33	33
4	101	101	49	49
5	96	96	65	66
6	104	104	81	82
7	131	131	98	99
8	155	155	114	115
9	131	131	130	131
10	188	188	144	146
11	248	248	158	159
12	303	303	170	171
13	330	353	181	182
14	350	400	190	192
15	367	438	199	201
16	388	479	206	208
17	507	558	212	214
18	542	594	217	219
19	571	632	221	223
20	593	662	223	226
21	606	681	225	227
22	616	693	225	228
23	622	702	226	229
24	630	713	227	230
25	684	787	228	231
26	702	812	229	232
27	714	829	229	233
28	725	844	230	234
29	704	814	231	234
30	684	787	232	235
31	614	691	233	236
32	606	680	233	237
33	606	681	234	238
34	548	603	235	239
35	554	611	236	240
36	552	609	237	241
37	556	613	237	242
38	564	624	238	243
39	571	634	239	244
40	578	643	240	245
41	584	650	241	245
42	589	657	241	246
43	591	660	242	246
44	592	661	243	246
45	591	660	244	245
46	589	657	244	244
47	587	655	245	243
48	586	654	246	242
49	585	652	247	242
50	584	651	246	241
51	569	631	245	240
52	600	672	244	239
53	726	846	243	238
54	790	936	242	238
55	798	948	241	237
56	771	909	240	236
57	609	684	239	235
58	556	614	238	234
59	568	629	237	234
60	579	644	237	233
61	579	644	236	232
62	579	644	235	231
63	578	643	234	230

Verticaal nr.	Boorvloeistofdrukken intrekken [kN/m²]			
	Max, deformatie	Max, gronddruk	Min, links	Min, rechts
64	577	642	233	230
65	576	640	232	229
66	578	642	231	228
67	579	644	230	227
68	580	646	229	227
69	581	646	228	226
70	582	653	227	225
71	579	651	225	223
72	567	638	222	219
73	545	613	217	215
74	503	572	211	209
75	384	491	205	203
76	366	455	196	195
77	349	420	187	186
78	330	379	177	175
79	308	331	165	164
80	277	277	152	151
81	219	219	138	137
82	158	158	123	122
83	143	143	106	105
84	110	110	90	89
85	99	99	73	73
86	99	99	57	57
87	104	104	41	40
88	98	98	24	24
89	0	0	8	8

3.2 Evenwicht tussen Waterdruk en Boorvloeistofdruk

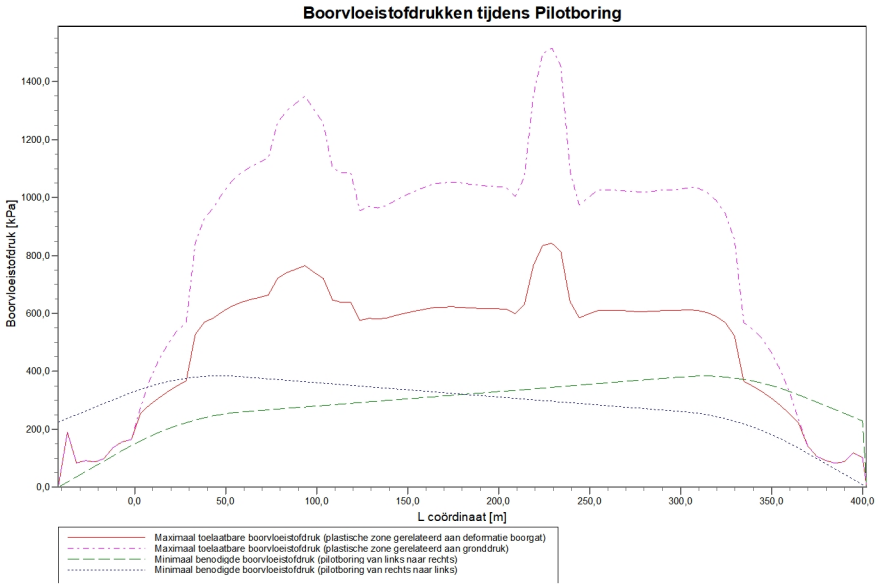
Verticaal nr.	Hydrostatische kolomdruk			
	Boorvloeistof [kN/m²]	Water [kN/m²]	Veiligheidsfactor [-]	Resultaat
1	0	0	-	voldoet
2	15	0	-	voldoet
3	31	13	2,34	voldoet
4	46	27	1,74	voldoet
5	62	40	1,54	voldoet
6	77	54	1,44	voldoet
7	93	67	1,39	voldoet
8	108	80	1,35	voldoet
9	123	94	1,32	voldoet
10	137	105	1,30	voldoet
11	150	116	1,29	voldoet
12	161	126	1,28	voldoet
13	171	135	1,27	voldoet
14	180	143	1,26	voldoet
15	187	149	1,26	voldoet
16	194	155	1,25	voldoet
17	199	159	1,25	voldoet
18	203	163	1,25	voldoet
19	206	166	1,25	voldoet
20	208	167	1,24	voldoet
21	209	168	1,24	voldoet
22	209	168	1,24	voldoet
23	209	168	1,24	voldoet
24	209	168	1,24	voldoet
25	209	168	1,24	voldoet
26	209	168	1,25	voldoet
27	209	168	1,25	voldoet
28	209	168	1,25	voldoet
29	209	168	1,25	voldoet
30	209	168	1,25	voldoet
31	209	168	1,25	voldoet
32	209	168	1,25	voldoet

Verticaal nr.	Hydrostatische kolomdruk			
	Boorvloeistof [kN/m²]	Water [kN/m²]	Veiligheidsfactor [-]	Resultaat
33	209	168	1,25	voldoet
34	209	168	1,25	voldoet
35	209	168	1,25	voldoet
36	209	168	1,25	voldoet
37	209	168	1,25	voldoet
38	209	168	1,25	voldoet
39	209	168	1,25	voldoet
40	209	168	1,25	voldoet
41	209	168	1,25	voldoet
42	209	168	1,25	voldoet
43	209	168	1,25	voldoet
44	209	168	1,25	voldoet
45	209	168	1,25	voldoet
46	209	168	1,25	voldoet
47	209	168	1,25	voldoet
48	209	168	1,25	voldoet
49	209	168	1,25	voldoet
50	209	168	1,25	voldoet
51	209	168	1,25	voldoet
52	209	168	1,25	voldoet
53	209	168	1,25	voldoet
54	209	168	1,25	voldoet
55	209	168	1,25	voldoet
56	209	168	1,25	voldoet
57	209	168	1,25	voldoet
58	209	168	1,25	voldoet
59	209	168	1,25	voldoet
60	209	168	1,25	voldoet
61	209	168	1,25	voldoet
62	209	168	1,25	voldoet
63	209	168	1,25	voldoet
64	209	168	1,25	voldoet
65	209	168	1,25	voldoet
66	209	168	1,25	voldoet
67	209	168	1,25	voldoet
68	209	168	1,25	voldoet
69	209	168	1,25	voldoet
70	209	167	1,25	voldoet
71	208	166	1,25	voldoet
72	205	164	1,25	voldoet
73	202	161	1,25	voldoet
74	197	157	1,25	voldoet
75	191	152	1,26	voldoet
76	184	146	1,26	voldoet
77	175	138	1,27	voldoet
78	166	130	1,28	voldoet
79	155	121	1,29	voldoet
80	143	110	1,30	voldoet
81	130	99	1,32	voldoet
82	116	86	1,34	voldoet
83	100	73	1,38	voldoet
84	85	59	1,43	voldoet
85	69	46	1,51	voldoet
86	54	32	1,66	voldoet
87	38	19	2,02	voldoet
88	23	5	4,14	voldoet
89	7	0	-	voldoet

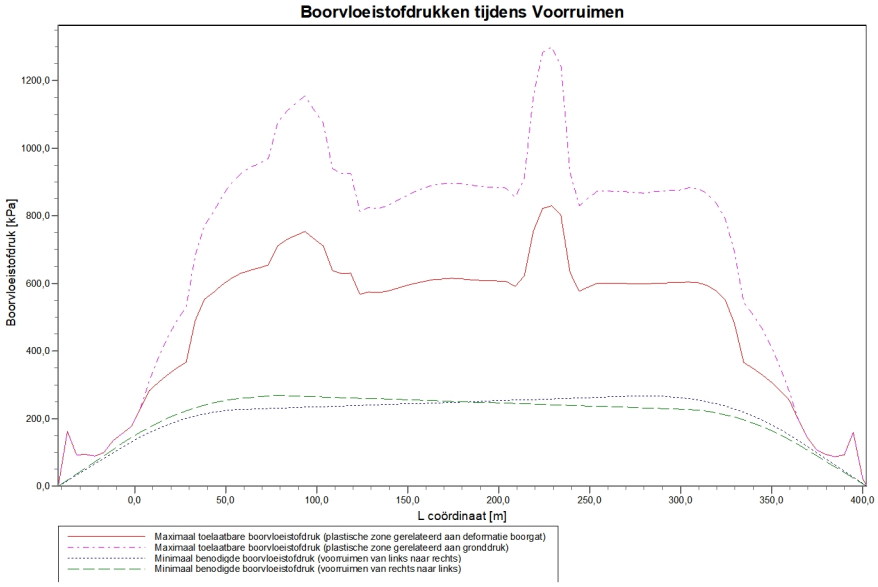
De statische boorvloeistofdruk is berekend en kan worden vergeleken met de berekende grondwater druk. De veiligheids factor wordt bepaald door de verhouding van boorvloeistofdruk en grondwater druk. Deze moet hoger zijn dan de vereiste veiligheidsfactor van 1,10

3.3 Boorvloeistofdruk Grafieken

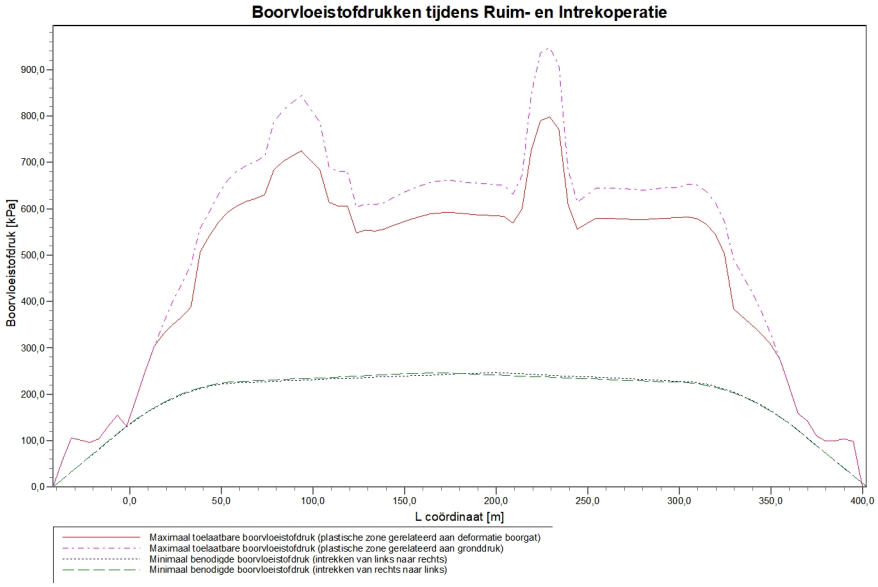
3.3.1 Boorvloeistofdrukken tijdens Pilotboring



3.3.2 Boorvloeistofdrukken tijdens Voorruimen



3.3.3 Boorvloeistofdrukken tijdens Ruim- en Intrekoperatie



4 Grondmechanische Data

4.1 Grondmechanische Parameters Pipe 1: leiding no. 1

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:
Merk op: veiligheidsfactoren niet toegepast.

q_v;p	Passieve grondspanning	kN/m²
q_v;n	Neutrale grondspanning	kN/m²
q_h;n	Neutrale horizontale grondspanning	kN/m²
q_v,r;n	Gereduceerde neutrale grondspanning	kN/m²
q_verkeer	Verkeersbelasting	kN/m²
q_v;e	Verticaal evenwichtsdraagvermogen	kN/m²
q_h;e	Horizontaal evenwichtsdraagvermogen	kN/m²
k_v;bot	Verticaal beddingsgetal omlaag	kN/m³
k_v;top	Verticaal beddingsgetal omhoog	kN/m³
k_h	Horizontaal beddinggetal	kN/m³
t_max	Maximale wrijving leiding-boorvloeistof	kN/m²
d_max	Corresponderende verplaatsing bij mobilisatie maximale wrijving	mm

Verticaal nr.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_verkeer [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
1	0	0	0	0	0	97
2	44	21	15	21	0	213
3	60	28	21	28	0	252
4	51	34	25	34	0	212
5	52	35	17	22	0	219
6	54	36	17	23	0	246
7	80	40	18	24	0	337
8	90	45	19	26	0	375
9	346	51	19	26	0	1376
10	405	62	19	26	0	1660
11	457	71	19	25	0	1912
12	501	80	16	21	0	2134
13	540	87	14	19	0	2333
14	577	94	13	18	0	2529
15	607	100	13	17	0	4736
16	1181	106	12	17	0	5019
17	1222	111	12	17	0	5227
18	1238	113	12	17	0	5306
19	1287	118	12	17	0	5562
20	1333	123	12	17	0	5799
21	1368	127	12	17	0	5985
22	1397	130	12	17	0	6136
23	1417	133	12	17	0	6241
24	1442	135	13	17	0	6372
25	1607	154	13	17	0	7264
26	1662	161	13	17	0	7565
27	1698	165	13	17	2	7764
28	1732	169	13	17	0	7949
29	1667	161	13	17	0	7591
30	1605	154	13	17	0	7254
31	1392	130	12	17	0	6112
32	1368	127	12	17	0	5981
33	1368	127	12	17	0	5984
34	1188	107	12	16	0	5053
35	1208	109	12	17	0	5152
36	1202	109	12	17	0	5125
37	1214	110	12	17	0	5182
38	1239	113	12	17	0	5313
39	1261	115	12	17	0	5425
40	1281	117	12	17	0	5531
41	1299	119	12	17	0	5623
42	1314	121	12	17	0	5703
43	1321	122	12	17	0	5734

Verticaal nr.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_verkeer [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
44	1324	122	12	17	0	5754
45	1322	122	12	17	0	5741
46	1314	121	12	17	0	5699
47	1309	120	12	17	0	5675
48	1306	120	12	17	0	5661
49	1303	120	12	17	0	5644
50	1300	119	12	17	0	5627
51	1254	114	12	17	0	5392
52	1348	125	12	17	0	5878
53	1736	170	13	17	0	7972
54	1930	193	13	18	0	9061
55	1955	196	13	18	2	9205
56	1872	186	13	18	0	8730
57	1376	128	12	17	0	6023
58	1215	110	12	17	0	5188
59	1251	114	12	17	0	5373
60	1285	118	12	17	0	5549
61	1285	118	12	17	0	5549
62	1284	118	12	17	0	5547
63	1282	117	12	17	0	5536
64	1279	117	12	17	0	5519
65	1276	117	12	17	0	5504
66	1281	117	12	17	0	5527
67	1285	118	12	17	0	5548
68	1288	118	12	17	0	5564
69	1289	118	12	17	0	5573
70	1294	119	12	17	0	5598
71	1292	119	12	17	0	5587
72	1280	117	12	17	0	5527
73	1258	115	12	16	0	5416
74	1229	112	12	16	0	5266
75	1189	107	12	16	0	5066
76	618	103	12	16	0	4838
77	591	97	12	17	0	2601
78	559	91	13	17	0	2432
79	520	83	14	18	0	2233
80	474	75	15	20	0	2002
81	423	65	17	24	0	1747
82	364	55	17	23	0	1466
83	299	43	17	22	0	1165
84	76	37	16	22	0	318
85	54	36	16	22	0	225
86	53	35	16	22	0	220
87	66	32	24	32	0	277
88	56	27	20	27	0	236
89	12	9	6	9	0	226

Verticaal nr.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
1	18	0	0	0	0,05	7,5
2	115	11052	430	7736	0,05	7,5
3	60	220	1106	154	0,05	7,5
4	51	127	260	89	0,05	7,5
5	52	131	148	92	0,05	7,5
6	54	290	129	203	0,05	7,5
7	80	356	221	249	0,05	7,5
8	90	9709	340	6796	0,05	7,5
9	346	22553	2426	15787	0,05	7,5
10	405	24643	18629	17250	0,05	7,5
11	457	26382	23177	18467	0,05	7,5
12	501	27840	24792	19488	0,05	7,5
13	540	43220	26168	30254	0,05	7,5
14	577	98280	27460	68796	0,05	7,5
15	607	144620	28469	101234	0,05	7,5
16	1181	149195	50393	104436	0,05	7,5

Verticaal nr.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
17	1222	152286	82761	106600	0,05	7,5
18	1238	153446	108288	107412	0,05	7,5
19	1287	157147	129710	110003	0,05	7,5
20	1333	160527	144396	112369	0,05	7,5
21	1368	163128	149097	114190	0,05	7,5
22	1397	165222	151346	115655	0,05	7,5
23	1417	166676	152906	116673	0,05	7,5
24	1442	168460	154817	117922	0,05	7,5
25	1607	180243	167373	126170	0,05	7,5
26	1662	184076	171437	128853	0,05	7,5
27	1698	186575	174081	130603	0,05	7,5
28	1732	188877	176513	132214	0,05	7,5
29	1667	184408	171788	129085	0,05	7,5
30	1605	180110	167233	126077	0,05	7,5
31	1392	164896	150996	115427	0,05	7,5
32	1368	163076	149041	114153	0,05	7,5
33	1368	163124	149093	114187	0,05	7,5
34	1188	149694	134559	104786	0,05	7,5
35	1208	151161	136156	105813	0,05	7,5
36	1202	150764	135724	105535	0,05	7,5
37	1214	151616	136651	106132	0,05	7,5
38	1239	153539	138740	107477	0,05	7,5
39	1261	155175	140515	108623	0,05	7,5
40	1281	156708	142174	109696	0,05	7,5
41	1299	158027	143600	110619	0,05	7,5
42	1314	159157	144820	111410	0,05	7,5
43	1321	159609	145308	111726	0,05	7,5
44	1324	159888	145609	111922	0,05	7,5
45	1322	159708	145414	111796	0,05	7,5
46	1314	159108	144767	111375	0,05	7,5
47	1309	158766	144398	111136	0,05	7,5
48	1306	158568	144184	110998	0,05	7,5
49	1303	158329	143925	110830	0,05	7,5
50	1300	158085	143662	110660	0,05	7,5
51	1254	154687	139986	108281	0,05	7,5
52	1348	161640	147496	113148	0,05	7,5
53	1736	189170	176823	132419	0,05	7,5
54	1930	202273	190608	141591	0,05	7,5
55	1955	203952	192368	142766	0,05	7,5
56	1872	198357	186497	138850	0,05	7,5
57	1376	163662	149671	114563	0,05	7,5
58	1215	151707	136750	106195	0,05	7,5
59	1251	154419	139694	108093	0,05	7,5
60	1285	156961	142448	109873	0,05	7,5
61	1285	156961	142448	109873	0,05	7,5
62	1284	156928	142412	109850	0,05	7,5
63	1282	156778	142250	109745	0,05	7,5
64	1279	156532	141984	109573	0,05	7,5
65	1276	156310	141743	109417	0,05	7,5
66	1281	156643	142103	109650	0,05	7,5
67	1285	156941	142426	109859	0,05	7,5
68	1288	157184	142689	110029	0,05	7,5
69	1289	157304	142818	110113	0,05	7,5
70	1294	157665	143208	110365	0,05	7,5
71	1292	157512	141957	110258	0,05	7,5
72	1280	156657	129110	109660	0,05	7,5
73	1258	155044	108611	108531	0,05	7,5
74	1229	152866	81270	107006	0,05	7,5
75	1189	149913	48043	104939	0,05	7,5
76	618	146109	28834	102276	0,05	7,5
77	591	94832	27933	66382	0,05	7,5
78	559	38727	26831	27109	0,05	7,5
79	520	28471	25485	19930	0,05	7,5
80	474	26989	23852	18893	0,05	7,5
81	423	25260	21921	17682	0,05	7,5

Verticaal nr.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
82	364	23235	16639	16265	0,05	7,5
83	299	20890	1730	14623	0,05	7,5
84	76	9590	132	6713	0,05	7,5
85	54	196	129	137	0,05	7,5
86	53	132	222	92	0,05	7,5
87	66	176	311	123	0,05	7,5
88	118	6735	1070	4715	0,05	7,5
89	95	48910	15	34237	0,05	7,5

Maximale grondspanning : q_v;n;max = 196 kN/m²
Maximale gereduceerde grondspanning (incl. verkeersbelastingen) : q_verkeer;max = 34 kN/m²
Maximale gereduceerde grondspanning : q_v;r;n;max = 34 kN/m²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor) alleen voor verticalen in diepe situatie : k_v;max = 203952 kN/m³
Maximale verticale beddingsconstante (veiligheidsfactor toegepast) alleen voor verticalen in diepe situatie : k_v;max = 407904 kN/m³

4.2 Grondmechanische Parameters Pipe 2: leiding no. 2

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:
Merk op: veiligheidsfactoren niet toegepast.

q_v;p	Passieve grondspanning	kN/m²
q_v;n	Neutrale grondspanning	kN/m²
q_h;n	Neutrale horizontale grondspanning	kN/m²
q_v,r;n	Gereduceerde neutrale grondspanning	kN/m²
q_verkeer	Verkeersbelasting	kN/m²
q_v;e	Verticaal evenwichtsdraagvermogen	kN/m²
q_h;e	Horizontaal evenwichtsdraagvermogen	kN/m²
k_v;bot	Verticaal beddingsgetal omlaag	kN/m³
k_v;top	Verticaal beddingsgetal omhoog	kN/m³
k_h	Horizontaal beddinggetal	kN/m³
t_max	Maximale wrijving leiding-boorvloeistof	kN/m²
d_max	Corresponderende verplaatsing bij mobilisatie maximale wrijving	mm

Verticaal nr.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_verkeer [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
1	0	0	0	0	0	97
2	44	21	15	21	0	213
3	60	28	21	28	0	252
4	51	34	25	34	0	212
5	52	35	17	22	0	219
6	54	36	17	23	0	246
7	80	40	18	24	0	337
8	90	45	19	26	0	375
9	346	51	19	26	0	1376
10	405	62	19	26	0	1660
11	457	71	19	25	0	1912
12	501	80	16	21	0	2134
13	540	87	14	19	0	2333
14	577	94	13	18	0	2529
15	607	100	13	17	0	4736
16	1181	106	12	17	0	5019
17	1222	111	12	17	0	5227
18	1238	113	12	17	0	5306
19	1287	118	12	17	0	5562
20	1333	123	12	17	0	5799
21	1368	127	12	17	0	5985
22	1397	130	12	17	0	6136
23	1417	133	12	17	0	6241
24	1442	135	13	17	0	6372
25	1607	154	13	17	0	7264
26	1662	161	13	17	0	7565
27	1698	165	13	17	2	7764

Verticaal nr.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_verkeer [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
28	1732	169	13	17	0	7949
29	1667	161	13	17	0	7591
30	1605	154	13	17	0	7254
31	1392	130	12	17	0	6112
32	1368	127	12	17	0	5981
33	1368	127	12	17	0	5984
34	1188	107	12	16	0	5053
35	1208	109	12	17	0	5152
36	1202	109	12	17	0	5125
37	1214	110	12	17	0	5182
38	1239	113	12	17	0	5313
39	1261	115	12	17	0	5425
40	1281	117	12	17	0	5531
41	1299	119	12	17	0	5623
42	1314	121	12	17	0	5703
43	1321	122	12	17	0	5734
44	1324	122	12	17	0	5754
45	1322	122	12	17	0	5741
46	1314	121	12	17	0	5699
47	1309	120	12	17	0	5675
48	1306	120	12	17	0	5661
49	1303	120	12	17	0	5644
50	1300	119	12	17	0	5627
51	1254	114	12	17	0	5392
52	1348	125	12	17	0	5878
53	1736	170	13	17	0	7972
54	1930	193	13	18	0	9061
55	1955	196	13	18	2	9205
56	1872	186	13	18	0	8730
57	1376	128	12	17	0	6023
58	1215	110	12	17	0	5188
59	1251	114	12	17	0	5373
60	1285	118	12	17	0	5549
61	1285	118	12	17	0	5549
62	1284	118	12	17	0	5547
63	1282	117	12	17	0	5536
64	1279	117	12	17	0	5519
65	1276	117	12	17	0	5504
66	1281	117	12	17	0	5527
67	1285	118	12	17	0	5548
68	1288	118	12	17	0	5564
69	1289	118	12	17	0	5573
70	1294	119	12	17	0	5598
71	1292	119	12	17	0	5587
72	1280	117	12	17	0	5527
73	1258	115	12	16	0	5416
74	1229	112	12	16	0	5266
75	1189	107	12	16	0	5066
76	618	103	12	16	0	4838
77	591	97	12	17	0	2601
78	559	91	13	17	0	2432
79	520	83	14	18	0	2233
80	474	75	15	20	0	2002
81	423	65	17	24	0	1747
82	364	55	17	23	0	1466
83	299	43	17	22	0	1165
84	76	37	16	22	0	318
85	54	36	16	22	0	225
86	53	35	16	22	0	220
87	66	32	24	32	0	277
88	56	27	20	27	0	236
89	12	9	6	9	0	226

Verticaal nr.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
1	18	0	0	0	0,05	7,5
2	115	11052	430	7736	0,05	7,5
3	60	220	1106	154	0,05	7,5
4	51	127	260	89	0,05	7,5
5	52	131	148	92	0,05	7,5
6	54	290	129	203	0,05	7,5
7	80	356	221	249	0,05	7,5
8	90	9709	340	6796	0,05	7,5
9	346	22553	2426	15787	0,05	7,5
10	405	24643	18629	17250	0,05	7,5
11	457	26382	23177	18467	0,05	7,5
12	501	27840	24792	19488	0,05	7,5
13	540	43220	26168	30254	0,05	7,5
14	577	98280	27460	68796	0,05	7,5
15	607	144620	28469	101234	0,05	7,5
16	1181	149195	50393	104436	0,05	7,5
17	1222	152286	82761	106600	0,05	7,5
18	1238	153446	108288	107412	0,05	7,5
19	1287	157147	129710	110003	0,05	7,5
20	1333	160527	144396	112369	0,05	7,5
21	1368	163128	149097	114190	0,05	7,5
22	1397	165222	151346	115655	0,05	7,5
23	1417	166676	152906	116673	0,05	7,5
24	1442	168460	154817	117922	0,05	7,5
25	1607	180243	167373	126170	0,05	7,5
26	1662	184076	171437	128853	0,05	7,5
27	1698	186575	174081	130603	0,05	7,5
28	1732	188877	176513	132214	0,05	7,5
29	1667	184408	171788	129085	0,05	7,5
30	1605	180110	167233	126077	0,05	7,5
31	1392	164896	150996	115427	0,05	7,5
32	1368	163076	149041	114153	0,05	7,5
33	1368	163124	149093	114187	0,05	7,5
34	1188	149694	134559	104786	0,05	7,5
35	1208	151161	136156	105813	0,05	7,5
36	1202	150764	135724	105535	0,05	7,5
37	1214	151616	136651	106132	0,05	7,5
38	1239	153539	138740	107477	0,05	7,5
39	1261	155175	140515	108623	0,05	7,5
40	1281	156708	142174	109696	0,05	7,5
41	1299	158027	143600	110619	0,05	7,5
42	1314	159157	144820	111410	0,05	7,5
43	1321	159609	145308	111726	0,05	7,5
44	1324	159888	145609	111922	0,05	7,5
45	1322	159708	145414	111796	0,05	7,5
46	1314	159108	144767	111375	0,05	7,5
47	1309	158766	144398	111136	0,05	7,5
48	1306	158568	144184	110998	0,05	7,5
49	1303	158329	143925	110830	0,05	7,5
50	1300	158085	143662	110660	0,05	7,5
51	1254	154687	139986	108281	0,05	7,5
52	1348	161640	147496	113148	0,05	7,5
53	1736	189170	176823	132419	0,05	7,5
54	1930	202273	190608	141591	0,05	7,5
55	1955	203952	192368	142766	0,05	7,5
56	1872	198357	186497	138850	0,05	7,5
57	1376	163662	149671	114563	0,05	7,5
58	1215	151707	136750	106195	0,05	7,5
59	1251	154419	139694	108093	0,05	7,5
60	1285	156961	142448	109873	0,05	7,5
61	1285	156961	142448	109873	0,05	7,5
62	1284	156928	142412	109850	0,05	7,5
63	1282	156778	142250	109745	0,05	7,5
64	1279	156532	141984	109573	0,05	7,5

Verticaal nr.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
65	1276	156310	141743	109417	0,05	7,5
66	1281	156643	142103	109650	0,05	7,5
67	1285	156941	142426	109859	0,05	7,5
68	1288	157184	142689	110029	0,05	7,5
69	1289	157304	142818	110113	0,05	7,5
70	1294	157665	143208	110365	0,05	7,5
71	1292	157512	141957	110258	0,05	7,5
72	1280	156657	129110	109660	0,05	7,5
73	1258	155044	108611	108531	0,05	7,5
74	1229	152866	81270	107006	0,05	7,5
75	1189	149913	48043	104939	0,05	7,5
76	618	146109	28834	102276	0,05	7,5
77	591	94832	27933	66382	0,05	7,5
78	559	38727	26831	27109	0,05	7,5
79	520	28471	25485	19930	0,05	7,5
80	474	26989	23852	18893	0,05	7,5
81	423	25260	21921	17682	0,05	7,5
82	364	23235	16639	16265	0,05	7,5
83	299	20890	1730	14623	0,05	7,5
84	76	9590	132	6713	0,05	7,5
85	54	196	129	137	0,05	7,5
86	53	132	222	92	0,05	7,5
87	66	176	311	123	0,05	7,5
88	118	6735	1070	4715	0,05	7,5
89	95	48910	15	34237	0,05	7,5

Maximale grondspanning : q_v;n;max = 196 kN/m²
Maximale gereduceerde grondspanning (incl. verkeersbelastingen) : q_verkeer;max = 34 kN/m²
Maximale gereduceerde grondspanning : q_v;r;n;max = 34 kN/m²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor) alleen voor verticalen in diepe situatie : k_v;max = 203952 kN/m³
Maximale verticale beddingsconstante (veiligheidsfactor toegepast) alleen voor verticalen in diepe situatie : k_v;max = 407904 kN/m³

4.3 Grondmechanische Parameters Pipe 3: leiding no. 3

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:
Merk op: veiligheidsfactoren niet toegepast.

q_v;p	Passieve grondspanning	kN/m²
q_v;n	Neutrale grondspanning	kN/m²
q_h;n	Neutrale horizontale grondspanning	kN/m²
q_v,r;n	Gereduceerde neutrale grondspanning	kN/m²
q_verkeer	Verkeersbelasting	kN/m²
q_v;e	Verticaal evenwichtsdraagvermogen	kN/m²
q_h;e	Horizontaal evenwichtsdraagvermogen	kN/m²
k_v;bot	Verticaal beddingsgetal omlaag	kN/m³
k_v;top	Verticaal beddingsgetal omhoog	kN/m³
k_h	Horizontaal beddinggetal	kN/m³
t_max	Maximale wrijving leiding-boorvloeistof	kN/m²
d_max	Corresponderende verplaatsing bij mobilisatie maximale wrijving	mm

Verticaal nr.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_verkeer [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
1	0	0	0	0	0	97
2	44	21	15	21	0	213
3	60	28	21	28	0	252
4	51	34	25	34	0	212
5	52	35	17	22	0	219
6	54	36	17	23	0	246
7	80	40	18	24	0	337
8	90	45	19	26	0	375
9	346	51	19	26	0	1376
10	405	62	19	26	0	1660

Verticaal nr.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_verkeer [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
11	457	71	19	25	0	1912
12	501	80	16	21	0	2134
13	540	87	14	19	0	2333
14	577	94	13	18	0	2529
15	607	100	13	17	0	4736
16	1181	106	12	17	0	5019
17	1222	111	12	17	0	5227
18	1238	113	12	17	0	5306
19	1287	118	12	17	0	5562
20	1333	123	12	17	0	5799
21	1368	127	12	17	0	5985
22	1397	130	12	17	0	6136
23	1417	133	12	17	0	6241
24	1442	135	13	17	0	6372
25	1607	154	13	17	0	7264
26	1662	161	13	17	0	7565
27	1698	165	13	17	2	7764
28	1732	169	13	17	0	7949
29	1667	161	13	17	0	7591
30	1605	154	13	17	0	7254
31	1392	130	12	17	0	6112
32	1368	127	12	17	0	5981
33	1368	127	12	17	0	5984
34	1188	107	12	16	0	5053
35	1208	109	12	17	0	5152
36	1202	109	12	17	0	5125
37	1214	110	12	17	0	5182
38	1239	113	12	17	0	5313
39	1261	115	12	17	0	5425
40	1281	117	12	17	0	5531
41	1299	119	12	17	0	5623
42	1314	121	12	17	0	5703
43	1321	122	12	17	0	5734
44	1324	122	12	17	0	5754
45	1322	122	12	17	0	5741
46	1314	121	12	17	0	5699
47	1309	120	12	17	0	5675
48	1306	120	12	17	0	5661
49	1303	120	12	17	0	5644
50	1300	119	12	17	0	5627
51	1254	114	12	17	0	5392
52	1348	125	12	17	0	5878
53	1736	170	13	17	0	7972
54	1930	193	13	18	0	9061
55	1955	196	13	18	2	9205
56	1872	186	13	18	0	8730
57	1376	128	12	17	0	6023
58	1215	110	12	17	0	5188
59	1251	114	12	17	0	5373
60	1285	118	12	17	0	5549
61	1285	118	12	17	0	5549
62	1284	118	12	17	0	5547
63	1282	117	12	17	0	5536
64	1279	117	12	17	0	5519
65	1276	117	12	17	0	5504
66	1281	117	12	17	0	5527
67	1285	118	12	17	0	5548
68	1288	118	12	17	0	5564
69	1289	118	12	17	0	5573
70	1294	119	12	17	0	5598
71	1292	119	12	17	0	5587
72	1280	117	12	17	0	5527
73	1258	115	12	16	0	5416
74	1229	112	12	16	0	5266
75	1189	107	12	16	0	5066

Verticaal nr.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_verkeer [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
76	618	103	12	16	0	4838
77	591	97	12	17	0	2601
78	559	91	13	17	0	2432
79	520	83	14	18	0	2233
80	474	75	15	20	0	2002
81	423	65	17	24	0	1747
82	364	55	17	23	0	1466
83	299	43	17	22	0	1165
84	76	37	16	22	0	318
85	54	36	16	22	0	225
86	53	35	16	22	0	220
87	66	32	24	32	0	277
88	56	27	20	27	0	236
89	12	9	6	9	0	226

Verticaal nr.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
1	18	0	0	0	0,05	7,5
2	115	11052	430	7736	0,05	7,5
3	60	220	1106	154	0,05	7,5
4	51	127	260	89	0,05	7,5
5	52	131	148	92	0,05	7,5
6	54	290	129	203	0,05	7,5
7	80	356	221	249	0,05	7,5
8	90	9709	340	6796	0,05	7,5
9	346	22553	2426	15787	0,05	7,5
10	405	24643	18629	17250	0,05	7,5
11	457	26382	23177	18467	0,05	7,5
12	501	27840	24792	19488	0,05	7,5
13	540	43220	26168	30254	0,05	7,5
14	577	98280	27460	68796	0,05	7,5
15	607	144620	28469	101234	0,05	7,5
16	1181	149195	50393	104436	0,05	7,5
17	1222	152286	82761	106600	0,05	7,5
18	1238	153446	108288	107412	0,05	7,5
19	1287	157147	129710	110003	0,05	7,5
20	1333	160527	144396	112369	0,05	7,5
21	1368	163128	149097	114190	0,05	7,5
22	1397	165222	151346	115655	0,05	7,5
23	1417	166676	152906	116673	0,05	7,5
24	1442	168460	154817	117922	0,05	7,5
25	1607	180243	167373	126170	0,05	7,5
26	1662	184076	171437	128853	0,05	7,5
27	1698	186575	174081	130603	0,05	7,5
28	1732	188877	176513	132214	0,05	7,5
29	1667	184408	171788	129085	0,05	7,5
30	1605	180110	167233	126077	0,05	7,5
31	1392	164896	150996	115427	0,05	7,5
32	1368	163076	149041	114153	0,05	7,5
33	1368	163124	149093	114187	0,05	7,5
34	1188	149694	134559	104786	0,05	7,5
35	1208	151161	136156	105813	0,05	7,5
36	1202	150764	135724	105535	0,05	7,5
37	1214	151616	136651	106132	0,05	7,5
38	1239	153539	138740	107477	0,05	7,5
39	1261	155175	140515	108623	0,05	7,5
40	1281	156708	142174	109696	0,05	7,5
41	1299	158027	143600	110619	0,05	7,5
42	1314	159157	144820	111410	0,05	7,5
43	1321	159609	145308	111726	0,05	7,5
44	1324	159888	145609	111922	0,05	7,5
45	1322	159708	145414	111796	0,05	7,5
46	1314	159108	144767	111375	0,05	7,5
47	1309	158766	144398	111136	0,05	7,5
48	1306	158568	144184	110998	0,05	7,5

Verticaal nr.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
49	1303	158329	143925	110830	0,05	7,5
50	1300	158085	143662	110660	0,05	7,5
51	1254	154687	139986	108281	0,05	7,5
52	1348	161640	147496	113148	0,05	7,5
53	1736	189170	176823	132419	0,05	7,5
54	1930	202273	190608	141591	0,05	7,5
55	1955	203952	192368	142766	0,05	7,5
56	1872	198357	186497	138850	0,05	7,5
57	1376	163662	149671	114563	0,05	7,5
58	1215	151707	136750	106195	0,05	7,5
59	1251	154419	139694	108093	0,05	7,5
60	1285	156961	142448	109873	0,05	7,5
61	1285	156961	142448	109873	0,05	7,5
62	1284	156928	142412	109850	0,05	7,5
63	1282	156778	142250	109745	0,05	7,5
64	1279	156532	141984	109573	0,05	7,5
65	1276	156310	141743	109417	0,05	7,5
66	1281	156643	142103	109650	0,05	7,5
67	1285	156941	142426	109859	0,05	7,5
68	1288	157184	142689	110029	0,05	7,5
69	1289	157304	142818	110113	0,05	7,5
70	1294	157665	143208	110365	0,05	7,5
71	1292	157512	141957	110258	0,05	7,5
72	1280	156657	129110	109660	0,05	7,5
73	1258	155044	108611	108531	0,05	7,5
74	1229	152866	81270	107006	0,05	7,5
75	1189	149913	48043	104939	0,05	7,5
76	618	146109	28834	102276	0,05	7,5
77	591	94832	27933	66382	0,05	7,5
78	559	38727	26831	27109	0,05	7,5
79	520	28471	25485	19930	0,05	7,5
80	474	26989	23852	18893	0,05	7,5
81	423	25260	21921	17682	0,05	7,5
82	364	23235	16639	16265	0,05	7,5
83	299	20890	1730	14623	0,05	7,5
84	76	9590	132	6713	0,05	7,5
85	54	196	129	137	0,05	7,5
86	53	132	222	92	0,05	7,5
87	66	176	311	123	0,05	7,5
88	118	6735	1070	4715	0,05	7,5
89	95	48910	15	34237	0,05	7,5

Maximale grondspanning : q_v;n;max = 196 kN/m²
Maximale gereduceerde grondspanning (incl. verkeersbelastingen) : q_verkeer;max = 34 kN/m²
Maximale gereduceerde grondspanning : q_v;r;n;max = 34 kN/m²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor) alleen voor verticalen in diepe situatie : k_v;max = 203952 kN/m³
Maximale verticale beddingsconstante (veiligheidsfactor toegepast) alleen voor verticalen in diepe situatie : k_v;max = 407904 kN/m³

4.4 Grondmechanische Parameters Pipe 4: leiding no. 4

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:
Merk op: veiligheidsfactoren niet toegepast.

q_v;p	Passieve grondspanning	kN/m²
q_v;n	Neutrale grondspanning	kN/m²
q_h;n	Neutrale horizontale grondspanning	kN/m²
q_v,r;n	Gereduceerde neutrale grondspanning	kN/m²
q_verkeer	Verkeersbelasting	kN/m²
q_v;e	Verticaal evenwichtsdraagvermogen	kN/m²
q_h;e	Horizontaal evenwichtsdraagvermogen	kN/m²
k_v;bot	Verticaal beddingsgetal omlaag	kN/m³
k_v;top	Verticaal beddingsgetal omhoog	kN/m³

k_h	Horizontaal beddinggetal	kN/m³
t_max	Maximale wrijving leiding-boorvloeistof	kN/m²
d_max	Corresponderende verplaatsing bij mobilisatie maximale wrijving	mm

Verticaal nr.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_verkeer [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
1	0	0	0	0	0	97
2	44	21	15	21	0	213
3	60	28	21	28	0	252
4	51	34	25	34	0	212
5	52	35	17	22	0	219
6	54	36	17	23	0	246
7	80	40	18	24	0	337
8	90	45	19	26	0	375
9	346	51	19	26	0	1376
10	405	62	19	26	0	1660
11	457	71	19	25	0	1912
12	501	80	16	21	0	2134
13	540	87	14	19	0	2333
14	577	94	13	18	0	2529
15	607	100	13	17	0	4736
16	1181	106	12	17	0	5019
17	1222	111	12	17	0	5227
18	1238	113	12	17	0	5306
19	1287	118	12	17	0	5562
20	1333	123	12	17	0	5799
21	1368	127	12	17	0	5985
22	1397	130	12	17	0	6136
23	1417	133	12	17	0	6241
24	1442	135	13	17	0	6372
25	1607	154	13	17	0	7264
26	1662	161	13	17	0	7565
27	1698	165	13	17	2	7764
28	1732	169	13	17	0	7949
29	1667	161	13	17	0	7591
30	1605	154	13	17	0	7254
31	1392	130	12	17	0	6112
32	1368	127	12	17	0	5981
33	1368	127	12	17	0	5984
34	1188	107	12	16	0	5053
35	1208	109	12	17	0	5152
36	1202	109	12	17	0	5125
37	1214	110	12	17	0	5182
38	1239	113	12	17	0	5313
39	1261	115	12	17	0	5425
40	1281	117	12	17	0	5531
41	1299	119	12	17	0	5623
42	1314	121	12	17	0	5703
43	1321	122	12	17	0	5734
44	1324	122	12	17	0	5754
45	1322	122	12	17	0	5741
46	1314	121	12	17	0	5699
47	1309	120	12	17	0	5675
48	1306	120	12	17	0	5661
49	1303	120	12	17	0	5644
50	1300	119	12	17	0	5627
51	1254	114	12	17	0	5392
52	1348	125	12	17	0	5878
53	1736	170	13	17	0	7972
54	1930	193	13	18	0	9061
55	1955	196	13	18	2	9205
56	1872	186	13	18	0	8730
57	1376	128	12	17	0	6023
58	1215	110	12	17	0	5188
59	1251	114	12	17	0	5373
60	1285	118	12	17	0	5549
61	1285	118	12	17	0	5549

Verticaal nr.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_verkeer [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
62	1284	118	12	17	0	5547
63	1282	117	12	17	0	5536
64	1279	117	12	17	0	5519
65	1276	117	12	17	0	5504
66	1281	117	12	17	0	5527
67	1285	118	12	17	0	5548
68	1288	118	12	17	0	5564
69	1289	118	12	17	0	5573
70	1294	119	12	17	0	5598
71	1292	119	12	17	0	5587
72	1280	117	12	17	0	5527
73	1258	115	12	16	0	5416
74	1229	112	12	16	0	5266
75	1189	107	12	16	0	5066
76	618	103	12	16	0	4838
77	591	97	12	17	0	2601
78	559	91	13	17	0	2432
79	520	83	14	18	0	2233
80	474	75	15	20	0	2002
81	423	65	17	24	0	1747
82	364	55	17	23	0	1466
83	299	43	17	22	0	1165
84	76	37	16	22	0	318
85	54	36	16	22	0	225
86	53	35	16	22	0	220
87	66	32	24	32	0	277
88	56	27	20	27	0	236
89	12	9	6	9	0	226

Verticaal nr.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
1	18	0	0	0	0,05	7,5
2	115	11052	430	7736	0,05	7,5
3	60	220	1106	154	0,05	7,5
4	51	127	260	89	0,05	7,5
5	52	131	148	92	0,05	7,5
6	54	290	129	203	0,05	7,5
7	80	356	221	249	0,05	7,5
8	90	9709	340	6796	0,05	7,5
9	346	22553	2426	15787	0,05	7,5
10	405	24643	18629	17250	0,05	7,5
11	457	26382	23177	18467	0,05	7,5
12	501	27840	24792	19488	0,05	7,5
13	540	43220	26168	30254	0,05	7,5
14	577	98280	27460	68796	0,05	7,5
15	607	144620	28469	101234	0,05	7,5
16	1181	149195	50393	104436	0,05	7,5
17	1222	152286	82761	106600	0,05	7,5
18	1238	153446	108288	107412	0,05	7,5
19	1287	157147	129710	110003	0,05	7,5
20	1333	160527	144396	112369	0,05	7,5
21	1368	163128	149097	114190	0,05	7,5
22	1397	165222	151346	115655	0,05	7,5
23	1417	166676	152906	116673	0,05	7,5
24	1442	168460	154817	117922	0,05	7,5
25	1607	180243	167373	126170	0,05	7,5
26	1662	184076	171437	128853	0,05	7,5
27	1698	186575	174081	130603	0,05	7,5
28	1732	188877	176513	132214	0,05	7,5
29	1667	184408	171788	129085	0,05	7,5
30	1605	180110	167233	126077	0,05	7,5
31	1392	164896	150996	115427	0,05	7,5
32	1368	163076	149041	114153	0,05	7,5
33	1368	163124	149093	114187	0,05	7,5
34	1188	149694	134559	104786	0,05	7,5

Verticaal nr.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
35	1208	151161	136156	105813	0,05	7,5
36	1202	150764	135724	105535	0,05	7,5
37	1214	151616	136651	106132	0,05	7,5
38	1239	153539	138740	107477	0,05	7,5
39	1261	155175	140515	108623	0,05	7,5
40	1281	156708	142174	109696	0,05	7,5
41	1299	158027	143600	110619	0,05	7,5
42	1314	159157	144820	111410	0,05	7,5
43	1321	159609	145308	111726	0,05	7,5
44	1324	159888	145609	111922	0,05	7,5
45	1322	159708	145414	111796	0,05	7,5
46	1314	159108	144767	111375	0,05	7,5
47	1309	158766	144398	111136	0,05	7,5
48	1306	158568	144184	110998	0,05	7,5
49	1303	158329	143925	110830	0,05	7,5
50	1300	158085	143662	110660	0,05	7,5
51	1254	154687	139986	108281	0,05	7,5
52	1348	161640	147496	113148	0,05	7,5
53	1736	189170	176823	132419	0,05	7,5
54	1930	202273	190608	141591	0,05	7,5
55	1955	203952	192368	142766	0,05	7,5
56	1872	198357	186497	138850	0,05	7,5
57	1376	163662	149671	114563	0,05	7,5
58	1215	151707	136750	106195	0,05	7,5
59	1251	154419	139694	108093	0,05	7,5
60	1285	156961	142448	109873	0,05	7,5
61	1285	156961	142448	109873	0,05	7,5
62	1284	156928	142412	109850	0,05	7,5
63	1282	156778	142250	109745	0,05	7,5
64	1279	156532	141984	109573	0,05	7,5
65	1276	156310	141743	109417	0,05	7,5
66	1281	156643	142103	109650	0,05	7,5
67	1285	156941	142426	109859	0,05	7,5
68	1288	157184	142689	110029	0,05	7,5
69	1289	157304	142818	110113	0,05	7,5
70	1294	157665	143208	110365	0,05	7,5
71	1292	157512	141957	110258	0,05	7,5
72	1280	156657	129110	109660	0,05	7,5
73	1258	155044	108611	108531	0,05	7,5
74	1229	152866	81270	107006	0,05	7,5
75	1189	149913	48043	104939	0,05	7,5
76	618	146109	28834	102276	0,05	7,5
77	591	94832	27933	66382	0,05	7,5
78	559	38727	26831	27109	0,05	7,5
79	520	28471	25485	19930	0,05	7,5
80	474	26989	23852	18893	0,05	7,5
81	423	25260	21921	17682	0,05	7,5
82	364	23235	16639	16265	0,05	7,5
83	299	20890	1730	14623	0,05	7,5
84	76	9590	132	6713	0,05	7,5
85	54	196	129	137	0,05	7,5
86	53	132	222	92	0,05	7,5
87	66	176	311	123	0,05	7,5
88	118	6735	1070	4715	0,05	7,5
89	95	48910	15	34237	0,05	7,5

Maximale grondspanning : q_v;n;max = 196 kN/m²
Maximale gereduceerde grondspanning (incl. verkeersbelastingen) : q_verkeer;max = 34 kN/m²
Maximale gereduceerde grondspanning : q_v;r;n;max = 34 kN/m²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor) alleen voor verticalen in diepe situatie : k_v;max = 203952 kN/m³
Maximale verticale beddingsconstante (veiligheidsfactor toegepast) alleen voor verticalen in diepe situatie : k_v;max = 407904 kN/m³

4.5 Young's Modulus per Laag per Verticaal

Laag nummer	Materiaalnaam	Bepalingtype
6	Klei, zwak zandig, matig	Berekend met E100
5	Klei, schoon, slap	Berekend met E100
4	Veen, slap	Berekend met E100
3	Klei, schoon, slap	Berekend met E100
2	Zand, schoon, los	Berekend met E100
1	Zand, schoon, vast	Berekend met E100

Laag nummer	Verticaal 1 (L=-42 m)		Verticaal 2 (L=-36,978 m)		Verticaal 3 (L=-31,956 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
6	0,000	1,960	0,000	1,953	0,000	1,946
5	0,163	0,210	0,163	0,210	0,162	0,209
4	0,084	0,091	0,084	0,090	0,084	0,090
3	0,227	0,287	0,226	0,287	0,226	0,286
2	10,606	15,296	10,594	15,288	10,582	15,280
1	61,185	98,405	61,153	98,386	61,121	98,366

Laag nummer	Verticaal 4 (L=-26,934 m)		Verticaal 5 (L=-21,912 m)		Verticaal 6 (L=-16,89 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
6	0,000	1,939	0,000	1,932	0,000	1,925
5	0,162	0,209	0,161	0,208	0,160	0,208
4	0,084	0,090	0,083	0,090	0,083	0,090
3	0,225	0,286	0,224	0,285	0,224	0,285
2	10,571	15,272	10,559	15,264	10,548	15,256
1	61,089	98,346	61,057	98,326	61,025	98,306

Laag nummer	Verticaal 7 (L=-11,868 m)		Verticaal 8 (L=-6,846 m)		Verticaal 9 (L=-1,824 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
6	0,000	1,918	0,000	1,911	0,000	1,904
5	0,160	0,207	0,159	0,207	0,159	0,206
4	0,083	0,089	0,083	0,089	0,082	0,089
3	0,223	0,284	0,223	0,284	0,222	0,283
2	10,536	15,248	10,524	15,240	10,513	15,232
1	60,992	98,286	60,960	98,266	60,928	98,246

Laag nummer	Verticaal 10 (L=3,198 m)		Verticaal 11 (L=8,22 m)		Verticaal 12 (L=13,242 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
6	0,000	1,897	0,000	1,877	0,000	1,846
5	0,158	0,206	0,156	0,204	0,154	0,202
4	0,082	0,089	0,082	0,088	0,081	0,087
3	0,222	0,283	0,220	0,281	0,218	0,279
2	10,501	15,224	10,467	15,200	10,416	15,166
1	60,896	98,226	60,802	98,167	60,662	98,081

Laag nummer	Verticaal 13 (L=18,264 m)		Verticaal 14 (L=23,286 m)		Verticaal 15 (L=28,308 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
6	0,000	1,822	0,000	1,848	0,000	1,844
5	0,152	0,200	0,154	0,202	0,154	0,201
4	0,080	0,086	0,081	0,087	0,081	0,087
3	0,216	0,277	0,218	0,279	0,218	0,279
2	10,375	15,137	10,419	15,167	10,412	15,163
1	60,549	98,011	60,669	98,085	60,652	98,075

Laag nummer	Verticaal 16 (L=33,33 m)		Verticaal 17 (L=38,352 m)		Verticaal 18 (L=43,374 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
6	0,000	1,862	0,000	1,824	0,000	1,678

Laag nummer	Verticaal 16 (L=33,33 m)		Verticaal 17 (L=38,352 m)		Verticaal 18 (L=43,374 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
5	0,155	0,203	0,152	0,200	0,140	0,189
4	0,081	0,088	0,080	0,087	0,075	0,082
3	0,219	0,280	0,216	0,277	0,205	0,267
2	10,443	15,184	10,379	15,140	10,134	14,973
1	60,736	98,127	60,561	98,018	59,893	97,607

Laag nummer	Verticaal 19 (L=48,396 m)		Verticaal 20 (L=53,418 m)		Verticaal 21 (L=58,44 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
6	0,000	1,851	0,000	2,066	0,000	2,276
5	0,154	0,202	0,172	0,219	0,190	0,235
4	0,081	0,087	0,087	0,094	0,094	0,100
3	0,218	0,279	0,235	0,295	0,251	0,310
2	10,424	15,171	10,783	15,420	11,131	15,665
1	60,685	98,095	61,680	98,714	62,660	99,329

Laag nummer	Verticaal 22 (L=63,462 m)		Verticaal 23 (L=68,484 m)		Verticaal 24 (L=73,506 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
6	0,000	2,471	0,000	2,606	0,000	2,770
5	0,206	0,251	0,217	0,261	0,231	0,274
4	0,100	0,107	0,105	0,111	0,110	0,116
3	0,266	0,325	0,277	0,335	0,290	0,347
2	11,453	15,895	11,673	16,055	11,940	16,250
1	63,581	99,913	64,219	100,320	64,999	100,821

Laag nummer	Verticaal 25 (L=78,528 m)		Verticaal 26 (L=83,55 m)		Verticaal 27 (L=88,572 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
6	0,000	3,834	0,000	4,176	0,000	4,398
5	0,320	0,360	0,348	0,388	0,366	0,406
4	0,144	0,150	0,155	0,161	0,162	0,168
3	0,374	0,428	0,402	0,455	0,420	0,472
2	13,619	17,521	14,141	17,929	14,475	18,194
1	70,084	104,172	71,717	105,277	72,776	106,002

Laag nummer	Verticaal 28 (L=93,594 m)		Verticaal 29 (L=98,616 m)		Verticaal 30 (L=103,638 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
6	0,000	4,602	0,000	4,205	0,000	3,823
5	0,383	0,422	0,350	0,390	0,319	0,359
4	0,169	0,174	0,156	0,162	0,144	0,149
3	0,436	0,488	0,404	0,457	0,373	0,428
2	14,779	18,437	14,185	17,964	13,601	17,507
1	73,748	106,671	71,858	105,373	70,028	104,134

Laag nummer	Verticaal 31 (L=108,66 m)		Verticaal 32 (L=113,682 m)		Verticaal 33 (L=118,704 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
6	0,000	2,441	0,000	2,271	0,000	2,275
5	0,203	0,248	0,189	0,235	0,190	0,235
4	0,099	0,106	0,094	0,100	0,094	0,100
3	0,264	0,322	0,251	0,310	0,251	0,310
2	11,403	15,860	11,123	15,659	11,130	15,665
1	63,438	99,822	62,637	99,315	62,658	99,328

Laag nummer	Verticaal 34 (L=123,726 m)		Verticaal 35 (L=128,748 m)		Verticaal 36 (L=133,77 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
6	0,000	0,938	0,000	1,096	0,000	1,053
5	0,078	0,133	0,091	0,144	0,088	0,141
4	0,053	0,060	0,058	0,065	0,056	0,064
3	0,151	0,217	0,162	0,227	0,159	0,224
2	8,890	14,161	9,153	14,328	9,083	14,283

Laag nummer	Verticaal 34 (L=123,726 m)		Verticaal 35 (L=128,748 m)		Verticaal 36 (L=133,77 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
1	56,644	95,648	57,311	96,044	57,131	95,937

Laag nummer	Verticaal 37 (L=138,792 m)		Verticaal 38 (L=143,814 m)		Verticaal 39 (L=148,836 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
6	0,000	1,144	0,000	1,343	0,000	1,508
5	0,095	0,148	0,112	0,163	0,126	0,175
4	0,059	0,066	0,065	0,072	0,070	0,077
3	0,165	0,230	0,180	0,244	0,192	0,255
2	9,234	14,379	9,568	14,596	9,847	14,780
1	57,517	96,168	58,386	96,690	59,122	97,136

Laag nummer	Verticaal 40 (L=153,858 m)		Verticaal 41 (L=158,88 m)		Verticaal 42 (L=163,902 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
6	0,000	1,660	0,000	1,789	0,000	1,898
5	0,138	0,187	0,149	0,197	0,158	0,206
4	0,075	0,082	0,079	0,085	0,082	0,089
3	0,204	0,266	0,214	0,275	0,222	0,283
2	10,103	14,952	10,320	15,099	10,503	15,225
1	59,809	97,556	60,398	97,918	60,901	98,229

Laag nummer	Verticaal 43 (L=168,924 m)		Verticaal 44 (L=173,946 m)		Verticaal 45 (L=178,968 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
6	0,000	1,942	0,000	1,968	0,000	1,951
5	0,162	0,209	0,164	0,211	0,163	0,210
4	0,084	0,090	0,084	0,091	0,084	0,090
3	0,225	0,286	0,227	0,288	0,226	0,287
2	10,576	15,276	10,620	15,307	10,591	15,287
1	61,102	98,354	61,226	98,431	61,146	98,381

Laag nummer	Verticaal 46 (L=183,99 m)		Verticaal 47 (L=189,012 m)		Verticaal 48 (L=194,034 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
6	0,000	1,893	0,000	1,860	0,000	1,841
5	0,158	0,205	0,155	0,203	0,153	0,201
4	0,082	0,089	0,081	0,088	0,080	0,087
3	0,222	0,282	0,219	0,280	0,218	0,279
2	10,495	15,220	10,440	15,182	10,408	15,160
1	60,879	98,216	60,727	98,121	60,639	98,067

Laag nummer	Verticaal 49 (L=199,056 m)		Verticaal 50 (L=204,078 m)		Verticaal 51 (L=209,1 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
6	0,000	1,818	0,000	1,794	0,000	1,459
5	0,152	0,199	0,150	0,198	0,122	0,172
4	0,080	0,086	0,079	0,086	0,069	0,075
3	0,216	0,277	0,214	0,275	0,189	0,252
2	10,369	15,133	10,329	15,106	9,764	14,726
1	60,532	98,001	60,424	97,934	58,903	97,003

Laag nummer	Verticaal 52 (L=214,122 m)		Verticaal 53 (L=219,144 m)		Verticaal 54 (L=224,166 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
6	0,000	2,135	0,000	4,628	0,000	5,786
5	0,178	0,224	0,386	0,424	0,482	0,519
4	0,090	0,096	0,170	0,175	0,208	0,213
3	0,240	0,300	0,438	0,490	0,532	0,582
2	10,898	15,501	14,818	18,468	16,491	19,836
1	62,003	98,916	73,871	106,757	79,342	110,613

Laag nummer	Verticaal 55 (L=229,188 m)		Verticaal 56 (L=234,21 m)		Verticaal 57 (L=239,232 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
6	0,000	5,935	0,000	5,440	0,000	2,326
5	0,495	0,531	0,453	0,491	0,194	0,239
4	0,212	0,218	0,196	0,202	0,096	0,102
3	0,544	0,594	0,504	0,554	0,255	0,314
2	16,699	20,009	16,000	19,429	11,213	15,724
1	80,036	111,112	77,717	109,453	62,895	99,478

Laag nummer	Verticaal 58 (L=244,254 m)		Verticaal 59 (L=249,276 m)		Verticaal 60 (L=254,298 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
6	0,000	1,153	0,000	1,432	0,000	1,685
5	0,096	0,149	0,119	0,170	0,140	0,189
4	0,059	0,066	0,068	0,075	0,076	0,082
3	0,166	0,231	0,187	0,250	0,206	0,267
2	9,250	14,389	9,719	14,695	10,145	14,980
1	57,558	96,192	58,782	96,929	59,922	97,625

Laag nummer	Verticaal 61 (L=259,32 m)		Verticaal 62 (L=264,342 m)		Verticaal 63 (L=269,364 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
6	0,000	1,685	0,000	1,682	0,000	1,667
5	0,140	0,189	0,140	0,189	0,139	0,188
4	0,076	0,082	0,076	0,082	0,075	0,082
3	0,206	0,267	0,205	0,267	0,204	0,266
2	10,145	14,980	10,139	14,977	10,114	14,960
1	59,922	97,625	59,907	97,616	59,840	97,575

Laag nummer	Verticaal 64 (L=274,386 m)		Verticaal 65 (L=279,408 m)		Verticaal 66 (L=284,43 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
6	0,000	1,643	0,000	1,621	0,000	1,653
5	0,137	0,186	0,135	0,184	0,138	0,187
4	0,074	0,081	0,074	0,080	0,075	0,081
3	0,202	0,264	0,201	0,263	0,203	0,265
2	10,074	14,933	10,037	14,908	10,092	14,945
1	59,730	97,507	59,630	97,446	59,780	97,538

Laag nummer	Verticaal 67 (L=289,452 m)		Verticaal 68 (L=294,474 m)		Verticaal 69 (L=299,496 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
6	0,000	1,683	0,000	1,707	0,000	1,718
5	0,140	0,189	0,142	0,191	0,143	0,192
4	0,076	0,082	0,076	0,083	0,077	0,083
3	0,206	0,267	0,207	0,269	0,208	0,270
2	10,141	14,978	10,181	15,005	10,201	15,019
1	59,913	97,619	60,021	97,686	60,075	97,719

Laag nummer	Verticaal 70 (L=304,518 m)		Verticaal 71 (L=309,54 m)		Verticaal 72 (L=314,562 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
6	0,000	1,718	0,000	1,730	0,000	1,745
5	0,143	0,192	0,144	0,192	0,145	0,194
4	0,077	0,083	0,077	0,084	0,077	0,084
3	0,208	0,267	0,209	0,265	0,210	0,264
2	10,143	15,040	10,097	15,077	10,059	15,119
1	60,161	97,855	60,308	98,038	60,474	98,232

Laag nummer	Verticaal 73 (L=319,584 m)		Verticaal 74 (L=324,606 m)		Verticaal 75 (L=329,628 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
6	0,000	1,761	0,000	1,797	0,000	1,836
5	0,147	0,195	0,150	0,198	0,153	0,201
4	0,078	0,085	0,079	0,086	0,080	0,087

Laag nummer	Verticaal 73 (L=319,584 m)		Verticaal 74 (L=324,606 m)		Verticaal 75 (L=329,628 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
3	0,211	0,262	0,214	0,262	0,217	0,262
2	10,020	15,160	10,016	15,225	10,018	15,293
1	60,640	98,426	60,899	98,678	61,170	98,937

Laag nummer	Verticaal 76 (L=334,65 m)		Verticaal 77 (L=339,672 m)		Verticaal 78 (L=344,694 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
6	0,000	1,874	0,000	1,902	0,000	1,925
5	0,156	0,204	0,158	0,206	0,160	0,208
4	0,081	0,088	0,082	0,089	0,083	0,090
3	0,220	0,262	0,222	0,261	0,224	0,260
2	10,020	15,360	10,002	15,415	9,978	15,465
1	61,440	99,195	61,658	99,421	61,859	99,637

Laag nummer	Verticaal 79 (L=349,716 m)		Verticaal 80 (L=354,738 m)		Verticaal 81 (L=359,76 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
6	0,000	1,938	0,000	1,938	0,000	1,939
5	0,161	0,209	0,161	0,209	0,162	0,209
4	0,083	0,090	0,083	0,090	0,084	0,090
3	0,225	0,259	0,225	0,256	0,225	0,253
2	9,935	15,503	9,868	15,526	9,803	15,550
1	62,010	99,821	62,103	99,969	62,200	100,120

Laag nummer	Verticaal 82 (L=364,782 m)		Verticaal 83 (L=369,804 m)		Verticaal 84 (L=374,826 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
6	0,000	1,942	0,000	1,944	0,000	1,947
5	0,162	0,209	0,162	0,209	0,162	0,209
4	0,084	0,090	0,084	0,090	0,084	0,090
3	0,225	0,251	0,225	0,248	0,226	0,245
2	9,741	15,576	9,678	15,602	9,614	15,628
1	62,304	100,275	62,409	100,430	62,513	100,585

Laag nummer	Verticaal 85 (L=379,848 m)		Verticaal 86 (L=384,87 m)		Verticaal 87 (L=389,892 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
6	0,000	1,958	0,000	1,988	0,000	2,018
5	0,163	0,210	0,166	0,213	0,168	0,215
4	0,084	0,091	0,085	0,092	0,086	0,092
3	0,227	0,243	0,229	0,243	0,231	0,242
2	9,566	15,664	9,554	15,721	9,541	15,777
1	62,655	100,763	62,883	100,994	63,110	101,225

Laag nummer	Verticaal 88 (L=394,914 m)		Verticaal 89 (L=399,936 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
6	0,000	2,024	0,000	2,024
5	0,169	0,215	0,169	0,215
4	0,086	0,093	0,086	0,093
3	0,232	0,240	0,232	0,237
2	9,483	15,807	9,413	15,830
1	63,228	101,388	63,319	101,534

5 Gegevens voor Sterkteberekening

5.1 Algemene Gegevens

Aantal leidingen in bundel	:	Npipes = 4 [-]
Diameter leiding	:	Do = 315,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 28,70 mm
Volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
Diameter leiding	:	Do = 315,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 28,70 mm
Volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
Diameter leiding	:	Do = 315,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 28,70 mm
Volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
Diameter leiding	:	Do = 315,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 28,70 mm
Volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
Equivalente diameter leiding	:	Do = 831,29 mm
Equivalente nominale wanddikte	:	t = 41,62 mm
Equivalente volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 107801 kN/m³
Volumegewicht boorvloeistof	:	gamma_b = 11,50 kN/m³
Kromtestraal op rollenbaan (intrekboog)	:	Rrol = 500,000 m
Wrijvingscoëfficiënt leiding/rollenbaan	:	f1 = 0,10
Wrijving tussen leiding en boorvloeistof	:	f2 = 0,000050 N/mm²
Wrijvingscoëfficiënt leiding/grond	:	f3 = 0,20

5.2 Ballasten Leiding

Het opdrijvend vermogen van de productbuis in de boorvloeistof heeft invloed op de wrijving tussen de grond en de leiding. Door het ballasten van de leiding neemt de opwaartse kracht van de leiding in de boorvloeistof af. Bij een optimaal vullingpercentage is de wrijvingskracht tussen de leiding en de wand van het boorgat minimaal

Bij een vulling percentage van 0% ontstaat het volgende resulterende gewicht.

Opwaartse kracht	:	365	[kg/m]	
Gewicht productbuis (inclusief vulling)	:	100	[kg/m]	

Resultaat	:	265	[kg/m]	(Leiding beweegt opwaarts)

5.3 Trekkrachtberekening

Tijdens het intrekken van de leiding door het boorgat ondervindt de buis een wrijving die is opgebouwd uit:

- wrijving tussen buis en rollenbaan (f1 = 0,10)
- wrijving tussen buis en boorvloeistof (f2 = 0,000050 [N/mm²])
- wrijving tussen buis en grond (f3 = 0,20)

Door het optreden van wrijving tijdens het intrekken ontstaat een trekkracht in de leiding.
De pijpleiding wordt van rechts naar links ingetrokken.

Bij het berekenen van de trekkrachten wordt rekening gehouden met het feit dat de lengte van de buis op de rollenbaan afneemt naarmate de doortrekoperatie vordert. Bij het berekenen van de trekkracht wordt uitgegaan van een stabiel boorgat.

Karakteristieke punten	Lengte leiding in gat (m)	Karakteristieke waarde voor de trekkracht (kN)
T1	0	44
T2	37	65

Karakteristieke punten	Lengte leiding in gat (m)	Karakteristieke waarde voor de trekkracht (kN)
T3	103	110
T4	346	269
T5	411	326
T6	448	346

De berekende waarden van de trekkracht zijn karakteristieke waarden waarop nog een totaalfactor voor stochastische variatie en modelonzekerheid (f) van tenminste 1.4 moet worden toegepast in de sterkte berekening, volgens art. E.1.2.1 van NEN 3650-1:2012. In de sterkteberekening (volgend hoofdstuk) is een factor van 1,80 gebruikt en een belasting factor van 1,00.

6 Sterkteberekening van Pipe 1: leiding no. 1

6.1 Materiaalgegevens van Pipe 1: leiding no. 1

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Leiding materiaal	:	Polyetheen PE100
Buiten- diameter	:	Do = 315,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 28,70 mm
Ontwerpdruk	:	pd = 0,00 bar
Test druk	:	pt = 0,00 bar
Temperatuur variatie	:	dt = 0,00 deg Celcius
Lengte leiding	:	L = 448 m
Elasticiteitsmodulus (kort)	:	E = 975 N/mm²
Elasticiteitsmodulus (lang)	:	E = 350 N/mm²
Toelaatbare spanning (kort)	:	S = 10 N/mm²
Toelaatbare spanning (lang)	:	S = 8 N/mm²
Importantie factor (S)	:	S = 1,00
Volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
Opleghoek	:	beta = 30 graden
Belastingshoek	:	alfa = 30 graden
Momentcoëfficiënt grond top (indirect)	:	kt' = 0,078
Momentcoëfficiënt grond bodem (indirect)	:	kb' = 0,179
Momentcoëfficiënt grond top (direct)	:	kt = 0,257
Momentcoëfficiënt bodem (direct)	:	kb = 0,257
Deflectiecoëfficiënt (indirect)	:	ky' = 0,071
Deflectiecoëfficiënt (direct)	:	ky = 0,143
Maximale gereduc. vert. grondbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v;r;n;max = 34 kN/m²
Verkeersbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v = 0 kN/m²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 203952 kN/m³
Gebruikte straal (exclusief veiligheidsfactoren)	:	Rmin = 220,000 m
Belastingsfactor aanlegbelasting	:	f_install = 1,00
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Belastingsfactor ontwerpdruk	:	f_pd = 1,00
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie)	:	f_pd;comb = 1,00
Belastingsfactor testdruk	:	f_pt = 1,00
Belastingsfactor temperatuur	:	f_temp = 1,10
Belastingsfactor verkeersbelasting	:	f_v = 1,35
Onzekerheidsfactor kromte straal	:	f_R = 1,10
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	:	f_kv = 2,00
Onzekerheidsfactor buigend moment	:	f_k = 1,40
Totaalfactor op trekkracht voor stoch. varia. en modelonzekerheid	:	f = 1,80
Lineaire uitzettingscoëfficiënt gemiddeld tussen t1 en t2	:	alfa_g = 0,0001600 mm/mmK

6.2 Resultaten Sterkteberekening van Pipe 1: leiding no. 1

Voor de berekening worden 5 belasting fasen onderscheiden:

- Belasting combinatie 1A: begin trekoperatie
- Belasting combinatie 1B: einde van trekoperatie
- Belasting combinatie 2: intern op druk brengen
- Belasting combinatie 3: bedrijfsfase, niet op druk
- Belasting combinatie 4: bedrijfsfase, op druk

De wanddikte is 28,7 mm. Hierna wordt door middel van een berekening conform NEN 3650 serie aangetoond dat deze wanddikte voldoet

6.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie

Axiale spanning:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k E·Ib /(Rrol·Wb)	=	0,43	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * T1/A = f * f_install (Lrol * Q * f1)/A	=	0,77	N/mm²

Maximale axiale spanning Sigma_a,max	=	1,05	N/mm²

De tangentiele spanning is in deze fase verwaarloosbaar.

6.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie

Axiale spanning:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,98	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * Tmax/A	=	6,04	N/mm²
Maximale axiale spanning Sigma_a,max	=	6,67	N/mm²

Tangentiele spanning:

Belasting qr op de leiding ten gevolge van grondreactie bij bochten (volgens NEN 3650-1 katern-5 D3.3):

qr = kv *·y = (0.322·Lambda^2·E·I)/(Do.R/f_R)

Lambda = (f_kv kv·Do/(4·E·I))^0.25	=	3,3E-3	1/mm
qr	=	0,0148	N/mm²
Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,87	N/mm²
Maximale tangentiele spanning Sigma_t,max	=	0,57	N/mm²

6.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen

Ten gevolge van inwendige druk :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

6.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie

Axiale spanning:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,35	N/mm²
Maximale axiale spanning Sigma_a,max	=	0,23	N/mm²

Tangentiele spanning:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,52	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	4,25	N/mm²
Maximale tangentiele spanning Sigma_t,max	=	3,10	N/mm²

6.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk

Axiale spanning:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,35	N/mm²

Ten gevolge van inwendige druk :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_Temp = dt * gamma_t * alpha_g * E	=	0,00	N/mm²
Maximale axiale spanning Sigma_a,max	=	0,23	N/mm²

Tangentiele spanning:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,52	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	4,25	N/mm²
'Rerounding'-factor Frr	=	1,000	
'Rerounding'-factor F'rr	=	1,000	

Sigma_t,max = Sigma_py + ((F'rr·. Sigma_qr) + (Frr·. Sigma_qn))

Maximale tangentiele spanning Sigma_t,max	=	3,10	N/mm²

6.3 Controle van de Berekende Spanningen van Pipe 1: leiding no. 1

Belasting combinatie 1
- Sigma_AxMax < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < ShortStrength * DamageFactor

Belasting combinatie 2
- Sigma_ptest < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_py < LongStrength * DamageFactor

Belasting combinatie 3
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

Belasting combinatie 4
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.

	Max toelaatbare spanning [N/mm²]	Spannings combinatie 1A	Spannings combinatie 1B	Spannings combinatie 2	Spannings combinatie 3	Spannings combinatie 4
Sigma_ptest	10,00 (kort)	-	-	0,00	-	-
Sigma_py	8,00 (lang)	-	-	0,00	-	-
Sigma_axiaal	10,00 (kort)	1,05	6,67	-	-	-
Sigma_axiaal	8,00 (lang)	-	-	-	0,23	0,23
Sigma_tang...	10,00 (kort)	-	0,57	-	-	-
Sigma_tang...	8,00 (lang)	-	-	-	3,10	3,10

Spanningen in de leiding [N/mm²]

De deflectie van de leiding is 6,3 mm (2,01% x Do). De maximaal toelaatbare deflectie van de leiding is 25,2 mm (8,00% x S x Do). De deflectie is toelaatbaar.
De maximaal toelaatbare deflectie bij inspectie ('piggability') is 15,8 mm (5,00% x Do). De deflectie is toelaatbaar.

6.4 Toetsing op Implosie van Pipe 1: leiding no. 1

Tijdens het intrekken wordt de leiding belast door de heersende bentonietdruk. De hoogste minimaal benodigde druk tijdens het intrekken is gelijk aan 246 kN/m², dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 1559 kN/m².

Tijdens de bedrijfstoestand wordt de leiding belast door de heersende waterdruk. De uitwendige waterdruk op de leiding is gelijk aan 168 kN/m², dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 280 kN/m².

7 Sterkteberekening van Pipe 2: leiding no. 2

7.1 Materiaalgegevens van Pipe 2: leiding no. 2

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Leiding materiaal	:	Polyetheen PE100
Buiten- diameter	:	Do = 315,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 28,70 mm
Ontwerpdruk	:	pd = 0,00 bar
Test druk	:	pt = 0,00 bar
Temperatuur variatie	:	dt = 0,00 deg Celcius
Lengte leiding	:	L = 448 m
Elasticiteitsmodulus (kort)	:	E = 975 N/mm²
Elasticiteitsmodulus (lang)	:	E = 350 N/mm²
Toelaatbare spanning (kort)	:	S = 10 N/mm²
Toelaatbare spanning (lang)	:	S = 8 N/mm²
Importantie factor (S)	:	S = 1,00
Volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
Opleghoek	:	beta = 30 graden
Belastingshoek	:	alfa = 30 graden
Momentcoëfficiënt grond top (indirect)	:	kt' = 0,078
Momentcoëfficiënt grond bodem (indirect)	:	kb' = 0,179
Momentcoëfficiënt grond top (direct)	:	kt = 0,257
Momentcoëfficiënt bodem (direct)	:	kb = 0,257
Deflectiecoëfficiënt (indirect)	:	ky' = 0,071
Deflectiecoëfficiënt (direct)	:	ky = 0,143
Maximale gereduc. vert. grondbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v;r;n;max = 34 kN/m²
Verkeersbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v = 0 kN/m²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 203952 kN/m³
Gebruikte straal (exclusief veiligheidsfactoren)	:	Rmin = 220,000 m
Belastingsfactor aanlegbelasting	:	f_install = 1,00
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Belastingsfactor ontwerpdruk	:	f_pd = 1,00
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie)	:	f_pd;comb = 1,00
Belastingsfactor testdruk	:	f_pt = 1,00
Belastingsfactor temperatuur	:	f_temp = 1,10
Belastingsfactor verkeersbelasting	:	f_v = 1,35
Onzekerheidsfactor kromte straal	:	f_R = 1,10
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	:	f_kv = 2,00
Onzekerheidsfactor buigend moment	:	f_k = 1,40
Totaalfactor op trekkracht voor stoch. varia. en modelonzekerheid	:	f = 1,80
Lineaire uitzettingscoëfficiënt gemiddeld tussen t1 en t2	:	alfa_g = 0,0001600 mm/mmK

7.2 Resultaten Sterkteberekening van Pipe 2: leiding no. 2

Voor de berekening worden 5 belasting fasen onderscheiden:

- Belasting combinatie 1A: begin trekoperatie
- Belasting combinatie 1B: einde van trekoperatie
- Belasting combinatie 2: intern op druk brengen
- Belasting combinatie 3: bedrijfsfase, niet op druk
- Belasting combinatie 4: bedrijfsfase, op druk

De wanddikte is 28,7 mm. Hierna wordt door middel van een berekening conform NEN 3650 serie aangetoond dat deze wanddikte voldoet

7.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie

Axiale spanning:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k E·Ib /(Rrol·Wb)	=	0,43	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * T1/A = f * f_install (Lrol * Q * f1)/A	=	0,77	N/mm²

Maximale axiale spanning Sigma_a,max	=	1,05	N/mm²

De tangentiele spanning is in deze fase verwaarloosbaar.

7.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie

Axiale spanning:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,98	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * Tmax/A	=	6,04	N/mm²
Maximale axiale spanning Sigma_a,max	=	6,67	N/mm²

Tangentiele spanning:

Belasting qr op de leiding ten gevolge van grondreactie bij bochten (volgens NEN 3650-1 katern-5 D3.3):

qr = kv *·y = (0.322·Lambda^2·E·I)/(Do.R/f_R)

Lambda = (f_kv kv·Do/(4·E·I))^0.25	=	3,3E-3	1/mm
qr	=	0,0148	N/mm²
Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,87	N/mm²
Maximale tangentiele spanning Sigma_t,max	=	0,57	N/mm²

7.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen

Ten gevolge van inwendige druk :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

7.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie

Axiale spanning:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,35	N/mm²
Maximale axiale spanning Sigma_a,max	=	0,23	N/mm²

Tangentiele spanning:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,52	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	4,25	N/mm²
Maximale tangentiele spanning Sigma_t,max	=	3,10	N/mm²

7.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk

Axiale spanning:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,35	N/mm²

Ten gevolge van inwendige druk :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_Temp = dt * gamma_t * alpha_g * E	=	0,00	N/mm²
Maximale axiale spanning Sigma_a,max	=	0,23	N/mm²

Tangentiele spanning:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,52	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	4,25	N/mm²
'Rerounding'-factor Frr	=	1,000	
'Rerounding'-factor F'rr	=	1,000	

Sigma_t,max = Sigma_py + ((F'rr·. Sigma_qr) + (Frr·. Sigma_qn))

Maximale tangentiele spanning Sigma_t,max	=	3,10	N/mm²

7.3 Controle van de Berekende Spanningen van Pipe 2: leiding no. 2

Belasting combinatie 1
- Sigma_AxMax < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < ShortStrength * DamageFactor

Belasting combinatie 2
- Sigma_ptest < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_py < LongStrength * DamageFactor

Belasting combinatie 3
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

Belasting combinatie 4
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.

	Max toelaatbare spanning [N/mm²]	Spannings combinatie 1A	Spannings combinatie 1B	Spannings combinatie 2	Spannings combinatie 3	Spannings combinatie 4
Sigma_ptest	10,00 (kort)	-	-	0,00	-	-
Sigma_py	8,00 (lang)	-	-	0,00	-	-
Sigma_axiaal	10,00 (kort)	1,05	6,67	-	-	-
Sigma_axiaal	8,00 (lang)	-	-	-	0,23	0,23
Sigma_tang...	10,00 (kort)	-	0,57	-	-	-
Sigma_tang...	8,00 (lang)	-	-	-	3,10	3,10

Spanningen in de leiding [N/mm²]

De deflectie van de leiding is 6,3 mm (2,01% x Do). De maximaal toelaatbare deflectie van de leiding is 25,2 mm (8,00% x S x Do). De deflectie is toelaatbaar.
De maximaal toelaatbare deflectie bij inspectie ('piggability') is 15,8 mm (5,00% x Do). De deflectie is toelaatbaar.

7.4 Toetsing op Implosie van Pipe 2: leiding no. 2

Tijdens het intrekken wordt de leiding belast door de heersende bentonietdruk. De hoogste minimaal benodigde druk tijdens het intrekken is gelijk aan 246 kN/m², dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 1559 kN/m².

Tijdens de bedrijfstoestand wordt de leiding belast door de heersende waterdruk. De uitwendige waterdruk op de leiding is gelijk aan 168 kN/m², dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 280 kN/m².

8 Sterkteberekening van Pipe 3: leiding no. 3

8.1 Materiaalgegevens van Pipe 3: leiding no. 3

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Leiding materiaal	:	Polyetheen PE100
Buiten- diameter	:	Do = 315,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 28,70 mm
Ontwerpdruk	:	pd = 0,00 bar
Test druk	:	pt = 0,00 bar
Temperatuur variatie	:	dt = 0,00 deg Celcius
Lengte leiding	:	L = 448 m
Elasticiteitsmodulus (kort)	:	E = 975 N/mm²
Elasticiteitsmodulus (lang)	:	E = 350 N/mm²
Toelaatbare spanning (kort)	:	S = 10 N/mm²
Toelaatbare spanning (lang)	:	S = 8 N/mm²
Importantie factor (S)	:	S = 1,00
Volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
Opleghoek	:	beta = 30 graden
Belastingshoek	:	alfa = 30 graden
Momentcoëfficiënt grond top (indirect)	:	kt' = 0,078
Momentcoëfficiënt grond bodem (indirect)	:	kb' = 0,179
Momentcoëfficiënt grond top (direct)	:	kt = 0,257
Momentcoëfficiënt bodem (direct)	:	kb = 0,257
Deflectiecoëfficiënt (indirect)	:	ky' = 0,071
Deflectiecoëfficiënt (direct)	:	ky = 0,143
Maximale gereduc. vert. grondbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v;r;n;max = 34 kN/m²
Verkeersbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v = 0 kN/m²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 203952 kN/m³
Gebruikte straal (exclusief veiligheidsfactoren)	:	Rmin = 220,000 m
Belastingsfactor aanlegbelasting	:	f_install = 1,00
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Belastingsfactor ontwerpdruk	:	f_pd = 1,00
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie)	:	f_pd;comb = 1,00
Belastingsfactor testdruk	:	f_pt = 1,00
Belastingsfactor temperatuur	:	f_temp = 1,10
Belastingsfactor verkeersbelasting	:	f_v = 1,35
Onzekerheidsfactor kromte straal	:	f_R = 1,10
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	:	f_kv = 2,00
Onzekerheidsfactor buigend moment	:	f_k = 1,40
Totaalfactor op trekkracht voor stoch. varia. en modelonzekerheid	:	f = 1,80
Lineaire uitzettingscoëfficiënt gemiddeld tussen t1 en t2	:	alfa_g = 0,0001600 mm/mmK

8.2 Resultaten Sterkteberekening van Pipe 3: leiding no. 3

Voor de berekening worden 5 belasting fasen onderscheiden:

- Belasting combinatie 1A: begin trekoperatie
- Belasting combinatie 1B: einde van trekoperatie
- Belasting combinatie 2: intern op druk brengen
- Belasting combinatie 3: bedrijfsfase, niet op druk
- Belasting combinatie 4: bedrijfsfase, op druk

De wanddikte is 28,7 mm. Hierna wordt door middel van een berekening conform NEN 3650 serie aangetoond dat deze wanddikte voldoet

8.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie

Axiale spanning:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k E·Ib /(Rrol·Wb)	=	0,43	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * T1/A = f * f_install (Lrol * Q * f1)/A	=	0,77	N/mm²

Maximale axiale spanning Sigma_a,max	=	1,05	N/mm²

De tangentiele spanning is in deze fase verwaarloosbaar.

8.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie

Axiale spanning:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,98	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * Tmax/A	=	6,04	N/mm²
Maximale axiale spanning Sigma_a,max	=	6,67	N/mm²

Tangentiele spanning:

Belasting qr op de leiding ten gevolge van grondreactie bij bochten (volgens NEN 3650-1 katern-5 D3.3):

qr = kv *·y = (0.322·Lambda^2·E·I)/(Do.R/f_R)

Lambda = (f_kv kv·Do/(4·E·I))^0.25	=	3,3E-3	1/mm
qr	=	0,0148	N/mm²
Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,87	N/mm²
Maximale tangentiele spanning Sigma_t,max	=	0,57	N/mm²

8.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen

Ten gevolge van inwendige druk :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

8.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie

Axiale spanning:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,35	N/mm²
Maximale axiale spanning Sigma_a,max	=	0,23	N/mm²

Tangentiele spanning:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,52	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	4,25	N/mm²
Maximale tangentiele spanning Sigma_t,max	=	3,10	N/mm²

8.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk

Axiale spanning:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,35	N/mm²

Ten gevolge van inwendige druk :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_Temp = dt * gamma_t * alpha_g * E	=	0,00	N/mm²
Maximale axiale spanning Sigma_a,max	=	0,23	N/mm²

Tangentiele spanning:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,52	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	4,25	N/mm²
'Rerounding'-factor Frr	=	1,000	
'Rerounding'-factor F'rr	=	1,000	

Sigma_t,max = Sigma_py + ((F'rr·. Sigma_qr) + (Frr·. Sigma_qn))

Maximale tangentiele spanning Sigma_t,max	=	3,10	N/mm²

8.3 Controle van de Berekende Spanningen van Pipe 3: leiding no. 3

Belasting combinatie 1
- Sigma_AxMax < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < ShortStrength * DamageFactor

Belasting combinatie 2
- Sigma_ptest < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_py < LongStrength * DamageFactor

Belasting combinatie 3
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

Belasting combinatie 4
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.

	Max toelaatbare spanning [N/mm²]	Spannings combinatie 1A	Spannings combinatie 1B	Spannings combinatie 2	Spannings combinatie 3	Spannings combinatie 4
Sigma_ptest	10,00 (kort)	-	-	0,00	-	-
Sigma_py	8,00 (lang)	-	-	0,00	-	-
Sigma_axiaal	10,00 (kort)	1,05	6,67	-	-	-
Sigma_axiaal	8,00 (lang)	-	-	-	0,23	0,23
Sigma_tang...	10,00 (kort)	-	0,57	-	-	-
Sigma_tang...	8,00 (lang)	-	-	-	3,10	3,10

Spanningen in de leiding [N/mm²]

De deflectie van de leiding is 6,3 mm (2,01% x Do). De maximaal toelaatbare deflectie van de leiding is 25,2 mm (8,00% x S x Do). De deflectie is toelaatbaar.
De maximaal toelaatbare deflectie bij inspectie ('piggability') is 15,8 mm (5,00% x Do). De deflectie is toelaatbaar.

8.4 Toetsing op Implosie van Pipe 3: leiding no. 3

Tijdens het intrekken wordt de leiding belast door de heersende bentonietdruk. De hoogste minimaal benodigde druk tijdens het intrekken is gelijk aan 246 kN/m², dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 1559 kN/m².

Tijdens de bedrijfstoestand wordt de leiding belast door de heersende waterdruk. De uitwendige waterdruk op de leiding is gelijk aan 168 kN/m², dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 280 kN/m².

9 Sterkteberekening van Pipe 4: leiding no. 4

9.1 Materiaalgegevens van Pipe 4: leiding no. 4

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Leiding materiaal	:	Polyetheen PE100
Buiten- diameter	:	Do = 315,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 28,70 mm
Ontwerpdruk	:	pd = 0,00 bar
Test druk	:	pt = 0,00 bar
Temperatuur variatie	:	dt = 0,00 deg Celcius
Lengte leiding	:	L = 448 m
Elasticiteitsmodulus (kort)	:	E = 975 N/mm²
Elasticiteitsmodulus (lang)	:	E = 350 N/mm²
Toelaatbare spanning (kort)	:	S = 10 N/mm²
Toelaatbare spanning (lang)	:	S = 8 N/mm²
Importantie factor (S)	:	S = 1,00
Volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
Opleghoek	:	beta = 30 graden
Belastingshoek	:	alfa = 30 graden
Momentcoëfficiënt grond top (indirect)	:	kt' = 0,078
Momentcoëfficiënt grond bodem (indirect)	:	kb' = 0,179
Momentcoëfficiënt grond top (direct)	:	kt = 0,257
Momentcoëfficiënt bodem (direct)	:	kb = 0,257
Deflectiecoëfficiënt (indirect)	:	ky' = 0,071
Deflectiecoëfficiënt (direct)	:	ky = 0,143
Maximale gereduc. vert. grondbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v;r;n;max = 34 kN/m²
Verkeersbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v = 0 kN/m²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 203952 kN/m³
Gebruikte straal (exclusief veiligheidsfactoren)	:	Rmin = 220,000 m
Belastingsfactor aanlegbelasting	:	f_install = 1,00
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Belastingsfactor ontwerpdruk	:	f_pd = 1,00
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie)	:	f_pd;comb = 1,00
Belastingsfactor testdruk	:	f_pt = 1,00
Belastingsfactor temperatuur	:	f_temp = 1,10
Belastingsfactor verkeersbelasting	:	f_v = 1,35
Onzekerheidsfactor kromte straal	:	f_R = 1,10
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	:	f_kv = 2,00
Onzekerheidsfactor buigend moment	:	f_k = 1,40
Totaalfactor op trekkracht voor stoch. varia. en modelonzekerheid	:	f = 1,80
Lineaire uitzettingscoëfficiënt gemiddeld tussen t1 en t2	:	alfa_g = 0,0001600 mm/mmK

9.2 Resultaten Sterkteberekening van Pipe 4: leiding no. 4

Voor de berekening worden 5 belasting fasen onderscheiden:

- Belasting combinatie 1A: begin trekoperatie
- Belasting combinatie 1B: einde van trekoperatie
- Belasting combinatie 2: intern op druk brengen
- Belasting combinatie 3: bedrijfsfase, niet op druk
- Belasting combinatie 4: bedrijfsfase, op druk

De wanddikte is 28,7 mm. Hierna wordt door middel van een berekening conform NEN 3650 serie aangetoond dat deze wanddikte voldoet

9.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie

Axiale spanning:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k E·Ib /(Rrol·Wb)	=	0,43	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * T1/A = f * f_install (Lrol * Q * f1)/A	=	0,77	N/mm²

Maximale axiale spanning Sigma_a,max	=	1,05	N/mm²

De tangentiele spanning is in deze fase verwaarloosbaar.

9.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie

Axiale spanning:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,98	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * Tmax/A	=	6,04	N/mm²
Maximale axiale spanning Sigma_a,max	=	6,67	N/mm²

Tangentiele spanning:

Belasting qr op de leiding ten gevolge van grondreactie bij bochten (volgens NEN 3650-1 katern-5 D3.3):

qr = kv *·y = (0.322·Lambda^2·E·I)/(Do.R/f_R)

Lambda = (f_kv kv·Do/(4·E·I))^0.25	=	3,3E-3	1/mm
qr	=	0,0148	N/mm²
Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,87	N/mm²
Maximale tangentiele spanning Sigma_t,max	=	0,57	N/mm²

9.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen

Ten gevolge van inwendige druk :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

9.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie

Axiale spanning:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,35	N/mm²
Maximale axiale spanning Sigma_a,max	=	0,23	N/mm²

Tangentiele spanning:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,52	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	4,25	N/mm²
Maximale tangentiele spanning Sigma_t,max	=	3,10	N/mm²

9.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk

Axiale spanning:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,35	N/mm²

Ten gevolge van inwendige druk :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_Temp = dt * gamma_t * alpha_g * E	=	0,00	N/mm²
Maximale axiale spanning Sigma_a,max	=	0,23	N/mm²

Tangentiele spanning:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,52	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	4,25	N/mm²
'Rerounding'-factor Frr	=	1,000	
'Rerounding'-factor F'rr	=	1,000	

Sigma_t,max = Sigma_py + ((F'rr·. Sigma_qr) + (Frr·. Sigma_qn))

Maximale tangentiele spanning Sigma_t,max	=	3,10	N/mm²

9.3 Controle van de Berekende Spanningen van Pipe 4: leiding no. 4

Belasting combinatie 1
- Sigma_AxMax < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < ShortStrength * DamageFactor

Belasting combinatie 2
- Sigma_ptest < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_py < LongStrength * DamageFactor

Belasting combinatie 3
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

Belasting combinatie 4
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.

	Max toelaatbare spanning [N/mm²]	Spannings combinatie 1A	Spannings combinatie 1B	Spannings combinatie 2	Spannings combinatie 3	Spannings combinatie 4
Sigma_ptest	10,00 (kort)	-	-	0,00	-	-
Sigma_py	8,00 (lang)	-	-	0,00	-	-
Sigma_axiaal	10,00 (kort)	1,05	6,67	-	-	-
Sigma_axiaal	8,00 (lang)	-	-	-	0,23	0,23
Sigma_tang...	10,00 (kort)	-	0,57	-	-	-
Sigma_tang...	8,00 (lang)	-	-	-	3,10	3,10

Spanningen in de leiding [N/mm²]

De deflectie van de leiding is 6,3 mm (2,01% x Do). De maximaal toelaatbare deflectie van de leiding is 25,2 mm (8,00% x S x Do). De deflectie is toelaatbaar.
De maximaal toelaatbare deflectie bij inspectie ('piggability') is 15,8 mm (5,00% x Do). De deflectie is toelaatbaar.

9.4 Toetsing op Implosie van Pipe 4: leiding no. 4

Tijdens het intrekken wordt de leiding belast door de heersende bentonietdruk. De hoogste minimaal benodigde druk tijdens het intrekken is gelijk aan 246 kN/m², dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 1559 kN/m².

Tijdens de bedrijfstoestand wordt de leiding belast door de heersende waterdruk. De uitwendige waterdruk op de leiding is gelijk aan 168 kN/m², dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 280 kN/m².

Einde Rapport

F.3A Persing 150 kV onder goederenspoor, nabij Geertruidenberg

Kruising 2 persingen met spoor

Vergunningsrapport ProRail

SWECO

Verantwoording

Titel:	Kruising 2 persingen met het spoor
Onderwerp:	Vergunningsrapport ProRail
Projectnummer:	51001237
Klant:	TenneT
Referentienummer:	NL23-648800269-54519
Versie:	D3
Datum:	07-07-2023
Auteurs:	[redacted]
E-mailadres:	
Gecontroleerd door:	
Paraaf gecontroleerd:	
Vrijgegeven door:	
Paraaf vrijgegeven:	

Inhoudsopgave

1. Inleiding 4
1.1 Situatie 4
1.2 Leeswijzer 5

2. Uitgangspunten 6
2.1 Gebruikte documenten 6
2.2 Vigerende normen en richtlijnen 6
2.3 Minimale dagmaat tussen nieuwe boringen 7
2.4 Diepteligging 7
2.5 Oversnijding 8
2.6 Inwendige overdruk 8
2.7 Grondwaterstand 8
2.8 Geotechnische parameters 8
2.9 Afwijkingstoleranties 9

3. Ontwerp 10
3.1 Gegevens 10
3.2 Pers- en ontvangkuipen 11

4. Berekeningsresultaten 13
4.1 Perskrachtberekening 14
4.2 Steundrukberekening 14
4.3 Opdrijving 15
4.4 Zettingstrog 16

5. Risico's en aandachtspunten 17

6. Conclusie 18
6.1 Algemeen 18
6.2 Uitkomsten ontwerp en berekening 18

Bijlage 1 – Ontwerptekening
Bijlage 2 – Geotechnisch onderzoek
Bijlage 3 – Berekening D-Geo Pipeline

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 twee persingen met een goederenspoor en de Bergseweg. De kruising (met codering GTB-Persing1) is vergunningsplichtig bij ProRail. Het ontwerp en de berekeningen zijn uitgevoerd conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020 en Spoorkruising derden: RLN 00427-2 van ProRail.

1.1 Situatie

De twee persingen zijn onderdeel van een nieuwe ondergrondse 150 kV-verbinding vanaf een nieuw te plaatsen mast aan de noordzijde van de Bergseweg naar hoogspanningsstation Geertruidenberg-Zuid. Het tracé van de persingen kruist de Bergseweg en het goederenspoor met Geocode 823, tussen kilometrering 0,3 en 0,4 (zie figuur 1). Het goederenspoor betreft een niet-geëlektrificeerd enkel spoor. De locatie ligt ten westen van de Amertak en ten noorden van de N623. Het tracé bestaat uit twee 150kV-circuits, waardoor twee afzonderlijke parallelle persingen moeten worden gemaakt. Eén persing bestaat uit een boorbuis GVK Ø1026 mm met daarin 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 persingen liggen naast elkaar met een dagmaat van 8 meter tussen de boorbuizen. De persingen hebben een lengte van circa 42 m en een diepte van NAP -2,28 m (hart van de boring). De bovenkant van de persingen liggen op circa 3,3 m onder bovenkant spoor (BS). Gezien de grondwaterstand worden de persingen uitgevoerd middels een gesloten front techniek (GFT).

Figuur 1 Overzicht situatie GTB-Persing1

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-Persing1, tekeningnummer GTB-Persing1 versie E, d.d. 06-07-2023 opgesteld door Sweco (bijlage 1).
- Geotechnisch onderzoek uit Dinoloket (bijlage 2).
- Maaiveldhoogten zijn ontleend aan de Algemene Hoogtekaart van Nederland (AHN-3).
- KLIC-levering 22O053708_1 opgevraagd d.d. 21-04-2022;
- Peilbesluiten waterschap Brabantse Delta, geraadpleegd d.d. 20-04-2022, website: https://wsbd.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=d6037ee85e784521be739b8ae5b38f7d
- ProRail Referentiesysteem Hectometerpunt (Geocode) shapefile: https://data.overheid.nl/dataset/prorail-referentiesysteem#panel-resources
- Specificaties GVK boorbuizen Amiblu / Hobas: https://www.amiblu.com/wp-content/uploads/Hobas-Technical-Product-Data-PN1.pdf

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;
- Spoorkruising derden: RLN 00427-2, 31-3-2021;
- Indieningvereisten: Ten behoeve van het aanvragen van een vergunning op grond van artikel 19 Spoorwegwet en het aanvragen van een ontheffing op grond van artikel 13 lid 3 van de Regeling omgevingsregime hoofdspoorwegen, ProRail, 01-07-2021-versie-18 (bijlage 1).

2.3 Minimale dagmaat tussen nieuwe boringen

In Spoorkruising derden: RLN 00427-2 van ProRail staat in Eis-3.24 het volgende:

Eis-3.24: Wanneer een persing moet worden gerealiseerd horizontaal naast een (bestaande) boring of persing, dan dient deze persing te worden gerealiseerd op een afstand conform tabel 1 gemeten vanaf de buitenzijde van de (beschermbuis van de) (bestaande) boring of persing.

Buisdiameter [mm]	Minimale afstand tussen buizen [m]	Maximale aantal buizen in een buisgroep
< 200	2,00	3
> 200 tot 400	2,00	3
> 400 tot 800	8,00	2
> 800 tot 1500	8,00	2
> 1500 tot 5000	20,00	1

Tabel 1: Minimale afstanden en maximale aantal evenwijdige buizen

Toelichting: Met een ontwerp van een persing type OFT of GFT naast een HDD klasse SA of SB moet afstand worden gehouden, immers bij een OFT of GFT persing is de kans groot dat met het intrillen van de damwanden voor de pers- en of ontvangstput de bestaande HDD wordt geraakt. Een HDD boring naast een bestaande OFT of GFT is minder risicovol, echter dient er rekening gehouden te worden met mogelijk achtergebleven damwanden van de OFT en GFT pers- en ontvangstput onder maaiveld.

Eis 3.24-1: Het maximaal aantal buizen in een buisgroep wordt bepaald door de buis met de grootste (bestaande) diameter.

Toelichting: Een buisgroep is een aantal evenwijdig gelegen spoorkruisende buizen. Een buisgroep mag dus bijvoorbeeld maximaal bestaan uit 1 buis met een diameter van 200mm en 1 buis met een diameter van 700mm.
NB: een bestaande (vierkante of anders vormgegeven) duiker/spoorkruising geldt ook als spoorkruisende buis en maakt daarmee ook deel uit van een buisgroep.

Eis 3.24-2: Bij overschrijding van het aantal naast elkaar gelegen buizen moet tussen de buisgroepen een minimale afstand van 20 meter aanwezig zijn.

Eis 3.24-3: De bepalingen zijn ook van toepassing voor beschermbuizen waarin meerdere leidingen of kabels worden aangebracht.

Op basis hiervan is tussen de twee persingen GVK Ø1026 mm een dagmaat van 8,00 m aangehouden. Er is sprake van één buisgroep.

2.4 Diepteligging

De diepteligging dient aan de volgende eisen te voldoen:

- ProRail vereist voor gesloten frontboringen tussen 1000 en 5000 mm een minimale afstand tussen boorbuis en bovenkant spoorstaaf (BS) van 2x uitwendige diameter van de mantelbuis. Dit houdt in dit geval een afstand van 2x 1,026 = 2,052 m in. Onder het spoor hebben de persingen een dekking van 3,3 m en voldoen daarmee aan de eis.
- NEN 3650-1 2020 paragraaf F2.1 vereist een diepteligging onder wegen van 1,0 + de uitwendige diameter. Dit houdt in dit geval een afstand van 1 + 1,026 = 2,026 m in. Onder de Bergseweg hebben de persingen een dekking van 2,5 m en voldoen daarmee aan de eis.
- VELIN schrijft voor dat tussen kabels en leidingen en een gesloten frontboring minimaal een dagmaat van 1,0 m aanwezig dient te zijn, onder voorwaarde dat de leiding zichtbaar is. De kritische kabels en leidingen moeten daarom, indien mogelijk, vooraf opgezocht worden middels een proefsleuf naast de boorlijn.

2.5 Oversnijding

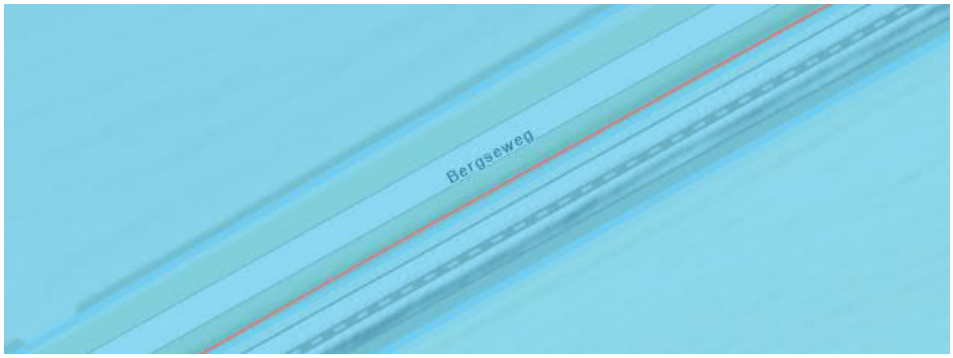
Voor de persingen is een maximale oversnijding van 10 mm gehanteerd in de berekening. In de buis zijn smeernippels aanwezig voor een maximale vulling te krijgen van de loze ruimte om de buis.

2.6 Inwendige overdruk

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

2.7 Grondwaterstand

De persingen liggen binnen het peilbesluit van Gat van de Ham. Echter heeft het de noordzijde van de kruising een ander zomer- en winterpeil dan de zuidzijde. De scheiding van de peilgebieden ligt tussen het spoor en de Bergseweg. Aan de noordzijde is het zomerpeil -1,0 m NAP en het winterpeil -1,5 m NAP. Aan de zuidzijde is het zomerpeil -0,6 m NAP en het winterpeil -0,8 m NAP. We gaan in de berekening uit van een gemiddelde waterstand van -0,7 m NAP ter plaatse van het spoor.



Figuur 2 de peilscheiding ter plaatse van de Bergseweg en het spoor (rode lijn)

2.8 Geotechnische parameters

TenneT voert momenteel nog specifieke grondonderzoeken uit voor dit project, waardoor de geotechnische gegevens en parameters nu zijn gebaseerd op grondonderzoek uit Dinoloket en uit de Sweco-database met historisch grondonderzoek. De ID-nummers en dieptes van de gebruikte boringen en sonderingen staan in Tabel 2-1. Het gebruikte grondonderzoek ligt voornamelijk rond de Amertak op circa 300 m afstand. 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 [m NAP]
B44D1229	Boring	-7
CPT98999	Sondering	-12
B44D0959	Boring	-5
CPT98964	Sondering	-12
B44D1222	Boring	-3

Uit het beschikbare grondonderzoek blijkt dat de bovenkant van de vaste zandlaag zich bevindt op circa -1,0 m NAP van het geplande boortracé. Boven de zandlaag bestaat de grond uit een laag zandige klei, zoals geobserveerd in het grondonderzoek. Tabel 2-1 laat de in de berekeningen aangehouden grondparameters en grondlagen 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 Su zijn gecorreleerd met de conusweerstand conform CUR2003-7 (2003) en CUR162 (1992).

Tabel 2-2 Grondparameters gebruikt in de berekening

Niveau bovenkant [m t.o.v. NAP]	Niveau onderkant [m t.o.v. NAP]	Lithologie	γ_d [kN/m^3]	γ_n [kN/m^3]	c' [kPa]	φ' [°]	Su top/bottom [kN/m^2]	E [kN/m^2]
0,3	-1,2	Klei; sterk zandig	18	18	0,5	27,5	30,0	2000
-1,2	-30,0	Zand; schoon; matig	18	20	0,0	32,5	0,0	30000

2.9 Afwijkingstoleranties

ProRail vereist bij zowel OFT als GFT persingen de volgende afwijkingstoleranties: ten aanzien van plaats-toleranties geldt dat de persing zo nauwkeurig mogelijk dient te worden uitgevoerd. Deze mag ten opzichte van de uitgezette boorlijn:

- in het verticale vlak geen grotere afwijking vertonen dan +100 mm en -100 mm;
- in het horizontale vlak geen grotere afwijking vertonen dan +1000 mm en -1000 mm;

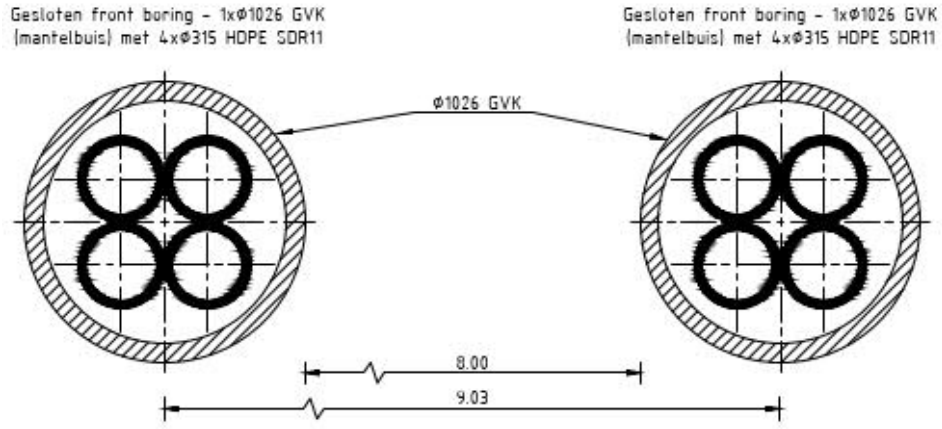
rekening houdend met risicovolle (spoor)objecten.

3. Ontwerp

3.1 Gegevens

Het ontwerp van de twee persingen heeft de volgende kenmerkende parameters:

- materiaal: boorbuis GVK Ø1026 x 34 mm SN 32000;
- gewicht buis: 227 kg/m;
- maximaal toelaatbare perskracht: 1830 kN
- lengte: 42 m;
- maximale diepte hart persing: NAP -2,28 m;



Figuur 3 Doorsnede van de 2 persingen

Aan de hand van vigerende normen en richtlijnen is een ontwerp gemaakt voor de persingen. De voornaamste randvoorwaarden voor het ontwerp, naast de afstandseisen uit hoofdstuk 2, zijn:

- De persingen dienen het spoor loodrecht te kruisen.
- De buis dient voldoende sterk te zijn om de perskrachten aan te kunnen.
- De diepteligging dient voldoende te zijn om een stabiel boorfront te hebben.
- Aan de zuidzijde ligt parallel aan de spoorlijn een databundel van KPN. Vanwege deze bundel is de persing verlengd, zodat de ontvangkuipen op 5 m van deze bundel blijven. Uit de KLIC is geen nadere info bekend

over de diepte van deze bundel. Uitgaande van een standaarddekking van 0,6 m passeert de persing deze veilig. Mogelijk is sprake van een HDD-bundel en ligt de bundel op diepte onder het voorgenomen boorprofiel.

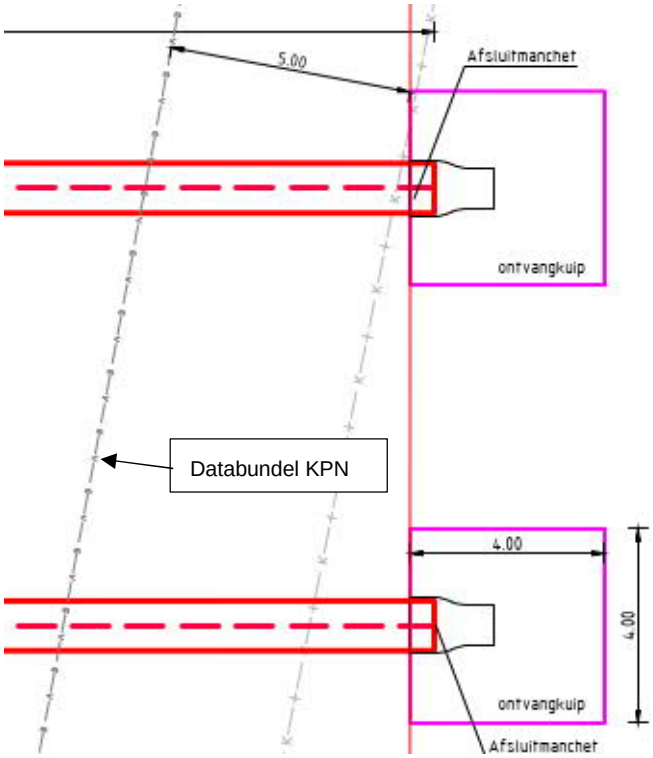
- De uitvoering vindt plaats middels de gesloten front techniek.

3.2 Pers- en ontvangkuipen

Elke persing heeft een aparte perskuip van 10 x 4 m. De perskuipen liggen aan de noordzijde van het tracé (zie figuur 4). De perskuip is bereikbaar via de Bergseweg en het weiland.

De ontvangkuipen zijn 4 x 4 m. De ontvangkuipen liggen 5 m uit een databundel van KPN die hier ligt. De ontvangkuip is bereikbaar via de spoorwegovergang Bergsepolder en het weiland.

Figuur 4 locatie en bereikbaarheid van GTB-Persing1



Figuur 5 ligging ontvangkuipen ten opzichte van databundel KPN

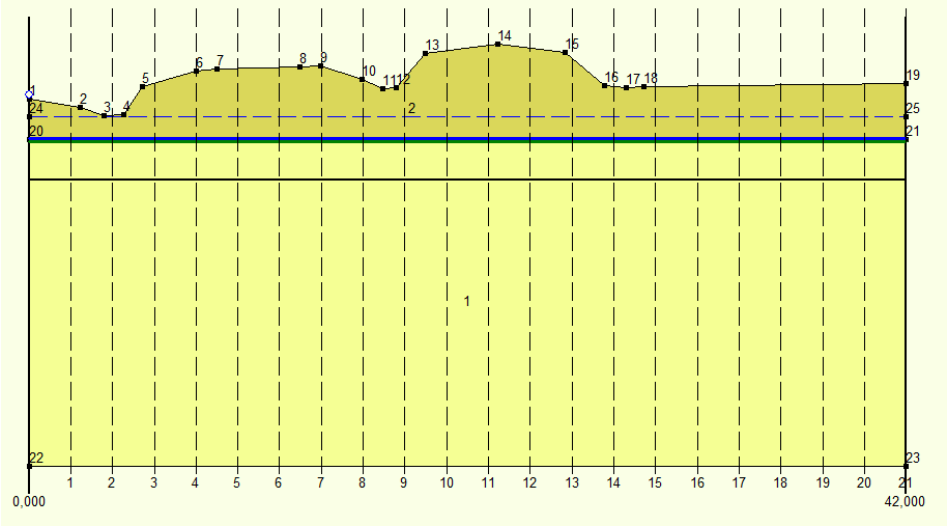
4. Berekeningsresultaten

De volgende berekeningen zijn voor de persingen uitgevoerd:

- een perskrachtberekening;
- stabiliteit boorfront;
- risico op opdrijven;
- de zettingstrog.

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

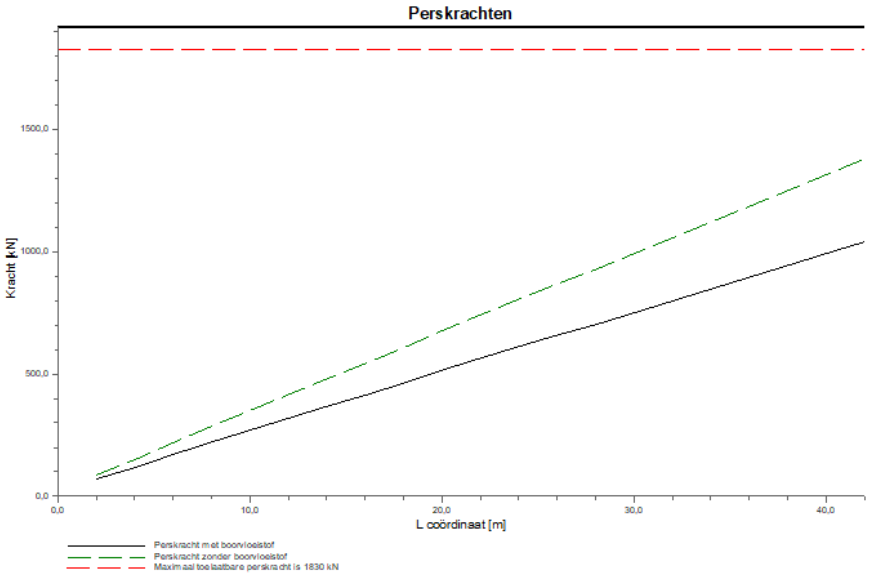
De berekeningen zijn uitgevoerd met het rekenprogramma D-Geo Pipeline versie 20.1 en zijn toegevoegd als bijlage 3. In dit hoofdstuk zijn de resultaten van de berekeningen weergegeven.



Figuur 6 D-Geo Pipeline-model van GTB-Persing1

4.1 Perskrachtberekening

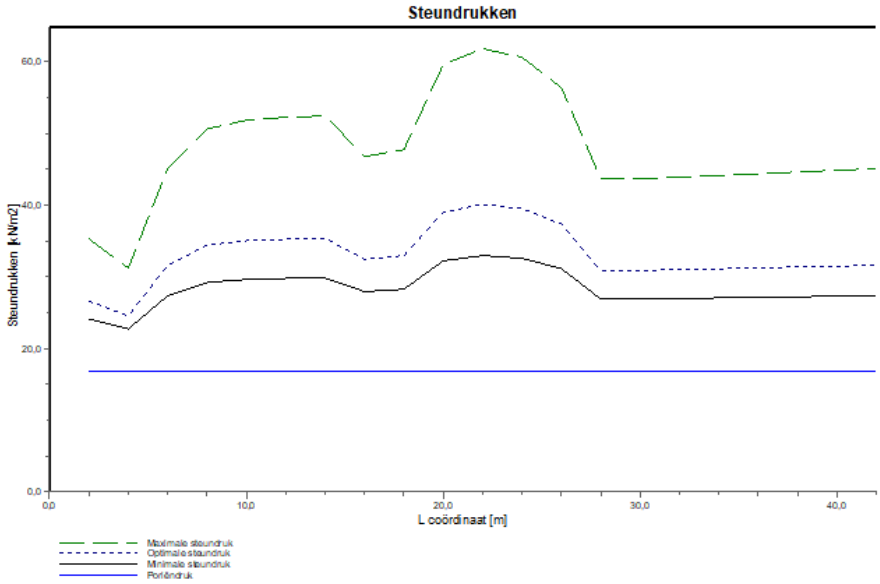
De berekende maximale perskracht bedraagt 1.379 kN zonder smering en gerekend met een wrijving tussen buis en de grond van 10 kN/m^2. Dit bedraagt 75% van de toelaatbare perskracht. Bij 70% van de maximaal toelaatbare perskracht vereist ProRail een tussendrukstation. Door boorvloeistof als smering toe te passen, verlaagt de wrijving tussen buis en grond naar 7,5 kN/m^2 en bedraagt de maximale perskracht 1.041 kN (56%) en voldoet het buistype GVK Ø1026 x 34 mm SN32.000. Toelaatbaar op dit buistype is een perskracht van 1.830 kN.



Figuur 7 perskrachten benodigd voor GTB-persing1 met en zonder boorvloeistof

4.2 Steundrukberekening

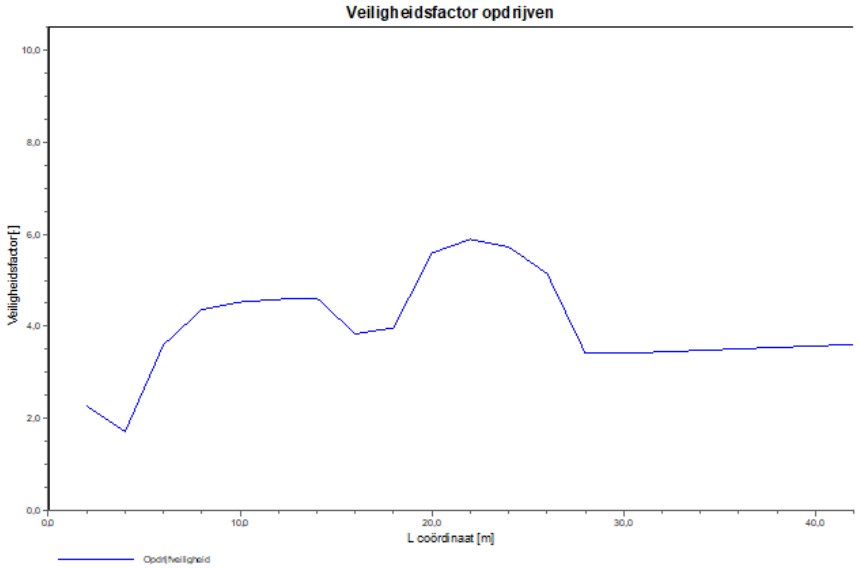
Het verloop van de steundrukken is weergegeven in figuur 8. Te zien is dat gemiddeld een gebied van circa 20 kN/m^2 beschikbaar is tussen de minimale benodigde en maximaal toelaatbare steundruk. Ter plaatse van de watergang is circa 10 kN/m^2 beschikbaar. Hier kan eventueel een maatregel genomen worden door de watergang tijdelijk te dempen. Conclusie is dat de boring te realiseren is met een stabiel boorfront.



Figuur 8 steundrukberekening GTB-persing1

4.3 Opdrijving

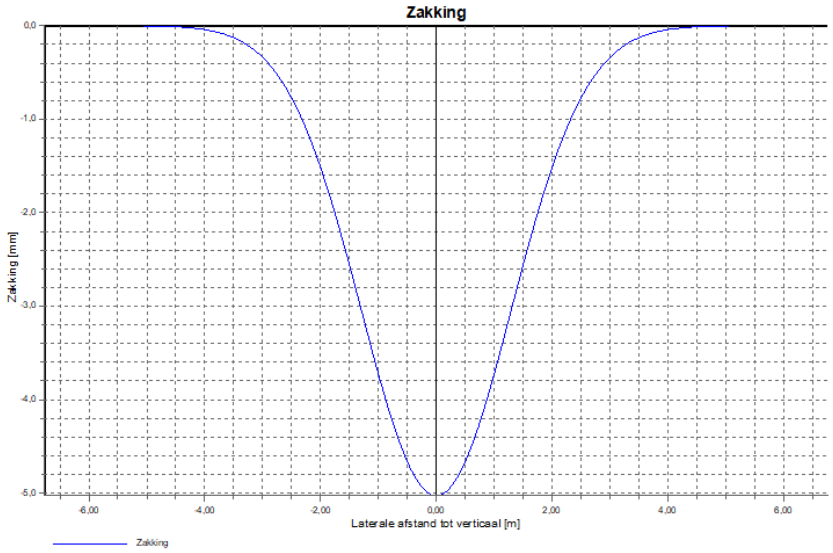
De veiligheidsfactor voor opdrijven bedraagt minimaal 1,7 ter plaatse van de watergang. Dit betreft een lege boorbuis. Na aanleg zullen de mantelbuizen en kabels ingetrokken worden, waardoor het gewicht en de veiligheid toeneemt. Conclusie is dat de leiding niet zal opdrijven, zowel in de aanleg- als bedrijfsfase.



Figuur 9 veiligheid tegen opdrijven voor GTB-persing1

4.4 Zettingstrog

Op basis van de oversnijding hebben we een voorspelling van de zettingstrog aan maaiveld berekend. De zakking is berekend met een volumeverliespercentage van het oversnijdingsoppervlak van 50%. Dit betekent dat de oppervlakte van de zettingstrog gelijk is aan 50% van de oppervlakte van de oversnijding, het overige deel van het volume wordt opgevuld door de bentonietsmering. Dit leidt ter plaatse van het spoor (verticaal 11) tot een voorspelde zetting van circa 5 mm aan maaiveld, recht onder de boring.
De zettingstrog heeft een totale breedte van circa 9 m. Hierdoor zullen de zettingstroggen van de twee parallelle persingen circa 0,5 m overlappen.
Bij elkaar opgeteld geeft dit een zettingsprognose voor het overlappende deel van < 1,0 mm. Volgens Eis-3.72 is een zettingstrogbreedte van 12 m toelaatbaar. Aan de hand van de ingrijpmaatstaven uit het door de aannemer op te stellen monitoringsplan dient door ProRail beoordeeld te worden welke zetting toelaatbaar is.



Figuur 10 *zettingstrog ter plaatse van verticaal 11, waar de persing het spoor kruist*

5. Risico’s en aandachtspunten

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

- De werkzaamheden dienen uitgevoerd te worden door een door ProRail gekwalificeerde aannemer. Tevens dienen de gebruikte boorbuizen en materialen te voldoen aan de specificaties van ProRail.
- De bouwkuipen en bemaling dienen nog uitgewerkt te worden door de aannemer gebruikmakend van het door TenneT te leveren geotechnische onderzoek. Op basis van dit ontwerp dient een definitieve zettingsprognoses en monitoringsplan opgesteld te worden.
- Bij de perskuip ligt een databundel van KPN 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 de perskuip dient te aanwezige watergang gedempt te worden om de veiligheid voor de stabiliteit van het boorfront te vergroten.
- Om de werkterreinen te betreden zullen bouwinritten nodig zijn en de aannemer dient de benodigde verkeersplannen met de gemeente te bespreken.
- De uiteinden van de persingen dienen afgesloten te worden met een sleeve.
- Spiegellassen in PE-mantelbuizen aanbrengen conform NEN7200.
- Bij het spiegellassen van de PE leidingdelen dienen alle inwendige lasrillen verwijderd te worden; in overleg met de toezichthouder moeten de verwijderde lasrillen aangetoond kunnen worden.

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.

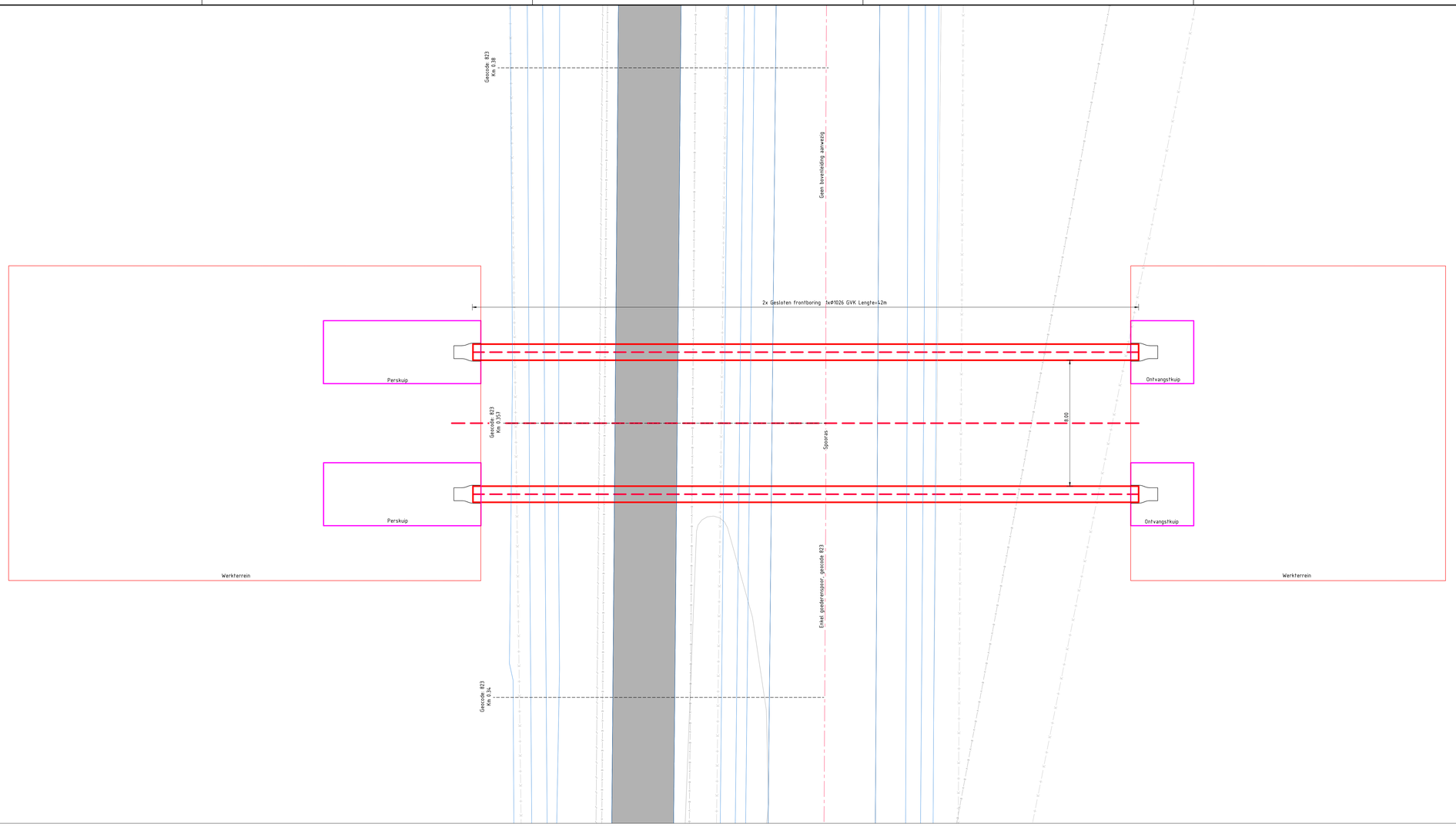
Dit rapport betreft de kruising van twee persingen met een goederenspoor en de Bergseweg. De kruising (met codering GTB Persing 1) is vergunningsplichtig bij ProRail. Het ontwerp en de berekeningen zijn uitgevoerd conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020 en Spoorkruising derden: RLN 00427-2 van ProRail.

6.2 Uitkomsten ontwerp en berekening

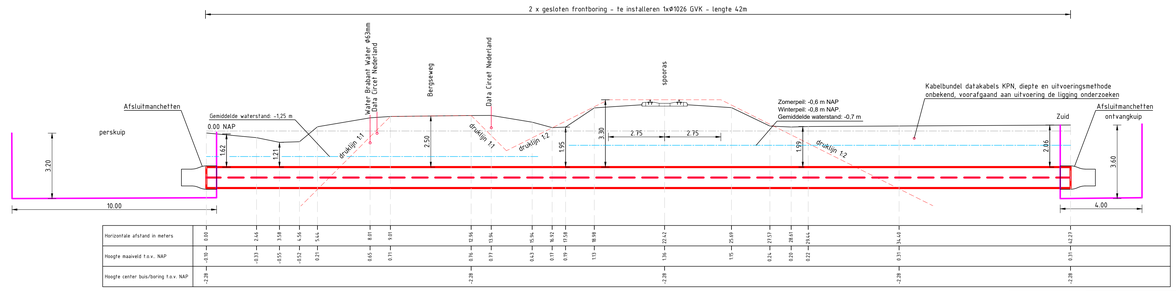
De persingen, weergegeven op de tekeningen die zijn bijgevoegd als bijlage 1, zijn ontworpen en berekend volgens de vigerende eisen.

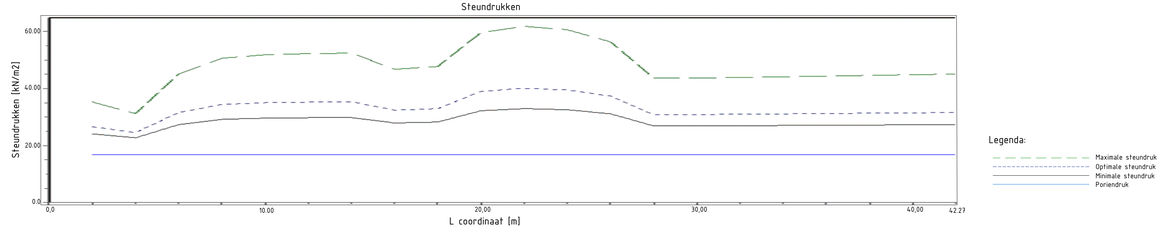
Uit de berekeningen, bijgevoegd als bijlage 3, blijkt dat de tracés van de twee parallel gelegen persingen met GVK Ø1026 x 34 mm SN 32000 voldoen aan de eisen.

Bijlage 1 – Ontwerptekening

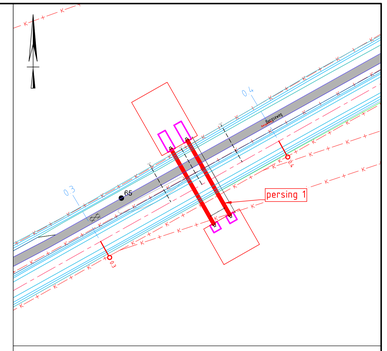


Bovenaanzicht schaal 1:100

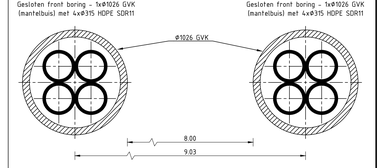




Lengteprofiel schaal 1:100



Overzicht Schaal 1:1000



Principe doorsnede Schaal 1:20

Legenda

- Kadastrale grens Werkterrein
- Leiding gevaarlijke inhoud
- Datatransport
- Landelijk hoogspanningsnet
- Laagspanning
- Middenspanning
- Gasleiding hoge druk
- Gasleiding lage druk
- Waterleiding
- Drukrioolering
- Riolering vrijverval
- Horizontale persing
- Verharding (asfalt)
- Bestaande topo
- Bebouwing
- Primaire waterkering
- Verharding/wegen
- Ondergrond KS-bladen van ProRail versie d.d. 28-08-2022

Maten in meters, tenzij anders aangegeven
Materialen in millimeters
Hoogtematen in meters t.o.v. N.A.P.

Vergunningstekening

Rev		Datum rev.	Get.	Gec.	Goedg.
E	T.b.v. vergunningsaanvraag + Div aanpassingen	06-07-2023	BB	MJ	JD
D	T.b.v. vergunningsaanvraag + KS-blad + steundrukgrafiek	26-06-2022	BB	MJ	JD
C	T.b.v. vergunningsaanvraag incl. aanvullende informatie KPN kabel	29-04-2022	JPR	MJ	JD
B	T.b.v. vergunningsaanvraag	22-04-2022	JPR	MJ	JD
A	Eerste uitgave	17-01-2020	NJ	MJ	JD

Opdrachtgever
TenneT TSO B.V.
Project
HDD's 150 kV ZWO
Onderdeel
Gesloten frontboring
Geertruidenberg, Geocode 823, kilometrering 0.357

Projectnummer	Tekeningnummer	Versie	Datum van uitgave	Ontwerpfase	Contractnummer
368722	GTB-Persing1	E	06-07-2023	Vergunning	

Blad	Van	Schaal	Formaat	Kantoor	Get.	Gec.	Goedg.
1	1	Zie tekening	A1	De Bilt	NJ	MJ	JD

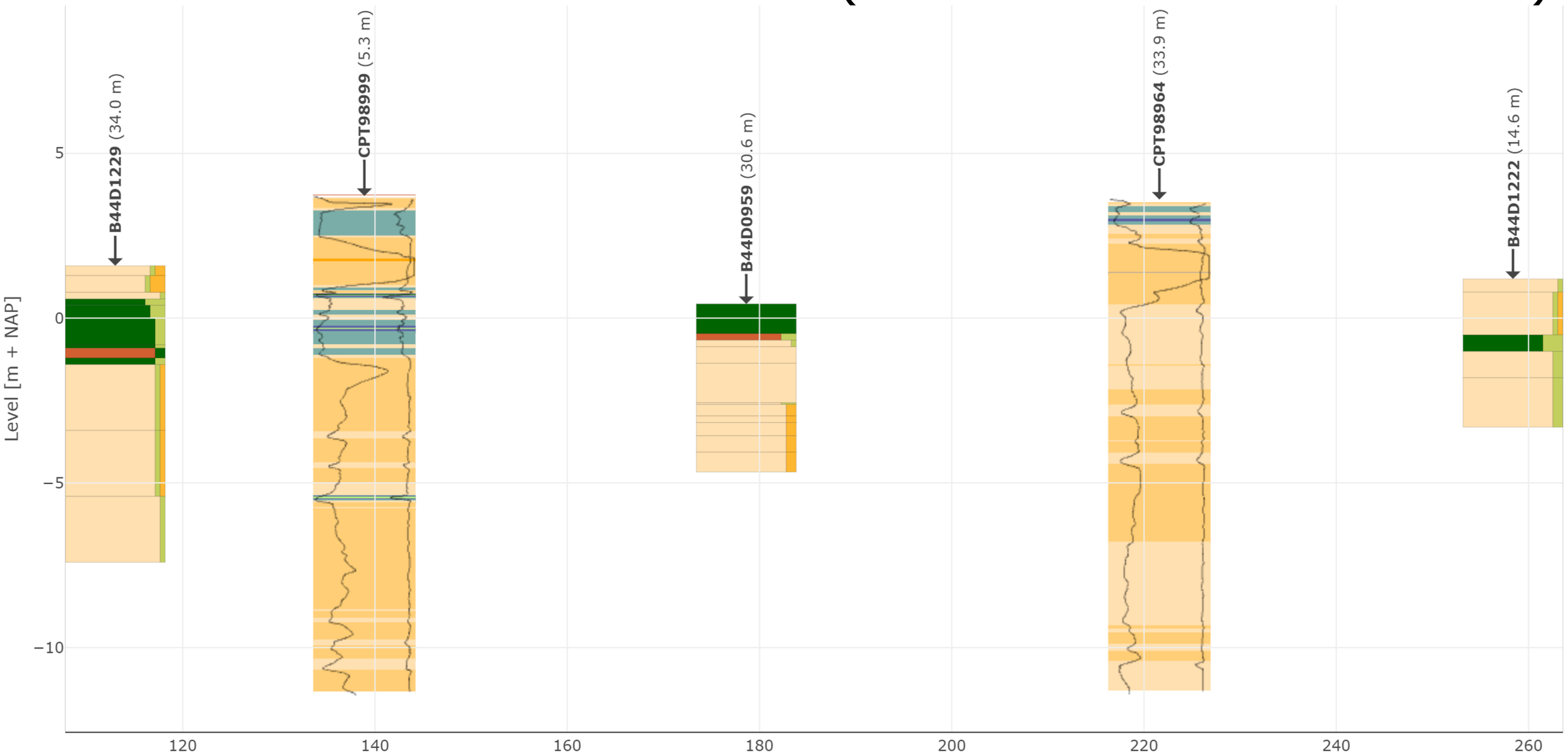
www.sweco.nl
© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden

SWECO

GTB-Persing1.1

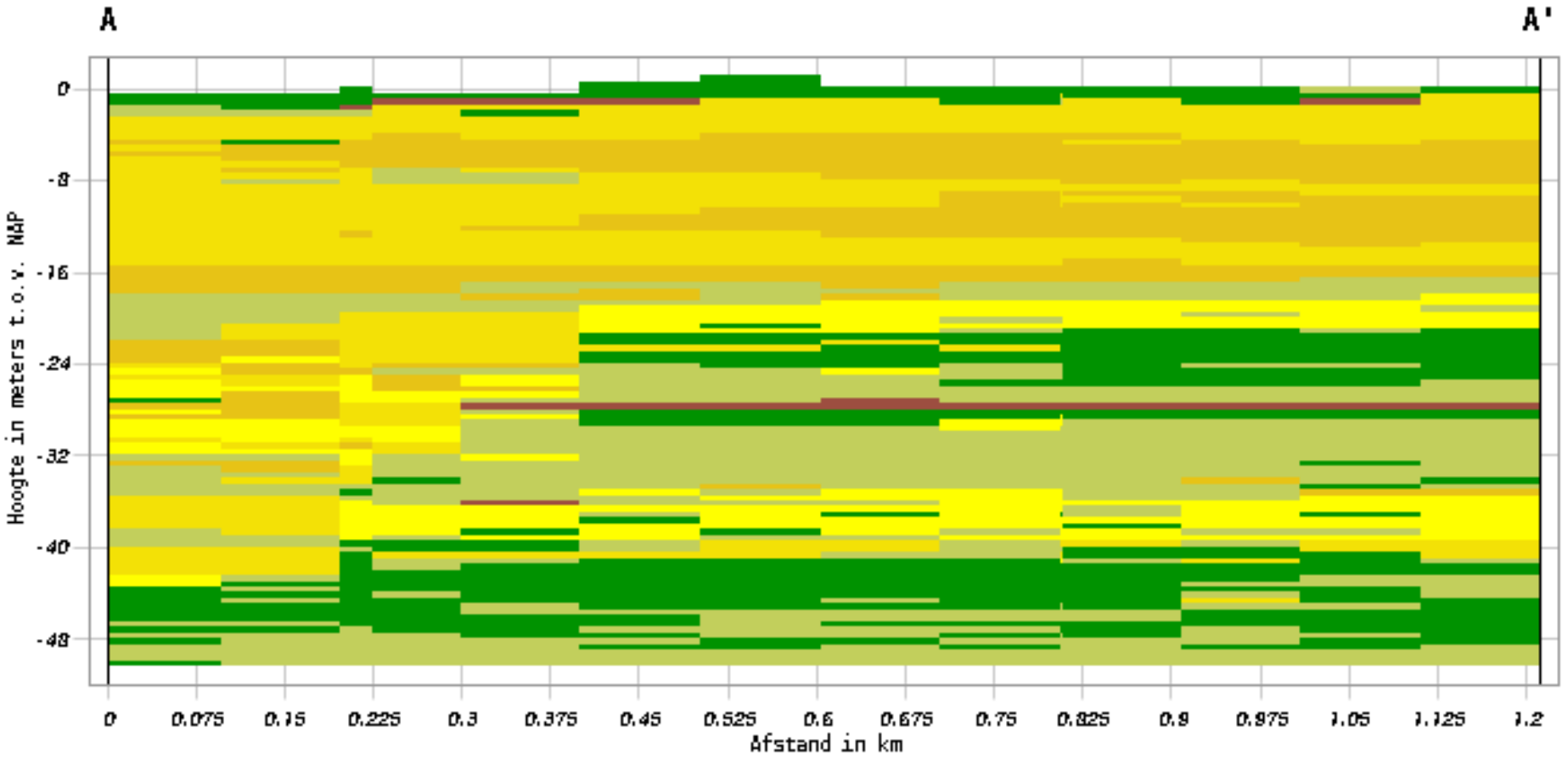
Bijlage 2 – Geotechnisch onderzoek

Grondonderzoek BRO (tot 60 m afstand van trace)



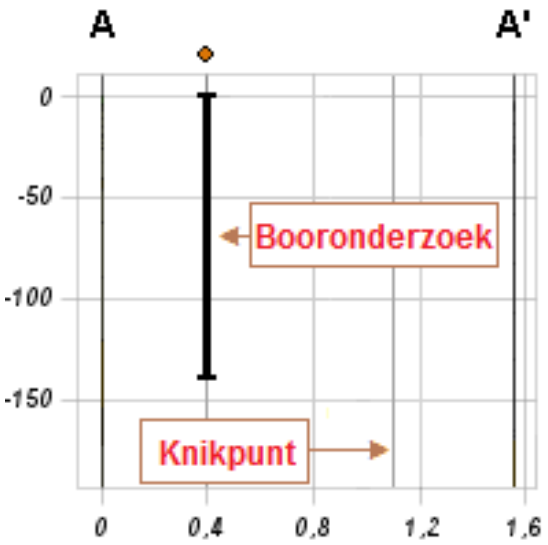
cpt borehole not shown on sectionplot section

Verticale Doorsnede BRO GeoTOP v1.4.1



Lithoklasse

- a
- v
- k
- kz
- zf
- zm
- zg
- g
- she



Bijlage 3 – Berekening D-Geo Pipeline

Rapport voor D-Geo Pipeline 20.1

Model : Micro Tunneling
Ontwikkeld door Deltares

Datum van rapport:	22-4-2022
Tijd van rapport:	18:35:26
Rapport met versie:	20.1.1.30040
Berekend met versie:	20.1.1.30040
Bestandsnaam:	GTB Persing 1 - spoor

1 Inhoudsopgave

1 Inhoudsopgave 2
2 Berichten 3
2.1 Berekeningswaarschuwingen 3
3 Invoergegevens 4
3.1 Gebruikt Model 4
3.2 Laagscheidingen 4
3.3 PN-Lijnen 4
3.4 Freatische Lijn 4
3.5 Grondprofielen 4
3.6 Grenslagen 4
3.7 Grondeigenschappen 4
3.8 Geometrie 5
3.8.1 Geometrie Sectie, Detail 5
3.8.2 Geometrie Bovenaanzicht 5
3.9 Berekenings Verticalen 6
3.10 Configuratie van de Pijpleiding 6
3.11 Materiaalgegevens van de Leiding 6
3.12 Gegevens voor Leidingberekening 6
3.13 Factoren 7
4 Grondmechanische Data 8
4.1 Grondmechanische Parameters 8
5 Uitvoeringsparameters 10
5.1 Schilddrukken en Drukkrachten 10
5.1.1 Resultaten tabel 10
5.1.2 Front Steundrukken Grafiek 11
5.1.3 Drukkrachten 11
5.2 Verificatie Opdrijven 12
5.2.1 Opdrijf Factoren 12
5.2.2 Opdrijven 12
6 Deformaties 13
6.1 Zakking 13
6.1.1 Zakkingswaardentabel 13
6.1.2 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 1 14
6.1.3 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 2 14
6.1.4 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 3 15
6.1.5 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 4 15
6.1.6 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 5 16
6.1.7 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 6 16
6.1.8 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 7 17
6.1.9 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 8 17
6.1.10 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 9 18
6.1.11 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 10 18
6.1.12 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 11 19
6.1.13 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 12 19
6.1.14 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 13 20
6.1.15 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 14 20
6.1.16 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 15 21
6.1.17 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 16 21
6.1.18 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 17 22
6.1.19 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 18 22
6.1.20 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 19 23
6.1.21 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 20 23
6.1.22 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 21 24

2 Berichten

2.1 Berekeningswaarschuwingen

Bij de berekening van de grondmechanische parameters wordt de maximale beddingscontante (k_v;max) alleen bepaald met de verticalen die in diepe situatie liggen.Op basis van de opgegeven grens H/Do tussen diepe en ondiepe situaties van 7,50 zijn geen verticalen in diepe situatie gevonden voor pijp nr. 1.Daarom is de verhouding gereduceerd tot 2,50 voor deze pijp om een waarde ongelijk aan 0 te krijgen voor k_v;max.

3 Invoergegevens

3.1 Gebruikt Model

Gebruikt Model : Micro Tunneling

3.2 Laagscheidingen

Laagscheidingnummer	Coördinaten [m]				
2 - L -	0,000	2,460	3,580	4,560	5,440
2 - Z -	-0,100	-0,330	-0,550	-0,520	0,210
2 - L -	8,010	9,010	12,960	13,940	15,940
2 - Z -	0,650	0,710	0,760	0,770	0,430
2 - L -	16,920	17,580	18,980	22,420	25,690
2 - Z -	0,170	0,190	1,130	1,360	1,150
2 - L -	27,570	28,610	29,440	42,000	
2 - Z -	0,240	0,200	0,220	0,310	
1 - L -	0,000	42,000			
1 - Z -	-1,200	-1,200			
0 - L -	0,000	42,000			
0 - Z -	-10,000	-10,000			

3.3 PN-Lijnen

PN-lijnnummer	Coördinaten [m]				
1 - L -	0,000	42,000			
1 - Z -	-0,700	-0,700			

3.4 Freatische Lijn

Piezo lijn 1 is gebruikt als freatische lijn (grondwater).

3.5 Grondprofielen

Laag nummer	Materiaalnaam	Piezo lijn op boven	Piezo lijn op onder
2	Klei, sterk zandig, m...	1	1
1	Zand, schoon matig	1	1

3.6 Grenslagen

De grens tussen (cohesieve) ongedraineerde toplagen en onderliggende (niet-cohesieve) gedraineerde lagen, ligt aan de bovenzijde van laag nummer 1: Zand, schoon matig
De grens tussen compressibele toplagen en de onderliggende niet-compressibele lagen, ligt aan de bovenzijde van laag nummer 1: Zand, schoon matig

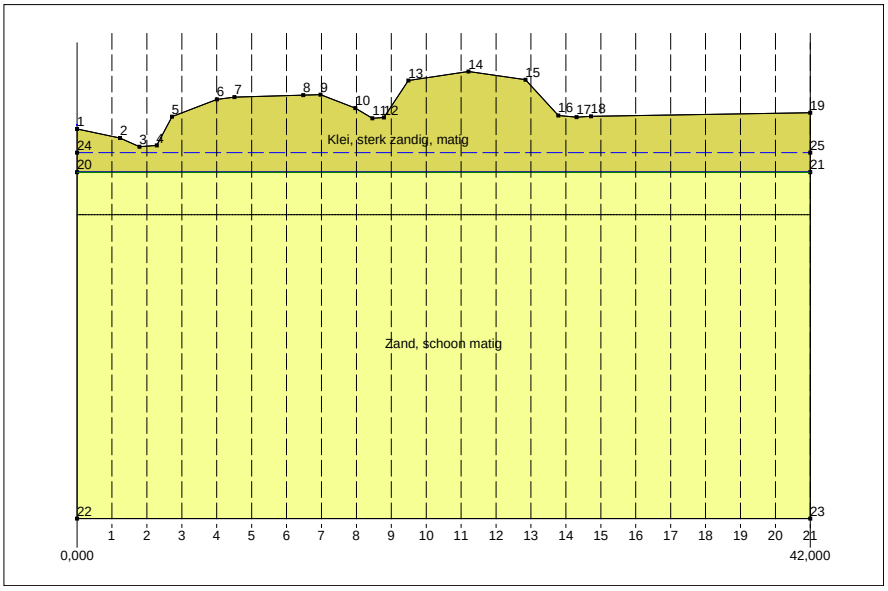
3.7 Grondeigenschappen

Naam	Gamma onverz [kN/m³]	Gamma verz [kN/m³]	Cohesie [kN/m²]	Phi [grd]	Su top [kN/m²]	Su onder [kN/m²]	Emod top [kN/m²]	Emod onder [kN/m²]
Zand, schoon matig	18,00	20,00	0,00	32,50	0,00	0,00	30000,00	30000,0
Klei, sterk zandig, matig	18,00	18,00	0,50	27,50	30,00	30,00	2000,00	2000,0

Naam	Adhesie A [kN/m²]	Delta D [grd]	Nu [-]
Zand, schoon matig	0,00	20,00	0,20
Klei, sterk zandig, matig	10,00	20,00	0,20

3.8 Geometrie

3.8.1 Geometrie Sectie, Detail



3.8.2 Geometrie Bovenaanzicht

3.9 Berekenings Verticalen

Verticaal nr.	L-coörd. [m]	Z-coörd. [m]
1	2,000	-2,280
2	4,000	-2,280
3	6,000	-2,280
4	8,000	-2,280
5	10,000	-2,280
6	12,000	-2,280
7	14,000	-2,280
8	16,000	-2,280
9	18,000	-2,280
10	20,000	-2,280
11	22,000	-2,280
12	24,000	-2,280
13	26,000	-2,280
14	28,000	-2,280
15	30,000	-2,280
16	32,000	-2,280
17	34,000	-2,280
18	36,000	-2,280
19	38,000	-2,280
20	40,000	-2,280
21	42,000	-2,280

Locaties berekenings verticalen; L is de horizontale coördinaat langs de leiding geprojecteerd op het horizontale vlak, opgehoogd met de intrede coördinaat.

3.10 Configuratie van de Pijpleiding

X coördinaat linker punt	0,000	[m]
Y coördinaat linker punt	0,000	[m]
Z coördinaat linker punt	-2,280	[m]
X coördinaat rechter punt	42,000	[m]
Y coördinaat rechter punt	0,000	[m]
Z coördinaat rechter punt	-2,280	[m]
Hoek links	0,0001	[grd]
Hoek rechts	0,0001	[grd]
Kromtestraal links, verticaal in/uit	0,001	[m]
Kromtestraal rechts, verticaal in/uit	0,001	[m]
Diepste punt van de pijpleiding (hart boortracé)	-2,280	[m]
Hoek van de pijpleiding (tussen de stralen)	0,0000	[grd]
Aantal horizontale bochten:	0	

De pijpleiding wordt van links naar rechts ingeduwd.

3.11 Materiaalgegevens van de Leiding

Materiaal	Synthetisch	
Kwaliteit	SN 32000	
Elasticiteitsmodulus (kort)	20500,00	[N/mm²]
Elasticiteitsmodulus (lang)	12500,00	[N/mm²]
Uitwendige diameter leiding	1026,00	[mm]
Oversnijding op de straal	10	[mm]
Wanddikte (Nominaal)	34,00	[mm]
Volumegewicht leidingmateriaal	21,42	[kN/m³]

3.12 Gegevens voor Leidingberekening

Toegestane druk kracht	1830,00	[kN]
Volume verlies als percentage van het oversnijdingsoppervlak	50,00	[%]
Relatieve verplaatsing	10,00	[mm]

Samendrukkingsconstante	6,00	[-]
Beddingsconstante boorvloeistof (Kv)	500,00	[kN/m³]
Hoek van inwendige wrijving smeervloeistof	15,00	[grd]
Adhesie smeervloeistof	5,00	kN/m²
Factor op phi voor gereduceerde grond belasting	0,50	[-]
Delta smeervloeistof	7,50	[grd]
Wrijving met injectie	7,50	[kPa]
Wrijving zonder injectie	10,00	[kPa]

3.13 Factoren

Veiligheidsfactor (gedraineerde) cohesie C	1,40	[-]
Veiligheidsfactor ongedraineerde schuifsterkte Su	1,40	[-]
Veiligheidsfactor Phi	1,10	[-]
Veiligheidsfactor effectieve druk	1,50	[-]
Veiligheidsfactor waterdruk	1,05	[-]
Veiligheidsfactor opdrijven	1,00	[-]
Onzekerheidsfactor gronddruk	1,10	[-]
Factor silo effect bovenliggende laagpakket	2,00	[-]
Stabiliteitsverhouding N	3,00	[-]
Volumegewicht water	10,00	[kN/m³]
Verhouding H/Do voor grens tussen ondiepe en diepe situatie	7,50	[-]

4 Grondmechanische Data

4.1 Grondmechanische Parameters

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:
Merk op: veiligheidsfactoren niet toegepast.

q_v;p	Passieve grondspanning	kN/m²
q_v;n	Neutrale grondspanning	kN/m²
q_h;n	Neutrale horizontale grondspanning	kN/m²
q_v,r;n	Gereduceerde neutrale grondspanning	kN/m²
q_verkeer	Verkeersbelasting	kN/m²
q_v;e	Verticaal evenwichtsdraagvermogen	kN/m²
q_h;e	Horizontaal evenwichtsdraagvermogen	kN/m²
k_v;bot	Verticaal beddingsgetal omlaag	kN/m³
k_v;top	Verticaal beddingsgetal omhoog	kN/m³
k_h	Horizontaal beddinggetal	kN/m³
t_max	Maximale wrijving leiding	kN/m²
d_max	Corresponderende verplaatsing bij mobilisatie maximale wrijving	mm
mat	Bodemtype	-

Verticaal nr.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_verkeer [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
1	26	18	8	18	0	687
2	19	14	6	14	0	538
3	46	29	13	29	0	1047
4	60	35	16	35	0	1258
5	63	36	17	36	0	1304
6	64	37	17	37	0	1320
7	64	37	17	37	0	1327
8	50	31	14	31	0	1114
9	53	32	15	32	0	1149
10	84	45	21	45	0	1599
11	90	47	22	47	0	1682
12	87	46	21	46	0	1636
13	75	41	19	41	0	1476
14	43	27	13	27	0	997
15	43	27	13	27	0	997
16	44	28	13	28	0	1006
17	44	28	13	28	0	1015
18	45	28	13	28	0	1024
19	45	28	13	28	0	1032
20	46	29	13	29	0	1041
21	47	29	13	29	0	1050

Verticaal nr.	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]	mat [-]
1	10049	165	7034	6,44	4,0	Zand
2	7869	102	5508	6,06	4,0	Zand
3	15313	377	10719	7,36	4,0	Zand
4	18392	542	12874	7,88	4,0	Zand
5	19062	582	13344	8,00	4,0	Zand
6	19291	596	13504	8,04	4,0	Zand
7	19399	602	13579	8,06	4,0	Zand
8	16283	425	11398	7,52	4,0	Zand
9	16804	453	11763	7,61	4,0	Zand
10	14461	3219	10123	8,73	4,0	Zand
11	14461	3112	10123	8,94	4,0	Zand
12	14461	3169	10123	8,82	4,0	Zand
13	14461	3398	10123	8,43	4,0	Zand
14	14575	342	10203	7,23	4,0	Zand
15	14580	342	10206	7,23	4,0	Zand
16	14708	348	10296	7,25	4,0	Zand
17	14836	354	10385	7,27	4,0	Zand
18	14965	360	10475	7,30	4,0	Zand

Verticaal nr.	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]	mat [-]
19	15093	366	10565	7,32	4,0	Zand
20	15221	372	10655	7,34	4,0	Zand
21	15350	379	10745	7,36	4,0	Zand

Maximale grondspanning : q_v;n;max = 47 kN/m²
Maximale gereduceerde grondspanning (incl. verkeersbelastingen) : q_verkeer;max = 47 kN/m²
Maximale gereduceerde grondspanning : q_v;r;n;max = 47 kN/m²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)
alleen voor verticalen in diepe situatie : k_v;max = 14461 kN/m³
Maximale verticale beddingsconstante (veiligheidsfactor toegepast)
alleen voor verticalen in diepe situatie : k_v;max = 28923 kN/m³

WAARSCHUWING:
Bij de berekening van de grondmechanische parameters wordt de maximale beddingscontante (k_v;max) alleen bepaald met de verticalen die in diepe situatie liggen.
Op basis van de opgegeven grens H/Do tussen diepe en ondiepe situaties van 7,50 zijn geen verticalen in diepe situatie gevonden voor pijp nr. 1.
Daarom is de verhouding gereduceerd tot 2,50 voor deze pijp om een waarde ongelijk aan 0 te krijgen voor k_v;max.

5 Uitvoeringsparameters

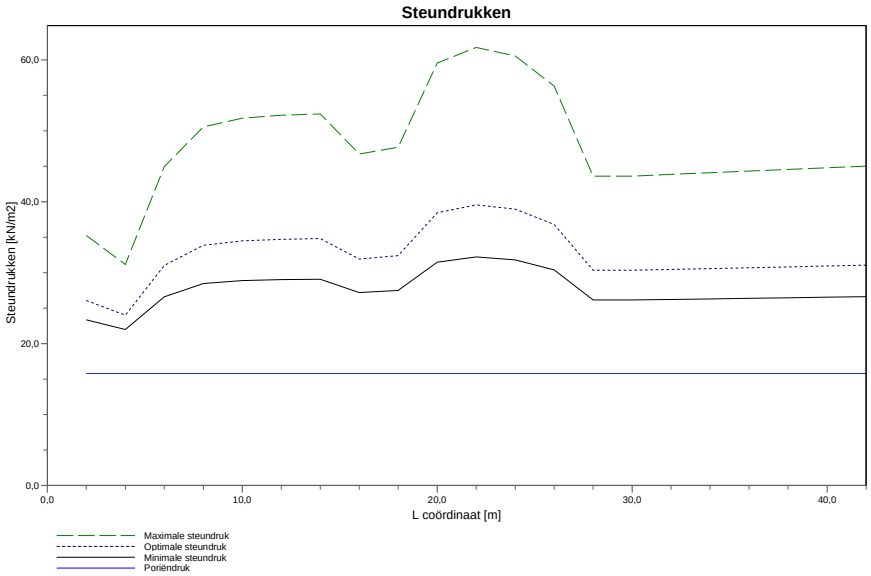
5.1 Schilddrukken en Drukkrachten

5.1.1 Resultaten tabel

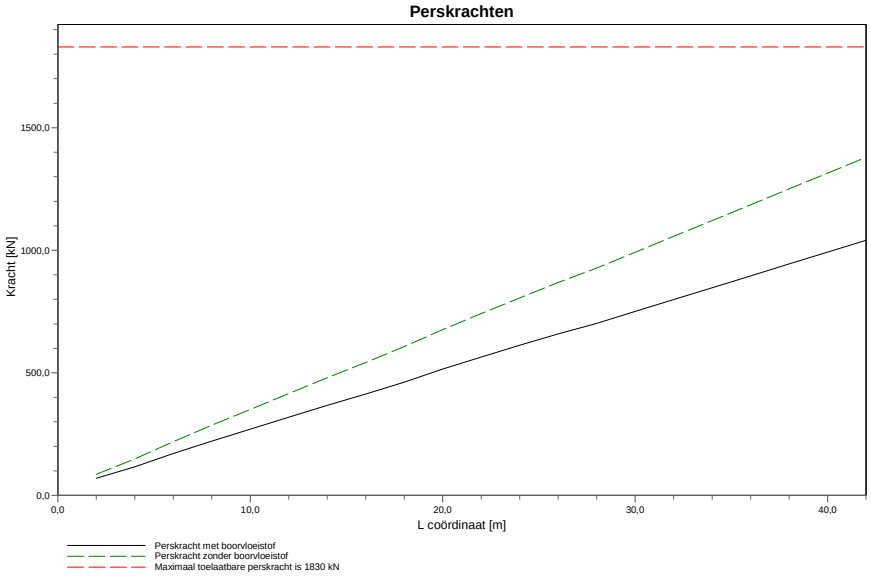
De maximaal toelaatbare schild druk en de minimaal benodigde schild druk zijn berekend voor de opgegeven grond condities. De maximale schilddruk moet niet overschreden worden teneinde frac-out te voorkomen De minimale schilddruk moet niet onderschreden worden om maaiveld zakkingen te voorkomen. De target druk is de druk die minimale grond deformaties veroorzaakt tijdens het drillen.

Verticaal nr.	Front Vloeistofdrukken			Duw Kracht	
	Pmax [kN/m²]	Pmin [kN/m²]	Pstreef [kN/m²]	Smeer [kN]	Normaal [kN]
1	35	23	26	70	86
2	31	22	24	117	149
3	45	27	31	171	219
4	51	28	34	221	286
5	52	29	34	270	351
6	52	29	35	319	415
7	52	29	35	367	480
8	47	27	32	413	542
9	48	28	32	462	607
10	60	31	38	515	676
11	62	32	40	565	742
12	61	32	39	612	806
13	56	30	37	659	868
14	44	26	30	702	928
15	44	26	30	750	992
16	44	26	30	799	1057
17	44	26	31	847	1121
18	44	26	31	896	1186
19	45	26	31	944	1250
20	45	27	31	993	1315
21	45	27	31	1041	1379

5.1.2 Front Steundrukken Grafiek



5.1.3 Drukkrachten



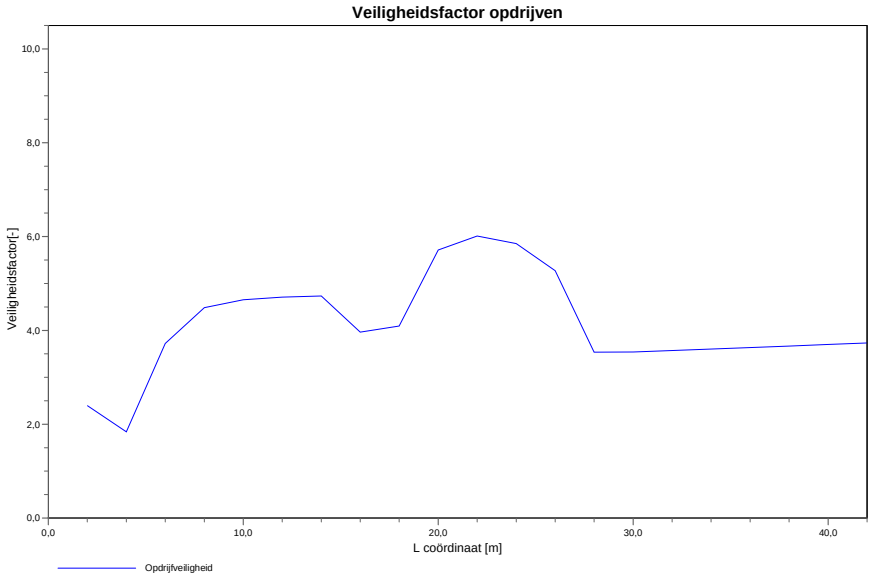
5.2 Verificatie Opdrijven

Door het drijfvermogen van de pijp onder de grondwater spiegel moet het opdrijven worden gecontroleerd. In de volgende berekening is de veiligheids factor tegen opdrijven bepaald. Deze berekening is gebaseerd op een lege pijp.

5.2.1 Opdrijf Factoren

Verticaal nr.	Veiligheidsfactor berekend [-]	Veiligheidsfactor vereist [-]
1	2,40	1,00
2	1,84	1,00
3	3,72	1,00
4	4,49	1,00
5	4,65	1,00
6	4,71	1,00
7	4,74	1,00
8	3,96	1,00
9	4,09	1,00
10	5,71	1,00
11	6,01	1,00
12	5,85	1,00
13	5,27	1,00
14	3,54	1,00
15	3,54	1,00
16	3,57	1,00
17	3,60	1,00
18	3,63	1,00
19	3,67	1,00
20	3,70	1,00
21	3,73	1,00

5.2.2 Opdrijven



6 Deformaties

6.1 Zakking

Ten gevolge van de oversnijding zal maaiveld zakking optreden. De zakking is berekend met een volume verlies percentage van het oversnijdings oppervlak. In de berekening is 50,0 procent gebruikt.

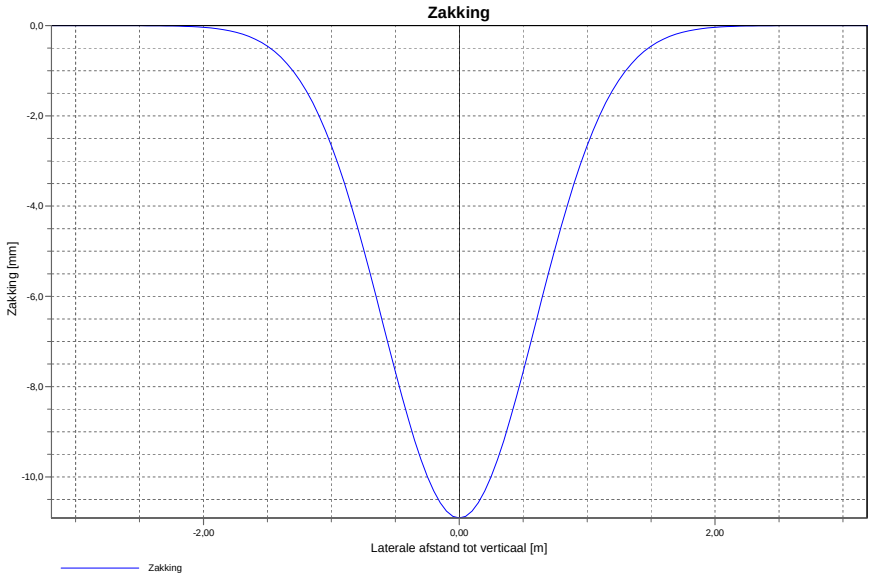
Uitwendige diameter leiding	1026	[mm]
Oversnijding op de straal	10	[mm]
Volume verlies	16273,4	[mm²]

6.1.2 Zakkingswaardentabel

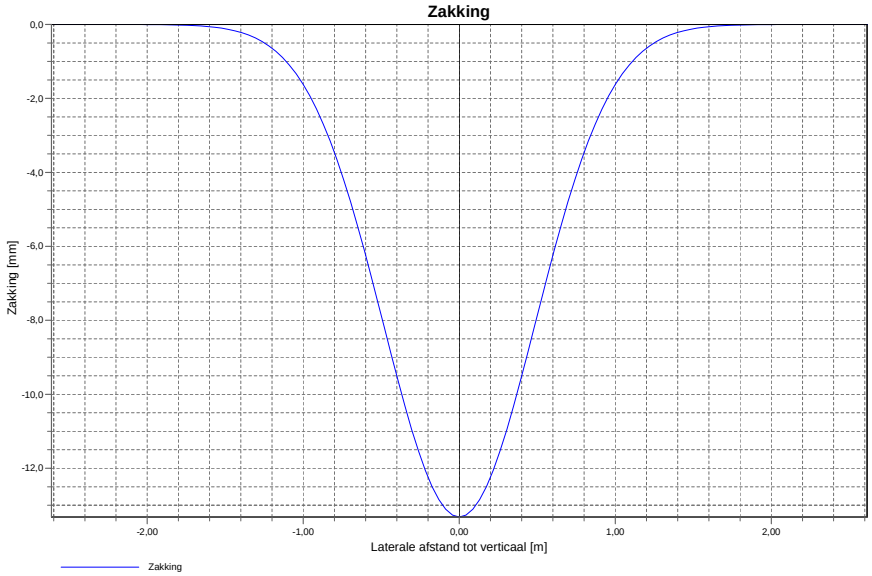
Verticaal nr.	Zakking op horizontale afstand van de z as:										
	0 W [mm]	0.1 W [mm]	0.2 W [mm]	0.4 W [mm]	0.7 W [mm]	1.0 W [mm]	1.3 W [mm]	1.6 W [mm]	2.0 W [mm]	2.5 W [mm]	3.0 W [mm]
1	11	10	9	4	1	0	0	0	0	0	0
2	13	12	10	5	1	0	0	0	0	0	0
3	8	7	6	4	1	0	0	0	0	0	0
4	7	6	5	3	1	0	0	0	0	0	0
5	6	6	5	3	1	0	0	0	0	0	0
6	6	6	5	3	1	0	0	0	0	0	0
7	6	6	5	3	1	0	0	0	0	0	0
8	7	7	6	4	1	0	0	0	0	0	0
9	7	7	6	3	1	0	0	0	0	0	0
10	5	5	4	3	1	0	0	0	0	0	0
11	5	5	4	3	1	0	0	0	0	0	0
12	5	5	4	3	1	0	0	0	0	0	0
13	6	5	5	3	1	0	0	0	0	0	0
14	8	8	7	4	1	0	0	0	0	0	0
15	8	8	7	4	1	0	0	0	0	0	0
16	8	8	7	4	1	0	0	0	0	0	0
17	8	7	7	4	1	0	0	0	0	0	0
18	8	7	6	4	1	0	0	0	0	0	0
19	8	7	6	4	1	0	0	0	0	0	0
20	8	7	6	4	1	0	0	0	0	0	0
21	8	7	6	4	1	0	0	0	0	0	0

W is de verticale afstand tussen het maaiveld en het buiscentrum

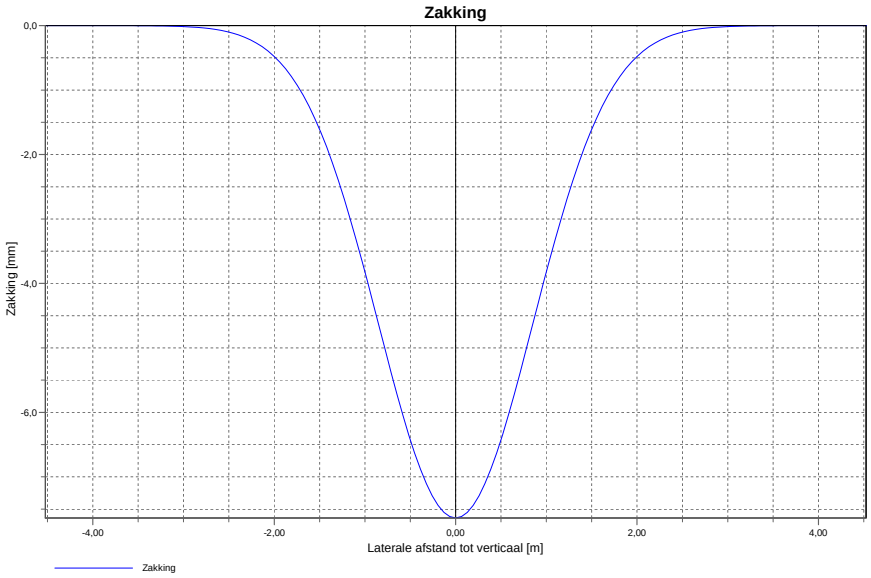
6.1.4 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 1



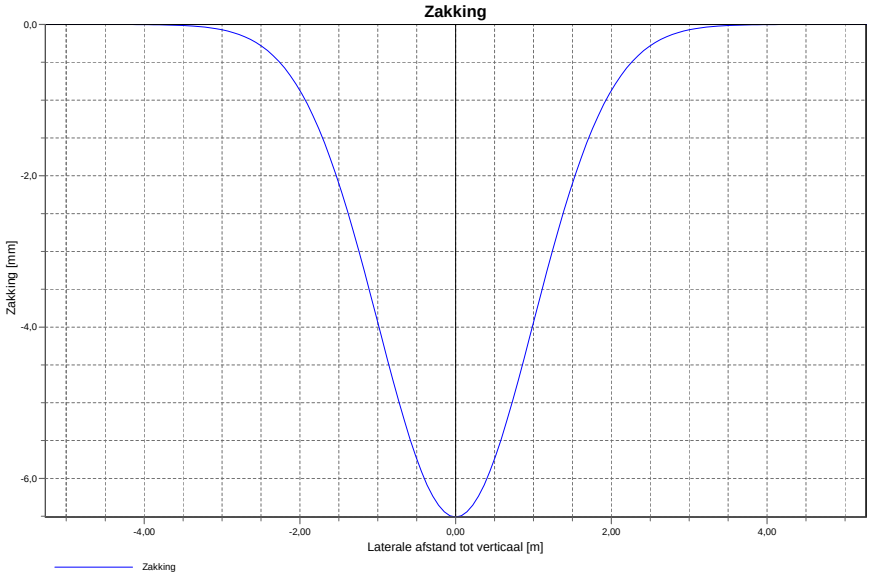
6.1.5 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 2



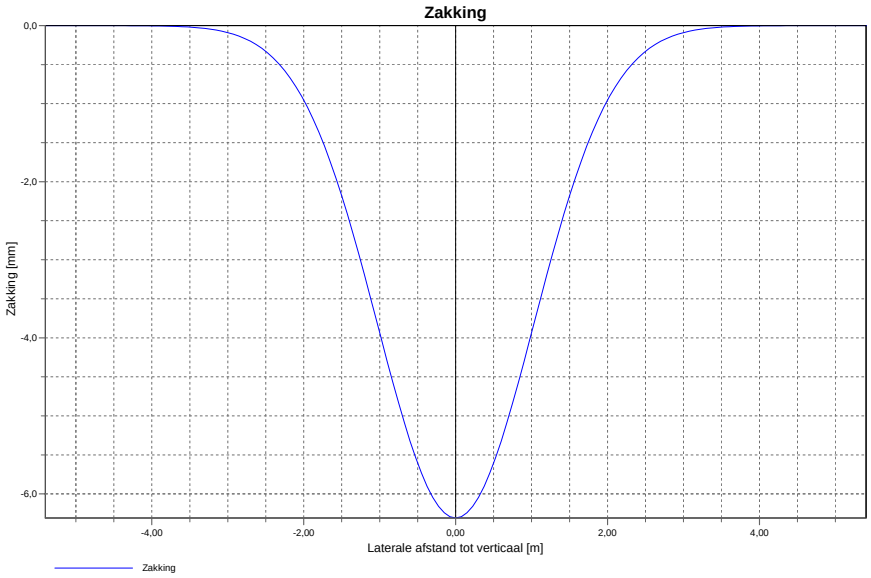
6.1.6 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 3



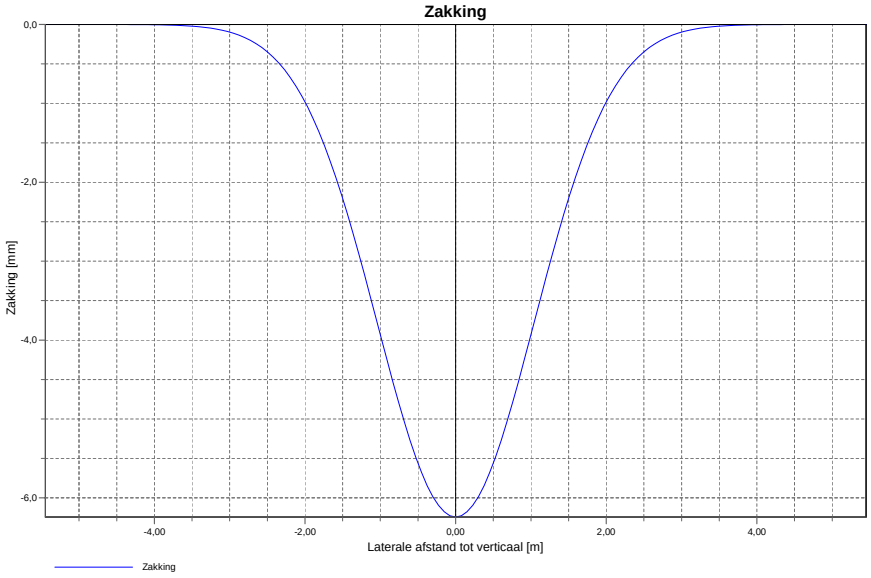
6.1.7 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 4



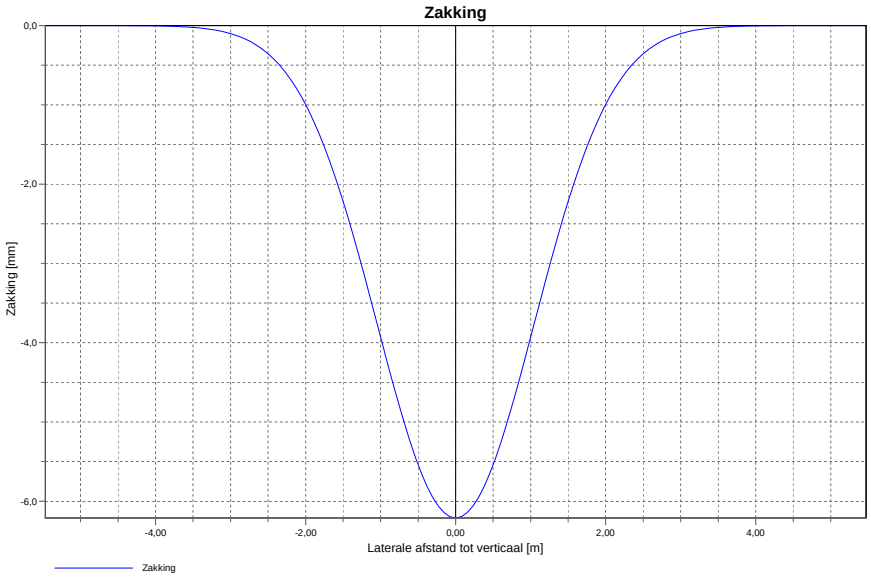
6.1.8 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 5



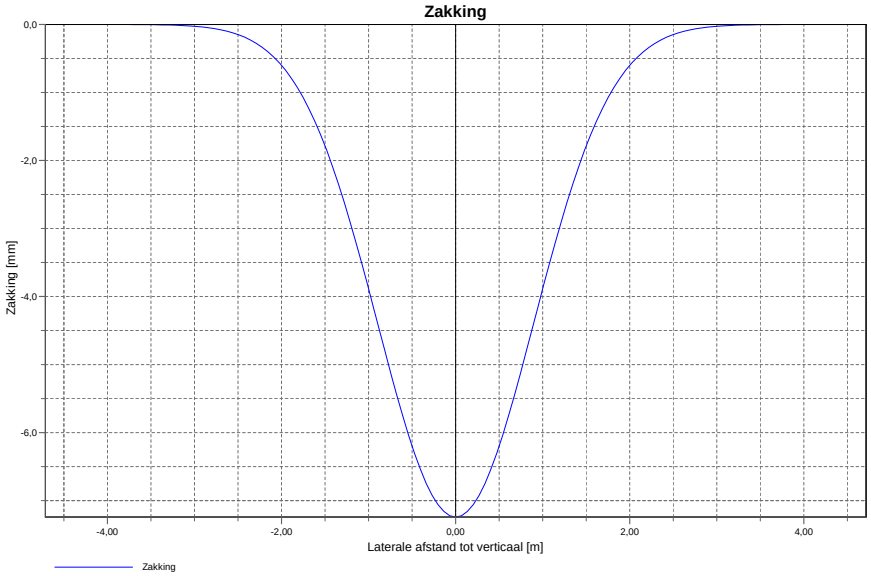
6.1.9 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 6



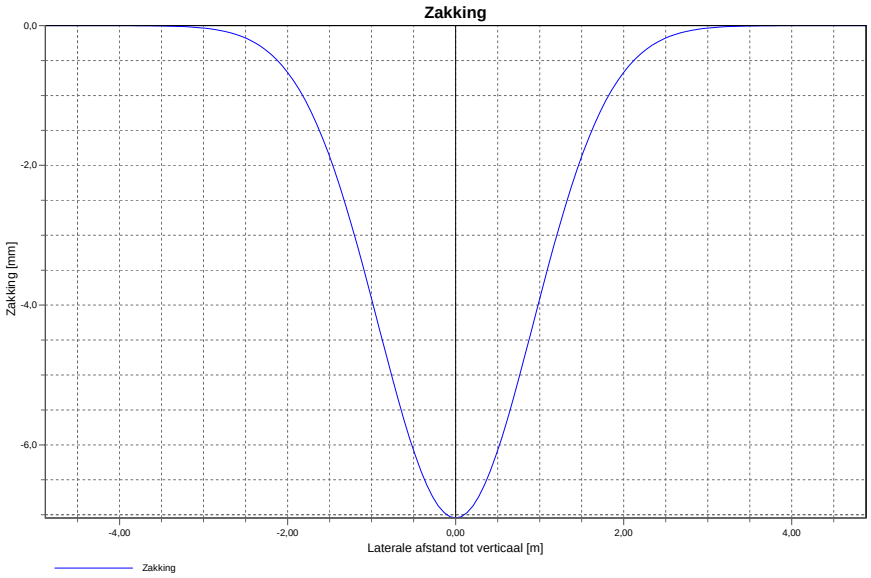
6.1.10 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 7



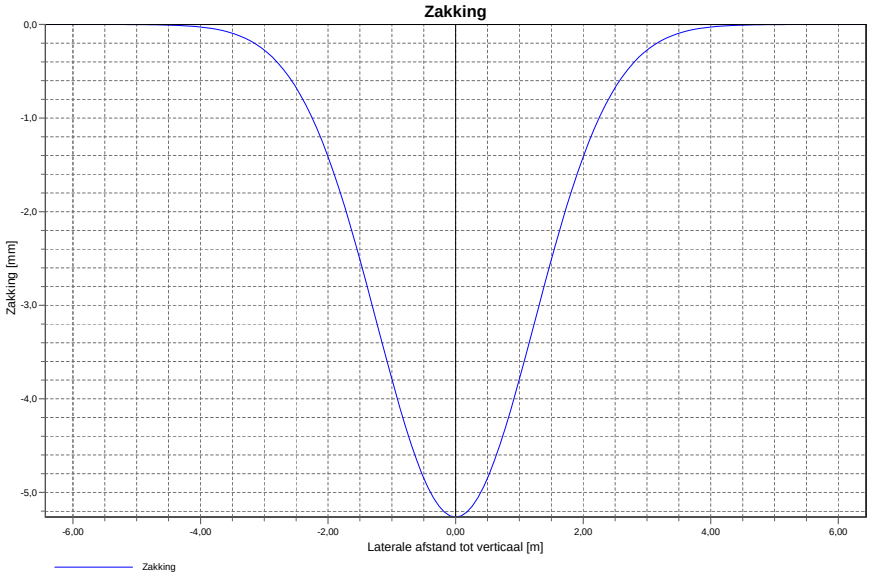
6.1.11 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 8



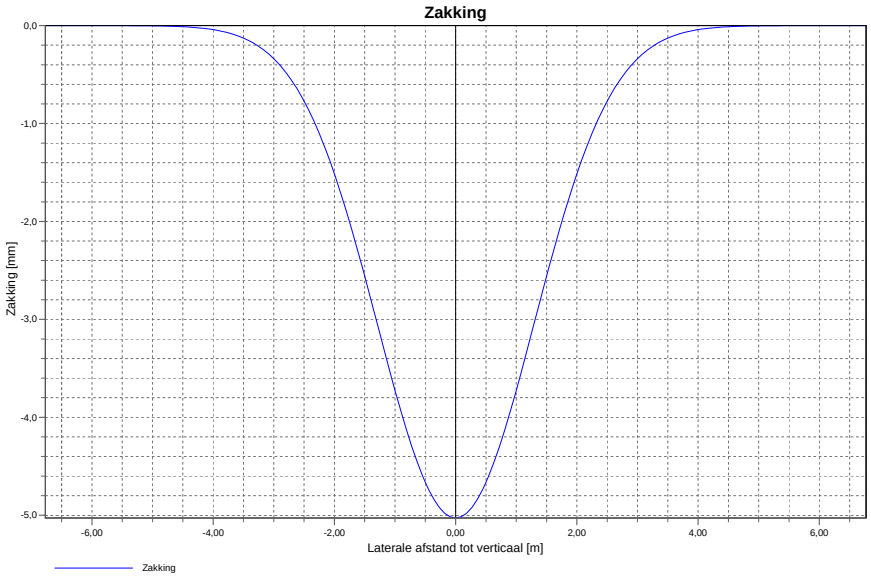
6.1.12 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 9



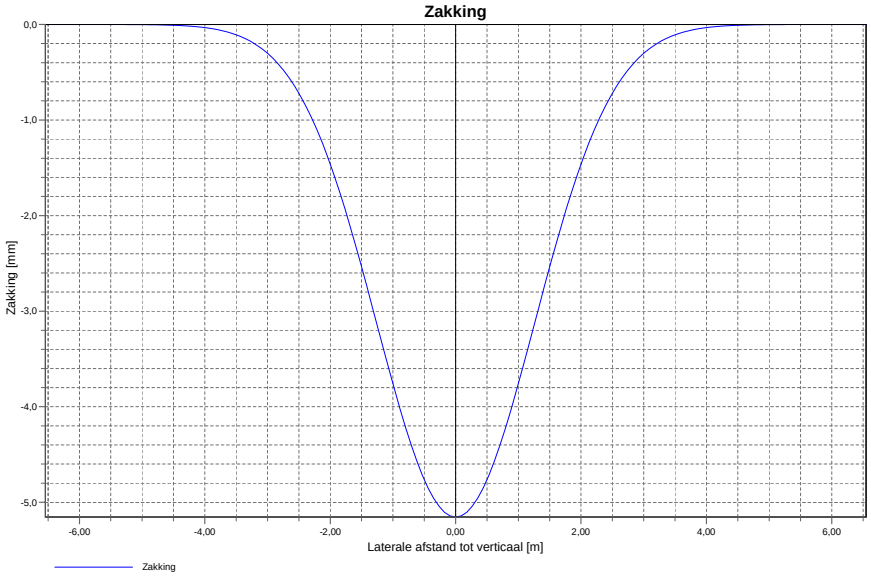
6.1.13 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 10



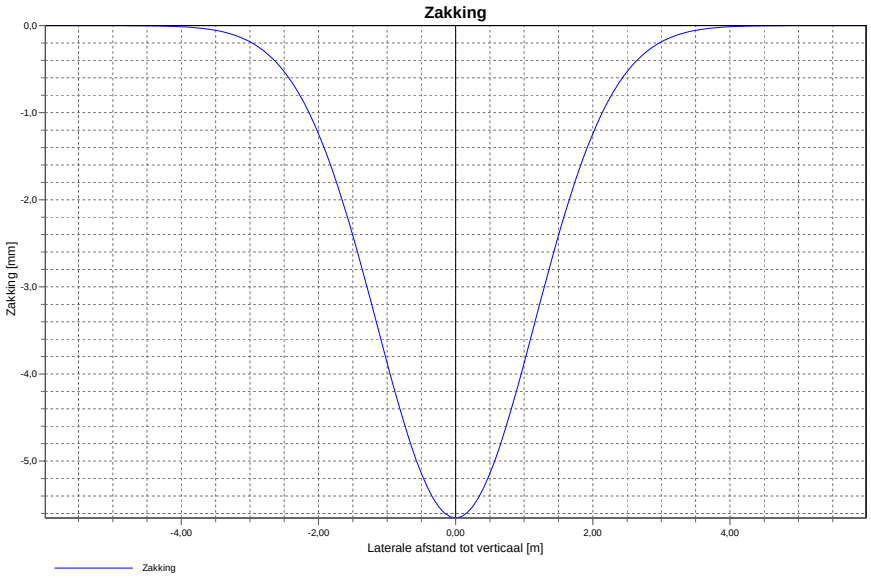
6.1.14 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 11



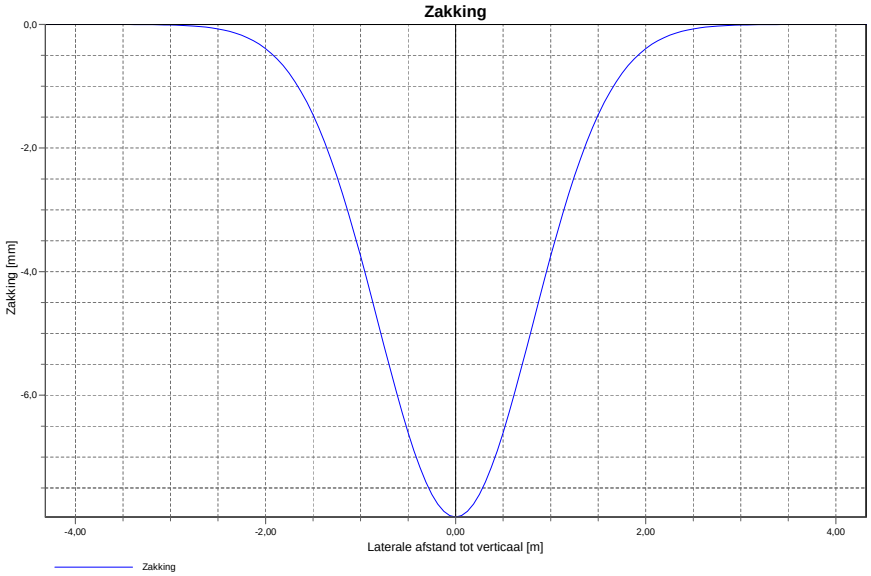
6.1.15 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 12



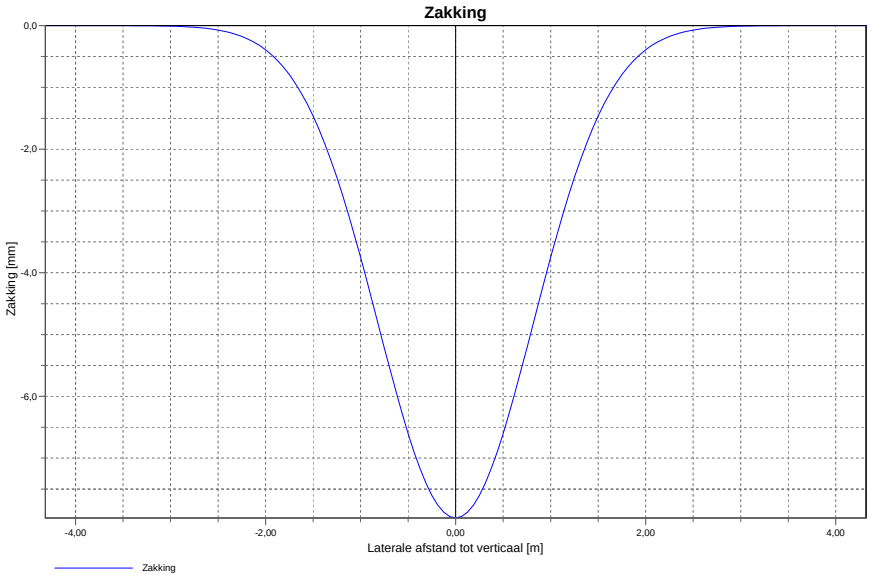
6.1.16 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 13



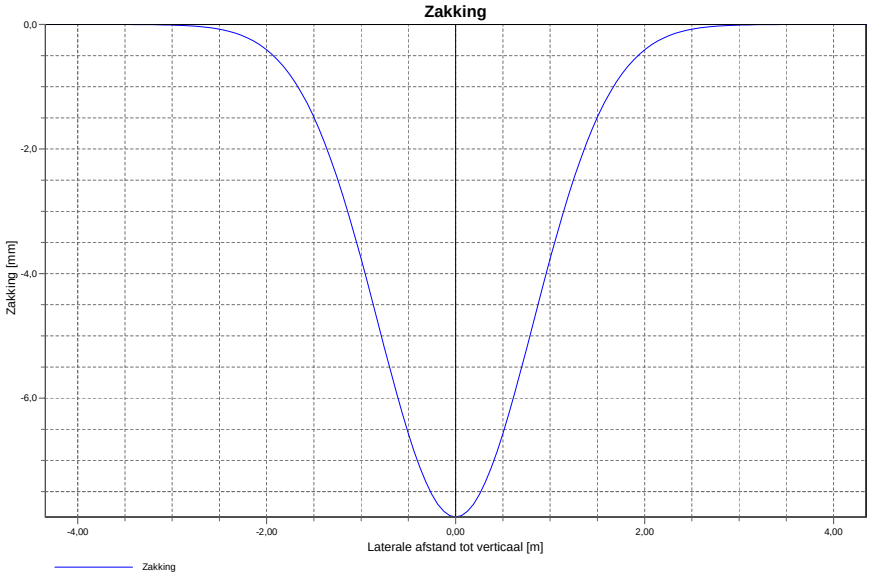
6.1.17 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 14



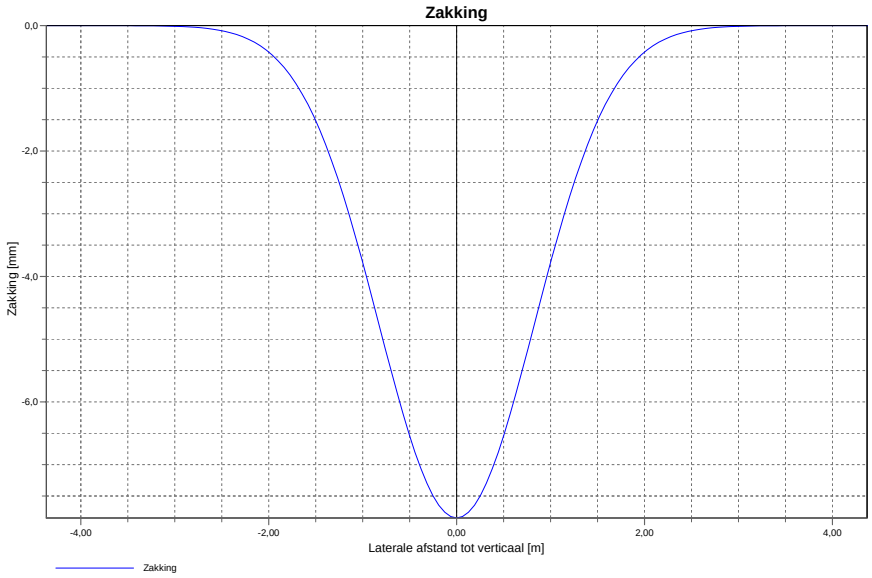
6.1.18 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 15



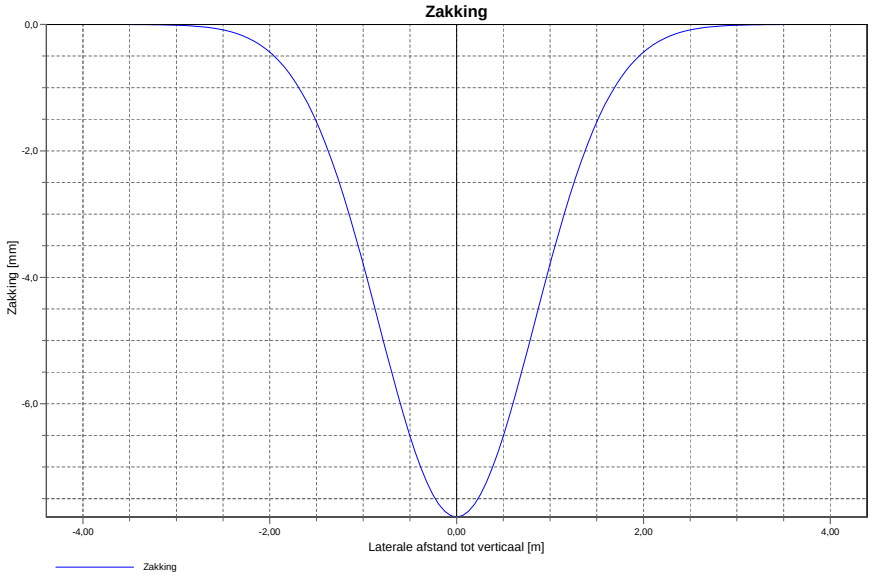
6.1.19 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 16



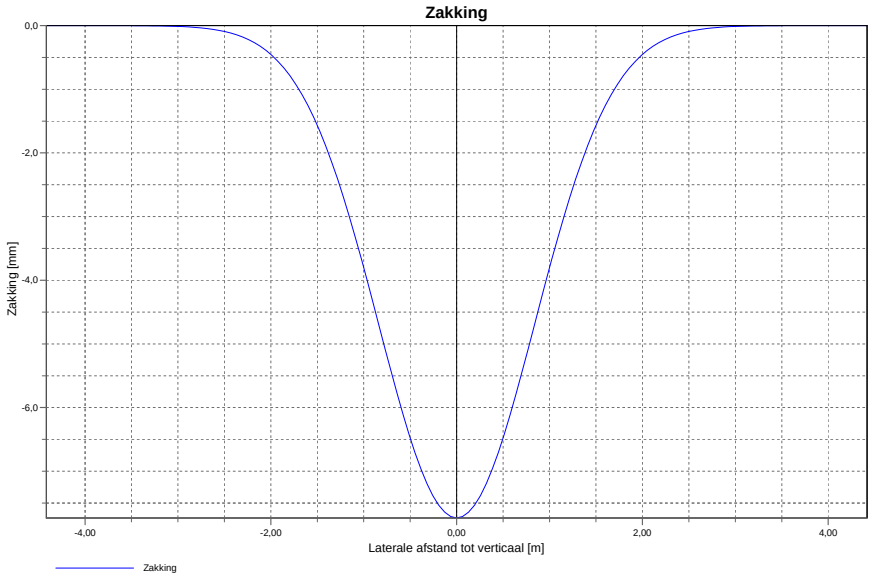
6.1.20 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 17



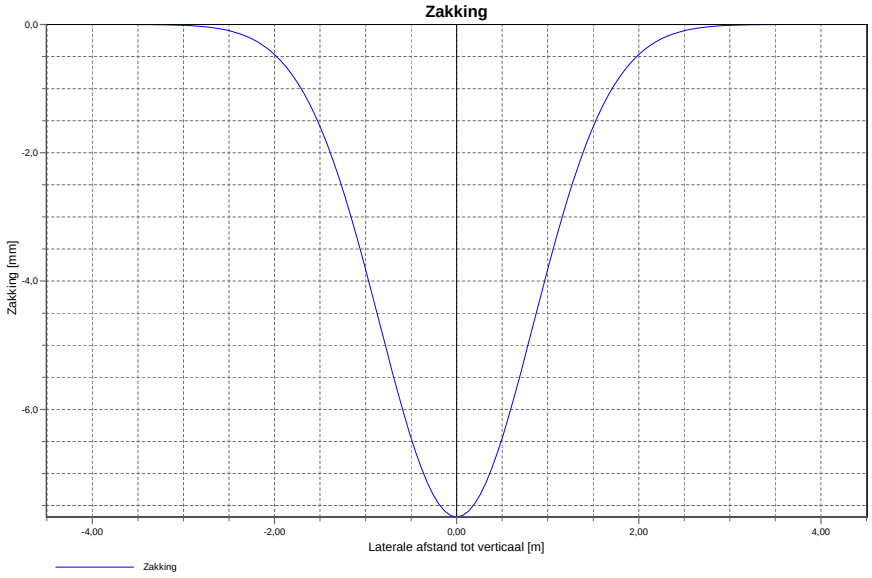
6.1.21 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 18



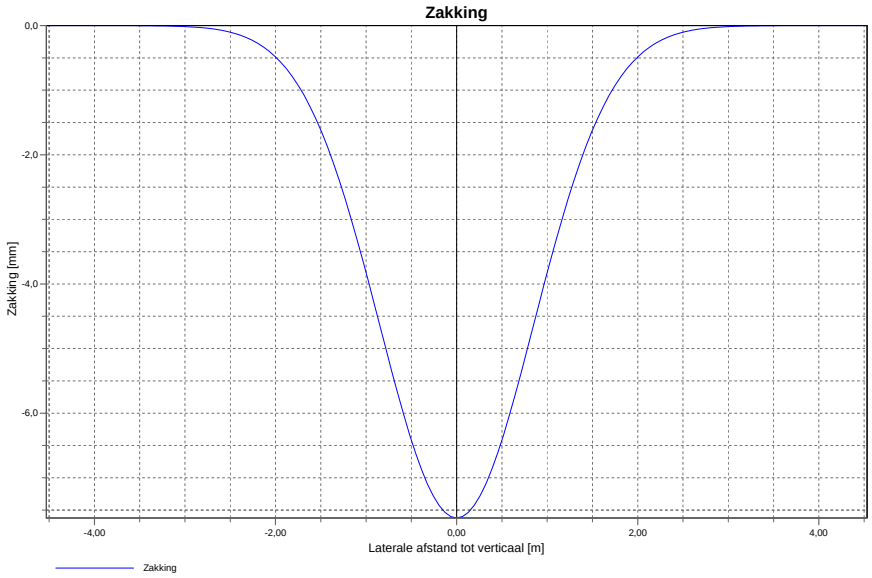
6.1.22 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 19



6.1.23 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 20



6.1.24 Grafiek Zakking bij Verticaal nr. 21



Einde Rapport

F.4A Boring 150 kV onder goederenspoor, nabij Geertruidenberg

Kruising 2 HDD's met een spoor, primaire waterkeringen en de Amertak

Vergunningsrapport ProRail, waterschap Brabantse Delta en Rijkswaterstaat

SWECO

Verantwoording

Titel:	Kruising 2 HDD's met een spoor, primaire waterkeringen en de Amertak
Onderwerp:	Vergunningsrapport ProRail, waterschap Brabantse Delta en Rijkswaterstaat
Projectnummer:	51001237
Klant:	TenneT
Referentienummer:	NL22-648800269-22774
Versie:	D2
Datum:	07-07-2023
Auteurs:	[redacted]
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 8
2.4 Horizontale afstand tot overige objecten 8
2.5 Diepteligging 8
2.6 Inwendige overdruk 9
2.7 Grondwaterstand 9
2.8 Belasting- en ondersteuningshoek 9
2.9 Importantiefactor 9
2.10 Geotechnische parameters 9
2.11 Boortechnische gegevens 10
2.12 Verkeersbelasting 10
2.13 Boogstralen 11

3. Ontwerp 12
3.1 Gegevens HDD 12
3.2 Boorparameters 13
3.3 Intredepunt 13
3.4 Uittredepunt en uitlegstrook 13

4. Berekeningsresultaten 15
4.1 Trekkrachtberekening 16
4.2 Sterkteberekening bedrijfsfase 16
4.3 Muddrukberekening 16
4.4 Implosie 16
4.5 Kwelweg 17
4.5.1 Kwel uit het eerste watervoerende pakket 17
4.5.2 Kwel tussen de peilgebieden 17

5. Risico's en aandachtspunten 19

6. Conclusie 20
6.1 Algemeen 20
6.2 Uitkomsten ontwerp en berekening 20

Bijlage 1 – Ontwerptekening 21
Bijlage 2 – Geotechnisch onderzoek 22

Bijlage 3 – Berekening D-Geo Pipeline 23

1. Inleiding

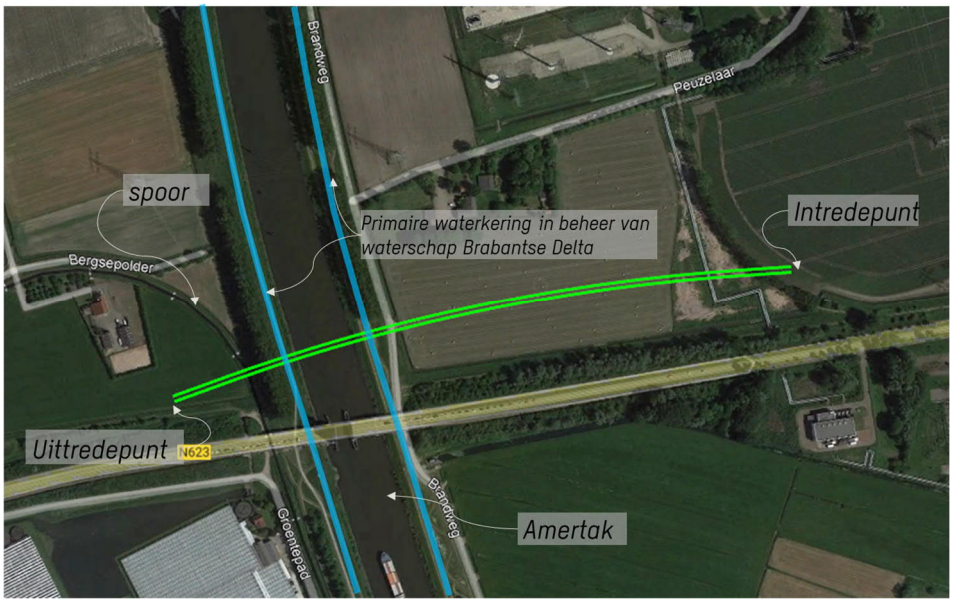
TenneT is voornemens om delen van de bovengrondse 150 kV-verbindingen binnen het projectgebied van Zuid-West 380 kV Oost ondergronds te verkabelen. Het projectgebied loopt vanaf Rilland aan de westzijde tot aan Tilburg aan de oostzijde. Bij het ondergronds brengen van de kabels moeten circa 45 kruisingen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

Dit rapport betreft de kruising met een spoor, 2 primaire waterkeringen en de Amertak. De kruising (met codering GTB HDD1) is vergunningsplichtig bij ProRail, waterschap Brabantse Delta en Rijkswaterstaat. Het ontwerp en de berekeningen zijn uitgevoerd conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020, Richtlijn Boortechnieken en de eisen van ProRail.

1.1 Situatie

Het tracé van de HDD's start ten oosten van de Amertak in het bouwland ten noorden van de N623 en hoogspanningsstation Geertruidenberg-Zuid. Het tracé eindigt in het bouwland aan de westzijde van de Amertak (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. Per bundel wordt in drie van de mantelbuizen een hoogspanningskabel ingetrokken, 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 circa 681 m en een maximale diepte van NAP -20,0 m (hart van de boring). De twee HDD's kruisen van oost naar west: een watergang, hoogspanningskabels, een onverharde weg, ondergrondse warmtenetleidingen, bovengrondse warmtenetleidingen, diverse kabels en leidingen, de Brandweg, een primaire waterkering, de Amertak, nogmaals een primaire waterkering en een verharde weg (de Oude Dijk), een middenspanningskabel, een watergang, een enkel spoor en tenslotte nogmaals een watergang. De primaire waterkeringen zijn in beheer bij waterschap Brabantse Delta en de Amertak is rijkswater in beheer bij Rijkswaterstaat. Het spoor betreft een niet geëlektrificeerd enkelvoudig goederenspoor in beheer bij ProRail.



Figuur 1 Overzicht situatie GTB-HDD01

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 HDD1, tekeningnummer GTB-HDD1 versie C (detail spoorkruising) en E, d.d. 06-07-2023 opgesteld door Sweco (bijlage 1);
- Geotechnisch onderzoek uit Dinoloket (bijlage 2);
- Maaiveldhoogten zijn ontleend aan de Algemene Hoogtekaart van Nederland (AHN-3);
- KLIC-levering 22O052793 opgevraagd d.d. 20-04-2022;
- Peilbesluiten waterschap Brabantse Delta, geraadpleegd d.d. 19-04-2022, 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/;
- Wegbeheerders, opgevraagd d.d. 24-03-2022, website: https://www.rijkswaterstaat.nl/kaarten/wegbeheerders.

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;
- Spoorkruising derden: RLN 00427-2, 31-3-2021;
- Indieningvereisten: Ten behoeve van het aanvragen van een vergunning op grond van artikel 19 Spoorwegwet en het aanvragen van een ontheffing op grond van artikel 13 lid 3 van de Regeling omgevingsregime hoofdspoorwegen, ProRail, 01-07-2021-versie-18 (bijlage 1).

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:
    - De minimale dagmaat bij een kruising met een bestaande HDD-boring is 5,0 meter, onafhankelijk van de grondslag;
    - De minimale dagmaat in zandgrond bij parallelligging tot een bestaande HDD-boring is 5,0 meter;
    - De minimale dagmaat in klei-/veengrond bij parallelligging tot een bestaande HDD-boring is 10,0 meter;
    - 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 specifieker dan de NEN 3650, voor het ontwerp houden we daarom de Richtlijn Boortechnieken aan. Aangezien vrijwel de gehele HDD's in een 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 tot de toekomstige mastenroute van TenneT is aan maaiveld een afstand van minimaal 10 meter uit de teen van de mast gehanteerd. De funderingswijze van de toekomstige masten is onbekend en dus ook of de funderingspalen geschoord staan. Bij een afstand van 10 m is een schoring van 1:3 toelaatbaar om op niveau boorlijn een minimale afstand van 5,0 m te hebben.
    - De afstand tussen hart boring en de teen van de toekomstige mast 1056 bedraagt circa 18,52 m.

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 3651:2020 paragraaf 9.6.2).
    - De kruinhoogte van de primaire watering is circa NAP +3,7 m en de teen op circa NAP +1,2 m. De HDD's liggen hier op een diepte (hart boring) van circa NAP -20 m en voldoen daarmee aan de eis.
- De HDD's dienen 10 meter onder de waterbodem van beide kanalen te liggen (NEN 3551:2020 paragraaf 9.6.2).

  - De bodemdieptes zijn ontleend aan het vaarwegenoverzicht van Rijkswaterstaat. De Amertak heeft een diepte van NAP -4,20 m. De HDD's liggen hier op een diepte van NAP -20 m hart boring, met een dagmaat van 15,3 m onder de bodem. Dit voldoet hiermee aan de eis.
- De HDD's dienen minimaal 12 m beneden het laagst gelegen maaiveld binnen de druklijn 1:1,5 te liggen (paragraaf 7.1 van RLN0047-2 Spoorkruising derden)
  - De bovenkant van de leiding is op een diepte van 21,36 m geprojecteerd ten opzichte van het laagst gelegen maaiveld. De leiding voldoet hiermee aan de dekkings- en afstandseisen.
- Voor kruising met overige kabels en leidingen waaronder leidingen van het warmtenet (zowel bovengronds als ondergronds) 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

De HDD's liggen binnen het peilbesluit van Gat van de Ham. Echter heeft het intredepunt een ander zomer- en winterpeil dan het uittredepunt. Bij het intredepunt is het zomerpeil -0,6 m NAP en het winterpeil -0,8 m NAP. Bij het uittredepunt is het zomerpeil -0,65 m NAP en het winterpeil -0,95 m NAP. We gaan in de berekening uit van een gemiddelde waterstand van -0,8 m NAP.

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 geotechnische gegevens en parameters gebruikt 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 [m NAP]	Afstand tot boortrace [m]
B44D1229	Boring	-7	40
CPT98999	Sondering	-12	10
B44D0959	Boring	-5	40
CPT98964	Sondering	-12	40
B44D1222	Boring	-3	20

Uit het grondonderzoek blijkt dat de bovenkant van de vaste zandlaag zich bevindt op circa -1,0 m NAP van het geplande boortracé. Boven de zandlaag bestaat de grond uit een laag zandige klei, zoals geobserveerd in het grondonderzoek. Gezien het kleine aantal boringen en sonderingen kan niet met zekerheid vastgesteld worden of de zandige klei over het gehele tracé voorkomt. 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, is de zandige klei over het gehele boortracé aangehouden. Tabel 2 2 laat de in de berekeningen aangehouden grondparameters en grondlagen 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 Su zijn gecorreleerd met de conusweerstand conform CUR2003-7 (2003) en CUR162 (1992).

Tabel 2-1 Grondparameters gebruikt in de berekening

Niveau bovenkant [m t.o.v. NAP]	Niveau onderkant [m t.o.v. NAP]	Lithologie	γ_d [kN/m^3]	γ_n [kN/m^3]	c' [kPa]	φ' [°]	Su top/bottom [kN/m^2]	E [kN/m^2]
0,3	-1,2	Klei; sterk zandig	18	18	0,5	27,5	30,0	2000
-1,2	-30,0	Zand; schoon; matig	18	20	0,0	32,5	0,0	30000

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 waardes zijn terug te vinden in de invoer van de muddrukberekeningen in bijlage 3.

2.12 Verkeersbelasting

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

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 horizontale bochten van 2018 en 2024 m, een verticale bocht van 250 m en een gecombineerde bocht met een boogstraal van 248 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.

Tabel 2-2 afwijkingstoleranties HDD

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

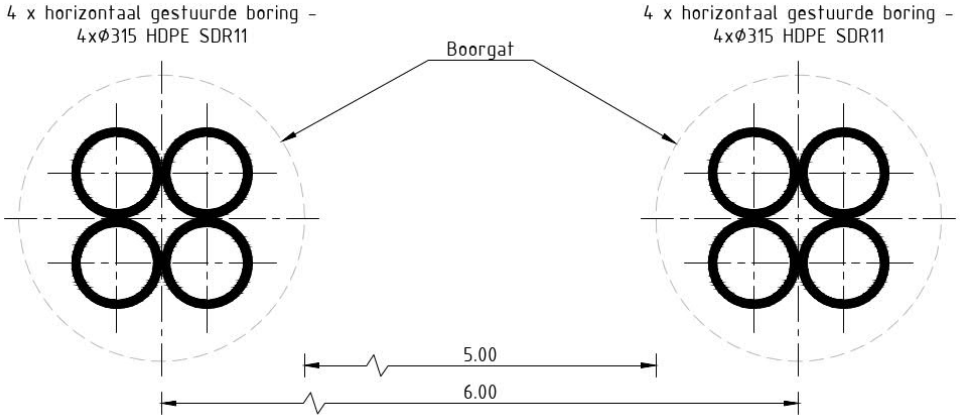
Figuur 2, afwijkingstoleranties HDD's (Bron: tabel 2.1 uit de Richtlijn Boortechnieken)

3. Ontwerp

3.1 Gegevens HDD

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

- materiaal: 4x PE100 Ø315 mm SDR 11;
- lengte: 681 m;
- maximale diepte hart boring: NAP -20,0 m;
- intredehoek: 15°;
- uittredehoek: 15°;
- verticale boogstralen: 250 m;
- horizontale boogstralen: 2018 en 2024 m;
- gecombineerde boogstralen: 248 m.



Figuur 3 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's dienen een zodanig tracé te volgen dat er voldoende dekking aanwezig is in het gehele tracé om een blow-out te voorkomen;
- De HDD's dienen buiten de kernzone van de primaire waterkeringen 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 100 ton;
- diameter boorstang : 0,17 m;
- volumegewicht bentoniet : 11,5 kN/m^3;
- diameter pilothole : Ø300 mm;
- ruimgat : Ø700 mm;
- boorgat : Ø1000 mm.

3.3 Intredepunt

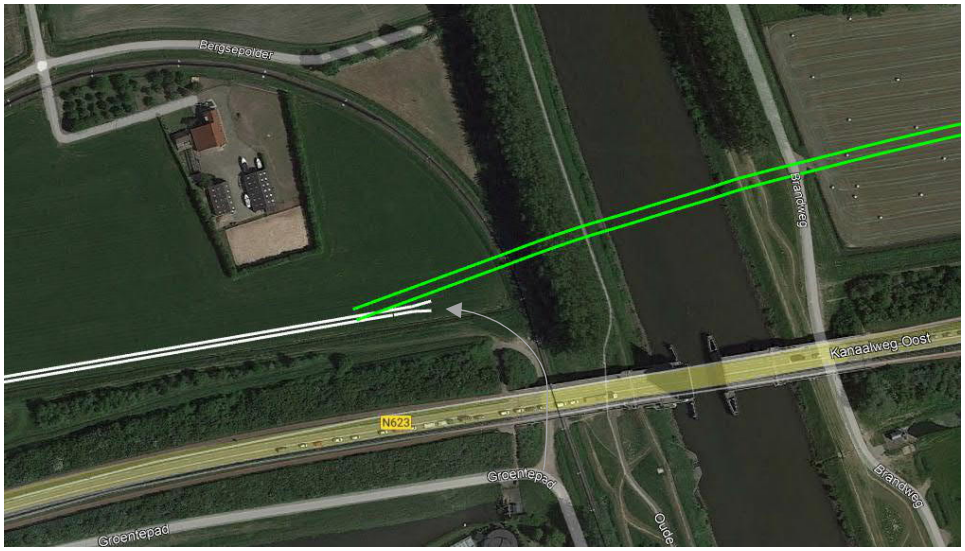
Het intredepunt ligt in bouwland aan de oostzijde van het boortracé ten noorden van de N623 en hoogspanningsstation Geertruidenberg-Zuid (zie figuur 4). De locatie is door het bouwland bereikbaar vanaf de noordzijde via de Peuzelaar. Bij het intredepunt dient de aannemer rekening te houden met het werken onder en nabij hoogspanningsmasten.

Figuur 4 Intredepunt GTB-HDD1

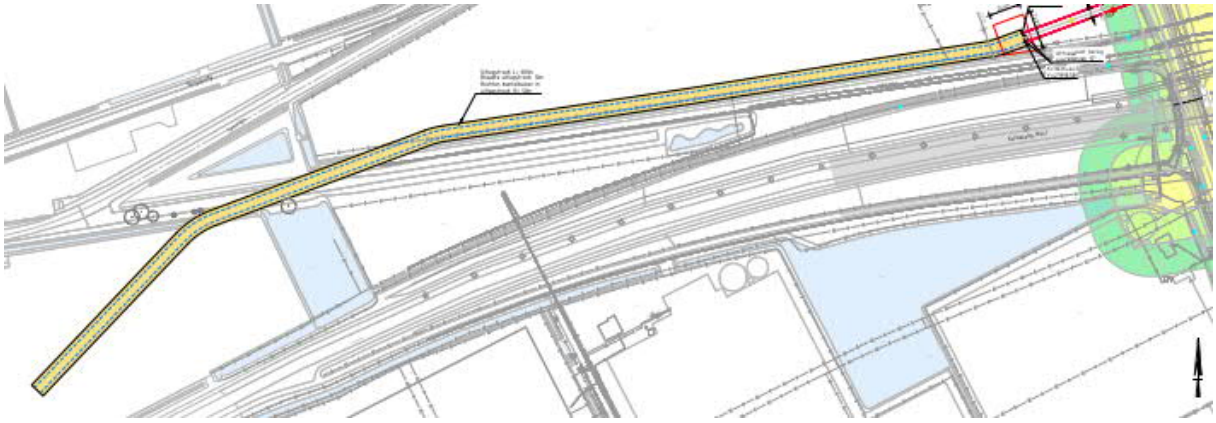
3.4 Uittredepunt en uitlegstrook

Het uittredepunt ligt in bouwland aan de westzijde van het boortracé (zie figuur 5). De locatie is bereikbaar via het Groentepad en de onderdoorgang van de brug N623. Hier kan gebruik gemaakt worden van de werkstrook van TenneT.

De uitlegstrook ligt in het bouwland en loopt grofweg parallel aan de N623 (Kanaalweg West) (zie figuur 6). De uitlegstrook kruist een categorie A waterloop en dijkje. Voor de waterloop dient een tijdelijke constructie aangelegd te worden. Langs het dijkje staan bomen en bosschages, deze dienen zoveel mogelijk behouden te blijven.



Figuur 5 Uittredepunt GTB HDD1



Figuur 6 Uitlegstrook GTB HDD1

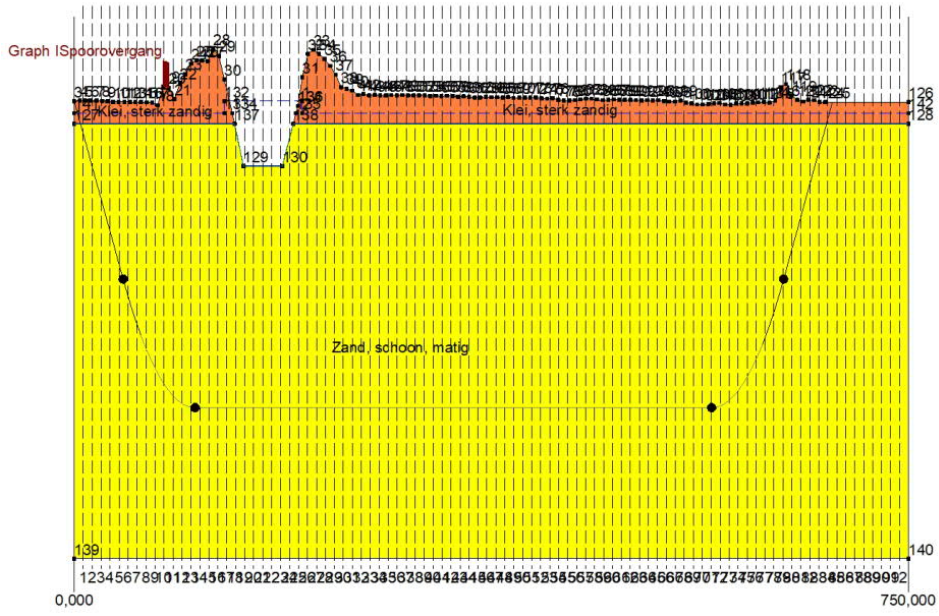
4. Berekeningsresultaten

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 7 D-Geo Pipeline-model van HDD's

4.1 Trekkrachtberekening

De berekende maximale trekkracht bedraagt 491*1,8 = 884 kN bij niet-gevulde leidingen. Dit leidt tot een maximale spanning tijdens de intrekfase van 9,12 N/mm^2 aan het einde van de intrekoperatie. Toelaatbaar is 10 N/mm^2.

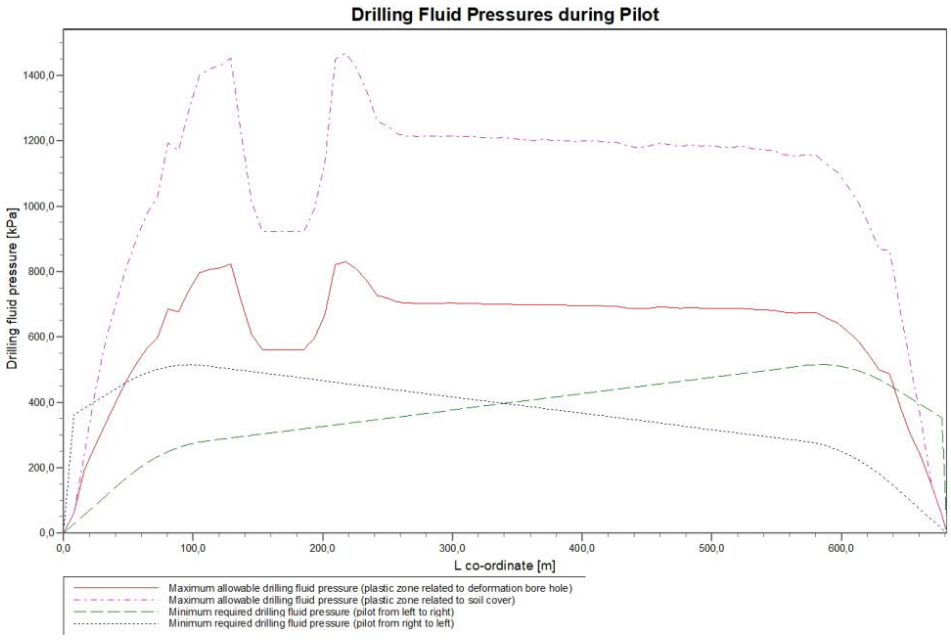
4.2 Sterkteberekening bedrijfsfase

Voor de mantelbuizen is een sterkteberekening in de bedrijfsfase gemaakt. Hieruit volgt een maximaal optredende spanning van 4,37 N/mm^2. Toelaatbaar is 8 N/mm^2 waarbij is uitgegaan van PE100 SDR 11.

Uit de sterkteberekening blijkt dat een deflectie van 8,8 mm (2,8% x D_0) optreedt. Toelaatbaar is een maximale deflectie van 25,2 mm (8%).

4.3 Muddrukberekening

Bij de geplande diepteligging van de HDD's bestaat tijdens de pilotboring, getuige de berekeningsresultaten, de kans op muduitbraak in de laatste 50 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 8 Muddrukberekening 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 203 kN/m^2, terwijl 280 kN/m^2 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

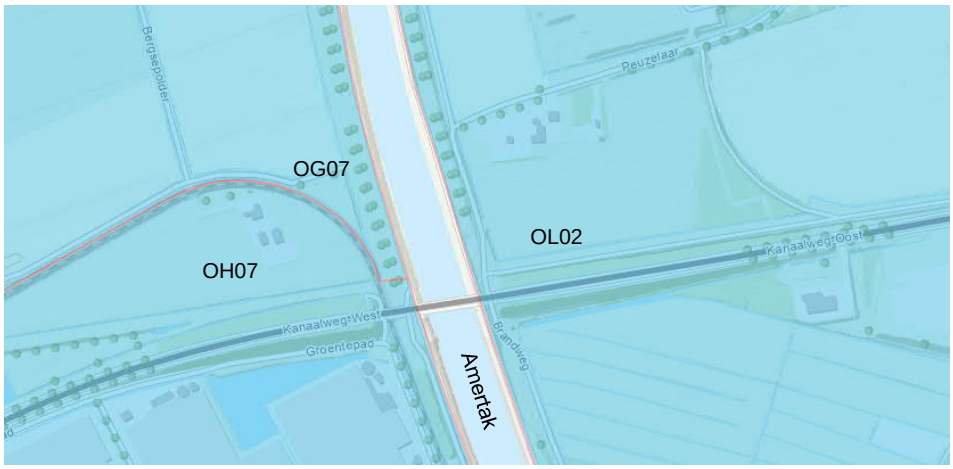
In het gebied zijn in DINOloket geen representatieve peilbuisgegevens te vinden van de diepere grondlagen. Op basis van het geotechnisch profiel, dat voornamelijk uit zand bestaat en geen diepere afsluitende kleilagen bevat, is de verwachting dat het peil van de freatische grondwaterstand en het eerste watervoerende pakket aan elkaar gelijk is. Het is daarom niet noodzakelijk om kwelmaatregelen te nemen. Dit zal geverifieerd dienen te worden met een te plaatsen peilbuis bij het tracé.

4.5.2 Kwel tussen de peilgebieden

De HDD's liggen binnen het peilbesluit van Gat van de Ham. Echter heeft het intredepunt een ander zomer- en winterpeil dan het uittredepunt (zie tabel 4-1). 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)
Amertak	+ 0,50	+ 0,50
OH07 – Plukmade	- 0,60	- 0,80
OG07 – Oud Drimmelen	-1,0	-1,5
OL02 – Middelschans	- 0,65	- 0,95



Figuur 9 Peilgebieden bij GTB-HDD1

De kwelwegen zijn berekend volgens Bligh-Lane:

$$Natuurlijke\ kwelweg < kwelweg\ via\ HDD$$

$$L_0 \times {}^1/_3 < L_{vert} + L_{hor} \times {}^1/_6$$

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 geen kwel tussen de peilgebieden via de HDD's valt te verwachten. Er zijn dus geen kwelmaatregelen nodig.

Tabel 4-2 Berekening van de kortste kwelwegen

Van peilgebied	Naar peilgebied	Kortste natuurlijke kwelweg [m]	Kortste kwelweg via HDD [m]
Amertak	OH07	60/3 = 17	18 + 60/6 + 15 = 43
Amertak	OL02	60/3 = 20	20 +60/6 + 15 = 45
Amertak	OG07	55/3 = 18	19 + 55/6 + 15 = 43
OL02	OG07	170/3 = 57	19 + 170/6 + 20 = 67
OH07	OL02	175/3 = 58	255/6 +20 = 62,5
OH07	OG07	6/3 = 2	18 + 6/6 + 19 = 38

5. Risico’s en aandachtspunten

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

- Werken in de nabijheid van hoogspanningsmasten, met name bij het uittredepunt. Ten oosten van het uittredepunt liggen verschillende mastenroutes die aansluiten op hoogspanningsstation Geertruidenberg-Zuid;
- Werken in de beschermingszones van de waterkeringen van waterschap Brabantse Delta;
- Voor de werkzaamheden zal een door ProRail gekwalificeerde aannemer nodig zijn;
- Uitlegstrook: de mantelbuizen worden uitgelegd aan de westzijde van de HDD in bouwland. De uitlegstrook kruist een categorie A waterloop, dit dient te worden afgestemd met het waterschap Brabantse Delta;
- Kruisingen met kabels en leidingen dienen te worden afgestemd met de betreffende beheerders;
- 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;
- 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 toekomstige hoogspanningsmasten.

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.

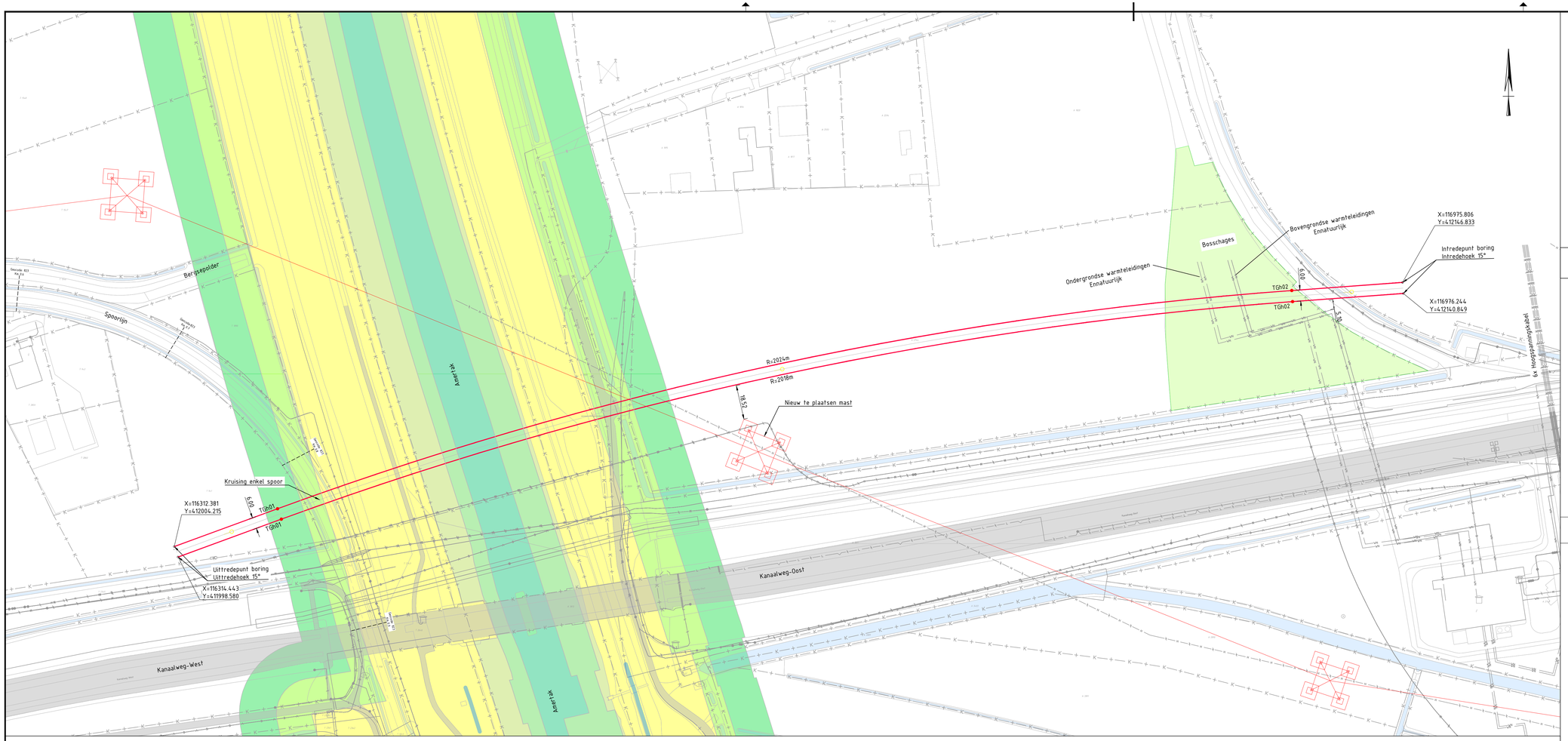
Dit rapport betreft de kruising met een spoor, twee primaire waterkeringen en de Amertak. De kruising (met codering GTB HDD1) is vergunningsplichtig bij ProRail, waterschap Brabantse Delta en Rijkswaterstaat. Het ontwerp en de berekeningen zijn uitgevoerd conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020, Richtlijn Boortechnieken en de eisen van ProRail.

6.2 Uitkomsten ontwerp en berekening

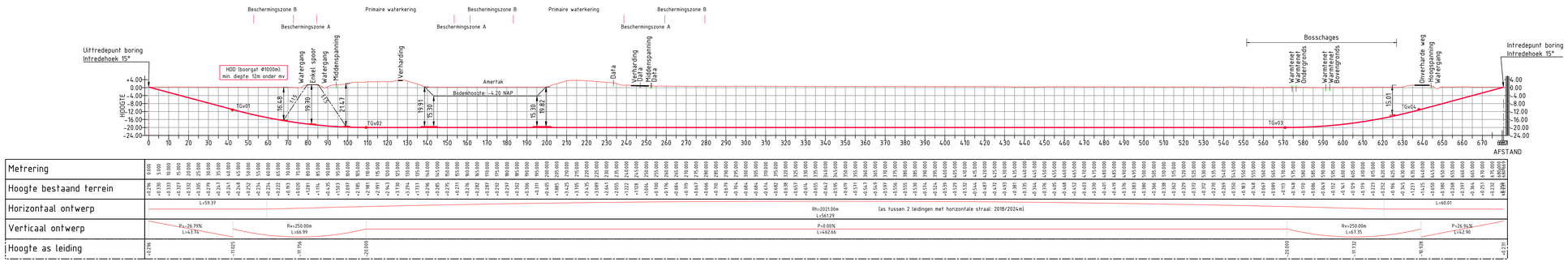
De HDD’s, weergegeven op de tekeningen die zijn bijgevoegd als bijlage 1, zijn ontworpen en berekend volgens de vigerende eisen.

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

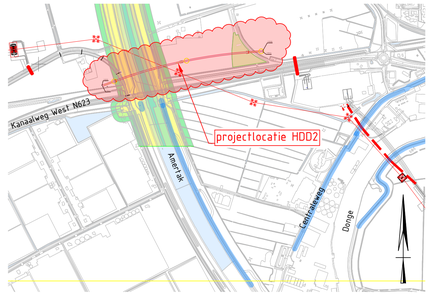


Bovenaanzicht Schaal 1:1000

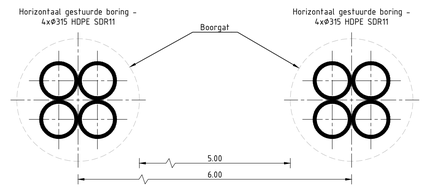


Metrering	0.000 5.000 10.000 15.000 20.000 25.000 30.000 35.000 40.000 45.000 50.000 55.000 60.000 65.000 70.000 75.000 80.000 85.000 90.000 95.000 100.000 105.000 110.000 115.000 120.000 125.000 130.000 135.000 140.000 145.000 150.000 155.000 160.000 165.000 170.000 175.000 180.000 185.000 190.000 195.000 200.000 205.000 210.000 215.000 220.000 225.000 230.000 235.000 240.000 245.000 250.000 255.000 260.000 265.000 270.000 275.000 280.000 285.000 290.000 295.000 300.000 305.000 310.000 315.000 320.000 325.000 330.000 335.000 340.000 345.000 350.000 355.000 360.000 365.000 370.000 375.000 380.000 385.000 390.000 395.000 400.000 405.000 410.000 415.000 420.000 425.000 430.000 435.000 440.000 445.000 450.000 455.000 460.000 465.000 470.000 475.000 480.000 485.000 490.000 495.000 500.000 505.000 510.000 515.000 520.000 525.000 530.000 535.000 540.000 545.000 550.000 555.000 560.000 565.000 570.000 575.000 580.000 585.000 590.000 595.000 600.000 605.000 610.000 615.000 620.000 625.000 630.000 635.000 640.000 645.000 650.000 655.000 660.000 665.000 670.000 675.000 680.000 684.000
Hoogte bestaand terrein	+0.296 +0.330 +0.333 +0.377 +0.332 +0.395 +0.379 +0.247 +0.241 +0.264 +0.226 +0.234 +0.222 +0.193 +0.020 +0.281 -0.114 -0.533 -0.593 -2.897 -2.785 -2.991 -2.991 -2.943 -3.130 -3.131 -3.296 -3.295 -3.275 -3.276 -3.282 -3.297 -3.297 -3.302 -3.396 -3.311 -3.405 -3.385 -3.425 -3.475 -3.475 -3.389 -3.641 -2.955 -1.122 -0.984 -0.776 -0.667 -0.666 -0.670 -0.679 -0.684 -0.684 -0.684 -0.674 -0.638 -0.657 -0.614 -0.642 -0.642 -0.595 -0.531 -0.547 -0.549 -0.597 -0.597 -0.555 -0.530 -0.514 -0.524 -0.539 -0.529 -0.532 -0.541 -0.487 -0.472 -0.493 -0.381 -0.335 -0.344 -0.376 -0.388 -0.408 -0.372 -0.419 -0.370 -0.401 -0.419 -0.436 -0.380 -0.366 -0.362 -0.372 -0.372 -0.372 -0.350 -0.183 -0.148 -0.067 -0.089 -0.113 -0.138 -0.186 -0.223 -0.239 -0.196 -0.345 -1.137 -1.425 -0.650 -0.380 -0.309 -0.364 -0.251 -0.232 -0.194 -0.131
Horizontaal ontwerp	L=59.37 Rh=2021.00m L=56.129 (as tussen 2 leidingen met horizontale straal: 2018/2024m) L=60.01
Verticaal ontwerp	P=-26.79‰ L=4.374 Rvv=250.00m L=66.99 P=0.00‰ L=452.66 Rvv=250.00m L=63.35 P=26.96‰ L=42.90
Hoogte as leiding	-0.296 -11.925 -17.194 -20.000 -20.000 -17.132 -10.928 -0.731

Lengteprofiel schaal 1:1000



Overzicht Schaal 1:10.000



Principe doorsnede
Schaal 1:20

- Kadastrale grens
- Leiding gevaarlijke inhoud
- Datatransport
- Landelijk hoogspanningsnet
- Laagspanning
- Middenspanning
- Gasleiding hoge druk
- Gasleiding lage druk
- Waterleiding
- Drukriolering
- Riolering vrijverval
- Horizontaal gestuurde boring (HDD)
- Verharding (asfalt)
- Bestaande topo
- Bebouwing
- Bosschage
- Verharding/wegen
- 16 Locatie sondering met nummer
- Primaire waterkering Waterschap Brabantse Delta
- Beschermingszone A
- Beschermingszone B

Vergunningstekening

D	T.b.v. vergunningsaanvraag II	20-04-2022	BB	MJ	JD
C	T.b.v. vergunningsaanvraag	14-04-2022	JPR	MJ	JD
B	Nieuwe locatie HDD's	25-02-2022	BB	MJ	JD
A	Eerste uitgave	17-01-2020	NJ	MJ	JD
Rev	Omschrijving	Datum rev.	Get.	Gec.	Goedg.

Opdrachtgever
TenneT TSO B.V.

Project
HDD's 150 kV ZWO

Onderdeel
GTB-HDD1
Kruising Amertak

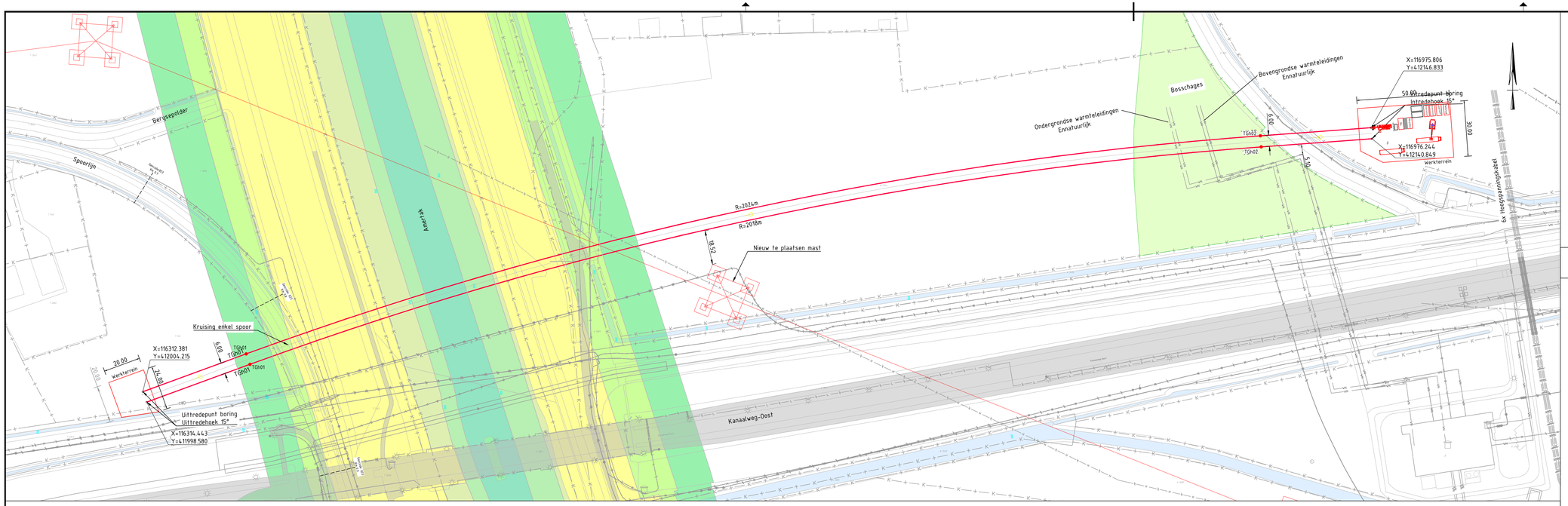
Projectnummer	Tekeningnummer	Versie	Datum van uitgave	Ontwerpfase	Contractnummer
368722	GTB-HDD1	D	14-04-2022	BO	

Blad	Van	Schaal	Formaat	Kantoor	Get.	Gec.	Goedg.
1	2	Zie tekening	A1	De Bilt	BB	MJ	JD

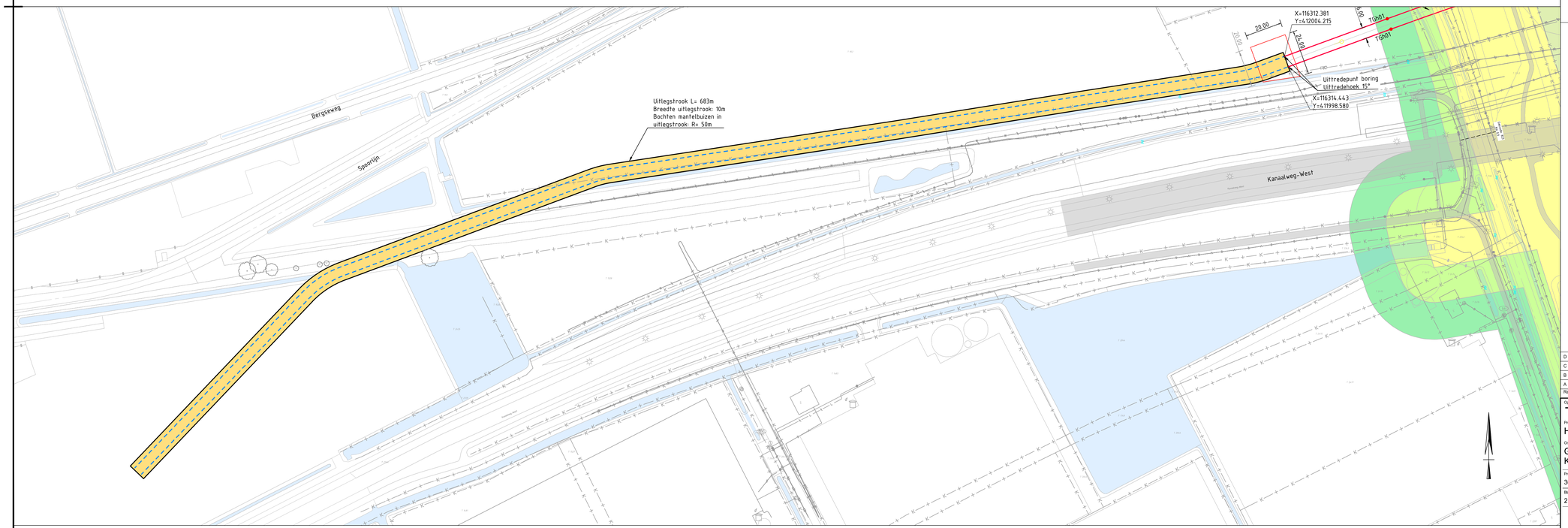
www.sweco.nl
© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden

SWECO

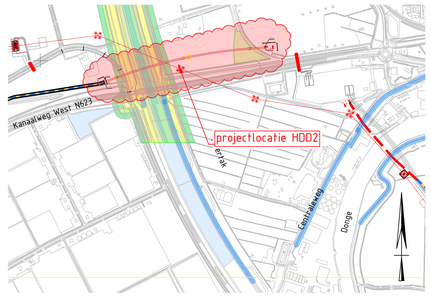
GTB-HDD1



Bovenaanzicht schaal 1:1000



Bovenaanzicht uitlegstrook schaal 1:1000



Overzicht Schaal 1:10.000

Principe doorsnede
Schaal 1:20

- Kadastrale grens
- Leiding gevaarlijke inhoud
- Datatransport
- Landelijk hoogspanningsnet
- Laagspanning
- Middenspanning
- Gasleiding hoge druk
- Gasleiding lage druk
- Waterleiding
- Drukriolering
- Riolering vrijverval
- Horizontaal gestuurde boring (HDD)
- Verharding (asfalt)
- Bestaande topo
- Bebouwing
- Leidingstrook
- Verharding/wegen
- Locatie sondering met nummer

- Primaire waterkering Waterschap Brabantse Delta
- Beschermingszone A
- Beschermingszone B

Vergunningstekening

Rev	Omschrijving	Datum rev.	Get.	Gec.	Goedg.
D	T.b.v. vergunningsaanvraag	20-04-2022	BB	MJ	JD
C	T.b.v. vergunningsaanvraag	14-04-2022	JPR	MJ	JD
B	Aanpassingen op werkterreinen	07-03-2022	BB	MJ	JD
A	Eerste uitgave	17-01-2020	NJ	MJ	JD

Opdrachtgever
TenneT TSO B.V.

Project
HDD's 150 kV ZWO

Onderdeel
GTB-HDD1
Kruising Amertak

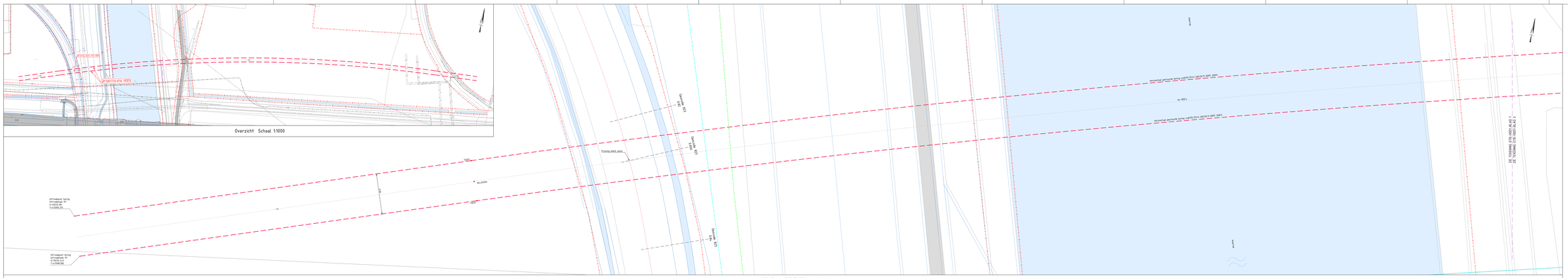
Projectnummer	Tekeningnummer	Versie	Datum van uitgave	Ontwerpfase	Contractnummer
368722	GTB-HDD1	D	20-04-2022	Definitief ontwerp	

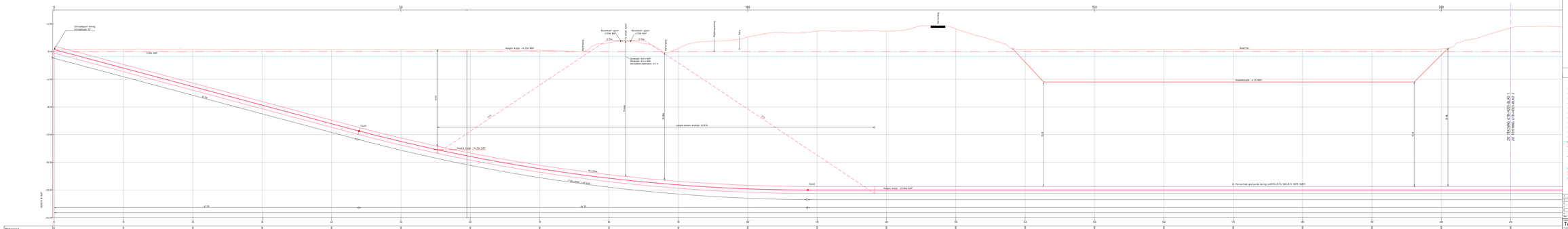
Blad	Van	Schaal	Formaat	Kantoor	Get.	Gec.	Goedg.
2	2	1:1000	A1	De Bilt	BB	MJ	JD

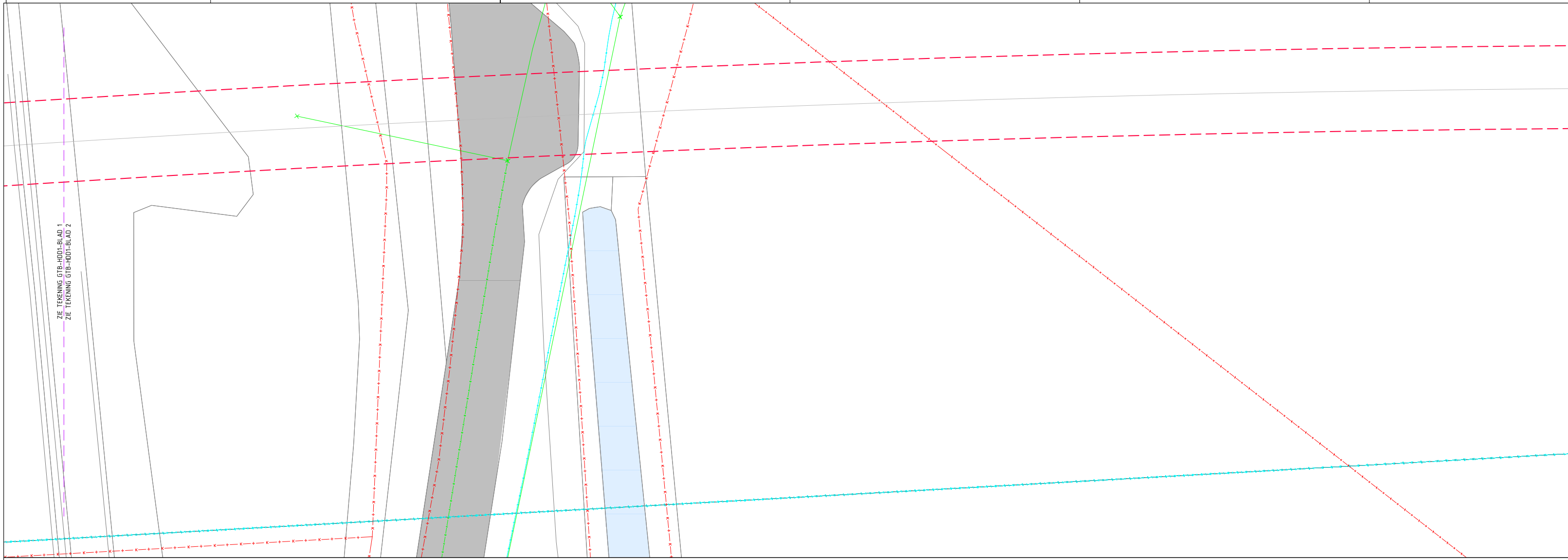
www.sweco.nl
© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden

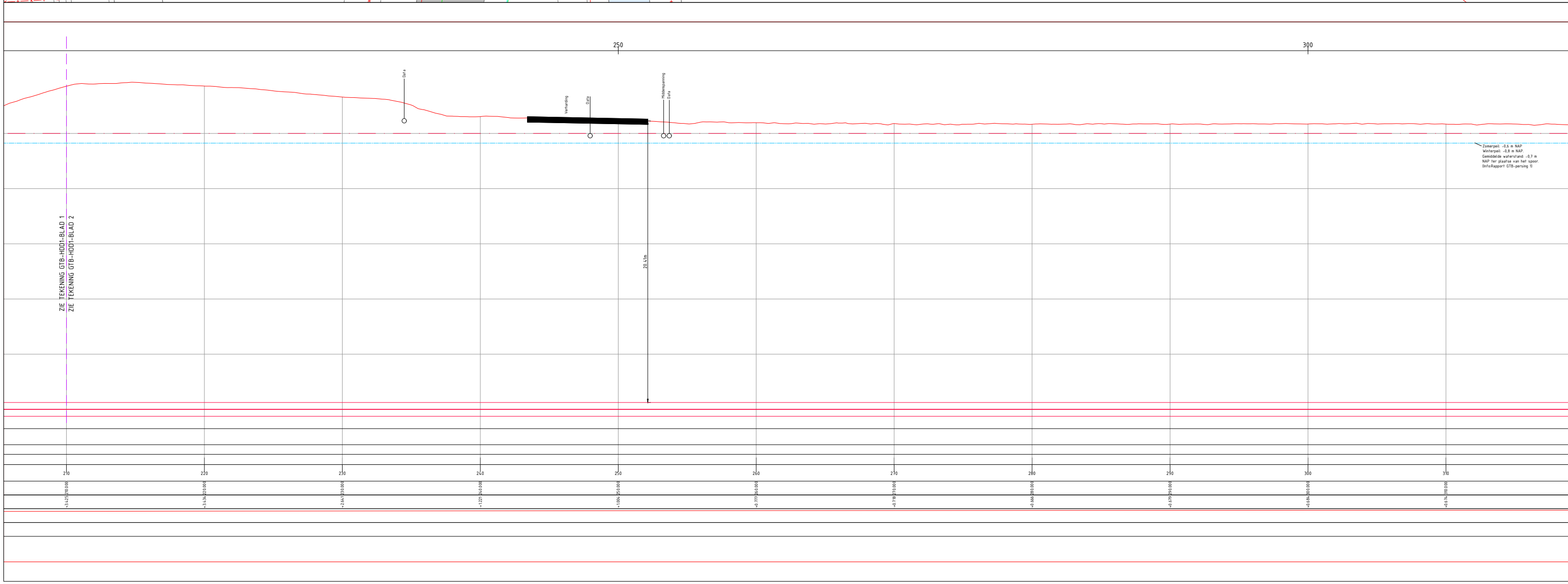
SWECO

GTB-HDD1

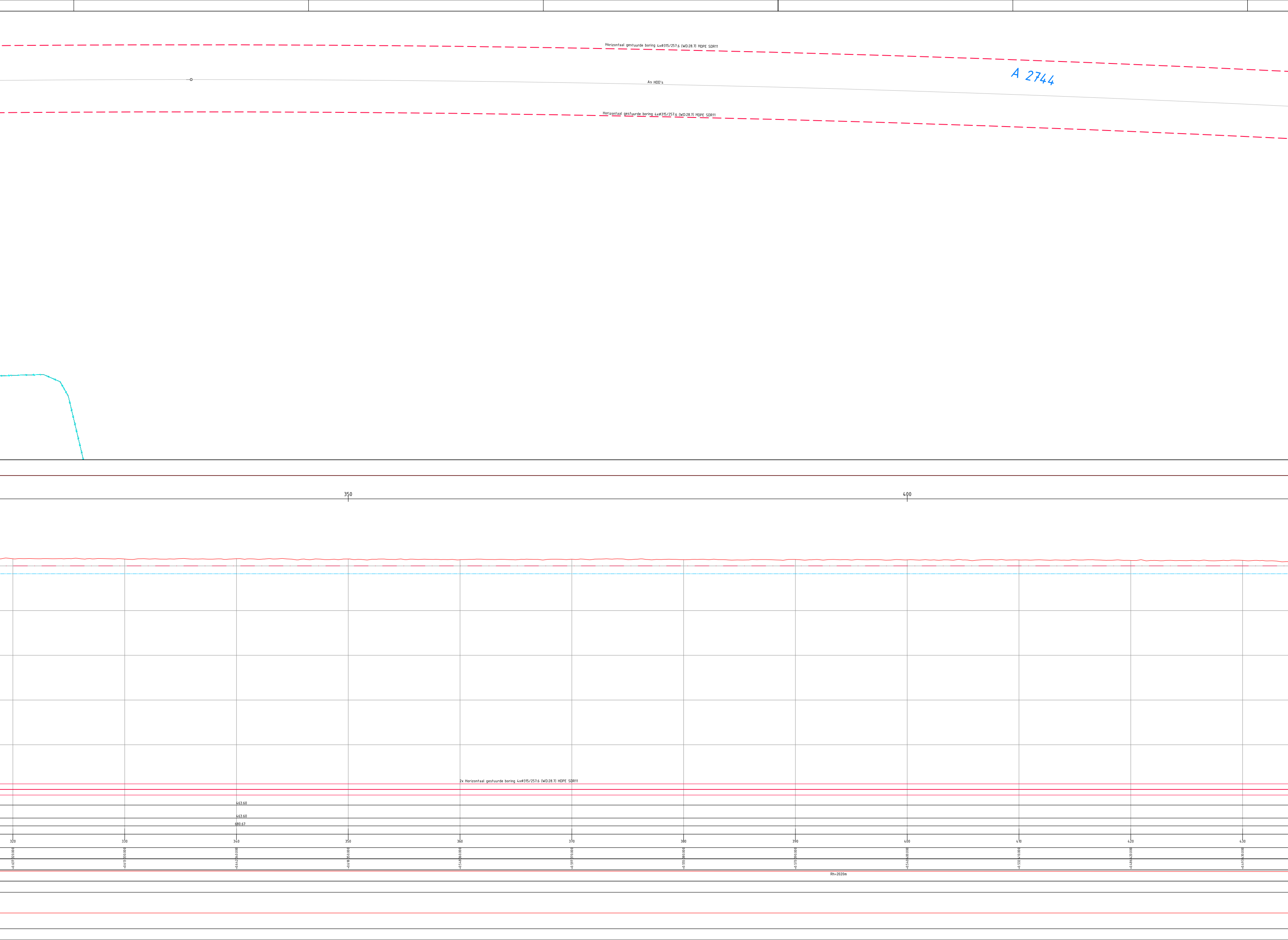


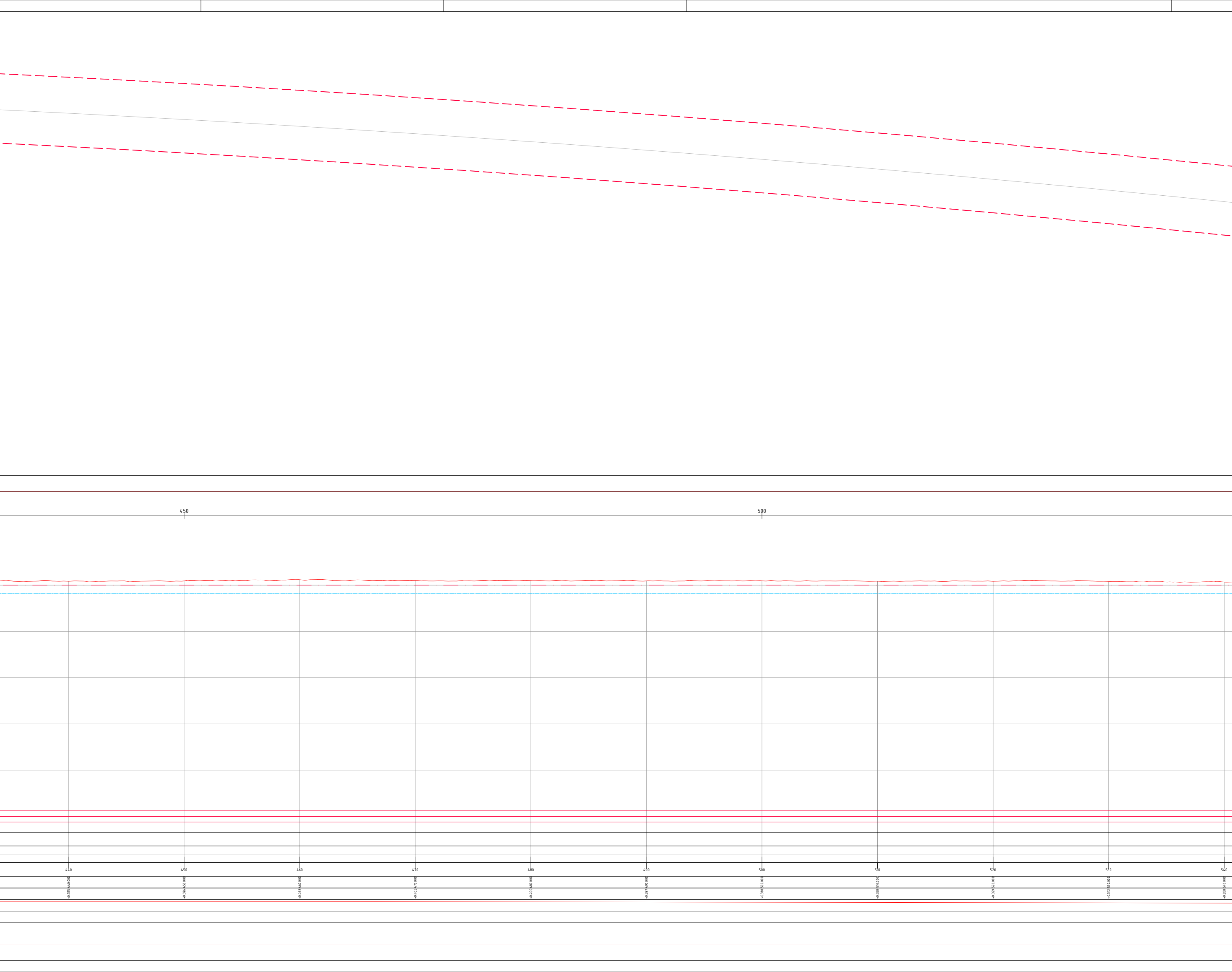

Uittreedpunt boring
Uittreedhoek: 10°
Ø1400 NAP
Hoogte Astijn: -14.21m NAP
Hoogte Astijn: -14.21m NAP
Hoogte Astijn: -31.00m NAP
Bovenkant spoor: +1.04m NAP
Bovenkant spoor: +1.04m NAP
Overslag
Kruising
Overstek: -0.6 m NAP
Diepteligging: -6.2 m
Lengte binnen straalgr. 612.65m
Diepteligging
Diepteligging
Diepteligging

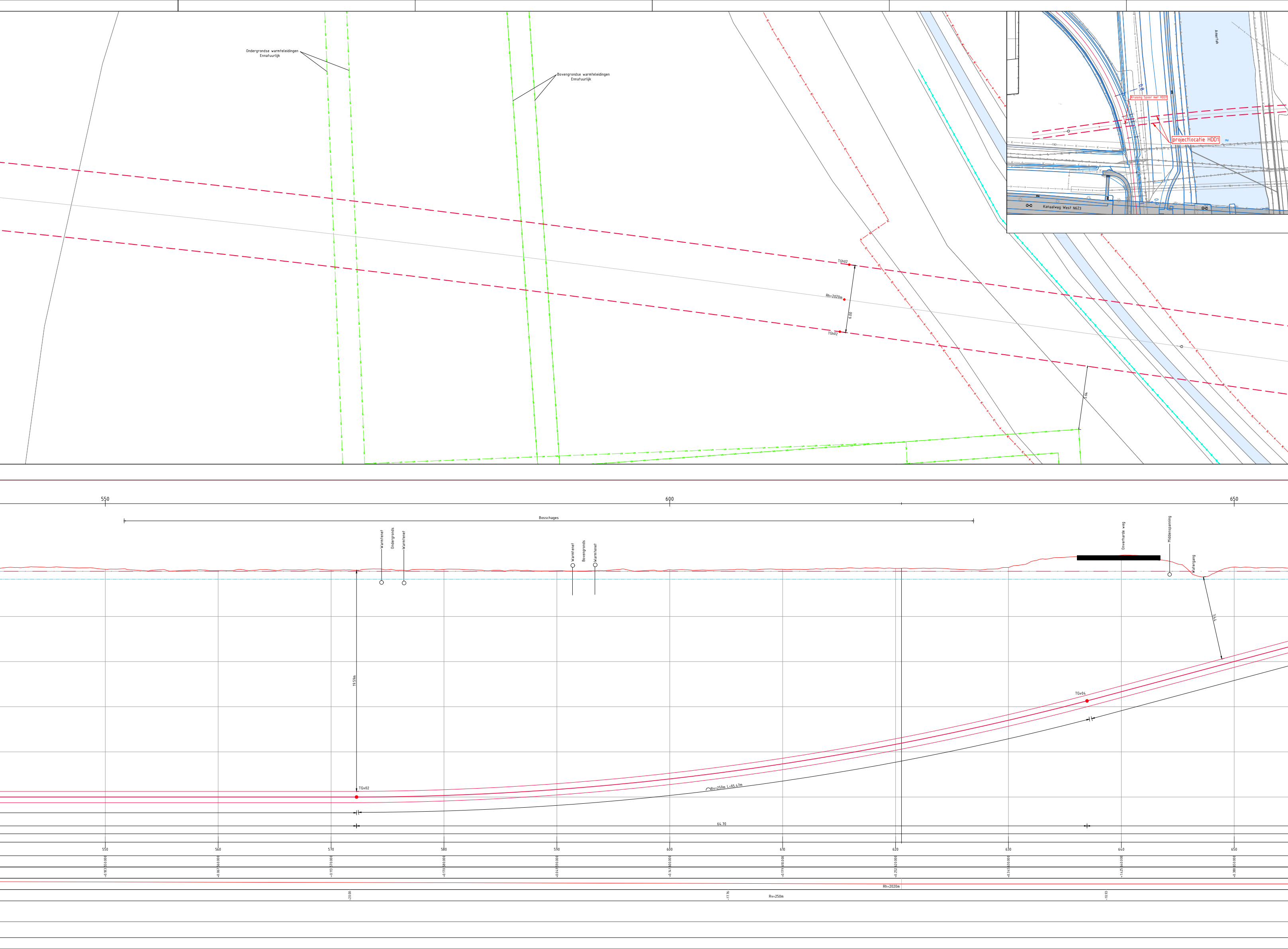

ZIE TEKENING GTB-HDD1-BLAD 1
ZIE TEKENING GTB-HDD1-BLAD 2

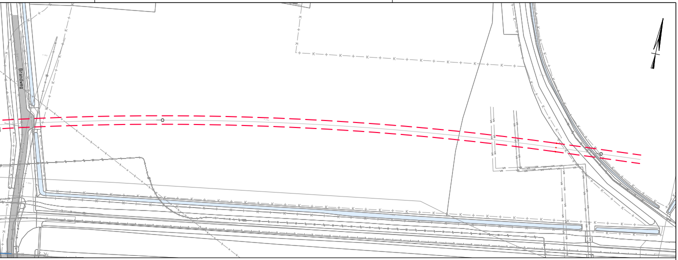

250
300
Data
Verharding
Data
Middenspanning
Data
20.41m
ZIE TEKENING GTB-HDD1-BLAD 1
ZIE TEKENING GTB-HDD1-BLAD 2
210
220
230
240
250
260
270
280
290
300
310
+3.425 210.000
+3.434 220.000
+2.641 230.000
+1.221 240.000
+1.004 250.000
+0.777 260.000
+0.718 270.000
+0.666 280.000
+0.679 290.000
+0.684 300.000
+0.674 310.000

Zomerpeil: -0,6 m NAP
Winterpeil: -0,8 m NAP.
Gemiddelde waterstand: -0,7 m
NAP ter plaatse van het spoor.
(Info:Rapport GTB-persing 1)

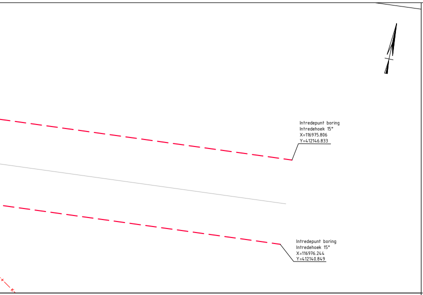

Horizontaal gestuurde boring 4xØ315/257.6 (WD:28.7) HDPE SDR11
As HDD's
Horizontaal gestuurde boring 4xØ315/257.6 (WD:28.7) HDPE SDR11
A 2744
350
400
2x Horizontaal gestuurde boring 4xØ315/257.6 (WD:28.7) HDPE SDR11
463.60
463.60
680.67
320
330
340
350
360
370
380
390
400
410
420
430
+0.637 320.000
+0.613 330.000
+0.642 340.000
+0.618 350.000
+0.548 360.000
+0.597 370.000
+0.555 380.000
+0.573 390.000
+0.540 400.000
+0.532 410.000
+0.486 420.000
+0.493 430.000
Rh=2020m

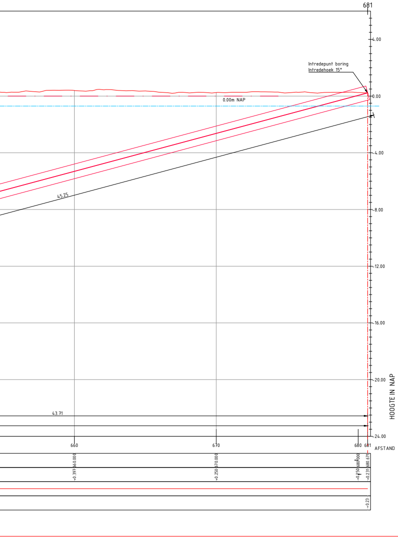

450
500
440
450
460
470
480
490
500
510
520
530
540
+0.335 440.000
+0.376 450.000
+0.468 460.000
+0.403 470.000
+0.400 480.000
+0.377 490.000
+0.381 500.000
+0.338 510.000
+0.329 520.000
+0.312 530.000
+0.268 540.000


Ondergrondse warmteleidingen
Ennatuurlijk
Bovengrondse warmteleidingen
Ennatuurlijk
Amertak
0.8
Kruising Spoor met HDD1
projectlocatie HDD1
0.6
Kanaalweg West N623
TGh02
Rh=2020m
6.00
TGh02
5.64
550
600
650
Bosschages
Warmtenet
Ondergronds
Warmtenet
Warmtenet
Bovengronds
Warmtenet
Onverharde weg
Middenspanning
Watergang
7.44
19.59m
TGv02
Rv=250m L=65.47m
TGv04
64.70
550
560
570
580
590
600
610
620
630
640
650
+0.183 550.000
+0.067 560.000
+0.113 570.000
+0.170 580.000
+0.049 590.000
+0.141 600.000
+0.179 610.000
+0.252 620.000
+0.345 630.000
+1.425 640.000
+0.380 650.000
Rh=2020m
-20.00
-17.76
Rv=250m
-10.93

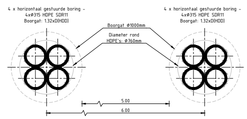


Overzicht Schaal 1:1000


Intredepunt boring
Intredehoek 15°
X=116975.806
Y=412146.833
Intredepunt boring
Intredehoek 15°
X=116976.244
Y=412140.849


681
4.00
Intredepunt boring
Intredehoek 15°
0.00m NAP
0.00
4.00
45.25
8.00
12.00
16.00
20.00
HOOGTE IN NAP
43.71
24.00
660
670
680
681
AFSTAND
+0.397 660.000
+0.250 670.000
+0.250 680.000
+0.231 680.671
+0.23

Principe doorsnede Schaal 1:20


4 x horizontaal gestuurde boring -
4xØ315 HDPE SDR11
Boorgat: 1.32xD(HDD)
4 x horizontaal gestuurde boring -
4xØ315 HDPE SDR11
Boorgat: 1.32xD(HDD)
Boorgat Ø1000mm
Diameter rond
HDPE's: Ø760mm
5.00
6.00

Legenda

— K — + —	Kadastrale grens
— · — · —	Leiding gevaarlijke inhoud
— V — D —	Datatransport
— — H —	Landelijk hoogspanningsnet
— — L —	Laagspanning
— — M —	Middenspanning
— — H —	Gasleiding hoge druk
— — L —	Gasleiding lage druk
—∽—∽—	Waterleiding
— P — ▷ —	Drukriolering
— - · - —	Riolering vrijverval
— — — —	Horizontaal gestuurde boring (HDD)
——	Verharding (asfalt)
——	Bestaande topo
——	Bebouwing
1.0	Kilometrering
22/10 22/9	Ondergrond KS-bladen van ProRail versie d.d. 28-08-2022
▨	Verharding/wegen

Vergunningstekening

Rev	Omschrijving	Datum rev.	Get.	Gec.	Goedg.
F	Vergunningsaanvraag Schaal 1:100; Overzicht 1:1000	06-07-2023	BB	MJ	JD
E	Vergunningsaanvraag Schaal 1:100	26-06-2023	BB	MJ	JD
D	T.b.v. vergunningsaanvraag + toevoegen KS-blad	12-09-2022	BB	MJ	JD
C	T.b.v. vergunningsaanvraag	20-04-2022	BB	MJ	JD
B	Nieuwe locatie HDD's	25-02-2022	BB	MJ	JD
A	Eerste uitgave	17-01-2020	NJ	MJ	JD

Opdrachtgever
TenneT TSO B.V.

Project
HDD's 150 kV ZWO

Onderdeel
GTB-HDD1
Kruising Amertak Geocode 823 Km 0.826

Projectnummer	Tekeningnummer	Versie	Datum van uitgave	Ontwerpfase	Contractnummer
368722	GTB-HDD1-BLAD 2	F	06-07-2023	Vergunningstekening	

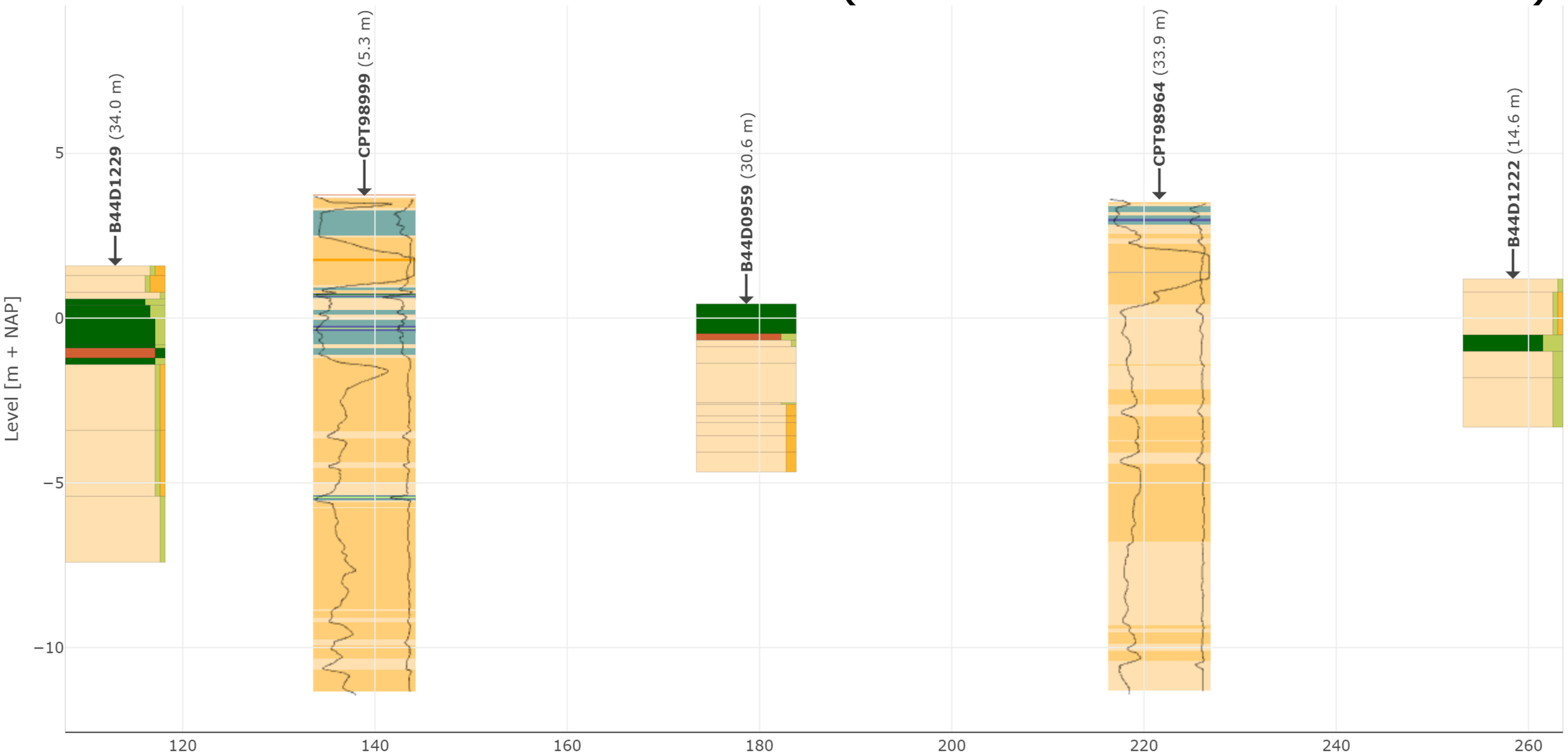
Blad	Van	Schaal	Formaat	Kantoor	Get.	Gec.	Goedg.
2	2	Zie tekening	A1-L (1050)	De Bilt	BB	MJ	JD

www.sweco.nl
© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden

GTB-HDD1-ProRail-Deel 1+2

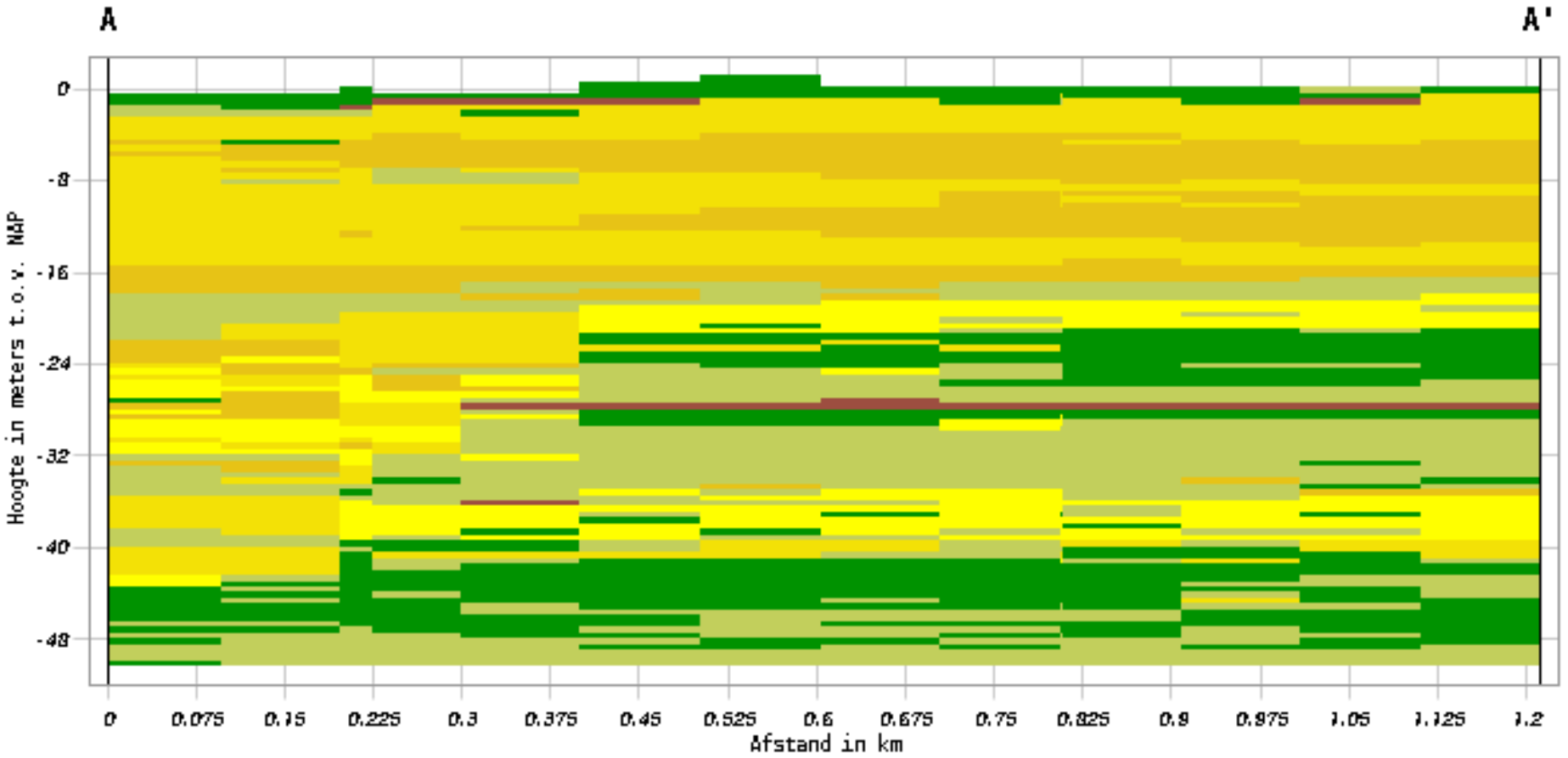
Bijlage 2 – Geotechnisch onderzoek

Grondonderzoek BRO (tot 60 m afstand van trace)



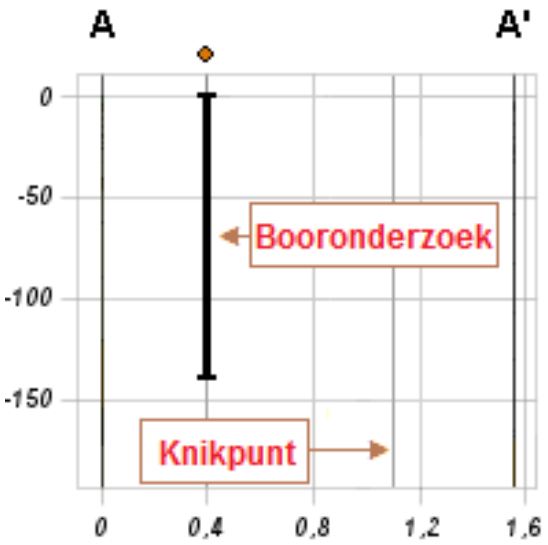
cpt borehole not shown on sectionplot section

Verticale Doorsnede BRO GeoTOP v1.4.1



Lithoklasse

- a
- v
- k
- kz
- zf
- zm
- zg
- g
- she



Bijlage 3 – Berekening D-Geo Pipeline

Report for D-Geo Pipeline 20.1

Model : Horizontal Directional Drilling
Developed by Deltares

Date of report:	19-4-2022
Time of report:	16:53:40
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 Input Data 4
2.1 Model Used 4
2.2 Layer Boundaries 4
2.3 Pl-lines 5
2.4 Phreatic Line 5
2.5 Soil Profiles 5
2.6 Selected Boundaries 6
2.7 Soil Material Data 6
2.8 Geometry 7
2.8.1 Geometry Section, Detailed 7
2.8.2 Geometry Top View 7
2.9 Calculation Verticals 8
2.10 Traffic Load 9
2.11 Configuration of the Pipeline 9
2.12 Product Pipe Material Data 10
2.13 Pipe Engineering Data 11
2.14 Drilling Fluid Data 11
2.15 Factors 11
2.16 Calculation Options 12
3 Drilling Fluid Pressures 13
3.1 Drilling Fluid Data 13
3.2 Equilibrium between Drilling Fluid Pressure and Pore Pressure 17
3.3 Drilling Fluid Pressure Plots 19
3.3.1 Drilling Fluid Pressures during Pilot 19
3.3.2 Drilling Fluid Pressures during Prereaming 19
3.3.3 Drilling Fluid Pressures during Reaming and Pullback Operation 20
4 Soil Mechanical Data 21
4.1 Soil Mechanical Parameters Pipe 1: pipe nr. 1 21
4.2 Soil Mechanical Parameters Pipe 2: pipe nr. 2 24
4.3 Soil Mechanical Parameters Pipe 3: pipe nr. 3 27
4.4 Soil Mechanical Parameters Pipe 4: pipe nr. 4 30
4.5 Young's Modulus per Layer per Vertical 33
5 Data for Stress Analysis 37
5.1 General Data 37
5.2 Buoyancy Control 37
5.3 Calculation Pulling Force 37
6 Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1 39
6.1 Material Data of Pipe 1: pipe nr. 1 39
6.2 Results Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1 39
6.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation 39
6.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation 40
6.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure 40
6.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure) 40
6.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure) 40
6.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 1: pipe nr. 1 41
6.4 Check for Implosion of Pipe 1: pipe nr. 1 41
7 Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2 42
7.1 Material Data of Pipe 2: pipe nr. 2 42
7.2 Results Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2 42
7.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation 42
7.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation 43
7.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure 43
7.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure) 43
7.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure) 43
7.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 2: pipe nr. 2 44
7.4 Check for Implosion of Pipe 2: pipe nr. 2 44
8 Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3 46
8.1 Material Data of Pipe 3: pipe nr. 3 46
8.2 Results Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3 46
8.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation 46
8.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation 47
8.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure 47
8.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure) 47

8.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure) 47
8.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 3: pipe nr. 3 48
8.4 Check for Implosion of Pipe 3: pipe nr. 3 48
9 Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4 49
9.1 Material Data of Pipe 4: pipe nr. 4 49
9.2 Results Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4 49
9.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation 49
9.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation 50
9.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure 50
9.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure) 50
9.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure) 50
9.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 4: pipe nr. 4 51
9.4 Check for Implosion of Pipe 4: pipe nr. 4 51

2 Input Data

2.1 Model Used

Model Used : Horizontal Directional Drilling

2.2 Layer Boundaries

Boundary number	Co-ordinates [m]				
3 - L -	0,000	5,000	10,000	15,000	20,000
3 - Z -	0,296	0,330	0,333	0,327	0,332
3 - L -	25,000	30,000	35,000	40,000	45,000
3 - Z -	0,305	0,279	0,247	0,241	0,248
3 - L -	50,000	55,000	60,000	65,000	70,000
3 - Z -	0,252	0,234	0,234	0,222	0,193
3 - L -	75,000	80,000	85,000	90,000	95,000
3 - Z -	0,020	1,281	1,174	0,435	1,503
3 - L -	100,000	105,000	110,000	115,000	120,000
3 - Z -	2,097	2,785	2,981	2,991	2,944
3 - L -	125,000	130,000	135,000	142,223	144,178
3 - Z -	3,730	3,294	1,737	-0,500	-1,200
3 - L -	152,000	187,000	196,853	199,316	201,007
3 - Z -	-4,000	-4,000	-1,200	-0,500	-0,019
3 - L -	205,000	210,000	215,000	220,000	225,000
3 - Z -	1,885	3,425	3,705	3,434	3,088
3 - L -	230,000	235,000	240,000	245,000	250,000
3 - Z -	2,641	2,055	1,221	1,128	1,004
3 - L -	255,000	260,000	265,000	270,000	275,000
3 - Z -	0,700	0,777	0,683	0,718	0,667
3 - L -	280,000	285,000	290,000	295,000	300,000
3 - Z -	0,666	0,710	0,679	0,704	0,684
3 - L -	305,000	310,000	315,000	320,000	325,000
3 - Z -	0,684	0,674	0,682	0,637	0,656
3 - L -	330,000	335,000	340,000	345,000	350,000
3 - Z -	0,613	0,655	0,642	0,595	0,618
3 - L -	355,000	360,000	365,000	370,000	375,000
3 - Z -	0,571	0,548	0,548	0,597	0,555
3 - L -	380,000	385,000	390,000	395,000	400,000
3 - Z -	0,555	0,531	0,573	0,524	0,540
3 - L -	405,000	410,000	415,000	420,000	425,000
3 - Z -	0,530	0,532	0,544	0,486	0,472
3 - L -	430,000	435,000	440,000	445,000	450,000
3 - Z -	0,493	0,380	0,335	0,342	0,376
3 - L -	455,000	460,000	465,000	470,000	475,000
3 - Z -	0,405	0,468	0,453	0,403	0,370
3 - L -	480,000	485,000	490,000	495,000	500,000
3 - Z -	0,400	0,418	0,377	0,383	0,381
3 - L -	505,000	510,000	515,000	520,000	525,000
3 - Z -	0,366	0,338	0,362	0,329	0,372
3 - L -	530,000	535,000	540,000	545,000	550,000
3 - Z -	0,312	0,270	0,268	0,350	0,183
3 - L -	555,000	560,000	565,000	570,000	575,000
3 - Z -	0,147	0,067	0,089	0,113	0,148
3 - L -	580,000	585,000	590,000	595,000	600,000
3 - Z -	0,170	0,086	0,049	0,132	0,141
3 - L -	605,000	610,000	615,000	620,000	625,000
3 - Z -	0,129	0,179	0,223	0,252	0,196
3 - L -	630,000	635,000	640,000	645,000	650,000
3 - Z -	0,345	1,236	1,425	0,651	0,380
3 - L -	655,000	660,000	665,000	670,000	675,000
3 - Z -	0,268	0,397	0,364	0,250	0,231
3 - L -	750,000				
3 - Z -	0,250				
2 - L -	0,000	144,178	152,000	187,000	196,853

Boundary number	Co-ordinates [m]				
2 - Z -	-1,200	-1,200	-4,000	-4,000	-1,200
2 - L -	199,316	201,007	205,000	210,000	215,000
2 - Z -	-0,500	-0,019	1,885	3,425	3,705
2 - L -	220,000	225,000	230,000	235,000	240,000
2 - Z -	3,434	3,088	2,641	2,055	1,221
2 - L -	245,000	250,000	255,000	260,000	265,000
2 - Z -	1,128	1,004	0,700	0,777	0,683
2 - L -	270,000	275,000	280,000	285,000	290,000
2 - Z -	0,718	0,667	0,666	0,710	0,679
2 - L -	295,000	300,000	305,000	310,000	315,000
2 - Z -	0,704	0,684	0,684	0,674	0,682
2 - L -	320,000	325,000	330,000	335,000	340,000
2 - Z -	0,637	0,656	0,613	0,655	0,642
2 - L -	345,000	350,000	355,000	360,000	365,000
2 - Z -	0,595	0,618	0,571	0,548	0,548
2 - L -	370,000	375,000	380,000	385,000	390,000
2 - Z -	0,597	0,555	0,555	0,531	0,573
2 - L -	395,000	400,000	405,000	410,000	415,000
2 - Z -	0,524	0,540	0,530	0,532	0,544
2 - L -	420,000	425,000	430,000	435,000	440,000
2 - Z -	0,486	0,472	0,493	0,380	0,335
2 - L -	445,000	450,000	455,000	460,000	465,000
2 - Z -	0,342	0,376	0,405	0,468	0,453
2 - L -	470,000	475,000	480,000	485,000	490,000
2 - Z -	0,403	0,370	0,400	0,418	0,377
2 - L -	495,000	500,000	505,000	510,000	515,000
2 - Z -	0,383	0,381	0,366	0,338	0,362
2 - L -	520,000	525,000	530,000	535,000	540,000
2 - Z -	0,329	0,372	0,312	0,270	0,268
2 - L -	545,000	550,000	555,000	560,000	565,000
2 - Z -	0,350	0,183	0,147	0,067	0,089
2 - L -	570,000	575,000	580,000	585,000	590,000
2 - Z -	0,113	0,148	0,170	0,086	0,049
2 - L -	595,000	600,000	605,000	610,000	615,000
2 - Z -	0,132	0,141	0,129	0,179	0,223
2 - L -	620,000	625,000	630,000	635,000	640,000
2 - Z -	0,252	0,196	0,345	1,236	1,425
2 - L -	645,000	650,000	655,000	660,000	665,000
2 - Z -	0,651	0,380	0,268	0,397	0,364
2 - L -	670,000	675,000	750,000		
2 - Z -	0,250	0,231	0,250		
1 - L -	0,000	144,178	152,000	187,000	196,853
1 - Z -	-1,200	-1,200	-4,000	-4,000	-1,200
1 - L -	750,000				
1 - Z -	-1,200				
0 - L -	0,000	750,000			
0 - Z -	-30,000	-30,000			

2.3 Pl-lines

Pl-line number	Co-ordinates [m]				
1 - L -	0,000	135,000	135,000	205,000	205,000
1 - Z -	-0,800	-0,800	0,300	0,300	-0,800
1 - L -	750,000				
1 - Z -	-0,800				

2.4 Phreatic Line

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

2.5 Soil Profiles

Layer number	Material name	Piezo-line at top	Piezo-line at bottom
3	Klei, sterk zandig	1	1
2	Klei, sterk zandig	1	1

Layer number	Material name	Piezo-line at top	Piezo-line at bottom
1	Zand, schoon, matig	1	1

2.6 Selected Boundaries

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

2.7 Soil Material Data

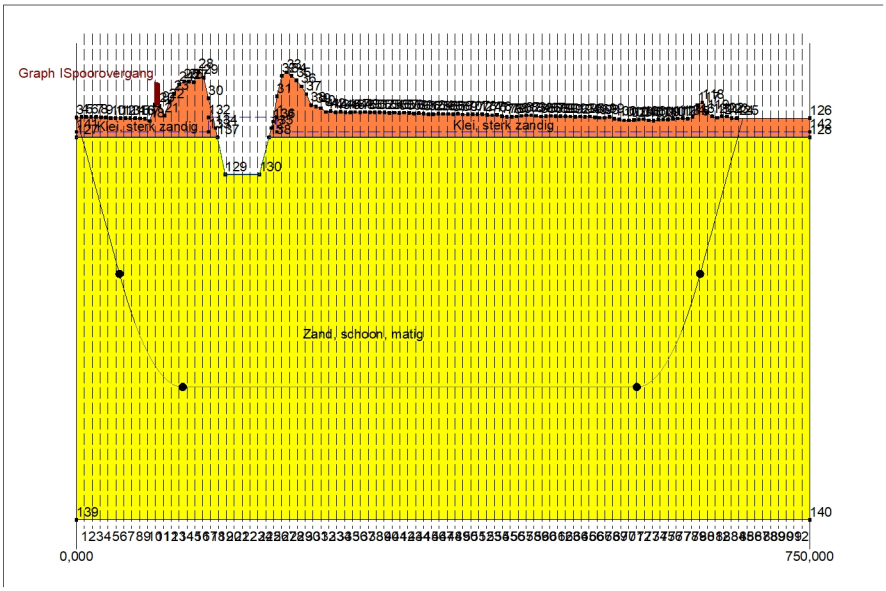
Name	Gamma unsat [kN/m³]	Gamma sat [kN/m³]	Cohesion [kN/m²]	Phi [deg]	Su top [kN/m²]	Su bottom [kN/m²]
Zand, sterk siltig, kleig	18,00	20,00	0,00	30,00	0,00	0,00
Klei, sterk zandig	18,00	18,00	0,50	27,50	30,00	30,00
Veen, slap	11,00	11,00	1,50	15,00	25,00	25,00
Zand, schoon, matig	18,00	20,00	0,00	32,50	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/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	-	-

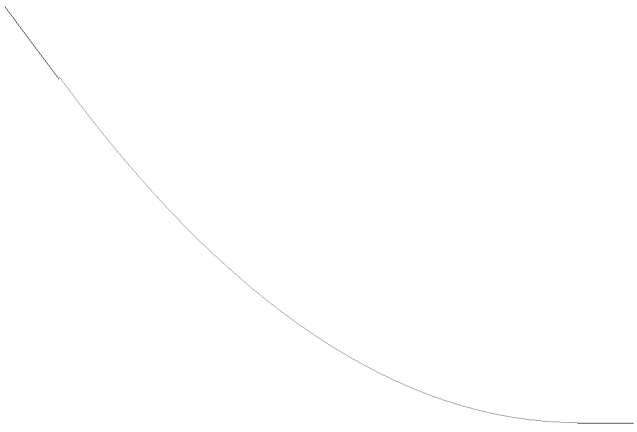
Name	Adhesion A [kN/m²]	Delta D [deg]	Nu [-]
Zand, sterk siltig, kleig	-	-	0,20
Klei, sterk zandig	-	-	0,20
Veen, slap	-	-	0,20
Zand, schoon, matig	-	-	0,20
Klei, zwak zandig, matig	-	-	0,20
Zand, schoon, vast	-	-	0,30

2.8 Geometry

2.8.1 Geometry Section, Detailed



2.8.2 Geometry Top View



2.9 Calculation Verticals

Vertical no.	L-coord. [m]	Z-coord. [m]
1	8,065	-1,865
2	16,130	-4,026
3	24,195	-6,187
4	32,260	-8,348
5	40,325	-10,509
6	48,390	-12,627
7	56,455	-14,489
8	64,520	-16,073
9	72,585	-17,384
10	80,650	-18,426
11	88,715	-19,203
12	96,780	-19,718
13	104,845	-19,971
14	112,910	-20,000
15	120,975	-20,000
16	129,040	-20,000
17	137,105	-20,000
18	145,170	-20,000
19	153,235	-20,000
20	161,300	-20,000
21	169,365	-20,000
22	177,430	-20,000
23	185,495	-20,000
24	193,560	-20,000
25	201,625	-20,000
26	209,690	-20,000
27	217,755	-20,000
28	225,820	-20,000
29	233,885	-20,000
30	241,950	-20,000
31	250,015	-20,000
32	258,080	-20,000
33	266,145	-20,000
34	274,210	-20,000
35	282,275	-20,000
36	290,340	-20,000
37	298,405	-20,000
38	306,470	-20,000
39	314,535	-20,000
40	322,600	-20,000
41	330,665	-20,000
42	338,730	-20,000
43	346,795	-20,000
44	354,860	-20,000
45	362,925	-20,000
46	370,990	-20,000
47	379,055	-20,000
48	387,120	-20,000
49	395,185	-20,000
50	403,250	-20,000
51	411,315	-20,000
52	419,380	-20,000
53	427,445	-20,000
54	435,510	-20,000
55	443,575	-20,000
56	451,640	-20,000
57	459,705	-20,000
58	467,770	-20,000
59	475,835	-20,000
60	483,900	-20,000
61	491,965	-20,000
62	500,030	-20,000

Vertical no.	L-coord. [m]	Z-coord. [m]
63	508,095	-20,000
64	516,160	-20,000
65	524,225	-20,000
66	532,290	-20,000
67	540,355	-20,000
68	548,420	-20,000
69	556,485	-20,000
70	564,550	-20,000
71	572,615	-20,000
72	580,680	-19,884
73	588,745	-19,507
74	596,810	-18,869
75	604,875	-17,967
76	612,940	-16,798
77	621,005	-15,359
78	629,070	-13,644
79	637,135	-11,648
80	645,200	-9,488
81	653,265	-7,327
82	661,330	-5,166
83	669,395	-3,005
84	677,460	-0,844
85	685,525	n.a.
86	693,590	n.a.
87	701,655	n.a.
88	709,720	n.a.
89	717,785	n.a.
90	725,850	n.a.
91	733,915	n.a.
92	741,980	n.a.

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

2.10 Traffic Load

Spoorovergang

L start	80,00	[m]
L end	85,00	[m]
Load model (graph type)	Graph I	

2.11 Configuration of the Pipeline

X co-ordinate left point	0,000	[m]
Y co-ordinate left point	94,000	[m]
Z co-ordinate left point	0,296	[m]
X co-ordinate right point	672,000	[m]
Y co-ordinate right point	0,000	[m]
Z co-ordinate right point	0,233	[m]
Angle left	15,0000	[deg]
Angle right	15,0000	[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)	-20,000	[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	58,000	77,600	612,000	0,000	2024,000	right

2.12 Product Pipe Material Data

Input data pipe nr. 1		
Material	Polyethene	
Quality	PE100	
Young's modulus (short)	975,00	[N/mm²]
Young's modulus (long)	350,00	[N/mm²]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm²]
Allowable strength (long)	8,00	[N/mm²]
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/m³]
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/mm²]
Young's modulus (long)	350,00	[N/mm²]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm²]
Allowable strength (long)	8,00	[N/mm²]
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/m³]
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/mm²]
Young's modulus (long)	350,00	[N/mm²]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm²]
Allowable strength (long)	8,00	[N/mm²]
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/m³]
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/mm²]
Young's modulus (long)	350,00	[N/mm²]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm²]
Allowable strength (long)	8,00	[N/mm²]
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/m³]

Design pressure	0,00	[bar]
Test pressure	0,00	[bar]
Temperature variation	0,00	[deg C]

2.13 Pipe Engineering Data

Pipe filled with water on rollers	No	
Part of cross section filled with fluid	0	[%]
Unit weight fluid	10,00	[kN/m³]
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/m³]
Phi drilling fluid	15,00	[deg]
Cohesion drilling fluid	5,00	[kN/m²]
Factor of friction pipe-roller (f1)	0,10	[-]
Friction pipe-drilling fluid (f2)	0,000050	[N/mm²]
Factor of friction pipe-soil (f3)	0,20	[-]

2.14 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/m³]
Yieldpoint drilling fluid (Tau)	0,014	[kN/m²]
Plastic viscosity drilling fluid (Mu)	0,000040	[kN.s/m²]

2.15 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/m³]
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	[-]

2.16 Calculation Options

Stress analysis option : Standard

3 Drilling Fluid Pressures

3.1 Drilling Fluid Data

Vertical no.	Drilling fluid pressures pilot [kN/m²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	63	63	28	362
2	199	252	56	382
3	271	439	84	402
4	338	599	113	421
5	405	714	141	441
6	470	824	168	460
7	525	916	193	477
8	572	992	215	491
9	604	1044	234	501
10	690	1206	249	508
11	683	1183	262	513
12	747	1308	272	515
13	800	1411	278	514
14	810	1431	283	510
15	815	1441	287	506
16	827	1464	291	502
17	709	1217	295	498
18	607	1013	299	494
19	562	923	303	490
20	562	923	307	486
21	562	923	311	482
22	562	923	315	478
23	562	923	319	474
24	597	992	323	470
25	668	1135	327	465
26	825	1460	331	461
27	834	1479	335	457
28	812	1434	339	453
29	776	1363	343	449
30	732	1273	347	445
31	723	1257	351	441
32	711	1233	355	437
33	709	1227	359	433
34	708	1226	363	429
35	708	1227	367	425
36	708	1226	371	421
37	709	1227	376	417
38	708	1226	380	413
39	708	1226	384	409
40	706	1223	388	405
41	705	1220	392	401
42	706	1223	396	397
43	704	1219	400	393
44	703	1216	404	389
45	702	1213	408	385
46	704	1217	412	381
47	702	1214	416	377
48	702	1214	420	373
49	701	1211	424	369
50	701	1212	428	365
51	701	1212	432	361
52	699	1208	436	357
53	699	1207	440	353
54	693	1197	444	349
55	692	1193	448	345
56	694	1198	452	341
57	698	1205	456	337

Vertical no.	Drilling fluid pressures pilot [kN/m²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
58	696	1202	460	333
59	693	1197	464	328
60	695	1200	468	324
61	693	1197	472	320
62	694	1197	476	316
63	692	1194	480	312
64	692	1195	484	308
65	693	1196	488	304
66	689	1188	492	300
67	688	1187	496	296
68	686	1183	500	292
69	681	1171	504	288
70	679	1168	509	284
71	681	1172	513	280
72	679	1169	515	275
73	663	1141	515	267
74	649	1119	512	255
75	622	1075	506	241
76	592	1026	497	224
77	552	959	485	204
78	504	882	470	181
79	492	877	452	155
80	393	701	433	127
81	308	529	413	99
82	241	359	393	70
83	155	155	373	42
84	57	57	353	14

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	55	55	26	28
2	196	196	51	56
3	271	366	77	84
4	338	533	102	113
5	405	688	128	141
6	470	824	153	168
7	525	916	175	193
8	572	992	194	215
9	604	1044	210	234
10	690	1206	223	249
11	683	1183	233	262
12	747	1308	240	272
13	800	1411	244	278
14	810	1431	246	283
15	815	1441	248	287
16	827	1464	249	291
17	709	1217	251	295
18	607	1013	252	299
19	562	923	254	303
20	562	923	255	307
21	562	923	257	311
22	562	923	258	315
23	562	923	260	315
24	597	992	261	314
25	668	1135	262	312
26	825	1460	264	311
27	834	1479	265	310
28	812	1434	267	308
29	776	1363	268	307
30	732	1273	270	305
31	723	1257	271	304
32	711	1233	273	302
33	709	1227	274	301

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
34	708	1226	276	299
35	708	1227	277	298
36	708	1226	279	296
37	709	1227	280	295
38	708	1226	282	293
39	708	1226	283	292
40	706	1223	285	290
41	705	1220	286	289
42	706	1223	287	287
43	704	1219	289	286
44	703	1216	290	285
45	702	1213	292	283
46	704	1217	293	282
47	702	1214	295	280
48	702	1214	296	279
49	701	1211	298	277
50	701	1212	299	276
51	701	1212	301	274
52	699	1208	302	273
53	699	1207	304	271
54	693	1197	305	270
55	692	1193	307	268
56	694	1198	308	267
57	698	1205	309	265
58	696	1202	311	264
59	693	1197	312	262
60	695	1200	314	261
61	693	1197	315	260
62	694	1197	316	258
63	692	1194	312	257
64	692	1195	308	255
65	693	1196	304	254
66	689	1188	300	252
67	688	1187	296	251
68	686	1183	292	249
69	681	1171	288	248
70	679	1168	284	246
71	681	1172	280	245
72	679	1169	275	242
73	663	1141	267	236
74	649	1119	255	228
75	622	1075	241	216
76	592	1026	224	202
77	552	959	204	184
78	504	882	181	164
79	492	867	155	140
80	393	652	127	115
81	308	457	99	89
82	241	289	70	64
83	118	118	42	38
84	45	45	14	13

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	61	61	25	26
2	137	137	51	51
3	266	266	76	77
4	338	409	101	102
5	405	559	127	128
6	470	708	151	153
7	525	833	173	175
8	572	936	192	194
9	604	1009	208	210

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
10	690	1179	221	223
11	683	1169	231	233
12	747	1298	238	240
13	800	1404	242	244
14	810	1425	243	246
15	815	1434	245	248
16	827	1458	246	249
17	709	1215	247	251
18	607	1013	249	252
19	562	909	250	254
20	562	909	251	255
21	562	909	252	257
22	562	909	254	258
23	562	909	255	260
24	597	992	256	261
25	668	1135	257	262
26	825	1454	259	264
27	834	1473	260	265
28	812	1427	261	267
29	776	1357	263	268
30	732	1269	264	270
31	723	1252	265	271
32	711	1229	266	273
33	709	1224	268	274
34	708	1222	269	276
35	708	1223	270	277
36	708	1223	271	279
37	709	1224	273	280
38	708	1223	274	282
39	708	1223	275	283
40	706	1220	277	282
41	705	1217	278	280
42	706	1220	279	279
43	704	1216	280	278
44	703	1213	282	276
45	702	1211	283	275
46	704	1214	282	274
47	702	1211	280	273
48	702	1211	279	271
49	701	1208	277	270
50	701	1209	276	269
51	701	1209	274	268
52	699	1205	273	266
53	699	1204	271	265
54	693	1194	270	264
55	692	1191	268	262
56	694	1195	267	261
57	698	1203	265	260
58	696	1199	264	259
59	693	1194	262	257
60	695	1198	261	256
61	693	1195	260	255
62	694	1195	258	254
63	692	1192	257	252
64	692	1192	255	251
65	693	1193	254	250
66	689	1187	252	248
67	688	1185	251	247
68	686	1181	249	246
69	681	1170	248	245
70	679	1167	246	243
71	681	1171	245	242
72	679	1167	242	240
73	663	1134	236	234

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
74	649	1103	228	226
75	622	1047	216	214
76	592	981	202	200
77	552	891	184	183
78	504	783	164	163
79	492	721	140	139
80	393	515	115	114
81	308	341	89	89
82	206	206	64	63
83	83	83	38	38
84	9	9	13	13

3.2 Equilibrium between Drilling Fluid Pressure and Pore Pressure

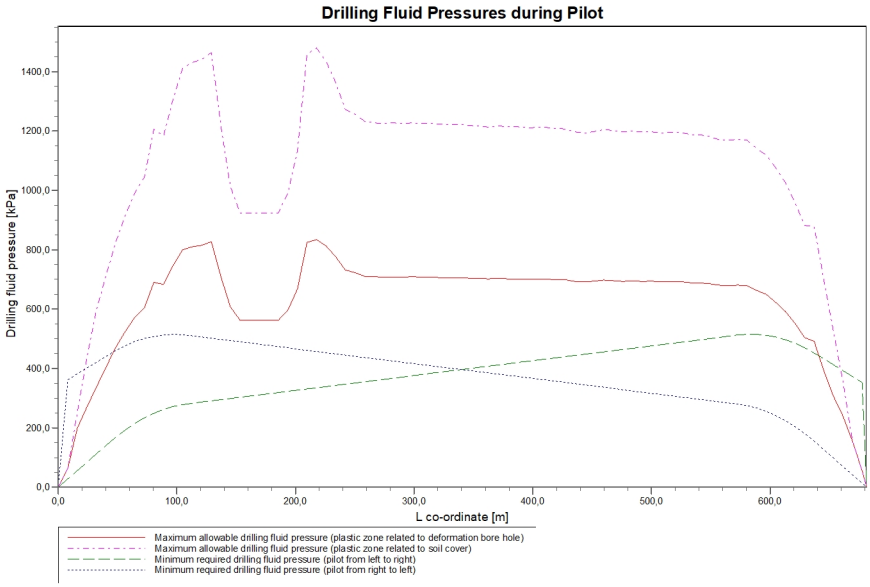
Vertical no.	Static column pressure			
	Drilling fluid [kN/m²]	Water [kN/m²]	Safety [-]	Result
1	24	11	2,25	sufficient
2	48	32	1,49	sufficient
3	72	54	1,34	sufficient
4	96	75	1,27	sufficient
5	120	97	1,24	sufficient
6	143	118	1,21	sufficient
7	164	137	1,20	sufficient
8	182	153	1,19	sufficient
9	196	166	1,18	sufficient
10	208	176	1,18	sufficient
11	216	184	1,18	sufficient
12	222	189	1,17	sufficient
13	225	192	1,17	sufficient
14	225	192	1,17	sufficient
15	225	192	1,17	sufficient
16	225	192	1,17	sufficient
17	225	203	1,11	sufficient
18	225	203	1,11	sufficient
19	225	203	1,11	sufficient
20	225	203	1,11	sufficient
21	225	203	1,11	sufficient
22	225	203	1,11	sufficient
23	225	203	1,11	sufficient
24	225	203	1,11	sufficient
25	225	203	1,11	sufficient
26	225	192	1,17	sufficient
27	225	192	1,17	sufficient
28	225	192	1,17	sufficient
29	225	192	1,17	sufficient
30	225	192	1,17	sufficient
31	225	192	1,17	sufficient
32	225	192	1,17	sufficient
33	225	192	1,17	sufficient
34	225	192	1,17	sufficient
35	225	192	1,17	sufficient
36	225	192	1,17	sufficient
37	225	192	1,17	sufficient
38	225	192	1,17	sufficient
39	225	192	1,17	sufficient
40	225	192	1,17	sufficient
41	225	192	1,17	sufficient
42	225	192	1,17	sufficient
43	225	192	1,17	sufficient
44	225	192	1,17	sufficient
45	225	192	1,17	sufficient
46	225	192	1,17	sufficient
47	225	192	1,17	sufficient

Vertical no.	Static column pressure			
	Drilling fluid [kN/m²]	Water [kN/m²]	Safety [-]	Result
48	225	192	1,17	sufficient
49	225	192	1,17	sufficient
50	225	192	1,17	sufficient
51	225	192	1,17	sufficient
52	225	192	1,17	sufficient
53	225	192	1,17	sufficient
54	225	192	1,17	sufficient
55	225	192	1,17	sufficient
56	225	192	1,17	sufficient
57	225	192	1,17	sufficient
58	225	192	1,17	sufficient
59	225	192	1,17	sufficient
60	225	192	1,17	sufficient
61	225	192	1,17	sufficient
62	225	192	1,17	sufficient
63	225	192	1,17	sufficient
64	225	192	1,17	sufficient
65	225	192	1,17	sufficient
66	225	192	1,17	sufficient
67	225	192	1,17	sufficient
68	225	192	1,17	sufficient
69	225	192	1,17	sufficient
70	225	192	1,17	sufficient
71	225	192	1,17	sufficient
72	223	191	1,17	sufficient
73	219	187	1,17	sufficient
74	212	181	1,17	sufficient
75	202	172	1,18	sufficient
76	189	160	1,18	sufficient
77	173	146	1,19	sufficient
78	154	128	1,20	sufficient
79	132	108	1,22	sufficient
80	108	87	1,24	sufficient
81	84	65	1,29	sufficient
82	60	44	1,37	sufficient
83	36	22	1,63	sufficient
84	12	0	27,10	sufficient

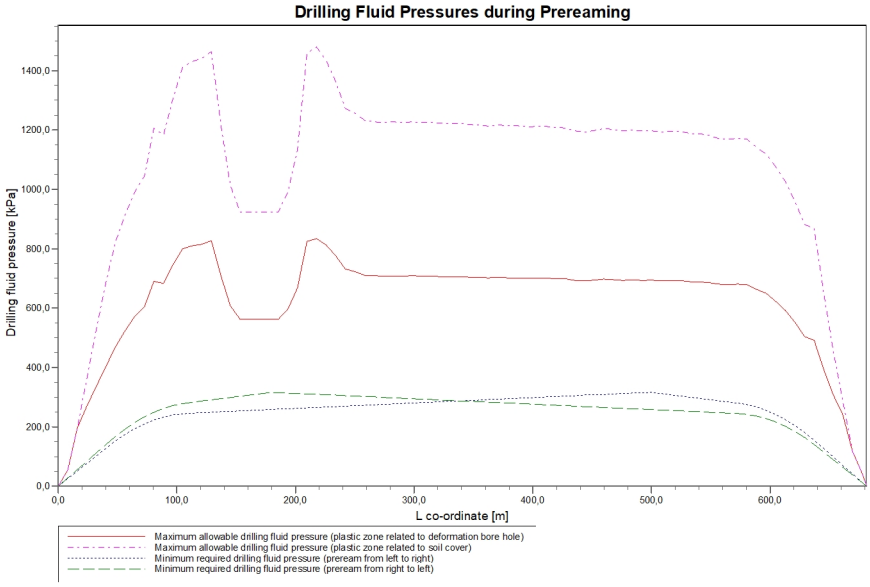
The static drilling fluid pressure is calculated and can be compared with the calculated groundwater pressure. The quotient of the drilling fluid pressure and the groundwater pressure yields the safey factor, which should be higher than the requested factor of safety of 1,10.

3.3 Drilling Fluid Pressure Plots

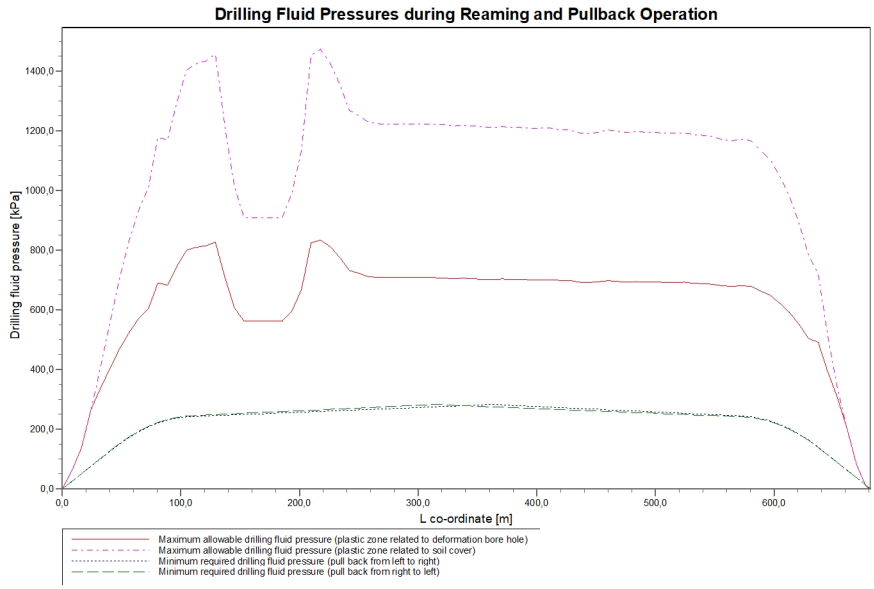
3.3.1 Drilling Fluid Pressures during Pilot



3.3.2 Drilling Fluid Pressures during Prereaming



3.3.3 Drilling Fluid Pressures during Reaming and Pullback Operation



4 Soil Mechanical Data

4.1 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/m²
q_v;n	Neutral soil stress	kN/m²
q_h;n	Neutral horizontal soil stress	kN/m²
q_v,r;n	Reduced neutral soil stress	kN/m²
q_traffic	Traffic load	kN/m²
q_v;e	Vertical bearing capacity	kN/m²
q_h;e	Horizontal bearing capacity	kN/m²
k_v;bot	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m³
k_v;top	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m³
k_h	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m³
t_max	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m²
d_max	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
1	85	29	21	29	0	1022
2	252	50	37	50	0	1783
3	505	72	13	17	0	2532
4	771	93	13	17	0	3264
5	926	114	13	17	0	4009
6	1073	135	13	17	0	4760
7	1195	153	13	17	0	5404
8	1297	169	13	17	0	5955
9	1367	180	13	17	0	6340
10	1563	211	13	17	2	7442
11	1540	208	13	17	0	7310
12	1690	232	13	17	0	8179
13	1818	254	13	17	0	8932
14	1844	258	13	17	0	9083
15	1856	260	13	17	0	9153
16	1885	265	13	17	0	9330
17	1573	213	13	17	0	7495
18	1388	183	13	17	0	6452
19	1231	159	13	17	0	5593
20	1231	159	13	17	0	5593
21	1231	159	13	17	0	5593
22	1231	159	13	17	0	5593
23	1231	159	13	17	0	5593
24	1351	177	13	17	0	6248
25	1485	199	13	17	0	6992
26	1880	264	13	17	0	9300
27	1904	268	13	17	0	9443
28	1847	259	13	17	0	9101
29	1758	244	13	17	0	8577
30	1650	226	13	17	0	7944
31	1630	222	13	17	0	7829
32	1602	218	13	17	0	7668
33	1596	217	13	17	0	7632
34	1594	217	13	17	0	7622
35	1595	217	13	17	0	7629
36	1595	217	13	17	0	7625
37	1596	217	13	17	0	7632
38	1595	217	13	17	0	7626
39	1595	217	13	17	0	7626
40	1591	216	13	17	0	7604
41	1588	216	13	17	0	7586
42	1591	216	13	17	0	7603
43	1586	215	13	17	0	7576

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
44	1583	215	13	17	0	7557
45	1580	214	13	17	0	7542
46	1585	215	13	17	0	7567
47	1581	214	13	17	0	7546
48	1580	214	13	17	0	7542
49	1578	214	13	17	0	7527
50	1579	214	13	17	0	7532
51	1579	214	13	17	0	7533
52	1574	213	13	17	0	7507
53	1573	213	13	17	0	7500
54	1561	211	13	17	0	7432
55	1557	210	13	17	0	7410
56	1562	211	13	17	0	7439
57	1571	213	13	17	0	7489
58	1567	212	13	17	0	7464
59	1561	211	13	17	0	7432
60	1566	212	13	17	0	7457
61	1562	211	13	17	0	7435
62	1562	211	13	17	0	7436
63	1558	211	13	17	0	7416
64	1559	211	13	17	0	7419
65	1560	211	13	17	0	7426
66	1552	210	13	17	0	7380
67	1550	209	13	17	0	7368
68	1546	209	13	17	0	7344
69	1534	207	13	17	0	7273
70	1529	206	13	17	0	7250
71	1534	207	13	17	0	7278
72	1530	206	13	17	0	7255
73	1496	200	13	17	0	7059
74	1465	195	13	17	0	6883
75	1407	186	13	17	0	6562
76	1342	176	13	17	0	6198
77	1253	162	13	17	0	5715
78	1149	146	13	17	0	5160
79	1135	145	13	17	0	5089
80	903	111	13	17	0	3902
81	674	83	13	17	0	2931
82	386	63	13	18	0	2222
83	155	39	29	39	0	1382
84	32	17	13	17	0	510

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
1	365	30506	5183	21354	0,05	7,5
2	417	45561	37119	31892	0,05	7,5
3	607	53719	46529	37603	0,05	7,5
4	771	60811	54399	42568	0,05	7,5
5	926	67400	61552	47180	0,05	7,5
6	1073	73542	68126	51479	0,05	7,5
7	1196	78499	73381	54949	0,05	7,5
8	1297	82539	77637	57777	0,05	7,5
9	1367	85276	80508	59693	0,05	7,5
10	1563	92744	88305	64921	0,05	7,5
11	1540	91869	87394	64308	0,05	7,5
12	1690	97476	93220	68233	0,05	7,5
13	1818	102125	98032	71488	0,05	7,5
14	1844	103039	98977	72128	0,05	7,5
15	1856	103459	99410	72422	0,05	7,5
16	1885	104519	100505	73163	0,05	7,5
17	1573	93081	88655	65156	0,05	7,5
18	1388	86049	81318	60234	0,05	7,5
19	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
20	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
21	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
22	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
23	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
24	1351	84618	79819	59233	0,05	7,5
25	1485	89743	85178	62820	0,05	7,5
26	1880	104338	100317	73036	0,05	7,5
27	1904	105187	101194	73631	0,05	7,5
28	1847	103146	99086	72202	0,05	7,5
29	1758	99952	95784	69966	0,05	7,5
30	1650	95982	91670	67187	0,05	7,5
31	1630	95247	90907	66673	0,05	7,5
32	1602	94206	89825	65944	0,05	7,5
33	1596	93974	89585	65782	0,05	7,5
34	1594	93909	89517	65736	0,05	7,5
35	1595	93954	89563	65768	0,05	7,5
36	1595	93932	89541	65752	0,05	7,5
37	1596	93972	89582	65780	0,05	7,5
38	1595	93934	89542	65753	0,05	7,5
39	1595	93934	89543	65754	0,05	7,5
40	1591	93793	89396	65655	0,05	7,5
41	1588	93677	89275	65574	0,05	7,5
42	1591	93787	89390	65651	0,05	7,5
43	1586	93614	89210	65530	0,05	7,5
44	1583	93486	89077	65441	0,05	7,5
45	1580	93386	88973	65370	0,05	7,5
46	1585	93554	89147	65488	0,05	7,5
47	1581	93415	89003	65391	0,05	7,5
48	1580	93390	88977	65373	0,05	7,5
49	1578	93290	88873	65303	0,05	7,5
50	1579	93327	88911	65329	0,05	7,5
51	1579	93333	88918	65333	0,05	7,5
52	1574	93160	88738	65212	0,05	7,5
53	1573	93115	88691	65181	0,05	7,5
54	1561	92673	88231	64871	0,05	7,5
55	1557	92526	88078	64768	0,05	7,5
56	1562	92714	88274	64900	0,05	7,5
57	1571	93041	88614	65128	0,05	7,5
58	1567	92879	88446	65016	0,05	7,5
59	1561	92671	88229	64870	0,05	7,5
60	1566	92833	88397	64983	0,05	7,5
61	1562	92689	88248	64882	0,05	7,5
62	1562	92695	88255	64887	0,05	7,5
63	1558	92562	88115	64793	0,05	7,5
64	1559	92585	88140	64810	0,05	7,5
65	1560	92631	88187	64842	0,05	7,5
66	1552	92329	87873	64630	0,05	7,5
67	1550	92250	87791	64575	0,05	7,5
68	1546	92092	87626	64464	0,05	7,5
69	1534	91622	87137	64135	0,05	7,5
70	1529	91470	86979	64029	0,05	7,5
71	1534	91656	87172	64159	0,05	7,5
72	1530	91499	87009	64049	0,05	7,5
73	1496	90195	85650	63136	0,05	7,5
74	1465	89011	84415	62308	0,05	7,5
75	1407	86816	82121	60771	0,05	7,5
76	1342	84277	79462	58994	0,05	7,5
77	1253	80797	75805	56558	0,05	7,5
78	1149	76650	71425	53655	0,05	7,5
79	1135	76120	70863	53284	0,05	7,5
80	903	66490	60572	46543	0,05	7,5
81	698	57679	50950	40376	0,05	7,5
82	531	50480	42852	35336	0,05	7,5
83	305	40660	31144	28462	0,05	7,5
84	135	11338	196	7937	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q_v;n;max = 268 kN/m²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q_traffic;max = 50 kN/m²
Maximum reduced soil stress	:	q_v;r;n;max = 50 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k_v;max = 105187 kN/m³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k_v;max = 210375 kN/m³

4.2 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/m²
q_v;n	Neutral soil stress	kN/m²
q_h;n	Neutral horizontal soil stress	kN/m²
q_v,r;n	Reduced neutral soil stress	kN/m²
q_traffic	Traffic load	kN/m²
q_v;e	Vertical bearing capacity	kN/m²
q_h;e	Horizontal bearing capacity	kN/m²
k_v;bot	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m³
k_v;top	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m³
k_h	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m³
t_max	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m²
d_max	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
1	85	29	21	29	0	1022
2	252	50	37	50	0	1783
3	505	72	13	17	0	2532
4	771	93	13	17	0	3264
5	926	114	13	17	0	4009
6	1073	135	13	17	0	4760
7	1195	153	13	17	0	5404
8	1297	169	13	17	0	5955
9	1367	180	13	17	0	6340
10	1563	211	13	17	2	7442
11	1540	208	13	17	0	7310
12	1690	232	13	17	0	8179
13	1818	254	13	17	0	8932
14	1844	258	13	17	0	9083
15	1856	260	13	17	0	9153
16	1885	265	13	17	0	9330
17	1573	213	13	17	0	7495
18	1388	183	13	17	0	6452
19	1231	159	13	17	0	5593
20	1231	159	13	17	0	5593
21	1231	159	13	17	0	5593
22	1231	159	13	17	0	5593
23	1231	159	13	17	0	5593
24	1351	177	13	17	0	6248
25	1485	199	13	17	0	6992
26	1880	264	13	17	0	9300
27	1904	268	13	17	0	9443
28	1847	259	13	17	0	9101
29	1758	244	13	17	0	8577
30	1650	226	13	17	0	7944
31	1630	222	13	17	0	7829
32	1602	218	13	17	0	7668
33	1596	217	13	17	0	7632
34	1594	217	13	17	0	7622
35	1595	217	13	17	0	7629
36	1595	217	13	17	0	7625
37	1596	217	13	17	0	7632

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
38	1595	217	13	17	0	7626
39	1595	217	13	17	0	7626
40	1591	216	13	17	0	7604
41	1588	216	13	17	0	7586
42	1591	216	13	17	0	7603
43	1586	215	13	17	0	7576
44	1583	215	13	17	0	7557
45	1580	214	13	17	0	7542
46	1585	215	13	17	0	7567
47	1581	214	13	17	0	7546
48	1580	214	13	17	0	7542
49	1578	214	13	17	0	7527
50	1579	214	13	17	0	7532
51	1579	214	13	17	0	7533
52	1574	213	13	17	0	7507
53	1573	213	13	17	0	7500
54	1561	211	13	17	0	7432
55	1557	210	13	17	0	7410
56	1562	211	13	17	0	7439
57	1571	213	13	17	0	7489
58	1567	212	13	17	0	7464
59	1561	211	13	17	0	7432
60	1566	212	13	17	0	7457
61	1562	211	13	17	0	7435
62	1562	211	13	17	0	7436
63	1558	211	13	17	0	7416
64	1559	211	13	17	0	7419
65	1560	211	13	17	0	7426
66	1552	210	13	17	0	7380
67	1550	209	13	17	0	7368
68	1546	209	13	17	0	7344
69	1534	207	13	17	0	7273
70	1529	206	13	17	0	7250
71	1534	207	13	17	0	7278
72	1530	206	13	17	0	7255
73	1496	200	13	17	0	7059
74	1465	195	13	17	0	6883
75	1407	186	13	17	0	6562
76	1342	176	13	17	0	6198
77	1253	162	13	17	0	5715
78	1149	146	13	17	0	5160
79	1135	145	13	17	0	5089
80	903	111	13	17	0	3902
81	674	83	13	17	0	2931
82	386	63	13	18	0	2222
83	155	39	29	39	0	1382
84	32	17	13	17	0	510

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
1	365	30506	5183	21354	0,05	7,5
2	417	45561	37119	31892	0,05	7,5
3	607	53719	46529	37603	0,05	7,5
4	771	60811	54399	42568	0,05	7,5
5	926	67400	61552	47180	0,05	7,5
6	1073	73542	68126	51479	0,05	7,5
7	1196	78499	73381	54949	0,05	7,5
8	1297	82539	77637	57777	0,05	7,5
9	1367	85276	80508	59693	0,05	7,5
10	1563	92744	88305	64921	0,05	7,5
11	1540	91869	87394	64308	0,05	7,5
12	1690	97476	93220	68233	0,05	7,5
13	1818	102125	98032	71488	0,05	7,5
14	1844	103039	98977	72128	0,05	7,5
15	1856	103459	99410	72422	0,05	7,5

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
16	1885	104519	100505	73163	0,05	7,5
17	1573	93081	88655	65156	0,05	7,5
18	1388	86049	81318	60234	0,05	7,5
19	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
20	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
21	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
22	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
23	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
24	1351	84618	79819	59233	0,05	7,5
25	1485	89743	85178	62820	0,05	7,5
26	1880	104338	100317	73036	0,05	7,5
27	1904	105187	101194	73631	0,05	7,5
28	1847	103146	99086	72202	0,05	7,5
29	1758	99952	95784	69966	0,05	7,5
30	1650	95982	91670	67187	0,05	7,5
31	1630	95247	90907	66673	0,05	7,5
32	1602	94206	89825	65944	0,05	7,5
33	1596	93974	89585	65782	0,05	7,5
34	1594	93909	89517	65736	0,05	7,5
35	1595	93954	89563	65768	0,05	7,5
36	1595	93932	89541	65752	0,05	7,5
37	1596	93972	89582	65780	0,05	7,5
38	1595	93934	89542	65753	0,05	7,5
39	1595	93934	89543	65754	0,05	7,5
40	1591	93793	89396	65655	0,05	7,5
41	1588	93677	89275	65574	0,05	7,5
42	1591	93787	89390	65651	0,05	7,5
43	1586	93614	89210	65530	0,05	7,5
44	1583	93486	89077	65441	0,05	7,5
45	1580	93386	88973	65370	0,05	7,5
46	1585	93554	89147	65488	0,05	7,5
47	1581	93415	89003	65391	0,05	7,5
48	1580	93390	88977	65373	0,05	7,5
49	1578	93290	88873	65303	0,05	7,5
50	1579	93327	88911	65329	0,05	7,5
51	1579	93333	88918	65333	0,05	7,5
52	1574	93160	88738	65212	0,05	7,5
53	1573	93115	88691	65181	0,05	7,5
54	1561	92673	88231	64871	0,05	7,5
55	1557	92526	88078	64768	0,05	7,5
56	1562	92714	88274	64900	0,05	7,5
57	1571	93041	88614	65128	0,05	7,5
58	1567	92879	88446	65016	0,05	7,5
59	1561	92671	88229	64870	0,05	7,5
60	1566	92833	88397	64983	0,05	7,5
61	1562	92689	88248	64882	0,05	7,5
62	1562	92695	88255	64887	0,05	7,5
63	1558	92562	88115	64793	0,05	7,5
64	1559	92585	88140	64810	0,05	7,5
65	1560	92631	88187	64842	0,05	7,5
66	1552	92329	87873	64630	0,05	7,5
67	1550	92250	87791	64575	0,05	7,5
68	1546	92092	87626	64464	0,05	7,5
69	1534	91622	87137	64135	0,05	7,5
70	1529	91470	86979	64029	0,05	7,5
71	1534	91656	87172	64159	0,05	7,5
72	1530	91499	87009	64049	0,05	7,5
73	1496	90195	85650	63136	0,05	7,5
74	1465	89011	84415	62308	0,05	7,5
75	1407	86816	82121	60771	0,05	7,5
76	1342	84277	79462	58994	0,05	7,5
77	1253	80797	75805	56558	0,05	7,5
78	1149	76650	71425	53655	0,05	7,5
79	1135	76120	70863	53284	0,05	7,5
80	903	66490	60572	46543	0,05	7,5

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
81	698	57679	50950	40376	0,05	7,5
82	531	50480	42852	35336	0,05	7,5
83	305	40660	31144	28462	0,05	7,5
84	135	11338	196	7937	0,05	7,5

Maximum soil stress : q_v;n;max = 268 kN/m²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads) : q_traffic;max = 50 kN/m²
Maximum reduced soil stress : q_v;r;n;max = 50 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)
only for verticals in deep situation : k_v;max = 105187 kN/m³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor)
only for verticals in deep situation : k_v;max = 210375 kN/m³

4.3 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/m²
q_v;n	Neutral soil stress	kN/m²
q_h;n	Neutral horizontal soil stress	kN/m²
q_v,r;n	Reduced neutral soil stress	kN/m²
q_traffic	Traffic load	kN/m²
q_v;e	Vertical bearing capacity	kN/m²
q_h;e	Horizontal bearing capacity	kN/m²
k_v;bot	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m³
k_v;top	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m³
k_h	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m³
t_max	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m²
d_max	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
1	85	29	21	29	0	1022
2	252	50	37	50	0	1783
3	505	72	13	17	0	2532
4	771	93	13	17	0	3264
5	926	114	13	17	0	4009
6	1073	135	13	17	0	4760
7	1195	153	13	17	0	5404
8	1297	169	13	17	0	5955
9	1367	180	13	17	0	6340
10	1563	211	13	17	2	7442
11	1540	208	13	17	0	7310
12	1690	232	13	17	0	8179
13	1818	254	13	17	0	8932
14	1844	258	13	17	0	9083
15	1856	260	13	17	0	9153
16	1885	265	13	17	0	9330
17	1573	213	13	17	0	7495
18	1388	183	13	17	0	6452
19	1231	159	13	17	0	5593
20	1231	159	13	17	0	5593
21	1231	159	13	17	0	5593
22	1231	159	13	17	0	5593
23	1231	159	13	17	0	5593
24	1351	177	13	17	0	6248
25	1485	199	13	17	0	6992
26	1880	264	13	17	0	9300
27	1904	268	13	17	0	9443
28	1847	259	13	17	0	9101
29	1758	244	13	17	0	8577
30	1650	226	13	17	0	7944
31	1630	222	13	17	0	7829

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
32	1602	218	13	17	0	7668
33	1596	217	13	17	0	7632
34	1594	217	13	17	0	7622
35	1595	217	13	17	0	7629
36	1595	217	13	17	0	7625
37	1596	217	13	17	0	7632
38	1595	217	13	17	0	7626
39	1595	217	13	17	0	7626
40	1591	216	13	17	0	7604
41	1588	216	13	17	0	7586
42	1591	216	13	17	0	7603
43	1586	215	13	17	0	7576
44	1583	215	13	17	0	7557
45	1580	214	13	17	0	7542
46	1585	215	13	17	0	7567
47	1581	214	13	17	0	7546
48	1580	214	13	17	0	7542
49	1578	214	13	17	0	7527
50	1579	214	13	17	0	7532
51	1579	214	13	17	0	7533
52	1574	213	13	17	0	7507
53	1573	213	13	17	0	7500
54	1561	211	13	17	0	7432
55	1557	210	13	17	0	7410
56	1562	211	13	17	0	7439
57	1571	213	13	17	0	7489
58	1567	212	13	17	0	7464
59	1561	211	13	17	0	7432
60	1566	212	13	17	0	7457
61	1562	211	13	17	0	7435
62	1562	211	13	17	0	7436
63	1558	211	13	17	0	7416
64	1559	211	13	17	0	7419
65	1560	211	13	17	0	7426
66	1552	210	13	17	0	7380
67	1550	209	13	17	0	7368
68	1546	209	13	17	0	7344
69	1534	207	13	17	0	7273
70	1529	206	13	17	0	7250
71	1534	207	13	17	0	7278
72	1530	206	13	17	0	7255
73	1496	200	13	17	0	7059
74	1465	195	13	17	0	6883
75	1407	186	13	17	0	6562
76	1342	176	13	17	0	6198
77	1253	162	13	17	0	5715
78	1149	146	13	17	0	5160
79	1135	145	13	17	0	5089
80	903	111	13	17	0	3902
81	674	83	13	17	0	2931
82	386	63	13	18	0	2222
83	155	39	29	39	0	1382
84	32	17	13	17	0	510

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
1	365	30506	5183	21354	0,05	7,5
2	417	45561	37119	31892	0,05	7,5
3	607	53719	46529	37603	0,05	7,5
4	771	60811	54399	42568	0,05	7,5
5	926	67400	61552	47180	0,05	7,5
6	1073	73542	68126	51479	0,05	7,5
7	1196	78499	73381	54949	0,05	7,5
8	1297	82539	77637	57777	0,05	7,5
9	1367	85276	80508	59693	0,05	7,5

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
10	1563	92744	88305	64921	0,05	7,5
11	1540	91869	87394	64308	0,05	7,5
12	1690	97476	93220	68233	0,05	7,5
13	1818	102125	98032	71488	0,05	7,5
14	1844	103039	98977	72128	0,05	7,5
15	1856	103459	99410	72422	0,05	7,5
16	1885	104519	100505	73163	0,05	7,5
17	1573	93081	88655	65156	0,05	7,5
18	1388	86049	81318	60234	0,05	7,5
19	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
20	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
21	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
22	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
23	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
24	1351	84618	79819	59233	0,05	7,5
25	1485	89743	85178	62820	0,05	7,5
26	1880	104338	100317	73036	0,05	7,5
27	1904	105187	101194	73631	0,05	7,5
28	1847	103146	99086	72202	0,05	7,5
29	1758	99952	95784	69966	0,05	7,5
30	1650	95982	91670	67187	0,05	7,5
31	1630	95247	90907	66673	0,05	7,5
32	1602	94206	89825	65944	0,05	7,5
33	1596	93974	89585	65782	0,05	7,5
34	1594	93909	89517	65736	0,05	7,5
35	1595	93954	89563	65768	0,05	7,5
36	1595	93932	89541	65752	0,05	7,5
37	1596	93972	89582	65780	0,05	7,5
38	1595	93934	89542	65753	0,05	7,5
39	1595	93934	89543	65754	0,05	7,5
40	1591	93793	89396	65655	0,05	7,5
41	1588	93677	89275	65574	0,05	7,5
42	1591	93787	89390	65651	0,05	7,5
43	1586	93614	89210	65530	0,05	7,5
44	1583	93486	89077	65441	0,05	7,5
45	1580	93386	88973	65370	0,05	7,5
46	1585	93554	89147	65488	0,05	7,5
47	1581	93415	89003	65391	0,05	7,5
48	1580	93390	88977	65373	0,05	7,5
49	1578	93290	88873	65303	0,05	7,5
50	1579	93327	88911	65329	0,05	7,5
51	1579	93333	88918	65333	0,05	7,5
52	1574	93160	88738	65212	0,05	7,5
53	1573	93115	88691	65181	0,05	7,5
54	1561	92673	88231	64871	0,05	7,5
55	1557	92526	88078	64768	0,05	7,5
56	1562	92714	88274	64900	0,05	7,5
57	1571	93041	88614	65128	0,05	7,5
58	1567	92879	88446	65016	0,05	7,5
59	1561	92671	88229	64870	0,05	7,5
60	1566	92833	88397	64983	0,05	7,5
61	1562	92689	88248	64882	0,05	7,5
62	1562	92695	88255	64887	0,05	7,5
63	1558	92562	88115	64793	0,05	7,5
64	1559	92585	88140	64810	0,05	7,5
65	1560	92631	88187	64842	0,05	7,5
66	1552	92329	87873	64630	0,05	7,5
67	1550	92250	87791	64575	0,05	7,5
68	1546	92092	87626	64464	0,05	7,5
69	1534	91622	87137	64135	0,05	7,5
70	1529	91470	86979	64029	0,05	7,5
71	1534	91656	87172	64159	0,05	7,5
72	1530	91499	87009	64049	0,05	7,5
73	1496	90195	85650	63136	0,05	7,5
74	1465	89011	84415	62308	0,05	7,5

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
75	1407	86816	82121	60771	0,05	7,5
76	1342	84277	79462	58994	0,05	7,5
77	1253	80797	75805	56558	0,05	7,5
78	1149	76650	71425	53655	0,05	7,5
79	1135	76120	70863	53284	0,05	7,5
80	903	66490	60572	46543	0,05	7,5
81	698	57679	50950	40376	0,05	7,5
82	531	50480	42852	35336	0,05	7,5
83	305	40660	31144	28462	0,05	7,5
84	135	11338	196	7937	0,05	7,5

Maximum soil stress : q_v;n;max = 268 kN/m²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads) : q_traffic;max = 50 kN/m²
Maximum reduced soil stress : q_v;r;n;max = 50 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation : k_v;max = 105187 kN/m³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation : k_v;max = 210375 kN/m³

4.4 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/m²
q_v;n	Neutral soil stress	kN/m²
q_h;n	Neutral horizontal soil stress	kN/m²
q_v,r;n	Reduced neutral soil stress	kN/m²
q_traffic	Traffic load	kN/m²
q_v;e	Vertical bearing capacity	kN/m²
q_h;e	Horizontal bearing capacity	kN/m²
k_v;bot	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m³
k_v;top	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m³
k_h	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m³
t_max	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m²
d_max	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
1	85	29	21	29	0	1022
2	252	50	37	50	0	1783
3	505	72	13	17	0	2532
4	771	93	13	17	0	3264
5	926	114	13	17	0	4009
6	1073	135	13	17	0	4760
7	1195	153	13	17	0	5404
8	1297	169	13	17	0	5955
9	1367	180	13	17	0	6340
10	1563	211	13	17	2	7442
11	1540	208	13	17	0	7310
12	1690	232	13	17	0	8179
13	1818	254	13	17	0	8932
14	1844	258	13	17	0	9083
15	1856	260	13	17	0	9153
16	1885	265	13	17	0	9330
17	1573	213	13	17	0	7495
18	1388	183	13	17	0	6452
19	1231	159	13	17	0	5593
20	1231	159	13	17	0	5593
21	1231	159	13	17	0	5593
22	1231	159	13	17	0	5593
23	1231	159	13	17	0	5593
24	1351	177	13	17	0	6248
25	1485	199	13	17	0	6992

Vertical no.	q_v;p [kN/m²]	q_v;n [kN/m²]	q_h;n [kN/m²]	q_v;r;n [kN/m²]	q_traffic [kN/m²]	q_v;e [kN/m²]
26	1880	264	13	17	0	9300
27	1904	268	13	17	0	9443
28	1847	259	13	17	0	9101
29	1758	244	13	17	0	8577
30	1650	226	13	17	0	7944
31	1630	222	13	17	0	7829
32	1602	218	13	17	0	7668
33	1596	217	13	17	0	7632
34	1594	217	13	17	0	7622
35	1595	217	13	17	0	7629
36	1595	217	13	17	0	7625
37	1596	217	13	17	0	7632
38	1595	217	13	17	0	7626
39	1595	217	13	17	0	7626
40	1591	216	13	17	0	7604
41	1588	216	13	17	0	7586
42	1591	216	13	17	0	7603
43	1586	215	13	17	0	7576
44	1583	215	13	17	0	7557
45	1580	214	13	17	0	7542
46	1585	215	13	17	0	7567
47	1581	214	13	17	0	7546
48	1580	214	13	17	0	7542
49	1578	214	13	17	0	7527
50	1579	214	13	17	0	7532
51	1579	214	13	17	0	7533
52	1574	213	13	17	0	7507
53	1573	213	13	17	0	7500
54	1561	211	13	17	0	7432
55	1557	210	13	17	0	7410
56	1562	211	13	17	0	7439
57	1571	213	13	17	0	7489
58	1567	212	13	17	0	7464
59	1561	211	13	17	0	7432
60	1566	212	13	17	0	7457
61	1562	211	13	17	0	7435
62	1562	211	13	17	0	7436
63	1558	211	13	17	0	7416
64	1559	211	13	17	0	7419
65	1560	211	13	17	0	7426
66	1552	210	13	17	0	7380
67	1550	209	13	17	0	7368
68	1546	209	13	17	0	7344
69	1534	207	13	17	0	7273
70	1529	206	13	17	0	7250
71	1534	207	13	17	0	7278
72	1530	206	13	17	0	7255
73	1496	200	13	17	0	7059
74	1465	195	13	17	0	6883
75	1407	186	13	17	0	6562
76	1342	176	13	17	0	6198
77	1253	162	13	17	0	5715
78	1149	146	13	17	0	5160
79	1135	145	13	17	0	5089
80	903	111	13	17	0	3902
81	674	83	13	17	0	2931
82	386	63	13	18	0	2222
83	155	39	29	39	0	1382
84	32	17	13	17	0	510

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
1	365	30506	5183	21354	0,05	7,5
2	417	45561	37119	31892	0,05	7,5
3	607	53719	46529	37603	0,05	7,5

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
4	771	60811	54399	42568	0,05	7,5
5	926	67400	61552	47180	0,05	7,5
6	1073	73542	68126	51479	0,05	7,5
7	1196	78499	73381	54949	0,05	7,5
8	1297	82539	77637	57777	0,05	7,5
9	1367	85276	80508	59693	0,05	7,5
10	1563	92744	88305	64921	0,05	7,5
11	1540	91869	87394	64308	0,05	7,5
12	1690	97476	93220	68233	0,05	7,5
13	1818	102125	98032	71488	0,05	7,5
14	1844	103039	98977	72128	0,05	7,5
15	1856	103459	99410	72422	0,05	7,5
16	1885	104519	100505	73163	0,05	7,5
17	1573	93081	88655	65156	0,05	7,5
18	1388	86049	81318	60234	0,05	7,5
19	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
20	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
21	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
22	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
23	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
24	1351	84618	79819	59233	0,05	7,5
25	1485	89743	85178	62820	0,05	7,5
26	1880	104338	100317	73036	0,05	7,5
27	1904	105187	101194	73631	0,05	7,5
28	1847	103146	99086	72202	0,05	7,5
29	1758	99952	95784	69966	0,05	7,5
30	1650	95982	91670	67187	0,05	7,5
31	1630	95247	90907	66673	0,05	7,5
32	1602	94206	89825	65944	0,05	7,5
33	1596	93974	89585	65782	0,05	7,5
34	1594	93909	89517	65736	0,05	7,5
35	1595	93954	89563	65768	0,05	7,5
36	1595	93932	89541	65752	0,05	7,5
37	1596	93972	89582	65780	0,05	7,5
38	1595	93934	89542	65753	0,05	7,5
39	1595	93934	89543	65754	0,05	7,5
40	1591	93793	89396	65655	0,05	7,5
41	1588	93677	89275	65574	0,05	7,5
42	1591	93787	89390	65651	0,05	7,5
43	1586	93614	89210	65530	0,05	7,5
44	1583	93486	89077	65441	0,05	7,5
45	1580	93386	88973	65370	0,05	7,5
46	1585	93554	89147	65488	0,05	7,5
47	1581	93415	89003	65391	0,05	7,5
48	1580	93390	88977	65373	0,05	7,5
49	1578	93290	88873	65303	0,05	7,5
50	1579	93327	88911	65329	0,05	7,5
51	1579	93333	88918	65333	0,05	7,5
52	1574	93160	88738	65212	0,05	7,5
53	1573	93115	88691	65181	0,05	7,5
54	1561	92673	88231	64871	0,05	7,5
55	1557	92526	88078	64768	0,05	7,5
56	1562	92714	88274	64900	0,05	7,5
57	1571	93041	88614	65128	0,05	7,5
58	1567	92879	88446	65016	0,05	7,5
59	1561	92671	88229	64870	0,05	7,5
60	1566	92833	88397	64983	0,05	7,5
61	1562	92689	88248	64882	0,05	7,5
62	1562	92695	88255	64887	0,05	7,5
63	1558	92562	88115	64793	0,05	7,5
64	1559	92585	88140	64810	0,05	7,5
65	1560	92631	88187	64842	0,05	7,5
66	1552	92329	87873	64630	0,05	7,5
67	1550	92250	87791	64575	0,05	7,5
68	1546	92092	87626	64464	0,05	7,5

Vertical no.	q_h;e [kN/m²]	k_v;bot [kN/m³]	k_v;top [kN/m³]	k_h [kN/m³]	t_max [kN/m²]	d_max [mm]
69	1534	91622	87137	64135	0,05	7,5
70	1529	91470	86979	64029	0,05	7,5
71	1534	91656	87172	64159	0,05	7,5
72	1530	91499	87009	64049	0,05	7,5
73	1496	90195	85650	63136	0,05	7,5
74	1465	89011	84415	62308	0,05	7,5
75	1407	86816	82121	60771	0,05	7,5
76	1342	84277	79462	58994	0,05	7,5
77	1253	80797	75805	56558	0,05	7,5
78	1149	76650	71425	53655	0,05	7,5
79	1135	76120	70863	53284	0,05	7,5
80	903	66490	60572	46543	0,05	7,5
81	698	57679	50950	40376	0,05	7,5
82	531	50480	42852	35336	0,05	7,5
83	305	40660	31144	28462	0,05	7,5
84	135	11338	196	7937	0,05	7,5

Maximum soil stress : $q_{v;n;max} = 268$ kN/m²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads) : $q_{traffic;max} = 50$ kN/m²
Maximum reduced soil stress : $q_{v;r;n;max} = 50$ kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation : $k_{v;max} = 105187$ kN/m³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation : $k_{v;max} = 210375$ kN/m³

4.5 Young's Modulus per Layer per Vertical

Layer number	Material name	Type of determination
3	Klei, sterk zandig	Calculated with E100
2	Klei, sterk zandig	Calculated with E100
1	Zand, schoon, matig	Calculated with E100

Layer number	Vertical 1 (L=8,065 m)		Vertical 2 (L=16,13 m)		Vertical 3 (L=24,195 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	0,000	0,629	0,000	0,628	0,000	0,621
2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
1	14,566	52,954	14,545	52,949	14,440	52,920

Layer number	Vertical 4 (L=32,26 m)		Vertical 5 (L=40,325 m)		Vertical 6 (L=48,39 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	0,000	0,603	0,000	0,594	0,000	0,598
2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
1	14,186	52,851	14,054	52,816	14,107	52,830

Layer number	Vertical 7 (L=56,455 m)		Vertical 8 (L=64,52 m)		Vertical 9 (L=72,585 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	0,000	0,592	0,000	0,587	0,000	0,540
2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
1	14,011	52,804	13,948	52,788	13,235	52,604

Layer number	Vertical 10 (L=80,65 m)		Vertical 11 (L=88,715 m)		Vertical 12 (L=96,78 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	0,000	0,969	0,000	0,740	0,000	1,120
2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
1	19,070	54,366	16,113	53,401	20,884	55,029

Layer number	Vertical 13 (L=104,845 m)		Vertical 14 (L=112,91 m)		Vertical 15 (L=120,975 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	0,000	1,458	0,000	1,527	0,000	1,561
2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
1	24,619	56,552	25,343	56,871	25,694	57,028

Layer number	Vertical 16 (L=129,04 m)		Vertical 17 (L=137,105 m)		Vertical 18 (L=145,17 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	0,000	1,646	0,000	0,684	n.a.	n.a.
2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
1	26,563	57,425	15,336	53,171	0,000	50,597

Layer number	Vertical 19 (L=153,235 m)		Vertical 20 (L=161,3 m)		Vertical 21 (L=169,365 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
1	0,000	48,374	0,000	48,374	0,000	48,374

Layer number	Vertical 22 (L=177,43 m)		Vertical 23 (L=185,495 m)		Vertical 24 (L=193,56 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
1	0,000	48,374	0,000	48,374	0,000	50,078

Layer number	Vertical 25 (L=201,625 m)		Vertical 26 (L=209,69 m)		Vertical 27 (L=217,755 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,362	0,000	1,632	0,000	1,700
1	10,308	51,945	26,416	57,357	27,100	57,675

Layer number	Vertical 28 (L=225,82 m)		Vertical 29 (L=233,885 m)		Vertical 30 (L=241,95 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	1,535	0,000	1,275	0,000	0,940
1	25,432	56,910	22,638	55,718	18,717	54,243

Layer number	Vertical 31 (L=250,015 m)		Vertical 32 (L=258,08 m)		Vertical 33 (L=266,145 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,876	0,000	0,785	0,000	0,764
1	17,914	53,971	16,718	53,586	16,442	53,501

Layer number	Vertical 34 (L=274,21 m)		Vertical 35 (L=282,275 m)		Vertical 36 (L=290,34 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,758	0,000	0,762	0,000	0,760
1	16,363	53,477	16,418	53,493	16,391	53,485

Layer number	Vertical 37 (L=298,405 m)		Vertical 38 (L=306,47 m)		Vertical 39 (L=314,535 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,764	0,000	0,760	0,000	0,761
1	16,439	53,500	16,393	53,486	16,394	53,486

Layer number	Vertical 40 (L=322,6 m)		Vertical 41 (L=330,665 m)		Vertical 42 (L=338,73 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,748	0,000	0,737	0,000	0,747
1	16,223	53,434	16,081	53,391	16,215	53,432

Layer number	Vertical 43 (L=346,795 m)		Vertical 44 (L=354,86 m)		Vertical 45 (L=362,925 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,732	0,000	0,720	0,000	0,711
1	16,004	53,368	15,847	53,321	15,722	53,284

Layer number	Vertical 46 (L=370,99 m)		Vertical 47 (L=379,055 m)		Vertical 48 (L=387,12 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,726	0,000	0,714	0,000	0,712
1	15,930	53,346	15,758	53,295	15,726	53,285

Layer number	Vertical 49 (L=395,185 m)		Vertical 50 (L=403,25 m)		Vertical 51 (L=411,315 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,703	0,000	0,706	0,000	0,706
1	15,601	53,248	15,647	53,262	15,656	53,264

Layer number	Vertical 52 (L=419,38 m)		Vertical 53 (L=427,445 m)		Vertical 54 (L=435,51 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,691	0,000	0,687	0,000	0,646
1	15,437	53,201	15,379	53,184	14,806	53,021

Layer number	Vertical 55 (L=443,575 m)		Vertical 56 (L=451,64 m)		Vertical 57 (L=459,705 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,633	0,000	0,650	0,000	0,680
1	14,611	52,967	14,861	53,036	15,284	53,157

Layer number	Vertical 58 (L=467,77 m)		Vertical 59 (L=475,835 m)		Vertical 60 (L=483,9 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,665	0,000	0,646	0,000	0,661
1	15,076	53,097	14,804	53,020	15,016	53,080

Layer number	Vertical 61 (L=491,965 m)		Vertical 62 (L=500,03 m)		Vertical 63 (L=508,095 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,648	0,000	0,648	0,000	0,636
1	14,828	53,027	14,836	53,029	14,659	52,980

Layer number	Vertical 64 (L=516,16 m)		Vertical 65 (L=524,225 m)		Vertical 66 (L=532,29 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,638	0,000	0,642	0,000	0,614
1	14,690	52,989	14,751	53,006	14,347	52,894

Layer number	Vertical 67 (L=540,355 m)		Vertical 68 (L=548,42 m)		Vertical 69 (L=556,485 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,607	0,000	0,592	0,000	0,548
1	14,239	52,865	14,021	52,807	13,355	52,634

Layer number	Vertical 70 (L=564,55 m)		Vertical 71 (L=572,615 m)		Vertical 72 (L=580,68 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,533	0,000	0,551	0,000	0,562
1	13,134	52,578	13,404	52,647	13,568	52,689

Layer number	Vertical 73 (L=588,745 m)		Vertical 74 (L=596,81 m)		Vertical 75 (L=604,875 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,522	0,000	0,553	0,000	0,550
1	12,955	52,534	13,428	52,653	13,392	52,644

Layer number	Vertical 76 (L=612,94 m)		Vertical 77 (L=621,005 m)		Vertical 78 (L=629,07 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,580	0,000	0,594	0,000	0,624
1	13,842	52,760	14,050	52,815	14,484	52,932

Layer number	Vertical 79 (L=637,135 m)		Vertical 80 (L=645,2 m)		Vertical 81 (L=653,265 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,986	0,000	0,745	0,000	0,620
1	19,280	54,440	16,190	53,424	14,426	52,916

Layer number	Vertical 82 (L=661,33 m)		Vertical 83 (L=669,395 m)		Vertical 84 (L=677,46 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,651	0,000	0,603	0,000	0,591
1	14,876	53,040	14,182	52,850	13,997	52,801

5 Data for Stress Analysis

5.1 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/m³
Pipeline diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
Pipeline diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
Pipeline diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
Equivalent pipeline diameter	:	Do = 831,29 mm
Equivalent wall thickness	:	t = 41,62 mm
Equivalent unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 54335 kN/m³
Unit weight drilling fluid pullback operation	:	gamma_b = 11,10 kN/m³
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/mm²
Friction coefficient pipe / soil	:	f3 = 0,20

5.2 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)

5.3 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/mm²])
- 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	68
T2	45	91
T3	111	139

Characteristic points	Length pipe in bore hole (m)	Characteristic value pulling force (kN)
T4	575	403
T5	641	467
T6	686	491

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 (f) 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.

6 Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1

6.1 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 = 686 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm²
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm²
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm²
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm²
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
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 = 50 kN/m²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 105187 kN/m³
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 248,114 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

6.2 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.

6.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k E·Ib /(Rrol·Wb)	=	0,43	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * T1/A = f * f_install (Lrol * Q * f1)/A	=	1,18	N/mm²

Maximum axial stress Sigma_a,max	=	1,46	N/mm²

In this load combination the tangential stress is negligible.

6.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,87	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * Tmax/A	=	8,56	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	9,12	N/mm²

Tangential stress:

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

qr = kv *·y = (0.322·Lambda^2·E·I)/(Do.R/f_R)

Lambda = (f_kv kv·Do/(4·E·I))^0.25	=	2,8E-3	1/mm
qr	=	0,0094	N/mm²
Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,55	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	0,36	N/mm²

6.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

6.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,31	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,20	N/mm²

Tangential stress:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,33	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	6,39	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	4,37	N/mm²

6.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,31	N/mm²

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_Temp = dt * gamma_t * alpha_g * E	=	0,00	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,20	N/mm²
Tangential stress:			
Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,33	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	6,39	N/mm²
Rerounding factor Frr	=	1,000	
Rerounding factor F'rr	=	1,000	
Sigma_t,max = Sigma_py + ((F'rr·. Sigma_qr) + (Frr·. Sigma_qn))			
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	4,37	N/mm²

6.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 1: pipe nr. 1

Load combination 1
- Sigma_AxMax < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < ShortStrength * DamageFactor

Load combination 2
- Sigma_ptest < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_py < LongStrength * DamageFactor

Load combination 3
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

Load combination 4
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm²]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
Sigma_ptest	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
Sigma_py	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
Sigma_axial	10,00 (short)	1,46	9,12	-	-	-
Sigma_axial	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
Sigma_tang...	10,00 (short)	-	0,36	-	-	-
Sigma_tang...	8,00 (long)	-	-	-	4,37	4,37

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 8,8 mm (2,80% 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.

6.4 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 283 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m².

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 203 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m².

7 Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2

7.1 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 = 686 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm²
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm²
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm²
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm²
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
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 = 50 kN/m²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 105187 kN/m³
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 248,114 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 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.

7.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k E·Ib /(Rrol·Wb)	=	0,43	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * T1/A = f * f_install (Lrol * Q * f1)/A	=	1,18	N/mm²

Maximum axial stress Sigma_a,max	=	1,46	N/mm²

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·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,87	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * Tmax/A	=	8,56	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	9,12	N/mm²

Tangential stress:

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

qr = kv *·y = (0.322·Lambda^2·E·I)/(Do.R/f_R)

Lambda = (f_kv kv·Do/(4·E·I))^0.25	=	2,8E-3	1/mm
qr	=	0,0094	N/mm²
Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,55	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	0,36	N/mm²

7.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

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

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,31	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,20	N/mm²

Tangential stress:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,33	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	6,39	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	4,37	N/mm²

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

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,31	N/mm²

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_Temp = dt * gamma_t * alpha_g * E	=	0,00	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,20	N/mm²

Tangential stress:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,33	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	6,39	N/mm²
Rerounding factor Frr	=	1,000	
Rerounding factor F'rr	=	1,000	

Sigma_t,max = Sigma_py + ((F'rr·. Sigma_qr) + (Frr·. Sigma_qn))

Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	4,37	N/mm²

7.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 2: pipe nr. 2

Load combination 1
- Sigma_AxMax < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < ShortStrength * DamageFactor

Load combination 2
- Sigma_ptest < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_py < LongStrength * DamageFactor

Load combination 3
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

Load combination 4
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm²]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
Sigma_ptest	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
Sigma_py	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
Sigma_axial	10,00 (short)	1,46	9,12	-	-	-
Sigma_axial	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
Sigma_tang...	10,00 (short)	-	0,36	-	-	-
Sigma_tang...	8,00 (long)	-	-	-	4,37	4,37

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 8,8 mm (2,80% 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 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 283 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m².

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 203 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m².

8 Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3

8.1 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 = 686 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm²
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm²
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm²
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm²
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
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 = 50 kN/m²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 105187 kN/m³
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 248,114 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 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.

8.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k E·Ib /(Rrol·Wb)	=	0,43	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * T1/A = f * f_install (Lrol * Q * f1)/A	=	1,18	N/mm²

Maximum axial stress Sigma_a,max	=	1,46	N/mm²

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·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,87	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * Tmax/A	=	8,56	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	9,12	N/mm²

Tangential stress:

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

qr = kv *·y = (0.322·Lambda^2·E·I)/(Do.R/f_R)

Lambda = (f_kv kv·Do/(4·E·I))^0.25	=	2,8E-3	1/mm
qr	=	0,0094	N/mm²
Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,55	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	0,36	N/mm²

8.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

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

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,31	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,20	N/mm²

Tangential stress:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,33	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	6,39	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	4,37	N/mm²

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

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,31	N/mm²

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_Temp = dt * gamma_t * alpha_g * E	=	0,00	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,20	N/mm²
Tangential stress:			
Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,33	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	6,39	N/mm²
Rerounding factor Frr	=	1,000	
Rerounding factor F'rr	=	1,000	
Sigma_t,max = Sigma_py + ((F'rr·. Sigma_qr) + (Frr·. Sigma_qn))			
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	4,37	N/mm²

8.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 3: pipe nr. 3

Load combination 1
- Sigma_AxMax < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < ShortStrength * DamageFactor

Load combination 2
- Sigma_ptest < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_py < LongStrength * DamageFactor

Load combination 3
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

Load combination 4
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm²]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
Sigma_ptest	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
Sigma_py	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
Sigma_axial	10,00 (short)	1,46	9,12	-	-	-
Sigma_axial	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
Sigma_tang...	10,00 (short)	-	0,36	-	-	-
Sigma_tang...	8,00 (long)	-	-	-	4,37	4,37

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 8,8 mm (2,80% 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 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 283 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m².

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 203 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m².

9 Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4

9.1 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 = 686 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm²
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm²
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm²
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm²
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m³
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 = 50 kN/m²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 105187 kN/m³
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 248,114 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 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.

9.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k E·Ib /(Rrol·Wb)	=	0,43	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * T1/A = f * f_install (Lrol * Q * f1)/A	=	1,18	N/mm²

Maximum axial stress Sigma_a,max	=	1,46	N/mm²

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·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,87	N/mm²
Sigma_t = f * f_install * Tmax/A	=	8,56	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	9,12	N/mm²

Tangential stress:

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

qr = kv *·y = (0.322·Lambda^2·E·I)/(Do.R/f_R)

Lambda = (f_kv kv·Do/(4·E·I))^0.25	=	2,8E-3	1/mm
qr	=	0,0094	N/mm²
Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,55	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	0,36	N/mm²

9.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

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

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,31	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,20	N/mm²

Tangential stress:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,33	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	6,39	N/mm²
Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	4,37	N/mm²

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

Axial stress:

Sigma_b = Mb/Wb = f_k·E·Ib /(Rmin·Wb)	=	0,31	N/mm²

Due to internal pressure :

Sigma_py = f_pd . pd·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²

Sigma_px = 0.5·Sigma_py	=	0,00	N/mm²
Sigma_ptest = f_pt . pt·((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))	=	0,00	N/mm²
Sigma_Temp = dt * gamma_t * alpha_g * E	=	0,00	N/mm²
Maximum axial stress Sigma_a,max	=	0,20	N/mm²

Tangential stress:

Sigma_qr = k'·qr·(rg/Ww)·Do	=	0,33	N/mm²
Sigma_qn = k·qn·(rg/Ww)·Do	=	6,39	N/mm²
Rerounding factor Frr	=	1,000	
Rerounding factor F'rr	=	1,000	

Sigma_t,max = Sigma_py + ((F'rr·. Sigma_qr) + (Frr·. Sigma_qn))

Maximum tangential stress Sigma_t,max	=	4,37	N/mm²

9.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 4: pipe nr. 4

Load combination 1
- Sigma_AxMax < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < ShortStrength * DamageFactor

Load combination 2
- Sigma_ptest < ShortStrength * DamageFactor
- Sigma_py < LongStrength * DamageFactor

Load combination 3
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

Load combination 4
- Sigma_AxMax < LongStrength * DamageFactor
- Sigma_TanMax < LongStrength * DamageFactor

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm²]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
Sigma_ptest	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
Sigma_py	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
Sigma_axial	10,00 (short)	1,46	9,12	-	-	-
Sigma_axial	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
Sigma_tang...	10,00 (short)	-	0,36	-	-	-
Sigma_tang...	8,00 (long)	-	-	-	4,37	4,37

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 8,8 mm (2,80% 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 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 283 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m².

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 203 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m².

End of Report