

# Net op Zee – Nederwiek 1

## **Aanvraag watervergunning Waterschap Scheldestromen**

Ingediende aanvraag

# Aanvrager bedrijf

## 1 Bedrijf

KvK-nummer	09155985
Vestigingsnummer	000020300360
(Statutaire) naam	TenneT TSO B.V.
Handelsnaam	TenneT TSO

## 2 Contactpersoon

Geslacht	<input type="checkbox"/> Man <input checked="" type="checkbox"/> Vrouw
Voorletters	■
Voorvoegsels	-
Achternaam	■
Functie	-

## 3 Vestigingsadres bedrijf

Postcode	6812AR
Huisnummer	310
Huisletter	-
Huisnummertoevoeging	M01
Straatnaam	Utrechtseweg
Woonplaats	Amhem

## 4 Correspondentieadres

Postbus	718
Postcode	6800AS
Plaats	Amhem

## 5 Contactgegevens

Telefoonnummer	■ ■ ■
Faxnummer	-
E-mailadres	■

# Gemachtigde bedrijf

## 1 Bedrijf

KvK-nummer	09036504
Vestigingsnummer	000017201675
(Statutaire) naam	ARCADIS Nederland B.V.
Handelsnaam	-

## 2 Contactpersoon

Geslacht	<input checked="" type="checkbox"/> Man <input type="checkbox"/> Vrouw
Voorletters	■
Voorvoegsels	-
Achternaam	■
Functie	Vergunningen specialist

## 3 Vestigingsadres bedrijf

Postcode	6814DV
Huisnummer	22
Huisletter	-
Huisnummertoevoeging	-
Straatnaam	Beaulieustraat
Woonplaats	Arnhem

## 4 Correspondentieadres

Postbus	264
Postcode	6800AG
Plaats	Arnhem

## 5 Contactgegevens

Telefoonnummer	■
Faxnummer	-
E-mailadres	■

## 6 Akkoordverklaring

Akkoordverklaring

- Hierbij verklaar ik dat ik de aanvraag/melding naar waarheid heb ingevuld, dat ik correspondentie over mijn aanvraag/melding wil ontvangen op het door mij opgegeven e-mailadres of op het door mij opgegeven adres van de berichtenbox en dat ik weet dat er kosten verbonden kunnen zijn aan het indienen van een aanvraag.

# Locatie

## 1 Kadastraal perceelnummer

Burgerlijke gemeente	Borsele
Kadastrale gemeente	Borsele
Kadastrale sectie	A
Kadastraal perceelnummer	1886
Bouwplannaam	-
Bouwnummer	-
Gelden de werkzaamheden in deze aanvraag/melding voor meerdere adressen of percelen?	<input checked="" type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nee
Specificatie locatie	Dit is het perceel waar het converterstation gelegen is. Zie bijlagen voor specifieke locaties.

## 2 Eigendomssituatie

Eigendomssituatie van het perceel	<input type="checkbox"/> U bent eigenaar van het perceel <input type="checkbox"/> U bent erfpachter van het perceel <input type="checkbox"/> U bent huurder van het perceel <input checked="" type="checkbox"/> Anders
Uw belang bij deze aanvraag	Kabeltracés moeten worden aangelegd om de stroom uit windpark Nederwiek via het converterstation op het landelijke spanningsnet aan te sluiten.

## 3 Toelichting

Eventuele toelichting op locatie	Zie bijlagen.
----------------------------------	---------------

# Waterstaatswerk of beschermingszone gebruiken

## Kabels of leidingen aanleggen

### 1 Waterstaatswerk of beschermingszone gebruiken

- Wilt u een bestaande vergunning wijzigen?  Ja  
 Nee
- Wat is de geplande begindatum van deze activiteit? 01-01-2024
- Geef eventueel een toelichting op de begindatum. -
- Wat is de geplande einddatum van deze activiteit? 01-01-2074
- Geef eventueel een toelichting op de einddatum. aanlegwerkzaamheden zijn voorzien t.m. 2030
- Omschrijf de activiteit die u wilt uitvoeren. Zie bijlagen.
- Waarom wilt u de activiteit uitvoeren? Zie bijlagen.

# Waterstaatswerk of beschermingszone gebruiken

## Kabels of leidingen aanleggen

### 1 Kabels of leidingen aanleggen

Welke activiteit(en) wilt u uitvoeren met betrekking tot kabels of leidingen?

- Aanleggen van kabels of leidingen in of nabij een oppervlaktewaterlichaam
- Aanleggen van kabels of leidingen in, op of nabij een waterkering
- Aanleggen van kabels of leidingen in, op of nabij een oppervlaktewaterlichaam en een waterkering

Past u bij de werkzaamheden een horizontaal gestuurde boring toe die een oppervlaktewaterlichaam, waterkering of beschermingszone doorkruist?

- Ja
- Nee

Welke kabels of leidingen wilt u aanleggen?

- Aanleggen van een vloeistofleiding
- Aanleggen van kabels
- Aanleggen van een warmtetransportleiding
- Aanleggen van kabels ten behoeve van telecom/televisie
- Aanleggen van een drukleiding
- Anders

### 2 Waterschapspecifieke vragen

Betreft het een gestuurde boring?

- Ja
- Nee

Betreft het een persing?

- Ja
- Nee

Wat is de diameter van de kabel of leiding en/of gestuurde boring of persing?

Zie bijlagen.



# Waterstaatswerk of beschermingszone gebruiken

Overige activiteiten in of nabij een oppervlaktewaterlichaam uitvoeren

## 1 Waterstaatswerk of beschermingszone gebruiken

- |  |  |
|--|--|
| Wilt u een bestaande vergunning wijzigen?          | <input type="checkbox"/> Ja<br><input checked="" type="checkbox"/> Nee |
| Wat is de geplande begindatum van deze activiteit? | 01-01-2024   |
| Geef eventueel een toelichting op de begindatum.   | -  |
| Wat is de geplande einddatum van deze activiteit?  | 31-12-2030   |
| Geef eventueel een toelichting op de einddatum.    | -  |
| Omschrijf de activiteit die u wilt uitvoeren.      | Zie bijlagen.  |
| Waarom wilt u de activiteit uitvoeren?             | Zie bijlagen.  |



# Waterstaatswerk of beschermingszone gebruiken

Overige activiteiten in of nabij een oppervlaktewaterlichaam uitvoeren

## 1 Overige activiteiten in of nabij een oppervlaktewaterlichaam uitvoeren

Welke overige activiteit(en) wilt u uitvoeren in of nabij oppervlaktewaterlichamen?

- Plaatsen van hekwerken en afrasteringen
- Oprichten van een gebouw, zoals een woning of bedrijfspand
- Plaatsen van nutsvoorzieningen (meet- en regelstations e.d.)
- (Ver)bouwen van een boothuis
- Plaatsen van afmeerpalen
- Plaatsen van remmingwerken
- Aanbrengen van lozingswerken
- Plaatsen van mosselzaadvanginstallaties
- Plaatsen van meetpalen
- Aanbrengen van visfuisen of ander vistuig
- Oprichten van een windturbine(park)
- Oprichten van een zendmast
- Anders

Welke andere activiteit voert u uit in of nabij oppervlaktewaterlichamen?

Zie Bijlage 1.

# Waterstaatswerk of beschermingszone gebruiken

Overige activiteiten in, op of nabij een waterkering uitvoeren

## 1 Waterstaatswerk of beschermingszone gebruiken

Wilt u een bestaande vergunning wijzigen?	<input type="checkbox"/> Ja <input checked="" type="checkbox"/> Nee
Wat is de geplande begindatum van deze activiteit?	01-01-2024
Geef eventueel een toelichting op de begindatum.	-
Wat is de geplande einddatum van deze activiteit?	31-12-2030
Geef eventueel een toelichting op de einddatum.	-
Omschrijf de activiteit die u wilt uitvoeren.	Zie bijlagen.
Waarom wilt u de activiteit uitvoeren?	Zie bijlagen.

# Waterstaatswerk of beschermingszone gebruiken

Overige activiteiten in, op of nabij een waterkering uitvoeren

## 1 Activiteiten in, op of nabij een waterkering uitvoeren

Welke activiteit(en) wilt u uitvoeren in, op of nabij een waterkering?

- Oprichten van een gebouw, zoals een woning, bedrijfspand, strandpaviljoen of strandhuisje
- Aanbrengen van een waterinlaat- of wateruitlaatconstructie
- Plaatsen van een windturbine(park)
- Aanleggen van een oprit of grondlichaam
- Aanbrengen van een baggerdepot of gronddepot
- Ontgraven van grond
- Beweiden met vee
- Organiseren van een wedstrijd of evenement
- Aanbrengen van beplanting/bomen
- Verwijderen van beplanting/bomen
- Uitvoeren van boringen of sonderingen
- Oprichten van zandbanketten op het strand ten behoeve van niet permanente bebouwing
- Verplaatsen van zand op het strand (anders dan zandbanket)
- Andere werkzaamheden

Welke andere werkzaamheden voert u uit in, op of nabij een waterkering?

Zie Bijlage 1.

## 2 Waterschapspecifieke vragen

Wilt u (ver)bouwen? Indien Ja, vul alle vragen in.

- Ja
- Nee

Betreft het nieuwbouw, herbouw of verbouw?

Zie Bijlage 1.

Wat is de huidige oppervlakte en inhoud van het gebouw?

Zie Bijlage 1.

Wat is de toekomstige oppervlakte en inhoud van het gebouw?

Zie Bijlage 1.

Wat is de bouwsom (exl. BTW) van de geplande bouwactiviteiten?

Zie Bijlage 1.

# Bijlagen

## Formele bijlagen

Naam bijlage	Bestandsnaam	Type	Datum ingediend	Status document
cheldestromen_Net_o- p_zee_Nederwiek_1_pdf	Bijlage 1 Toelichting op de aanvraag watervergunning Scheldestromen Net op zee Nederwiek 1.pdf	Situatietekening, kaart of foto Gegevens waterstaatswerk of beschermingszone gebruiken Gegevens kabels of leidingen aanleggen Gegevens overige activiteiten in of nabij een oppervlaktewaterlichaam uitvoeren Gegevens activiteiten in, op of nabij een waterkering uitvoeren Anders	07-07-2023	In behandeling
adis_Nederland_BV_d- oor_TenneT_TSO_- BV_pdf	Bijlage 2 Machtiging Arcadis Nederland BV door TenneT TSO BV.pdf	Situatietekening, kaart of foto Gegevens waterstaatswerk of beschermingszone gebruiken Gegevens kabels of leidingen aanleggen Gegevens overige activiteiten in of nabij een oppervlaktewaterlichaam uitvoeren Gegevens activiteiten in, op of nabij een waterkering uitvoeren Anders	07-07-2023	In behandeling
ijlage_3_Typical_Install- ation_Method_pdf	Bijlage 3 Typical Installation Method.pdf	Situatietekening, kaart of foto Gegevens waterstaatswerk of beschermingszone gebruiken Gegevens kabels of leidingen aanleggen Gegevens overige activiteiten in of nabij een oppervlaktewaterlichaam uitvoeren Gegevens activiteiten in, op of nabij een waterkering uitvoeren Anders	07-07-2023	In behandeling
trace_op_land_Net_o- p_zee_Nederwiek_1_pdf	Bijlage 4 Overzichtstekeningen kabeltrace op land Net op zee Nederwiek 1.pdf	Situatietekening, kaart of foto Gegevens waterstaatswerk of beschermingszone gebruiken	07-07-2023	In behandeling

Naam bijlage	Bestandsnaam	Type	Datum ingediend	Status document
		Gegevens kabels of leidingen aanleggen Gegevens overige activiteiten in of nabij een oppervlaktewaterlichaam uitvoeren Gegevens activiteiten in, op of nabij een waterkering uitvoeren Anders		
HDD_boorplannen_-_inclusief_bijlagen_pdf	Bijlage 5 HDD boorplannen - inclusief bijlagen.pdf	Situatietekening, kaart of foto Gegevens waterstaatswerk of beschermingszone gebruiken Gegevens kabels of leidingen aanleggen Gegevens overige activiteiten in of nabij een oppervlaktewaterlichaam uitvoeren Gegevens activiteiten in, op of nabij een waterkering uitvoeren Anders	07-07-2023	In behandeling
Bijlage_6a_Muidenweg_pdf	Bijlage 6a Muidenweg.pdf	Situatietekening, kaart of foto Gegevens waterstaatswerk of beschermingszone gebruiken Gegevens kabels of leidingen aanleggen Gegevens overige activiteiten in of nabij een oppervlaktewaterlichaam uitvoeren Gegevens activiteiten in, op of nabij een waterkering uitvoeren Anders	07-07-2023	In behandeling
Bijlage_6b_Calandweg_pdf	Bijlage 6b Calandweg.pdf	Situatietekening, kaart of foto Gegevens waterstaatswerk of beschermingszone gebruiken Gegevens kabels of leidingen aanleggen Gegevens overige activiteiten in of nabij een oppervlaktewaterlichaam uitvoeren Gegevens activiteiten in, op of nabij een waterkering uitvoeren Anders	07-07-2023	In behandeling
Bijlage_6c_A58_pdf	Bijlage 6c A58.pdf	Situatietekening, kaart of foto Gegevens waterstaatswerk of beschermingszone gebruiken Gegevens kabels of leidingen aanleggen Gegevens overige activiteiten in of nabij een oppervlaktewaterlichaam uitvoeren Gegevens activiteiten in, op of nabij een waterkering uitvoeren Anders	07-07-2023	In behandeling

Naam bijlage	Bestandsnaam	Type	Datum ingediend	Status document
Bijlage_6d_Oude_Veerweg_pdf	Bijlage 6d Oude Veerweg.pdf	Situatietekening, kaart of foto Gegevens waterstaatswerk of beschermingszone gebruiken Gegevens kabels of leidingen aanleggen Gegevens overige activiteiten in of nabij een oppervlaktewaterlichaam uitvoeren Gegevens activiteiten in, op of nabij een waterkering uitvoeren Anders	07-07-2023	In behandeling
Bijlage_6e_Quarlepolderweg_pdf	Bijlage 6e Quarlepolderweg.pdf	Situatietekening, kaart of foto Gegevens waterstaatswerk of beschermingszone gebruiken Gegevens kabels of leidingen aanleggen Gegevens overige activiteiten in of nabij een oppervlaktewaterlichaam uitvoeren Gegevens activiteiten in, op of nabij een waterkering uitvoeren Anders	07-07-2023	In behandeling
Bijlage_6f_Frankrijkweg_pdf	Bijlage 6f Frankrijkweg.pdf	Situatietekening, kaart of foto Gegevens waterstaatswerk of beschermingszone gebruiken Gegevens kabels of leidingen aanleggen Gegevens overige activiteiten in of nabij een oppervlaktewaterlichaam uitvoeren Gegevens activiteiten in, op of nabij een waterkering uitvoeren Anders	07-07-2023	In behandeling
Bijlage_6g_Akkerweg_pdf	Bijlage 6g Akkerweg.pdf	Situatietekening, kaart of foto Gegevens waterstaatswerk of beschermingszone gebruiken Gegevens kabels of leidingen aanleggen Gegevens overige activiteiten in of nabij een oppervlaktewaterlichaam uitvoeren Gegevens activiteiten in, op of nabij een waterkering uitvoeren Anders	07-07-2023	In behandeling
Bijlage_6h_Liechtensteinweg_pdf	Bijlage 6h Liechtensteinweg.pdf	Situatietekening, kaart of foto Gegevens waterstaatswerk of beschermingszone gebruiken Gegevens kabels of leidingen aanleggen	07-07-2023	In behandeling

Naam bijlage	Bestandsnaam	Type	Datum ingediend	Status document
nische_tekening_boring_Veerse_Gatdam_pdf	Bijlage 7 Technische tekening boring Veerse Gatdam.pdf	Gegevens overige activiteiten in of nabij een oppervlaktewaterlichaam uitvoeren Gegevens activiteiten in, op of nabij een waterkering uitvoeren Anders	07-07-2023	In behandeling
waterkeringen_Net_op_zee_Nederwiek_1_pdf	Bijlage 8 Stabiliteit waterkeringen Net op zee Nederwiek 1.pdf	Situatietekening, kaart of foto Gegevens waterstaatswerk of beschermingszone gebruiken Gegevens kabels of leidingen aanleggen Gegevens overige activiteiten in of nabij een oppervlaktewaterlichaam uitvoeren Gegevens activiteiten in, op of nabij een waterkering uitvoeren Anders	07-07-2023	In behandeling
Detailtekeningen_uitwegen_en_duikers_pdf	Bijlage 11 Detailtekening en uitwegen en duikers.pdf	Situatietekening, kaart of foto Gegevens waterstaatswerk of beschermingszone gebruiken Gegevens kabels of leidingen aanleggen Gegevens overige activiteiten in of nabij een oppervlaktewaterlichaam uitvoeren Gegevens activiteiten in, op of nabij een waterkering uitvoeren Anders	07-07-2023	In behandeling
richtingstekeningen_converterstation_pdf	Bijlage 10 Inrichtingstekeningen converterstation.pdf	Situatietekening, kaart of foto Gegevens waterstaatswerk of beschermingszone gebruiken Gegevens kabels of leidingen aanleggen Gegevens overige activiteiten in of nabij een oppervlaktewaterlichaam uitvoeren Gegevens activiteiten in, op of nabij een waterkering uitvoeren Anders	07-07-2023	In behandeling

Naam bijlage	Bestandsnaam	Type	Datum ingediend	Status document
elen_kabeltrace_ond- er_waterschapsweg_pdf	Bijlage 9 Situatietekening en dwarsprofielen kabeltrace onder waterschapsweg-.pdf	Situatietekening, kaart of foto Gegevens waterstaatswerk of beschermingszone gebruiken Gegevens kabels of leidingen aanleggen Gegevens overige activiteiten in of nabij een oppervlaktewaterlichaam uitvoeren Gegevens activiteiten in, op of nabij een waterkering uitvoeren Anders	07-07-2023	In behandeling

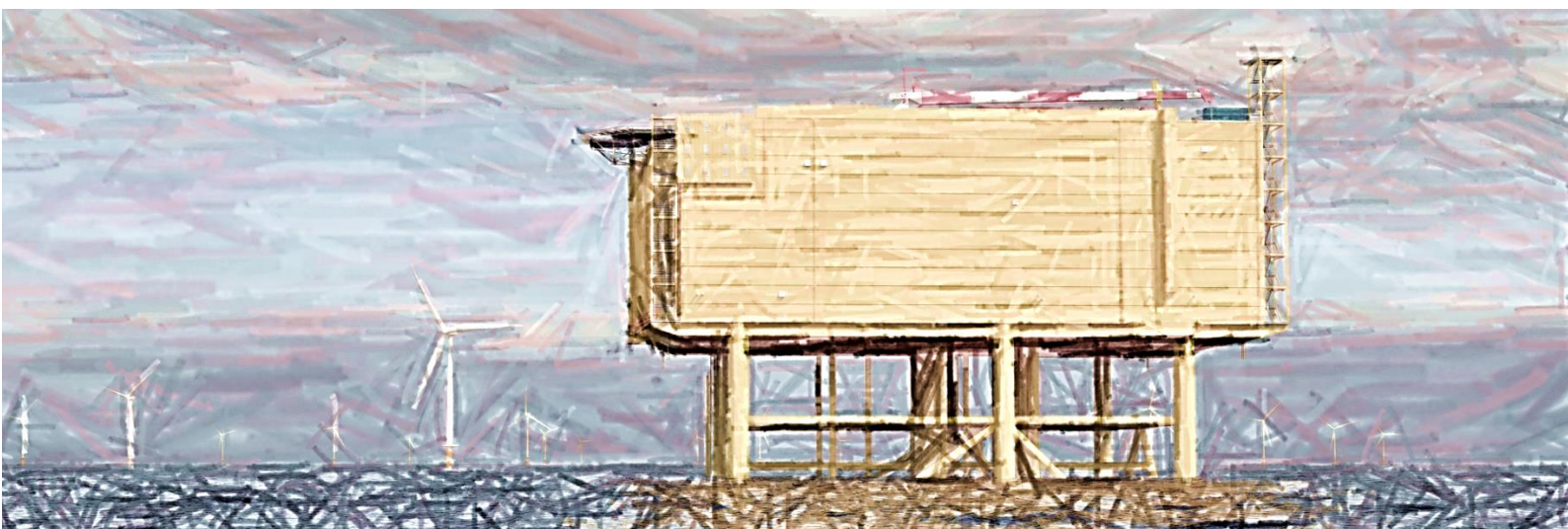


# Net op Zee – Nederwiek 1

## **Aanvraag watervergunning Waterschap Scheldestromen**

Bijlage 1: Toelichting op de aanvraag

# Toelichting op de aanvraag watervergunning Net op zee Nederwiek 1 - beheergebied Waterschap Scheldestromen



Datum: 05-07-2023  
Versienummer: 1.0  
Status: Definitief

In opdracht van:



# INHOUDSOPGAVE

1.	Inleiding.....	2
1.1	Aanleiding en achtergrond.....	3
1.1.1	Nut en noodzaak windenergie op zee .....	3
1.2	Hoofdlijnen van de voorgenomen activiteit .....	6
1.3	Vergunningstermijn .....	7
1.4	Beschrijving van de werkzaamheden.....	8
1.4.1	Inleiding en reikwijdte aanvraag.....	8
1.4.2	Route kabeltracé op land.....	8
1.4.3	Converterstation.....	11
1.4.4	Planning en aanlegwijze.....	13
2.	Vergunningplichtige activiteiten en wettelijke grondslag .....	21
2.1	Inleiding.....	21
2.2	Waterkeringen en beschermingszones.....	21
2.3	Oppervlaktewateren en beschermingszones .....	22
2.4	Wegen in beheer bij het waterschap.....	23
2.5	Conclusie .....	23
3.	Toelichting vergunningplichtige activiteiten.....	24
3.1	Kruisingen primaire & regionale waterkeringen.....	24
3.2	Parallelligging in beschermingszones primaire en regionale waterkeringen .....	25
3.3	Kruisingen oppervlaktewaterlichamen en parallelligging beschermingszones.....	25
3.4	Uitstroomvoorziening naar oppervlaktewaterlichaam (watergang).....	26
3.5	Aanleg in-uitritten in beschermingszone A van waterkering.....	27
3.6	Dammen en duikers in watergang .....	27
3.7	Werkzaamheden bij/in wegen in beheer bij het waterschap.....	27
3.8	Effecten voorgenomen activiteit op de waterstaatswerken .....	28
3.8.1	Waterkeringen .....	29
3.8.2	Watergangen .....	30
3.8.3	Wegen.....	30
4.	Gegevens en bescheiden .....	32
	Colofon.....	33

# 1. Inleiding

Voor u ligt de toelichting bij de aanvraag voor een watervergunning (hierna; vergunning) voor de realisatie van een kabeltracé op land en een converterstation. Het kabeltracé op land en het converterstation zijn onderdeel van het project Net op zee Nederwiek 1 dat voorziet in de aansluiting van windturbines op de Noordzee binnen het windenergiegebied Nederwiek 1, op het landelijke hoogspanningsnet. In Figuur 1-1 worden de verschillende onderdelen van het project op kaart weergegeven. Dit project wordt verder in voorliggend document Net op zee Nederwiek 1 genoemd.



Figuur 1-1 Net op zee Nederwiek 1

## 1.1 Aanleiding en achtergrond

### Nut en noodzaak windenergie op zee

Windenergie is een duurzame vorm van energieopwekking. Er zijn twee belangrijke redenen voor het opwekken van duurzame energie. De eerste is het tegengaan van klimaatverandering. Duurzame energie kan dienen als vervanging van energie uit fossiele bronnen. De energieopwekking met fossiele brandstoffen leidt tot uitstoot van broeikasgassen onder meer het broeikasgas CO<sub>2</sub>. Toename in CO<sub>2</sub> is een belangrijke oorzaak van opwarming van de atmosfeer en daarmee samenhangende klimaatverandering. De tweede reden is dat fossiele energiebronnen eindig zijn en Nederland steeds meer energie importeert uit het buitenland. Door zelf duurzame energie op te wekken, wordt Nederland minder afhankelijk van deze import. De productie van hernieuwbare energie in Nederland is in september 2022 met 20% gestegen ten opzichte van 2021.<sup>1</sup>

Samen met de al gerealiseerde windparken uit de Routekaart windenergie op zee 2023, is er op grond van eerder kabinetsbesluit en het Klimaatakkoord in de huidige Routekaart windenergie op zee 2030<sup>2</sup> in totaal 10,8 GW aan operationele windcapaciteit in voorbereiding voor het jaar 2030.

Meerdere recente ontwikkelingen maken de realisatie en aansluiting van extra windenergie op zee voor uiterlijk 2030 noodzakelijk. Dit wordt ook wel de ‘versnellingsopgave’ genoemd. De versnellingsopgave was nodig omdat:

- In 2020 is gebleken dat de huidige plannen niet genoeg energie opleveren om de Nederlandse doelstelling uit het Klimaatakkoord voor windenergie op zee in 2030 te halen. Voor het bereiken van 49% CO<sub>2</sub>-reductie in 2030 is er nog een tekort van 0,7 GW.
- De vraag naar elektriciteit is toegenomen. De industrie laat in hun verduurzamingsopgave een toegenomen behoefte aan elektrificatie zien. De vraag naar duurzame elektriciteit wordt daardoor hoger dan eerder werd verwacht.
- De Europese Unie heeft het CO<sub>2</sub>-reductiedoel in april 2021 opgehoogd van 40% naar 55% reductie van CO<sub>2</sub>-uitstoot ten opzichte van de uitstoot in 1990. Deze doelstelling is overgenomen in het coalitieakkoord. Ondertussen wil het kabinet beleid voeren op 60% emissiereductie in 2030. Het coalitieakkoord zet in op extra wind op zee.

Door deze versnellingsopgave zijn in 2030 extra windparken en netten op zee nodig, maar ook voor de periode daarna. Volgens de Stuurgroep Extra Opgave is 10 GW aan windenergie op zee nodig om 55% CO<sub>2</sub>-reductie te kunnen behalen. Aansluitend hierop verzoekt de motie-Boucke<sup>3</sup> het kabinet om in 2021 minimaal ruimte voor 10 GW windenergie op zee aan te wijzen. Er is tot en met 2030 dus extra ruimte nodig voor 10,7 GW windenergie op zee – het tekort van 0,7 GW en de 10 GW aan extra vermogen. De nieuwe windenergiegebieden spelen een belangrijke rol in het halen van de klimaatdoelstellingen.

---

<sup>1</sup> Zie: [Hernieuwbare productie 20 procent hoger | Nieuwsbericht | Klimaatakkoord](#)

<sup>2</sup> Voor Routekaart Windenergie op zee 2030, zie: [Structuurvisie Windenergie op Zee \(SV WoZ\) | Tweede Kamer der Staten-Generaal](#)

<sup>3</sup> Kamerstukken II 2020-21, 35 668, nr. 21.

In het Programma Noordzee 2022-2027 (PNZ)<sup>4</sup>, een bijlage van het Nationaal Water Programma 2022-2027, zijn nieuwe windenergiegebieden aangewezen, waaronder windenergiegebied Nederwiek (daarvoor genaamd windenergiegebied 1). Dit is bevestigd in de brief van de minister voor Klimaat en Energie van 21 juni 2022 aan de Tweede Kamer.<sup>5</sup> Met deze brief is:

- De ‘Routekaart windenergie op zee 2030’ aangevuld voor de versnellingsopgave: hierin staat welke (delen van de) nieuwe windenergiegebieden wanneer ontwikkeld gaan worden.
- Het ‘Ontwikkelkader windenergie op zee’ geactualiseerd op basis van de versnellingsopgave en vormt daarmee de uitvoering van de aanvullende routekaart windenergie op zee 2030.

### Extra aanlandingen wind op zee en VAWOZ

Extra windenergie op zee betekent ook extra elektriciteitsaansluitingen op land. In de Verkenning aanlanding wind op zee (VAWOZ) wordt samen met belanghebbenden onderzocht wat kansrijke opties voor aansluitingen tussen windenergiegebieden op zee en aansluitlocaties op land zouden kunnen zijn. De VAWOZ heeft betrekking op twee perioden, die aansluiten op elkaar:

- VAWOZ 2030 met de (versnellings-)mogelijkheden voor extra aansluitingen in de periode tot en met 2030.
- VAWOZ 2031-2040, met de mogelijkheden voor aansluitingen in de periode van 2031 tot 2040.

Het doel van VAWOZ 2030<sup>6</sup> is om te bepalen welke locaties kansrijk zijn voor de aanlanding van extra elektriciteit uit windenergie uiterlijk in het jaar 2030. De verkenning brengt de kansen en knelpunten in beeld voor de verschillende tracéopties tussen de windenergiegebieden en aansluitlocaties. Uit de verkenning volgen ook tracéopties die misschien niet kansrijk zijn voor de periode tot en met 2030 (vanwege planning of uitvoerbaarheid met huidige technieken), maar dat mogelijk wel zijn voor de periode 2031-2040.

De VAWOZ 2030 is in december 2021 afgerond. Op basis daarvan heeft de minister van Economische Zaken en Klimaat (EZK)<sup>7</sup> op 2 december 2021<sup>8</sup> een brief aan de Tweede Kamer geschreven. In die brief is het startschot gegeven voor de ruimtelijke procedures voor het aan land brengen van windenergie met stroomkabels vanuit de windenergiegebieden die zijn aangewezen of herbevestigd in het PNZ.

In juni 2022 Publiceerde het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) de aanvullende Routekaart Windenergie op zee 2030, met hierin de nieuwe windenergiegebieden: Nederwiek, Lagelander en Doordewind. In Figuur 1-2 is de Routekaart Windenergie op zee weergegeven.

<sup>4</sup> Het Programma Noordzee 2022-2027 is vastgesteld op 18 maart 2022, zie: [Programma Noordzee 2022-2027 - Noordzeeloket](#)

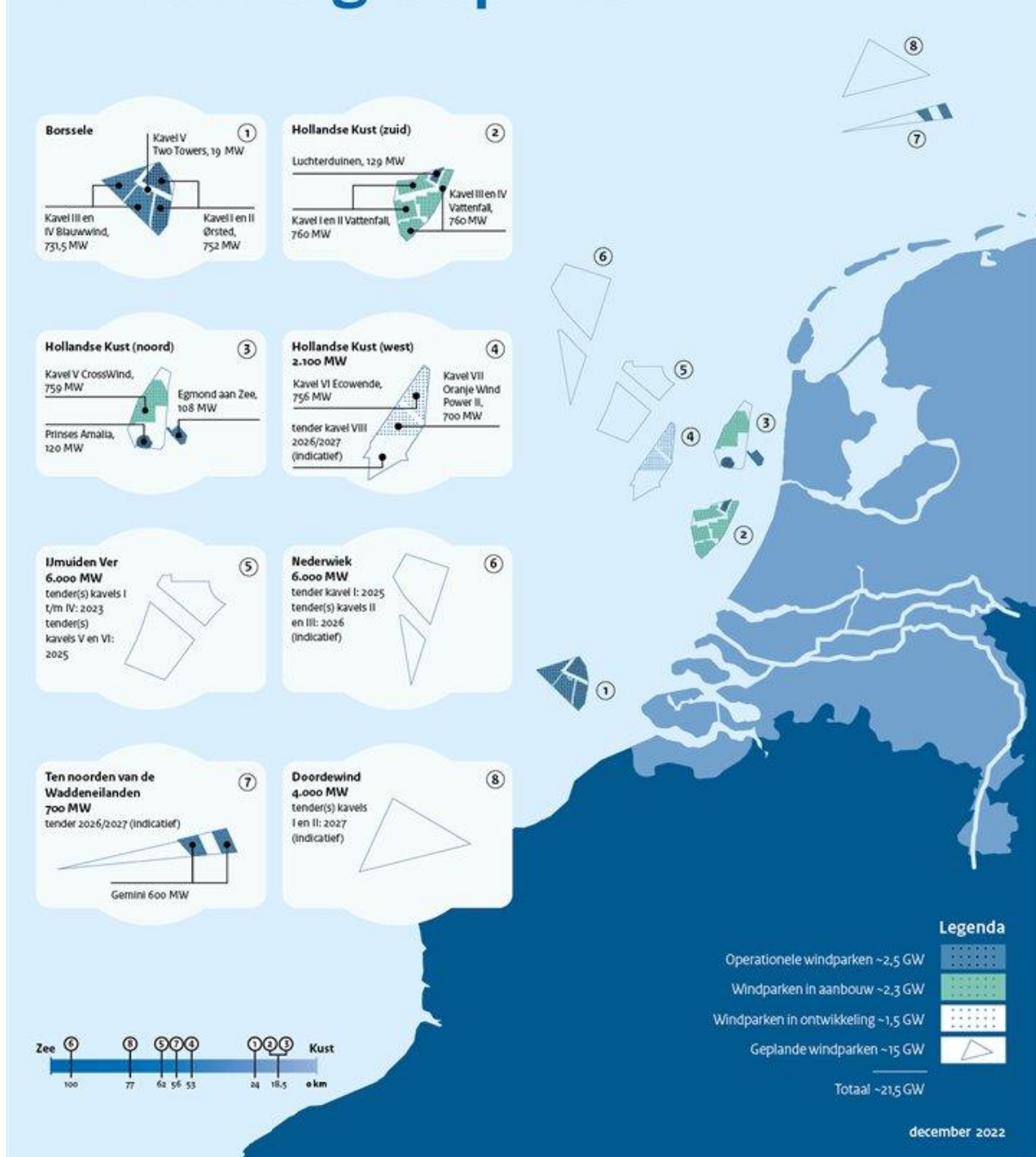
<sup>5</sup> Voor aanvullende Routekaart windenergie op zee 2030 en aanpassing Ontwikkelkader windenergie op zee, zie: [Kamerbrief aanvullende routekaart windenergie op zee 2030 | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl](#)

<sup>6</sup> Voor VAWOZ 2030, zie: [Verkenning aanlanding wind op zee \(VAWOZ\) \(rvo.nl\)](#)

<sup>7</sup> In het huidige kabinet is er een minister voor Klimaat en Energie en een minister van Economische Zaken en Klimaat.

<sup>8</sup> Voor Kamerbrief over verkenning aanlanding wind op zee 2030, zie: [Kamerbrief over verkenning aanlanding wind op zee 2030 | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl](#)

# Routekaart Windenergie op zee



Figuur 1-2 Routekaart windenergie op zee (Bron: RVO)

TenneT heeft onder de Elektriciteitswet de wettelijke taak het hoogspanningsnet op land en zee te realiseren en te beheren<sup>9</sup>. Hieronder vallen ook de verbindingen voor het transport van elektriciteit, die wordt opgewekt in de huidige en toekomstige windenergiegebieden op zee, naar het hoogspanningsnet op land. TenneT is daarbij onder meer verantwoordelijk voor het voorbereiden van planologische besluiten en vergunningaanvragen.

De omvang van het windenergiegebied en de aansluiting van TenneT zijn op elkaar afgestemd. Het Net op zee Nederwiek 1 levert een bijdrage aan de energietransitie in Nederland door op doelmatige wijze de in het windenergiegebied opgewekte duurzame elektriciteit naar het Nederlandse hoogspanningsnet te transporteren. De huidige aanpak van TenneT voor de netten op zee-verbindingen is om deze integraal en gecoördineerd te realiseren. Om nu te kiezen voor een integrale en gecoördineerde aanpak is er een verbeteringslag gemaakt ten opzichte van het realiseren van individuele aansluitingen per windparkontwikkelaar. Door de investeringen in infrastructuur op zee bij TenneT te bundelen ontstaan synergievoordelen voor financiering, inkoop, standaardisatie en kennisontwikkeling. Daarnaast leidt de gekozen aanpak tot lagere maatschappelijke kosten en een kleinere impact op de leefomgeving.

Om een tijdige realisatie van de windparken te kunnen faciliteren, dient het Net op zee Nederwiek 1 uiterlijk in 2030 in bedrijf te zijn.

## 1.2 Hoofdpijnen van de voorgenomen activiteit

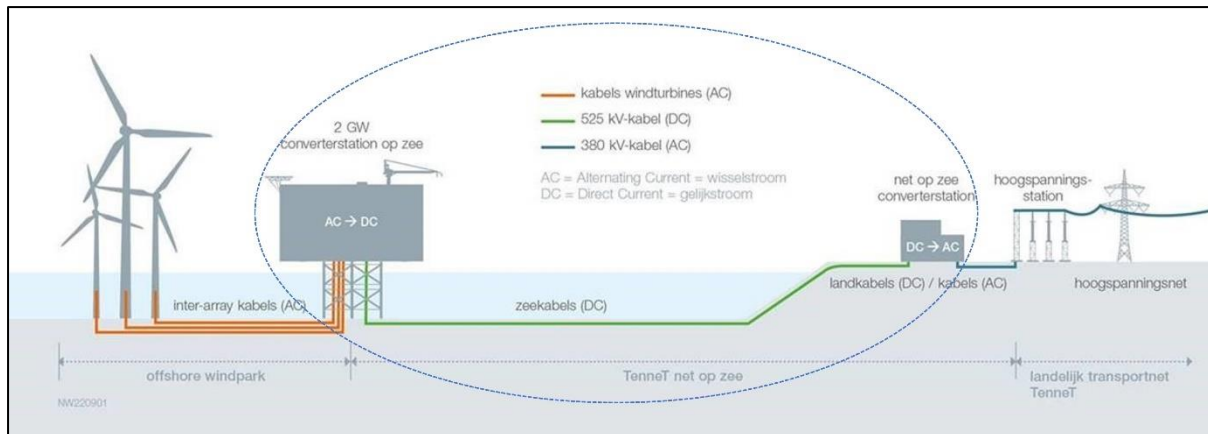
### Net op zee Nederwiek 1, 2 en 3

In windenergiegebied Nederwiek worden windparken met een totaal vermogen van 6 GW gerealiseerd. Om deze windparken aan te sluiten op het hoogspanningsnet, zijn er drie ondergrondse verbindingen met elk een vermogen van 2 GW naar land nodig. Naast Net op zee Nederwiek 1, met aansluiting in Borsele, wordt ook Net op zee Nederwiek 2 met een aansluiting op de Maasvlakte voorbereid. Voor Net op zee Nederwiek 2 wordt een aparte procedure doorlopen, gelijktijdig aan de procedure voor Net op zee Nederwiek 1 (met definitieve vergunningaanvragen in juli 2023). De procedure voor de derde verbinding, Net op zee Nederwiek 3, is later opgestart. De indiening van vergunningaanvragen voor dat project is voorzien na de vergunningsaanvragen van Net op zee Nederwiek 1 en 2.

De windturbines in het windenergiegebied Nederwiek 1 worden direct aangesloten op een converterplatform (hierna; platform) op zee in het windenergiegebied. Het platform wordt met 525 kilovolt (kV)-gelijkstroomkabels (hierna; kabeltracé) aangesloten op een converterstation op land. In dit converterstation wordt de gelijkstroom omgezet in wisselstroom. Figuur 1-3 geeft een schematische weergave van de onderdelen van het Net op zee Nederwiek 1.

<sup>9</sup> In Nederland wordt het hoogspanningsnet, dat zijn alle kabels (ondergronds) en lijnen (bovengronds) van 110 kV en hoger, vanaf 1 januari 2008 door TenneT beheerd.





Figuur 1-3 Onderdelen project Net op zee Nederwiek 1 loopt van het platform op zee tot de aansluiting op het converterstation

Het Net op zee Nederwiek 1 bestaat uit de volgende onderdelen:

- Een platform op zee voor de aansluiting van de windturbines en het omzetten van wisselstroom (afkomstig van de windturbines) naar 525kV-gelijkstroom<sup>10</sup>;
- Een ondergronds gebundeld kabeltracé op zee en het Veerse Meer voor het transport van 525kV-gelijkstroom;
- Een ondergronds gebundeld kabeltracé op land voor het transport van 525kV-gelijkstroom naar het converterstation;
- Een converterstation op land voor het omzetten van 525kV-gelijkstroom naar 380kV-wisselstroom, dat geschikt is voor het landelijke hoogspanningsnet.

Wanneer in onderhavig document gesproken wordt over de voorgenomen activiteiten Net op zee Nederwiek 1 dan omvat dat de bovenstaande onderdelen. Het converterstation wordt met ondergrondse 380kV-kabels (wisselstroom) aangesloten op een nieuw te realiseren hoogspanningsstation in het Sloegebied, gemeente Borsele. De 380kV-verbinding naar het nieuwe hoogspanningsstation en de realisatie van het nieuwe hoogspanningsstation is geen onderdeel van de scope van Nederwiek 1<sup>11</sup>. Ook de windturbines en de parkbekabeling van de windturbines naar het platform op zee maken geen onderdeel uit van het Net op zee Nederwiek 1.

Onderhavige aanvraag heeft betrekking op het kabeltracé op land vanaf het Veerse Meer richting Borsele en het converterstation op een braakliggend perceel op een industrieterrein aan de Liechtensteinweg in de gemeente Borsele.

### 1.3 Vergunningstermijn

De vergunning wordt aangevraagd voor de aanleg en instandhouding van de kabels en het converterstation. De uitvoering van de werkzaamheden voor het project is globaal voorzien van 2024 tot en met 2030.

<sup>10</sup> Gelijkstroom verliest over langere transportafstand minder energie dan wisselstroom.

<sup>11</sup> Voor onder meer de aansluiting van Net op zee Nederwiek 1 is een nieuw 380kV-hoogspanningsstation op land nodig. In VAWOZ is vastgesteld dat hiervoor voldoende fysieke ruimte beschikbaar is in/nabij het Sloegebied. Voor het nieuwe 380kV-station wordt een aparte procedure doorlopen genaamd 'Hoogspanningsstation omgeving Sloegebied'. Het hoogspanningsstation en het AC-kabeltracé is dus geen onderdeel van onderhavige aanvraag.

## 1.4 Beschrijving van de werkzaamheden

### 1.4.1 Inleiding en reikwijdte aanvraag

Het kabeltracé van Nederwiek 1 loopt vanaf het platform op zee in zuidelijke richting naar de Veerse Gatdam. Vanaf de oostelijke zijde van de Veerse Gatdam zal het kabeltracé door het Veerse Meer lopen en komt aan land aan de oever van het Veerse Meer ten westen van Haven de Piet. Vanaf de oever van het Veerse Meer loopt het kabeltracé richting het converterstation bij Borsele, in het Sloegebied (zie Figuur 1-1).

Onderhavige aanvraag heeft betrekking op het kabeltracé op land en het converterstation. Het betreft het gedeelte van het kabeltracé op land na de kruising van de Veerse Gatdam. Vervolgens betreft het gedeelte van het kabeltracé op land beginnend bij de oever van het Veerse Meer (ten westen van haven De Piet) tot aan het converterstation bij Borssele. Tot slot betreft het ook de aanlegwerkzaamheden voor het converterstation.

Het kabeltracé op land wordt waar mogelijk aangelegd middels open ontgraving. Bij kruisingen van het kabeltracé met bijvoorbeeld wegen en andere infrastructuur zal gebruik worden gemaakt van ondergrondse boringen.

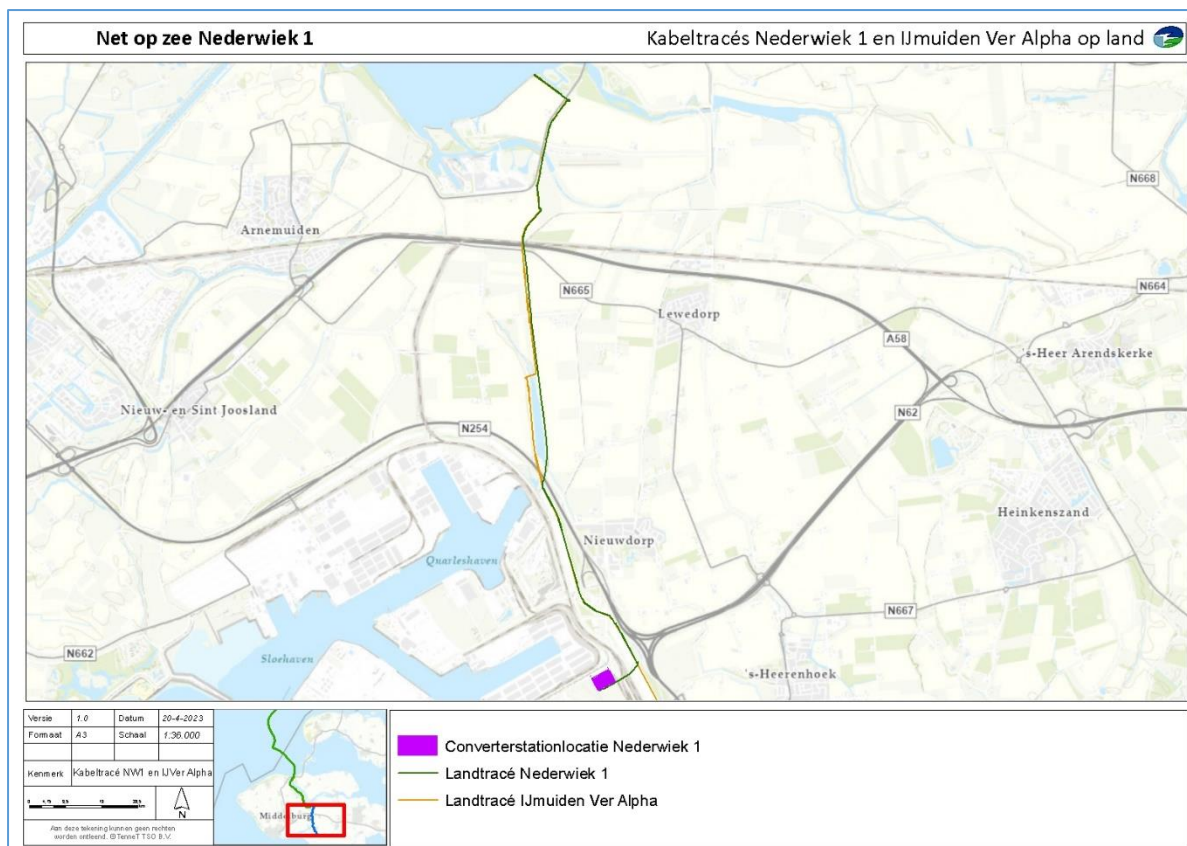
In het vervolg van voorliggend document wordt gerefereerd naar ‘de activiteit’, ‘het initiatief’ of ‘het project’. In de volgende paragraaf is de route van het kabeltracé op land in detail beschreven en de wijze van aanleg. Voor het kabeltracé geldt dat een vergunningszone wordt aangevraagd, waarbinnen de bekabeling in de praktijk wordt aangelegd. In bijgevoegde tracétekeningen (Bijlage 4) wordt voor elk deel van het kabeltracé de vergunningszone aangeven. Vergunning wordt aangevraagd voor het aanleggen van het kabelsysteem binnen deze vergunningszones. Het uitgangspunt is dat de vergunningszone in beginsel 15 meter breed is. Op enkele punten van het kabeltracé is de ruimte voor het aan te leggen kabeltracé beperkt. Voor die delen van het kabeltracé is de vergunningszone voor onderhavige aanvraag kleiner, maar nooit kleiner dan de af te sluiten strook voor de zakelijke recht overeenkomst (ZRO-strook) van 7 meter. Een kleinere vergunningszone dan 15 meter komt voor op plekken waar sprake is van beperkte aanlegruimte door:

- Aanwezige fysieke/ruimtelijke beperkingen (zoals bosschages)
- Aanwezigheid kernzone of beschermingszone A van waterkeringen
- Aanleg kabeltracé onder een bestaande waterschapsweg
- Aanleg kabeltracé in bestaande kabel- en leidingstroken
- Afspraken met derden/ (private) partijen

Eventuele werkwegen en grondwateronttrekking voor de aanlegwerkzaamheden maken geen onderdeel uit van onderhavige aanvraag.

### 1.4.2 Route kabeltracé op land

Het kabeltracé ligt op land richting het Sloegebied bij Borsele vrijwel overal parallel aan het kabeltracé van Net op zee IJmuiden Ver Alpha (zie Figuur 1-4). In bijgevoegde tracétekeningen (Bijlage 4) is het gehele kabeltracé en het converterstation van Net op zee Nederwiek 1 ingetekend ten opzichte van de Legger van Waterschap Scheldestromen. Hierin is tevens aangeven waar langs het kabeltracé boringen worden beoogd.

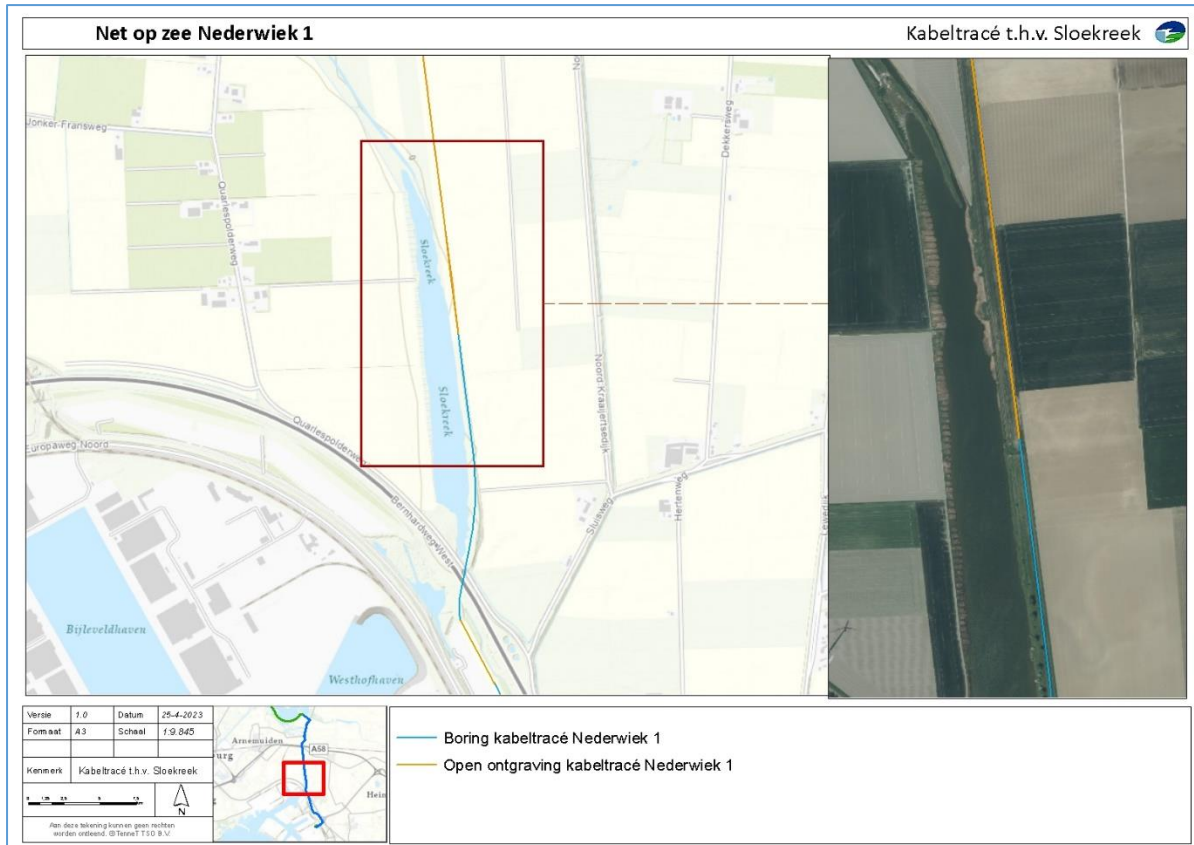


Figuur 1-4 Kabeltracés Nederwiek 1 (groen) en IJmuiden Ver Alpha (oranje) op land

Bij de aanlanding van het kabeltracé aan de zuidzijde van het Veerse Meer is gekozen voor een uittredepunt ten oosten van het Waterpark Veerse Meer en ten westen van haven De Piet. Net op zee Nederwiek 1 ligt hier parallel aan Net op zee IJmuiden ver Alpha. Vanaf dit punt gaat het kabeltracé via de kortste route naar de Muidenweg. De Muidenweg wordt gekruist door middel van een boring. Daarna buigt het kabeltracé af richting het zuiden en komt het langs Vliegveld Midden Zeeland (westzijde). Het kabeltracé van Net op zee Nederwiek 1 blijft haar weg in zuidelijke richting vervolgen parallel aan een watergang, richting de A58. Het kabeltracé loopt hierbij parallel aan de oostkant van Net op zee IJmuiden Ver Alpha. Het kabeltracé kruist vervolgens een regionale waterkering, de A58 en spoorlijn Goes-Middelburg. Ten zuiden van de A58 wordt het kabeltracé onder de bestaande waterschapsweg<sup>12</sup>, naast de oude zeedijk met bunkers daarin, aangelegd richting het zuiden.

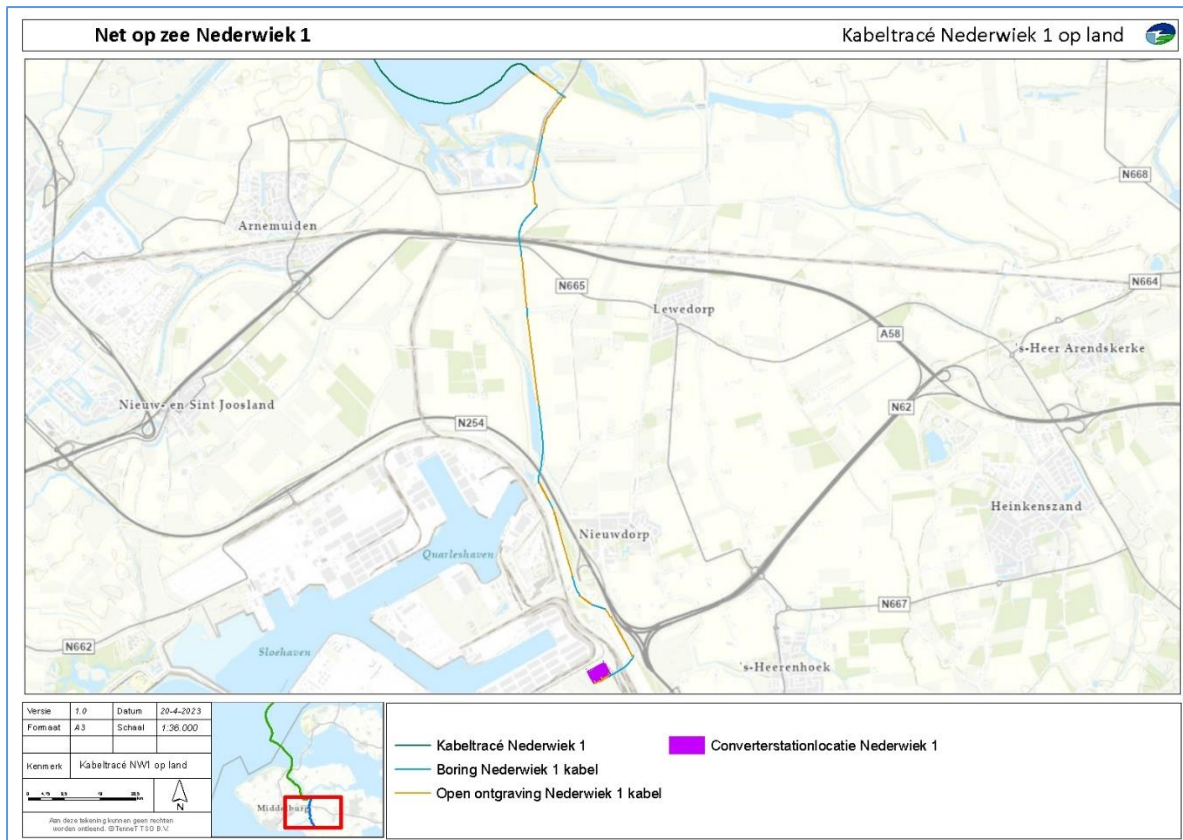
Na de weg Zeedijk van de Jacobapolder kruist het kabeltracé de Oude Veerweg middels een boring. Tussen de Oude Veerweg en de N254 bevindt zich de Sloekreek. Het kabeltracé loopt hier parallel ten oosten van de Sloekreek in de dijk. Het kabeltracé van Nederwiek 1 gaat na een stuk open ontgraving in de voormalige (zee)dijk naast de Sloekreek met een boring verder richting de Sloehaven (zie Figuur 1-5). Het kabeltracé van Net op zee IJmuiden Ver Alpha ligt ten westen van de Sloekreek.

<sup>12</sup> Het gaat hier om de Zeedijk van Jacobapolder, een weg dat ten zuiden van de A58 ligt en in het beheer is van waterschap Scheldestromen.



Figuur 1-5 Situatietekening tussen Oude Veerweg en Bernhardweg-West (t.h.v. Sloekreek)

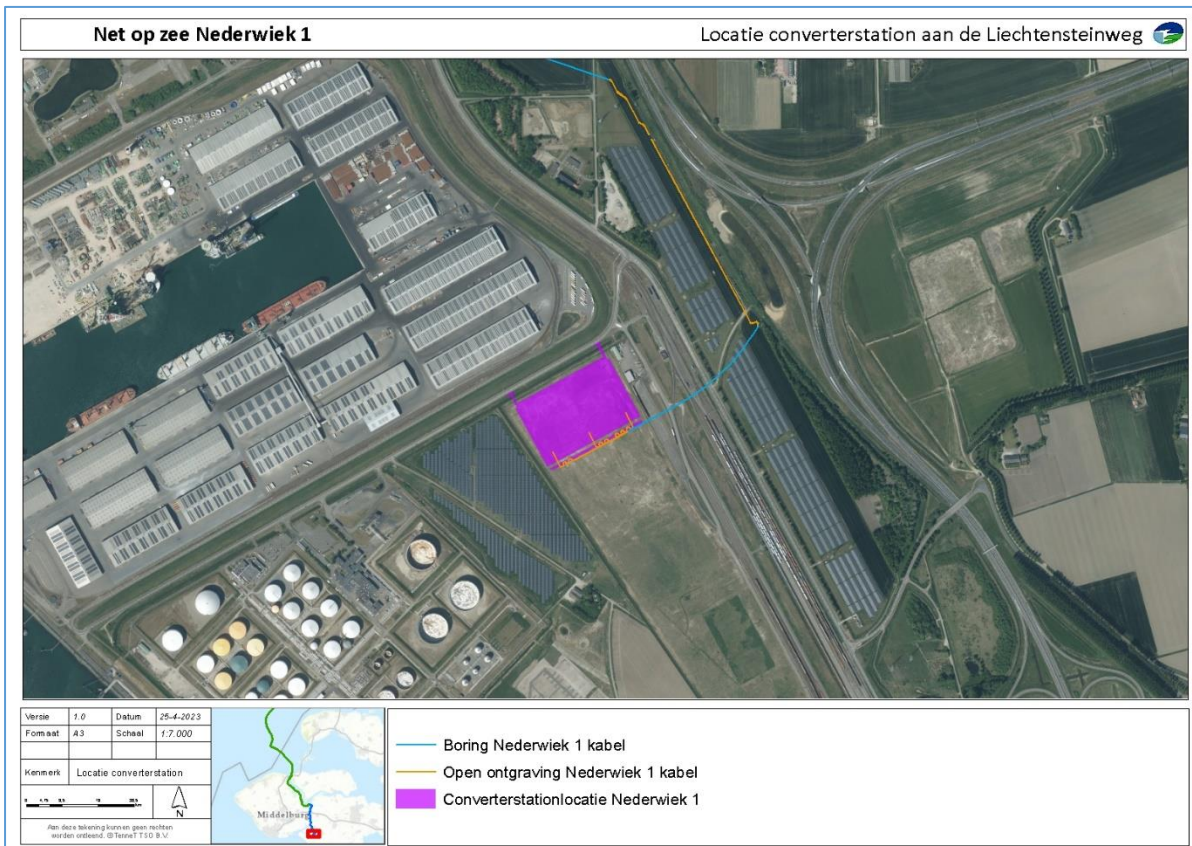
Het kabeltracé wordt vervolgens onder de N254 en regionale waterkering (scheidingsdijk tussen dijkkring 29 en dijkkring 30) doorgeboord. Na deze boring komt het kabeltracé van Net op zee Nederwiek 1 in de aangewezen kabel – en leidingenstrook terecht. Het kabeltracé loopt hier tussen de Bernhardweg West en de Europaweg Noord (tussen twee waterkeringen in). Hier is nog ruimte voor een kabeltracé parallel aan Net op zee IJmuiden Ver Alpha. Op sommige plekken zijn aanlegwerkzaamheden voorzien in de beschermingszone B van de waterkeringen. Na de kabel- en leidingstrook wordt het kabeltracé aangelegd door middel van een boring naar de locatie voor het converterstation aan de Liechtensteinweg. Deze boring kruist een bestaande spoorweg. De volledige route van het kabeltracé op land van Net op zee Nederwiek 1 vanaf de aanlanding bij haven de Piet tot aan het converterstation is weergegeven in Figuur 1-6. Hierin zijn ook de locaties van de boringen en open ontgravingen te zien langs het kabeltracé.



Figuur 1-6 Kabeltracé op land van Net op zee Nederwiek 1

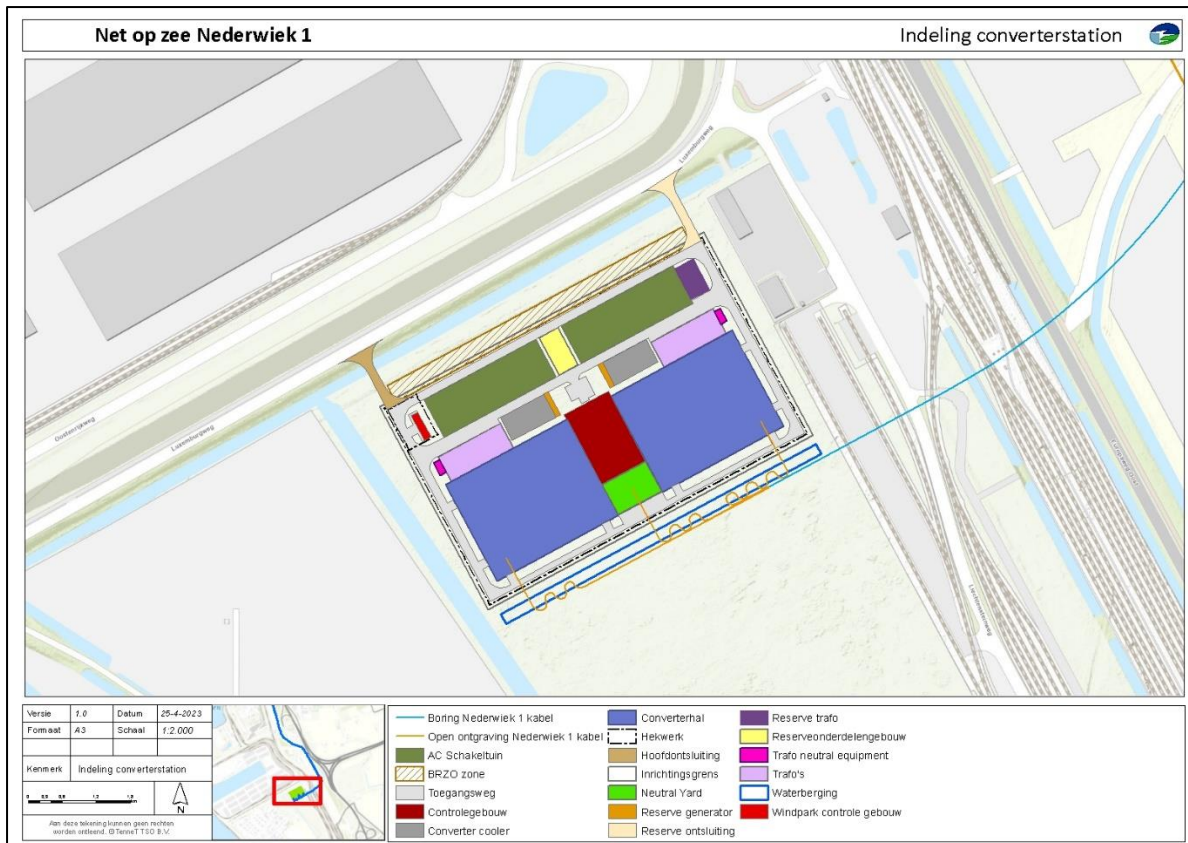
### 1.4.3 Converterstation

Het converterstation wordt gerealiseerd op een plot aan de Lichtensteinweg (zie Figuur 1-7). De omvang van het station is circa 4,2 hectare. Het totale converterstationterrein (incl. waterberging) is circa 4,5 hectare.



Figuur 1-7 Locatie converterstation aan de Liechtensteinweg

Het controlegebouw in het midden van het plot is circa 56 x 35 x 18 meter (lengte x breedte x hoogte). Onder dit gebouw wordt een kelder aangelegd. Deze gaat de grond in tot circa 3,5 meter (gemeten vanaf het opgehoogde niveau) en heeft een oppervlakte van circa 2.000 m<sup>2</sup>. Daarnaast komt er mogelijk ook een kelder onder het *third party building* tot maximaal 3,5 meter diep (gemeten vanaf het opgehoogde niveau) met een oppervlakte van 140 m<sup>2</sup>. In Figuur 1-8 zijn al de onderdelen van het converterstation ingetekend.



Figuur 1-8 Indeling converterstation

Ten westen en noorden van het converterstation liggen watergangen. De minimale afstand tussen het hek van het converterstation en de insteek van de watergangen is circa 7,5 meter. Over de noordelijke watergang worden in- en uitritten gerealiseerd.

Het converterstation is onbemand wanneer het in werking is, en kan op afstand worden bediend. De transformatoren worden binnen geplaatst.

Bij het converterstation wordt een waterberging/infiltratie voorziening gerealiseerd<sup>13</sup>. Hemelwater dat op het verhard oppervlak van het converterstation terrein neerslaat wordt via de waterberging in de bodem geïnfiltreerd<sup>14</sup>. Bij extreme neerslag kan het voorkomen dat de inhoud van de waterberging niet groot genoeg is om het hemelwater te kunnen bergen. Voor deze omstandigheden wordt er een uitstroomvoorziening naar de naastgelegen watergang (oppervlaktewaterlichaam) gerealiseerd.

#### 1.4.4 Planning en aanlegwijze

##### Planning

Het kabeltracé op land wordt aangelegd in de periode tussen 2024 en 2030. Op land wordt het kabeltracé van Net op zee Nederwiek 1 gelijktijdig aangelegd met het kabeltracé voor Net op zee IJmuiden Ver Alpha.

<sup>13</sup> Dit wordt ook wel een WADI voorziening genoemd. WADI staat voor 'Water Afvoer Drainage en Infiltratie'.

<sup>14</sup> Voor het infiltreren van het afvloeiende water in de bodem is een melding Activiteitenbesluit gedaan met als bevoegd gezag de gemeente Borsele.

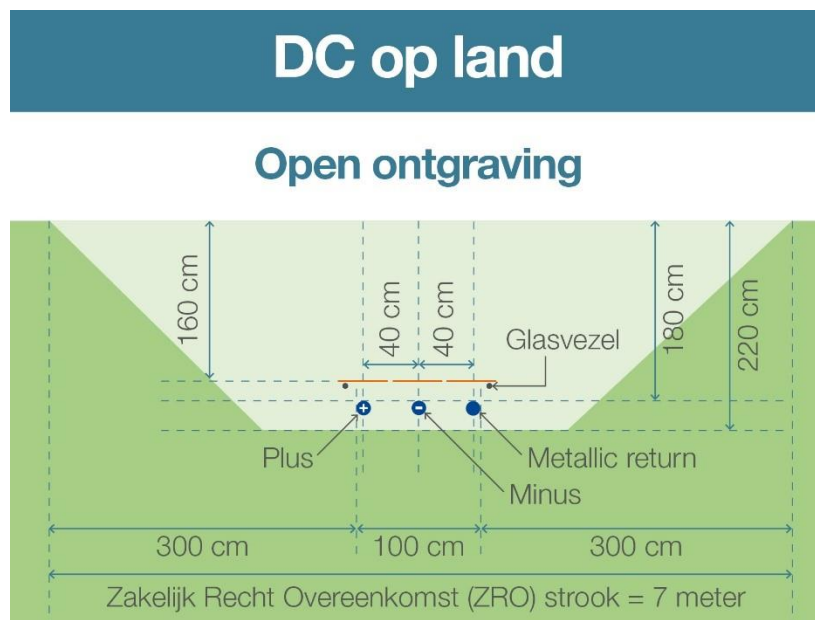
Een aantal bijzonderheden geldt daarbij:

- HDD-boringen bij waterkeringen worden in principe buiten het stormseizoen uitgevoerd, tenzij in overleg met het bevoegd gezag anders wordt overeengekomen.
- Indien aanleg van kabels parallel aan watergangen plaatsvinden in de maaiperiode (augustus-november) vindt overleg plaats met bevoegd gezag over planning en uitvoering zodat beheer en onderhoud van de watergangen verzekerd blijft.

In het werkplan dat door de toekomstig aannemer van TenneT bij u wordt ingediend, wordt de exacte planning gespecificeerd.

### Open ontgraving

Het kabeltracé op land wordt afwisselend door middel van open ontgravingen en boringen aangelegd. De breedte van de sleuf voor de open ontgraving van Net op zee Nederwiek 1 is 7 meter en diepte van de ontgraving is worst-case 220 cm. De sleuf en kabelconfiguratie bij een open ontgraving is weergegeven in Figuur 1-9. Voor de aanleg van de kabels moet rekening gehouden worden met een werkstrook en grondopslag van circa 21 meter breed naast de sleuf. Voor een standaard kabelconfiguratie geldt dat de totale tijdelijke werkstrookbreedte circa 30 meter is, wanneer Net op zee Nederwiek 1 individueel ligt (zie Figuur 1-10). Bij een open ontgraving worden de verschillende bodemlagen apart afgegraven en neergelegd. Na het leggen van de kabel wordt de sleuf weer dichtgemaakt waarbij de oorspronkelijke aardlagen weer in de correcte volgorde worden teruggeplaatst. Indien nodig wordt regen- en/of grondwater uit de sleuf gepompt en in nabijgelegen oppervlaktewater geloosd, in overeenstemming met regels van het waterschap. Naast de sleuf wordt een tijdelijke werkweg aangelegd voor het verplaatsen van zware apparatuur. Waar nodig wordt de bodem en/of weg beschermd met beschermmatten.



Figuur 1-9 Sleuf bij open ontgraving



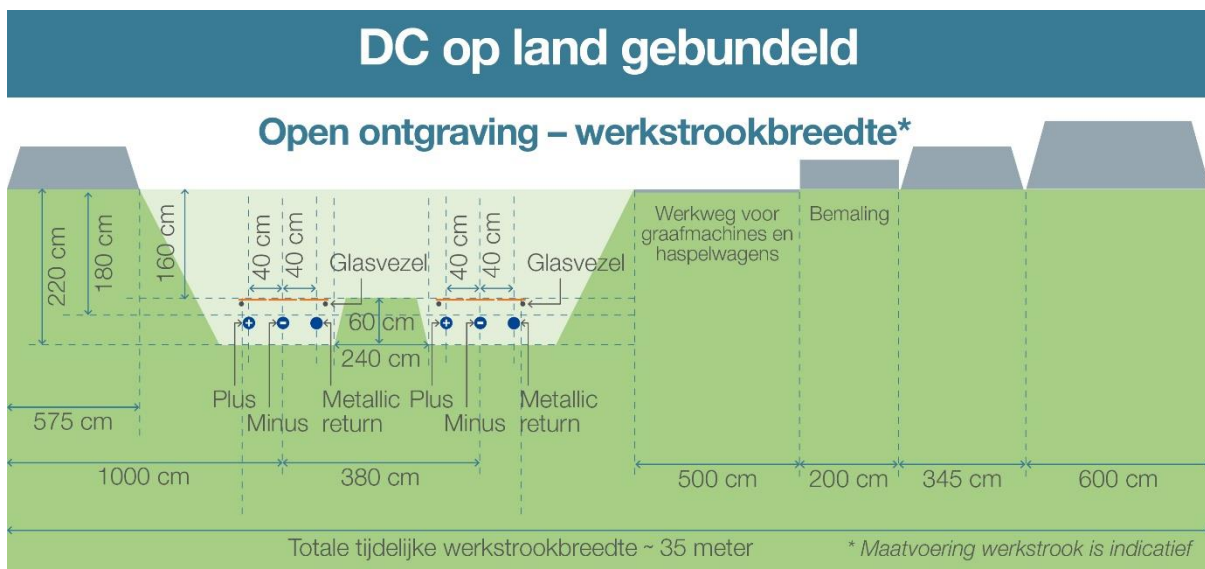


Figuur 1-10 De kabelconfiguratie en werkstrookbreedte bij open ontgraving.

De kabels worden gelegd met rollers, kabelspanners en lieren, en worden op een bodem van opvulzand gelegd. Er volgt een dekking van circa 200 mm van hetzelfde zand en een laag beschermingstegels (vaak rood met waarschuwingstekst). De sleuf wordt direct na het leggen van de kabels afgesloten met de originele grond. Eventuele overtollige grond wordt gelijkmatig over het werkgebied verspreid, waardoor de grond in de toekomst enigszins kan worden verdicht. De verdichting zorgt voor een stabiele bodem en voorkomt bodemdaling op maaiveld. De installatie duurt circa zes tot tien weken per kilometer gelijkstroom-kabel.

#### Parallelligging

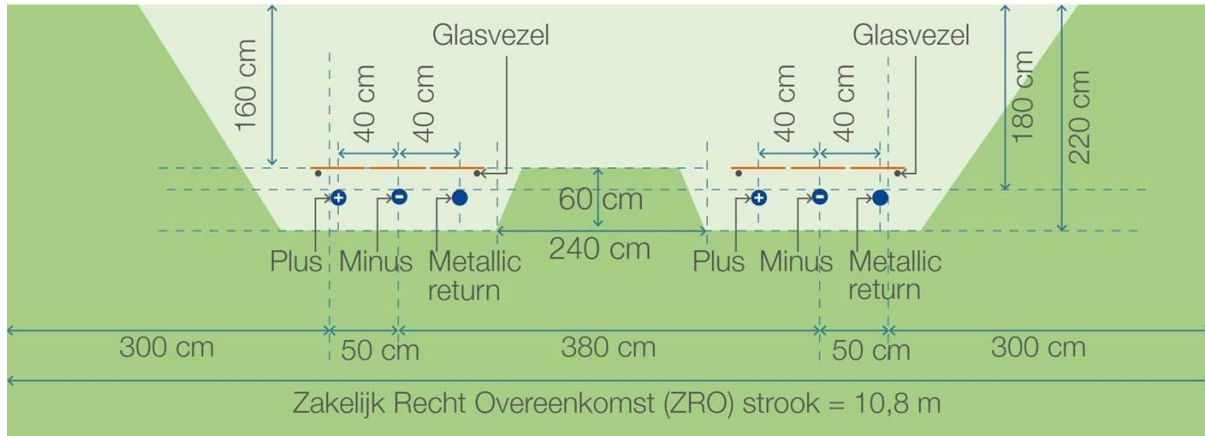
Op plekken waar Net op zee Nederwiek 1 parallel ligt aan Net op zee IJmuiden Ver Alpha is de werkstrookbreedte van een open ontgraving circa 35 meter (zie Figuur 1-11). De ZRO-strook bij parallelligging is circa 11 meter (zie Figuur 1-12). Van deze werkstrookbreedtes kan lokaal worden afgeweken. Tussen de kabels wordt een verhoging/middenstuk geplaatst van 60 x 240 centimeter.



Figuur 1-11: Kabelconfiguratie open ontgraving op land Nederwiek 1 en IJmuiden Ver Alpha

# DC op land

## Open ontgraving IJmuiden Ver Alpha + Nederwiek 1



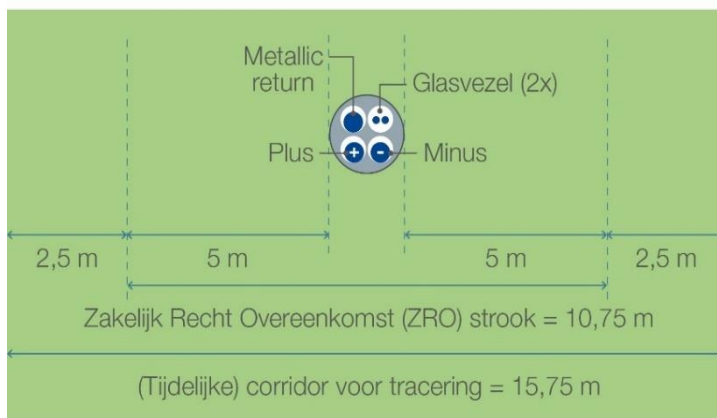
Figuur 1-12 ZRO-strook paralleligging Net op zee IJmuiden Ver Alpha en Net op zee Nederwiek 1

### Boringen

Horizontal directional drilling (HDD), in het Nederlands horizontaal gestuurde boring, is de voorkeursmethode voor uit te voeren boringen. De kabelconfiguratie bij een boring, wanneer de kabels van Net op zee Nederwiek 1 individueel liggen, is weergegeven in Figuur 1-13. De vereiste breedte van de corridor is circa 16 meter. Er wordt een Zakelijk Recht Overeenkomsten (ZRO) afgesloten. De vereiste ZRO-strook is circa 11 meter. De maximale diepte is per boring verschillend, en ligt tussen de 10 en 30 meter beneden NAP (Normaal Amsterdams Peil).

# DC op land

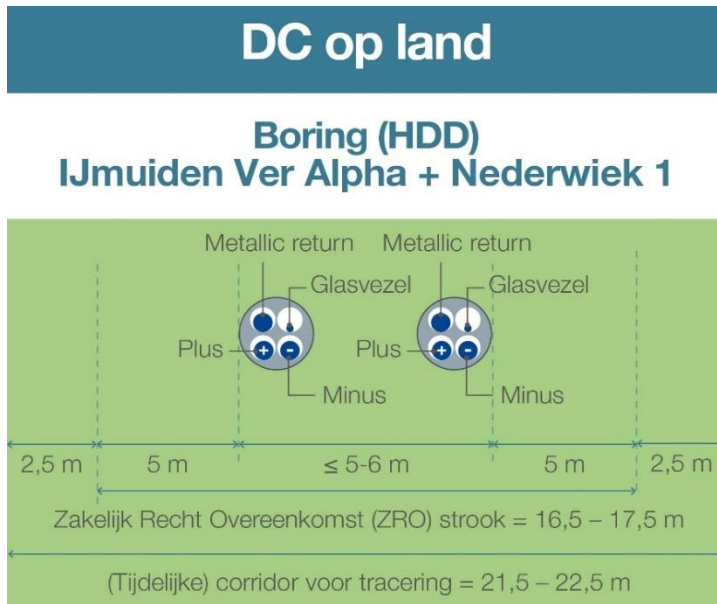
## Boring (HDD)



Figuur 1-13 Kabelconfiguratie boring op land Nederwiek 1.

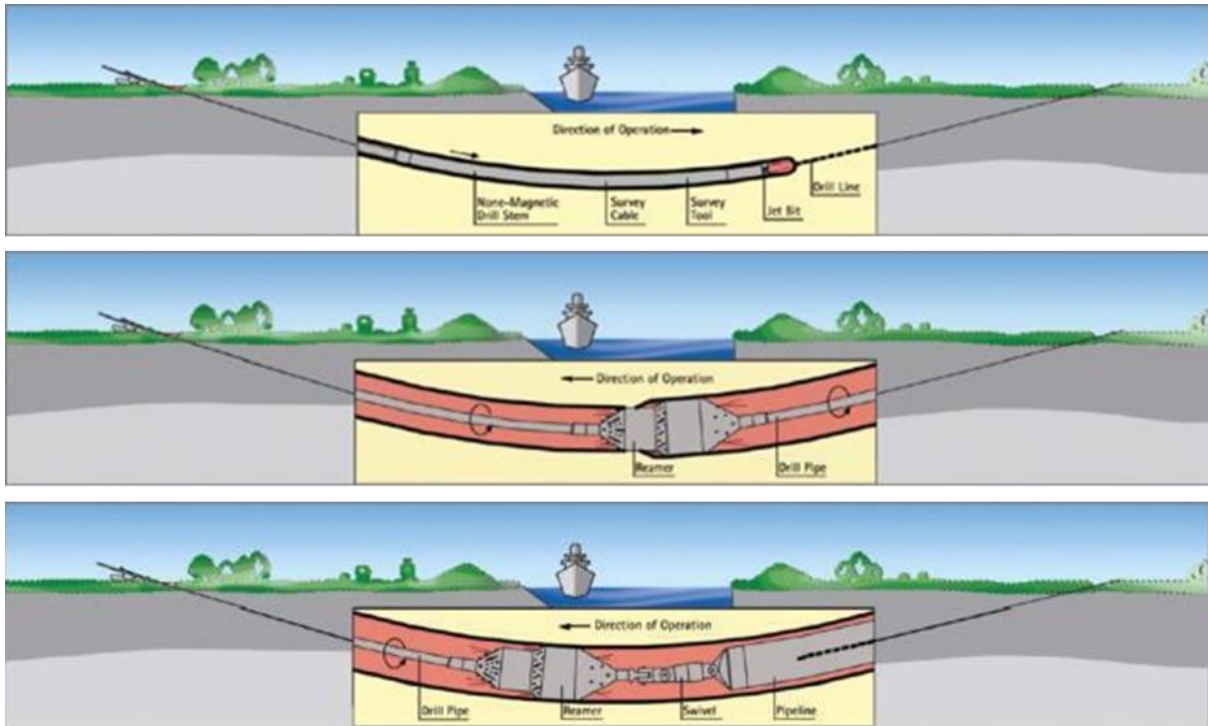
*Parallelligging*

De kabelconfiguratie voor boringen van Nederwiek 1 in parallelligging met Net op zee IJmuiden Ver Alpha is weergegeven in Figuur 1-14. De vereiste breedte van de corridor ligt tussen de 21,5 en 22,5 meter. De vereiste ZRO-strook ligt tussen de 16,5 en 17,5 meter.



*Figuur 1-14: Kabelconfiguratie boring op land Nederwiek 1 en IJmuiden Ver Alpha.*

Een horizontale boring gebeurt in drie stappen (Figuur 1-15). In de eerste stap wordt van het intredepunt naar het uittredepunt geboord. Het boorgat wordt vervolgens uitgeboord door één of meerdere keren een verruimende boor doorheen te trekken. Hierbij wordt een boorvloeistof gebruikt die het geboorde sediment transporteert en ervoor zorgt dat het boorgat stabiel (gevuld) blijft. In de laatste stap wordt een pijp door middel van een speciaal boorhoofd aan de boor verbonden en in het boorgat getrokken. Wanneer de pijp ligt kan die worden schoongemaakt en kunnen de kabels er vervolgens doorheen getrokken worden. De uitvoertijd van 1 boring duurt circa twee weken. De maximale lengte van een boring is 1200 meter vanwege restricties in het kabeltransport.

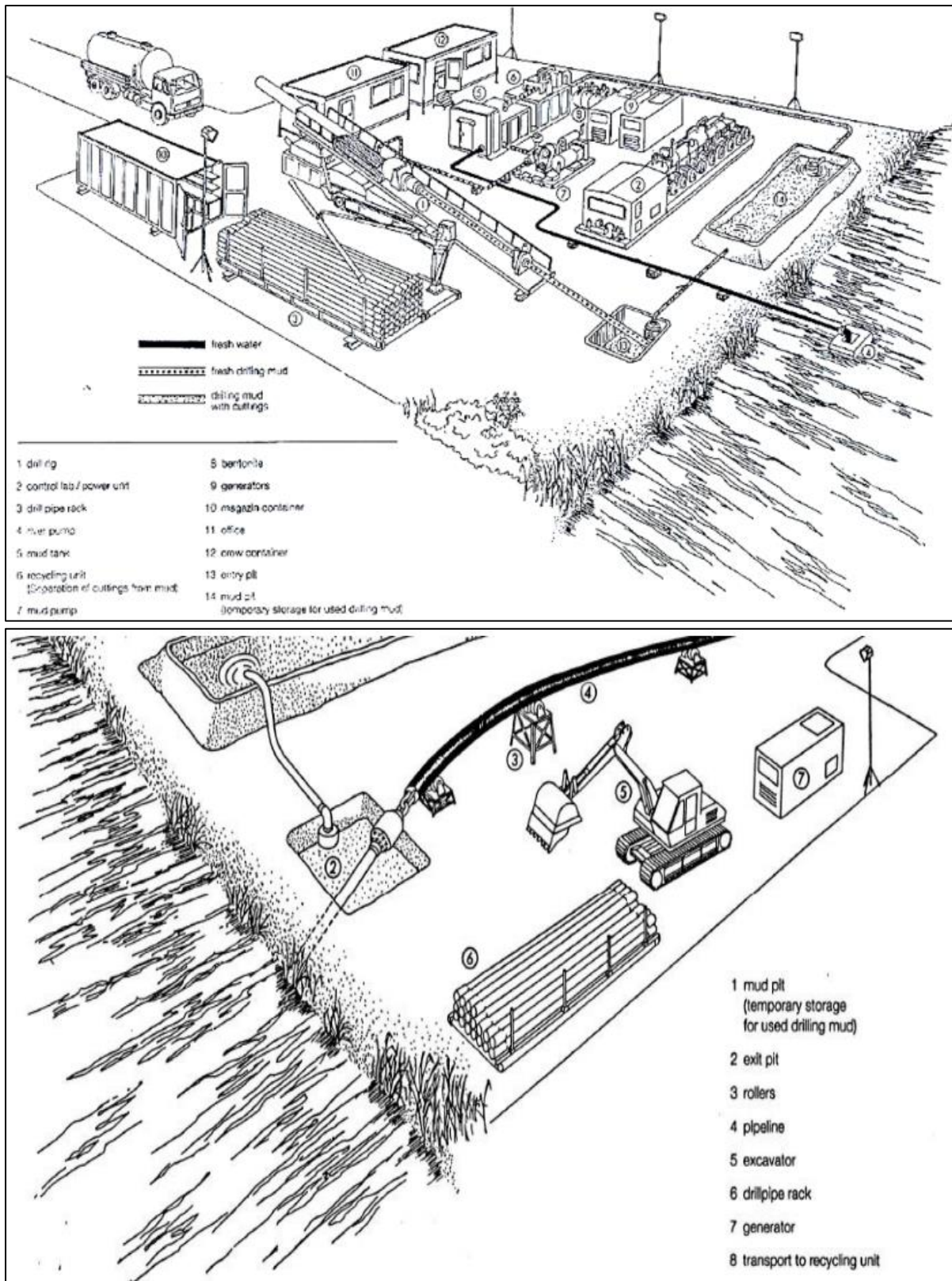


Figuur 1-15 De drie stappen van een horizontale boring.

Rondom de in- en uitredepunten komt een werkterrein voor de booropstelling, uitlegruimte voor de mantelbuizen (pijp) en opslag van materiaal. In Figuur 1-16 is een voorbeeld gegeven van hoe de locatie bij een intredepunt en uitredepunt eruit kan komen te zien.

Tijdens de aanlegfase worden de mantelbuizen gevuld met water en eventueel verstevigd met een uithardende boorvloeistof in de boorgang rondom de mantelbuis. Dit om implosie en nazakking te voorkomen. Door het toepassen van uithardende boorvloeistof in de boorgangen en het afsluiten van de mantelbuizen wordt ook waterstroming en zakking voorkomen. Tijdens de gebruiksfase blijven de mantelbuizen gevuld met water en/of worden deze lucht- en waterdicht afgesloten zodat waterstroming door de mantelbuizen wordt voorkomen.

De benodigde ruimte naast de boorlocatie moet voldoende zijn voor de boorinstallatie zelf en bijbehorende materieel. Het tijdelijke werkgebied bij het in- en uitredepunt is afhankelijk van de lengte en het type boormaterieel. Gebruikelijke afmetingen zijn aangegeven in Tabel 1-1. Voor tijdelijke opslag van leidingsecties inclusief lasruimte is circa 2 hectare benodigd. Ook moet rekening worden gehouden met ruimte voor kranen en rollen.



Figuur 1-16 Voorbeeld van de locatie bij en rondom een HDD in- (boven) en uittredepunt (onder)

Tabel 1-1 Specificatie van benodigde ruimte en materieel voor verschillende HDD-lengtes

HDD-lengte	Ruimte HDD-materieel	Materieel
<500 meter	25 x 30 m = 750 m <sup>2</sup>	100 ton
500-1.000 meter	30 x 50 m = 1500m <sup>2</sup>	100 – 150 ton
>1.000 meter	50 x 50 m = 2500 m <sup>2</sup>	250 ton

### Converterstation

Het terrein waar het converterstation wordt gerealiseerd, hoeft niet vanuit waterveiligheidsoogpunt worden opgehoogd. Het terrein ligt op voldoende hoogte en ligt achter een primaire waterkering en voldoet daarmee aan de normen van TenneT over de acceptabele faalkans van een converterstation. Het terrein is echter niet vlak en moet daarom uitgevlakt worden (geëgaliseerd). Bij het uitvlakken wordt de toplaag van het terrein (50 cm) afgegraven waarna er vervolgens een laag zand (80 cm) terug wordt aangebracht. Na uitvlakken zal de afstand tussen het hek van het converterstation en de insteek van de naastgelegen watergang meer dan 7 meter zijn.

Er worden bij de bouw van het converterstation heipalen tot een diepte tot circa 30 meter diep de bodem in gebracht. Het betreft heipalen met een worst-case oppervlakte van (0,25 m<sup>2</sup>). In totaal zijn er worst-case 2.600 heipalen nodig. Er worden naar verwachting circa 12 palen per dag geheid.

Voor de kelders van het converterstation is het mogelijk dat bemaling nodig is. Indien voor werkzaamheden bemaling is vereist, wordt dit uitgewerkt en waar nodig een vergunning aangevraagd door de betreffende aannemer. De bemaling ten behoeve van de kelders maakt geen onderdeel uit van voorliggende aanvraag.

## 2. Vergunningplichtige activiteiten en wettelijke grondslag

### 2.1 Inleiding

Zoals aangegeven, bestaat het Net op zee Nederwiek 1 uit een kabeltracé dat vanaf het offshore platform wordt aangelegd. Onderhavige aanvraag heeft betrekking op het kabeltracé op land. Dit kabeltracé kruist en ligt parallel met enkele waterkeringen, oppervlaktewateren, beschermingszones en wegen binnen het Keurgebied van het waterschap Scheldestromen. Tevens zijn voor de bouw van het converterstation werkzaamheden voorzien in/aan bestaande watergangen. Onderhavige aanvraag betreft een watervergunningaanvraag op basis van de:

- Keur watersysteem Waterschap Scheldestromen 2012
- Keur wegen waterschap Scheldestromen 2011

Indien voor werkzaamheden bemaling is vereist wordt hiervoor later separaat vergunning aangevraagd door de aannemer.

### 2.2 Waterkeringen en beschermingszones

#### Kabeltracé

De Keur watersysteem geeft aan dat op grond van artikel 4.1 lid 5 verboden is zonder omgevingsvergunning van het dagelijks bestuur gebruik te maken van een waterstaatswerk, niet zijnde een oppervlaktewaterlichaam, door, anders dan in overeenstemming met de functie, daarin, daarop, daarboven, daarover of daaronder werken te plaatsen of te behouden, dan wel te verwijderen. Hieronder is begrepen het aanbrengen, behouden en verwijderen van een kabel onder een waterkering (primair en regionaal).

Daarnaast is het op grond van artikel 4.1 lid 6 niet toegestaan om zonder een vergunning een kabel te plaatsen, behouden en verwijderen binnen de beschermingszone A van een waterkering (primair en regionaal). Voor het plaatsen, behouden en verwijderen van kabels binnen beschermingszone B van een waterkering (primair en regionaal) is het niet toegestaan om zonder een vergunning boringen of afgravingen met een diepte van meer dan 5 meter te verrichten. Zoals aangegeven in paragraaf 1.4.4 zal de afgraving ter hoogte van de delen van het kabeltracé met een open ontgraving niet dieper zijn dan 5 meter, hiervoor is derhalve geen vergunning vereist voor werkzaamheden in beschermingszone B van een waterkering.

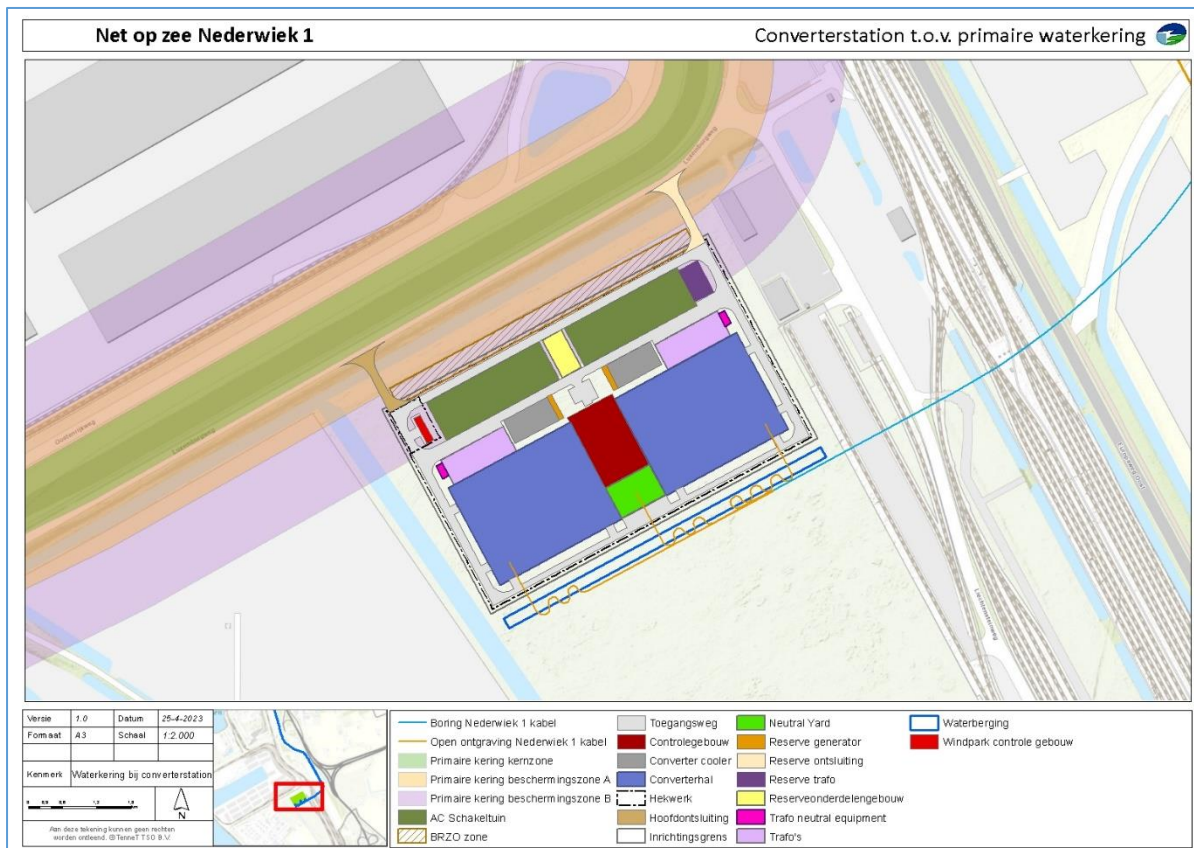
Voor het aanleggen van kabels door middelen van open ontgraving en boringen onder waterkeringen en in de beschermingszone A van waterkeringen is sprake van een vergunningplicht op grond van artikel 4.1, lid 6 van de Keur watersysteem. Voor het uitvoeren van gestuurde boringen in de beschermingszone B geldt ook een vergunningplicht op grond van artikel 4.1 lid 7 onder b van de Keur watersysteem.

#### Converterstation

De funderingen, verschillende bouwwerken en kabelsleuven worden buiten beschermingszone A van de primaire waterkering gerealiseerd (zie Figuur 2-1). Beschermingszone B van een primaire waterkering in het beheer bij het waterschap Scheldestromen ligt deels over het terrein van het converterstation.

Binnen de beschermingszone B zullen geen afgravingen met een diepte van meer dan 5 meter worden verricht. Er is tevens geen sprake van explosiegevaarlijk materiaal of explosiegevaarlijke inrichtingen. Voor de werkzaamheden in de beschermingszone B is geen vergunning nodig.

De aan te leggen in-uitritten voor het converterstation worden wel aangelegd binnen de beschermingszone A van de kering. Voor het aanleggen van de uitwegen in de beschermingszone A van waterkeringen is sprake van een vergunningplicht op grond van artikel 4.1, lid 6 van de Keur watersysteem.



Figuur 2-1 Converterstation ten opzichte van primaire waterkering

### 2.3 Oppervlaktewateren en beschermingszones

#### Kabeltracé

Op verschillende delen langs de route van het kabeltracé kruist en/of ligt het kabeltracé binnen oppervlaktewateren in het beheer van het waterschap of diens beschermingszones (zie Bijlage 4). Op grond van artikel 4.1, lid 1, sub b van de Keur watersysteem is het verboden om zonder vergunning van het bestuur werken (kabels) over, in of onder een leggerwater te hebben, te leggen, aan te brengen, te veranderen of op te ruimen. Artikel 4.1 lid 3, sub a en b geeft aan dat het verboden is om zonder vergunning werken (kabels) te plaatsen of behouden binnen de beschermingszones van leggerwateren. De beschermingszones liggen tot 7 meter uit de insteek van leggerwateren. Daarnaast is het op grond van artikel 4.1, lid 1 sub a verboden om zonder vergunning van het bestuur een oppervlaktewaterlichaam tijdelijk te dempen.



## **Converterstation**

Voor de in- en uitritten naar het converterstation zullen er twee dammen met duikers gerealiseerd worden in de bestaande watergang ten noordwesten van het station. Daarnaast wordt er een uitstroomvoorziening gerealiseerd vanuit de waterberging naar een naastgelegen watergang. Voor beide is een vergunning nodig op grond van artikel 4.1, lid 1 sub b van de Keur watersysteem.

## **2.4 Wegen in beheer bij het waterschap**

Op grond van de Keur wegen waterschap artikel 7, lid 1 sub b is het verboden om kabels en leidingen te leggen of te hebben op, in en boven wegen in het beheer bij waterschap Scheldestromen. Hiervoor dient een ontheffing te worden aangevraagd. Onderhavige aanvraag dient tevens als ontheffingsaanvraag voor de verbodsbepaling uit artikel 7, lid 1 sub b van de Keur wegen waterschap voor het leggen van kabels in en onder wegen in het beheer van waterschap Scheldestromen. Eventuele in- en uitritten van aan te leggen werkwegen op bestaande waterschapswegen zijn geen onderdeel van onderhavige aanvraag.

## **2.5 Conclusie**

Voor de realisatie van het project vraagt TenneT vergunning aan voor de volgende vergunningplichtige werkzaamheden:

- Het aanleggen van het kabeltracé door middel van gestuurde boringen onder waterkeringen door en in de bijbehorende beschermingszone A (art. 4.1 lid 5, 6 en 7; Keur watersysteem)
- Het aanleggen van twee in- en uitritten in de beschermingszone A van een kering (art. 4.1, lid 6; Keur watersysteem)
- Het aanleggen van een kabeltracé onder leggerwateren en/of in de beschermingszone van een leggerwater (art. 4.1, lid 1 en 3; Keur watersysteem)
- Het aanleggen van twee dammen met duikers in een leggerwater (art. 4.1, lid b; Keur watersysteem)
- Het aanleggen van kabels in en onder waterschapswegen (art. 7, lid 1 sub b; Keur wegen waterschap)
- Het aanleggen van een uitstroomvoorziening naar een leggerwater (art. 4.1, lid 1 sub b; Keur watersysteem)

### 3. Toelichting vergunningplichtige activiteiten

In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op de vergunningplichtige onderdelen van het Net op zee Nederwiek 1 voor zover zij vallen onder de Keur watersysteem of de Keur wegen waterschap Scheldestromen. Bijlage 4 bevat overzichtskaarten van het kabeltracé met bijbehorende vergunningzones ten opzichte van de Legger van het waterschap Scheldestromen. Hierin is tevens aangegeven waar langs het kabeltracé boringen worden beoogd. De verschillende boringen zijn op volgorde genummerd in Bijlage 4. In de volgende paragrafen wordt per vergunningplichtige activiteit een nadere toelichting gegeven. Ook het te realiseren converterstation met bijbehorende in- en uitritten is ingetekend op de kaarten van Bijlage 4.

#### 3.1 Kruisingen primaire & regionale waterkeringen

In de Legger van waterschap Scheldestromen zijn de primaire en regionale waterkeringen en de bijbehorende beschermingszones A en B weergegeven. Zoals aangegeven in hoofdstuk 1 wordt voor het kruisen van waterkeringen gebruik gemaakt van horizontaal gestuurde boringen (HDD). De boringen vinden plaats vanaf een intredepunt naar een uittredepunt. Bij een in- en uittredepunt wordt een tijdelijke put gegraven van circa 5 x 10 x 2 meter. Het intredepunt heeft een werkterrein nodig voor de booropstelling en uitlegruimte voor de mantelbuizen. De tijdelijke werkterreinen hebben afhankelijk van de boring een grootte van circa 1.000 m<sup>2</sup> (variatie van 750-1.500 m<sup>2</sup>). De in- en uittredpunten worden aangelegd buiten beschermingszone A van alle waterkeringen. Voor enkele boringen is het in- en/of uittredepunt gelegen binnen de beschermingszone B, gezien de beperkte ruimte en/of complexiteit door aanwezige ondergrondse infrastructuur die middels deze boringen worden gekruist.

In totaal kruist het kabeltracé op 3 locaties een regionale waterkering in beheer bij het waterschap Scheldestromen (zie Tabel 3.1). Er is geen sprake van kruising met een primaire waterkering. De kruisingen zijn op volgorde weergegeven in Bijlage 4 (zie Tabel 3.1 voor boornummers). De diepteligging ten opzichte van de keringen en overige specificaties van de boringen zijn te vinden in Bijlage 5 (boorplannen). De bijgevoegde tekeningen in de boorplannen betreffen voorontwerpen. Voorafgaand aan de uitvoering zullen definitieve boorplannen worden opgesteld.

Tabel 3.1 Boorkruisingen kabeltracé met waterkeringen

Locatiebeschrijving	Soort waterkering	Boornummer in Bijlage 4
Noord Kraaijertsedijk (naast A58)	Regionaal	4
Quarlespolderweg	Regionaal	6
Frankrijkweg	Regionaal	8

### 3.2 Parallelligging in beschermingszones primaire en regionale waterkeringen

Naast de bovengenoemde boringen onder de waterkeringen door liggen er ook delen van het kabeltracé parallel langs de waterkeringen en binnen de beschermingszone B van primaire en regionale waterkeringen. Het kabeltracé ligt niet binnen de beschermingszone A van de betreffende waterkeringen. Een vergunningplicht voor kabel aanlegwerkzaamheden in de beschermingszone B geldt alleen in het geval van boringen, omdat daar de aanlegdiepte meer dan 5 meter beneden maaiveld kan zijn. Zoals aangegeven in paragraaf 2.2 zullen er ook delen van het kabeltracé worden aangelegd middels open ontgraving. Bij open ontgravingen zal niet dieper dan 5 meter worden afgegraven, waardoor hier geen vergunningplicht voor geldt.

Op één plek wordt er een boring geplaatst, niet zijnde een kruising van een waterkering, in een deel van het kabeltracé dat binnen beschermingszone B van een primaire of regionale waterkering ligt (zie Tabel 3.2). Dit betreft de boring vanaf de leidingenstrook tussen de Bernhardweg West en de Europaweg Oost richting de converterstationslocatie aan de Liechtensteinweg. Het intredepunt is voorzien binnen de beschermingszone B. Nadere specificaties van deze boring zijn te vinden in Bijlage 6. De bijgevoegde tekeningen betreffen voorontwerpen. Voorafgaand aan de uitvoering zullen definitieve boorplannen worden opgesteld.

Tabel 3.2 Boringen binnen beschermingszone B van waterkeringen

Locatiebeschrijving	Soort waterkering	Boornummer in Bijlage 4	Tekening in Bijlage 6
Europaweg Oost – ter hoogte van Liechtensteinweg	Regionaal	10	H

Naast de bovenstaande boring is er ook nog een korte boring voorzien met intredepunt op de rand van de beschermingszone B ter hoogte van kruising Sluisweg/Havenweg/Quarlespolderweg. Deze boring is nodig voor de kruising van bestaande leidingen. Voor deze boring wordt op voorhand aangenomen dat aanlegwerkzaamheden binnen de beschermingszone niet tot 5 meter diepte reiken.

### 3.3 Kruisingen oppervlaktewaterlichamen en parallelligging beschermingszones

In de Legger van Waterschap Scheldestromen zijn de oppervlaktewateren en de bijbehorende beschermingszones weergegeven. De kruisingen met watergangen zullen plaatsvinden met behulp van horizontaal gestuurde boringen (HDD). De boringen vinden plaats vanaf een intredepunt naar een uittredepunt. Bij een in- en uittredepunt wordt een tijdelijke put gegraven van 5 x 10 x 2 meter. Het intredepunt heeft een werkterrein nodig voor de booropstelling en uitlegruimte voor de mantelbuizen. De werkterreinen hebben een grootte van circa 1.000 m<sup>2</sup> (variatie van 750-1.500 m<sup>2</sup>). De in- en uittredepunten worden zoveel mogelijk buiten de beschermingszones van de oppervlaktewaterlichamen aangelegd.

Tabel 3.3 geeft het overzicht van de kruisingen van het kabeltracé met oppervlaktewaterlichamen. Deze kruisingen zijn op volgorde weergegeven in Bijlage 4. Alle kabels worden op minimaal 2 meter onder de vaste bodem van de primaire leggerwateren aangelegd en op 1 meter van de secundaire en tertiaire leggerwateren<sup>15</sup>. Nadere specificaties van de kruisingen met oppervlaktewaterlichamen zijn te vinden in Bijlage 6a t/m h (technische tekeningen boorkruisingen met dwarsprofiel) en Bijlage 5 (boorplan). De bijgevoegde tekeningen en boorplan betreffen voorontwerpen. Voorafgaand aan de uitvoering zullen definitieve tekeningen van de boorkruisingen worden opgesteld.

*Tabel 3.3 Kruisingen (boringen) kabeltracé onder oppervlaktewaterlichamen*

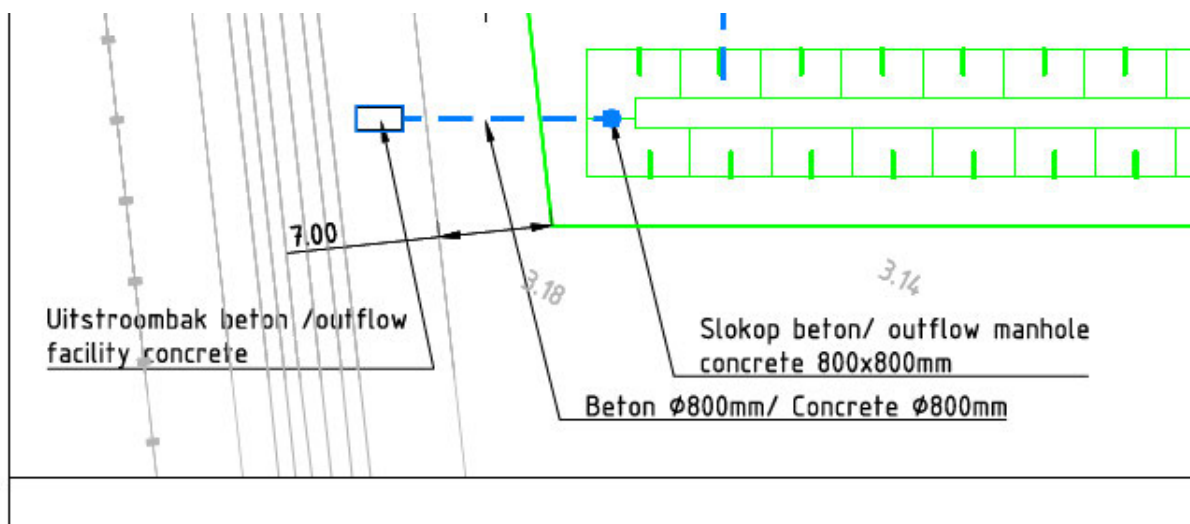
Locatiebeschrijving	Hoeveel watergangen /bescherming szones	Boornummer in Bijlage 4	Tekening in Bijlage 6
Muidenweg (ter hoogte van haven de Piet)	2	1	A
Calandweg (ter hoogte van vliegveld Midden Zeeland)	4	2	B
Noord Kraaijertsedijk (naast A58)	3	4	C
Oude Veerweg	1	5	D
Quarlespolderweg	2	6	E
Frankrijkweg	2	8	F
Akkerweg	2	9	G

Tot slot loopt het kabeltracé op enkele plekken parallel aan een watergang binnen de beschermingszone (zie Bijlage 4). Als uitgangspunt geldt dat het hart van het kabeltracé op minimaal 5 meter van de insteek van primaire watergangen wordt aangelegd en op minimaal 3,5 meter van secundaire en tertiaire watergangen. Op enkele locaties is de afstand tot de insteek van watergangen kleiner. Voor deze locaties met kleinere afstanden tot de watergangen zal overleg plaatsvinden met het waterschap. De open ontgraving is maximaal 3 meter breed aan weerszijden van de buitenste kabel (zie Figuur 1-9). Op een aantal locaties zal ten behoeve van de aanleg van een kabel een tijdelijke demping lokaal plaatsvinden van een watergang.

### **3.4 Uitstroomvoorziening naar oppervlaktewaterlichaam (watergang)**

Afvloeiend hemelwater vanaf het converterstation wordt geloosd op een waterbergings- en infiltratievoorziening ten zuiden van het station. Voor deze lozing en infiltratie is de gemeente bevoegd gezag. Voor uitzonderlijke situaties met extreme neerslag wordt een uitstroomvoorziening vanuit de waterbergings- en infiltratievoorziening naar de naastgelegen watergang (oppervlaktewaterlichaam) gerealiseerd. De uitstroomvoorziening bestaat uit een betonnen ronde buis die in het talud van de watergang uitkomt met talud bescherming op het punt van uitstromen (zie Figuur 3-1). De uitstroomvoorziening is ingetekend op de inrichtingstekening van het converterstation (bijlage 10).

<sup>15</sup> Vereisten Nota vergunningenbeleid Scheldestromen 2012



Figuur 3-1 Schets van de uitstroomvoorziening vanuit de waterberging (groen) naar de naastgelegen watergang.

### 3.5 Aanleg in-uitritten in beschermingszone A van waterkering

Voor de beheer- en onderhoudsfase van het converterstation worden twee in-uitritten gerealiseerd op de Luxemburgweg. Het gaat hier om één hoofdontsluiting en één nood/reserve in- en uitrit. Deze uitwegen worden gerealiseerd binnen de beschermingszones van een waterkering. De uitwegen zijn ingetekend op bijgevoegde inrichtingstekening van het station. De exacte ligging en wijze van aanleg blijkt uit de detailtekeningen van bijlage 11.

### 3.6 Dammen en duikers in watergang

Voor de realisatie van de permanente in- en uitritten van het converterstation op de Luxemburgweg worden dammen met duikers geplaatst in de bestaande watergang ten noordwesten van het station. De dammen en duikers wordt conform eisen van het waterschap aangelegd:

- Diameter duiker: rond 1000 mm
- Binnen onderkant duiker op -0.75 meter NAP

De lengte van de duikers is 21,6 meter en daarmee is langer dan standard eis van het waterschap. Afwijking is nodig gezien de grootte van benodigde vrachtwagens en diens bijbehorende draaicirkels.

Eén van de dammen wordt gerealiseerd voor toegang van het station en de andere dam zal functioneren als reserveontsluiting. De dammen zijn ingetekend op de detailtekeningen van bijlage 11.

### 3.7 Werkzaamheden bij/in wegen in beheer bij het waterschap

In de Legger van waterschap Scheldestromen zijn de wegen in beheer bij het waterschap weergegeven. De waterschapswegen worden ondergronds gekruist door middel van gestuurde (HDD-)boringen. De boringen vinden plaats vanaf een intredepunt naar een uittredepunt. Bij een in- en uittredepunt wordt een tijdelijke put gegraven van circa 5 x 10 x 2 meter. De werkerreinen hebben een grootte van circa 1.000 m<sup>2</sup> (variatie van 750-1.500 m<sup>2</sup>).

Tabel 3.4 geeft het overzicht van de kruisingen van het kabeltracé met wegen in beheer bij het waterschap. Tevens zijn deze kruisingen op volgorde weergegeven in Bijlage 4. Nadere specificaties van de boringen zijn te vinden in Bijlage 6a t/m h (technische tekeningen boorkruisingen met dwarsprofiel) en Bijlage 5 (boorplan).

De kruising van de waterschapsweg ter hoogte van de Veerse Gatdam maakt onderdeel uit van onderhavige aanvraag. Deze is echter niet opgenomen in Bijlage 4. Zie Bijlage 7 voor de technische tekening van de kruising Veerse Gatdam en de waterschapsweg.

*Tabel 3.4 Boringen kabeltracé onder wegen in het beheer bij het waterschap*

Locatiebeschrijving	Boornummer in Bijlage 4	Tekening in Bijlage 6
Muidenweg	1	A
Calandweg	2	B
Zeedijk van de Jacobapolder & Oude Veerweg	4	D
Quarlespolderweg	6	E
Veerse Gatdam	N.v.t.	N.v.t.

Naast de hierboven beschreven kruisingen met wegen zal het kabeltracé ook gedeeltelijk in/onder een waterschapsweg worden aangelegd. Het betreft de waterschapsweg tussen de A58 en de Oude Veerweg, parallel aan de voormalige Zeedijk van de Jacobapolder. De kabel is voorzien tussen de voormalige zeedijk en de bestaande watergang in, onder een bestaande weg. De kabel zal over de gehele lengte onder de waterschapsweg in een mantelbuis worden aangelegd. Ter plekke zal het kabeltracé door middel van een open ontgraving worden aangelegd. Dit betekent dat de bestaande weg tijdelijk zal worden verwijderd, waarna het kabeltracé kan worden aangelegd door middel van open ontgraving (zie paragraaf 1.4.4 voor een volledige toelichting op deze aanlegwijze). Na het leggen van het kabeltracé wordt de open ontgraving (sleuf) weer dichtgemaakt waarbij de oorspronkelijke aardlagen weer in de correcte volgorde worden teruggeplaatst. Vervolgens wordt de waterschapsweg en bijbehorende fundering weer aangelegd, zoals deze er bij lag voor de aanlegwerkzaamheden. In Bijlage 9 is een dwarsprofiel en een situatietekening opgenomen van het kabeltracé ter plekke van de waterschapsweg.

Om afspraken te maken over het beheer en onderhoud van de weg in relatie tot de hoogspanningsverbinding onder de weg zal een gebruiksovereenkomst worden gesloten tussen TenneT en Waterschap Scheldestromen.

### **3.8 Effecten voorgenomen activiteit op de waterstaatswerken**

De vorige paragrafen gaven een overzicht van de activiteiten waarvoor vergunning wordt aangevraagd. In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van de potentiële effecten voor de waterstaatswerken.

### 3.8.1 Waterkeringen

Bij de waterkeringen is sprake van boringen en graafwerkzaamheden. De kabels hebben op zichzelf geen invloed op de waterkering aangezien deze niet gevuld zijn met vloeistof of gas maar elektriciteit transporteren.

#### Boringen

Door middel van horizontaal gestuurde boringen worden waterkeringen gekruist. Bovendien worden er op enkele plekken boringen uitgevoerd parallel aan waterkeringen, in de beschermingszone B van de keringen. Ten behoeve van de boring vinden onder meer graafwerkzaamheden plaats en treden trillingen op door de boorkop. De werkzaamheden kunnen gevolgen hebben voor de stabiliteit van de kering. Beoordeeld is daarom of sprake kan zijn van één van de potentiële faalmechanismen van een waterkering. In Bijlage 8 is een beoordeling naar de waterveiligheid opgenomen voor alle boringen van het kabeltracé onder de waterkeringen door. In deze beoordeling zijn de verschillende potentiële faalmechanismen beschouwd. Geconcludeerd wordt dat er tijdens de aanlegfase en gebruiksfase geen effecten zijn te verwachten op de waterveiligheid door de boringen in en nabij de waterkeringen.

#### Ontgraving kabeltracé bij parallelligging met waterkeringen

Een deel van het kabeltracé is gelegen parallel aan waterkeringen in beheer bij het waterschap. De aanleg vindt plaats middels een open ontgraving met een diepte van maximaal circa 2,2 meter. De graafwerkzaamheden vinden buiten beschermingszone A plaats en deels binnen beschermingszone B. Op zichzelf is een vergunningplicht derhalve niet aan de orde.

Eventuele beheer- en onderhoudswerkzaamheden in of vanuit beschermingszone B worden tijdens de aanlegfase belemmerd maar blijven uitvoerbaar.

Ten behoeve van de ontgraving zal naar verwachting bemaling vereist zijn. Hiervoor wordt separaat en in een later stadium een vergunning aangevraagd zodra de aannemer is geselecteerd. Bij deze aanvraag kan beoordeeld worden of de tijdelijke bemaling van invloed kan zijn op de waterkering. De grondwatermodelleringstudie in het MER wijst uit dat de keringen in het beïnvloedingsgebied zijn gelegen van de bemaling. Aangezien de bemaling tijdelijk is, is vooralsnog geen aanleiding een negatief effect te verwachten voor de kering.

De ligging in beschermingszone B leidt in de gebruiksfase niet tot invloed op de kering en leidt niet tot beperkingen ten behoeve van beheer en onderhoud.

In Bijlage 8 is een beoordeling naar de waterveiligheid opgenomen voor alle delen van het kabeltracé dat binnen de beschermingszone B van waterkeringen zijn gelegen. In deze beoordeling zijn de verschillende potentiële faalmechanismen beschouwd. Geconcludeerd wordt dat er tijdens de aanlegfase en gebruiksfase geen negatieve effecten zijn te verwachten op de waterveiligheid door de parallelligging met waterkeringen.

### 3.8.2 Watergangen

Bij de aanleg van kabels is het van belang dat de doorstroming en het onderhoud van een watergang niet negatief worden beïnvloed en dat de stabiliteit van de oevers wordt gewaarborgd.

#### Doorstroming

De doorstroming van watergangen mag niet worden gehinderd. Daarom worden de kabels niet door het profiel van de watergang aangelegd. De kabels worden in het geval van boringen minimaal 2 meter onder de bodem van primaire leggerwateren geboord en 1 meter in het geval secundaire en tertiaire leggerwateren. Bovendien zal het horizontale deel van de boring aan beide zijden van de watergang minimaal 1 meter meer bedragen dan de breedte van de slootbodembodem en het talud. Hooguit zal er tijdens de aanleg tijdelijke werkwegen een tijdelijke dam met duiker worden aangelegd, waardoor de doorstroming tijdelijk gehinderd zal worden tijdens de aanlegfase. Tijdens de gebruiksfase wordt de doorstroming van watergangen niet gehinderd.

#### Onderhoud

Tijdens de aanlegfase kan toegang voor beheer en onderhoud van de watergang worden beperkt over langere lengtes. In veel gevallen is de watergang vanaf het water of de andere zijde bereikbaar. De werkzaamheden zijn tijdelijk en lokaal van aard waardoor door middel van afstemming over de planning onaanvaardbare beperkingen kunnen worden voorkomen.

De aanwezigheid van het kabeltracé heeft tijdens de gebruiksfase geen effect op de doelmatigheid van het onderhoud. Aan het profiel van de watergang en de beschermingszones verandert immers niets. Wat met betrekking tot het onderhoud wel van belang is, is dat kabels en leidingen niet beschadigd mogen worden als er onderhoudswerkzaamheden aan de watergang worden uitgevoerd. Daarom worden de kabels op de genoemde minimale dieptes (zie ook de dwarsprofielen in Bijlage 5 en 6) onder de watergangen aangelegd middels boringen en op circa 2,2 meter onder de beschermingszones aangelegd middels open ontgraving.

#### Stabiliteit van de oever

Bij het leggen van de kabels wordt gebruik gemaakt van open ontgravingen en/of boringen. Als uitgangspunt geldt dat het hart van het kabeltracé op minimaal 5 meter van de insteek van primaire watergangen wordt aangelegd en op minimaal 3,5 meter van secundaire en tertiaire watergangen. Op enkele locaties is de afstand tot de insteek van watergangen kleiner. Voor deze locaties met kleinere afstanden tot de watergangen zal overleg plaatsvinden met het waterschap. Bovendien is er geen sprake van uitspoeling of explosiegevaar in het geval van beschadiging van elektriciteitskabels. Voor het maken van de gestuurde boringen wordt tevens zoveel als mogelijk voldaan aan de veiligheidseisen van NEN 3650 en 3651.

Geconcludeerd wordt dat de doorstroming, onderhoud van de watergang en de stabiliteit van de oever niet negatief wordt beïnvloed door de voorgenomen activiteiten.

### 3.8.3 Wegen

Voor de kruisingen met de wegen in het beheer van het waterschap is het van belang dat de functie van de weg en de stabiliteit van de weg niet negatief mag worden beïnvloed. De kruisingen vinden plaats middels het maken van gestuurde boringen en zullen op minimaal 5 meter onder maaiveld worden aangebracht. Als gevolg van de diepte waarop de kabel de weg kruist is een negatief effect op de stabiliteit van de weg uitgesloten.



De weg wordt niet opengebrouwen en heeft daarmee geen effect op de functie van de weg. Bovendien is er geen sprake van uitspoeling of explosiegevaar in het geval van beschadiging van elektriciteitskabels. De boringen zullen zoveel als mogelijk voldoen aan de veiligheidseisen van NEN 3650 en 3651.

Voor de waterschapsweg tussen de A58 en de Oude Veerweg (Zeedijk van de Jacobapolder) geldt dat deze na de aanlegwerkzaamheden weer in dezelfde staat wordt teruggebracht als voor de werkzaamheden. Voor het dichtmaken van de kabelsleuf wordt gebruikt gemaakt van het afgegraven bodemmateriaal, in dezelfde volgorde van bodemlagen zoals dit aanwezig was voor de aanlegwerkzaamheden. Hiermee worden zettingen en instabiliteit onder de waterschapsweg zo veel als mogelijk voorkomen.

## 4. Gegevens en bescheiden

De volgende bijlagen maken onderdeel uit van onderhavige aanvraag.

*Tabel 4.1 Overzicht bijlagen behorende bij de aanvraag*

Bijlage #	Titel / soort
1	Toelichting op de aanvraag watervergunning
2	Machtiging Arcadis Nederland BV door TenneT TSO BV
3	Typical Installation Method (TIM)
4	Overzichtstekeningen kabeltracé op land Net op zee Nederwiek 1
5	HDD Boorplannen (incl. bijlagen)
6	Technische tekeningen boringen (a t/m h)
7	Technische tekening boring Veerse Gatdam
8	Stabiliteit waterkeringen Net op zee Nederwiek 1
9	Situatietekening en dwarsprofiel kabeltracé onder waterschapsweg
10	Inrichtingstekeningen converterstation
11	Detailtekeningen uitwegen en duikers

In de volgende tabel is aangegeven welke gegevens en bescheiden later, doch uiterlijk drie weken voor de start van de werkzaamheden zullen worden aangeboden aan het bevoegd gezag.

*Tabel 4.2 Overzicht later (uiterlijk drie weken voor start van de werkzaamheden) te overhandigen bescheiden*

Gegevens / bescheiden
Planning van de activiteiten
Definitieve boorplannen en dwarsdoorsnedes van kruisingen
Werkplan per vergunningplichtige activiteit

## COLOFON

### **Toelichting op de aanvraag watervergunning Net op zee Nederwiek 1 - beheergebied Waterschap Scheldestromen**

**Datum**

05-07-2023

**Status**

Definitief

**Pondera Consult B.V.**

Postbus 919  
6800 AX Arnhem  
Nederland  
+31 (0)88 7663 372

**[www.ponderaconsult.com](http://www.ponderaconsult.com)**

**Arcadis Nederland B.V.**

Postbus 264  
6800 AG Arnhem  
Nederland  
+31 (0)88 4261 261

**[www.arcadis.com](http://www.arcadis.com)**

# Net op Zee – Nederwiek 1

## **Aanvraag watervergunning Waterschap Scheldestromen**

Bijlage 2: Machtiging Arcadis Nederland BV door TenneT TSO BV

Postbus 718, 6800 AS Arnhem, Nederland  
Arcadis Nederland B.V.  
T.a.v. [REDACTED]  
Postbus 264  
6800 AG ARNHEM

CLASSIFICATIE	C1 - Publieke Informatie
DATUM	14 december 2022
BEHANDELD DOOR	[REDACTED]
TELEFOON DIRECT	[REDACTED]
E-MAIL	[REDACTED]

**BETREFT** machtiging voor het aanvragen van publiekrechtelijke toestemmingen (vergunningen, ontheffingen en meldingen)

Geachte [REDACTED],

Ondergetekenden:

[REDACTED], in haar hoedanigheid als Project Lead Spatial Planning & Licensing Net op zee IJmuiden Ver Alpha en Nederwiek 1 van TenneT TSO B.V., gevestigd te Arnhem

als zodanig gezamenlijk met

[REDACTED] [REDACTED], in zijn hoedanigheid als Project Lead Spatial Planning & Licensing Net op zee IJmuiden Ver Beta, Net op zee IJmuiden Ver Gamma en Nederwiek 2 van TenneT TSO B.V., gevestigd te Arnhem,

bevoegd TenneT TSO B.V. te vertegenwoordigen, verklaren door ondertekening dezes machtiging te verlenen aan:

**Arcadis Nederland B.V.** (KvK 09036504), statutair gevestigd te Arnhem en kantoorhoudende aan de Beaulieustraat 22, (6814 DV) te Arnhem,

om alle uit hoofde van de toepasselijke wet- en regelgeving benodigde vergunningen, ontheffingen en meldingen ten behoeve van de projecten Net op zee IJmuiden Ver Alpha, Net op zee IJmuiden Ver Beta, Net op zee IJmuiden Ver Gamma, Net op zee Nederwiek 1 en Net op zee Nederwiek 2 aan te vragen bij de bevoegde gezagen.

Deze machtiging is geldig tot en met 31-12-2024 of zoveel eerder als voornoemde vergunningen, ontheffingen en meldingen zijn aangevraagd.

Aldus opgemaakt en ondertekend te Arnhem,

Datum:

Handtekening:



Project Lead Spatial Planning & Licensing  
TenneT TSO B.V.

Datum:

Handtekening:



Project Lead Spatial Planning & Licensing  
TenneT TSO B.V.

# Net op Zee – Nederwiek 1

## **Aanvraag watervergunning Waterschap Scheldestromen**

Bijlage 3: Typical Installation Method

PROJECT LEADER [REDACTED]  
 CLIENT Licensing team NW  
 AUTHOR [REDACTED]  
 DEPARTMENT LPO-PR-IJV

CLASSIFICATION C1 - Public Information  
 DATE June 26, 2023  
 VERSION 0.2  
 VERSION DATE March 23, 2023  
 STATUS Draft  
 PAGE 1 of 70

# Typical Installation Method Nederwiek

Overview of possible installation methods of the Nederwiek offshore grid

Rev	Date	Change history	Author	Reviewers
01	23-03-2023	Initial version for permit	[REDACTED] (original IJver version) Edits to Nederwiek version (KS)	
02	26-06-2023	Changes burial depth nearshore changes and extra cable configuration pictures added	[REDACTED] [REDACTED]	
03				





PROJECT LEADER [REDACTED]  
CLIENT Licensing team NW  
AUTHOR [REDACTED]  
DEPARTMENT LPO-PR-IJV

CLASSIFICATION C1 - Public Information  
DATE June 26, 2023  
VERSION 0.2  
VERSION DATE March 23, 2023  
STATUS Draft  
PAGE 2 of 70

## Typical Installation Method Nederwiek

Overview of possible installation methods of the Nederwiek offshore grid

<b>1. Introduction</b>	<b>6</b>
1.1 General project introduction	6
1.2 Purpose of the typical installation method	7
<b>2. Offshore grid connection overview</b>	<b>8</b>
2.1 Offshore grid connection	8
2.2 Offshore converter station (Platform) (A)	8
2.3 Onshore converter station (B)	9
2.4 Onshore 380 kV substation (C)	9
2.5 HVDC 525 kV (land and submarine) export cables (1 & 2)	9
2.6 Transition joint (T)	9
2.7 380 kV land cable (3)	9
<b>3. Offshore platform</b>	<b>10</b>
3.1 Design	10
3.1.1 <i>Design philosophy</i>	10
3.1.2 <i>Safety and environment</i>	11
3.1.3 <i>Access</i>	11
3.1.4 <i>Scour protection</i>	12
3.2 Installation of the offshore platform	12
3.2.1 <i>Preparations before installation</i>	12
3.2.2 <i>Jacket installation and piling</i>	13
3.2.3 <i>Topside installation</i>	14
3.3 Operational phase of the offshore platform	16
3.4 Decommissioning of the offshore platform	16
<b>4. HVDC and HVAC cable design</b>	<b>18</b>
4.1 Design HVDC 525 kV submarine export cables	18
4.2 Design HVDC 525 kV land export cables	19
4.3 Design HVAC 380 kV land cables	20
<b>5. Protection of the cables at sea</b>	<b>21</b>
5.1 Protection design philosophy	21
5.2 Burial depth requirements	21
5.3 Long term seabed mobility	22
5.4 Short term seabed mobility	23
<b>6. Installation preparations HVDC 525 kV submarine cable system</b>	<b>25</b>
6.1 Initial route survey	25
6.2 UXO and archaeological survey	25
6.3 Pre installation route survey	26

6.4 Detailed route engineering	26
6.5 Route Clearance and Pre Lay Grapnel Run	26
6.5.1 Pre detected OOS cables: ICPC Recommendation number 01	27
6.5.2 Non pre-detected cables and steel wire ropes	27
6.5.3 Out of Service pipelines and unknown pipelines	28
6.6 Preparing for burial in areas with mobile seabeds	28
6.6.1 Minimising dredging by route engineering	28
6.6.2 Pre-sweep (dredge) profile design	29
6.6.3 Pre-Sweeping mobile seabeds	29
6.7 Pre-trenching run	30
6.8 Pre-cutting run	30
6.9 Soil improvement at sea	30
<b>7. Installation of onshore cables</b>	<b>32</b>
7.1 Onshore cable routing	32
7.2 Cable trench configuration	32
7.3 Open trench installation	35
7.4 Transition joint	36
7.5 Cross bonding Land Cable sections	36
7.6 Horizontal Directional Drilling	37
7.6.1 Outfall drilling	40
7.6.2 HDD configuration	41
7.6.3 HDD installation tools	42
<b>8. Installation of cables offshore</b>	<b>45</b>
8.1 Site description	45
8.2 Offshore cable route configuration	45
8.3 Installation method	47
8.4 Trenching tools	49
8.4.1 Jet sledge	49
8.4.2 ROV jet trencher	51
8.4.3 Chain cutter	52
8.4.4 Cable plough	53
8.4.5 Mass flow excavation	54
8.5 Additional trenching tools	55
8.5.1 Vertical injector	56
8.5.2 Vibration plough	59
8.6 Dredging	59
<b>9. Offshore cable crossings with 3<sup>rd</sup> party assets</b>	<b>61</b>
9.1 Cable and pipeline detection survey	61
9.2 In Service cables, pipes and out of service pipelines	61

9.2.1	<i>Crossing structures</i>	61
9.2.2	<i>Outer rock layer</i>	64
<b>10.</b>	<b>Post installation activities offshore cables</b>	<b>65</b>
10.1	Remedial burial by jet trenching or MFE	65
10.2	Post lay protection of cable segments	65
10.3	As built survey	65
<b>11.</b>	<b>Operational phase offshore cables</b>	<b>67</b>
<b>12.</b>	<b>Decommissioning offshore cables</b>	<b>67</b>
12.1	Cables	67
12.2	Crossing structures	67
<b>13.</b>	<b>Onshore converter station</b>	<b>68</b>
13.1	Design	68
13.1.1	<i>Lay-out</i>	68
13.1.2	<i>Electrical Installation</i>	69
13.1.3	<i>Safety and environment</i>	69
13.1.4	<i>Access</i>	69
13.1.5	<i>Buildings</i>	69
13.2	Construction phase	70
13.3	Operational phase	70
13.4	Decommissioning	70

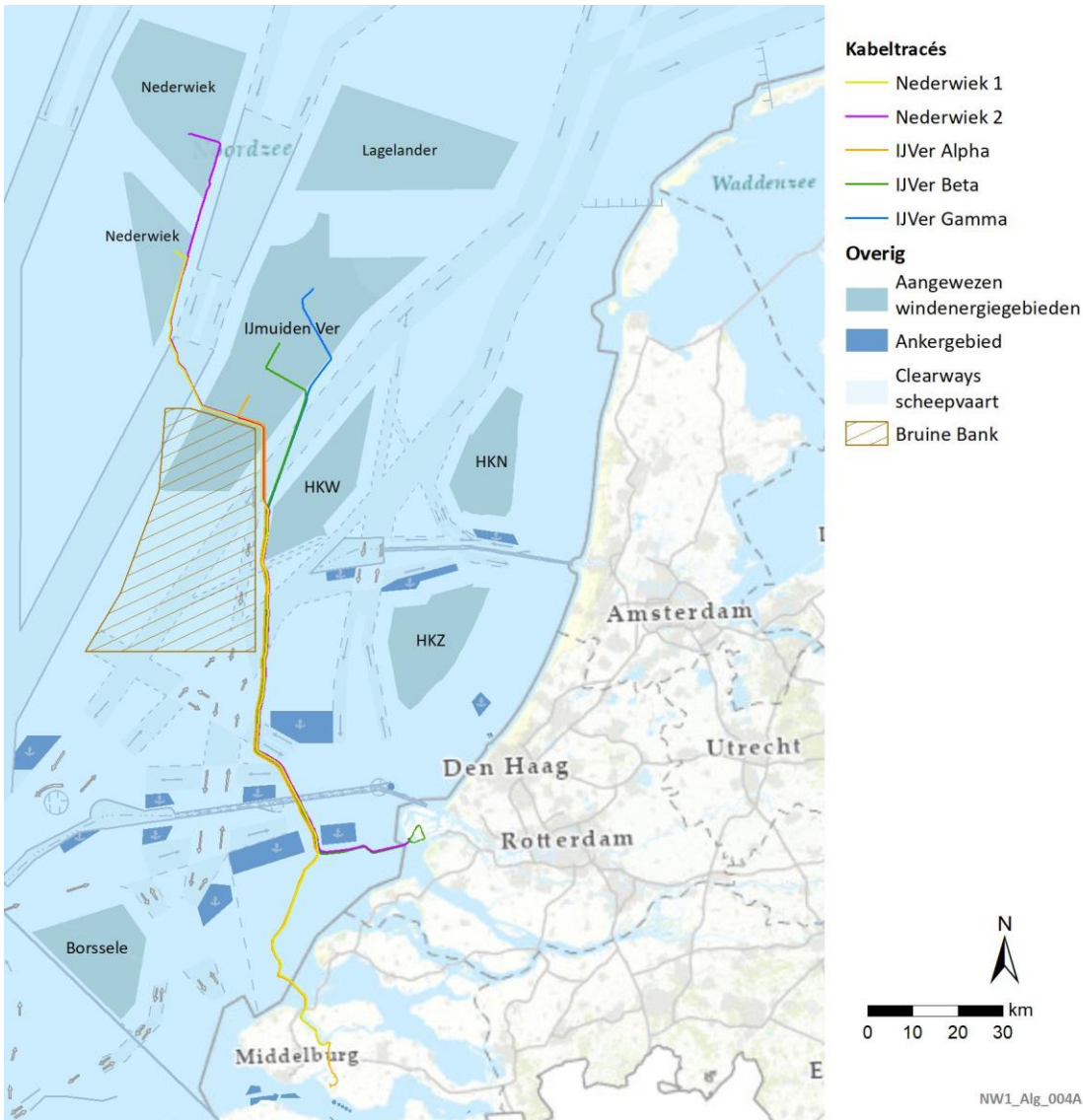
## 1. Introduction

### 1.1 General project introduction

By means of the National Energy Agreement, the Dutch government wants to achieve a substantial increase in the share of wind energy in the Netherlands' energy mix. To increase offshore wind energy capacity, the government has designated three zones in the North Sea for the development of new wind farms.

The offshore wind farms will be connected to the national transmission grid by means of an offshore transmission grid. TenneT has been appointed as operator of the offshore grid by the Ministry of Economic Affairs and Climate.

One of the wind farm zones lies approximately 70 km offshore from the coast of the province of North-Holland and is referred to as the Nederwiek Wind Farm Site (from here on denoted as NW). With three connections of 2GW each the windfarm is connected to the onshore grid. Nederwiek 2 will be connected to the onshore grid at the new substation Maasvlakte Amaliahaven (MAH). Nederwiek 1 will be connected to the onshore grid at the 380 kV substation Borssele. The connection for Nederwiek 3 has yet to be determined. The selected routes for Nederwiek 1 and 2 from the wind farm site to the onshore grid which are being investigated in the Environmental Impact Assessments are shown in Figure 1. The focus of this underlying document are the Nederwiek 1 and 2 projects. The TIM for IJmuiden Ver Alpha and Beta and for IJmuiden Ver Gamma are described in a separate document. Most of the content of the underlying document is identical to TIM IJmuiden Ver Alpha and Beta and TIM of IJmuiden Ver Gamma.



**Figure 1 Chart of the cable routes from the Nederwiek windfarm to the onshore grid**

## 1.2 Purpose of the typical installation method

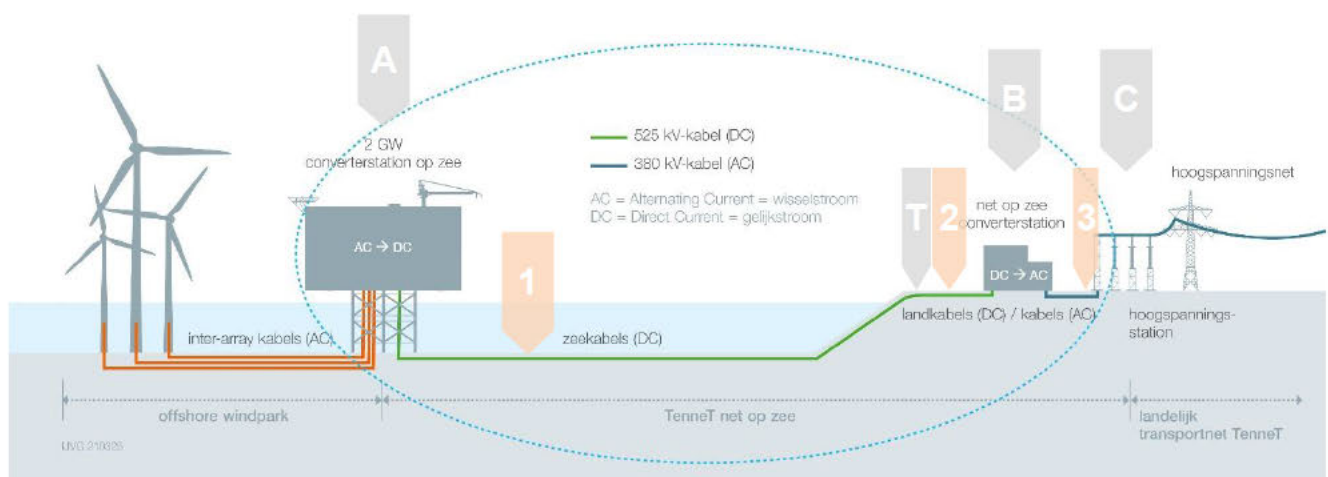
This Typical Installation Method (TIM) describes the design philosophy of the different components of the offshore grid connection and outlines corresponding possible installation methods, focussing on relevant items from spatial and environmental perspective. It is intended to be used as input for the Environmental Impact Assessment and permit applications.

## 2. Offshore grid connection overview

This chapter gives an overview of the offshore grid connection. It starts with a description of the different parts in paragraph 2.1. The next paragraphs elaborate on the different cable sections and connection points. The offshore grid connection is described for 2 GW. The 6 GW NW program therefore comprises of three offshore grid connections, one for Nederwiek 1, one for Nederwiek 2 and one for Nederwiek 3.

### 2.1 Offshore grid connection

The Nederwiek grid connection consists of six main parts as is shown in Figure 2. The items 'A' to 'C' are the connection points in the grid, the items '1', '2' and '3' the cables connecting them. The cable route from 'A' to 'T' is the offshore section and from 'T' to 'B' is the onshore section. The section 'B' to 'C' is the connection between the onshore converter station and the onshore 380 kV substation.



**Figure 2 Offshore grid connection**

#### Connection points

- A. Offshore converter station or Platform (AC → DC)
- T. Transition joint
- B. Onshore converter station (DC → AC)
- C. Onshore 380 kV substation

#### Cables

- 1. HVDC 525 kV submarine export cables (DC)
- 2. HVDC 525 kV land export cables (DC)
- 3. HVAC 380 kV land cable (AC)

### 2.2 Offshore converter station (Platform) (A)

The offshore converter station is the interface between the offshore wind park AC cables and the HVDC 525 kV submarine export cables leading to shore. It transforms the 66 kV wind park generated voltage to 525 kV AC and then converts it to 525 kV DC for transport to shore. The converter station has a transport capacity of 2000 MW.

It contains the electrical equipment required to convert and transport this capacity, auxiliary, secondary- and safety systems to support the transportation and ensure the safety on and of the offshore converter station.

## 2.3 Onshore converter station (B)

The onshore converter station is the interface between the HVDC 525 kV land export cables and the HVAC 380 kV land cables. The main functions of the onshore converter station are to convert the DC power to AC and transform the voltage from 525 kV to 380 kV. The onshore converter station contains the electrical equipment, auxiliary, secondary- and safety systems to support these functions and ensure the safety on and of the onshore converter station.

## 2.4 Onshore 380 kV substation (C)

The onshore 380 kV substation forms the interface between the HVAC 380 kV land cables and the existing TenneT high voltage grid. Here the power produced by the offshore wind farms is connected to the TenneT high voltage grid.

## 2.5 HVDC 525 kV (land and submarine) export cables (1 & 2)

The export cable system is connecting the NW offshore converter station to the onshore converter station. The cable system of the NW export cables can be divided in two main sections, where the first section is the onshore section and the second the offshore section.

1. Onshore section: HVDC 525 kV land cables from the onshore converter station up to the transition joint.
2. Offshore section: HVDC 525 kV submarine cables from the transition joint to the offshore platform.

## 2.6 Transition joint (T)

The transition joint is the interface between the HVDC 525 kV submarine export cables and the HVDC 525 kV land export cables.

## 2.7 380 kV land cable (3)

The onshore converter station will be connected to the 380 kV grid using four 380 kV circuits (each consisting of three single core cables and a fibre optic cable).



### 3. Offshore platform

This chapter describes the highlights of the design, installation and decommissioning of the offshore platform.

#### 3.1 Design

The offshore converter station will consist of four main parts:

1. The topside: this is the part of the platform where most of the installations are located. The converter station is part of the topside.
2. The jacket: this is the supporting structure for the topside which also includes the J-tubes that carry the sea cables from the seafloor to the topside.
3. Foundation piles: the piles secure the jacket structure to the seabed. Other foundation options like suction buckets might be considered as well.
4. The erosion protection around the jacket: which ensures that erosion will not threaten the stability of the jacket and platform, that the free spans in the cables between the J-tube bell mouths and the seabed do not increase to unacceptable lengths and that the currents around the jacket will not endanger the cables from and to the platform.

##### 3.1.1 Design philosophy

TenneT is currently working on a 2 GW HVDC converter station design for the offshore platform. At this moment not all details of the offshore platform are known. Key elements of the design of the offshore platform are:

1. The offshore platform contains all necessary systems, (high voltage, auxiliary, secondary- and safety) required to transport the required 2 GW
2. It contains systems to ensure the safety on and of the platform.
3. The platform will be temporarily manned, with modular living quarters (used for commissioning or maintenance works)
4. The platform auxiliary systems will be fully automated
5. Remote monitoring and control will be possible from the onshore control centre. Local monitoring and control shall be possible during manned maintenance campaigns
6. Access to the platform will be via helicopter and boat
7. A rock placement around the base of the jacket to avoid erosion around the legs and to safeguard the cables against longer free spans and as such against the impact of vortex induced vibrations.

Although the design is standardized, local conditions (wind, waves, water depth, currents, soil etc.) can result in alterations on the standardized platform concept, however mainly on the jacket structure, such as:

- The water depth at the project location will determine the exact jacket dimensions.
- Soil conditions will determine the pile dimensions.
- J-tube lay-out at seabed level can deviate based on field lay-out.
- The composition and the extents of the erosion protection by rock placement depends on the local design current and wave conditions.
- Number of legs and foundation piles



**Figure 3 Artist impression of 2 GW HVDC offshore platform concept**

The Offshore Wind Farm is connected to the offshore platform via 66 kV sea cables that enter the platform via J-tubes. The cable ends will be connected to the 66 kV GIS bays (Gas Insulated Switchgear). From there the voltage is increased to 525 kV AC after which it is converted to 525 kV DC.

### 3.1.2 Safety and environment

The platform is temporarily manned, but all the systems are typically controlled from onshore. By reducing the amount of systems (LEAN design), the required maintenance campaigns are limited. In case of a fire, inert gas is used as extinguishing agent. The gas pushes the air out (dilutes the air), thus lowering the oxygen content, and is not harmful to the environment. In the transformer rooms foam is used as extinguishing agent since the transformers are filled with oil. Any leaking oil from the transformers is collected in a tank. For other rooms with oil filled equipment, foam will be used as well.

### 3.1.3 Access

The platform will be designed with a helideck and boat landings, plus the opportunity to use a 'walk-to-work' solution. Additionally heli-hoisting from the roof deck is possible.

### 3.1.4 Scour protection

The scour protection around the jacket will be designed such that it fits the local conditions. The design aims at a maintenance free scour protection over the lifetime of the platform. The scour protection provides a stable base for the cables to and from the platform, which ensures that the free spans between the J tubes and the rock bed around the platform do not increase in length. That way the vortex induced vibrations in the cables can be kept below a safe threshold. The cables to and from the platform will be protected against external damage and lateral movement for the section over the scour protection as well as for a part of the area where edge scour will occur around the scour protection. The outer edge of the scour protection will be designed in accordance with the "falling apron" principle, which entails that the rocks on the edge of the scour protection are designed to follow the edge scour around the scour protection downwards and stop the negative impact of the edge scour. This approach minimises the maintenance required over the lifetime.

## 3.2 Installation of the offshore platform

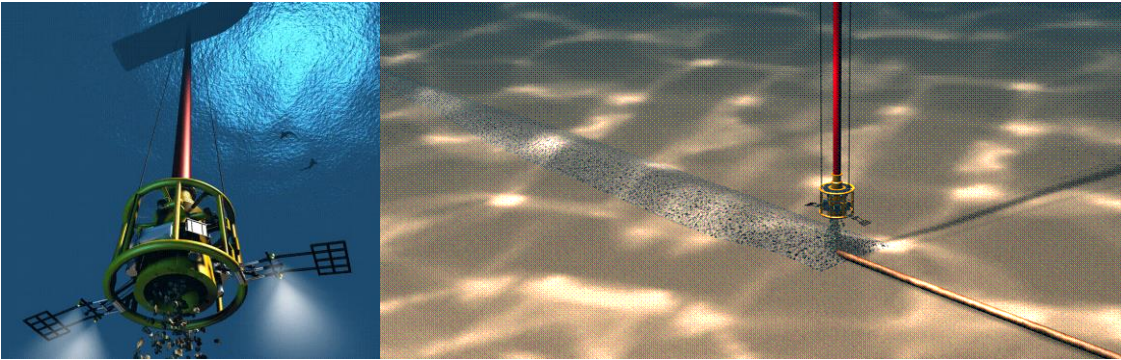
### 3.2.1 Preparations before installation

Prior to the installation of the jacket a site survey is executed that includes but is not limited to: bathymetry, magnetometer survey, sub bottom profiler. Based on the results a UXO identification and clearance campaign can be required to clear the area from potential UXOs. For the design of the foundation (dimensions and penetration depth) a geotechnical survey is executed that includes at least one drill to approximately 80 meters below seafloor and one cone penetration test (CPT) per pile location of the platform.

A scour assessment will be performed in order to determine the extent of the scour holes which are to be anticipated as a result of the waves and currents around the jacket. Based on the results of the scour assessment for the Borssele and the Hollandse Kust (zuid) platforms as well as based on the common practice in the North Sea and the German Bight, it is expected that a scour protection around the NW platforms will be required. This scour protection will extend under the jacket, under the J-tubes and up to approximately 15 - 20 meters outside the legs of the jacket.

If the seabed at the location of the platform is not sufficiently level, the seafloor will be levelled using a dredging plough or suction hopper dredger. After levelling, the scour protection can be installed. The scour protection is installed by a rock installation vessel that drops the rocks via a fall pipe onto the seabed, see Figure 4. This will take approximately two/three weeks (excluding possible waiting on weather). The scour protection will have a filter layer which keeps the seabed sediments contained under the scour protection and an armour layer which will be designed to be stable under the design wave and current conditions. The filter layer will extend beyond the armour layer on the outer edge of the scour protection and serve as a 'falling apron'.

In the direct vicinity of the scour protection for the platform, some additional scour protection berms can be placed to create a stable location for the legs of jack-up barges, which can be used to place or exchange components on the platform.

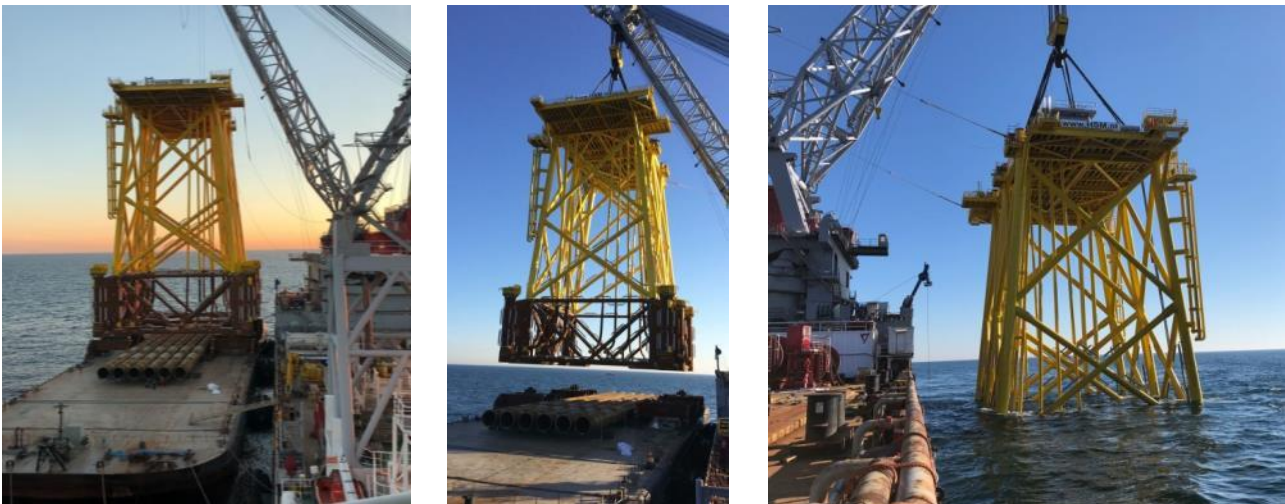


**Figure 4 Rock installation by a Fall Pipe Vessel using a Fall Pipe Remotely Operated Vehicle**

### 3.2.2 Jacket installation and piling

The jacket will be manufactured at a yard and after completion be loaded onto a barge which will be towed to the platform location offshore. Once the barge is on the approximate location, a heavy lifting vessel will lift the jacket of the barge and lower the jacket onto the seabed. The heavy lifting vessel operates either via dynamic positioning<sup>1</sup> or by using anchors. In case of the latter, tugboats will position and lower a total of 12 anchors (the exact number of anchors depends on the vessel) to the seabed. By tensioning and releasing specific anchors, the installation vessel manoeuvres to the exact required location.

The jacket is lowered onto the rock bed of the scour protection. The “mud mats”, which are plates at the base of the legs of the jacket, provide stability to the jacket during this intermediate installation phase.



**Figure 5 Installation of Borssele Alpha jacket**

Once the jacket is in place, piling can begin. The pile is lowered into the pile sleeve after which the hammer is set on the top the pile. Driving of a pile into the seabed to the required depth can take about a day per pile. During

---

<sup>1</sup> Dynamic positioning (DP) is a computer-controlled system to automatically maintain a vessel's position and heading by using its own propellers and thrusters

the hammering of the piles mitigating measures will be taken to reduce the impact of the underwater noise on the environment, for instance by using a bubble screen. After the piles are driven into the soil to their required depth, the connection between the pile and the pile sleeve is grouted to ensure a solid connection between the piles and the jacket. From that moment the piles can support the jacket and the mud mats lose their function. As soon as the jacket is supported by the piles instead of by the mud mats, the jacket is well protected against the influence of storms and high currents. Total installation time of the jacket is approximately two weeks. This is excluding possible waiting on weather.

### 3.2.3 Topside installation

The topside is realised at a yard as well. After its completion the topside will be loaded onto a barge which is towed to the platform location offshore. Once the barge is on the approximate location, a heavy lifting vessel will lift the topside off the barge and place it onto the jacket, see Figure 7a.



Figure 6 Pile driving at Borssele Alpha

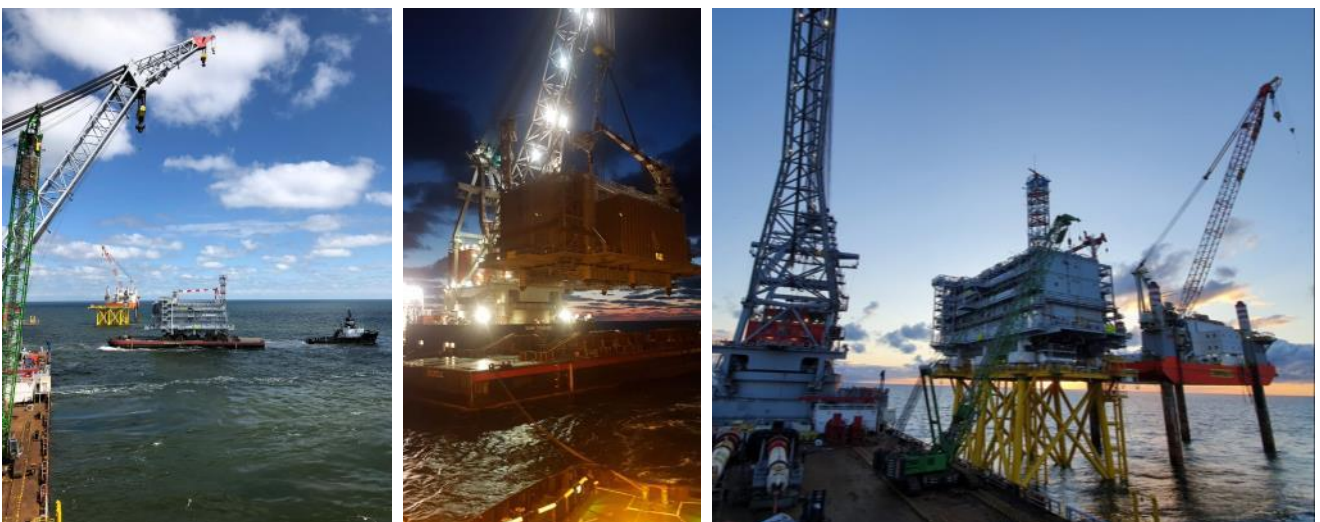


Figure 7a Installation of Borssele Alpha topside

An alternative method is to float the topside over the jacket (see figure 7b). With that approach the barge carrying the topside will sail in between the legs of the jacket. Once precisely in-between, the barge will be lowered, thus placing the topside on the jacket. The jacket will have to be designed specifically to facilitate this installation method.



**Figure 7b Float over installation of the BorWin3 topside in the German Bight**

A third option is a catamaran installation with the Pioneering Spirit (see Figure7c). In this option the vessel carrying the topside will sail to the jacket until the jacket is 'in between' the two hulls of the vessel. Once precisely in-between, the topside will be lowered, thus placing the topside on the jacket. The jacket will have to be designed specifically to facilitate this installation method.



**Figure 7c Catamaran installation with the Pioneering Spirit [source: allseas.com]**

Once the topside is placed on the jacket the connections between the jacket and topside are welded. Installation of the topside takes approximately one week, this is excluding the time for welding as mentioned above and possible waiting on weather.

During the post installation works after the jacket and topside are installed, a jack-up barge will be positioned beside the platform to facilitate all required works for the commissioning of the platform and grid connection for an estimated time of three months. This jack-up barge will place its legs on the earlier mentioned dedicated rock berms, to avoid destabilisation by erosion around its legs.

### 3.3 Operational phase of the offshore platform

During the operational phase of the offshore platform maintenance campaigns will take place. The extent of the campaigns differs per campaign and is partially dependent on the condition of the platform and its systems. Monitoring of the systems is performed onshore. At this moment the exact number of maintenance campaigns is not yet known.

During its lifetime the scour protection and any additional protection to the cables around the platform will be surveyed frequently. If so required additional rock will be placed to protect the platform and the protection to the cables.

### 3.4 Decommissioning of the offshore platform

After the life span of about 40 years of the offshore platform, the jacket and topside will be removed in case it's not being used for any other function. This will be done in the reversed order of the installation described in the

paragraph above. However, in case of disproportionate damage to the environment as a result of their removal, the parts of the piles in the seabed and scour protection will remain on the seabed.

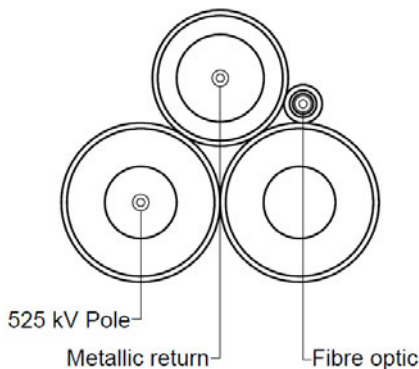


## 4. HVDC and HVAC cable design

This chapter describes the highlights of the design of the HVDC 525 kV submarine and land export cables, as well as the HVAC 380 kV land cables.

### 4.1 Design HVDC 525 kV submarine export cables

The HVDC 525 kV submarine cable system consists of four cables in a bundled configuration, as shown in Figure 8. In the tables below the key elements of the individual cables are provided.



**Figure 8 Bundled HVDC 525 kV submarine cable configuration**

	HVDC 525 kV submarine cable
Nominal voltage	525 kV
Outer diameter	150 - 190 mm
Conductor cross section	2500 - 3000 mm <sup>2</sup>
Material conductor	Aluminium (Al) or Copper (Cu)
Insulation	Extruded XLPE
Metal sheath	Various designs
Outer sheath	(Stainless) steel armouring wires and black polypropylene yarns.

**Table 1 Key elements of the 525 kV + or - pole submarine cable.**

	Metallic return 5 kV submarine cable
Nominal voltage	5 kV
Outer diameter	120 - 140 mm
Conductor cross section	2500 - 3000 mm <sup>2</sup>
Material conductor	Aluminium (Al) or Copper (Cu)
Insulation	Extruded XLPE
Metal sheath	Various designs
Outer sheath	(Stainless) steel armouring wires and black polypropylene yarns.

**Table 2 Key elements of the metallic return submarine cable**

Fibre optic submarine cable	
Outer diameter	50 - 70 mm
Number of fibres	48 – 144 fibres

**Table 3 Key elements of the fibre optic submarine cable**

The exact dimensions of the cables will be determined by the contractor based on the exact cable routing, burial depth and soil conditions.

## 4.2 Design HVDC 525 kV land export cables

The HVDC 525 kV land cable system consists of five cables in a configuration, as shown in Figure 8. In the tables below the key elements of the individual cables are provided.

HVDC 525 kV land cable	
Nominal voltage	525 kV
Outer diameter	120 - 160 mm
Conductor cross section	2500 - 3000 mm <sup>2</sup>
Material conductor	Aluminium (Al) or Copper (Cu)
Insulation	Extruded XLPE
Metal sheath	Various designs
Outer sheath	Extruded PE.

**Table 4 Key elements of the 525 kV + or - pole cable.**

Metallic return 5 kV land cable	
Nominal voltage	5 kV
Outer diameter	120 - 140 mm
Conductor cross section	2500 - 3000 mm <sup>2</sup>
Material conductor	Aluminium (Al)
Insulation	Extruded XLPE
Metal sheath	Various designs
Outer sheath	Extruded PE

**Table 5 Key elements of the metallic return cable**

Fibre optic land cables	
Outer diameter	10 - 20 mm (in duct 40-50mm)
Number of fibres	48 – 96 fibres

**Table 6 Key elements of the fibre optic land cables**

### 4.3 Design HVAC 380 kV land cables

The HVAC 380 kV land cable system consists of two circuits consisting of three single phase cables per circuit (also see Figure 14). In the table below the key elements of the cables are provided.

HVAC 380 kV land cable	
Nominal voltage	380 kV
Outer diameter	140 - 180 mm
Conductor cross section	2500 - 3000 mm <sup>2</sup>
Material conductor	Aluminium (Al) or Copper (Cu)
Insulation	Extruded XLPE
Metal sheath	Various designs
Outer sheath	Extruded PE.

**Table 7 Key elements of the 380kV land cable, single phase.**

## 5. Protection of the cables at sea

### 5.1 Protection design philosophy

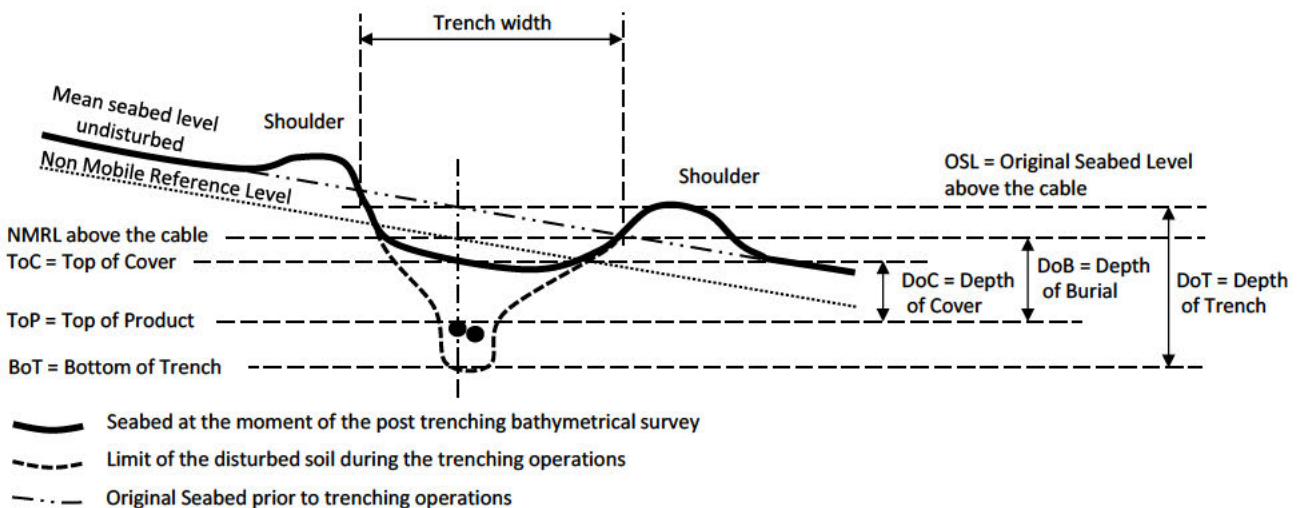
The subsea cables will be protected against external threats and the environment will be protected against unacceptable negative influences of the cables in such a way that the costs to society over the lifetime can be minimised. The costs to society comprise amongst others the impact on the environment, the impact on other users of the sea and the financial costs to the society. The protection will be designed to be safe as well as expedient. To be expedient, the protection will not be designed more than rationally justifiable to meet the lowest lifecycle costs to society objective as well as to meet the permit requirements. To meet this objective state of the art knowledge and experience will be mobilised and applied for the protection of the cables and for the protection of all others against the cables.

The experience gained on the NorNed, BritNed, Borssele, Hollandse Kust and on the German Bight subsea cable projects will be of good use to the Nederwiek project.

### 5.2 Burial depth requirements

The HVDC 525 kV subsea cables connecting the NW Offshore platforms to shore will be buried to protect the cables against external threats - in particular dragged fishing gear, dragged non holding anchors, lost cargo and to some extent to foundering vessels, to protect other users of the seabed against hooking behind the cable and as well as to reduce the impact on the environment where needed.

The following definitions are used with regard to the burial of the cables:



**Notes:**

1. These definitions are based on the definitions provided in DNVGL-RP-0360 Subsea Power Cables in Shallow Water Renewable Energy Applications
2. In areas with seabed mobility the various depths can be defined in the contract relative to a Non Mobile Reference Level (NMRL) instead of relative to the Original Seabed Level (OSL) i.e. to the mean seabed level undisturbed

**Figure 9 Cable burial related definitions**

There are several perspectives to determine the required Depth of Burial and Depth of Cover for the NW submarine export cables:

1. The Depth of Cover as required by Dutch Waterwet permit, which requires a cover by soil which is to be considered as an absolute minimum value. The Waterwet permit requires an initial burial depth of at least 2 metres below a modelled lowest seabed level for the lifetime of the cable in the section between the 0 meter line and the 3 km line from the coast. This comprises of a minimum soil cover of 1 metre and an additional 1 metre as signal depth. Plans for remedial burial are to be initiated once the cover is less than 2 metres in this section. Further at sea, a minimum cover of 1.5 metre is required in the vicinity of shipping lanes and 1.0 meter further away from shipping.
2. A Risk Based Burial Depth which will provide a rational minimum to the depth of burial for the various sections of the route based on (statistical) threats to the offshore cable in combination with the protection provided by the local soil types. This would be a rational minimum depth of burial in conjunction with the minimum depth of burial as per law and/or licence.
3. An economical optimal depth of burial derived from considering the CAPEX installation costs for various installation depths against the OPEX costs of maintenance on the depth of burial over the lifetime of the offshore cable in order to maintain a safe minimum depth of burial. This leads to the *"bury and would like to forget"* approach which TenneT has applied on the projects so far.
4. A maximum depth of cover relating to the heating up of offshore cables in relation to the burial depth and the thermal resistivity of the surrounding soils.

From these a minimum maintainable depth and an initial installation depth will be established.

The Depth of Burial will be defined relative to a reference level as is shown in Figure 9. This reference level will either be a threat level determined by assessment of slow seabed mobility (mobility of plates, banks and gullies) or a reference level below the fast moving seabed features like sand waves, ripples and mega ripples, also called the "Non Mobile Reference Level", which is the model based estimation for the lowest seabed level over the lifetime of the cable.

### 5.3 Long term seabed mobility

The cable route passes through areas with mobile seabed. The changes in depth are part of a process which spans multiple years if not decades. This long term seabed mobility threatens the burial depth of the cable over its lifetime.

It is to be noted that long term seabed mobility cannot be predicted accurately. Any mitigating measure to reduce the risk on cable exposure over its lifetime can therefore never be a guarantee. A prediction will be made based on the observed seabed mobility over the last 30 - 40 years and on state of the art modelling software as well as on an assessment of historical bathymetrical data. A regular route survey along the cable route is required to monitor the development of seabed mobility and its impact on the depth of cover of the cable over its lifetime. Maintenance on the burial depth in the mobile areas will be avoided by the design, but cannot be fully excluded during the lifetime of the cable. The measures to mitigate the impact of long term seabed mobility on the burial

depth are therefore to be considered measures to reduce the risk on cable exposure and to minimize and/or postpone maintenance on the depth of cover. This is all contained in the "bury and would like to forget" approach of TenneT with regard to the installation of the cables.

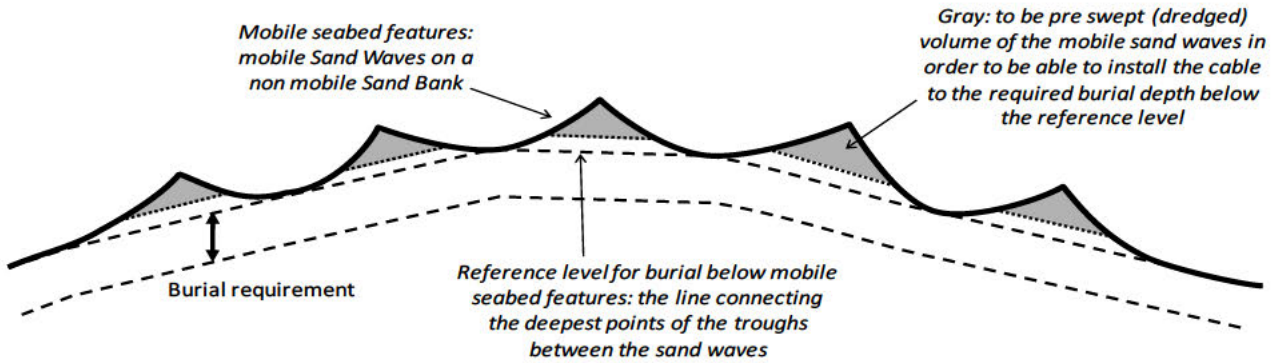


Figure 10 Reference level for cable burial below sand waves

Pre-sweeping of a cable installation corridor through areas with mobile sand waves is a proven method to reduce the risk of cable exposure over its lifetime as well as to significantly reduce the amount of maintenance required on the depth of cover of cables over their lifetime. Deeper initial installation into the seabed is a proven method to reduce the risk of cable exposure over its lifetime in the nearshore areas where the seabed is prone to near shore sand bank mobility (shifting riptides) and storm erosion.

#### 5.4 Short term seabed mobility

Along the cable route fast moving mobile seabed undulations are encountered. Of these, the so-called 'Mega Ripples', are relevant to the burial depth of subsea power cables. Mega Ripples are driven by wind induced surface waves. These ripples can be in the order of 0.5 m to 1.5 m in height. Mega Ripples move tens to hundreds of meters per year and come and go depending on the surface waves. Given the height of Mega Ripples, these undulations pose a threat to the burial depth of the NW cables. To mitigate this threat, the required burial depth of the NW submarine cables is defined relative to a level below these short term seabed undulations, see Figure 11.



Figure 11 level for cable burial below ripples and mega ripples

There are two options to bury the offshore cable to the required depth below these short term seabed undulations:

1. Flatten the short term seabed undulations prior to offshore cable installation.

2. Install the cable deeper than the initial required burial depth under the short term seabed undulations (provided deeper installation is possible with the applied trencher).

Another reason to flatten higher Mega Ripples is to allow safe passing of any trenchers which drive over, or are pulled over, the seabed. This as trenchers can struggle to pass over Mega Ripples either because they can be too steep or because the trencher digs into the Mega Ripple with its skids or other parts. This depends on the particular cable trencher design in relation to the size of the Mega Ripples.

## 6. Installation preparations HVDC 525 kV submarine cable system

This chapter describes the activities that take place prior to the installation of the offshore cables. These activities are to provide input for the offshore cable installation and to clear and prepare the offshore cable route.

### 6.1 Initial route survey

Since the preferred route alternative for Gamma has been selected, the initial geophysical and a geotechnical surveys of this route have been executed. The bathymetry along the cable routes will be measured in detail and geotechnical and geophysical investigations will be performed to map the seabed in the light of cable design engineering and cable protection engineering. Obstacles along the route will be surveyed as well, amongst which the crossings with in-service and out-of-service subsea assets. These surveys will also be used to identify possible archaeological objects.

### 6.2 UXO and archaeological survey

For clearance of potentially present unexploded ordnance along the routes of the offshore cables, the requirements of the WSCS-OCE (*Werkveldspecifieke certificatieschema voor het Systeemcertificaat Opsporen Conventionele Explosieven*) are being followed, see <http://www.explosievenopsporing.nl/dossiers/wscs-oce/>. Prior to the route preparation and cable installation operations a magnetometer survey will be executed, following the recommendations made in the previously executed UXO desk top study. Results of the offshore UXO survey will be interpreted by a UXO expert to advise on potential UXO's and/or other objects/obstructions. Where possible the cables will be rerouted around these potential UXO's and/or objects encountered during this magnetometer survey. Typically, 10 - 20m standoff distance is to be kept between the offshore cable route and a potential UXO. Standoff distances depend amongst others on the types of UXO expected and for instance on the installation / burial equipment that will be used. These standoff distances are prescribed in the UXO desk top study.

Potential UXO's which cannot be avoided by rerouting will be investigated by either an ROV (remotely operated vehicle) or by a diver. In case the object is identified to be UXO, clearance of the UXO, by removal and/or detonation, will be performed by specialists from the Royal Netherlands Navy. Where required, the UXO will be exposed by the UXO survey contractor by removing soil above it with a dedicated dredge pump or other excavation means.

After the UXO survey and after clearance of potential UXO's which could not be avoided, an ALARP (As Low As Reasonably Practicable) certificate will be provided by the UXO responsible manager for each cable route.

During the UXO clearance operations encountered debris and other obstacles which could hamper cable installation will also be removed from the seabed.



### 6.3 Pre installation route survey

Before installation activities commence, a route survey will be conducted by the installation contractor. The goal of this pre installation survey is to update the bathymetry, to scan the cable route for obstacles and to update the understanding of the particulars of the cable route in relation to the selected installation methods. A particular focus will be on the mobile seabed's (mega ripples, sand waves, mobile sand banks), on the shallow grounds and on soil types adverse to the selected trenching method(s) (for instance clay, peat, glacial till in case of jet trenching).

### 6.4 Detailed route engineering

The knowledge of the cable routes and possible obstacles along those various alternative cable routes, gathered during the surveys, will be used for detailed route engineering (or "micro rerouting"). Within the boundaries of the permitted corridor for the cables and within the surveyed corridor, a detailed routing will be engineered for the cable routes. Objective for the route engineering is to reduce the installation risks as well as risks with regard to future maintenance of the cables by avoiding obstacles like for instance potential UXO's and wrecks as well as to reduce seabed preparation by for instance pre-sweeping of mobile sand waves. Crossing angles with in-service subsea assets to cross, for instance telecom cables and pipelines, will be optimised for installation purposes as well as brought in line with the particulars of the crossing agreements for each crossing.

As part of the detailed route engineering the installation Depth of Cover of the offshore cables will be set for all route sections. The installation Depth of Cover will be determined by the largest required installation depth as following from the Depth of Cover criteria as described in chapter 5.

The maximum installation depth will be limited by:

1. Permitted maximum dredging volumes;
2. Technical possibilities available on the market with regard to cable burial depths;
3. Limitations with regard to cable installation techniques following from the permits and from the requirements from stakeholders such as Port Authorities.

### 6.5 Route Clearance and Pre Lay Grapnel Run

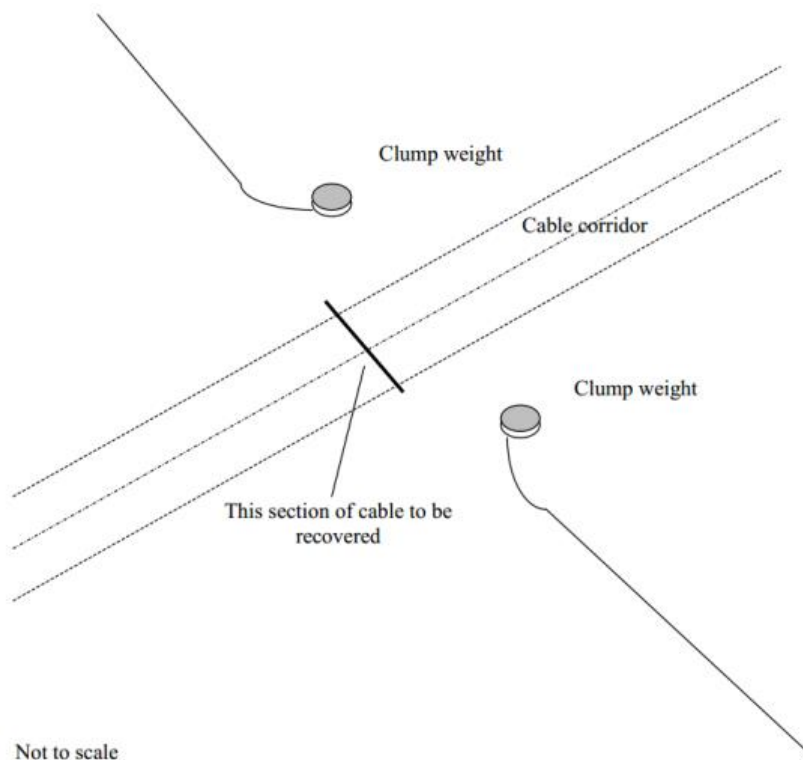
After the pre-installation route survey, the route will be cleared of out-of-service cables and any significant debris encountered as far as not already recovered during the UXO clearance operations.

Just before cable installation can commence, a cable route clearance intervention by means of a pre-lay grapnel run will be executed in order to remove debris on the seabed surface which pose a threat for offshore cable installation. During the Pre Lay Grapnel Run operation a shallowly penetrating train of grapnels will be dragged over the full length of the centre line of the intended cable routes with the exception of crossing locations with in service 3<sup>rd</sup> party assets. In particular abandoned ropes, wires and fishing nets pose a potential obstruction to cable installation. The Pre Lay Grapnel Run reduces the risk of obstructions during a possible trenching operation. All the removed debris will be brought back to port and be disposed-of in accordance with applicable regulations.

In case unknown wrecks (not present on current sea-charts or in the available databases) are discovered during the survey or other objects with possible archaeological value, notice will be made and reported to the authorities. Where possible, these objects will be avoided by rerouting of the cable route(s) around the object.

### 6.5.1 Pre detected OOS cables: ICPC Recommendation number 01

For the crossings with Out-Of-Service subsea telecom cables, the ICPC recommendation 01 “Management of Redundant and Out-Of-Service Cables” will be followed. The OOS cable will be dragged from the seabed to deck. A section will be cut out of the OOS cable long enough to clear the route for the NW cables. The ends of the cut OOS cable will be placed back on the seabed attached to a clump weight to secure the end of the OOS cable to the seabed. Reference is made to Figure 102.



**Figure 102 Partial removal of OOS cables of ICPC recommendation 01**

### 6.5.2 Non pre-detected cables and steel wire ropes

On all the TenneT Net op Zee projects executed so far, unknown and earlier undetected subsea cables and steel wire ropes have been encountered during the survey, route clearance or even as late as during the lay and burial operations. That is likely to happen in NW as well. These cables and steel wire ropes are being dealt with as debris. Attempts have been made in the past to trace back owners of unidentified cables and TenneT has contacted the Royal Netherland Navy to check whether secret military cables at sea are to be taken into account, as is done on land. In case such an unidentified cable or a steel wire rope would be found, the first mitigation is to remove the cable or steel wire rope from the cable route, as is done with known out of service cables. If the

cable or steel wire rope is encountered at a very late stage however, too late to remove it from the seabed, it can be attempted to bury the encountered to a larger depth by jet trenching or mass flow excavation prior to the burial of the cable or together with the Nederwiek cable. That has been done before, for instance during the installation of the BritNed cables as well as on some projects of Energinet in Denmark. If that burial is successful, the NW cables can be installed at the required Depth of Burial over the deeper buried cable or steel wire rope or together with it. In case this appears not possible, a rock placement will be considered to protect the shallow buried NW cables at that location.

### 6.5.3 Out of Service pipelines and unknown pipelines

The Nederwiek cable routes cross Out of Service pipelines, which locations and owners are known. Those pipelines will not be removed but crossed as if it were In Service pipelines. Removal of (parts or) Out of Service pipelines would introduce risks with regard to the environment which are deemed not acceptable.

Unknown pipelines have not been encountered so far on the TenneT Net op Zee projects. It is not likely to encounter Out of Service pipelines as pipelines have only been installed relatively recent, compared to the installation of cables which have been installed since the middle of the 19<sup>th</sup> century. Installed pipelines are considered all to be known. Pipelines do have a large ferro-magnetic mass compared to buried cables or steel wire ropes and are therefore very likely to be detected during the route surveys.

## 6.6 Preparing for burial in areas with mobile seabeds

### 6.6.1 Minimising dredging by route engineering

As part of the detailed route engineering (see 6.4) the route for the cables will be assessed regarding sand wave mobility. By rerouting the individual cable routes in sections of sand waves, crests of sand waves will be avoided where possible, by rerouting through the troughs between the sand waves. In sections where the cable route is situated more or less parallel to the crests of the sand waves rerouting can reduce dredging volumes.

The objective of the route engineering in areas with mobile seabed features is to reduce the impact on the environment and as well to reduce the maintenance on the depth of cover of the cables over their lifetime and on other users of the sea during the operation and maintenance phase of the offshore cables.

As a part of the assessments a comparison between the additional installation costs associated with dealing with seabed mobility on the one hand (CAPEX) and the costs involved in the expected future maintenance as a result of seabed mobility on the other hand (OPEX) will be made. Based on earlier projects (NorNed, BritNed, COBRA, Borssele, Hollandse Kust) it is expected that pre-sweeping (dredging) mobile seabeds prior to cable installation does reduce the lifetime impact on the environment by the total of cable installation and maintenance as well as reduce the total costs of ownership (TOTEX). In particular with BritNed, TenneT has gained experience with the benefits of pre-sweeping mobile sand waves prior to cable installation with regard to minimising maintenance on the Depth of Cover of the cables over their lifetime. On NorNed on the other hand experience has been gained with the reburial of a power cable of which the cover was reduced too far as a result of seabed mobility as well as because of changed permit requirements.

### 6.6.2 Pre-sweep (dredge) profile design

Where mobile sand waves are to be crossed, pre-sweep (dredging) profiles can be designed through the individual sand waves on a “trough to trough” basis. A corridor will have to be pre swept (dredged) which is wide enough for a cable burial tool to pass through. Typically, the pre-sweep profiles have a bottom width of 14m. The side slopes of the pre-swept profiles are to be stable in the period between and during dredging and cable installation. Another approach can be to predict the lowest seabed over the lifetime of the cable and apply that level as the reference level for cable burial, as has been applied on BritNed. That level is referred to as the ‘Non Mobile Reference Level’ for the lifetime of the cable. Where sides of mobile banks are crossed which are retreating along the cable route, dredging profiles will be considered as well to postpone maintenance of the Depth of Cover. The depth of the pre-sweep profile will be designed such, that the cable burial tool used can bury the cable to the required depth below the Non Mobile Reference Level, whilst taking into account dredging tolerances and an estimation of the natural backfilling of the pre-swept profiles between dredging and cable lay and burial.

### 6.6.3 Pre-Sweeping mobile seabeds

Prior to cable installation the mobile seabeds can be pre-swept in accordance with the design. The dredging operations will be scheduled as closely preceding the cable lay and trenching operations as practically possible to minimise the impact of natural backfilling of the pre-swept profiles between dredging and cable installation. A Trailing Suction Hopper Dredger will be used to pre-sweep the mobile seabeds. Only sand will be dredged as any encountered clays or other cohesive material is considered non-mobile over the lifetime of the cable. If any cohesive material is encountered during dredging (which has not been detected during the route survey), the dredging in that section will be stopped at that level. As only mobile sand will be dredged during the pre-sweeping, the amount of fine particles in the sand dredged will be very low, as mobile sand contains a very low percentage of fine particles. Because of the very low content of fine particles in the sand of the dredged mobile sand waves, the turbidity caused by these dredging operations will be very low, compared to dredging of non-mobile soils.

The dredged seabed material will be disposed of beside the cable route in order to keep the dredged material in the local mobile seabed system. Typically, a distance of 200m will be kept to the outer most cable route on the downstream side.

The cables will be trenched in the bottom of the pre-swept profiles and therefore the cables will be protected in the pre-swept profiles closely after their installation. The pre-swept profiles will be backfilled by nature over time. The time required for sand waves to recover depends on the local seabed currents and on the amount of storms and the severity of storms passing over the area. It typically varies from weeks close to the coast line to years at deeper water where tidal currents are less.

The natural backfilling of the pre swept profiles will be assessed prior to the installation of the cables. That natural backfilling will be taken into account in conjunction with the execution schedule of the contractor. In case storms, more severe than those taken into account during the scheduling, pass over the cable route between the completion of the pre sweeping operations and the lay and burial of the cable, then maintenance of the pre swept profiles is likely to be required.

## 6.7 Pre-trenching run

In case the burial assessment study, based on the soil information available from the initial cable route survey, indicates a relevant risk of not achieving the required Depth of Burial due to soil conditions, a pre-trenching run will be considered. During the pre-trenching run the same burial tool as is intended to be used for the cable installation will be pulled or driven along the selected cable route section, but without the cable. As the cable is not present, it is not constraining the pre-trenching operation, making the possibilities of using the burial tool slightly wider, e.g. slower pulling and repeating sections become possible.

In sections where the pre-trenching run appears not successful, pre-dredging, pre-cutting or a soil strength related reduction in the burial depth can be considered, depending on the local Depth of Cover requirements in relation to the permits and the risk based burial depths.

## 6.8 Pre-cutting run

Occasionally pre-cutting of the soil along the route can be applied, where soils, adverse to trenching, such as peat, clay or glacial till pockets, are being reckoned with. It is an operation comparable to trenching, which reduces failure to achieve the required burial depth in identified pockets of adverse soils. For pre-cutting either a cable plough or a chain cutter trencher can be used.

## 6.9 Soil improvement at sea

The predominant soil type along the cable route is sand. Sand has thermal properties which allow for an efficient design of the cables. In sand the cables can transmit warmth to the surrounding, which is a requirement for the functioning of the cables. In locations where the cables cannot transmit sufficient warmth to the surrounding, a 'hotspot' in the cable will occur. A local hotspot will be detected in the control centre via the glass fibre system in the cables. The temperature of the cables can be the delimiting factor for the transportation of wind energy to land. If a local hotspot occurs, the transport of wind energy has to be reduced by switching off wind turbines. Local hotspots can occur in areas along the route where peat or clay pockets are present. Peat and clay pockets can be a thermal isolation for the cable. To avoid that peat and clay pockets are limiting the peak transport capacity of the cables, local soil improvement can be executed.

To improve the thermal properties of the soil along the cable in sections of the route where peat or clay pockets are present, the peat or clay can be replaced by sand. A trailing suction hopper dredger vessel is used to dredge a trench through the peat or clay pocket. For this the mixture of the peat and clay and the overlaying sand is dredged away from a narrow trench on the route. Adhering to the applicable regulations, non-mixed peat and clay will be transported to designated disposal areas for cohesive soils. Where it appears not to be possible to dredge only peat or clay and where mixtures of sand with peat or clay are dredged, following the regulations the mixture will be placed in the cable corridor. The dredged trench is filled with sand, which is pre-swept from the cable corridor from the sand waves in the vicinity. See 6.6.

After the dredged trench is backfilled with sand, the cable will be laid and buried into the placed sand.

## 7. Installation of onshore cables

This chapter describes the installation of the HVDC 525 kV and HVAC 380 kV onshore cables. Not all items described are relevant for each cable type. Once the general route for the cable system has been established, similar as in the offshore section, there will be a route survey, suitable to provide the required input for the cable design engineering and cable installation engineering.

### 7.1 Onshore cable routing

The onshore cable routing starts at the transition joint and ends on the land station for the HVDC 525 kV land cables. For the HVAC 380 kV land cables the routing starts at the converter station and ends on the 380 kV substation. The routing itself can be executed using two installation methods:

1. by excavation of an open trench and laying the cable systems in the trench and
2. by horizontal directional drilling (HDD).

This last installation method is only applicable if open trench is not an option (e.g. when crossing obstacles such as multiple cables/pipelines, canals, railroads, bridges, highways, etc.). Open trench is thus always the preferred execution method. The length of individual cables onshore will be 800 to 1200 m, connected using joints. This length will be used for both HVDC as HVAC cables.

### 7.2 Cable trench configuration

For the open trenching two cable trench configurations are applicable for the HVDC cables and two cable trench configurations for the HVAC cables.

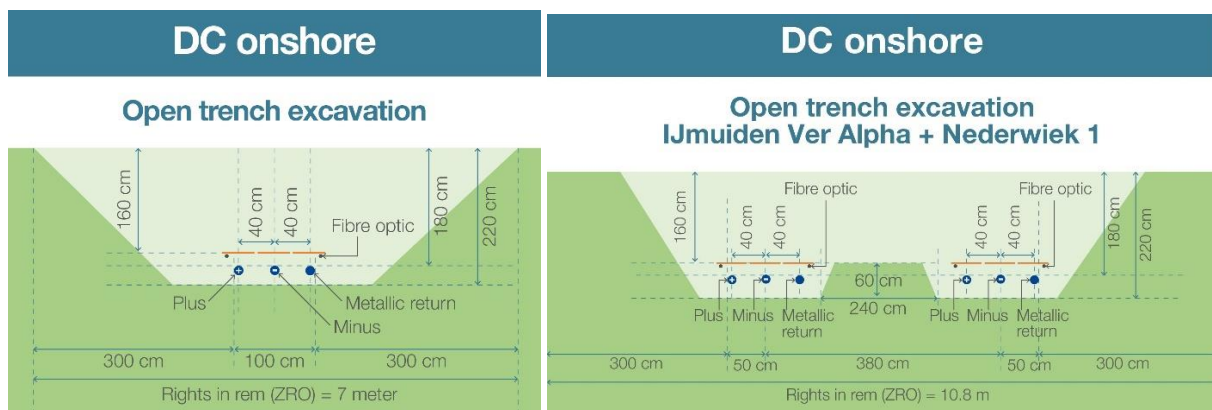
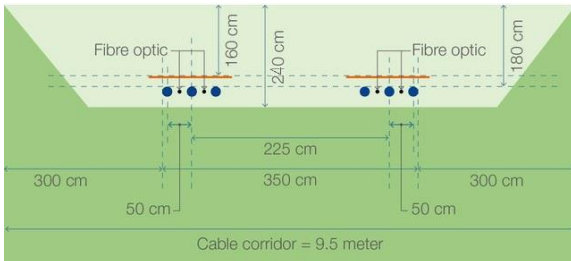


Figure 13 Cable trench configuration Nederwiek 1 (and in combination with IJmuiden Ver Alpha)

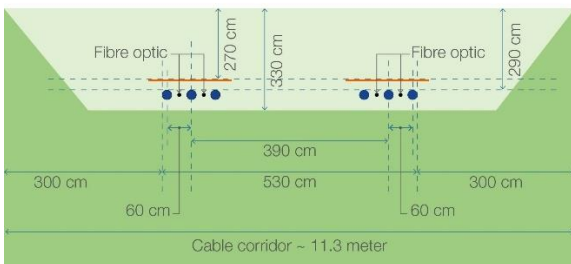
## AC 380 kV onshore

### Open trench excavation



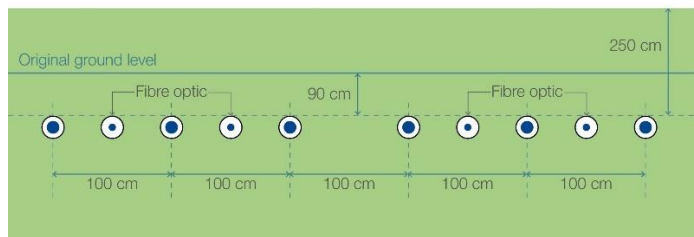
## AC 380 kV onshore

### Open excavation along Witte Zeeweg



## AC 380 kV onshore

### Within jacket pipes below converter station locations IJmuiden Ver Beta and Gamma



**Figure 14 Cable trench configuration 380 kV HVAC connection Nederwiek 2 standard (above) and along the Witte Zeeweg and under the plots of the converter stations of IJmuiden Ver Beta and Gamma (below).**

The depth of the trench that is to be excavated depends on the location. This can be in either an agricultural area or a non-agricultural area. The depth to be excavated in the case of a non-agricultural area is approximately 1.50 m and the excavation depth in the case of agricultural area is 2.50 m. The width of the trench depends also on the depth of the trench and soil conditions, taking into account a ratio of 1:3 for the sides of the trench.

Included in the trench configuration for both HVDC and HVAC cables will be 2 fibre optic (FO) cables, installed as ground cables (without a duct) or installed inside a protective duct, size 40-50mm. The FO cables or cable ducts will be installed directly under the cable protection plates, as shown in the respective figures 13 and 14.



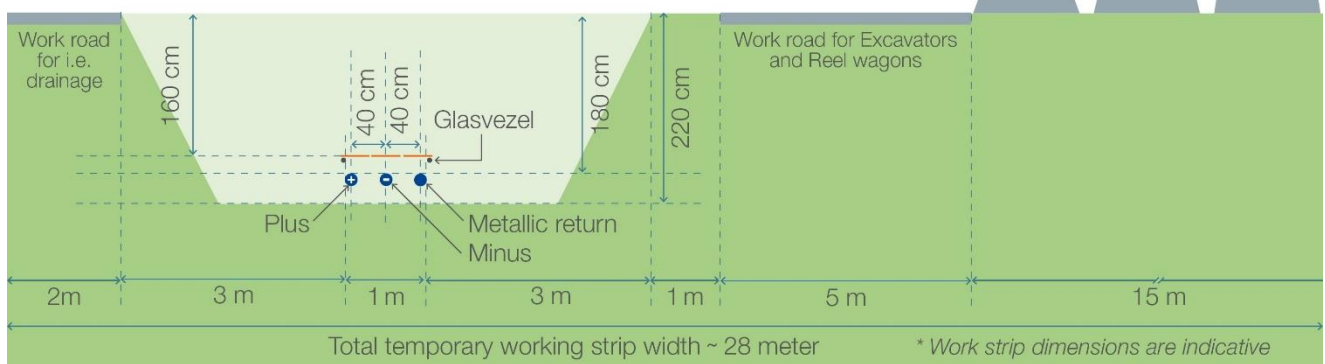


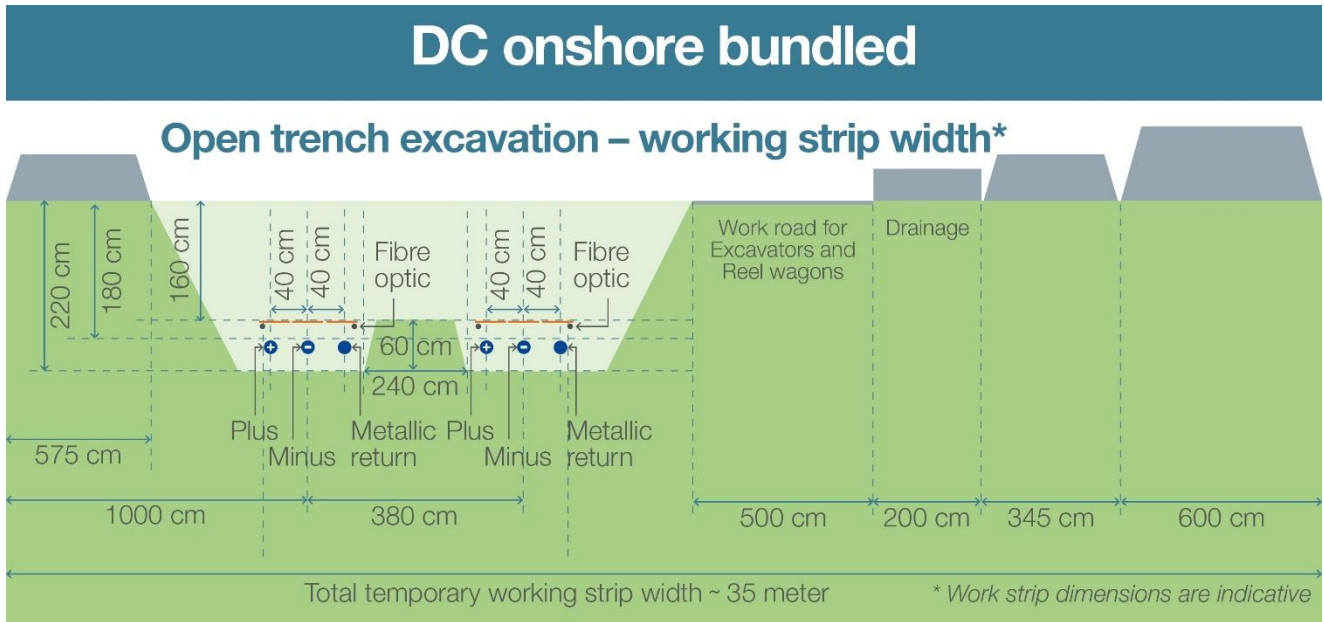
**Figure 15 Example of a trench**

A trench of the required depth and width is excavated and if necessary, rainwater and/or groundwater will be pumped out of the trench and discharged on surface water in the direct vicinity of the project location. This will be done in compliance with permit requirements (if applicable). Different soil types in the trench are stored separately next to it. Next to the trench a temporary working road is installed which is used to move heavy equipment. Where necessary the soil and/or road is protected with protection mats. The required width of a working area for open excavation ranges from approximately 20 to 30 m for the 525 kV HVDC cable configurations and 30 to 35 m for the 380 kV HVAC cable configuration.

## DC onshore bundled

### Open trench excavation – working strip width\*





**Figure 16 Typical example working area for trench type 525 kV HVDC connection Nederwiek 1 (and in combination with IJmuiden Ver Alpha)**

### 7.3 Open trench installation

The cables are pulled in using rollers, cable tensioners and winches. The cables will be laid on a bed of backfill sand. The cables will have a further cover of approximately 200 mm of the same sand and a layer of protection tiles (often red with a warning text). The trench will be closed directly after the installation of the cables using the original soil stored in layers next to the trench, unless thermally stabilised sand is required instead of the original soil. This would be required if the thermal conductivity of the soil need to be improved for the cable design. Any surplus soil will be spread evenly in the working area allowing for some future compacting of the soil. The compaction will ensure stable ground and to prevent any subsidence of the soil at ground level. During the backfilling a warning tape will be installed above the protection tiles.

The installation works can take about 6-10 weeks per km DC cable and also 6-10 weeks per circuit AC (three single core cables).



Figure 17 Pull in wire and rollers (left), backfilling before cable pull in (middle), typical roller (right)



Figure 18 Typical cable tensioners (left) & cable winch (right)



Figure 19 Open cable trench, after the pull-in of the cables

### 7.4 Transition joint

For the transition between the HVDC 525 kV submarine export cable and the HVDC 525 kV land export cable a transition joint will be made. The dimensions of the working area, including the concrete base where the transition joint can be mounted on, is approximately 10 x 5 m per transition joint. A concrete base or steel frame is used to secure the HVDC 525 kV submarine export cable and the HVDC 525 kV land export cable in order to be able to lift the joint and to clamp the armour wires of the submarine cable.

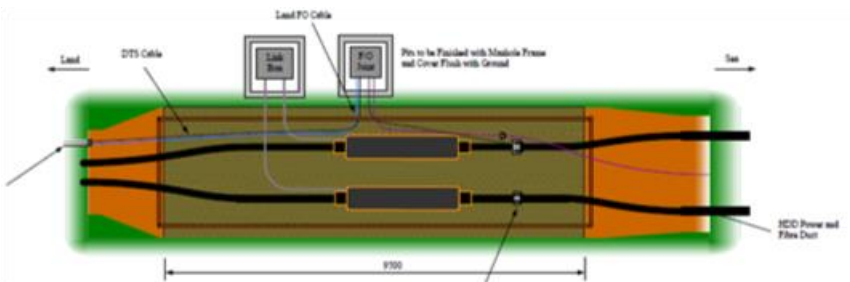


Figure 20 Typical transition joint bay lay-out for HVDC cable system comprising of 2 DC cables and a Fibre Optic (without MR cable)

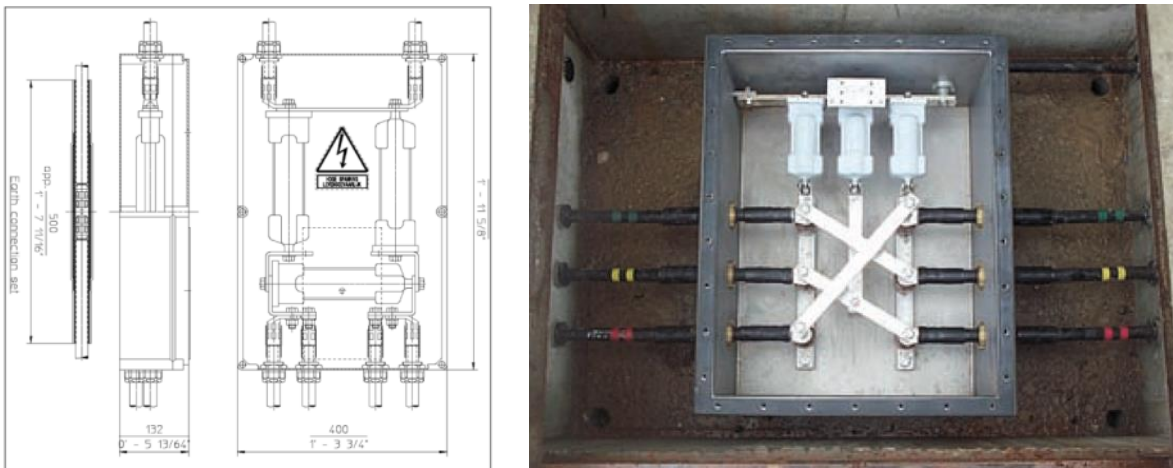
### 7.5 Cross bonding Land Cable sections

This paragraph is only applicable for the HVAC 380 KV land cable system.

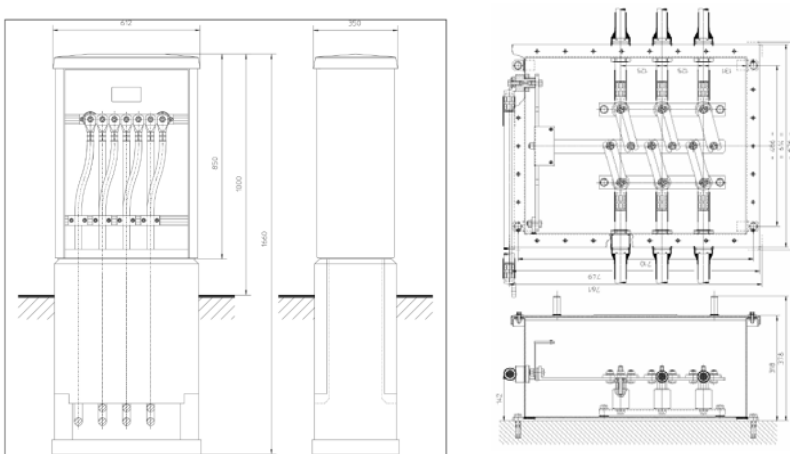
Cross bonding is a preferred solution for the metal sheath earthing of these cable. Cross bonding minimizes the losses in the cable system and increases the transport capacity. In order to achieve an optimum, the route is to be split into three cable sections or a multiple of three (also called sectioning). The cable lengths per sections

should have, approximately, the same length.

Just outside of the joints, the earthing sheaths of the three single core cables are connected in an underground cross bonding box or an 'above ground' earthing box (see the figures below). The cable lengths between the underground cross bonding boxes is called the minor section and the cable length between two earthing points is called a 'major section'. Within a 'major section' there must always be three minor sections, thus only two underground cross bonding boxes. The same also applies to the total number of major sections within the cable system.



**Figure 21 Typical cross bonding box for AC only (underground)**



**Figure 22 Typical Earthing box (can be both above ground and underground)**

## 7.6 Horizontal Directional Drilling

*This paragraph describes the installation method of a Horizontal Directional Drilling. Alternative drilling methods are available on the market. The HDD is however deemed most likely to be performed in case open trench installation is not feasible and therefore only this option is further elaborated.*

An HDD generally consists of three installation stages:

1. First, a drill bit is pushed through the ground on a designed alignment from an entry point close to the drill rig to an exit point on the other side of the obstacle to be crossed. This is called the pilot drilling. Established surveying and steering techniques are used and proven drill tools are available for a wide range of soil and rock conditions.

The borehole will be filled with drill mud during all stages. This is a mix of water and special clay (Bentonite). The mud particles prevent the drill mud to infiltrate into the bottom, secondly the drill mud has a larger specific weight than water. These two aspects make that the mud pressure in the borehole is (almost) always higher than the surrounding pressure created by the ground water level. The mud pressure therefore creates extra pressure on the wall from the borehole and keeps it stable and open.

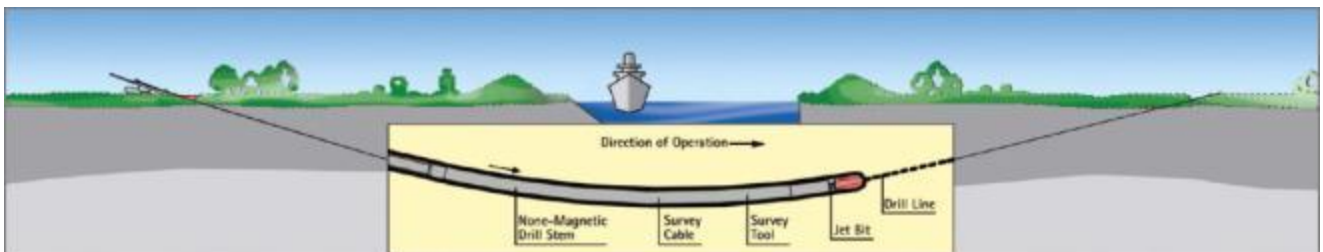


Figure 23 First stage of an HDD - pilot drill

2. The pilot drilling is then enlarged by one or more reaming passes until it has reached the desired diameter. For this purpose, suitable tools like barrel reamers, fly cutters or hole openers are used. During the process, drill pipes are continuously added behind the reamer to ensure that there is an entire drill string from the entry to the exit point at all times. Depending on the soil conditions, a mixture of water and bentonite or other additives can be used for hydraulic excavation. This both supports the borehole and reduces frictional forces, while allowing the excavated material to be transported to a separation plant on the surface.

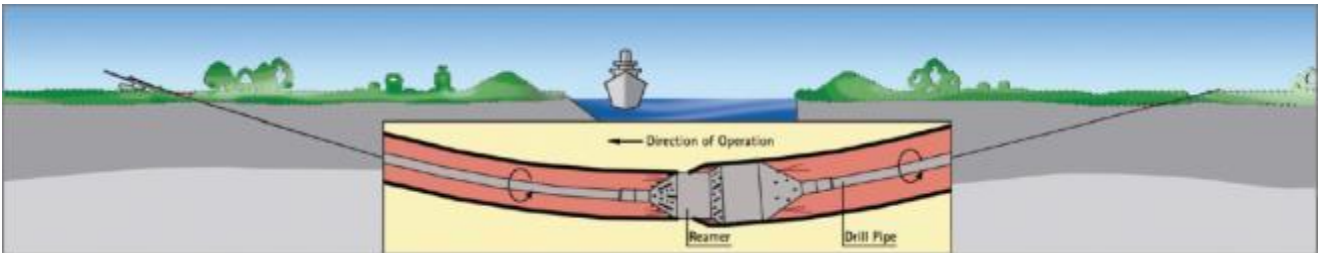


Figure 24 Second stage of a HDD – reaming the pilot drill



Figure 25 - Examples of reamer in HDDs

3. In the final step of the operation the liner pipe is pulled into the reamed borehole starting at the exit point on the other side of the obstacle. The drill string in the borehole is connected to the pipe by a special pull head with a swivel. As soon as the drill rig has pulled the whole liner into the ground and the pull head arrives at the entry point, the liner has reached its final and safe position deep in the ground. A second technique is to push the liner through the reamed borehole.

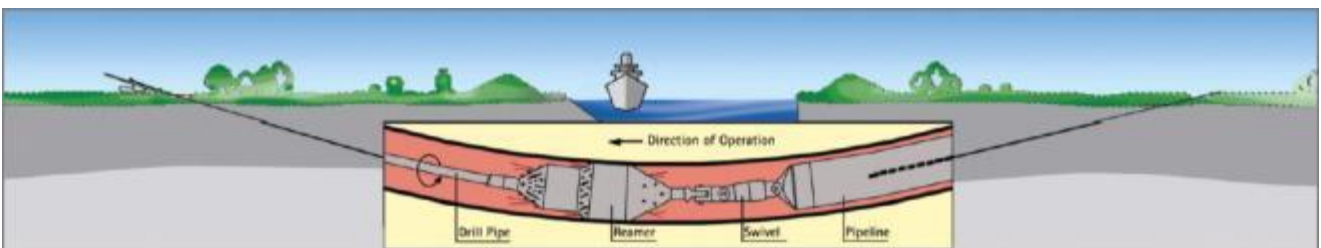


Figure 26 Third stage of a HDD – pulling of the pipeline

Before the pipe can be pulled into the reamed drilling the full pipe string length will be assembled in the area close to the point from which the pipe will be pulled into the borehole. The assembly consists of welding pieces of approximately 20m HDPE pipe together. Alternatively steel could be used as well instead of HDPE.



**Figure 27 Pipe string assembly and mirror welding technique in container.**



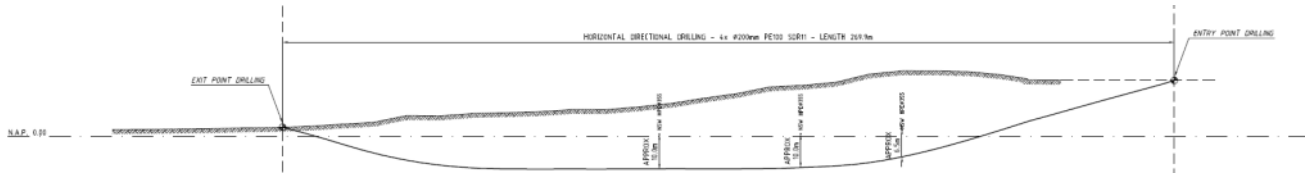
**Figure 118 Pipe string supply into pipe pusher**

After the HDD itself is finalized the pipe of the HDD will first be cleaned of any debris or sediments by blowing a special pig through the HDD. A pull-in wire will be blown through the HDD after which the pulling of the cables can commence. For this the cable is connected to the pull-in wire and then pulled through the HDD using a winch. The execution time of one HDD will be approximately 2 weeks. Maximum length is set on 1200 m due to restrictions of cable transport. Transport of longer cable lengths is possible, as seen on Gemini, however not preferred.

### 7.6.1 Outfall drilling

For cable pulling and ampacity purposes the cable pipes will be filled with water. Therefore it is important that the difference in ground levels at the entrance and exit location are as low as possible. This is an important aspect in selecting optimal locations for the outfall drilling (drilling towards or from a higher or lower point than the other

end). This is especially applicable for the outfall drilling from shore to the beach, see Figure 129.



**Figure 129 longitudinal profile of a typical outfall drilling**

In cases where there is a significant height difference between the entrance and exit point, for example when drilling towards the beach, it is impossible to maintain a mud-filled borehole. Gravitational forces will make the mud level drop until the lowest open point and flow out until it reaches the lowest exit location (beach location in this case).

Two problems occur:

1. The first section of the tunnel (+/-20m length) is no longer filled with mud and loses inner pressure with a larger risk of collapsing in this area.
2. The total pressure over the total length of the drilling will drop causing a risk of groundwater entering the borehole over a large section causing the walls to collapse.

Both stability problems can result in a HDPE pipe being impossible to pull through the bore hole failing to be installed over the desired route. A prevention measure would be to temporarily increase the beach level until it equalizes the entrance location on land (e.g. by creating a mound (terp)). Hence the present ground water level is of influence determining the exact needed height. Ground water research therefore is needed.

### 7.6.2 HDD configuration

The standard configuration of the HDD's in the soil is shown in Figure .

The following sizes for the HDPE pipes can be taken into account for the landfall HDD and all other HDD's in the route.

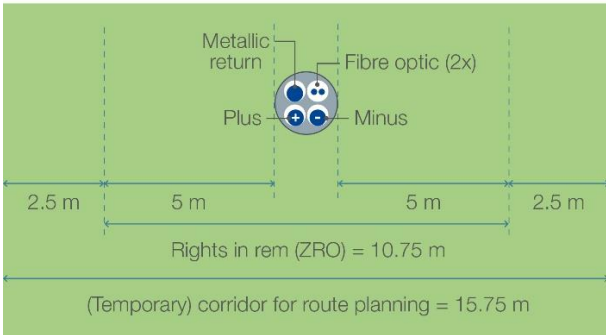
- Landfall HDD → HDPE 450 SDR09 (450mm outer diameter and wall thickness of +/-50mm)
- Other HDD's → HDPE 250 SDR11 (250mm outer diameter and wall thickness of 22,7mm)

The class of the HDPE (SDR11) depends on the design of the drilling and the calculation for the pull-in of the pipe through the borehole.



## DC onshore

### Horizontal Directional Drilling (HDD)



## DC op land

### Horizontal Directional Drilling (HDD) IJmuiden Ver Alpha + Nederwiek 1

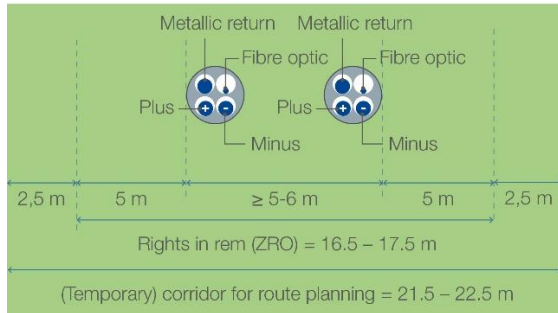


Figure 30 HDD Nederwiek 1 (left) and IJmuiden Ver Alpha and Nederwiek 1 combined (right).

# AC 380 kV onshore

## Horizontal Directional Drilling (HDD)

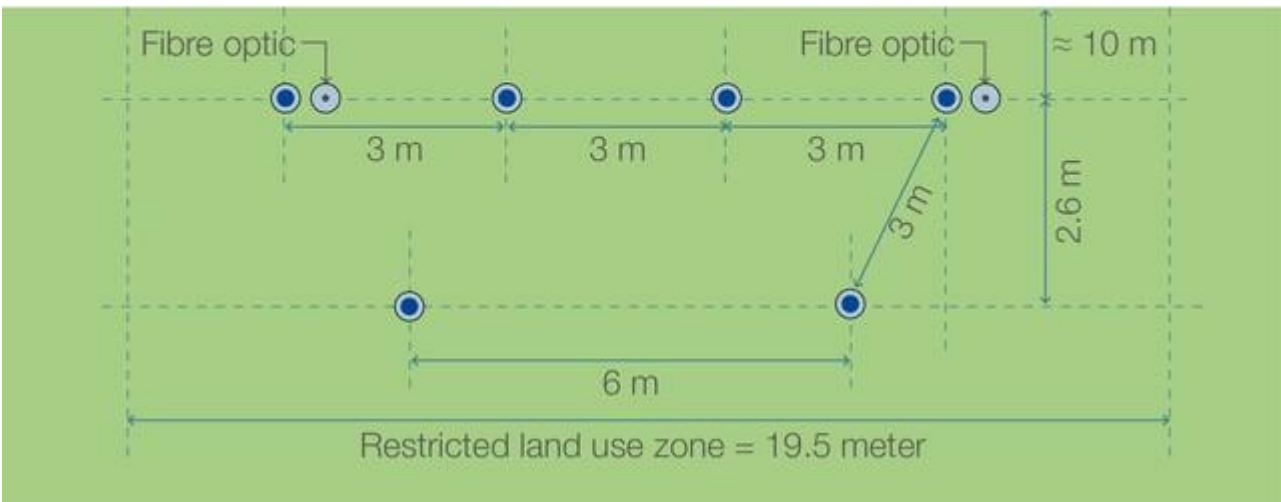


Figure 31 HDD configuration Nederwiek 2

### 7.6.3 HDD installation tools

For the installation of an HDD various tools are required. Excavation machinery is required to dig the entry and exit pit from where the drilling starts and ends. The main tool is the drilling rig which drills and reams the drilling hole. Dependent on the size of the HDD (length and diameter) a maxi rig or a midi rig can be used, see Figure

32. A midi rig will generally be used for drill lengths from 200 to 400 m and pipe diameters of typically 300 mm. Maxi rigs will typically be used for drill lengths from 400 meter up to 1200 meters.



Figure 32 Example HDD rigs - [left] midi rig - [right] maxi rig

The available area required on the side of the drill rig must be sufficient for the rig itself and its ancillary equipment. Temporary area working for both entry and exit point for HDD equipment and conduit pull in arrangements depends on the length and type of drilling equipment. Some typical dimensions are stated below.

HDD length	Area for HDD equipment	Equipment
>1000 m	50 x 50 m = 2500 m <sup>2</sup>	250T and more
500-1000 m	30 x 50 m = 1500 m <sup>2</sup>	100-150T
<500 m	25 x 30 m = 750 m <sup>2</sup>	100T

For temporary storage of conduit sections, including space for welding, approximately the drill length (i.e. 1000m x 20 m = 20.000 m<sup>2</sup>) is needed. Also space for cranes and rollers are to be taken into account.

An important part of the ancillary equipment is the mud (drill fluid) installation which consists of the mud tank, recycling unit (separation of cutting from the mud) and the mud pump. The drill fluid is essential for the HDD installation since it fulfils multiple functions such as hydraulic cutting fluid (in case of soft soils), transportation of the drilling cuttings, stabilisation of the bore hole and more. Filtering of the drilling cuttings takes place in the recycling unit. An example of the rig site (entry point) is shown in Figure 3, the exit point in Figure 4.

The pull-in of the HVAC cable in the HDPE duct is done using a guide wire that's installed in the HDPE duct. After connecting the cable to the guide wire, a winch is used to pull the cable through the HDPE duct. Guide rollers and tensioners as shown in Figure 33 and Figure 34 are used during the pull-in to guide the cable.

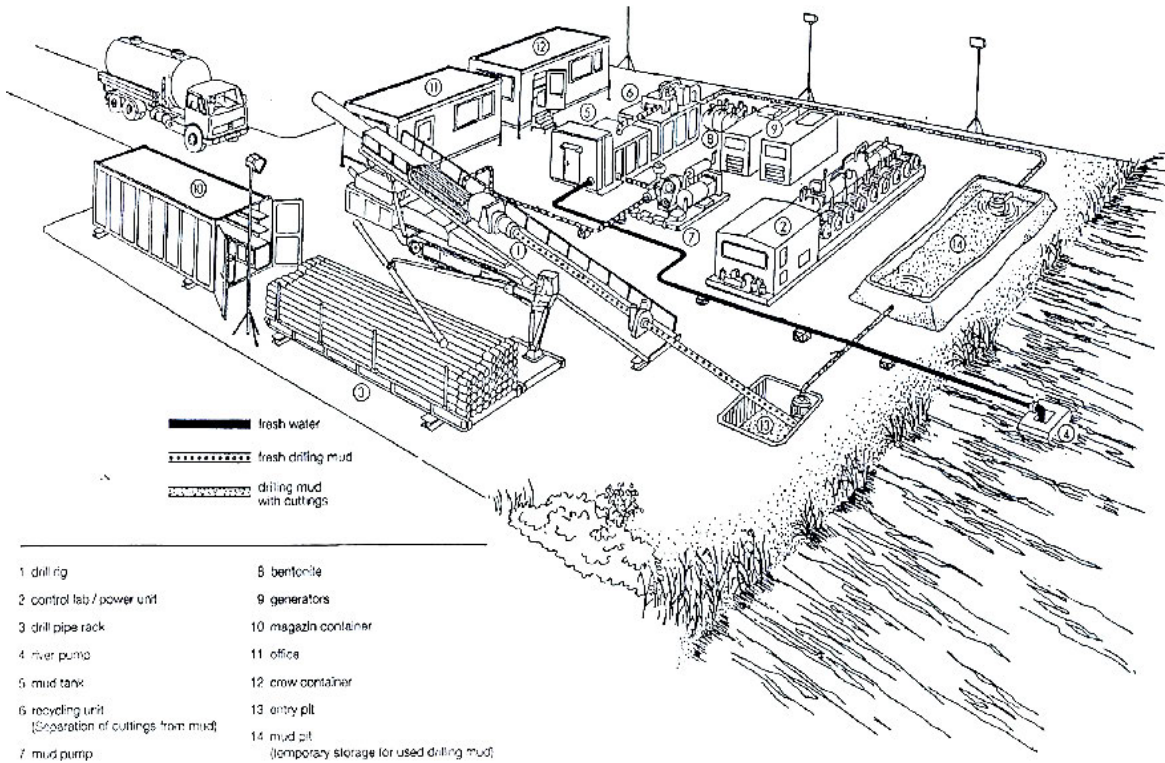


Figure 33 Example lay-out and equipment of entry point HDD side

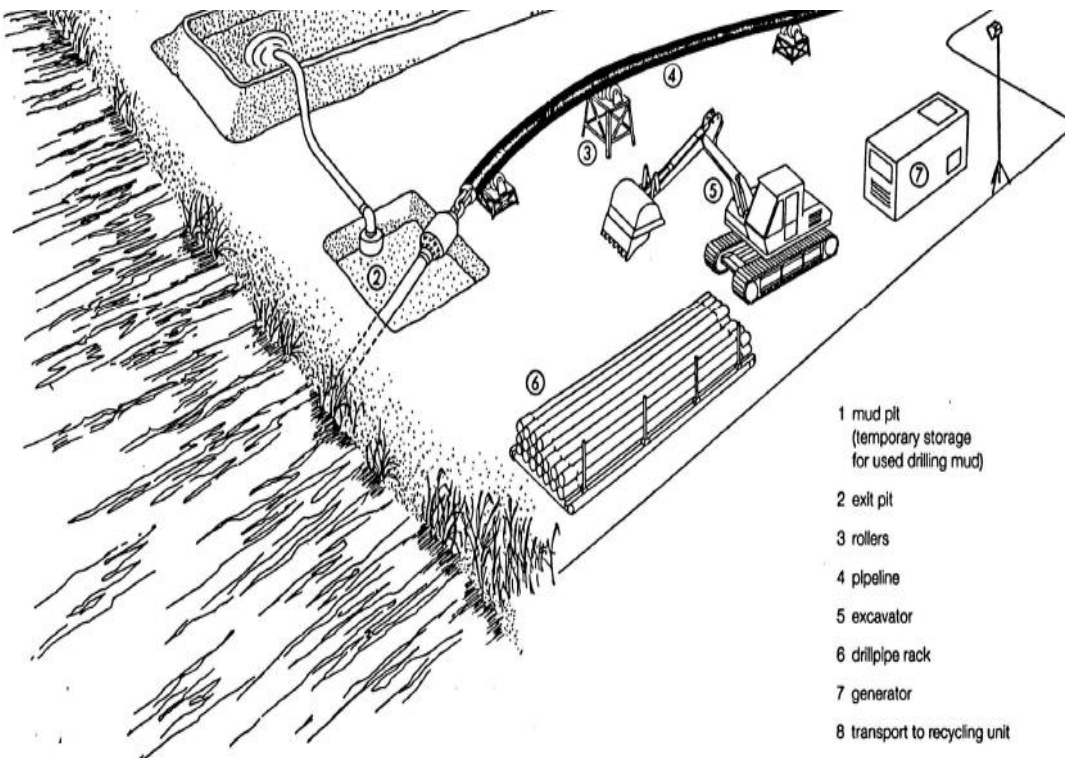


Figure 34 Example lay-out and equipment at the HDD exit point side

## 8. Installation of cables offshore

This chapter describes the installation of the HVDC 525 kV submarine cables at the offshore section of the route. There are several different installation methods and trenching tools available on the market to install the NW offshore cables. This chapter provides an overview of the expected installation methods offered by the market which can meet the installation requirements.

### 8.1 Site description

The offshore section is the part of the cable route from the transition joint to the offshore substations NW.

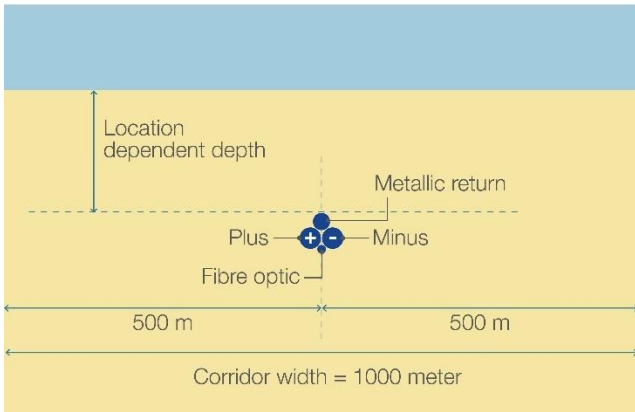
The individual cable system has a post-construction exclusion zone on either side of the outermost cables of 500 m (see Fig 34 and 35).

### 8.2 Offshore cable route configuration

The HVDC cables of one HVDC system, the plus pole, the minus pole, the metallic return and the fibre optic, are manufactured as individual cables and not, as AC cables, as one cable with multiple cores. The cables will be installed at sea in a bundled configuration. The individual HVDC cables are brought together on the installation vessel during the installation process.

The individual cables of the HVDC system are installed closely together, such that the electromagnetic fields of the positive and the negative pole neutralise each other at a short distance. The distance between the individual cables, or between pairs of individual cables, is limited to some meters. The cables lay close together, within some meters from each other, but not necessarily all touching each other. The reason behind this is that the installation of all four cables in one bundle of the plus pole, minus pole, metallic return and the fibre optic touching each other, results in forces in individual cables during the installation which complicates the installation and which ultimately can compromise the integrity of the cables. If such a bundle is bent for instance, the forces on the outer cable are larger than on the inner cable, which results in a complicated mechanical behaviour. This behaviour has been modelled and studied in preparation of the IJmuiden Ver project. Installation of these HVDC cables touching each other introduces many unknown new aspects and risks to the cable installation. In the IJmuiden Ver project two configurations are considered: configuration of two pairs of cables, one pair consisting of the + and – pole and other pair consisting of the MR and FO cables (figure 35b) and a configuration of all 4 cables paired together (figure 35a).

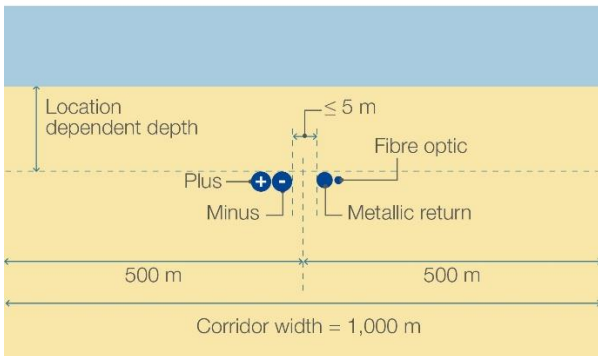
## DC offshore



**Figure 35a Cable corridor offshore section with single cable configuration**

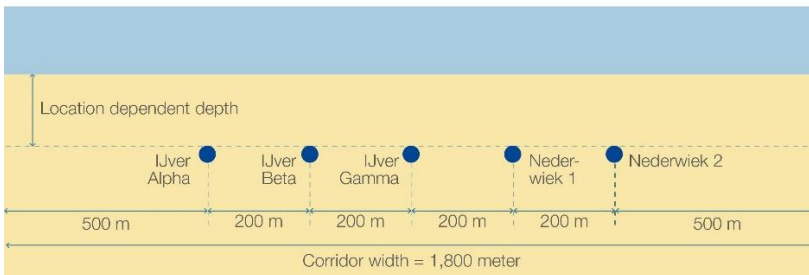
## DC offshore

### 2x2 cabling



## DC offshore

### Net op zee IJmuiden Ver Alpha + Beta + Gamma + Nederwiek 1 and 2 parallel



**Figure 35b: DC offshore 2x2 cabling (Nederwiek, IJmuiden Ver Alpha – Beta - Gamma & Nederwiek 1 and 2)**

If the cables are installed closely together, but not necessarily touching, in the bundled configuration, the cables, or pairs of cables, can be installed using existing cable installation techniques and tools, reducing the risks posed to the cables during the installation. If the cables are installed in two pairs, the plus and the minus pole can be installed touching each which minimises the electromagnetic field between those two. The metallic return and the fibre optic cable would in that case be installed as a second pair at some meters distance. This configuration of installation reduces the time to repair a cable during the operation and maintenance phase, as instead of four cables, only a pair of cables will have to be cut and brought to the surface of the sea for a repair. A new aspect to this lay and bury configuration will be, that the cables, or cable pairs, will have to be installed at a close distance from each other (within some meters from each other). The most likely option to install cables closely together is to use parallel simultaneously operated burial tools, which install all cables in one operation directly adjacent to each other. This technique has for instance been used in the past by TenneT for the installation of multiple parallel cables across the Eastern Scheldt in The Netherlands, see Figure 52 Detail of the barge mounted Vertical Injector like trencher in Zeeland. With the use of modern remotely operated tracked cable trenchers, it could potentially be possible as well, nowadays, to lay and bury a cable, or a pair of cables, within a few meters from an already installed cable or pair of cables. The installation method and the handling of the cable, or pair of cables, would be the same as used on other cable installation projects, with a difference being the higher demands on positioning accuracy.

### 8.3 Installation method

The installation sequence of the 525 kV submarine cables for the offshore route will be either of the following options:

1. First end pull-in at the offshore substation and working towards the beach / location of the transition joint.
2. Starting at the beach / location of the transition joint and working towards the offshore substation where a second end pull-in will be performed to the platform.

In either of the options there will be offshore joint(s) along the offshore cable route. The amount of offshore joints is however depends on the length of cable that can be stored on the cable installation vessel. If joints are required, it is possible as well to execute a first end pull-in at both the platform and the landfall side of the route, in combination with an offshore omega-joint. An omega joint is a joint between the ends of two cables which are laid towards each other. The joint is deployed on the seabed in the shape of the Greek letter Omega:  $\Omega$ .

Installation methods can be divided in two main groups. Simultaneous Lay and Burial (SLB) is a method in which the cable is laid and buried in one operation. This is done using one vessel and a trenching tool mobilised on the same vessel or by a cable lay vessel closely followed by a trenching support vessel. In contrast, Post Lay Burial (PLB) starts by laying the cable on the seabed with one vessel. Afterwards a second vessel will bury the cable with a burial tool attached to this second vessel. Cable lay operations commence at an approximate pace between 400-500 m/h, while burying the cable, which depends on the soil type and burial depth, will commence at an approximate pace between 50-200 m/h. Some installation tools can only be applied with SLB. Some installation tools that can be used with PLB can also be used with SLB. Obviously, SLB would only require one single passage of an installation spread over the route. The advantage of PLB is that the laying of the cable will proceed approximately twice as fast compared to SLB (400-500 m/h versus 50-200 m/h). This significantly

reduces the risk on cable damage as the probability on adverse weather would be reduced. Furthermore, if necessary, the burial operation can be postponed during bad weather. An advantage of SLB is the active control over the mechanical tension in the cable during the trenching operations, which is required in particular where the cable is buried to larger burial depths.

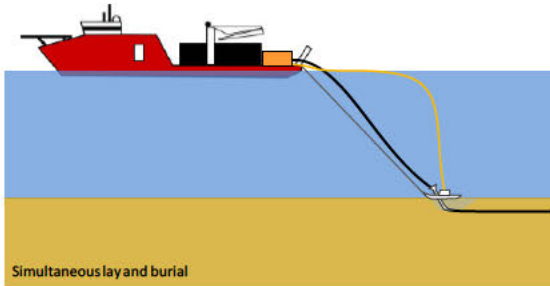


Figure 36 Simultaneous Lay and Burial (SLB)

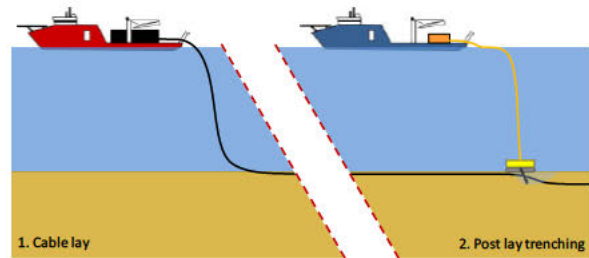


Figure 37 Post Lay Burial (PLB)

Any installation vessel for the offshore section of the submarine cable will be a vessel with considerable draft to cope with high seas and maximise the carrying capacity. The latter is needed to minimize the number of offshore cable joints. These vessels have a draft typically between 5 and 10 meters.



Figure 38 Typical deep water cable installation vessels

For the installation of the HVDC 525 kV cable system adaptations to the vessels are required to be able to transport the four cables that are part of the bundle. Until now the installation vessels are equipped to carry up to two separate cables plus a fibre optic cable. Adjustments to the vessel is therefore required for carrying the additional cable for the HVDC 525 kV cable system. This is however considered to be a feasible option.

## 8.4 Trenching tools

A wide variety of equipment and vessels can be used to bury a power cable into the seabed in order to provide protection to the cable against external threats. Each burial tool has its own advantages and drawbacks. Some tools are more suited to specific sea or soil conditions than others. Jetting trenchers for example operate well in non-cohesive sandy and soft clayey seabeds, while chain cutter trenchers are better fitted for tougher soil conditions like peat or stiffer clays. The benefits and disadvantages for each of the deployments of equipment and vessels span various features: speed, costs, weather dependency, risk to the integrity of the cable during trenching, likelihood of achieving the required depth of burial, draught, availability etcetera. A selection of specific conditions: shallow and deeper waters, strong currents and quieter areas, high waves and calmer areas, soft and hard seabeds, smooth and coarse surfaces, seabed undulations etcetera. Various cable manufacturers operate different types of laying spreads and burial tools, each with their own specific track record relating to the specific cable types. At tendering stage the contractors will prepare a burial assessment study based on the provided soil information of the NW cable routes and on the specifics of the burial tool which they could offer.

The NW cables will be buried into the seabed as a bundle of 3 power cables + 1 fibre optic cable. That has not been done at this scale before. Existing cable trenchers will have to be modified to cater for the installation of such a bundle. The width and the bending stiffness of the bundle on the other hand is expected to be comparable to the width and bending stiffness of the 220 kV AC cables, used on the AC offshore projects of TenneT. That reduces the complexity to some extent. Nevertheless, the handling and burial of the NW cable bundle is considered one of the larger technical challenges of the NW project.

The following customary burial tools are available for the offshore section. It should be noted though that this is not a limitative list. If other viable burial tools emerge those can be deployed as well, provided that their effects on the environment are comparable with the described burial tools and new tools might have to be developed to install the NW cable bundle, based on the existing tools:

1. Jet sledge
2. ROV jet trencher
3. Chain cutter
4. Cable plough
5. Mass flow excavation

### 8.4.1 Jet sledge

The least complicated cable burial tools available on the market are the jet sledges. They are pulled by a barge or vessel for forward motion. The seabed is penetrated by water jets attached to the jet sledge and the cable is guided to the required depth through a cable duct, the so-called stinger.





**Figure 39 Typical Jet sledge**

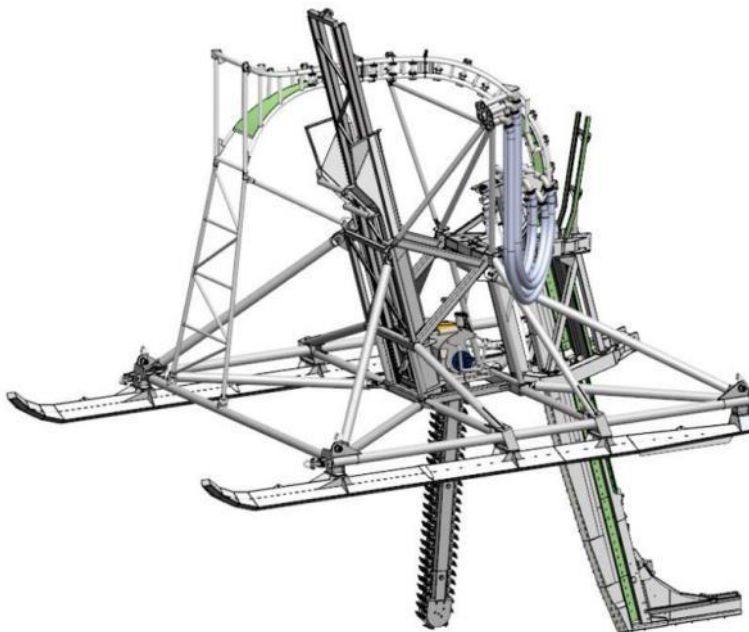
Jet sledges are available in different sizes with a depth of burial range from 1.5m to 6.0m with the Hydroplow or similar (see Figure 9) up to 8m with the BSS2 (see Figure 40).



**Figure 40 BSS2 jet sledge**

These trenchers are very suitable for non-cohesive soils and for soft clays. In stiffer cohesive soils as clay and peat however, these trenchers struggle to penetrate the ground.

By adding a chain cutter in front of the cable stinger, jet sledge trenchers can be made suitable for harder and more cohesive soils as well. The BSS3 trencher is an example of a jet sledge trencher with a chain cutter mounted.



**Figure 41 BSS3 jet sledge trencher with a mounted chain cutter in front of the cable stinger**

Larger jetting sledges as the BSS2 and BSS3 are in the essence Vertical Injectors on a sledge, which makes this type of trencher more suitable in areas with swell.

For a bundled installation of cables, or of pairs of cables, a jet trencher can be fitted with either multiple swords or with a wider sword with multiple cable channels in that sword. The cables installed by TenneT across the Eastern Scheldt for instance were installed using multiple parallel swords.

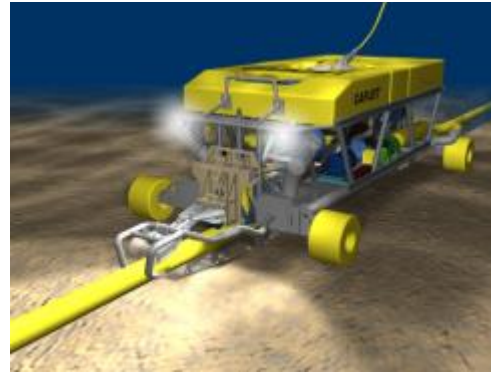
#### 8.4.2 ROV jet trencher

A Remotely Operated Vehicle jet trencher is an underwater robot controlled from a trenching support vessel. While moving over the pre-laid cable, a trench is made in the seabed by means of water jets attached to the ROV jet trencher. The cable is guided between the two jetting arms. The cable slides in the trench by its own gravity once the seabed under the cable is fluidised. Re-sedimentation and natural backfilling fill the trench with suspended soils. With an open jet sword trencher, the lowering of the cable depends on the flexing down (depending on the bending stiffness) of the cable into the fluidised soil behind the trencher as well as on the re-sedimentation velocity of the suspended soil particles in the trench. High voltage cables are bend-stiff and medium to coarse sand re-sediments quickly. This limits the effectiveness of open jet sword trenchers in sand. To improve the effectiveness of open jet sword trenchers, a so-called backwash sword can be mounted at the rear end of the trencher, which injects a high flow of low pressure water in the trench, thus keeping the sediments suspended along a larger length of cable. This results in a larger depth of burial in medium to coarse sands.

Some ROV jet trenchers are fitted with a so-called “depressor” which presses the cable down into the trench. The effectiveness of a depressor on a bend-stiff subsea power cable however is limited and there is a risk that a

depressor damages the cable while pressing it down into the trench, in combination with the fluidised soil at and around it. This has resulted in some reluctance to apply depressors on high voltage power cables.

Jet trenchers can be self-propelled (tracks/skids and/or thrusters), or dragged.



**Figure 42 Typical ROV Jet trencher**

For the burial of bundled cables, or of pairs of cables closely together, the cables or pairs of cables would be jet trenched in multiple passes, where each pass would trench one cable or one pair of cables.

#### 8.4.3 Chain cutter

To cut open cohesive and harder soil layers like clay, peat or glacial till, chain cutters use a driven belt with metal cutting teeth or plates. The cut soil is being transported upwards and out of the trench by the cutter belt or it is placed back in the trench behind the trencher. The cable is guided downwards into the cut trench through a blade or stinger, it is depressed by a depressor to the required depth, or it is allowed to lower itself by its own gravity, depending on the type of cutter trencher.



**Figure 43 Typical Chain cutter**

For harder soil types such as cemented sands and soft rocks, wheel cutters are used. See for instance the TM04 depicted in Figure 4. The chains of chain cutters suffer from wear and tear on the hinges of the cutter belt. Wheel cutters do not have that problem. Downside however is that the size of the cutter wheel is limited, which makes wheel cutters less suitable for the burial depths required in mobile seabed situations along the Dutch coast.



**Figure 44 TM04 Wheel cutter cable trencher**

If the cables are installed bundled, but not toughing, then the individual cables or pairs of cables, will have to be laid and buried after each other as parallel and simultaneous burial of cables using multiple mechanical cutters on one trencher will likely result in a very complicated trencher with a very high power demand.

#### 8.4.4 Cable plough

The difference between a jet sledge and a cable plough lies in the fact that a cable plough can be pulled through cohesive soils by force, whereas a jet sledge only progresses through loosened sediments. Penetration in the seabed is achieved by a plough blade which digs itself into the soil. The cable is guided through the plough blade to the required burial depth, guided downwards by a cable guide. Optional jets on the plough blade facilitate soil penetration and reduction of pull forces, especially when ploughing in medium to dense sand. There are concerns with regards to the forces exerted on the cable when passing through a plough.



**Figure 45 Sea Stallion cable plough**

If cables are to be installed bundled by a cable plough, then the plough will have to be fitted with a special blade, which guides the individual cables, or the pairs of cables, to the required depth, without being hampered by forces between the cables or between the cables.

#### 8.4.5 Mass flow excavation

A mass flow excavation tool creates a large, low pressure flow of water which is aimed at the cable. This fluidises soil around the cable which allows the cable to sink into the seabed. In medium to coarse sand as present in front of the Dutch coast the majority of the fluidised sand stays around the cable and re-sediments back into the trench after the MFE tool has passed over. In finer sand however, as present further offshore in the German Bight, MFE results in a more or less open trench with the cable at the bottom. The tidal current and wave action will backfill the trench with surrounding soil material. This trenching tool has been used successfully for cable (re)burial on several high voltage power cable projects over the last years, amongst others BritNed and NorNed.



**Figure 46 Mass flow excavation**

Mass flow excavation can be executed by a dedicated MFE tool as depicted in Figure 46, as used on BritNed, or by a converted Suction Dredger or Hopper Dredger as shown in Figure 47. The latter has been used by TenneT to successfully rebury the NorNed cable in the Wadden Sea recently. Mass flow excavation is sometimes addressed as "controlled flow excavation" as well. The difference however lies mainly in the marketing.



**Figure 47 Mass flow excavation by a converted Suction Dredger or Hopper Dredger**

Mass Flow Excavation would be suitable to bury bundled cables, as individual cables or as group of cables. As a result of the Mass Flow of water directed at the cables, the cables are likely to be pulled together during the installation, as a result of the lower pressure in the large flow of water, compared to the pressure in the surrounding.

## 8.5 Additional trenching tools

The following burial tools can be used for nearshore sections in case the main lay vessel is not suitable for the nearshore section. These require a barge which can be used as cable storage, main operation platform, direct

lay and burial methods or to operate other burial tools.



Figure 48 Typical nearshore cable lay barges

Cable lay/burial barges use anchors to manoeuvre in shallow waters or during burial. See Figure 49 for a typical anchor layout that consists of four side anchors (1-4) and a main manoeuvring anchor (5). Depending on the actual weather situation, less than all five anchors can be used.

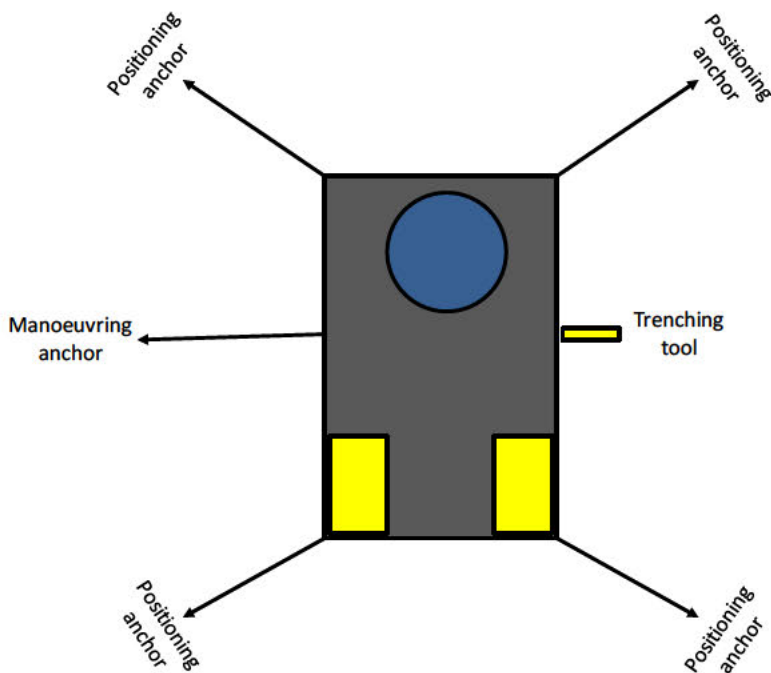


Figure 49 Typical anchor configuration of a nearshore installation barge

### 8.5.1 Vertical injector

In the essence a Vertical Injector is a very long jet -stinger. A vertical injector penetrates soil by means of water jets. The cable is guided to the required depth through the stinger, which acts as a vertical cable duct. It is deployed from a barge; its top end stays above the water line and is kept to the side of the barge or vessel. Vertical Injectors did prove themselves to be reliable cable trenching tools for XLPE cables, simple and robust

and specially designed for nearshore operation. Burial depths up to 14 meter have been achieved. Vertical Injectors are typically deployed from a barge on anchors, but it can be deployed as well from a vessel on DP using just a pulling anchor. Downside of Vertical Injectors is their susceptibility to swell and waves.

Vertical Injector like trenchers have been used in the province of Zeeland in the Westerschelde to bury power cables.

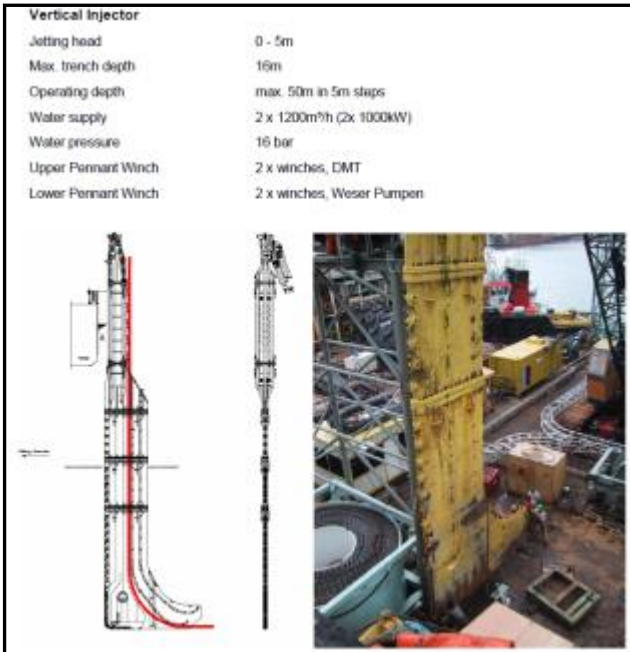


Figure 50 Vertical Injector





**Figure 51 Cable installation by a vertical injector like trencher in Zeeland, location indicated in red**



**Figure 52 Detail of the barge mounted Vertical Injector like trencher in Zeeland**

In the figure above multiple cables are being installed in one go, closely together. This is an example of how cables can be installed bundled but not toughing.

### 8.5.2 Vibration plough

Vibration has the capability of fluidising non cohesive soils like sand and of breaking open cohesive soils like clay or peat. A vibration plough fluidises or opens up soil by means of a vibro sword. The cable is guided to the required depth through a duct in the sword, similar to a Vertical Injector.



**Figure 53** Vibration plough deployed from a barge



**Figure 54** Vibration plough on tracks

The advantage of a vibration plough is that it requires less jetting water thus causing less turbidity. The downside however is the noise and the disturbance caused by the vibrations.

If a vibration trencher would be fitted with parallel vibro swords, multiple cables or single cables can be installed closely together. Or the individual cables or multiple cables are installed in multiple passes closely together.

## 8.6 Dredging

Dredging preceding the installation of the cables might be required along the NW cable routes with mobile sand waves, to create a non-mobile reference level as depicted in Figure and as described in chapter 5. Dredging can

be required as well to provide the cable installation vessels access to specific route sections, for instance across sand banks, to approach the land fall location close enough to execute a shore pull-in operation from a safe distance to shore or to improve the local thermal properties of the soil (see 6.9).

The dredging operations preceding cable installation will be limited by the maximum dredging volume as per installation permit. After trenching of the cable into the bottom of the pre dredged trench, no active backfilling of the trench will be executed, backfilling of the dredged trench will be left to nature, except at locations where artificial backfilling will be required to meet specific permit requirements.

The dredging can be done by Trailing Suction Hopper Dredgers, or "hopper" in short. Hopper dredgers are versatile dredging tools which are capable to work in the challenging conditions with waves and currents in the nearshore section.



**Figure 55 Trailing Suction Hopper Dredger**

Once the hopper approaches the trench location, it lowers the drag head attached to the lower end of the suction pipe to the seabed. The soil is loosened by the cutting and jetting characteristics of the drag head teeth and jets. The dredge pump located in the vessel's hull sucks the loosened soil from the seabed to form the trench. The removed soil is raised via the suction pipe into the vessel's hopper. The dredged soil is kept in the hopper whilst the water leaves the hopper via an overflow.

The volumes to be dredged, the production of the dredging equipment and the time required for the dredging operations will be engineered during the preparation phase of the project. In case the cables are installed bundled with some meters between the cables or between the bundle of cables, then the dredging profiles will have to be slightly wider to facilitate passing of a wider trencher or of multiple parallel passes of a trencher.

The dredged soil is disposed of in the direct vicinity of the area where the soil is dredged, in order to keep the dredged soils in the local mobile seabed system. Where disposal is not allowed in the direct vicinity, the dredged soil will be disposed of along nearby route sections with mobile seabeds. If however the soil conditions would not

allow those soils to be dispersed at sea, for instance if the dredged soil is contaminated or if the soils contain too many fine particles, then that soil will be dispersed of at dedicated soil dispersal locations on land or where available at sea. The contaminations could comprise of human industrial waste or of contaminations of natural sources, such as high arsenic peats. Soils containing contamination with PFAS will be dispersed of downstream or in dedicated storage areas, in accordance with the applicable legal requirements.

The same approach will be used where artificial backfilling is required to meet specific permit requirements. For the backfilling mobile seabed material from adjacent route sections will be used, in a same manner as for instance used on the Hollandse Kust (zuid) project, where the HDD exit pit near the Maasvlakte had to be backfilled.

## **9. Offshore cable crossings with 3<sup>rd</sup> party assets**

The 525 kV submarine cable route crosses some in service 3<sup>rd</sup> party subsea assets as well as some out of service pipelines. This chapter describes the different crossing methods for those in service assets and out of service pipelines.

### **9.1 Cable and pipeline detection survey**

Prior to cable installation operations a survey will be performed to locate the in-service, the out-of-service subsea assets and unknown subsea assets. The results of this survey will be used for the detailed design of the crossing structures. Information provided by the owners of the subsea assets as well as information from the competent authorities will be used for this survey, for instance their last route inspection survey data.

### **9.2 In Service cables, pipes and out of service pipelines**

#### **9.2.1 Crossing structures**

Three types of crossing structures are considered suitable for the crossings with in-service subsea assets and with out of service pipelines in Dutch waters. Each crossing structure has a means of creating separation between the subsea asset and the power cable of typically 0.3m or more and a means of protecting the cable where it is laid over the 3<sup>rd</sup> party subsea asset.

1. Separation by rock placement, outer protection by rock
2. Separation by a separator system around the power cable, outer protection by rock
3. Separation by concrete mattresses

Those crossing structures have proven to be suitable and sustainable in the Dutch waters.

If however the owner of the 3<sup>rd</sup> party subsea asset would require another type of crossing structure and rejects the standard TenneT crossing structures, then the following will be considered as well: separation by sand- or grout bags or rock nets placed at the crossing location, outer protection by rock. This has the downside that placement of these bags or nets is quite labour intensive.

Which crossing structure will be applied where depends on the outcome of the crossing agreement negotiations.

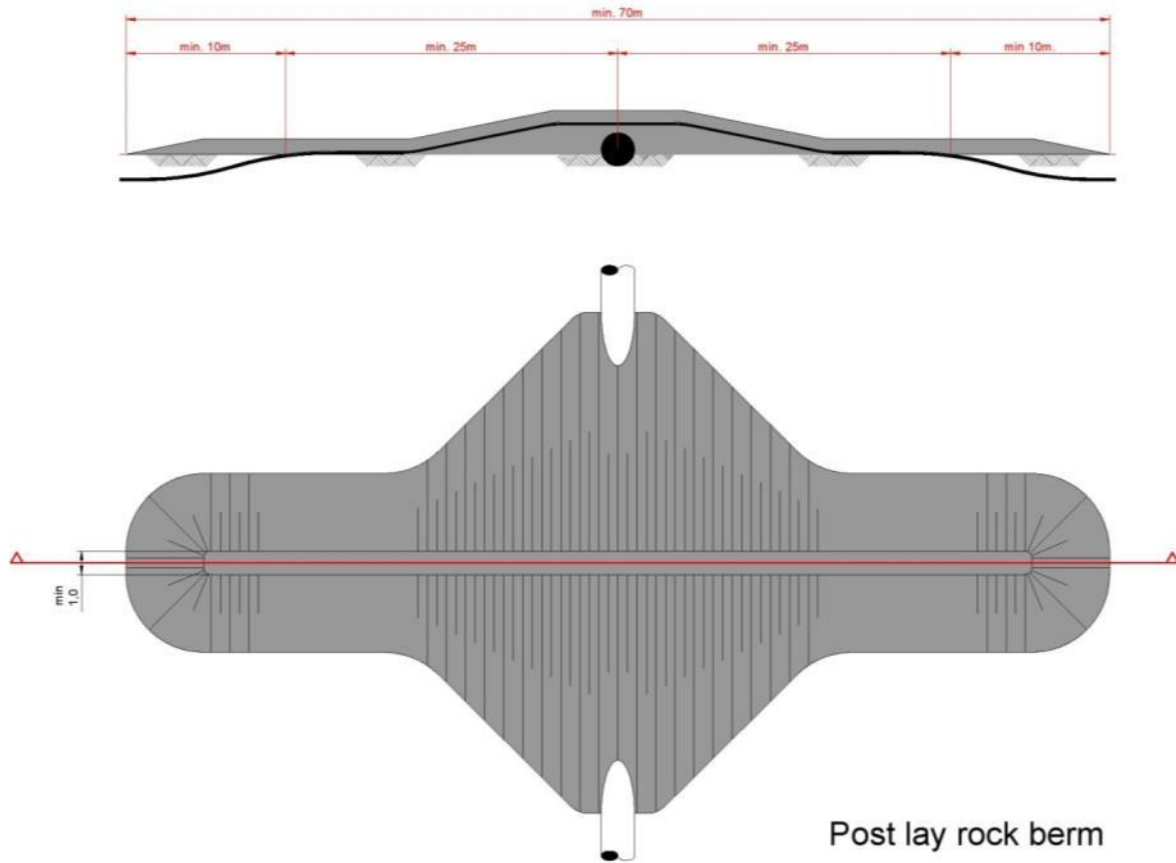


Figure 56 Typical rock - rock crossing structure

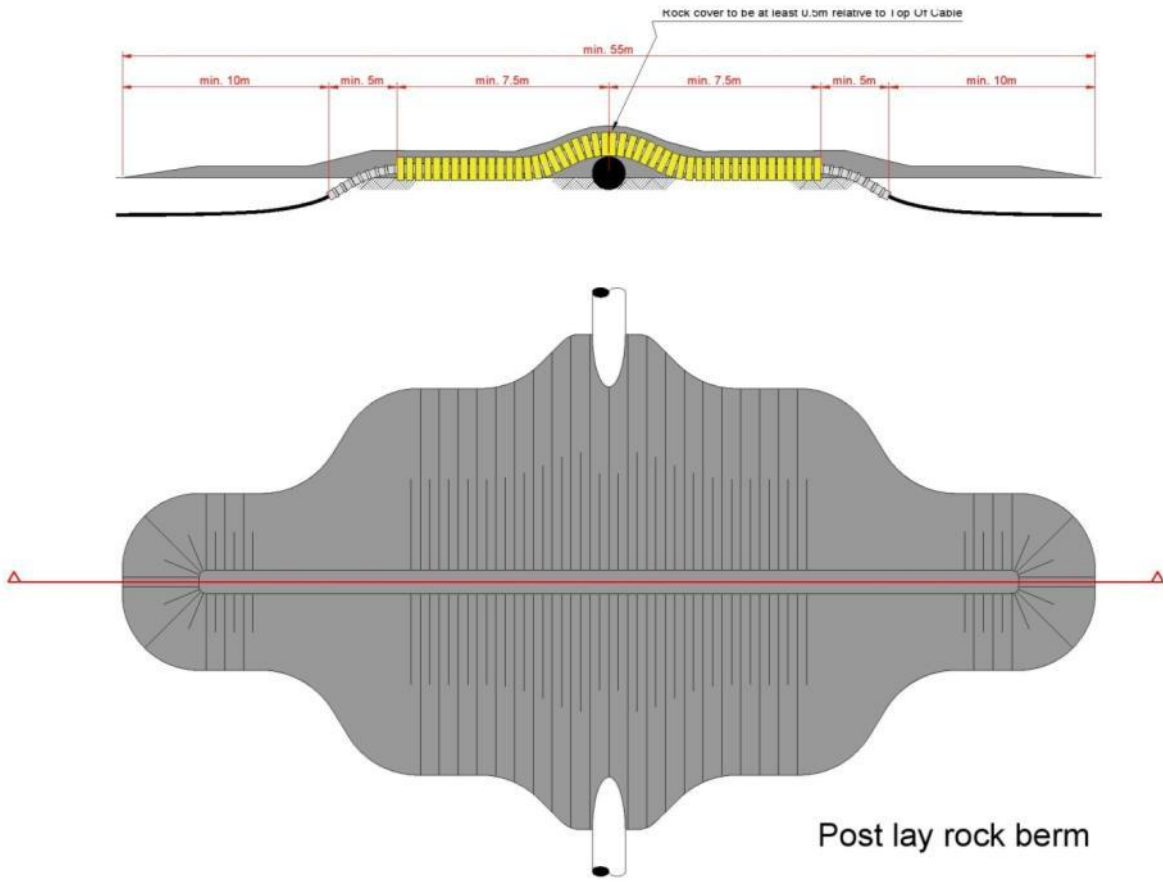
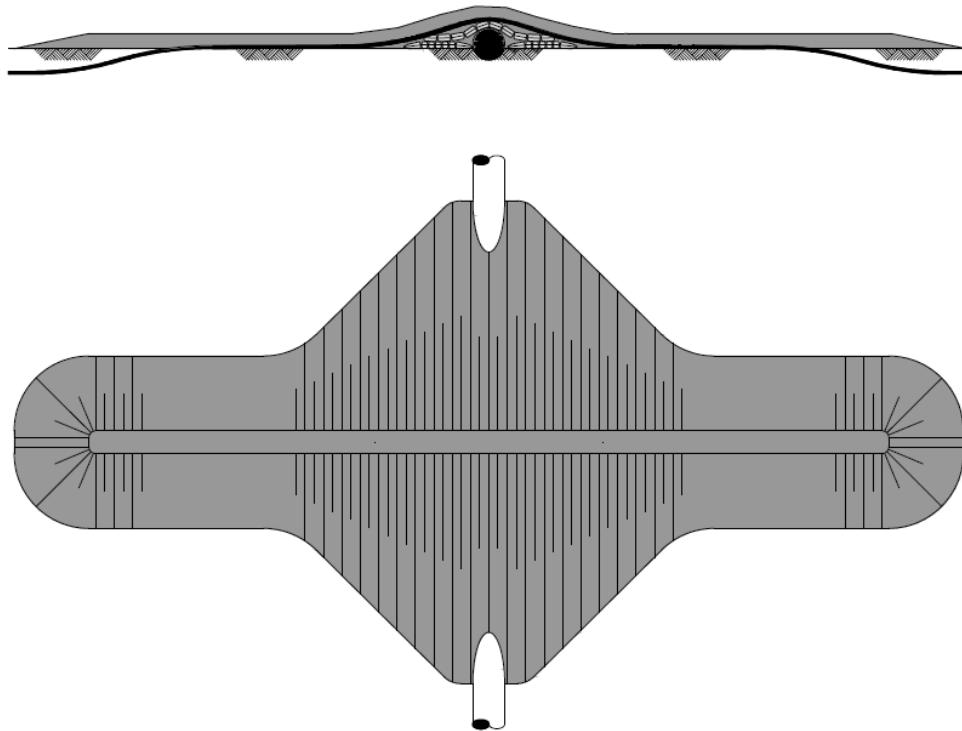


Figure 57 Typical separator - rock crossing structure



**Figure 58 - Typical concrete mattresses - rock crossing structure**

### 9.2.2 Outer rock layer

The outer rock layer of the crossing structures will be designed to be dynamically stable under design storm and current conditions. This means that some movement of the rock is allowed under design storm conditions as long as the cover of the cable by the rock layer stays sufficient to protect the cables against external threats. The movement of the rock under storm conditions results in less steep side slopes of the rock berm, which stabilises the rock berm. Therefore some displacement of rock increases the stability of the rock berm.

On top of the outer rock layer a sprinkle layer of gravel with a D90 of less than 80 mm will have to be placed with a minimum thickness at installation of 0.2 m, aimed at minimising the risk of hooking by fishing gear, as required by the SODM (Staatstoezicht op de Mijnen). The effectiveness of this so-called sprinkler layer in avoiding hooking of fishing gear behind rocks is not supported by studies and experiments; even with a sprinkler layer installed quite some rocks are fished away. It is considered to be a compromise with the fishery liaisons. On the Hollandse Kust (zuid) project this sprinkler layer has been made of marble (remains of a marble quarry in Norway), which provides chalk to bottom life. That way the required sprinkler layer has been given another useful function.

## 10. Post installation activities offshore cables

### 10.1 Remedial burial by jet trenching or MFE

Along sections of the route where the initial cable burial operations did not result in the required burial depths, additional cable burial can be performed either by an ROV jet trencher or by mass flow excavation, depending on the local situation.

### 10.2 Post lay protection of cable segments

At locations where the cables could not be buried into the seabed, for instance at crossing locations or at locations where unexpected obstacles were encountered during the cable trenching operations, the cables can be post lay protected by rock placements. Rock placements however will be avoided as much as possible as rock placements have the tendency to attract erosion on its edges, which will require maintenance over time. Rock can be placed on these cable sections using a fall pipe vessel, which allows for very accurate rock placement.

### 10.3 As built survey

After the completion of the installation operations a dedicated as built survey will be conducted to measure the actual burial depth along the full cable routes

During the installation of the cables the penetration depth of the burial tool can be used as the as-buried survey, provided the cable depth is physically determined by the applied burial tool.

The dedicated as built survey will establish the bathymetry along the cable route after installation as well as the depth of burial and depth of cover of the cables. There are several methods to establish the depth of burial and depth of cover of subsea power cables; they can however be split in the following groups:

1. Passive electromagnetic methods which transmit a changing electromagnetic signal into the seabed and measure the response of the cable to this changing field. These methods have a limited penetration depth and are therefore only suitable for shallowly buried cables. Example: Artemis, TSS440.
2. Active electromagnetic methods which use an electromagnetic tone put on the cable to measure the burial depth of the cable. A tone can only be put on a cable when it is not in use, therefore a subsea power cable has to be taken out of operation for such a survey. This survey method however is suitable to measure larger depth of burial of cables compared to the passive method. Example: TSS350, DoBStar and Orion.
3. Electromagnetic methods which use a signal transmitted by the cable system to measure its depth of burial. This method can for instance make use of higher harmonic ripples on direct current interconnectors. Example: DoBStar and Orion
4. Acoustic methods which use the reflections of acoustic signal on the cable to measure its depth of burial. This method however requires relatively large instruments and is therefore more complicated and more costly. Example: PanGeo SBI.



The permit prescribes the depth of cover, in terms of cover by soil on the cable ("gronddekking"). This depth of cover is to be established periodically over the lifetime of the cables, typically once a year over the first three years of its operational lifetime. If the cables have proven to be well buried, the permit allows for a request for relaxation in the interval of these surveys. By surveying the bathymetry over the cable route, the cover by soil on the cable will be derived, using the As Built survey data.

The depth of cover of a cable can change over its lifetime as a result of changes in the seabed. Seabed mobility changes the depth of cover of a cable over time. A subsea power cable does not move within the seabed. If the changes of the seabed over time are accurately measured, the changes in the of the cables can be established based on a comparison between the most recent survey and the as built depth of cover and depth of burial survey, provided the as built survey has been a continuous and reliable survey. Bathymetrical surveys over a cable route can be performed at significantly lower costs than surveys measuring the depth of burial of the cable in the seabed. From a cost efficiency perspective therefore a continuous and dedicated as built survey of the installed cables will be performed such that the consecutive route surveys to check the burial depths of the cables can be performed by just bathymetrical surveys.

## 11. Operational phase offshore cables

During the operational phase of the offshore cable tree main activities will take place:

1. Periodically survey to determine the depth of cover of the cables. The period in between each survey is determined by the permit (as stated in the previous chapter). When the results of the survey show that the cable is not at the required burial depth, additional cable burial can be performed either by a ROV jet trencher or by mass flow excavation, depending on the local situation. Additional survey can be executed as well after a storm passed over the cable route which exceeded the design conditions.
2. Periodically survey to inspect the status of the crossing structures. When the results of the survey show that the crossing structures are not meeting the requirements, additional rock or gravel dumping might be applied.
3. A third activity that can occur is the repair of a cable failure. In case a cable fails due to internal or external cause, the fault needs to be located and repaired. Depending on the lay configuration of the cables, one cable, a bundle of cables or all of the cables will have to be cut and lifted above water for a repair.

## 12. Decommissioning offshore cables

### 12.1 Cables

At the end of their operational lifetime (30-40 years) the NW cables will be removed from the seabed in accordance with the requirements stipulated in the permits. Removal will only be performed when the environmental impact of removal is less than the impact of leaving the cables in place on the environment and on navigation.

The cables can be pulled out of the seabed using a jet trencher where needed. The cables can be cut in sections on deck and brought to shore for material recycling.

### 12.2 Crossing structures

At the locations of the crossings with 3<sup>rd</sup> party subsea assets, the crossing structures will be removed. This can involve removal of rock placements by means of a grab dredger. The recovered rock can be brought to land for recycling purposes.

Any remains of out-of-service pipelines or out-of-service cables underneath the NW cables can be removed during decommissioning as well, provided the environment benefits from such a removal.

## 13. Onshore converter station

The onshore converter station forms the interface between the HVDC 525 kV land export cables and the HVAC 380 kV land cables. The main functions of the onshore converter station are to convert from DC to AC and transform the voltage from 525 kV to 380 kV. It contains the electrical equipment, auxiliary, secondary- and safety systems to support these functions and ensure the safety on and of the onshore converter station.

### 13.1 Design

The design of the onshore converter station is not yet known.

#### 13.1.1 Lay-out

The following main parts can be identified:

- Outdoor High Voltage equipment (AC Yard Grid Side, AC Yard Converter Side, DC Yard(s), Neutral Yard)
- Converter Hall buildings, containing HVDC Converter towers and DBS
- Transformer Buildings/Yards, containing HVDC Transformer units
- Service Building(s), containing all auxiliary, secondary- and safety systems including space for the wind farm owners.
- Outdoor cooler banks for converter cooling
- Storage facilities, for spare parts



Figure 59 – 3D model onshore converter station Nederwiek

### 13.1.2 Electrical Installation

The 525 kV export cables from the platform are connected in the outdoor DC and Neutral yards, where also converter reactors may be connected (depending on HVDC supplier). The power is converted from DC back to AC by the HVDC Converter, then the voltage of the transmitted power is adjusted by the HVDC transformers to the voltage level of the Onshore AC Grid (380 kV or 400kV, depending on national grid code) to enable the connection to the existing onshore 380 kV grid via the 380 kV switchyard and 380 kV cable connection.

### 13.1.3 Safety and environment

The onshore converter station will be unmanned when the HVDC system is in operation, since it can be remotely operated. The transformers are placed indoors. Fluids like oil and rainwater are collected at the bottom of these buildings and drained through an oil/water separator to open water or infiltration system to prevent oil spillage in the environment.

Since several sound sources are installed at the onshore converter station, an acoustic study will be performed to ensure compliance to the local environmental requirements.

The ground level of the plot needs to be partly elevated due to flooding risks. The elevation will most likely be established by depositing sand using dump trucks. This is depended per location. At the Borssele location a larger elevation is required compared to the Maasvlakte location.

### 13.1.4 Access

The onshore converter station will be accessible for normal transport and for heavy transport. For this purpose one or two access roads are foreseen (depending on the spatial situation of the onshore converter station).

Beside access by TenneT, also third parties (such as the OWF operators) will have access to a specific part of the Central Service Building. For this an additional entrance gate and additional entrance of Central Service Building will be foreseen, to prevent access of third parties to the rest of the onshore converter station.

### 13.1.5 Buildings

At the onshore converter station area various buildings will be constructed. The following buildings are anticipated:

- Service building;
- Transformer buildings;
- Converter Hall;
- Spare parts building.

## 13.2 Construction phase

The onshore converter station construction consists of two main parts:

1. The civil part: this includes all ground works, such as elevating the ground level if required, levelling the plot and site preparations. After site preparations are finished, piling of the foundations can begin after which all necessary foundations are cast. For the Borssele location piling is expected to be necessary, while at the Maasvlakte location piling might not be required. The construction of all buildings is also executed in the civil part.
2. The electrical part: This includes installing and connecting all electrical equipment, auxiliary, secondary and safety systems.

## 13.3 Operational phase

During the operational phase of the onshore converter station maintenance will be executed. The extent of the maintenance consists of visual inspections and maintenance campaigns.

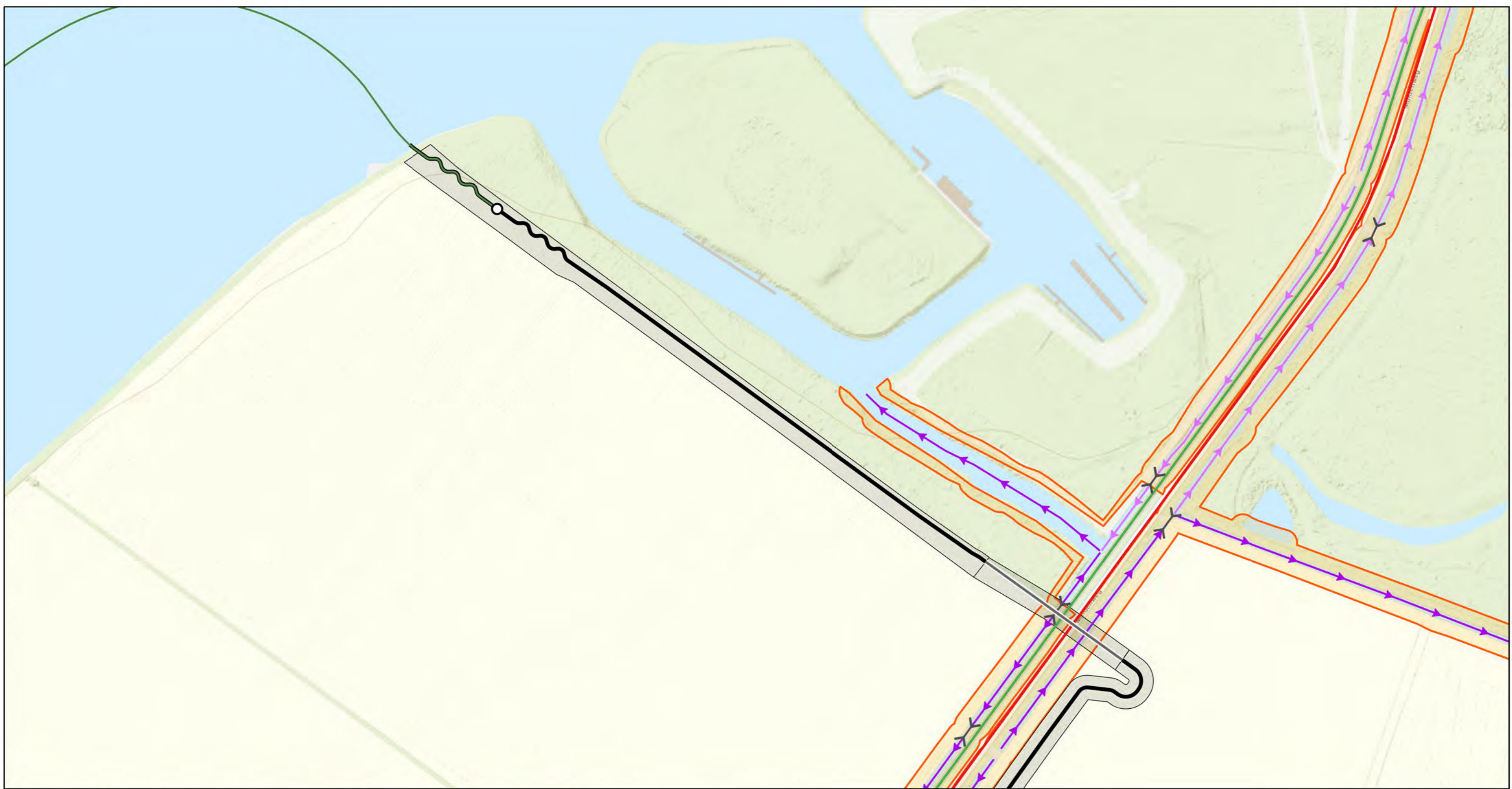
## 13.4 Decommissioning

After the life span of 30-50 years of the onshore converter station the onshore converter station will be demolished if it's not being used for any other function.

# Net op Zee – Nederwiek 1



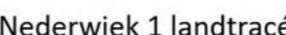
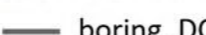
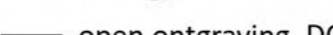

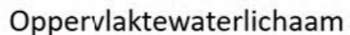
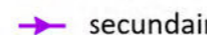
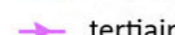

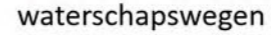
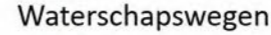
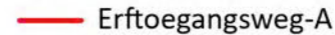
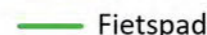

## **Aanvraag watervergunning Waterschap Scheldestromen**

Bijlage 4: Overzichtstekeningen kabeltracé op land Net op Zee – Nederwiek 1



Versie	1.0	Datum	3-7-2023
Schaal	1:2.250	Formaat	A3
Kenmerk	2306_NW1_onshore_water_boring kaartbeeld 1 van 21		

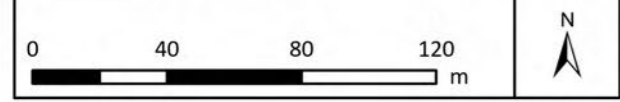













-  MOF
-  NW1 A07 rev03 zeetracé
-  Nederwiek 1 landtracé
-  boring, DC
-  open ontgraving, DC
-  Vergunningszone
-  Oppervlaktewaterlichaam
-  secundair
-  tertiair
-  duiker
-  waterschapswegen
-  Waterschapswegen
-  Erftoegangsweg-A
-  Fietspad
-  Beschermingszone

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



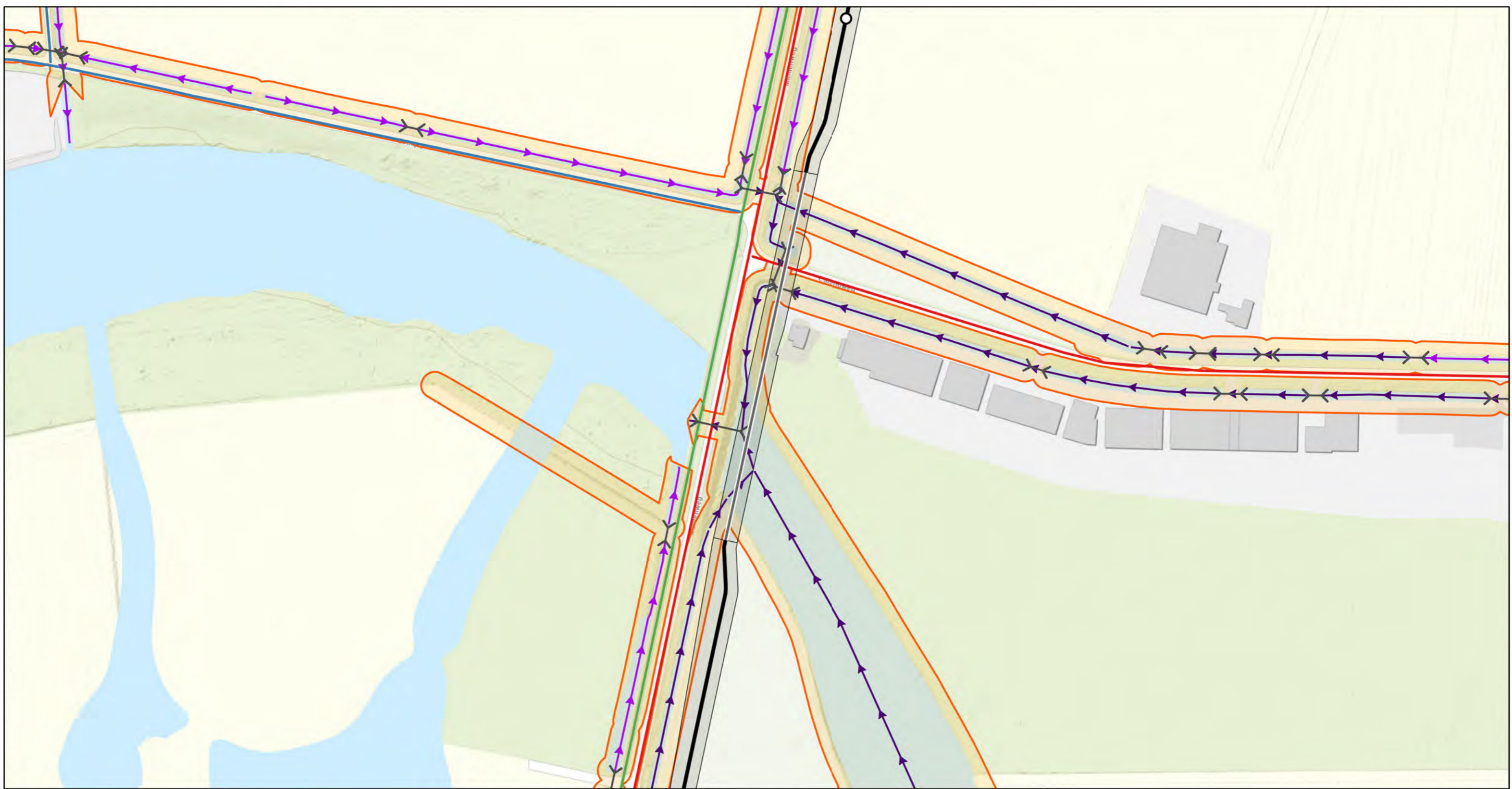
Versie	1.0	Datum	3-7-2023
Schaal	1:2.250	Formaat	A3
Kenmerk	2306_NW1_onshore_water_boring kaartbeeld 2 van 21		



-  MOF
-  Nederwiek 1 landtracé
-  boring, DC
-  open ontgraving, DC
-  Vergunningszone
-  secundair waterschapswegen
-  duiker
-  Erftoegangsweg-B
-  Fietspad
-  Beschermingszone
-  Erftoegangsweg-A

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



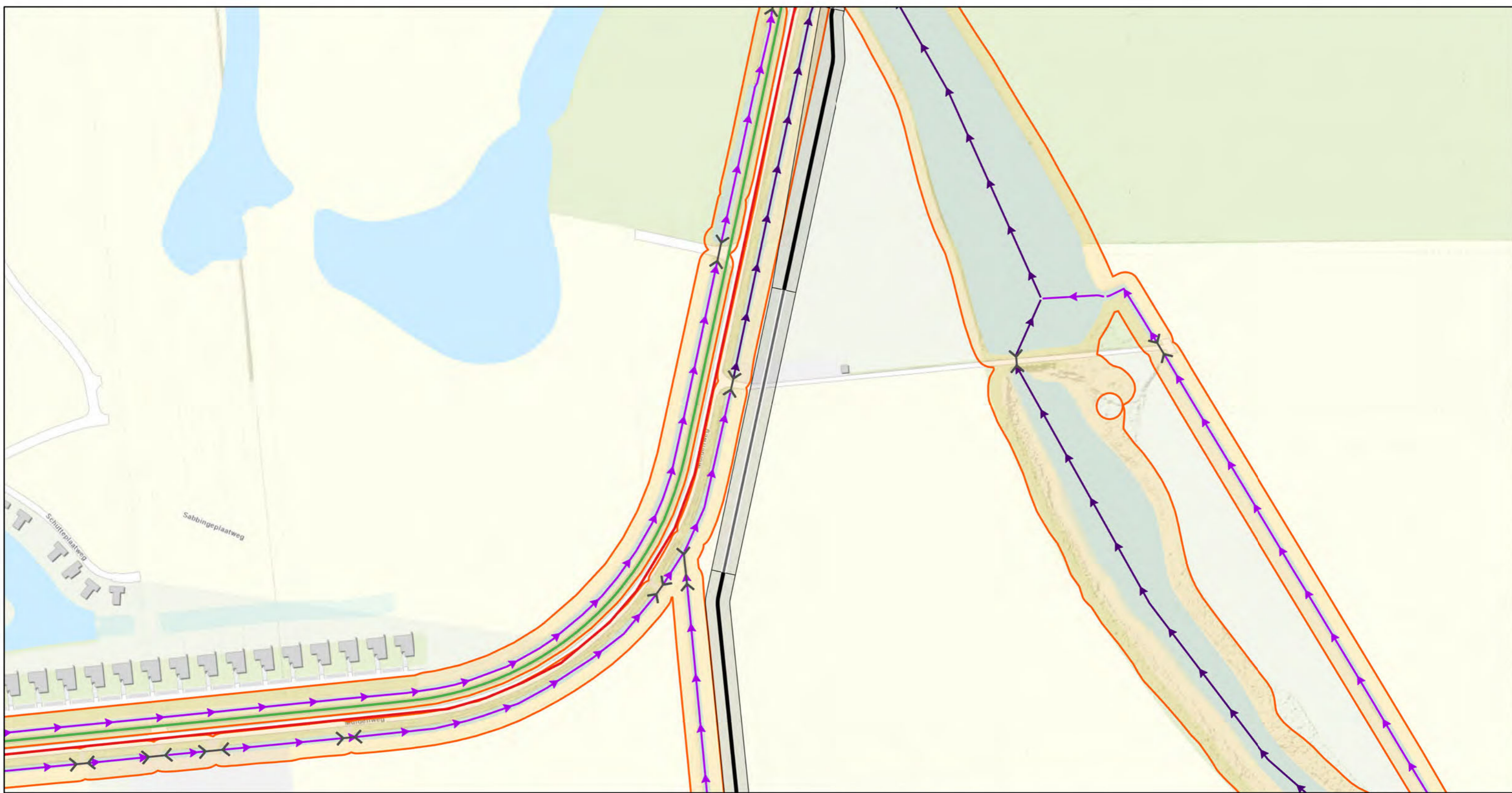


Versie	1.0	Datum	3-7-2023
Schaal	1:2.250	Formaat	A3
Kenmerk	2306_NW1_onshore_water_boring kaartbeeld 3 van 21		



- MOF
- boring, DC
- open ontgraving, DC
- Vergunningszone
- Oppervlaktewaterlichaam
- primair
- secundair
- duiker
- waterschapswegen
- Waterschapswegen
- Erftogangsweg-A
- Erftogangsweg-B
- Fietspad
- Beschermingszone

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



Versie	1.0	Datum	3-7-2023
Schaal	1:2.250	Formaat	A3
Kenmerk	2306_NW1_onshore_water_boring kaartbeeld 4 van 21		
0 40 80 120 m		N	

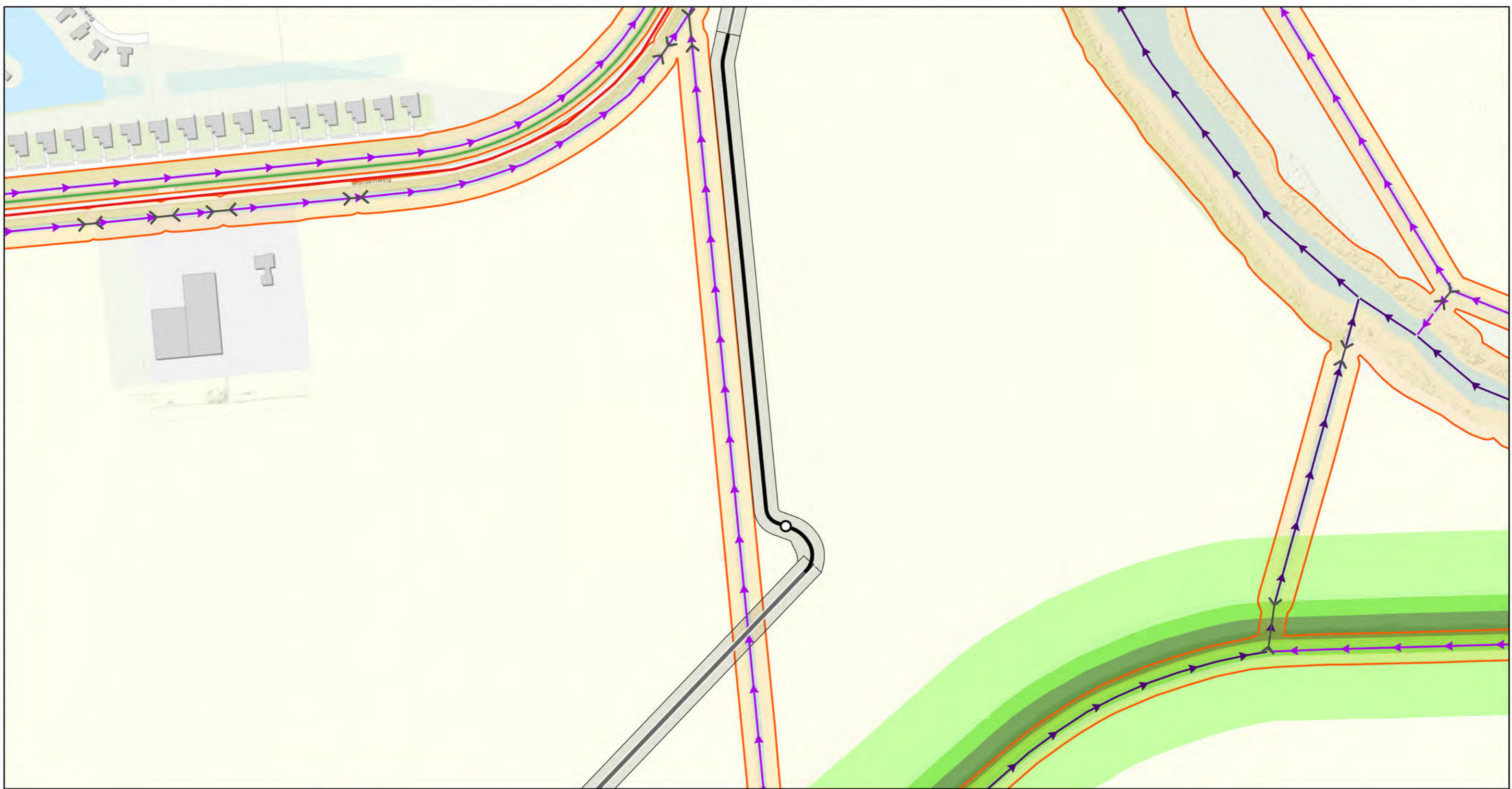


**Nederwiek 1 landtracé**  
 — boring, DC  
 — open ontgraving, DC  
 ■ Vergunningszone

**Oppervlaktewaterlichaam**  
 — primair  
 — secundair  
 — duiker

**waterschapswegen**  
 Waterschapswegen  
 — Erftoegangsweg-A  
 — Fietspad  
 — Beschermingszone

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

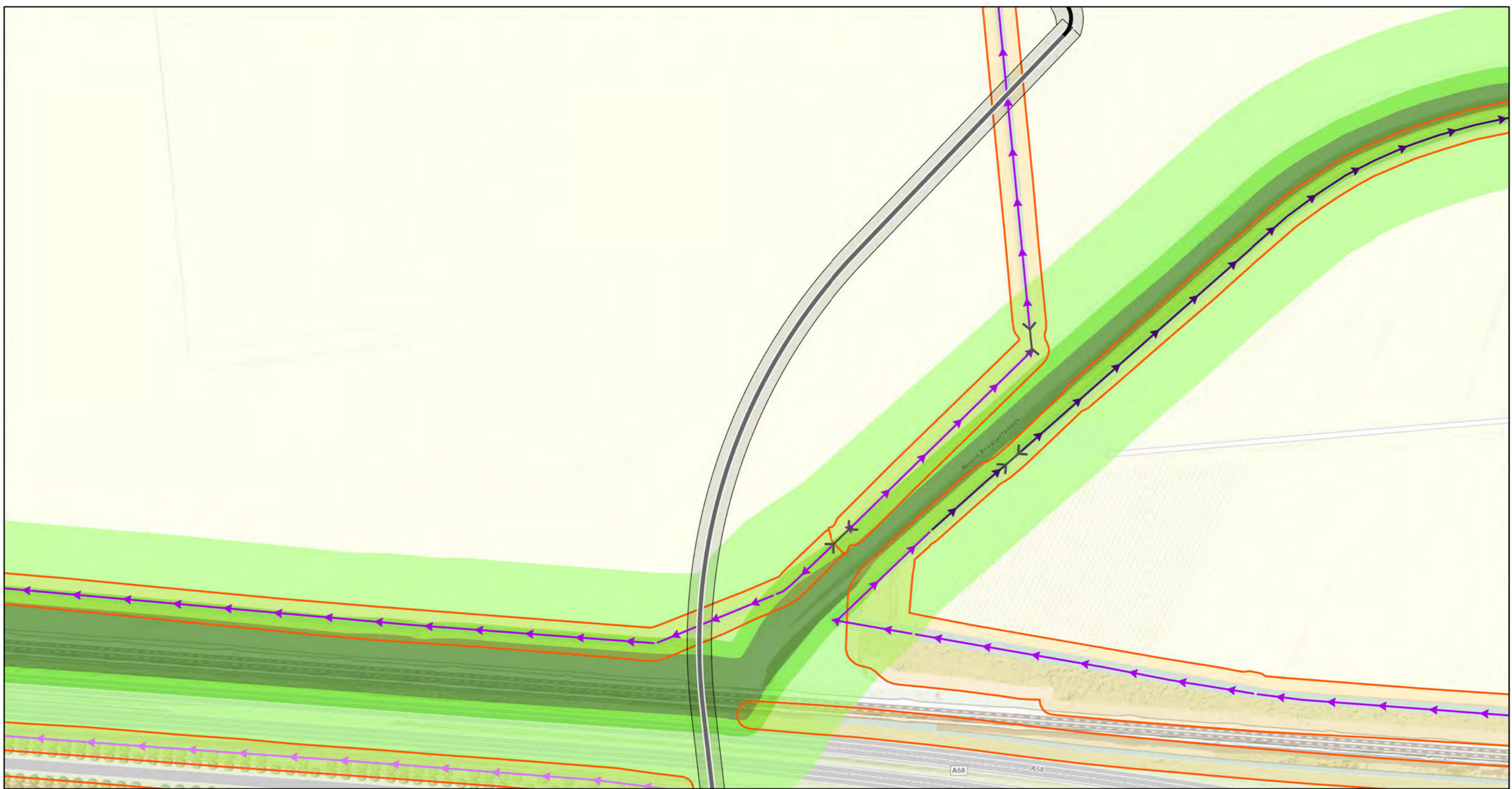


Versie	1.0	Datum	3-7-2023
Schaal	1:2.250	Formaat	A3
Kenmerk	2306_NW1_onshore_water_boring kaartbeeld 5 van 21		



- MOF
- Nederwiek 1 landtracé
- boring, DC
- open ontgraving, DC
- Vergunningszone
- Oppervlaktewaterlichaam
- primair
- secundair
- duiker
- waterschapswegen
- Waterschapswegen
- Erftogangsweg-A
- Fietspad
- Bescheringszone
- Keringen
- Regionaal waterstaatswerk
- Regionaal beschermingszone A
- Regionaal beschermingszone B

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



Versie	1.0	Datum	3-7-2023
Schaal	1:2.250	Formaat	A3
Kenmerk	2306_NW1_onshore_water_boring kaartbeeld 6 van 21		



**Nederwiek 1 landtracé**  
 — boring, DC  
 — open ontgraving, DC  
 — Vergunningszone

**Oppervlaktewaterlichaam**  
 — primair  
 — secundair  
 — tertiair  
 — duiker

**Beschermingszone**  
 Keringen  
 — Regionaal waterstaatswerk  
 — Regionaal beschermingszone A  
 — Regionaal beschermingszone B

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



Versie	1.0	Datum	3-7-2023
Schaal	1:2.250	Formaat	A3
Kenmerk	2306_NW1_onshore_water_boring kaartbeeld 7 van 21		

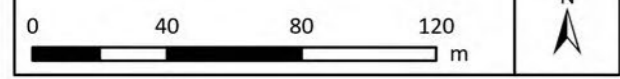


- MOF
- Nederwiek 1 landtracé
- boring, DC
- open ontgraving, DC
- Vergunningszone
- Oppervlaktewaterlichaam
- primair
- secundair
- tertiair
- ⌘ duiker
- waterschapswegen
- Waterschapswegen
- Erftoegangsweg-B
- Beschermingszone
- Keringen
- Regionaal beschermingszone B

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



Versie	1.0	Datum	3-7-2023
Schaal	1:2.250	Formaat	A3
Kenmerk	2306_NW1_onshore_water_boring kaartbeeld 8 van 21		



**Nederwiek 1 landtracé**

- boring, DC
- open ontgraving, DC
- Vergunningszone

**Oppervlaktewaterlichaam**

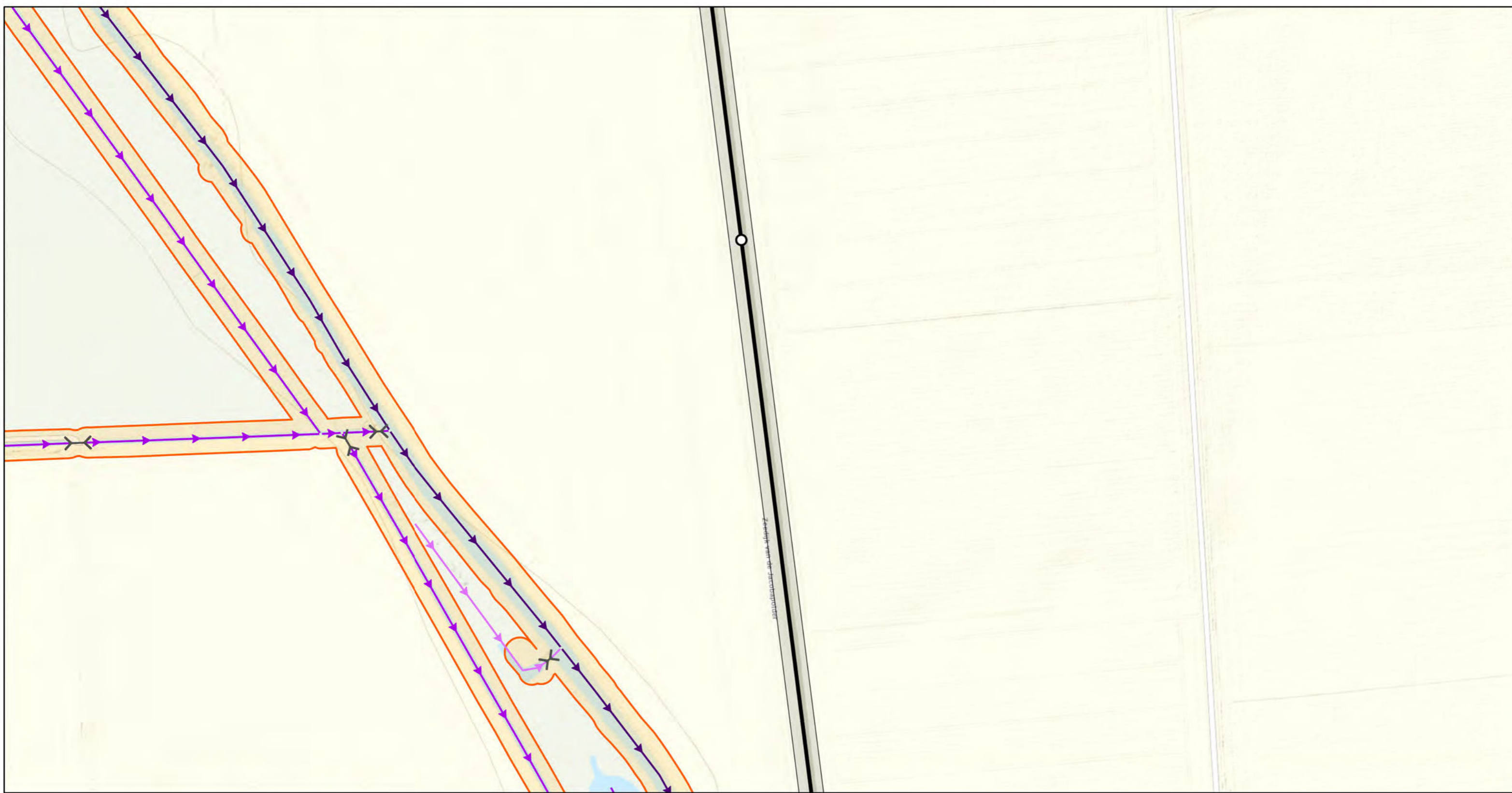
- primair
- secundair
- ⌘ duiker

**waterschapswegen**

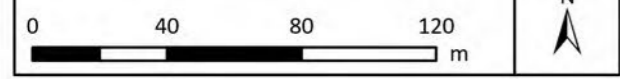
Waterschapswegen










- Erftoegangsweg-B
- Beschermingszone

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



Versie	1.0	Datum	3-7-2023
Schaal	1:2.250	Formaat	A3
Kenmerk	2306_NW1_onshore_water_boring kaartbeeld 9 van 21		



-  MOF
-  Nederwiek 1 landtracé
-  open ontgraving, DC
-  Vergunningszone
-  Oppervlaktewaterlichaam primair
-  secundair
-  tertiair
-  duiker
-  Beschermingszone



Versie	1.0	Datum	3-7-2023
Schaal	1:2.250	Formaat	A3
Kenmerk	2306_NW1_onshore_water_boring kaartbeeld 10 van 21		



**Nederwiek 1 landtracé**  
 — open ontgraving, DC  
 Vergunningszone

**Oppervlaktewaterlichaam**  
 — primair  
 — secundair

— diiker  
 Beschermingszone

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





Versie	1.0	Datum	3-7-2023
Schaal	1:2.250	Formaat	A3
Kenmerk	2306_NW1_onshore_water_boring kaartbeeld 11 van 21		
0 40 80 120 m		N	



- MOF
- Nederwiek 1 landtracé
- boring, DC
- open ontgraving, DC
- Vergunningzone
- Oppervlaktewaterlichaam
- primair
- secundair
- tertiair
- duiker
- waterschapswegen
- Waterschapswegen
- Erftoegangsweg-B
- Beschermingszone
- Keringen
- Regionaal beschermingszone B

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



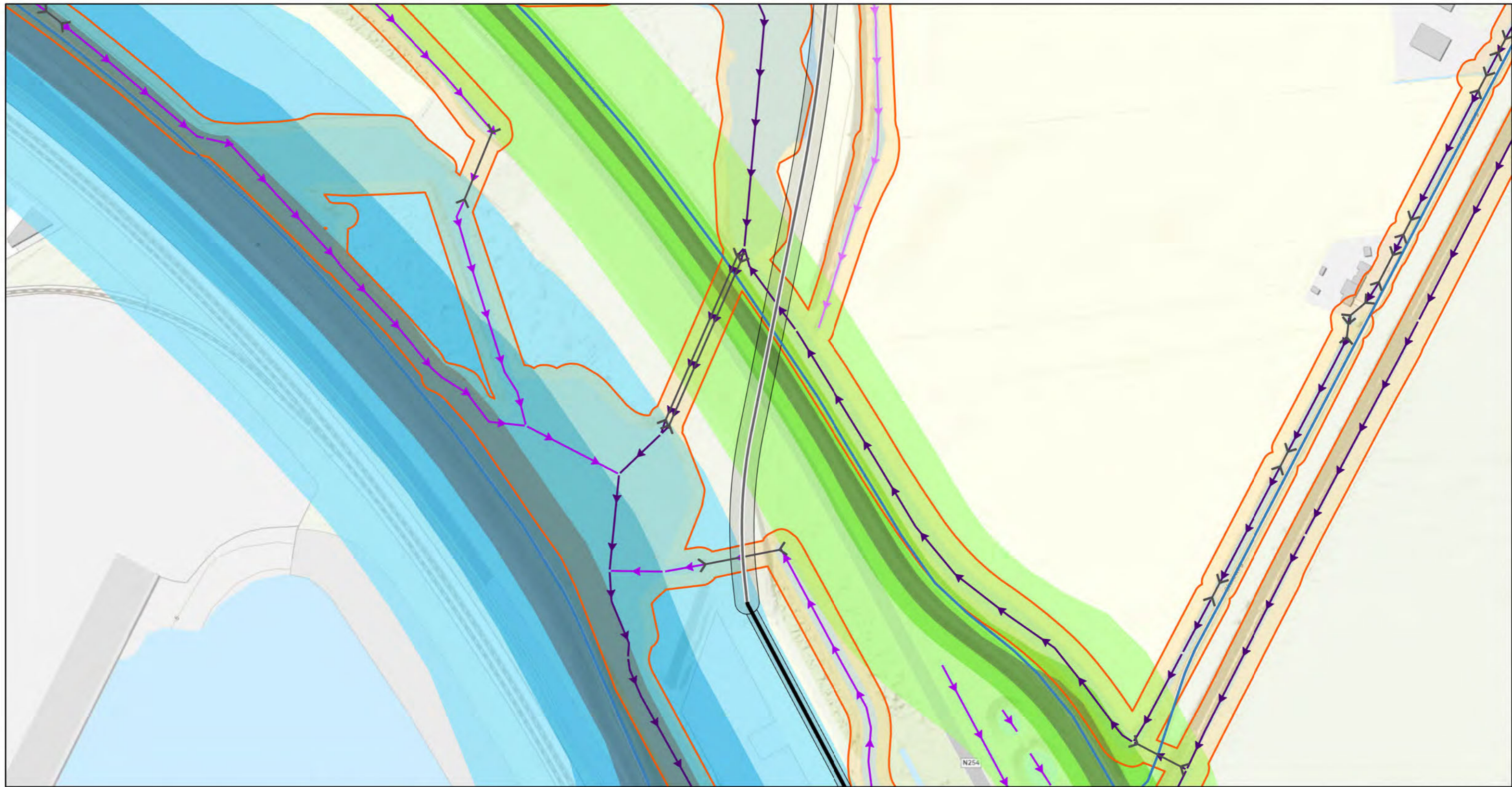
Versie	1.0	Datum	3-7-2023
Schaal	1:2.250	Formaat	A3
Kenmerk	2306_NW1_onshore_water_boring kaartbeeld 12 van 21		



- Nederwiek 1 landtracé**
- boring, DC
  - Vergunningszone
  - Oppervlaktewaterlichaam
  - primair
  - secundair
  - tertiair

- ⌘ duiker
- waterschapswegen
- Waterschapswegen
- Erftoegangsweg-B
- Beschermingszone

- Keringen**
- Primair waterstaatswerk
  - Primair beschermingszone B
  - Primair beschermingszone A
  - Regionaal waterstaatswerk
  - Regionaal beschermingszone A
  - Regionaal beschermingszone B



Versie	1.0	Datum	3-7-2023
Schaal	1:2.250	Formaat	A3
Kenmerk	2306_NW1_onshore_water_boring kaartbeeld 13 van 21		

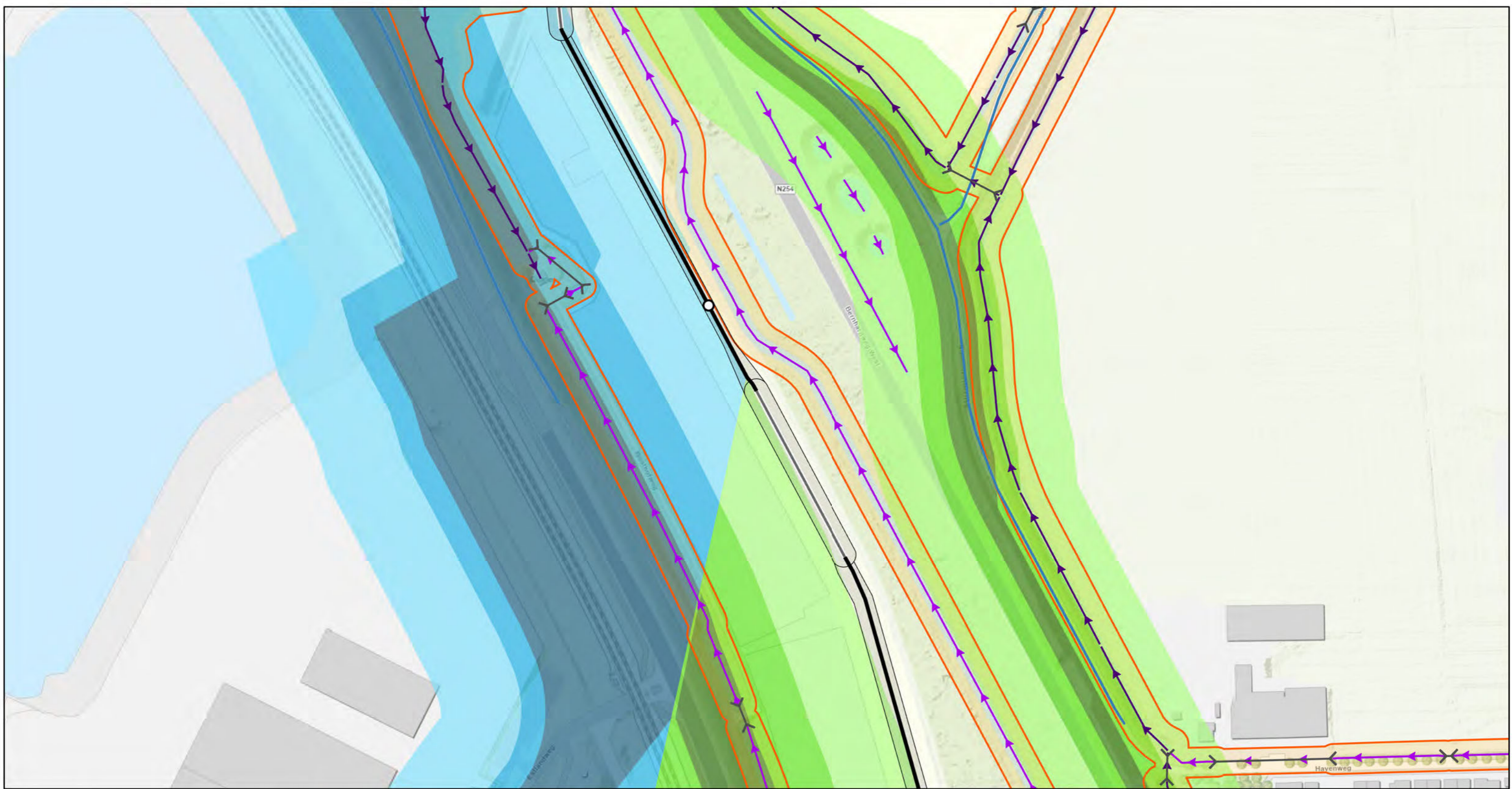


- Nederwiek 1 landtracé**
- boring, DC
  - open ontgraving, DC
  - Vergunningszone

- Oppervlaktewaterlichaam**
- primair
  - secundair
  - tertiair
  - ⌘ duiker

- waterschapswegen**
- Waterschapswegen**
- Erftoegangsweg-B
  - Bescheringszone
- Keringen**
- Primair waterstaatswerk
  - Primair beschermingszone B

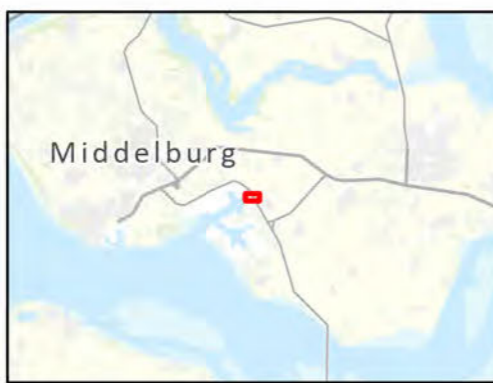
Aan deze tekening kunnen geen rechten worden ontleend. © TenneT TSO B.V.



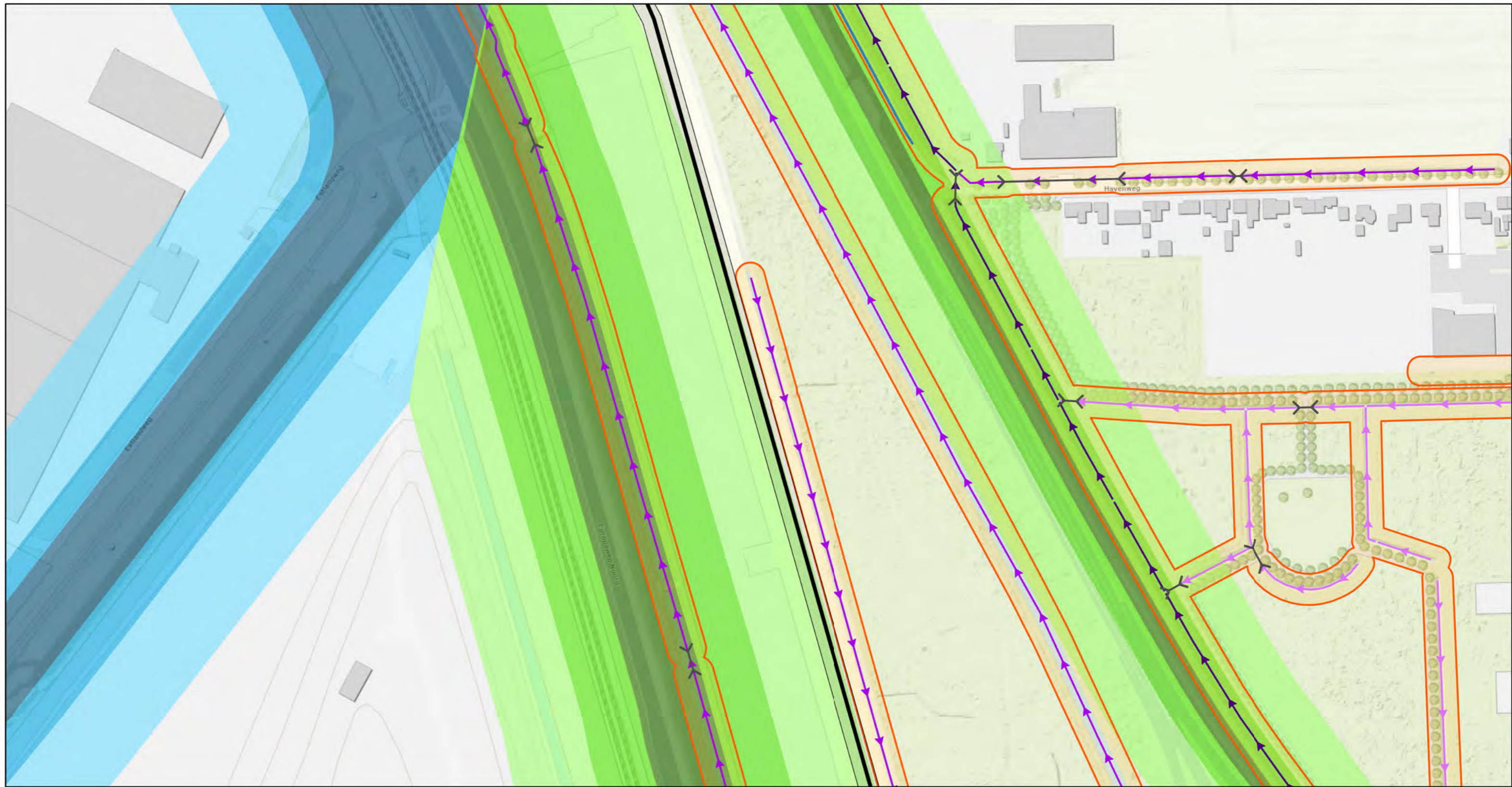
Versie	1.0	Datum	3-7-2023
Schaal	1:2.250	Formaat	A3
Kenmerk	2306_NW1_onshore_water_boring kaartbeeld 14 van 21		





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


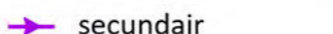
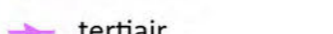



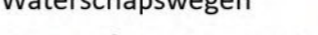

-  MOF
-  Nederwiek 1 landtracé
-  boring, DC
-  open ontgraving, DC
-  Vergunningszone
-  Oppervlaktewaterlichaam
-  primair
-  secundair
-  duiker
-  waterschapswegen
-  Waterschapswegen
-  Erftoegangsweg-B
-  Beschermingszone
- Keringen**
-  Primair waterstaatswerk
-  Primair beschermingszone B
-  Primair beschermingszone A
-  Regionaal waterstaatswerk
-  Regionaal beschermingszone A



Versie	1.0	Datum	3-7-2023
Schaal	1:2.250	Formaat	A3
Kenmerk	2306_NW1_onshore_water_boring kaartbeeld 15 van 21		
			

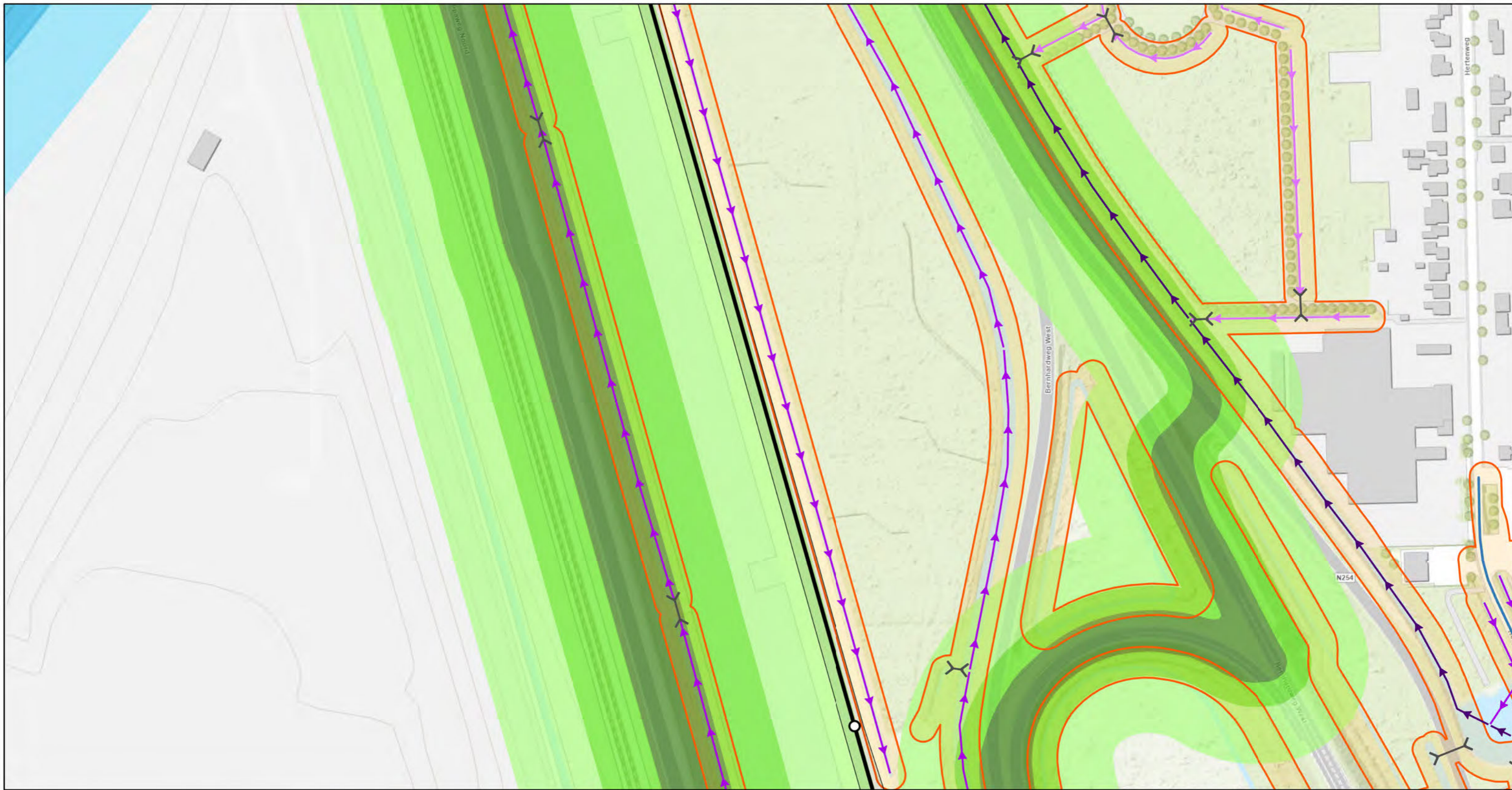


- Nederwiek 1 landtracé**
-  open ontgraving, DC
  -  Vergunningszone
  - Oppervlaktewaterlichaam
  -  primair
  -  secundair
  -  tertiair

-  duiker
- waterschapswegen
- Waterschapswegen
-  Erftoegangsweg-B
-  Beschermingszone



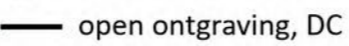
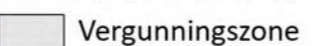
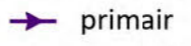
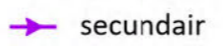
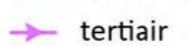
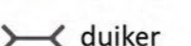
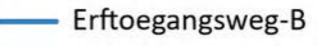
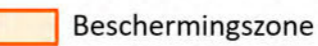

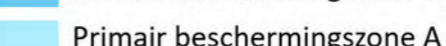
- Keringen**
-  Primair waterstaatswerk
  -  Primair beschermingszone B
  -  Primair beschermingszone A
  -  Regionaal waterstaatswerk
  -  Regionaal beschermingszone A
  -  Regionaal beschermingszone B

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



Versie	1.0	Datum	3-7-2023
Schaal	1:2.250	Formaat	A3
Kenmerk	2306_NW1_onshore_water_boring kaartbeeld 16 van 21		
0 40 80 120 m		N	



-  MOF
-  Nederwiek 1 landtracé
-  open ontgraving, DC
-  Vergunningszone
- Oppervlaktewaterlichaam**
-  primair
-  secundair
-  tertiair
-  duiker
- waterschapswegen**
- Waterschapswegen**
-  Erftoegangsweg-B
-  Beschermingszone
- Keringen**
-  Primair beschermingszone B
-  Primair beschermingszone A

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

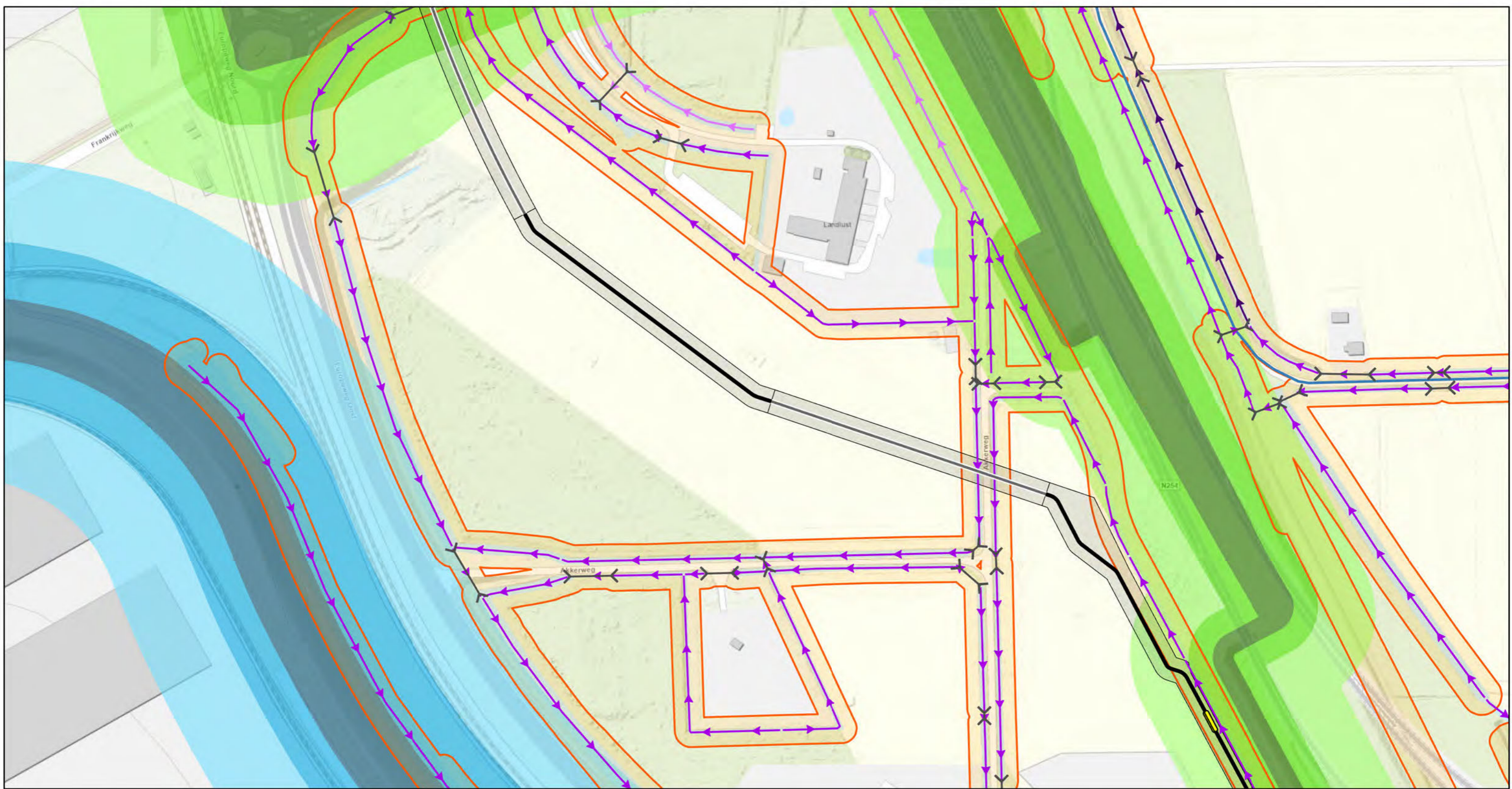




Versie	1.0	Datum	3-7-2023
Schaal	1:2.250	Formaat	A3
Kenmerk	2306_NW1_onshore_water_boring kaartbeeld 17 van 21		
0 40 80 120 m		N	




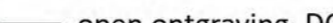

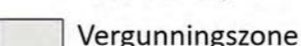
- MOF
- boring, DC
- open ontgraving, DC
- Vergunningszone
- Oppervlaktewaterlichaam
  - primair
  - secundair
  - tertiair
  - ⌘ duiker
- waterschapswegen
  - Waterschapswegen
  - Erftoegangsweg-B
  - Beschermingszone
- Keringen
  - Primair waterstaatswerk
  - Primair beschermingszone B
  - Primair beschermingszone A
  - Regionaal waterstaatswerk
  - Regionaal beschermingszone A
  - Regionaal beschermingszone B


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


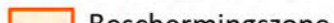


Versie	1.0	Datum	3-7-2023
Schaal	1:2.250	Formaat	A3
Kenmerk	2306_NW1_onshore_water_boring kaartbeeld 18 van 21		
			



- Nederwiek 1 landtracé**
-  boring, DC
  -  open ontgraving, DC
  -  mantelbuis, DC
  -  Vergunningszone

- Oppervlaktewaterlichaam**
-  primair
  -  secundair
  -  tertiair
  -  duiker

- waterschapswegen**
- Waterschapswegen**
-  Erftoegangsweg-B
  -  Beschermingszone

- Keringen**
-  Primair waterstaatswerk
  -  Primair beschermingszone B
  -  Primair beschermingszone A
  -  Regionaal waterstaatswerk
  -  Regionaal beschermingszone A
  -  Regionaal beschermingszone B

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





Versie	1.0	Datum	3-7-2023
Schaal	1:2.250	Formaat	A3
Kenmerk	2306_NW1_onshore_water_boring kaartbeeld 19 van 21		
0 40 80 120 m		N	



- MOF
- Nederwiek 1 landtracé
- boring, DC
- open ontgraving, DC
- mantelbuis, DC
- Vergunningszone

- Oppervlaktewaterlichaam
- secundair
- duiker
- Beschermszone

- Keringen
- Primair waterstaatswerk
- Primair beschermingszone B
- Primair beschermingszone A
- Regionaal waterstaatswerk
- Regionaal beschermingszone A
- Regionaal beschermingszone B

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




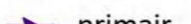



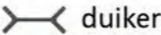

Versie	1.0	Datum	3-7-2023
Schaal	1:2.250	Formaat	A3
Kenmerk	2306_NW1_onshore_water_boring kaartbeeld 20 van 21		



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





- Nederwiek 1 landtracé**
-  boring, DC
  -  open ontgraving, DC
  -  Vergunningszone
- Oppervlaktewaterlichaam**
-  primair
  -  secundair


-  duiker
-  Beschermingszone

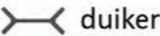

- Keringen**
-  Primair waterstaatswerk
  -  Primair beschermingszone B
  -  Primair beschermingszone A
  -  Regionaal waterstaatswerk
  -  Regionaal beschermingszone A
  -  Regionaal beschermingszone B



Versie	1.0	Datum	3-7-2023
Schaal	1:2.250	Formaat	A3
Kenmerk	2306_NW1_onshore_water_boring kaartbeeld 21 van 21		
			



- Nederwiek 1 landtracé**
-  boring, DC
  -  open ontgraving, DC
  -  Vergunningszone
- Oppervlaktewaterlichaam**
-  primair
  -  secundair

-  duiker
-  Bescherminingszone

- Keringen**
-  Primair waterstaatswerk
  -  Primair beschermingszone B
  -  Primair beschermingszone A
  -  Regionaal waterstaatswerk
  -  Regionaal beschermingszone A
  -  Regionaal beschermingszone B

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

# Net op Zee – Nederwiek 1

## **Aanvraag watervergunning Waterschap Scheldestromen**

Bijlage 5: HDD Boorplannen, inclusief bijlagen

# Net op Zee Nederwiek-1

**Horizontaal gestuurde boringen onder en nabij  
waterkeringen Waterschap Scheldestromen  
TenneT TSO B.V.**

23 juni 2023

## Contactpersoon



Arcadis Nederland B.V.  
Postbus 63  
9400 AB Assen  
Nederland

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Uitgangspunten en randvoorwaarden</b>	<b>7</b>
2.1	Diameter en SDR-klasse algemeen	7
2.2	Leidinggegevens	7
2.3	Vooronderzoek	7
2.4	Grondmechanische gegevens	7
2.5	Grondwaterstanden	8
<b>3</b>	<b>Ontwerp van de kruisingen</b>	<b>10</b>
3.1	Configuratie van de kruisingen	10
3.2	Tracé en Diepteligging	10
3.2.1	HDDN12 – Kruising Rijksweg A58	10
3.2.2	HDDN21 – Kruising Quarlespolderweg	11
3.2.3	HDDN16 – Kruising Leidingen	11
3.2.4	HDDN22 – Kruising Frankrijkweg	12
3.2.5	HDDN28 – Kruising Station Liechtensteinweg	12
3.3	In- en uittredepunt	12
3.4	Kabels en leidingen	13
<b>4</b>	<b>Leidingberekening</b>	<b>14</b>
4.1	Algemeen	14
4.2	Sterkteberekening	14
4.2.1	HDDN12 – Kruising Rijksweg A58	14
4.2.2	HDDN21 – Kruising Quarlespolderweg	15
4.2.3	HDDN16 – Kruising Leidingen	15
4.2.4	HDDN22 – Kruising Frankrijkweg	16
4.2.5	HDDN28 – Kruising Station Liechtensteinweg	16
<b>5</b>	<b>Grond mechanisch en hydrologisch advies</b>	<b>18</b>
5.1	Boorspoeldrukken	18

5.2	<b>Kwelsituatie</b>	18
5.2.1	Kwelsituatie watervoerende pakket	18
5.2.2	Kwel van buitendijks naar binnendijks kruising Rijksweg A58 (HDDN12)	18
5.2.3	Kwel van buitendijks naar binnendijks kruising Quarlespolderweg (HDDN21)	19
5.2.4	Kwel van buitendijks naar binnendijks kruising Leidingen (HDDN16)	19
5.2.5	Kwel van buitendijks naar binnendijks kruising Frankrijkweg (HDDN22)	19
5.2.6	Kwel van buitendijks naar binnendijks kruising Station Liechtensteinweg (HDDN28)	20
<b>6</b>	<b>Uitvoeringsaspecten</b>	<b>21</b>
6.1	Boren bij verhoogd zoutgehalte in het (grond)water	21
6.2	Controle en registratie tijdens de uitvoering	21
6.3	Keuring en inspectie	21
6.4	Uitvoeringseisen	21
<b>7</b>	<b>Conclusie en advies</b>	<b>22</b>
	<b>Bijlagen</b>	<b>23</b>
	<b>Bijlagen</b>	
	<b>Bijlage A : Ontwerptekening HDDN12 – Kruising Rijksweg A58</b>	<b>24</b>
	<b>Bijlage B : Ontwerptekening HDDN21 – Kruising Quarlespolderweg</b>	<b>25</b>
	<b>Bijlage C : Ontwerptekening HDDN16 – Kruising Leidingen</b>	<b>26</b>
	<b>Bijlage D : Ontwerptekening HDDN22 – Kruising Frankrijkweg</b>	<b>27</b>
	<b>Bijlage E : Ontwerptekening HDDN28 – Kruising Station Liechtensteinweg</b>	<b>28</b>
	<b>Bijlage F : Legger Waterkeringen Waterschap Scheldestromen</b>	<b>29</b>
	<b>Bijlage G : Berekening veiligheidszones waterkering HDDN12 (Rijkweg A58)</b>	<b>30</b>
	<b>Bijlage H : Samenvattende sheet met uitkomsten sterkteberekeningen</b>	<b>31</b>
	<b>Bijlage I : Sterkteberekening HDDN12 – Kruising Rijksweg A58</b>	<b>32</b>
	<b>Bijlage J : Sterkteberekening HDDN21 – Kruising Quarlespolderweg</b>	<b>33</b>
	<b>Bijlage K : Sterkteberekening HDDN16 – Kruising Leidingen</b>	<b>34</b>



<b>Bijlage L : Sterkteberekening HDDN22 – Kruising Frankrijkweg</b>	<b>35</b>
<b>Bijlage M : Sterkteberekening HDDN28 – Kruising Station Liechtensteinweg</b>	<b>36</b>
<b>Bijlage N : Grondwaterkaart TNO, dienst grondwaterverkenning</b>	<b>37</b>
Stijghoogteverdeling binnen het eerste watervoerend pakket op 28 augustus 1983	37
<b>Bijlage O : Gebruikte websites en informatiebronnen</b>	<b>38</b>
<b>Colofon</b>	<b>39</b>

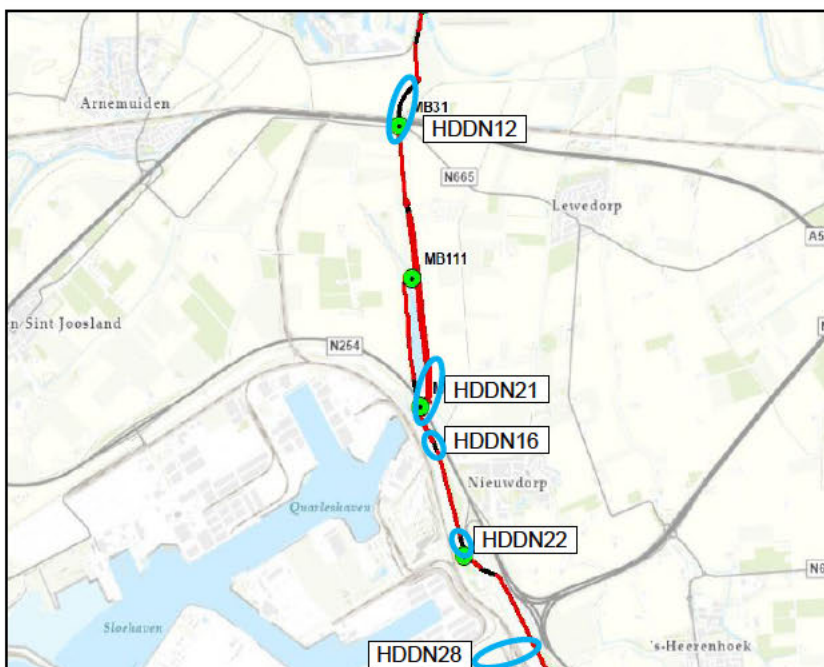
## Versiebeheer

<b>Versie</b>	<b>Datum</b>	<b>Wijzigingen</b>
<b>Concept</b>	16-12-2022	0-versie na interne review Arcadis
<b>Definitief</b>	23-06-2023	Definitief

# 1 Inleiding

In het kader van het project Net op Zee Nederwiek 1 worden DC-kabelverbindingen gelegd om de windmolenparken van Nederwiek aan te sluiten via een converterstation op het hoogspanningsnet op land. In het kabeltracé op land worden horizontaal gestuurde boringen (HDD's) toegepast om verschillende knelpunten in het kabeltracé te kruisen. Open ontgravingen van deze knelpunten is door de aanwezigheid van verschillende bestaande leidingen, waterstaatswerken, watergangen en (spoor)wegen niet mogelijk. Voor de door TenneT aan te vragen vergunningen worden in deze rapportage per specifieke kruising een sterkteberekening en een kwelweg berekening gemaakt. Daarnaast wordt in het voorliggende rapport het ontwerp toegelicht. Uitgangspunt van de berekening van de HDD's zijn de door TenneT aangeleverde tracés en sonderingen.

Voor de vergunningsaanvraag bij de diverse betrokken instanties zijn voor de HDD's berekeningen uitgevoerd volgens NEN 3650/3651 met het programma Sigma 2022 v.1.3 van Adviesbureau Schrijvers te Hellevoetsluis. Dit rapport bevat de uitgangspunten, het ontwerp, grondmechanische gegevens en de berekeningsresultaten van de kruisingen of parallelle ligging met de waterkeringen (5x).



Figuur 1: Kabeltracé Net op Zee Nederwiek 1

De situering en het langsprofiel is als Bijlage A t/m Bijlage E bij dit rapport gevoegd. De volgende voorschriften en normen zijn voor het ontwerp en de berekeningen toegepast:

- NEN 3650:2020, NEN 3651:2020 en NPR 3659:1996/A1:2003 (leidingen);
- NEN-EN 1997-1 (Eurocode 7, geotechniek);
- NEN-EN 1991-2 (Eurocode 1, belastingen op constructies);
- Richtlijnen boortechnieken van Rijkswaterstaat 2019;
- Standaard RAW 2020 bepalingen, van toepassing voor het grondwerk, het aanvullen van de sleuven en overig civieltechnisch werk;
- RLN00427-2 V001, (Spoorkruising Derden, sleufloze techniek) van ProRail.

## 2 Uitgangspunten en randvoorwaarden

### 2.1 Diameter en SDR-klasse algemeen

TenneT zit momenteel in een pre-kwalificatie proces met kabelleveranciers om een kabel te ontwikkelen die het vermogen van 2 GW kan transporteren. Dit kunnen uiteindelijk kabels worden met een koperen of aluminium geleider. Hierdoor is de uiteindelijke diameter van de kabel nog niet definitief bepaald. Uitgangspunt is dat de diameter van de DC-kabel inclusief isolatie en mantel, tussen de 150 en 160 mm zal zijn. Gezien de diameter van de kabel in relatie tot de afmeting van de trekkop om de kabel, welke ruimte innemen, is een binnendiameter van de mantelbuis van minimaal 200 mm gewenst. Een marge van 40 à 50mm is gewenst omdat de trekkop van de kabel over het algemeen wat groter is dan de kabel zelf.

Naast de diameter van de kabels wordt ook rekening gehouden met de gebruikstoestand van de kabels, waarbij de temperatuur van de omgeving (de omliggende grond en de met schoonwater gevulde mantelbuis) kan oplopen. Ten gevolge van de elektrische weerstand van de kabel kan, afhankelijk van de warmtegeleiding (g-waarde) van de omliggende grond en de belastbaarheid van de kabel, de mantelbuis opwarmen tot 40°C of in een uiterste geval kortstondig tot 60°C. Ten behoeve van de sterkteberekeningen van de mantelbuis is uitgegaan van een temperatuurvariatie in de gebruiksfase van 30°C.

Uit het ontwerp van de mantelbuizen blijkt dat dekking op de buizen variabel is. Hieronder staan de specificaties van de mantelbuis die in het project wordt toegepast. De SDR-klasse is op basis van sterkteberekeningen getoetst.

Mantelbuis	Gegevens mantelbuis
Materiaal	PE 100 SDR 11
Diameter Ø250 mm	SDR 11, inw. Ø 204,4 mm
Inwendige druk	0 N/mm <sup>2</sup>
Medium	HS-kabel, afgevuld met schoon water

Tabel 1: Gegevens HDD mantelbuis

### 2.2 Leidinggegevens

De leidingen dienen als mantelbuis voor het kabeltracé en betreffen drukloze buizen die afgevuld worden met schoon water (bij voorkeur drinkwaterkwaliteit).

### 2.3 Vooronderzoek

In het vooronderzoek zijn gegevens verzameld over het te kruisen spoor, waterstaatswerken, kabels en leidingen (KLIC) en andere obstakels. Het maaiveldniveau van het lengteprofiel over het tracé is gegenereerd uit de AHN (Algemene Hoogtekaart Nederland). De kabels en leidingen die ingetekend zijn op de tekeningen zijn afkomstig uit de KLIC-melding, waarbij een aannname is gedaan voor de diepteligging.

### 2.4 Grondmechanische gegevens

De grondmechanische parameters, ter plaatse van de kruisingen, zijn herleid uit de geotechnische gegevens verkregen uit door TenneT aangeleverde grondonderzoek. Het betreffen sonderingen en grondboringen uitgevoerd door Koops Grondmechanica BV te Roden. Antea heeft op basis van deze onderzoeken in januari 2022 een totaalrapportage opgesteld [Antea, 2022-1], zie referentielijst in Bijlage O. De rapportage is gebruikt voor het ontwerp van de boorlijnen. De diverse grondparameters zijn bepaald door de bijbehorende sondering(en) in te lezen in het programma Sigma 2022 van Adviesbureau Schrijvers.

De mantelbuizen ter plaatse van de kruisingen HDDN12 (Rijksweg A58), HDDN22 (Frankrijkweg) en HDDN28 (Station Liechtensteinweg) zijn gesitueerd in een homogeen zandpakket, hierdoor is er gerekend met gereduceerde grondbelastingen. De mantelbuizen ter plaatse van kruising HDDN16 (leidingkruisingen) zijn gesitueerd in een heterogeen pakket, hierdoor zijn geen gereduceerde grondbelastingen of horizontale steundrukken toegepast in de berekening. Dit wil zeggen dat er in dit grondpakket ongelijk verdeelde belastingen op de buizen kunnen ontstaan.

De mantelbuizen van HDDN21 (Quarlespolderweg) zijn aan de zuidzijde gesitueerd in een homogeen zandpakket, waardoor gerekend is met gereduceerde grondbelastingen. Voor het noordelijk deel is (op basis van een verder weg gelegen sondering) uitgegaan van ligging in klei. TenneT laat nog aanvullende sonderingen uitvoeren om dit noordelijk deel van het laatstgenoemde boortracé nauwkeuriger in kaart te brengen.

Ter plaatse van de kruisingen zijn in het voortraject meerdere sonderingen en mechanische boringen uitgevoerd, waarbij in ieder geval aan weerszijden van het te kruisen object sonderingen zijn uitgevoerd (m.u.v. HDDN22). Indien de sonderingen een gelijkwaardig beeld geven, is ervan uitgegaan dat het tussenliggende gebied homogeen is. Deze werkwijze is over het algemeen geaccepteerd door het bevoegd gezag. Echter bij sterke verschillen van deze sondeerresultaten, dient in overleg met de beheerder van het object aanvullend onderzoek op tussengelegen locaties worden uitgevoerd. Een kaart met de locaties van de grondonderzoeken is onder bijlage 1 opgenomen in [Antea, 2022-1].

Naast de grondmechanische gegevens is voor de globale bodemopbouw, grondwaterstanden en polderpeilen is ook gebruik gemaakt van het DINO-loket en de interactieve kaarten van Waterschap Scheldestromen (zie Bijlage O). Ter controle en aanvulling van deze gegevens kunnen voorafgaand aan de uitvoering aanvullende sonderingen en boringen worden uitgevoerd of peilbuizen worden geplaatst.

De resultaten dienen dan te worden verwerkt in de boorplannen van de aannemer en dienen ter goedkeuring aan de vergunningverlenende partijen te worden voorgelegd.

## 2.5 Grondwaterstanden

In opdracht van TenneT is door Antea Group een Geothermisch onderzoek uitgevoerd [Antea, 2022-2], zie referentielijst in Bijlage O. In dit onderzoek zijn de deklaag, de grondwaterstanden van de geplaatste peilbuizen in het gebied weergegeven. De relevant gemeten (AG) (grond)waterstanden en GLG (gemeten laag grondwater) uit het onderzoek zijn in de onderstaande tabel overgenomen.

Tabel 2: Gemeten grondwaterstanden [Antea, 2022-2].

Kruising	AG	GLG	Peilbuis
HDDN12 – Rijksweg A58	N.A.P. +0,24 m	N.A.P. -0,80 m	MB31
	N.A.P. -0,14 m	N.A.P. -0,20 m	MB107
	N.A.P. -0,12m	N.A.P. -0,30m	MB108
	N.A.P. -0,02 m	N.A.P. -0,20 m	MB201
	N.A.P. -0,01 m	N.A.P. -0,20 m	MB202
HDDN21 – Quarlespolderweg	N.A.P. -0,44 m	N.A.P. -0,65 m	MB04
	N.A.P. -0,51 m	N.A.P. -0,40 m	MB114
HDDN16 – Kruising leidingen	N.A.P. -0,38 m	N.A.P. -0,40 m	MB115
	N.A.P. -0,25 m	N.A.P. -0,40 m	MB116
HDDN22 – Frankrijkweg	N.A.P. +0,11 m	N.A.P. -0,65 m	MB05
	N.A.P. +0,43 m	N.A.P. -0,55 m	MB06
	N.A.P. +0,23 m	N.A.P. -0,40 m	MB117
HDDN28 – Liechtensteinweg	N.A.P. +0,15 m	N.A.P. -0,53 m	154

Uit bureauonderzoek (interactieve kaarten van Waterschap Scheldestromen en het Dinoloket) zijn bij de in- en uitredpunten de onderstaande oppervlaktewaterpeilen vastgesteld. Hierbij is er uitgegaan van dat de grondwaterpeilen de oppervlaktewaterpeilen volgen.

Tabel 3 Oppervlaktewaterstanden (zomer- en winterpeil).

Kruising	Intredepunt (zp/wp)	Uitredepunt (zp/wp)	Absoluut verschil (zp/wp)
HDDN12 – Rijksweg A58	N.A.P. 0,00 /-0,30 m	N.A.P. -0,35 /-0,35 m	0,35/0,05 m
HDDN21 – Quarlespolderweg	N.A.P. -1,20/-1,30 m	N.A.P. -1,20 /-1,30 m	0,00/0,00 m
HDDN16 – Kruising leidingen	N.A.P. -1,20/-1,30 m	N.A.P. -1,20 /-1,30 m	0,00/0,00 m
HDDN22 – Frankrijkweg	N.A.P. 0,05/0,05 m	N.A.P. -1,20 /-1,30 m	1,25/1,35 m
HDDN28 – Liechtensteinweg	N.A.P. 0,05/0,05 m	N.A.P. 0,05/0,05 m	0,00/0,00 m

De interactieve kaarten van Waterschap Scheldstroom ( <https://kaarten.zeeland.nl/map/freshem#>) geven weer dat er brak tot zout water aanwezig kan zijn. Tijdens de uitvoering (boorplan van de booraannemer) moeten maatregelen genomen om de stabiliteit van de boorspoeling te waarborgen en eventueel kwel langs de leiding te voorkomen.

Bij de kruisingen zijn peilbuizen aangebracht en de grondwaterstand daarvan is eenmalig gemeten en eventueel aangevuld met bureauonderzoek. Door TenneT zijn voor de peilbuizen MB31 en MB04 van mei 2021 tot en met mei 2022 waterstandsmetingen met een diver (met datalogger) verricht. Dat geldt ook voor MB06, maar die gegevens zijn ten tijde van het opstellen van deze rapportage nog niet beschikbaar.

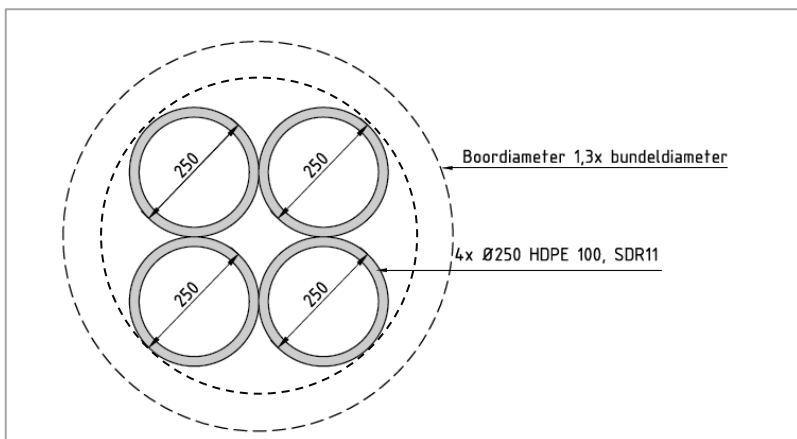
De peilbuizen dienen voorafgaand aan de uitvoering van de HDD-boringen te worden bemonsterd. De grondwaterstanden, stijghoogten en chloride gehalte dienen in kaart worden gebracht. De resultaten dienen te worden verwerkt in de boorplannen van de aannemer en ter goedkeuring aan de vergunningverlenende partijen te worden voorgelegd.

## 3 Ontwerp van de kruisingen

Om het tracé te kunnen realiseren is ervoor gekozen de waterkeringen, Rijksweg en het spoor door middel van een horizontaal gestuurde boring te kruisen.

### 3.1 Configuratie van de kruisingen

Voor Waterschap Scheldestromen betreft het vijf kruisingen, die elk worden uitgevoerd als één bundel met 4 mantelbuizen (figuur 2). De omhullende diameter van de mantelbuizen bedraagt 600mm. De diameter van het boorgat (ruimer) is 780mm (bij een factor 1,3).



Figuur 2: Boorconfiguratie 1 bundel met 4 mantelbuizen.

### 3.2 Tracé en Diepteligging

#### 3.2.1 HDDN12 – Kruising Rijksweg A58

Kruising A58 betreft een kruising met een primaire waterkering, de A58, de N665 en het spoor. Voor de berekening is ervoor gekozen om het intredepunt aan de noordzijde te situeren en het uitredepunt aan de zuidzijde. Hiervoor is gekozen i.v.m. de ruimte voor een uitlegtracé. Om de HDD te kunnen realiseren wordt voor de beschermzone A (noordkant) een horizontale bocht ( $R_h=350$ ) aangebracht. Hiermee kan worden voldaan aan het (nagenoeg) loodrecht kruisen van het Waterstaatswerk (primaire waterkering en de Rijksweg) en het spoor.

In de onderstaande tabel is de dekking opgenomen bij de verschillende vergunningsplichtige locaties. Onder de tabel is een toelichtende tekst opgenomen.

Tabel 4: Controle op dekkingseis vergunningsplichtige locaties HDDN12 - Kruising Rijksweg A58.

Locatie	Dekking	Dekkingseis	Voldoet?
Rijksweg A58	18,5 meter	4,7 meter	Ja
Provinciale weg N665	17,0 meter	4,7 meter	Ja
Kruin Waterkering	20,5 meter	10,0 meter	Ja
Teen waterkering	15,0 meter	3,0 meter	Ja
Spoor	18,5 meter	8,0 meter	Ja

Er is gekozen voor een intredehoek van  $17^\circ$  en een uitredehoek van  $14^\circ$ . De minimale diepte van de as van het boortracé, onder de A58 is circa N.A.P. -15,30 meter, wat overeenkomt met een diepte van minimaal 18,5 meter onder

de A58, 20,5 meter onder de kruin waterkering en het spoor en 15 meter onder de teen van de primaire waterkering. Hiermee wordt voldaan aan de NEN 3651:2020 (minimaal 10 meter onder de kruin van de waterkering en 3 meter onder de teen van de waterkering) en de diepteliggingseis volgens ProRail (minimaal 8 meter onder bovenkant spoor, rekening houdend met een druklijn van 1:1,5, uitgaande van een inwendige diameter van 250 tot en met 600 mm en een boorgat van 400 tot 800 mm) conform eis 3.36 en figuur 8 uit RLN00427-2).

Naast de dekkingseis van de NEN en ProRail dient ook te worden voldaan aan de dekkingseis van RWS. Dekkingseis voor de A58 en N665 volgens paragraaf 2.4.1. Richtlijnen Boortechniek en NEN 3650-1:2020 artikel F.4.2.: In niet-cohesieve grond: 6x de buitendiameter van de aan te brengen leiding (i.c. boorgat) met een minimum van 1,5 meter. Deze afstand bedraagt  $6 \times 0,780 \text{ meter} = 4,68 \text{ meter}$ . De bovenzijde van het boorgat heeft een dekking van ca. 18 meter en voldoet daarmee ruimschots aan de dekkingseis.

De as van het boortracé onder de Provincialeweg N665 is ca. N.A.P. -15,30 meter, wat resulteert in een dekking van ca. 17 meter (inclusief verharding laag). De minimale dekking bedraagt 4,68 meter en met de hiervoor aangegeven diepteligging wordt voldaan aan de dekkingseis.

### 3.2.2 HDDN21 – Kruising Quarlespolderweg

Kruising Quarlespolderweg betreft een lange (schuine) kruising met een regionale keringen. Er is hier gekozen voor een lange boring om zo min mogelijk te graven in de nabijheid van de Zeedijk van de Jacobapolder. Deze dijk heeft overigens geen formele waterkerende functie meer. De kruising is gesitueerd aan de zuidoostzijde van de Sloekreek. Voor de berekening is gekozen om het intredepunt aan de zuidzijde te situeren en het en het uitredepunt aan de noordzijde in de Zeedijk van de Jacobapolder. De in- en uitredepunten zijn zo gekozen in verband met de ruimte van het uitlegtracé naast de Zeedijk van de Jacobapolder.

In het tracé is een rechthoekige duiker gesitueerd. Deze duiker is op staal gefundeerd en wordt op een diepte van ca. 2,5m gekruist. Aan de zuidkant zijn drie waterleidingen aanwezig die gekruist moeten worden. Ook is er een gasleiding nabij het intredepunt aanwezig waarmee rekening gehouden wordt. Om de duiker en de waterleidingen te kunnen kruisen én om voldoende afstand te houden tot de gasleiding is er in dit specifieke geval voor gekozen om de regionale kering schuin te kruisen.

In de onderstaande tabel is de dekking opgenomen bij de verschillende vergunningsplichtige locaties. Onder de tabel is een toelichtende tekst opgenomen.

Tabel 5: Controle op dekkingseis vergunningsplichtige locaties HDDN21 - Kruising Quarlespolderweg.

Locatie	Dekking	Dekkingseis	Voldoet?
Duiker	2,5 meter	n.v.t.	
Kruin waterkering	13,5 meter	10,0 meter	Ja
Teen waterkering	9,5 meter	3,0 meter	Ja

Voor de intredehoek is 15° aangehouden en voor de uitredehoek 13°. De minimale diepte van de as het boortracé ter plaatse van het waterstaatswerk ligt op ongeveer N.A.P. -10,0 meter, wat overeenkomt met een diepte van 13,5 meter onder de kruin en 9,5 meter onder de teen van de regionale kering. Hiermee wordt voldaan aan de NEN 3651:2020 (minimaal 10 meter onder de kruin van de waterkering en 3 meter onder de teen van de waterkering).

### 3.2.3 HDDN16 – Kruising Leidingen

Deze boring betreft een kruising met drie afvalwaterpersleidingen en een hogedruk gasleiding. Deze boring ligt tussen twee primaire waterkeringen in en ligt in een strook parallel aan deze beide waterkeringen. De boring en de in- en uitredepunten liggen op de rand van de Beschermingszone B van de primaire waterkering “Westerschelde Noordoever”. Voor de berekening is ervoor gekozen om het intredepunt aan de zuidzijde te situeren en het uitredepunt aan de noordzijde. Hiervoor is gekozen in verband met de ruimte van een uitlegtracé dat in de lengterichting van de boring beschikbaar is. Er is gekozen voor een intredehoek van 15° en een uitredehoek van 14°. De minimale diepte van de as het boortracé ligt op ongeveer N.A.P. -7.0 meter.

### 3.2.4 HDDN22 – Kruising Frankrijkweg

Kruising Frankrijkweg betreft een haakse kruising met een regionale kering. Voor de berekening is ervoor gekozen om het intredepunt aan de zuidoostzijde te situeren en het uittredepunt aan de noordwestzijde. Hiervoor is gekozen in verband met de ruimte van het uitlegtracé aan de noordzijde én om uit de buurt te blijven van de hoogspanningslijnen aan de zuidzijde.

In de onderstaande tabel is de dekking opgenomen bij de verschillende vergunningsplichtige locaties. Onder de tabel is een toelichtende tekst opgenomen.

Tabel 6: Controle op dekkingseis vergunningsplichtige locaties HDDN22 - Kruising Frankrijkweg.

Locatie	Dekking	Dekkingseis	Voldoet?
Kruin waterkering	12 meter	10,0 meter	Ja
Teen waterkering	10 meter	3,0 meter	Ja

Er is gekozen voor een in- en uittredehoek van 15°. De minimale diepte van de bovenzijde van het boortracé in het waterstaatswerk ligt op ongeveer N.A.P. -7,9 meter, wat overeenkomt met een diepte van minimaal 12 meter onder de kruin en 10 meter onder de teen van de regionale kering. Hiermee wordt voldaan aan de NEN 3651:2020 (minimaal 10 meter onder kruin van de waterkering en 3 meter onder de teen van de waterkering).

### 3.2.5 HDDN28 – Kruising Station Liechtensteinweg

Kruising Liechtensteinweg betreft een kruising met het spoor en ligt bovendien binnen de Beschermingszone B van een regionale waterkering. Het intredepunt ligt overigens tegen Beschermingszone A aan, waarbij waarschijnlijk enkele beperkte (en ondiepe) graafwerkzaamheden binnen Beschermingszone A plaats moeten vinden om de HDD-boring plaats te kunnen laten vinden. Over deze activiteiten is reeds overleg geweest met het Waterschap Scheldestromen. Voor de berekening is ervoor gekozen om het intredepunt aan de oostzijde te situeren en het uittredepunt aan de westzijde. Hiervoor is gekozen in verband met de ruimte van het uitlegtracé.

In de onderstaande tabel is de dekking opgenomen bij de verschillende vergunningsplichtige locaties. Onder de tabel is een toelichtende tekst opgenomen.

Tabel 7: Controle op dekkingseis vergunningsplichtige locaties HDDN28 - Kruising Station Liechtensteinweg.

Locatie	Dekking	Dekkingseis	Voldoet?
Spoor	9,0 meter	8,0 meter	Ja

Er is gekozen voor een intredehoek van 17° en een uittredehoek van 15°. De minimale diepte van de as het boortracé ligt op circa N.A.P. -14,8 meter. De minimale diepte tussen bovenzijde boring en bovenkant spoorstaaf (rekening houdend met een druklijn onder een hellinghoek van 1:1,5) bedraagt ruim 9 meter. Hiermee wordt voldaan aan de eis 3.36 en figuur 8 uit RLN00427-2 van ProRail (minimaal 8 meter bij inwendige diameter van 250 tot en met 600 mm en een boorgat van 400 tot 800 mm).

## 3.3 In- en uittredepunt

De in- en uittredepunten van de gestuurde boringen zijn zodanig gekozen dat deze buiten de aangegeven beschermzones (A) van Waterschap Scheldestromen (Bijlage F) en het profiel van vrije ruimte van het spoor liggen. Naast het vaststellen van deze beschermzones is voor de kruising met Rijksweg A58 ook een controle uitgevoerd op de veiligheidszone (Bijlage G) van wegen en waterkeringen volgens artikel 6.2.2.1 en 8.6.1 van NEN3651:2020. Dit is op het lengteprofiel van de betreffende tekening aangegeven.



Bovendien zijn in- en uittredepunt van de boring zo gekozen dat kan worden voldaan aan de diepte eis ten aanzien van de te kruisen wegen, sporen, watergangen en leidingen.

### **3.4 Kabels en leidingen**

De relevante kabels en leidingen zijn op de situatietekening aangegeven. Vlak voor uitvoering dient er een KLIC-melding te worden gedaan en dient er ter plaatse van de in- en uittredepunten een proefsleuf worden gegraven.

## 4 Leidingberekening

### 4.1 Algemeen

De sterkteberekeningen van de bundels in de kruising zijn uitgevoerd met het programma Sigma 2022 van de Adviesbureau Schrijvers BV. Een samenvattende sheet met de berekeningsresultaten is opgenomen in Bijlage H. De uitgebreide berekeningsresultaten zijn in Bijlage I t/m Bijlage M opgenomen en zijn hieronder toegelicht.

### 4.2 Sterkteberekening

In de sterkteberekening zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

1. Voor de importantiefactor (voorheen schadefactor S) is volgens artikel 6.5 en bijlage B van NEN 3651:2020 een waarde van 1 aangehouden;
2. De verticale bochtstralen variëren tussen de 200 en 400 meter;
3. De horizontale bochtstralen kunnen niet in het rekenpakket Sigma worden ingevoerd. Hierdoor zijn de werkelijke optredende spanningen en trekkrachten tijdens het intrekken van de leidingen iets groter zijn dan berekend. Echter gezien de beperkte radiussen verwachten wij dat de werkelijke optredende spanningen ruim binnen de toelaatbare spanningen blijven. We adviseren de bovengrens van de onzekerheidsfactor van de trekkracht (normaal gesproken 2 à 3) toe te passen.
4. De gekozen in- en uittredehoeken variëren tussen de 13° en 17°;
5. In de kruising Rijksweg A58 (HDDN12) is een horizontale bochtstraal van 350 m toegepast;
6. In de kruising Quarlespolderweg (HDDN21) zijn een horizontale bochtstralen van 300 en 1000 meter toegepast;
7. In de kruising Frankrijkweg (HDDN22) is een horizontale bochtstraal van 880 meter toegepast;
8. In de kruising Liechtensteinweg (HDDN28) is een horizontale bochtstraal van 500 meter toegepast;
9. Er is van uit gegaan dat de leidingen zowel tijdens het intrekken als in de gebruiksfase 100% gevuld zijn met water, dit om de spanningen in de leiding tijdens de uitvoerings- en gebruiksfase te verkleinen;
10. Voor de elasticiteitsmodulus lange duur is 200 N/mm<sup>2</sup> aangehouden, volgens opgave van Pipelife;
11. Voor de elasticiteitsmodulus korte duur is 1100 N/mm<sup>2</sup> aangehouden, volgens opgave van Pipelife;
12. De buitendiameter van de bundel bedraagt 600mm. Er is uit gegaan van een boorgatdiameter van 780mm (factor 1,3). Bij de Leichtensteinweg (HDDN28) is een boorgatdiameter van 750 mm aangehouden (factor 1,25) om ruim binnen de marges van ProRail te blijven.

#### 4.2.1 HDDN12 – Kruising Rijksweg A58

Samengevat zijn de berekende spanningen in de leidingen, gerekend met gereduceerde grondbelastingen in diepe deel (homogeen, zand):

- Ø250 mm, PE100, SDR11, wanddikte = 22,8 mm

Fase	Optredende spanning [N/mm <sup>2</sup> ]	Toelaatbare spanning [N/mm <sup>2</sup> ]
1 Tijdens de trekoperatie • Leiding 100% gevuld	$\sigma_x = 4,48$	10
2 Gebruiksfase	$\sigma_x = 7,11$ $\sigma_y = 3,60$	8

De maximale deflectie in de gebruiksfase dient kleiner te zijn dan 8% van de gemiddelde middellijn van de buis ( $D_g$ ). In formulevorm:  $\delta_y < 8\% \times D_g = 0,08 \times 227,2\text{mm} = 18,18\text{mm}$ .

De optredende deflectie is circa 6,0 mm < 18,18 mm, dus voldoet.

De benodigde trekkracht tijdens het intrekken van de gevulde leidingen bedraagt circa 36 kN, exclusief een onzekerheidsfactor. Gezien de mantelbuis volledig gevuld met water gevuld is, is er geen gevaar voor implosie. De mantelbuizen voldoen, in alle fasen aan de gestelde eisen. Voor alle mantelbuizen wordt PE100, ø250 mm, SDR11 toegepast.

De volledige sterkte berekening is bijgevoegd in Bijlage I.

#### 4.2.2 HDDN21 – Kruising Quarlespolderweg

Samengevat zijn de berekende spanningen in de leidingen, gerekend met gereduceerde grondbelastingen in een deel van de boring (homogeen, zand):

- Ø250 mm, PE100, SDR11, wanddikte = 22,8 mm

Fase	Optredende spanning [N/mm <sup>2</sup> ]	Toelaatbare spanning [N/mm <sup>2</sup> ]
1 Tijdens de trekoperatie • Leiding 100% gevuld	$\sigma_x = 6,15$	10
2 Gebruiksfase	$\sigma_x = 7,16$ $\sigma_y = 6,16$	8

De maximale deflectie in de gebruiksfase dient kleiner te zijn dan 8% van de gemiddelde middellijn van de buis ( $D_g$ ). In formulevorm:  $\delta_y < 8\% \times D_g = 0,08 \times 227,2\text{mm} = 18,18\text{mm}$ .

De optredende deflectie is circa 6,8 mm < 18,18 mm, dus voldoet.

De benodigde trekkracht tijdens het intrekken van de gevulde leidingen bedraagt circa 51 kN, exclusief een onzekerheidsfactor. Omdat de mantelbuis volledig gevuld met water gevuld is, is er geen gevaar voor implosie. De mantelbuizen voldoen, in alle fasen aan de gestelde eisen. Voor alle mantelbuizen wordt PE100, ø250 mm, SDR11 toegepast.

De volledige sterkte berekening is bijgevoegd in Bijlage J.

#### 4.2.3 HDDN16 – Kruising Leidingen

Samengevat zijn de berekende spanningen in de leidingen, gerekend zonder gereduceerde grondbelastingen:

- Ø250 mm, PE100, SDR11, wanddikte = 22,8 mm

Fase	Optredende spanning [N/mm <sup>2</sup> ]	Toelaatbare spanning [N/mm <sup>2</sup> ]
1 Tijdens de trekoperatie • Leiding 100% gevuld	$\sigma_x = 1,38$	10
2 Gebruiksfase	$\sigma_x = 7,30$ $\sigma_y = 6,52$	8

De maximale deflectie in de gebruiksfase dient kleiner te zijn dan 8% van de gemiddelde middellijn van de buis ( $D_g$ ). In formulevorm:  $\delta_y < 8\% \times D_g = 0,08 \times 227,2\text{mm} = 18,18\text{mm}$ .

De optredende deflectie is circa 10,7 mm < 18,18 mm, dus voldoet.

De benodigde trekkracht tijdens het intrekken van de gevulde leidingen bedraagt circa 7 kN, exclusief een onzekerheidsfactor. Gezien de mantelbuis volledig gevuld met water gevuld is, is er geen gevaar voor implosie. De mantelbuizen voldoen, in alle fasen aan de gestelde eisen. Voor alle mantelbuizen wordt PE100, ø250 mm, SDR11 toegepast.

De volledige sterkte berekening is bijgevoegd in Bijlage K.

#### 4.2.4 HDDN22 – Kruising Frankrijkweg

Samengevat zijn de berekende spanningen in de leidingen, gerekend met gereduceerde grondbelastingen in diepe deel (homogeen, zand):

- Ø250 mm, PE100, SDR11, wanddikte = 22,8 mm

Fase	Optredende spanning [N/mm <sup>2</sup> ]	Toelaatbare spanning [N/mm <sup>2</sup> ]
1 Tijdens de trekoperatie • Leiding 100% gevuld	$\sigma_x = 1,89$	10
2 Gebruiksfase	$\sigma_x = 7,06$ $\sigma_y = 6,84$	8

De maximale deflectie in de gebruiksfase dient kleiner te zijn dan 8% van de gemiddelde middellijn van de buis ( $D_g$ ). In formulevorm:  $\delta_y < 8\% \times D_g = 0,08 \times 227,2\text{mm} = 18,18\text{mm}$ .

De optredende deflectie is circa 11,3 mm < 18,18 mm, dus voldoet.

De benodigde trekkracht tijdens het intrekken van de gevulde leidingen bedraagt circa 13 kN, exclusief een onzekerheidsfactor. Gezien de mantelbuis volledig gevuld met water gevuld is, is er geen gevaar voor implosie. De mantelbuizen voldoen, in alle fasen aan de gestelde eisen. Voor alle mantelbuizen wordt PE100, ø250 mm, SDR11 toegepast.

De volledige sterkte berekening is bijgevoegd in Bijlage L.

#### 4.2.5 HDDN28 – Kruising Station Liechtensteinweg

Samengevat zijn de berekende spanningen in de leidingen, gerekend met gereduceerde grondbelastingen in diepe deel (homogeen, zand):

- Ø250 mm, PE100, SDR11, wanddikte = 22,8 mm

Fase	Optredende spanning [N/mm <sup>2</sup> ]	Toelaatbare spanning [N/mm <sup>2</sup> ]
1 Tijdens de trekoperatie • Leiding 100% gevuld	$\sigma_x = 2,90$	10
2 Gebruiksfase	$\sigma_x = 7,11$ $\sigma_y = 4,71$	8

De maximale deflectie in de gebruiksfase dient kleiner te zijn dan 8% van de gemiddelde middellijn van de buis ( $D_g$ ). In formulevorm:  $\delta_Y < 8\% \times D_g = 0,08 \times 227,2\text{mm} = 18,18\text{mm}$ .

De optredende deflectie is circa 3,6 mm < 18,18 mm, dus voldoet.

De benodigde trekkracht tijdens het intrekken van de gevulde leidingen bedraagt circa 22 kN, exclusief een onzekerheidsfactor. Gezien de mantelbuis volledig gevuld met water gevuld is, is er geen gevaar voor implosie. De mantelbuizen voldoen, in alle fasen aan de gestelde eisen. Voor alle mantelbuizen wordt PE100,  $\varnothing 250$  mm, SDR11 toegepast.

De volledige sterkte berekening is bijgevoegd in Bijlage M.

## 5 Grond mechanisch en hydrologisch advies

### 5.1 Boorspoeldrukken

Om bij het uitvoeren van de gestuurde boringen uitbraak van de boorvloeistof te voorkomen, mag de boorspoeldruk niet boven circa 90% van de maximale druk c.q. limietdruk uitkomen. In de sterkte berekeningen (zie Bijlage I t/m Bijlage M), is voor een aantal punten in het boortracé de maximaal toelaatbare en minimaal benodigde muddruk bepaald tijdens het boorproces. Uit de grafische weergave van de berekening blijkt dat er risico op muduitbraak is nabij sommige in- en uittredepunten van de boringen. De reden hiervan is dat bij de intredepunten de dekking beperkt is en bij de uittredepunten is de spoellengte maximaal én de dekking het laagst. Om het risico op muduitbraak te beperken, dienen de muddrukken en de voortgangssnelheid hier te worden aangepast.

### 5.2 Kwelsituatie

Bij een horizontaal gestuurde boring onder een waterkering moet volgens NEN3651 onderzoek worden gedaan naar langsluipsheid (kwel) op de (middel)lange termijn. In hoofdstuk 2.5 zijn de verschillende (grond)waterpeilen geïventariseerd.

Er kunnen verschillende kwelsituaties voorkomen, die hierna zijn beschreven. De maatgevende voorkomende waterpeilen zijn in de berekeningen aangehouden.

#### 5.2.1 Kwelsituatie watervoerende pakket

Het diepste punt van de boringen ligt tussen N.A.P. -7,5 m en N.A.P. -16,65 m. Uit de gegevens van het Geothermisch onderzoek [Antea, 2022-2] blijkt dat de bodem ter plaatse van het tracé bestaat uit een holocene deklaag. Op de eerste helft van het tracé is de deklaag aanwezig tot NAP -25,0 à NAP -30,0 m. Uit deze gegevens blijkt dat de boringen op de eerste helft van het tracé boven de afsluitende laag zijn gesitueerd. Hieruit kan worden geconcludeerd dat er geen kans is op kwel uit het eerste watervoerende pakket.

Op de twee helft van het tracé is de holocene deklaag aanmerkelijk dunner, en is deze aanwezig tot NAP -6,0 m. De stijghoogte van het twee deel van het tracé ligt volgens de grondwaterkaarten van TNO (Bijlage N) rond de N.A.P. 0,00 m, deze zijn nagenoeg gelijk aan de polderpeilen, hieruit kan worden geconcludeerd dat er een kleine tot geen kans is op kwel uit het eerste watervoerende pakket.

Omdat er maar bij de meeste kruisingen maar één peilbuis is aangebracht en de stijghoogten voornamelijk zijn verkregen uit bureauonderzoek, adviseren we voorafgaand aan de uitvoering om ter controle peilbuizen aan te brengen in het eerste watervoerende pakket. Met deze peilbuizen kunnen de stijghoogten exact in kaart worden gebracht. De meetresultaten dienen te worden verwerkt in de boorplannen van de aannemer en ter goedkeuring aan de vergunningverlenende partijen te worden voorgelegd.

#### 5.2.2 Kwel van buitendijks naar binnendijks kruising Rijksweg A58 (HDDN12)

Ten gevolge van een (grond)watersverschil ter plaatse van de in- en uittredepunten van de HDD kan kwel langs de leiding ontstaan. Volgens Bligh-Lane kan de kortste kwelweg als volgt worden berekend en gecontroleerd op interne erosie (piping):

$$\sum L_v + \sum \alpha \cdot L_h \geq C_l \cdot H \text{ (absolute toetsing)}$$

Waarin:

$C_l$  = Constante [-], behorend bij grondsoort volgens Lane;

$H$  = Peilverval [m] tussen in- en uittredepunt;

$\sum L_v$  = Verticale component lekkage [m];

$\alpha$  = Weegfactor [-] voor de weerstand in de boorgang;

$\sum L_h$  = Lengte [m] van de horizontale kwelweg.

De volgende variabelen worden gehanteerd:

$\Sigma L_v = 0$  (totaal van de verticale kwelwegen);  
 $\alpha$  = weefactor tussen 0 en 1/3 voor de weerstand in de boorgang. Voor de berekening houden we hier een minimale weerstand in de boorgang van  $\alpha = 0,1$  aan;  
 $\Sigma L_h = 704$  m (lengte boring);  
 $Cl = 7$  (fijn zand);  
 $H = +0,24$  m NAP (gemeten grondwaterstand MB31) – - 0,30 m NAP (polderpeil noordkant) = 0,54 m.

Invulling van bovenstaande gegevens levert:

$0,1 \times 704 \geq 7 \times 0,54 \rightarrow 70,4 \geq 3,78$  waarmee wordt voldaan aan de absolute toets.

Zekerheidshalve wordt aan beide zijden een kleikist met kwelscherm of een kwel reducerende maatregel toegepast volgens artikelen 8.1.2.3 en 8.1.7.2 van NEN 3651:2020. Daarnaast levert de boorvloeistof in de boorgang, ten gevolge van het hogere volumegewicht, weerstand tegen waterstroming via de boorgang. Om een kwelweg te voorkomen via de binnenzijde van de mantelbuizen, dienen deze te worden afgedicht.

### 5.2.3 Kwel van buitendijks naar binnendijks kruising Quarlespolderweg (HDDN21)

Ter plaatse van deze kruising zijn de polderpeilen aan weerszijden van de boringen gelijk. Hieruit wordt geconcludeerd dat er geen sprake is van kwel van buitendijks naar binnendijks. Het aanbrengen van een kleikist met kwelscherm of het toepassen van kwel reducerende maatregel volgens artikelen 8.1.2.3 en 8.1.7.2 van NEN 3651:2020 zijn daarom niet nodig.

### 5.2.4 Kwel van buitendijks naar binnendijks kruising Leidingen (HDDN16)

Ter plaatse van deze kruising zijn de polderpeilen aan weerszijden van de boringen gelijk. Hieruit wordt geconcludeerd dat er geen sprake is van kwel van buitendijks naar binnendijks. Het aanbrengen van een kleikist met kwelscherm of het toepassen van kwel reducerende maatregel volgens artikelen 8.1.2.3 en 8.1.7.2 van NEN 3651:2020 zijn daarom niet nodig.

### 5.2.5 Kwel van buitendijks naar binnendijks kruising Frankrijkweg (HDDN22)

Ten gevolge van een (grond)waterverschil ter plaatse van de in- en uitredepunten van de HDD kan kwel langs de leiding ontstaan. Volgens Bligh-Lane kan de kortste kwelweg als volgt worden berekend en gecontroleerd op interne erosie (piping):

$$\Sigma L_v + \Sigma \alpha \cdot L_h \geq Cl \cdot H \text{ (absolute toetsing)}$$

Waarin:

$Cl$  = Constante [-], behorend bij grondsoort volgens Lane;

$H$  = Peilverschil [m] tussen in- en uitredepunt;

$\Sigma L_v$  = Verticale component lekkage [m];

$\alpha$  = Weefactor [-] voor de weerstand in de boorgang;

$\Sigma L_h$  = Lengte [m] van de horizontale kwelweg.

De volgende variabelen worden gehanteerd:

$\Sigma L_v = 0$  (totaal van de verticale kwelwegen);

$\alpha$  = weefactor tussen 0 en 1/3 voor de weerstand in de boorgang. Voor de berekening houden we hier een minimale weerstand in de boorgang van  $\alpha = 0,1$  aan;

$\Sigma L_h = 250$  m (lengte boring);

$Cl = 7$  (fijn zand);

$H = 0,43$  m NAP (gemeten grondwaterstand MB06) – -1,30 m NAP (intredepunt) = 1,73 m.

Invulling van bovenstaande gegevens levert:

$0,1 \times 250 \geq 7 \times 1,73 \rightarrow 25 \geq 12,11$  waarmee wordt voldaan aan de absolute toets.

Zekerheidshalve wordt aan beide zijden een kleikist met kwelscherm of een kwel reducerende maatregel toegepast volgens artikelen 8.1.2.3 en 8.1.7.2 van NEN 3651:2020. Daarnaast levert de boorvloeistof in de boorgang, ten gevolge van het hogere volumegewicht, weerstand tegen waterstroming via de boorgang. Om een kwelweg te voorkomen via de binnenzijde van de mantelbuizen, dienen deze te worden afgedicht.

### **5.2.6 Kwel van buitendijks naar binnendijks kruising Station Liechtensteinweg (HDDN28)**

Ter plaatse van deze kruising zijn de polderpeilen aan weerszijden van de boringen gelijk. Hieruit wordt geconcludeerd dat er geen sprake is van kwel van buitendijks naar binnendijks. Het aanbrengen van een kleikist met kwelscherm of het toepassen van kwel reducerende maatregel volgens artikelen 8.1.2.3 en 8.1.7.2 van NEN 3651:2020 zijn daarom niet nodig.



## 6 Uitvoeringsaspecten

### 6.1 Boren bij verhoogd zoutgehalte in het (grond)water

Uit de interactieve kaarten van Waterschap Scheldstroom is er sprake van brak tot zout water. Voor uitvoering van de boring dient het zoutgehalte van het grond- en oppervlaktewater te worden bepaald. De kwaliteit van het toegepaste bentoniet dient te worden afgestemd op het zoute grondwater. Hierbij dient rekening te worden gehouden met de stabiliteit van het bentoniet tijdens de uitvoering en op de langere termijn.

### 6.2 Controle en registratie tijdens de uitvoering

Tijdens de uitvoering wordt steeds per boorstang-lengte de boorkop gecontroleerd en indien nodig bijgestuurd. In verband met de vereiste nauwkeurigheid, de hart-op-hart afstand (kruising Borssele), en de aard van de te kruisen objecten dienen de HDD's uitgevoerd te worden met gyro-steeringtool, (ProRail, eis 3.25 van RLN00427-2).

Voor de maximale afwijkingen zijn we uitgegaan van:

- In het boortracé +0,5 meter en -0,5 meter horizontaal en verticaal;
- Bij het uittredepunt +1 meter en -1 meter in de lengterichting van de boring.

De registratie van meetgegevens tijdens de uitvoering dient te geschieden volgens artikel 9.2 (keuring en inspectie) en 10.2 (revisietekening) van NEN 3651:2020. Daarnaast dient door de aannemer een monitoringsplan te worden opgesteld conform eisen van Rijkswaterstaat en ProRail. Na gereedkomen van de boring moeten de revisiegegevens worden verwerkt en aan de vergunningverleners en opdrachtgever worden aangeleverd.

### 6.3 Keuring en inspectie

Voor het intrekken van de mantelbuizen worden alle lassen van de mantelbuis gekeurd door een door de opdrachtgever goedgekeurde instantie en volgens de voorschriften beoordeeld. Alle inwendige lasrillen dienen te worden verwijderd.

Zowel vóór het intrekken van de mantelbuizen als na het intrekken (en voor ingebruikname) wordt de kruising op sterkte beproefd volgens artikel 9.7 van NEN 3651:2020. De sterktebeproevingdruk bedraagt 0,4 MPa, of volgens de eisen die TenneT aan de beproeving van de leidingen stelt, een en ander in overleg met TenneT.

### 6.4 Uitvoeringseisen

#### ***Uitvoeringseisen:***

Voor het uitvoeren van de boringen wordt verwezen naar de standaards van TenneT. Naast de uitvoeringseisen van TenneT dient de aannemer te voldoen aan uitvoeringseisen van NEN 3650/3651:2020, RLN00427-2 V001 (sleufloze techniek) van ProRail en Richtlijnen boortechnieken 2019 van Rijkswaterstaat.

In de voorfase is door ProRail aangegeven dat de aannemer de HDD-bundels dient in te trekken met een plastische blijvende en afsluitende boorvloeistof (bv. Drill Grout of gelijkwaardig). Eén en ander in overleg met ProRail.

Voor de materiaal- en uitvoeringseisen, aanvullingen en verdichtingen en overige civieltechnische werkzaamheden dient een bestek te worden opgesteld en de Standaard RAW bepalingen (Standaard 2020) van toepassing dient te worden verklaard.

#### ***Uitvoeringseisen (ondiepe <5,0 m) kruising watergangen:***

Ter plaatse van het uittredepunten van de kruising A58 en station Borssele zijn watergangen aanwezig. Tijdens het boorproces is sprake van een geringe dekking met de waterbodem (dekkingen tussen de 1,50 á 3,00 m). Om een blow-outs te voorkomen dient, voor de start van pilotboring van de horizontaal gestuurde boring, de watergang respectievelijk over 10 en 15 meter (ca. 5 meter aan weerszijde van het boortracé) te worden gedempt. Om de stroming te handhaven dient een duiker te worden aangebracht. De diameter van de duiker dient in overleg met het waterschap te worden bepaald.

## 7 Conclusie en advies

Geadviseerd wordt om de kruisingen met mantelbuizen uit te voeren in PE 100, SDR 11.

De horizontale bochtstralen kunnen niet in het rekenpakket Sigma worden ingevoerd. Hierdoor zijn de werkelijke optredende spanningen en trekkrachten tijdens het intrekken van de leidingen iets groter zijn dan berekend. Echter gezien de beperkte radiussen verwachten wij dat de werkelijke optredende spanningen ruim binnen de toelaatbare spanningen blijven. We adviseren de bovengrens van de onzekerheidsfactor van de trekkracht (normaal gesproken 2 à 3) toe te passen.

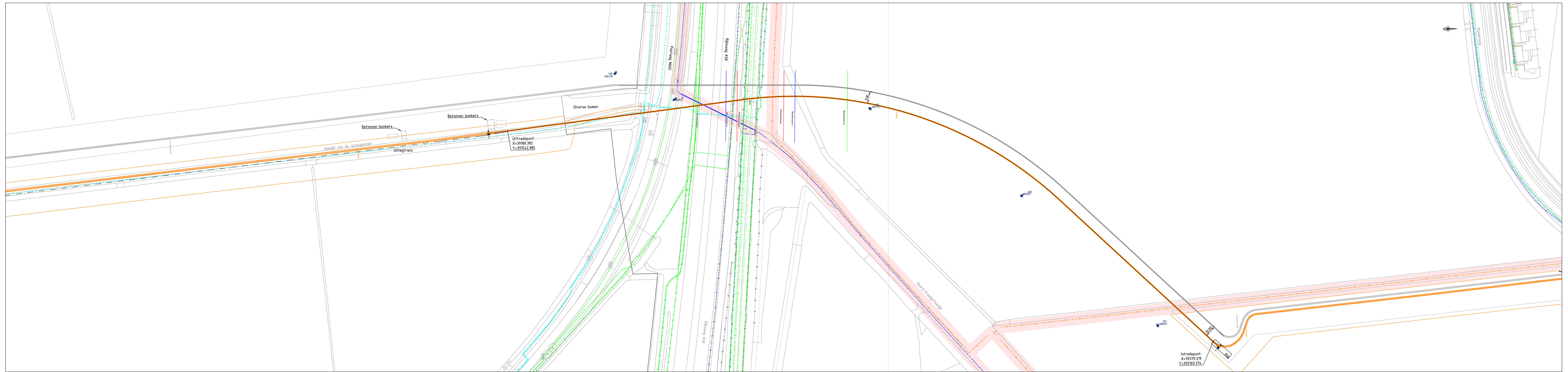
De mantelbuizen dienen voor de uitvoering te worden gevuld met schoon water. De kabels worden na het gereedkomen van de HDD-boring ingevoerd. Deze activiteit is niet nader beschouwd in deze rapportage. Na installatie van de kabels dienen de mantelbuizen te worden afgesloten om een kwelweg door de mantelbuizen te voorkomen.

De aannemer dient de HDD-bundel in te trekken met een plastische blijvende en afsluitende boorvloeistof (bv. Drill Grout of gelijkwaardig). Eén en ander in overleg met ProRail. Bij een aantal kruisingen dient aan beide zijden een kleikist met kwelscherm of een kwel reducerende maatregel worden toegepast. In overleg met Waterschap Scheldendestromen dient te worden gekeken of deze maatregel afdoende is om kwel te voorkomen of dat na intrekken van de leiding (volgens artikelen 8.1.2.3 en 8.1.7.2 van NEN 3651:2020) aan beide zijden een kleikist met kwelscherm dient te worden aangebracht. De uitkomsten hiervan moet te worden opgenomen in het werkplan van de aannemer.

Voor de backfill moeten de aanbevelingen uit het g-waarden onderzoek worden overgenomen, de verdichtingsgraad van de backfill dient hetzelfde te zijn als de omringende grondslag.

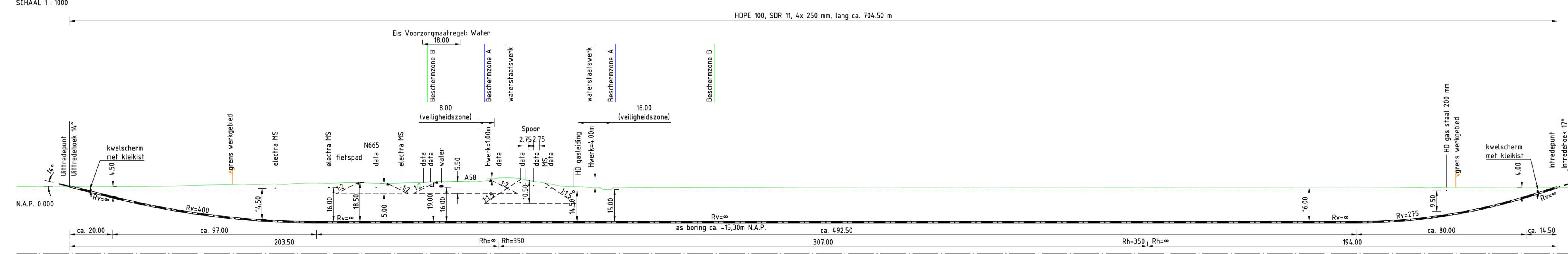
## Bijlagen

Bijlage A : Ontwerptekening HDDN12 – Kruising Rijksweg A58



Situatie

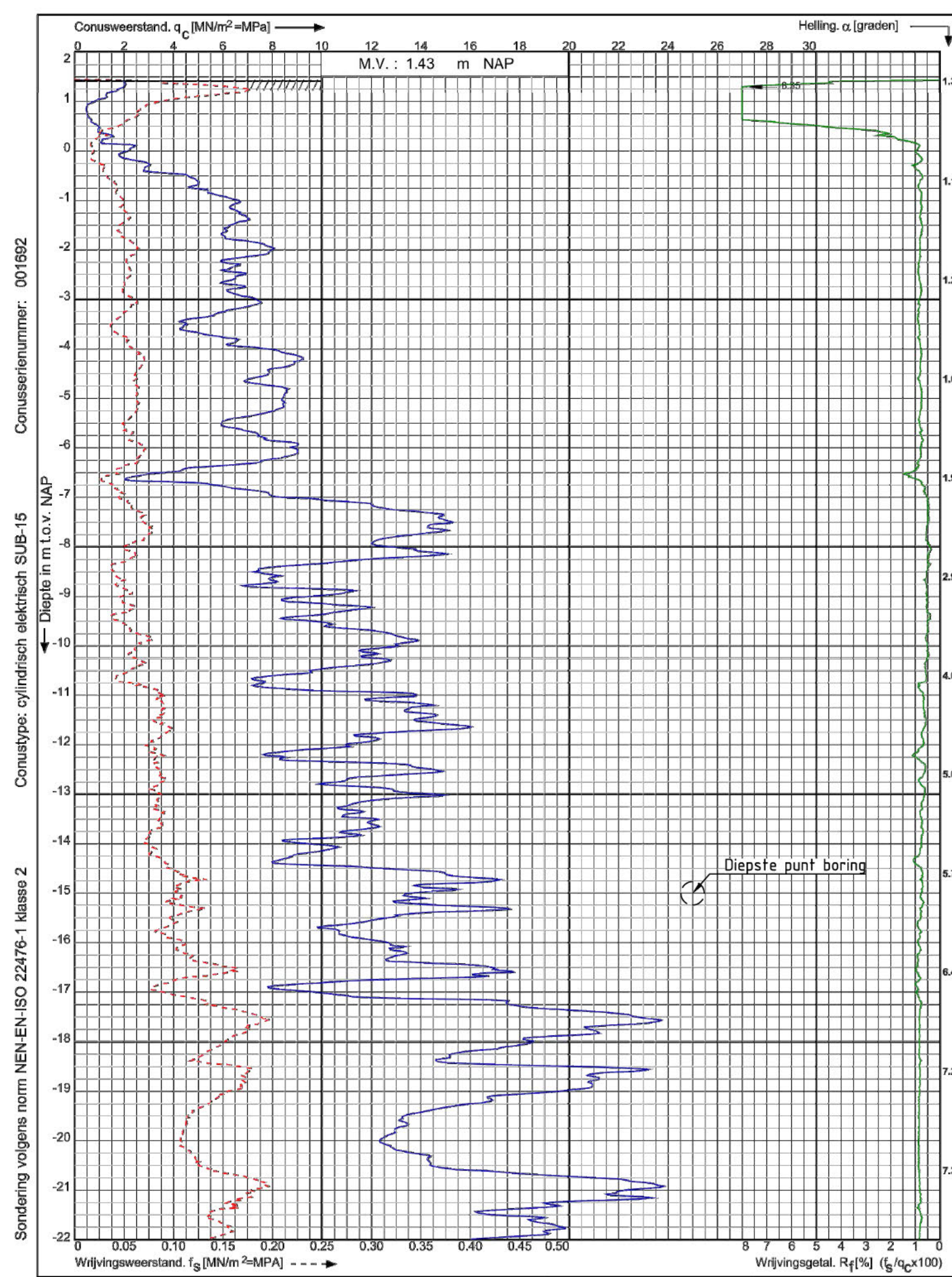
SCHAAL 1 : 5000



Lengte profiel boring Rijksweg A58 (12) DWP A-A'

SCHAAL 1 : 5000

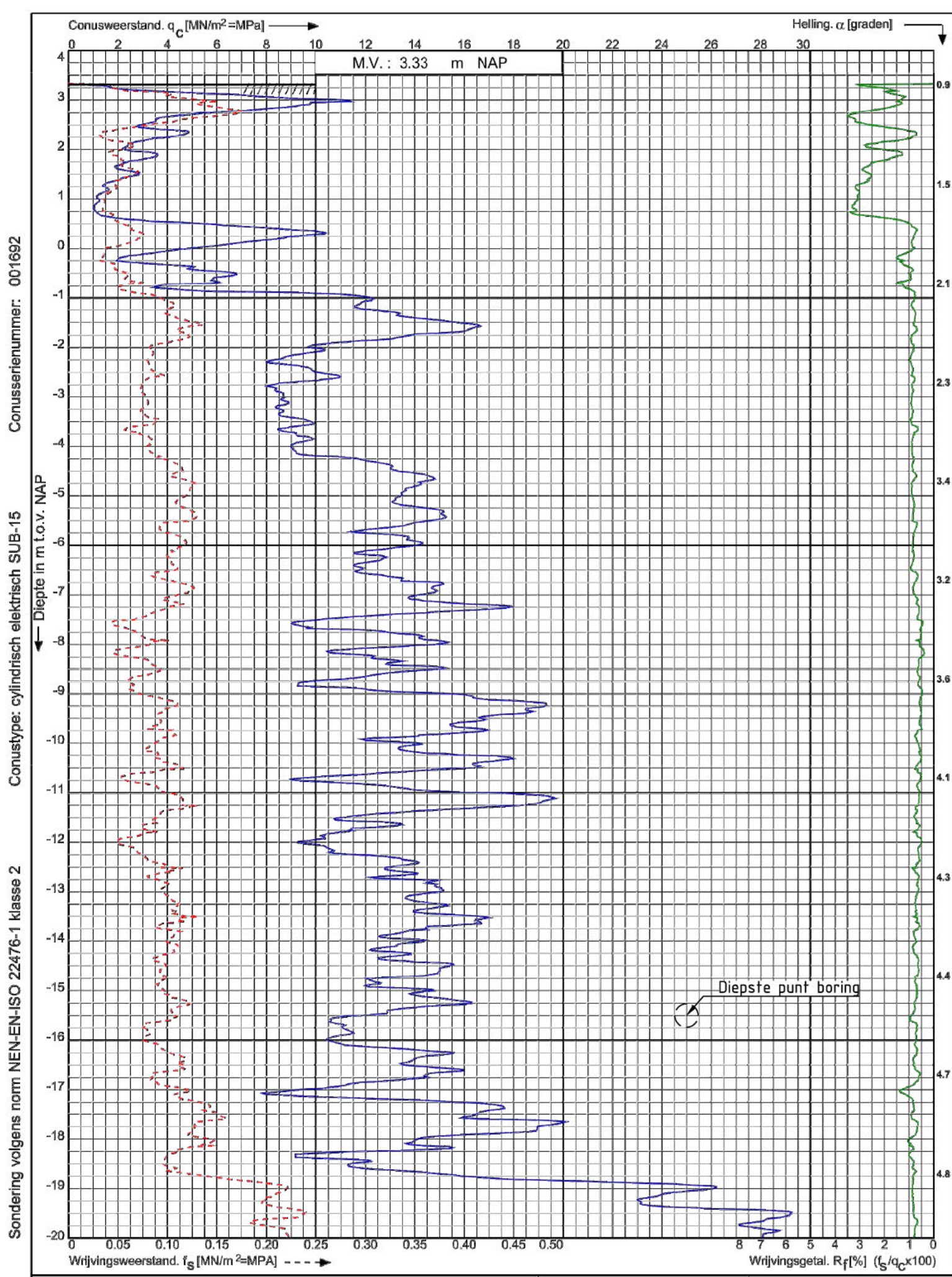
(Lengte profiel gegenereerd uit de AINW)



Tunnel kabeltracé Umuuden Ver Alpha te Umuuden

RD-coördinaten : X=39130.99 Y=391840.56

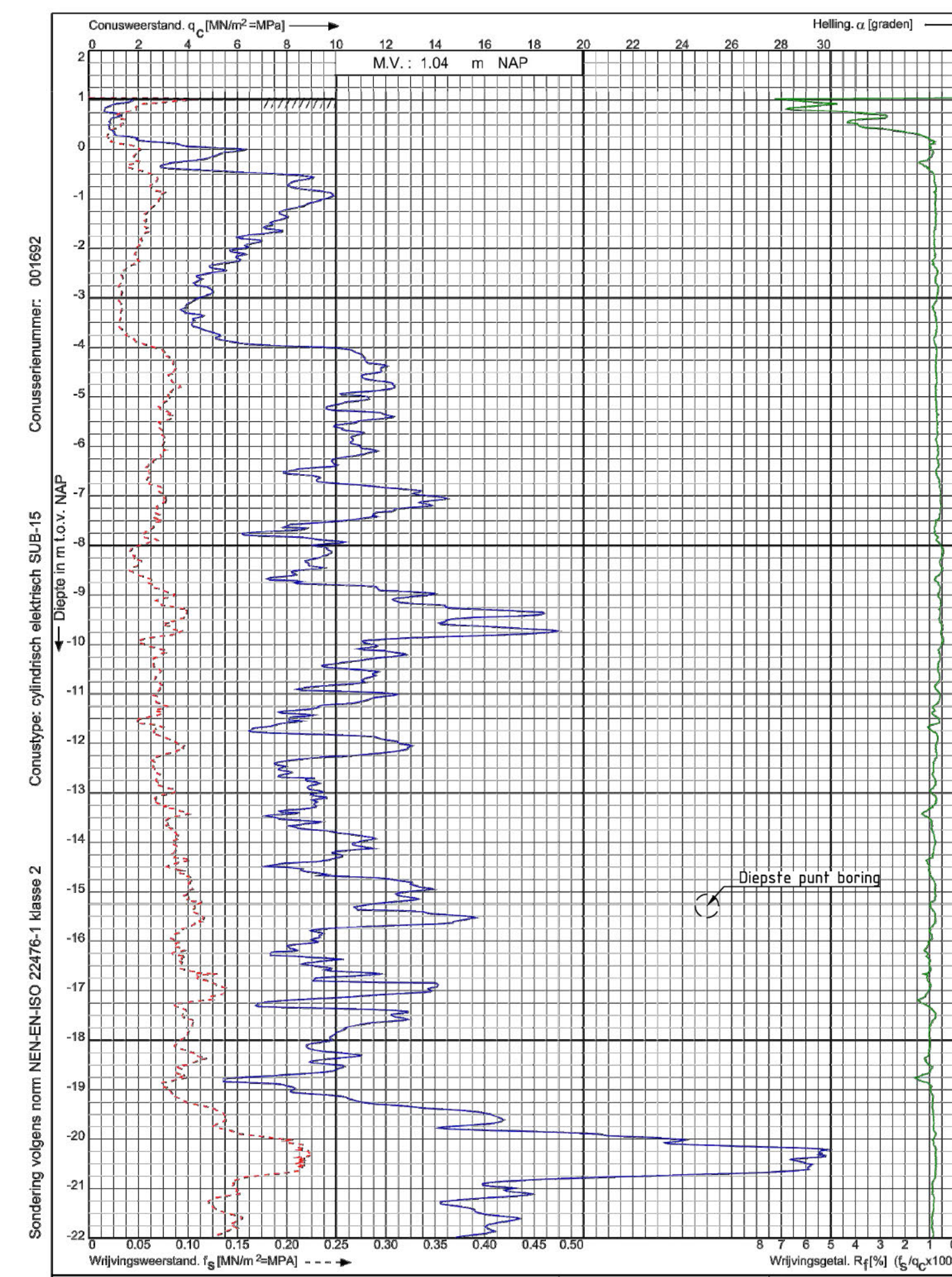
Opdr. nr. : 2020-1142  
Datum uitv. : 7-9-2021  
Sond. nr. : 108



Tunnel kabeltracé Umuuden Ver Alpha te Umuuden

RD-coördinaten : X=39165.47 Y=391693.48

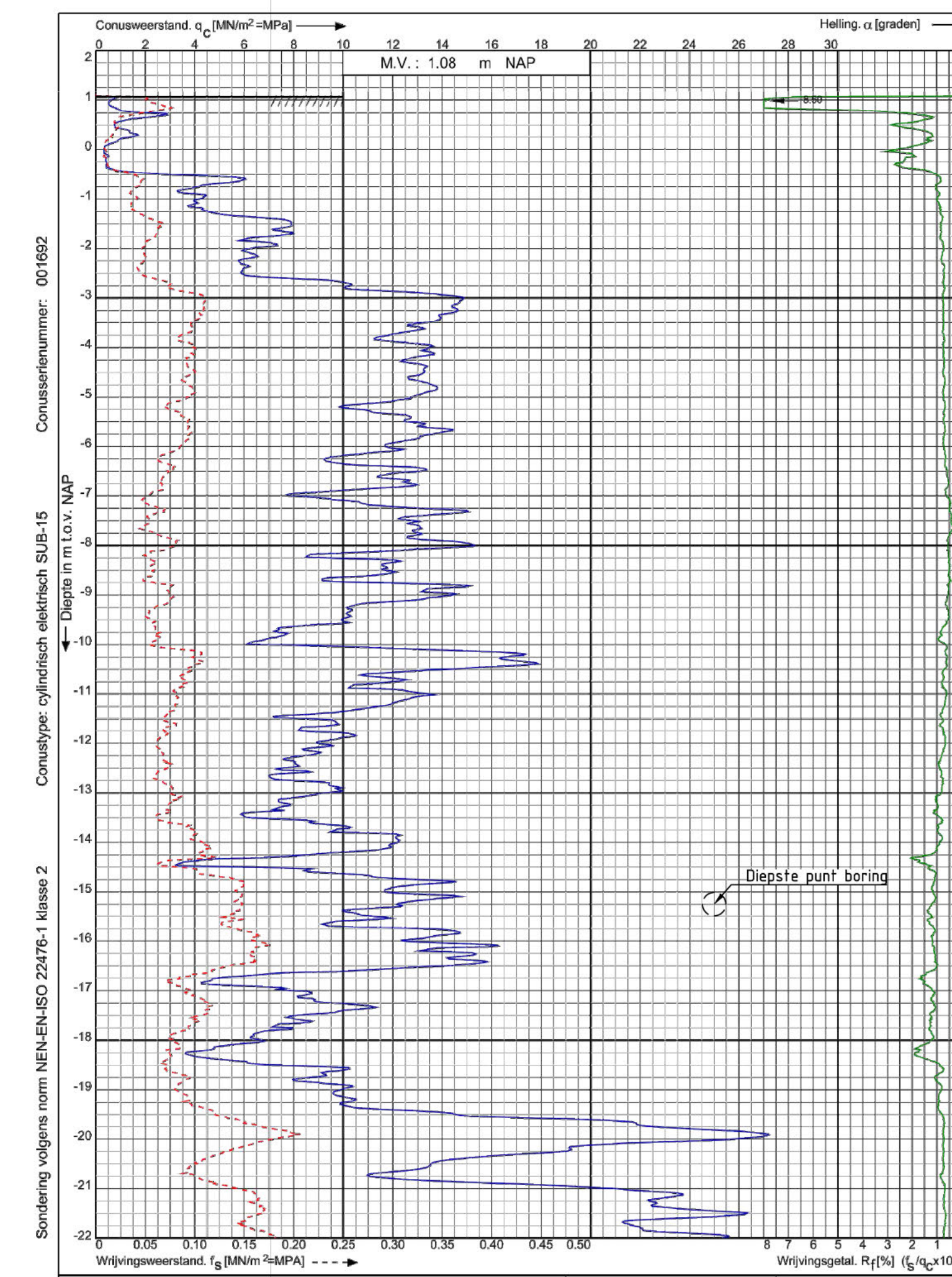
Opdr. nr. : 2020-1142  
Datum uitv. : 7-9-2021  
Sond. nr. : 131



Tunnel kabeltracé Umuuden Ver Alpha te Umuuden

RD-coördinaten : X=39166.78 Y=391896.25

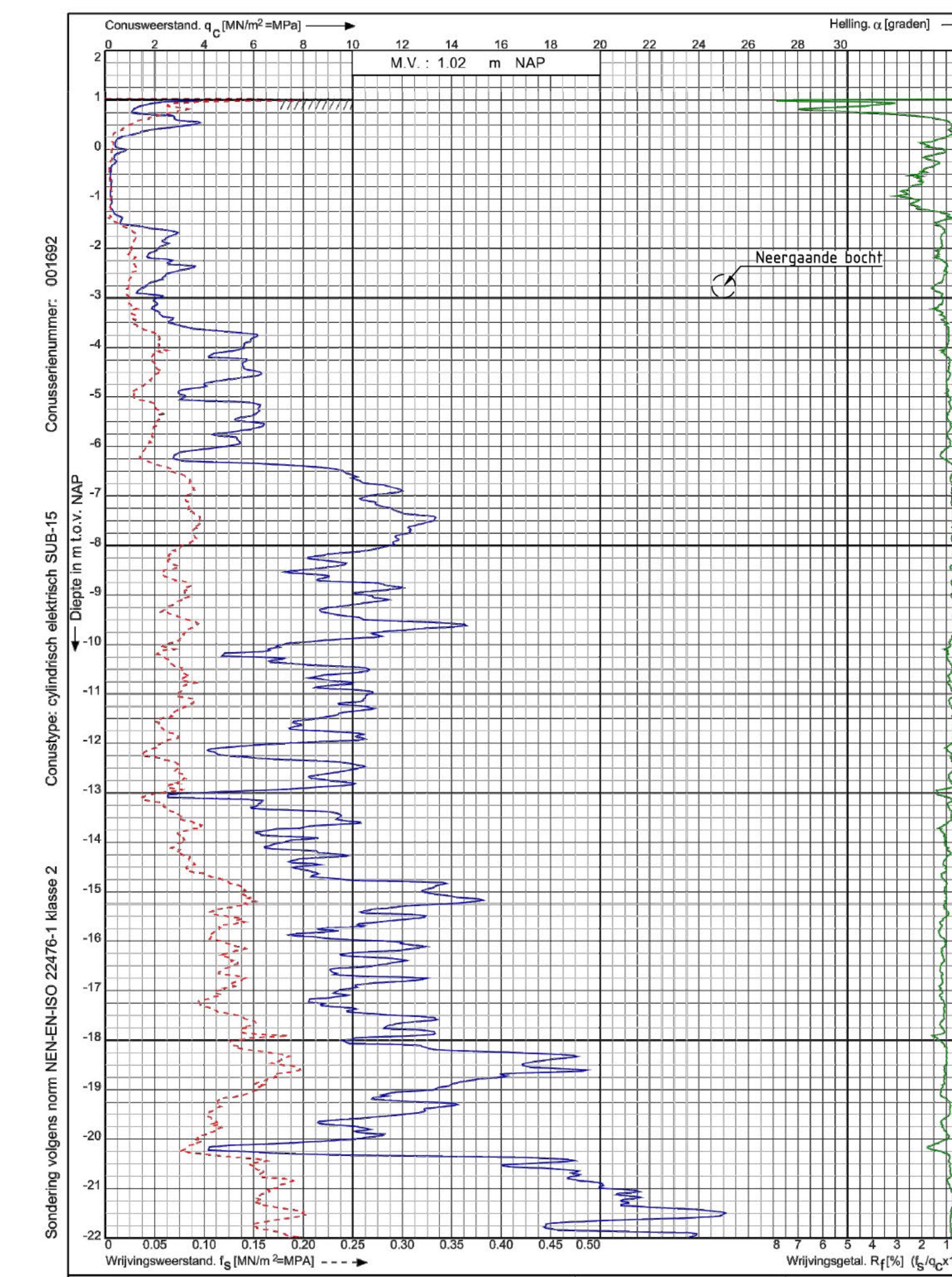
Opdr. nr. : 2020-1142  
Datum uitv. : 6-9-2021  
Sond. nr. : 107



Tunnel kabeltracé Umuuden Ver Alpha te Umuuden

RD-coördinaten : X=39246.98 Y=392201.31

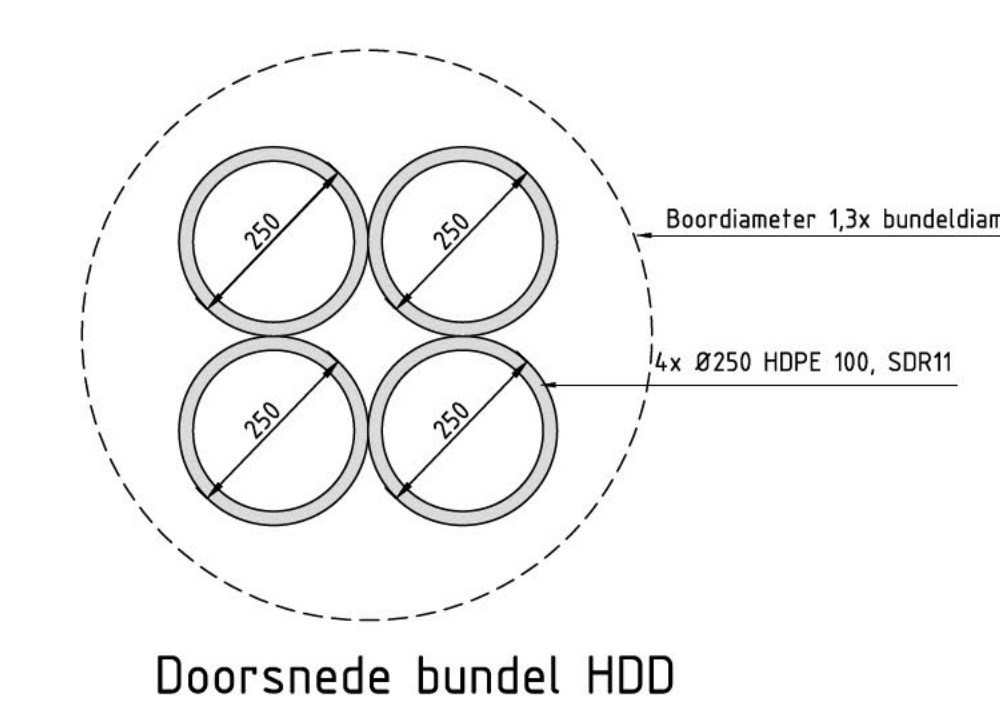
Opdr. nr. : 2020-1142  
Datum uitv. : 6-9-2021  
Sond. nr. : 202



Tunnel kabeltracé Umuuden Ver Alpha te Umuuden

RD-coördinaten : X=39354.73 Y=392119.88

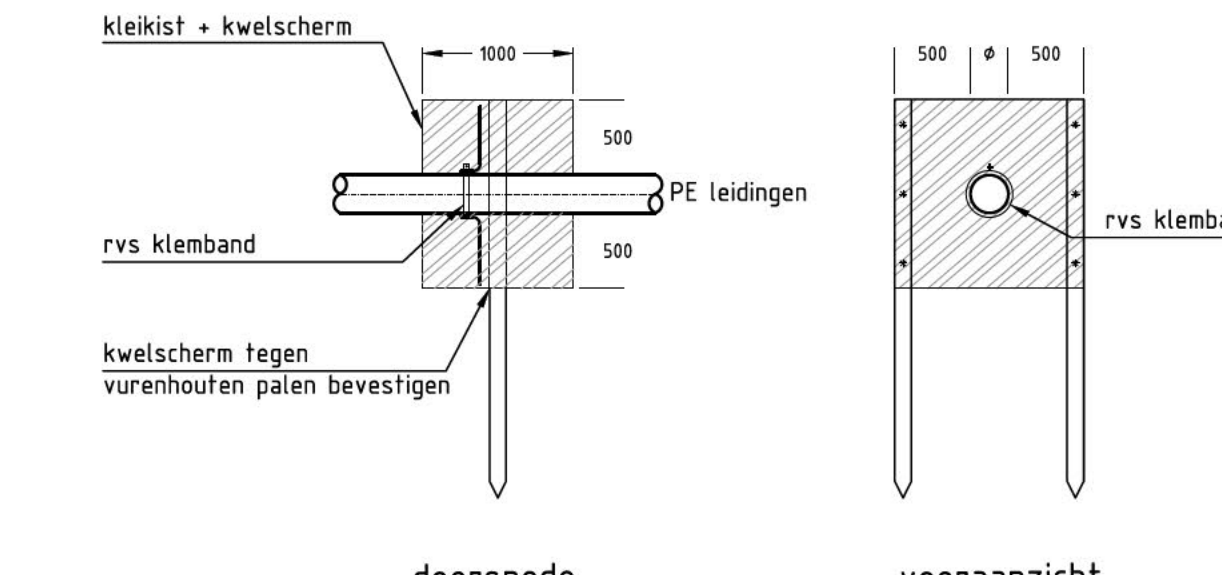
Opdr. nr. : 2020-1142  
Datum uitv. : 6-9-2021  
Sond. nr. : 201



Doorsnede bundel HDD

SCHAAL 1 : 10

in mB



Principe detail

SCHAAL 1 : 10

in mB

- Legenda bestaende K&L
- Elektra HS
  - Elektra LS
  - Gasleiding
  - Kwetscherm
  - Grondwater
  - Sondboring
  - Grans verpakt
- KLIC melding nr(s): 20011918

- Opmerkingen:
- Bestaende kabels en leidingen zijn ingetekend aan de hand van KLIC melding(en)
  - Exacte locatie van de bestaende kabels en leidingen tijdens uitvoering bepalen door middel van proefleuven

Opmerkingen:

Alle maten in m, tenzij anders vermeld. Alle hoogten in m, ten opzichte van N.A.P.

6	02-12-2022	BO	RHW	Uittragede punt 20 meter ingekort, Definitief
5	07-10-2022	BO	RHW	Deel gewijzigd - Metingen toegevoegd - Grans voor versterking toegevoegd
4	02-09-2022	RHW	JH	HDS nummer toegevoegd
3	05-08-2022	RHW	JH	Tracé gewijzigd
2	28-07-2022	BO	RHW	Rekeningnummer gewijzigd
1	23-06-2022	BO	JH	Concept

Rev. Datum Oet. Dez. WIZGONS

tennet  
looking power further

DIPRACHTGEVER: tennet

ONTWERPER: tennet

PROJEKT: Net op Zee Nederwiek 1

OPDRACHT: Vergunningstekening Horizontaal gestuurde boring kruising A58 (12)

TEKENING NR.: HDDN12

TTB-07963

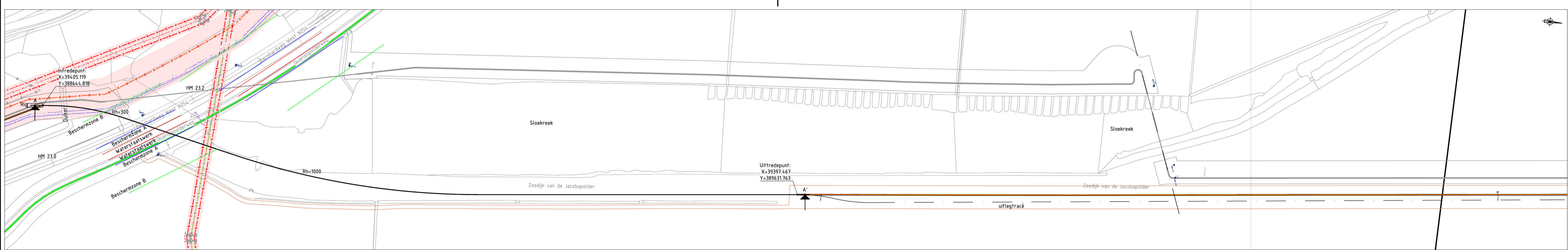
ARCADIS

Project: Net op Zee Nederwiek 1

Tekening: HDDN12

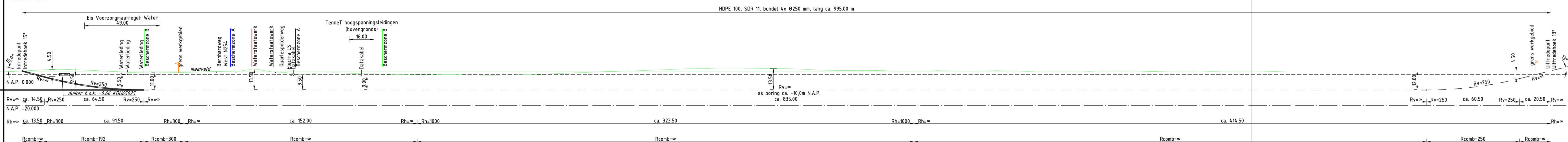
Titel: Vergunningstekening Horizontaal gestuurde boring kruising A58 (12)

Bijlage B : Ontwerptekening HDDN21 – Kruising Quarlespolderweg



Overzicht

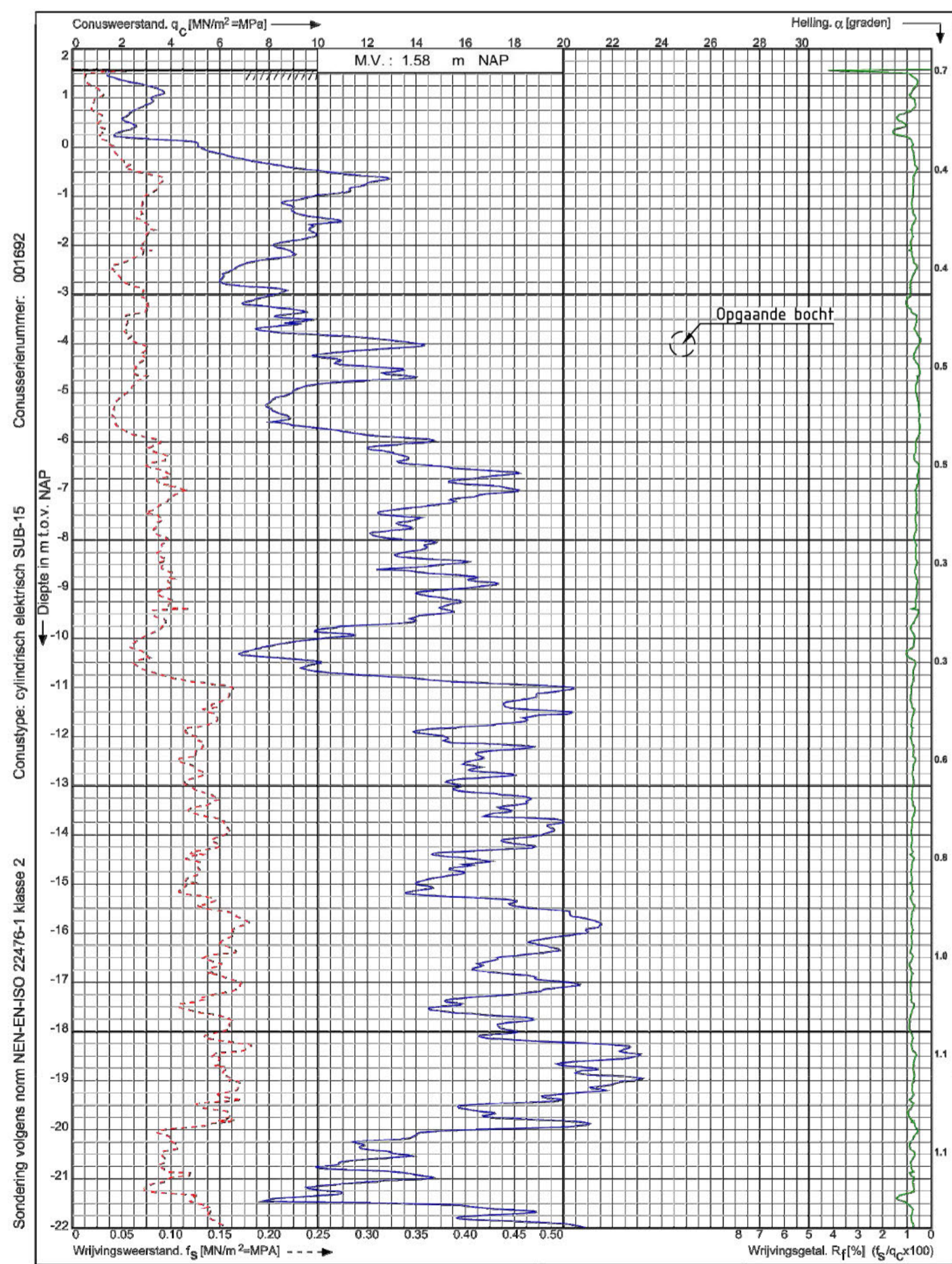
SCHAAL 1 : 2000



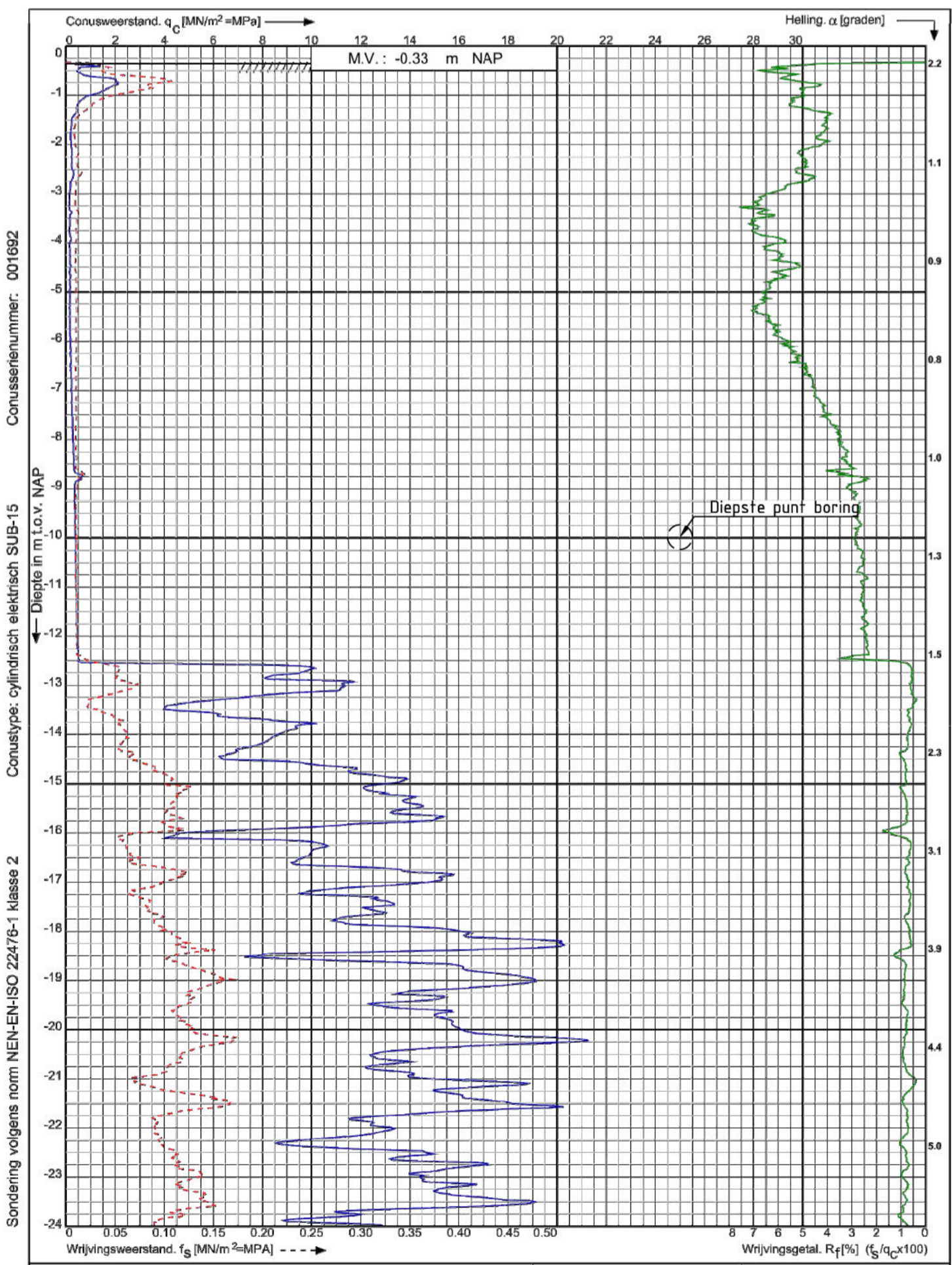
Lengte profiel boring Quarlespolderweg en Bernhardweg West- HDDN21 - DWP A-A'

SCHAAL 1 : 1000

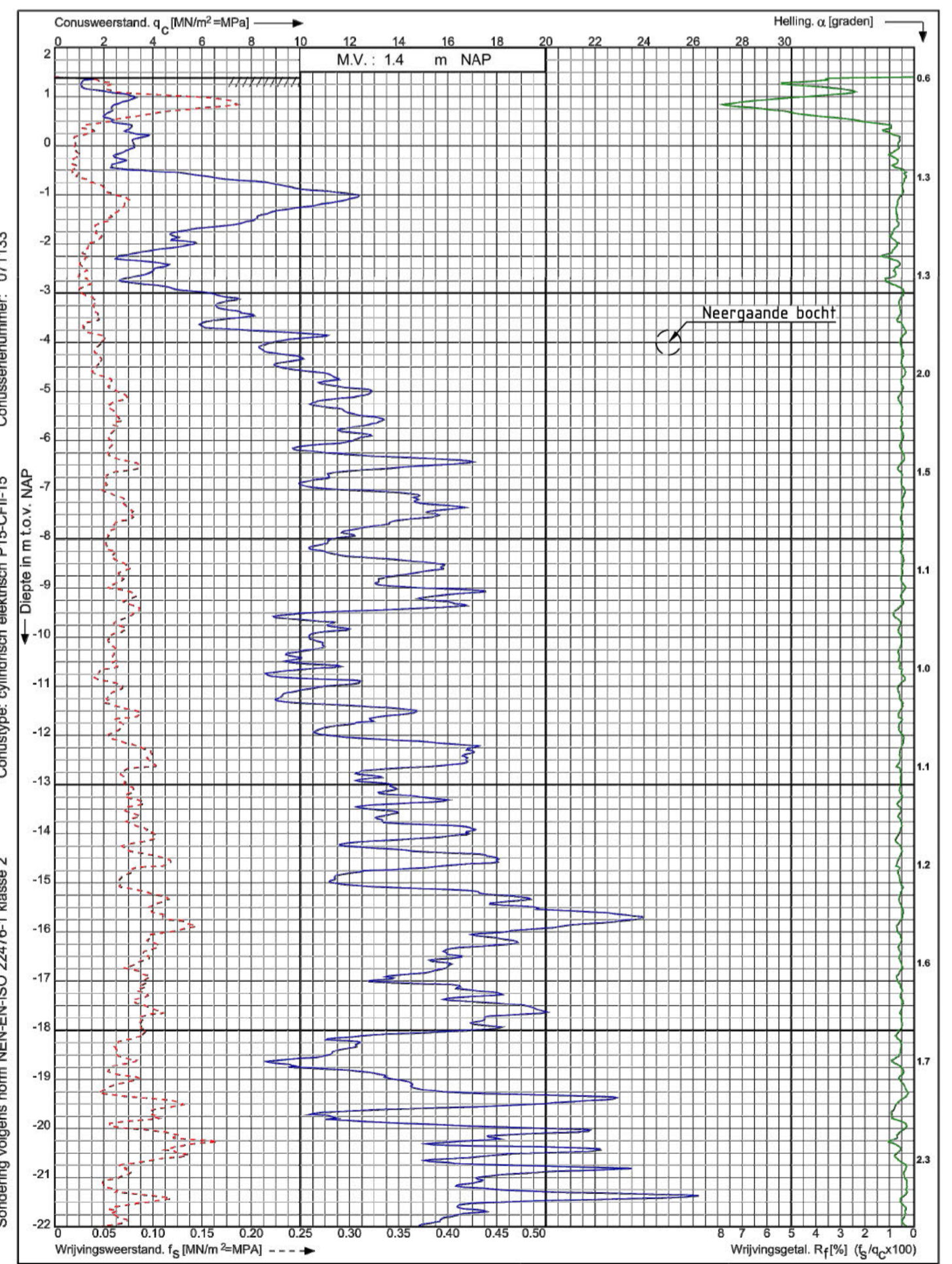
(Lengte profiel gegeneerd uit de AHN3)



Tennet kabeltracé IJmuiden Ver Alpha te IJmuiden  
 RD-coördinaten: X = 39402.14 Y = 388774.74  
 Opdr. nr. : 2020-1142  
 Datum uitv.: 1-9-2021  
 Sond. nr. : 4  
 Koops grondmechanica



Tennet kabeltracé IJmuiden Ver Alpha te IJmuiden  
 RD-coördinaten: X = 39303.54 Y = 389033.43  
 Opdr. nr. : 2020-1142  
 Datum uitv.: 17-9-2021  
 Sond. nr. : 113  
 Koops grondmechanica



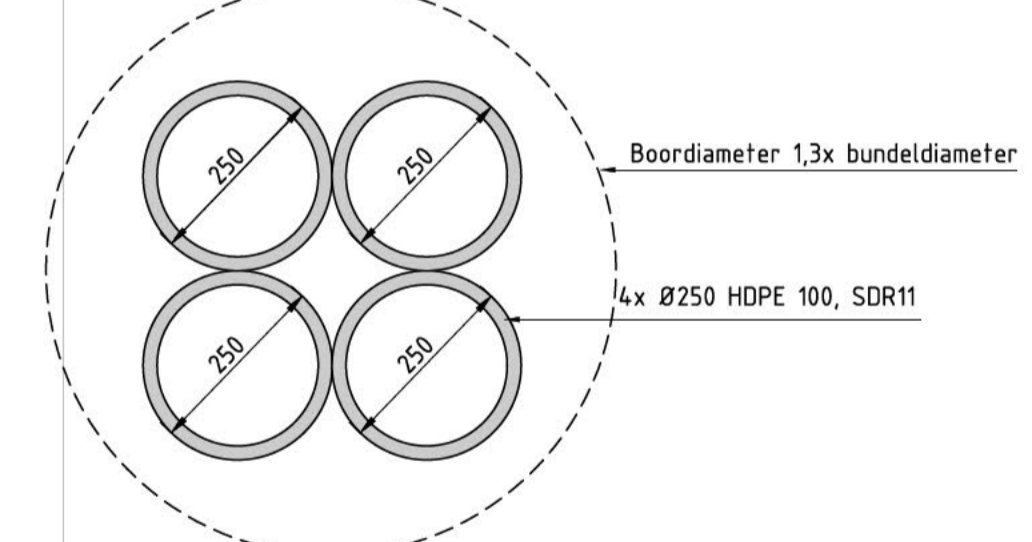
Tennet kabeltracé IJmuiden Ver Alpha te IJmuiden  
 RD-coördinaten: X = 39454.86 Y = 388803.48  
 Opdr. nr. : 2020-1142  
 Datum uitv.: 28-6-2021  
 Sond. nr. : 114  
 Koops grondmechanica

**Legenda bestaande K&L**

- Electra LS
- Electra HS
- HD gasleiding
- Gasleiding
- Waterleiding
- Sandering
- Grondboring
- Grens werkgebied

KLIC melding nr(s): 170008747

- Opmerkingen:**
- Bestaande kabels en leidingen zijn ingetekend aan de hand van KLIC melding(en)
  - Exacte locatie van de bestaande kabels en leidingen tijdens uitvoering bepalen door middel van proefsleuven



Doorsnede bundel HDD  
 SCHAAL 1 : 10  
 in mm

**Opmerkingen:**  
 Alle maten in m, tenzij anders vermeld  
 Alle hoogmaten in m, ten opzichte van N.A.P.

Rev.	Datum	BD	RHW	Concept
1	28-11-2022	BD	RHW	Concept

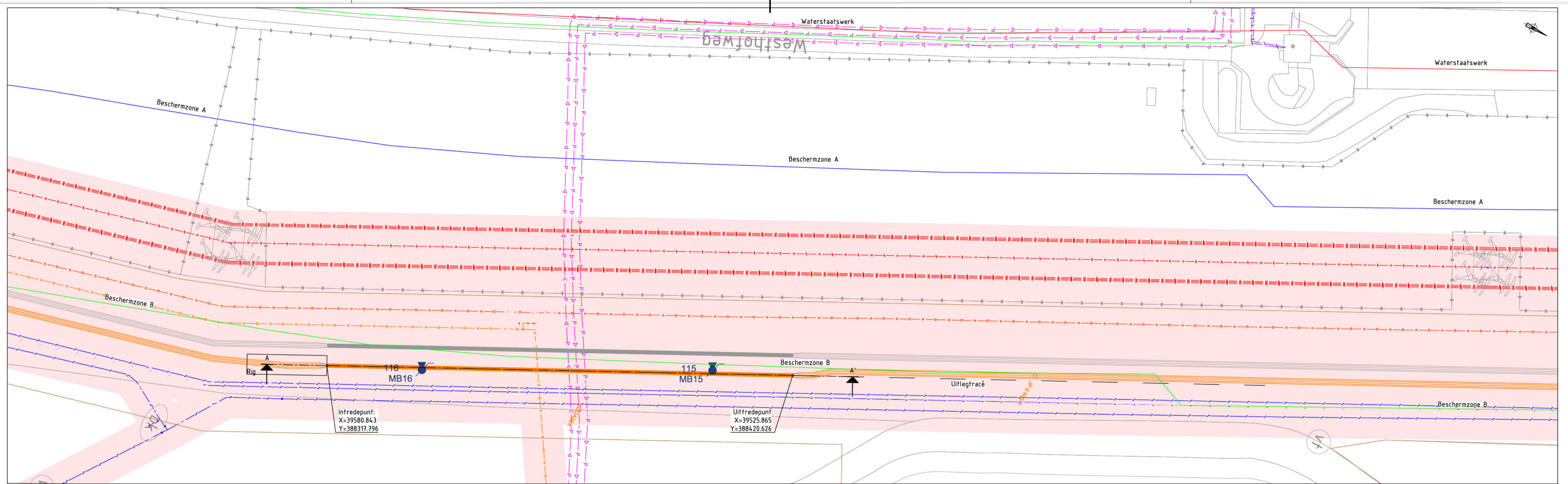
OPDRACHTGEVER: Tennet  
 ONTWERP: Tennet  
 PROJANR.:  
 PROJECT: Net op Zee Nederwiek 1  
 ONDERWERP: Vergunningstekening gestuurde boring Quarlespolderweg en Bernhardweg West

ARCADIS  
 Design & Consultancy for natural and built assets

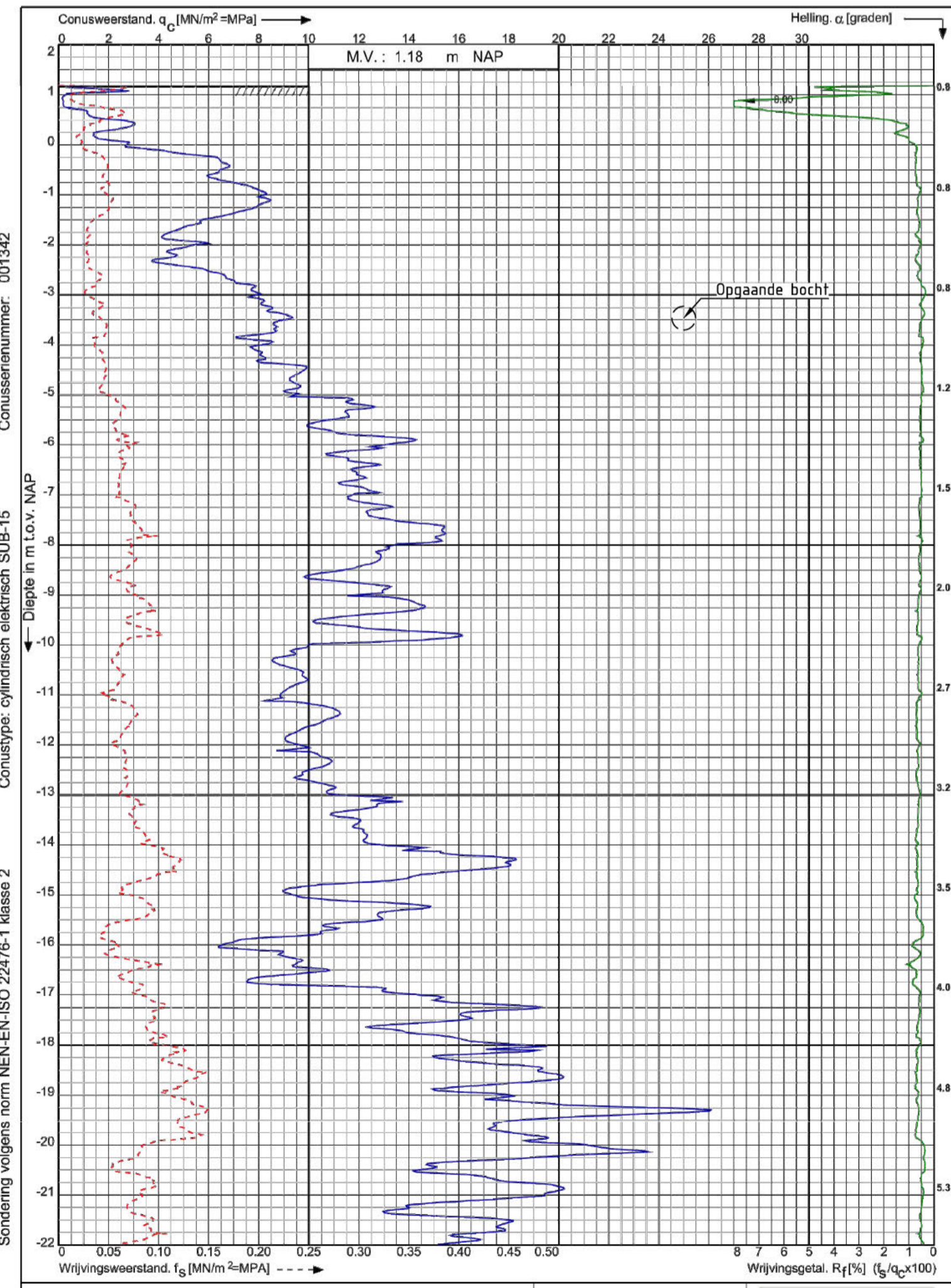
HDDN21  
 TEKENING NR.: TTB-07848

Bijlage C : Ontwerptekening HDDN16 – Kruising Leidingen





Situatie  
SCHAAL 1 : 500



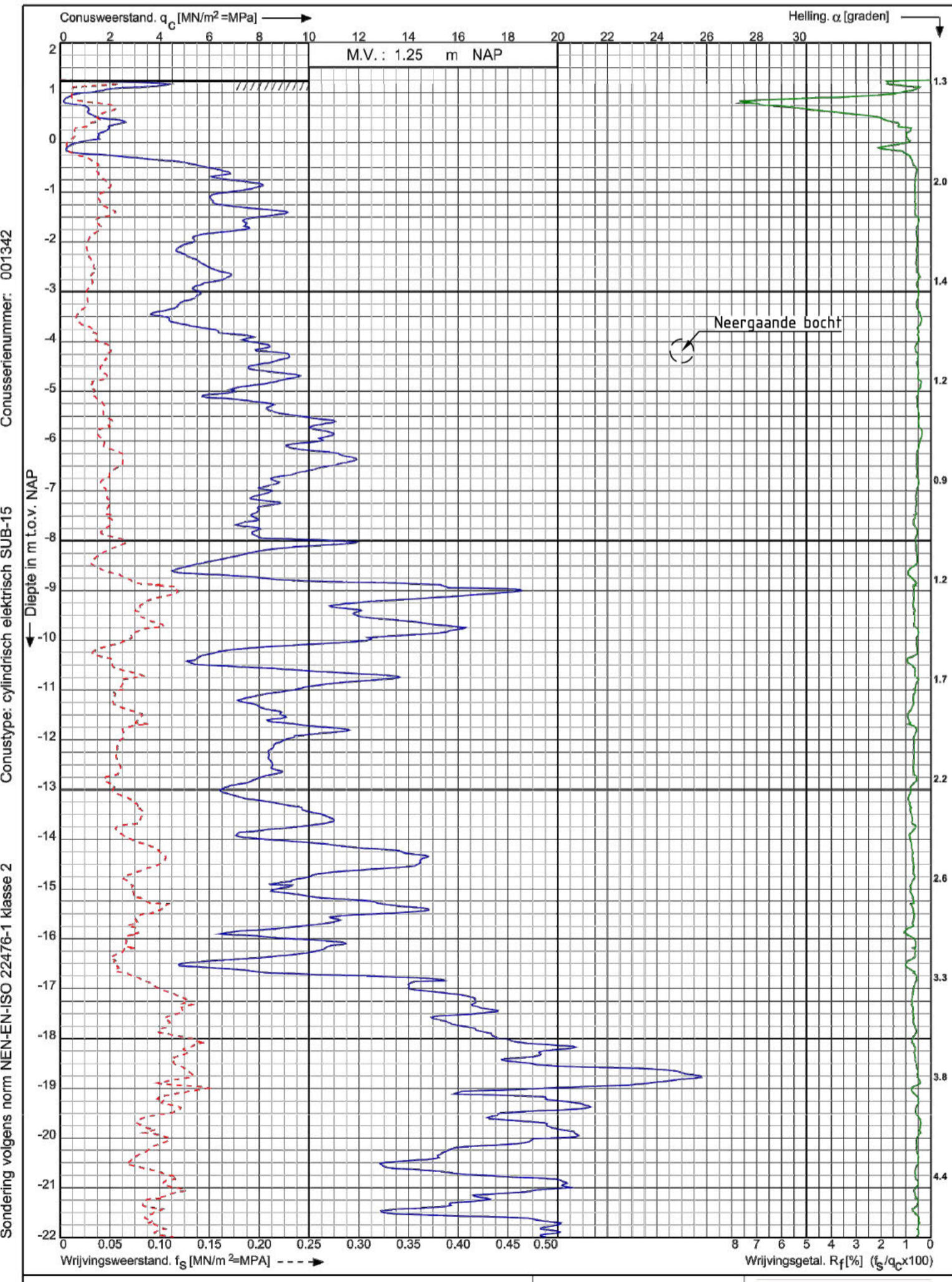
Tennet kabeltracé IJmuiden Ver Alpha te IJmuiden

Opdr. nr.: 2020-1142

Datum uitg.: 10-2-2021

Sond. nr.: 115

Koops grondmechanica



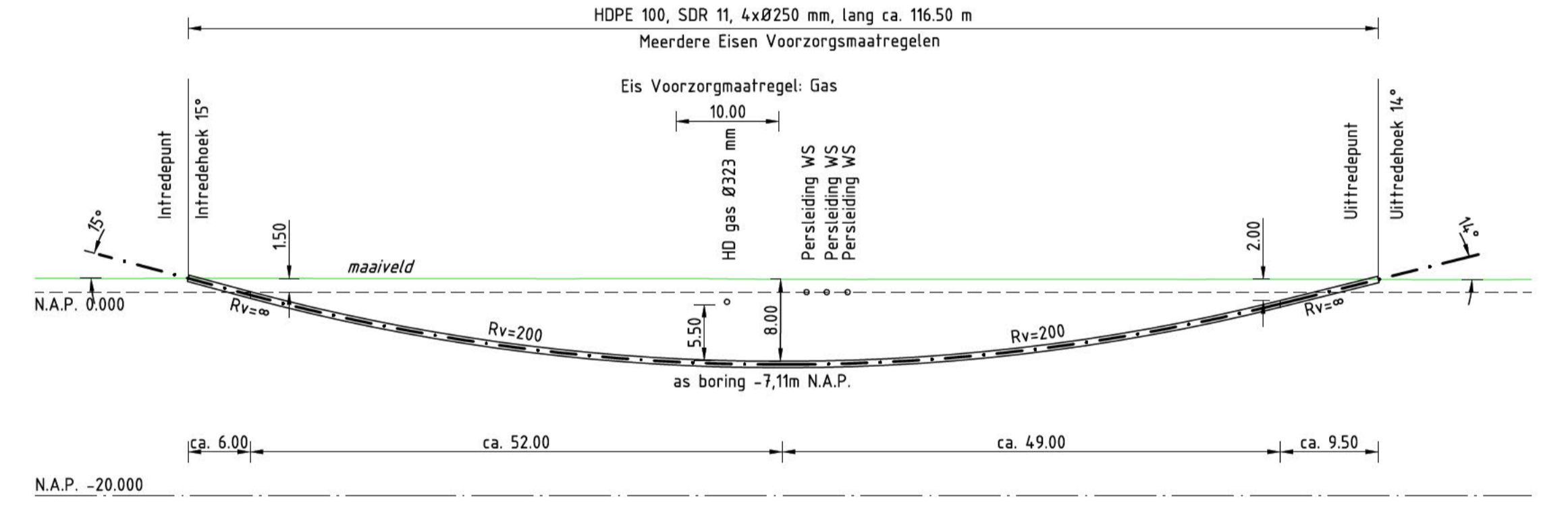
Tennet kabeltracé IJmuiden Ver Alpha te IJmuiden

Opdr. nr.: 2020-1142

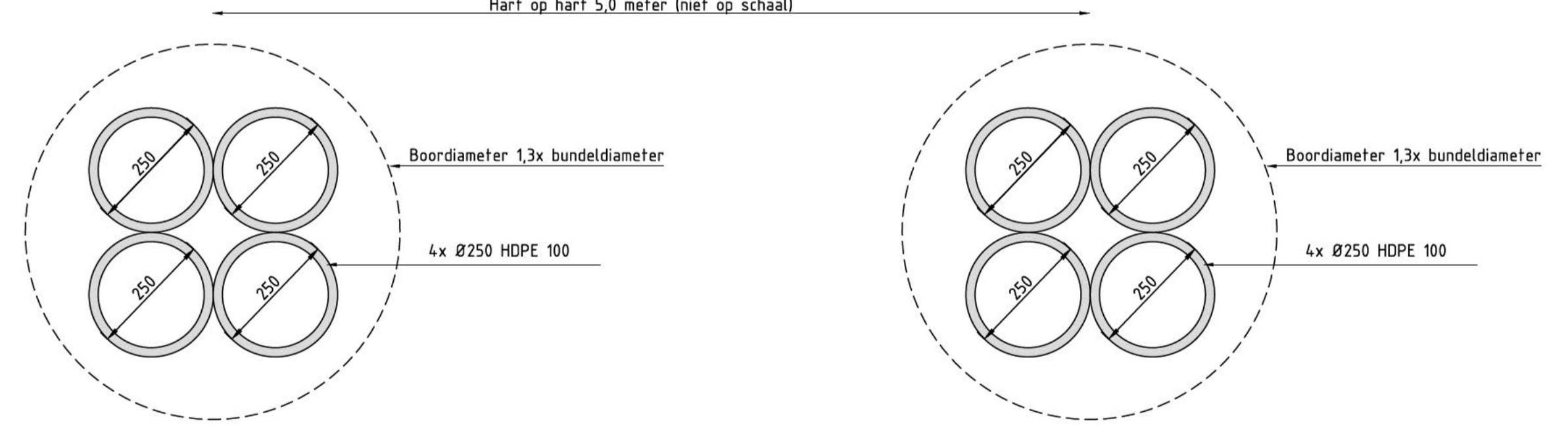
Datum uitg.: 10-2-2021

Sond. nr.: 116

Koops grondmechanica



Lengte profiel boring HDD onder leidingen (N16) DWP A-A'  
SCHAAL 1 : 500  
(Lengte profiel gegeneerd uit de AHN3)



Doorsnede bundel HDD  
SCHAAL 1 : 10  
in mm

- Legenda bestaande K&L
- Datakabel
  - Electra LS
  - Electra HS
  - HD gasleiding
  - Waterleiding
  - Druk McCain Foods
  - Sondering
  - Grondboring
- KLIC melding nr(s): 20011922

- Opmerkingen:
- Bestaande kabels en leidingen zijn ingetekend aan de hand van KLIC melding(en)
  - Exacte locatie van de bestaande kabels en leidingen tijdens uitvoering bepalen door middel van proefsleuven

Opmerkingen:

Alle maten in m, tenzij anders vermeld.

Alle hoogtematen in m, ten opzichte van N.A.P.

3	15-12-2022	BD	RMW	Beschermzones waterkering toegevoegd
2	29-11-2022	BD	RMW	Definitief, Localiecode gewijzigd (was HDDN22A)
1	07-11-2022	BD	RMW	Concept

Rev. Datum Get. Gez. WIJZIGING

OPDRACHTGEVER: Tennet

ONTWERP: Tennet

PROJ.NR.: SCHAAL: zie tek.

PROJECT: Net op Zee Nedenwiek 1

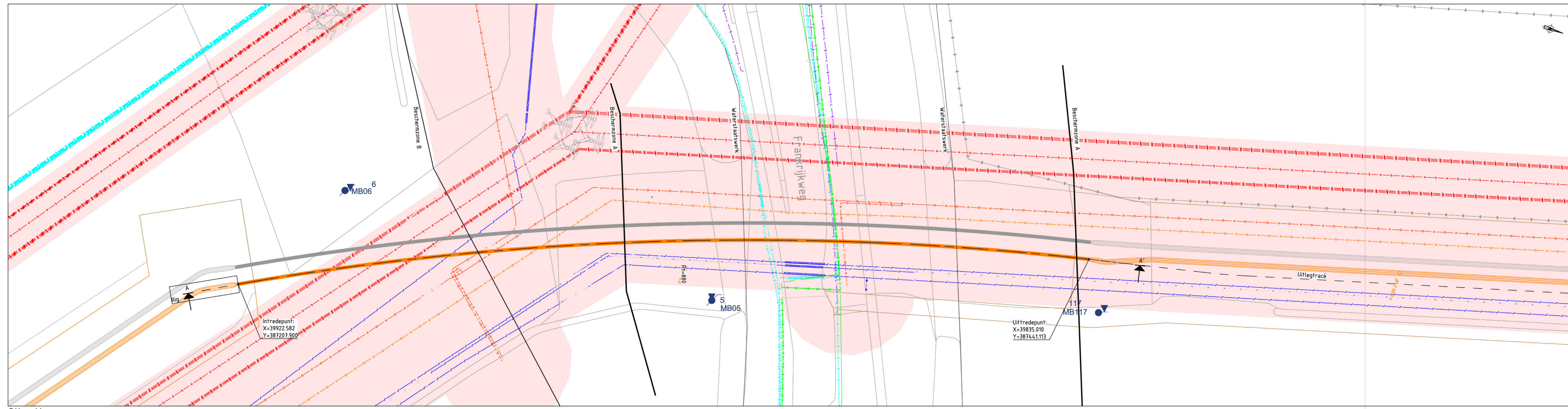
ONDERWERP: Vergunningstekening Horizontaal gestuurde boring kruising leidingen (16)

ARCADIS

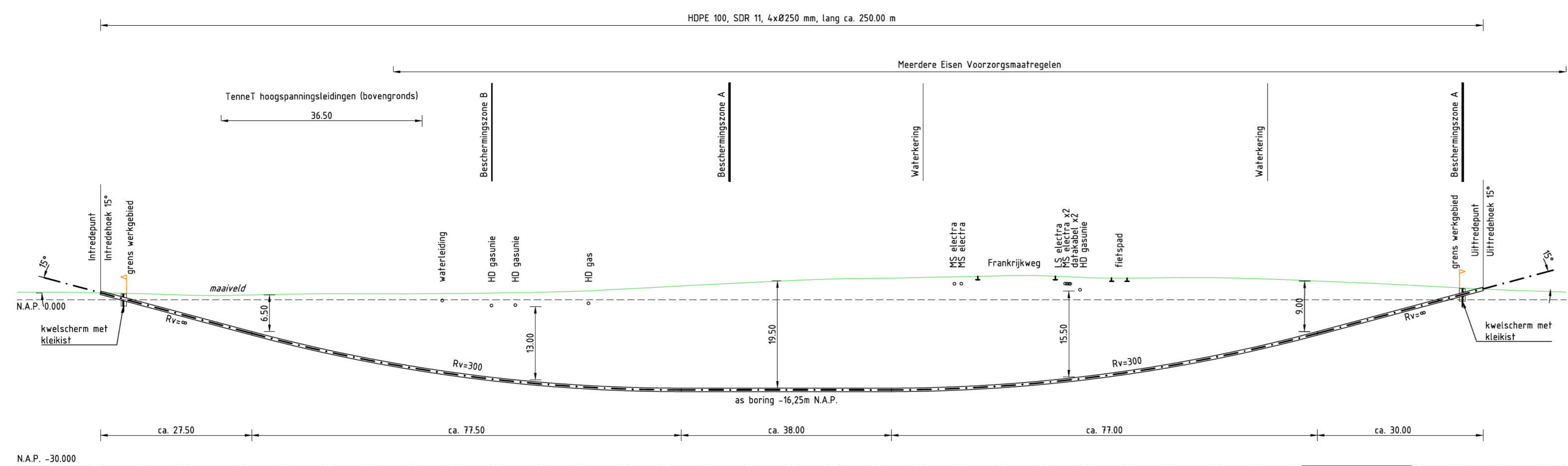
HDDN16

TEKENING NR.: TTB-07869

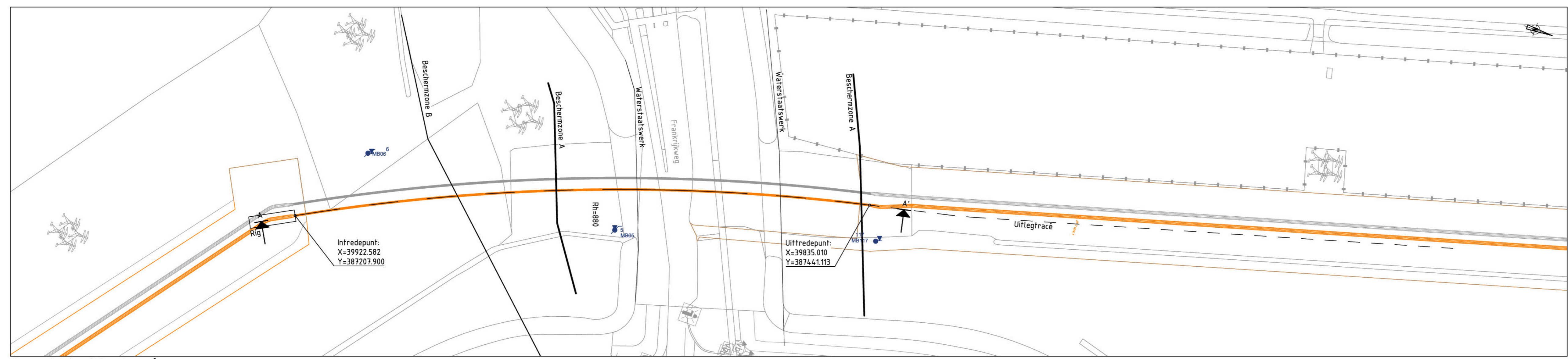
Bijlage D : Ontwerptekening HDDN22 – Kruising Frankrijkweg



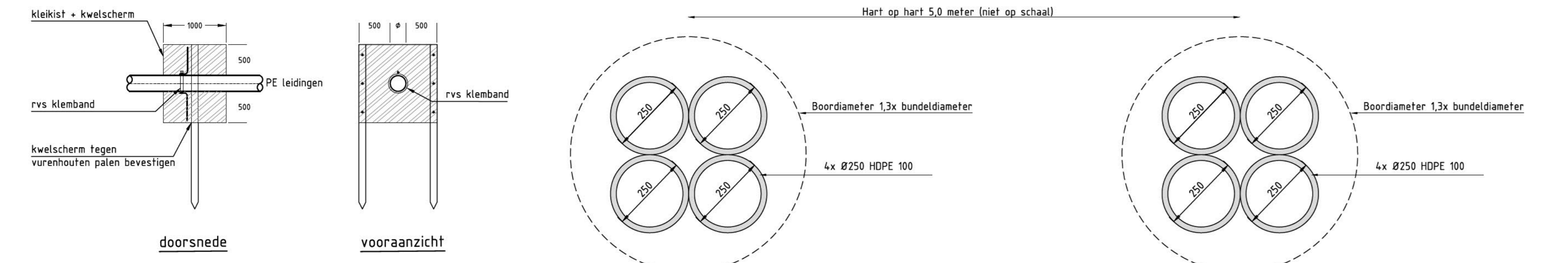
Situatie  
SCHAAL 1 : 500



Lengte profiel boring Frankrijkweg (N22) DWP A-A'  
SCHAAL 1 : 500  
(Lengte profiel gegenereerd uit de AHN3)

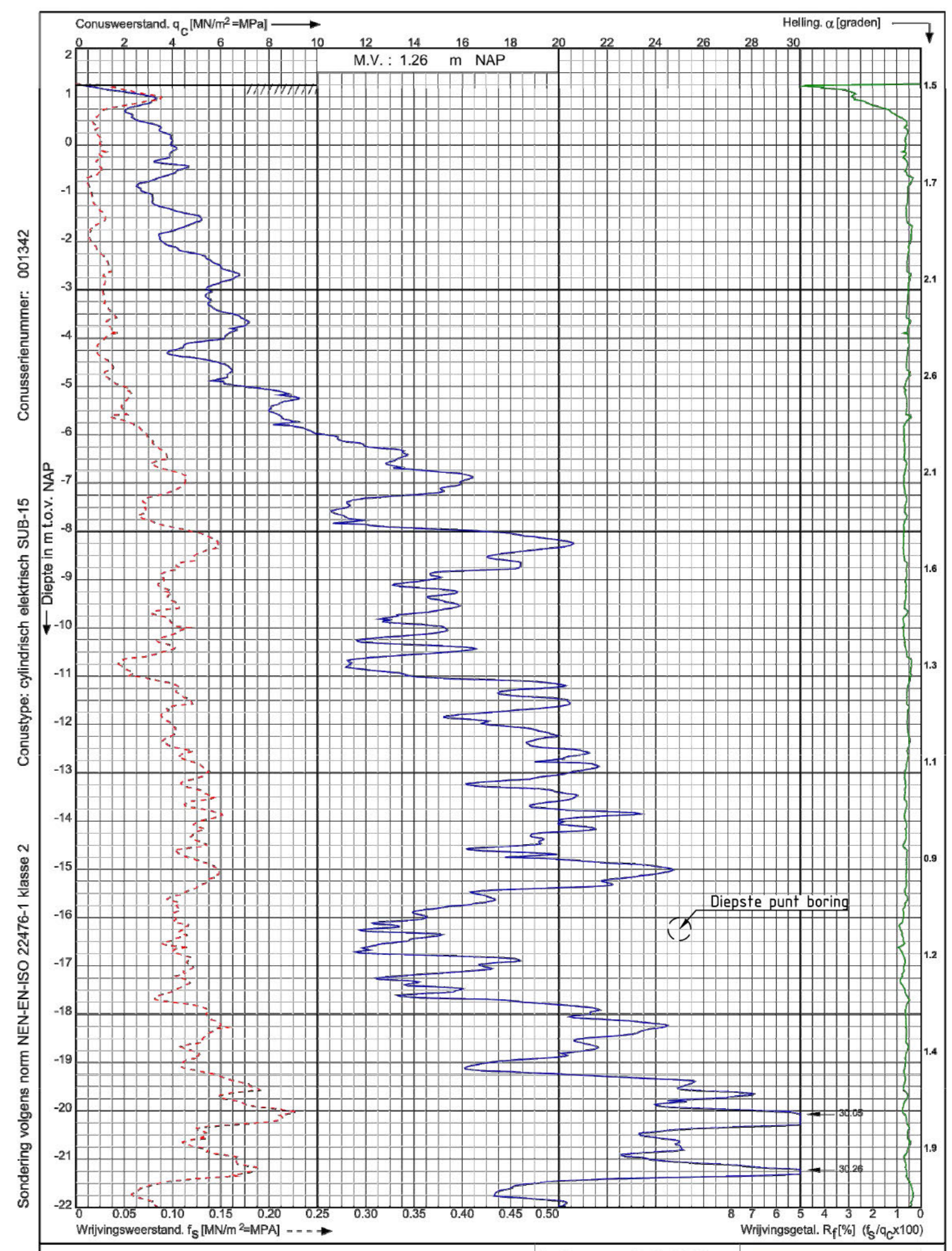


Overzicht uitlegtracé  
SCHAAL 1 : 1000

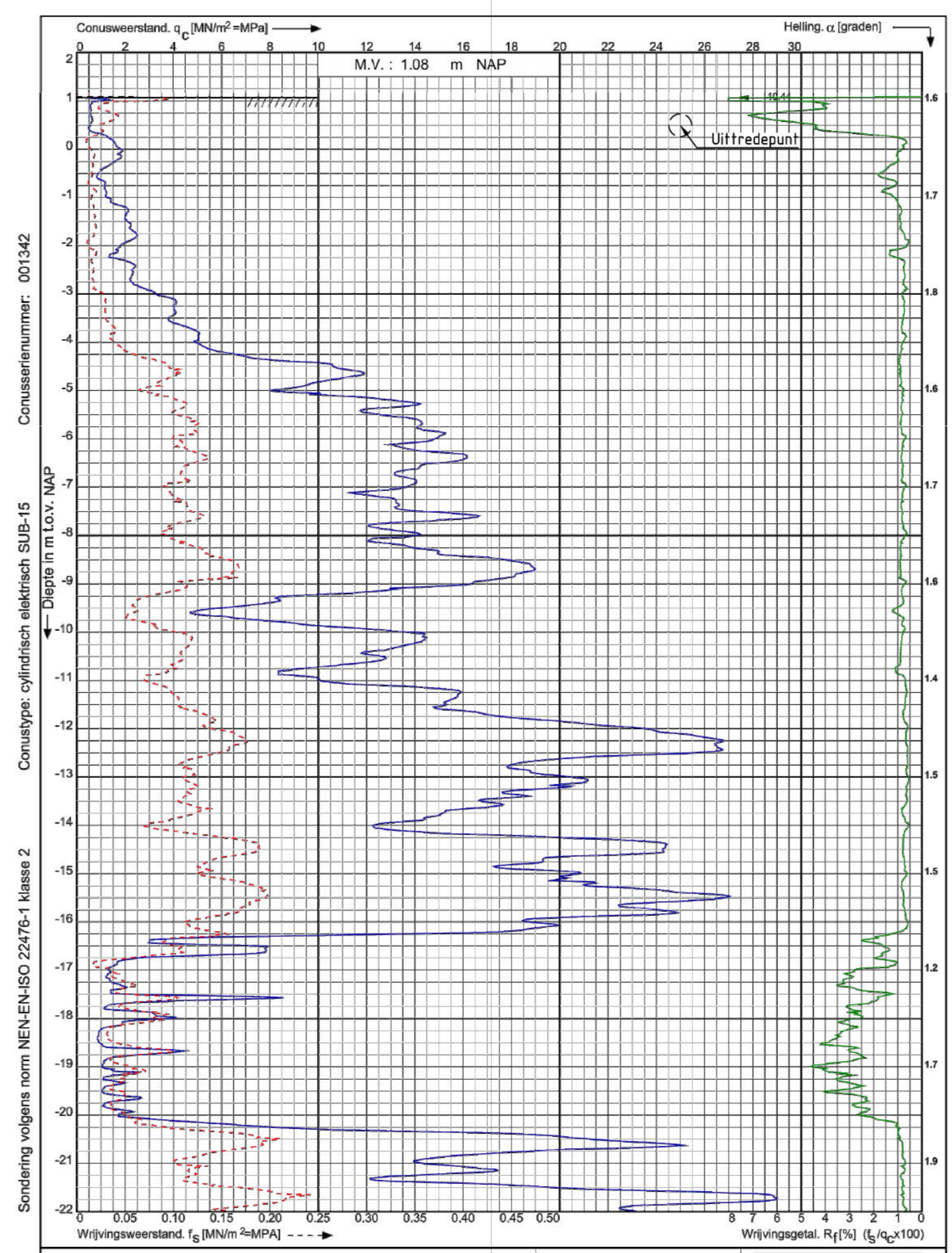


Principe detail  
kweekst + kwelscherm  
SCHAAL 1 : 10  
maten in mm

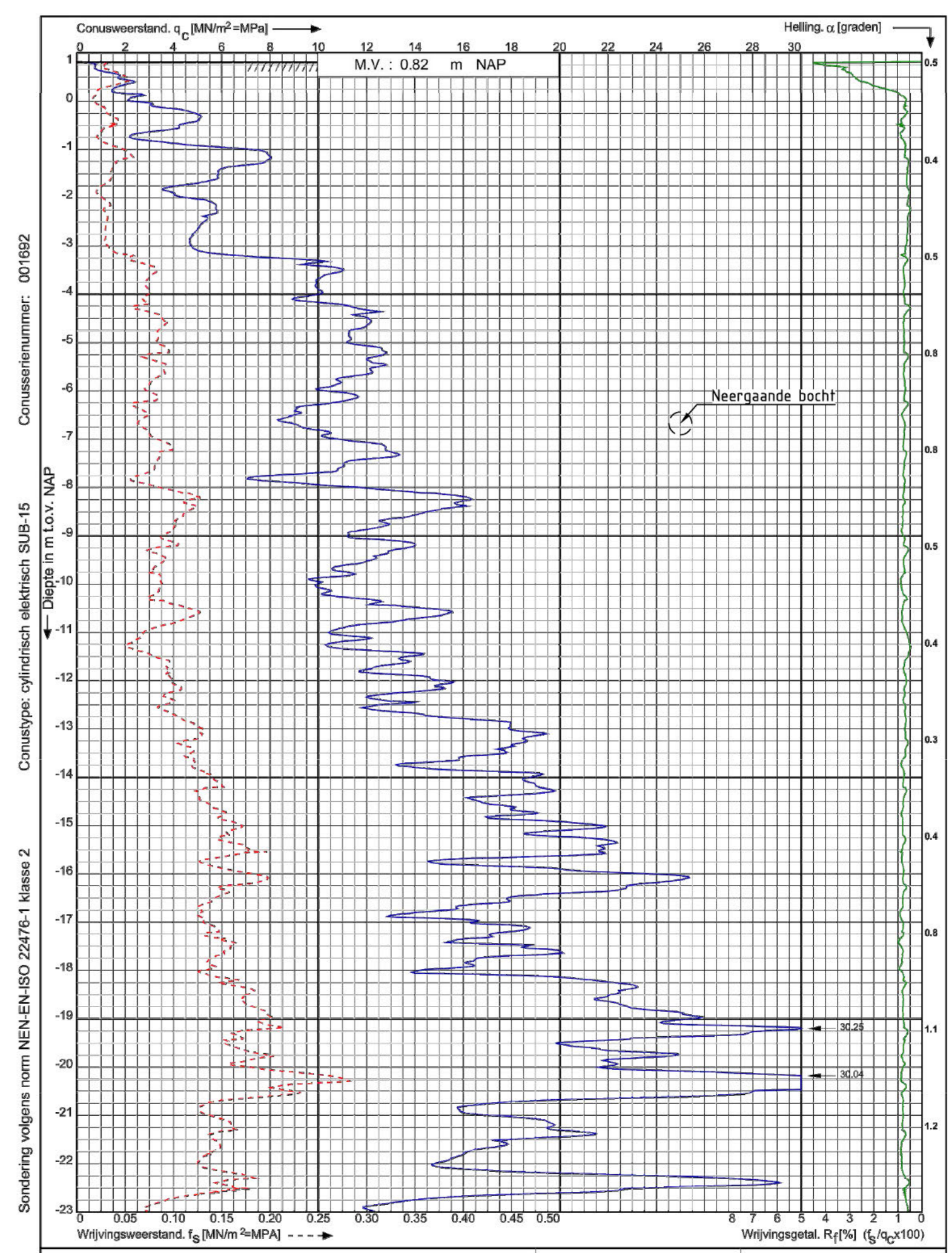
Doorsnede bundel HDD  
SCHAAL 1 : 10  
in mm



TenneT kabeltracé IJmuiden Ver Alpha to IJmuiden  
RD-coördinaten : X = 39882.17 Y = 387340.58  
Opdr. nr. : 2020-1142  
Datum ultv. : 10-2-2021  
Sond. nr. : 5  
Koops



TenneT kabeltracé IJmuiden Ver Alpha to IJmuiden  
RD-coördinaten : X = 39848.14 Y = 387450.38  
Opdr. nr. : 2020-1142  
Datum ultv. : 19-4-2021  
Sond. nr. : 117  
Koops



TenneT kabeltracé IJmuiden Ver Alpha to IJmuiden  
RD-coördinaten : X = 39886.09 Y = 387230.14  
Opdr. nr. : 2020-1142  
Datum ultv. : 20-10-2020  
Sond. nr. : 6  
Koops

Legenda bestaande K&L

—	Electra HS
—	Electra LS
—	Electra MS
—	HD gasleiding
—	Gasleiding
—	Waterleiding
—	Sondering
—	Grondroering
—	Grens verloopgebied

KLIC melding nr(s): 200111922

- Opmerkingen:
- Bestaande kabels en leidingen zijn ingetekend aan de hand van KLIC meldingen
  - Exacte locatie van de bestaande kabels en leidingen tijdens uitvoering bepalen door middel van proefsluizen

Opmerkingen:  
Alle maten in m, tenzij anders vermeld.  
Alle hoogten maten in m, ten opzichte van N.A.P.

ARCADIS

TenneT  
Taking power further

Net op Zee  
Nederwiek 1

Vergunningstekening  
Horizontaal gestuurde boring Frankrijkweg (22)

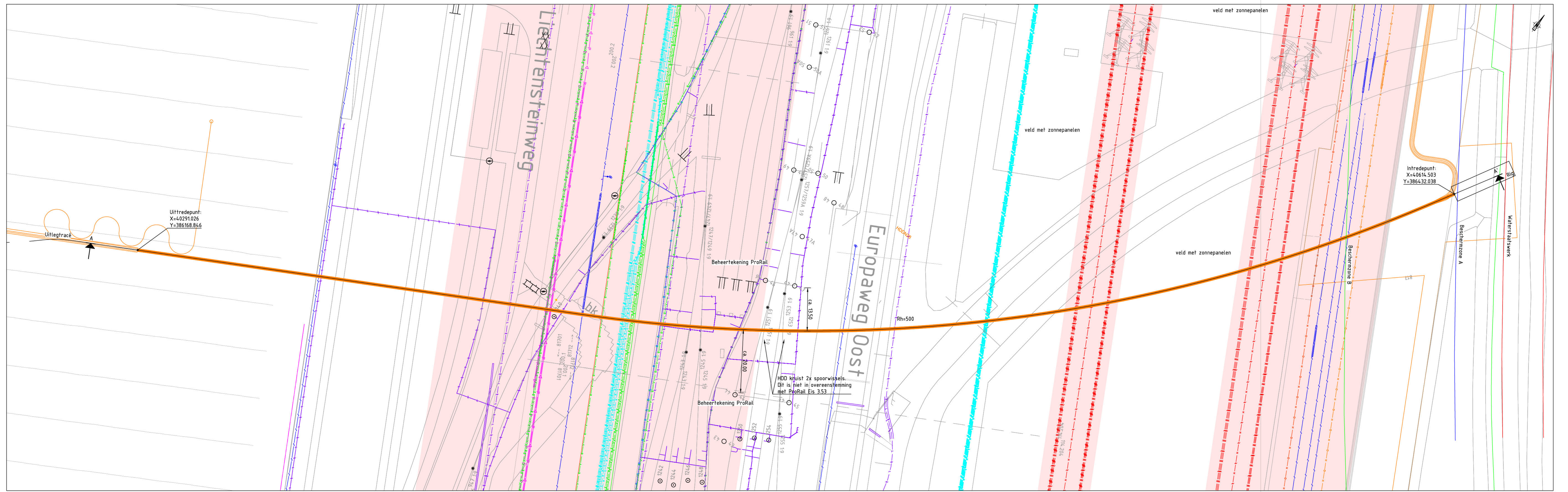
OPDRACHTGEVER: TenneT  
ONTWERP: TenneT  
PROJEKT: Net op Zee  
ONDERWERP: Vergunningstekening  
Horizontaal gestuurde boring Frankrijkweg (22)

GETEKEND: [Signature]  
SCHAAL: 2x A4  
FORMAAT: A4

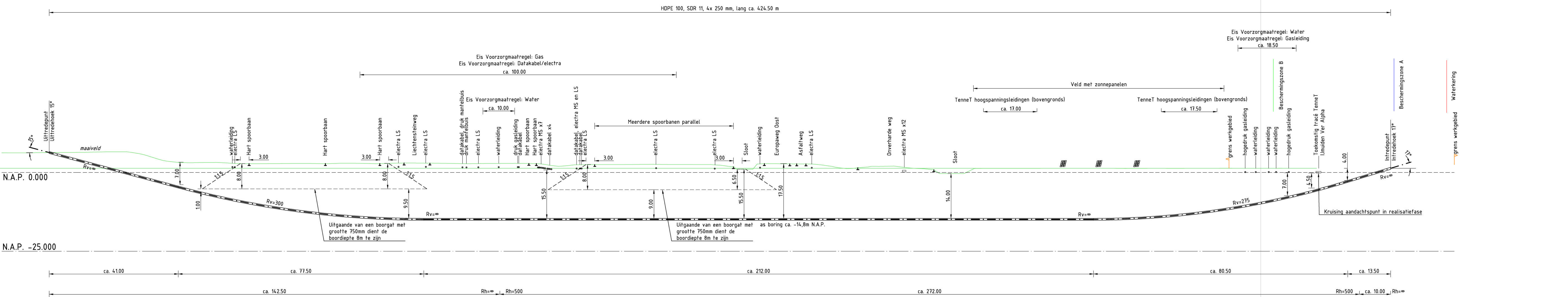
DATUM: 02-10-2022

HDDN22  
TEKONING NR.: TTB-07868

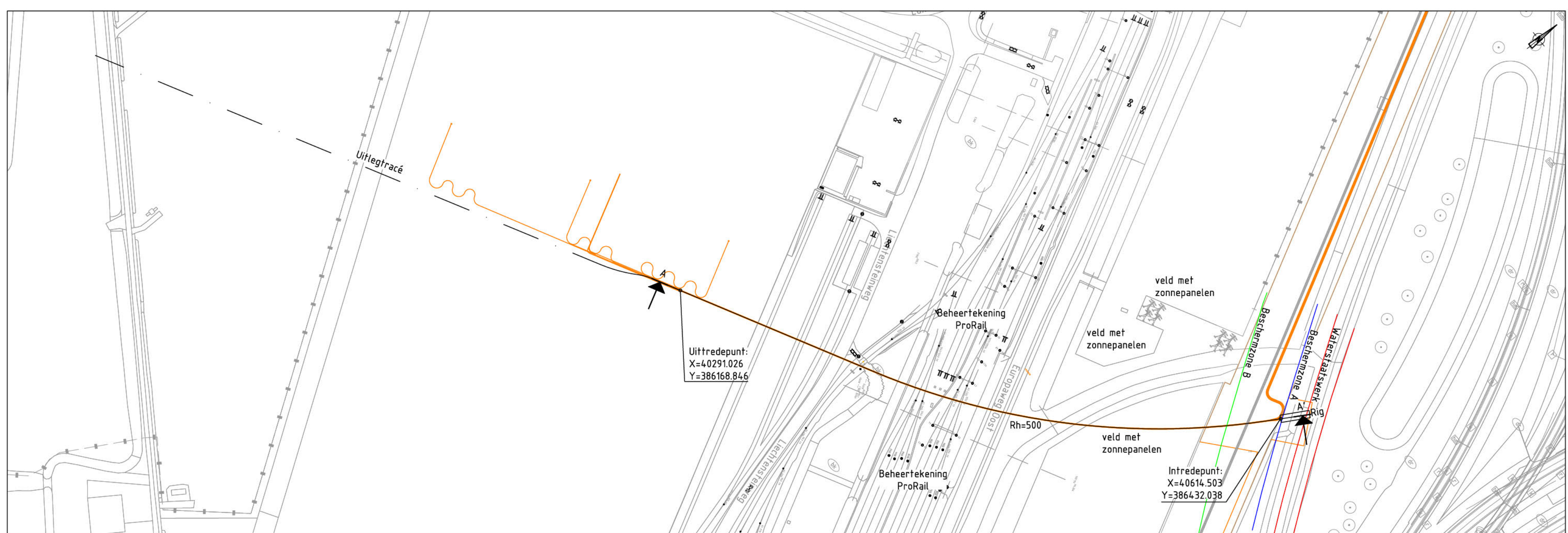
Bijlage E : Ontwerptekening HDDN28 – Kruising Station Liechtensteinweg



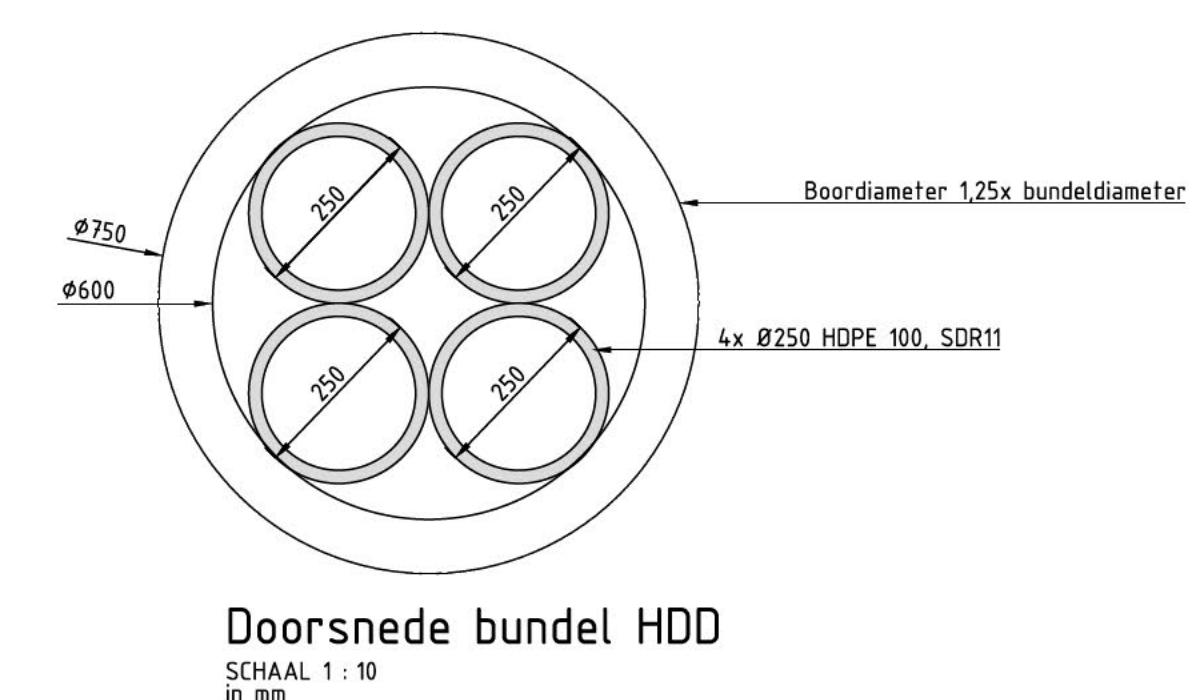
Situatie  
SCHAAL 1: 500



Lengte profiel boring Liechtensteinweg (28) DWP A-A'  
SCHAAL 1: 500  
(Lengte profiel gegenereerd uit de AHN3)



Overzicht uitlegtracé  
SCHAAL 1: 2000



Legenda bestaande K&L

Electra HS	Electra LS
Drak-North Sea Part	HD gasleiding
Waterleiding	Dakakabel
Sondering	Grondboring
Grens verbindingsgebied	

KLIC melding nr(s): 20011935

- Opmerkingen:**
- Bestaande kabels en leidingen zijn ingetekend aan de hand van KLIC melding(en)
  - Exacte locatie van de bestaande kabels en leidingen tijdens uitvoering bepalen door middel van proefsluizen

**Opmerkingen:**  
Alle maten in m, tenzij anders vermeld.  
Alle hoogmaten in m, ten opzichte van N.A.P.

7	03-02-2022	JH	RHW	Grenzen van Bestuurszone A, B en Waterstaatswerk aangepast o.b.v. exacte OS-File
6	02-12-2022	BD	RHW	Definitief: Tracé bij uitlegtracé gewijzigd
5	07-11-2022	BD	RHW	Concept: ProRail beheertekening toegevoegd
4	02-09-2022	RHW	JH	Inleidingspunt aangepast!
3	05-08-2022	RHW	JH	Variant 2 gekozen
2	26-07-2022	BD	RHW	Tekeningnummer gewijzigd
1	23-06-2022	BD	RHW	Concept
Rev.	Datum	Get.	Gez.	WIJZIGING

**OPDRACHTGEVER:** TenneT  
**ONTWERP:** TenneT  
**PROJEKT:** Net op Zee Nederwiek 1  
**ONDERWOP:** Vergunningstekening Horizontaal gestuurde boring Liechtensteinweg (28)

**GETEKEND:** [Signature]  
**SCHAAL:** zie tek.  
**DATUM:** 03-02-2022  
**FORMAAT:** A4 (84x1195)

**ARCADIS**  
Engineering & Construction

HDDN28  
TEKENING NR.: TTB-07871

Bijlage F : Legger Waterkeringen Waterschap Scheldestromen

Adres of plaats zoeken

**Legenda**

- Coupure
- Duiker
- Gemaal
- Sluis

**Zoneringen per type waterkering**

**Primair**

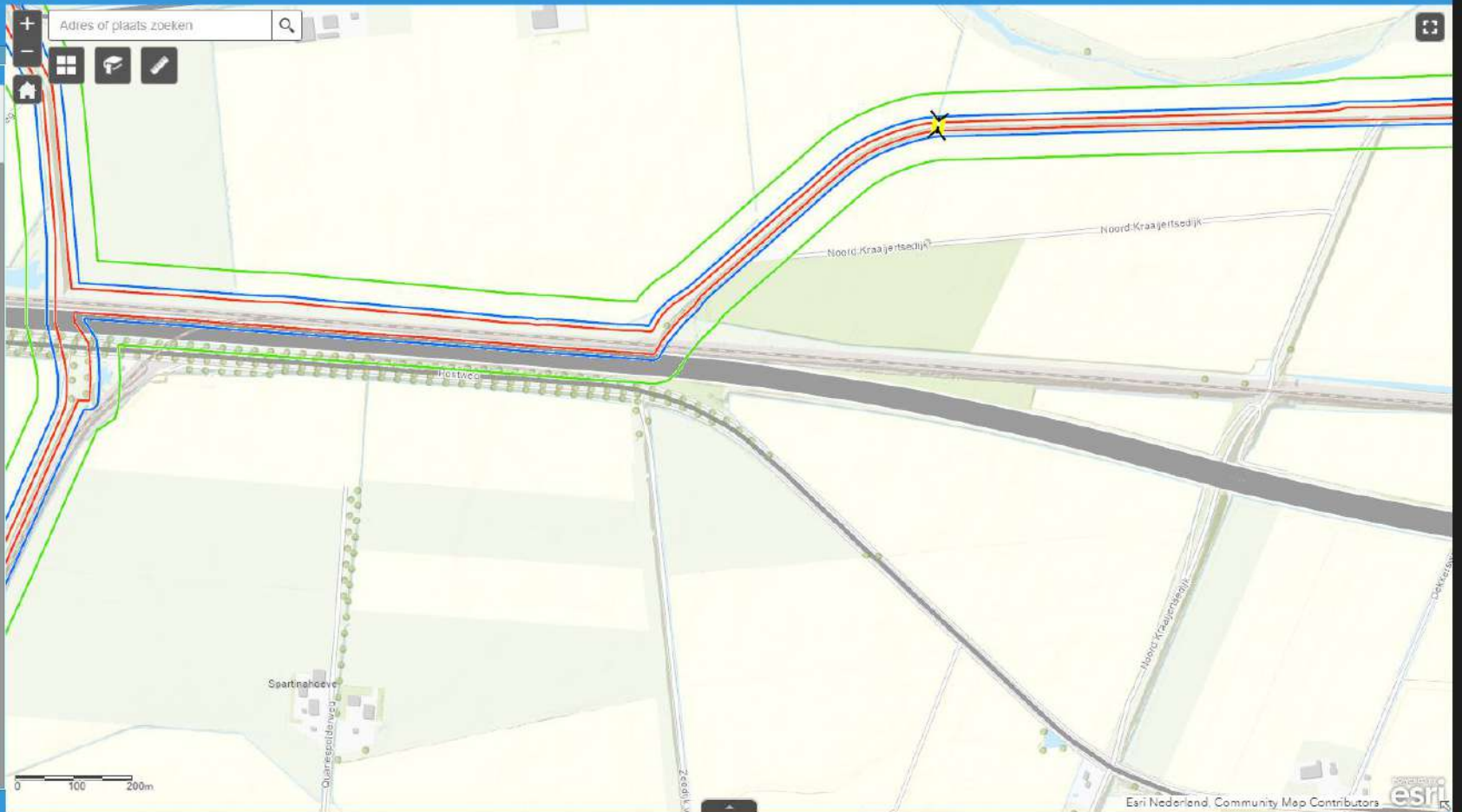
- Waterstaatswerk
- Beschermingszone A
- Beschermingszone B

**Regionaal**

- Waterstaatswerk
- Beschermingszone A
- Beschermingszone B

**Soort bekleding van de waterkering**

- Asfalt
- Breuksteen
- Gras
- Steenzetting
- Beton
- Overige vastgoedelementen

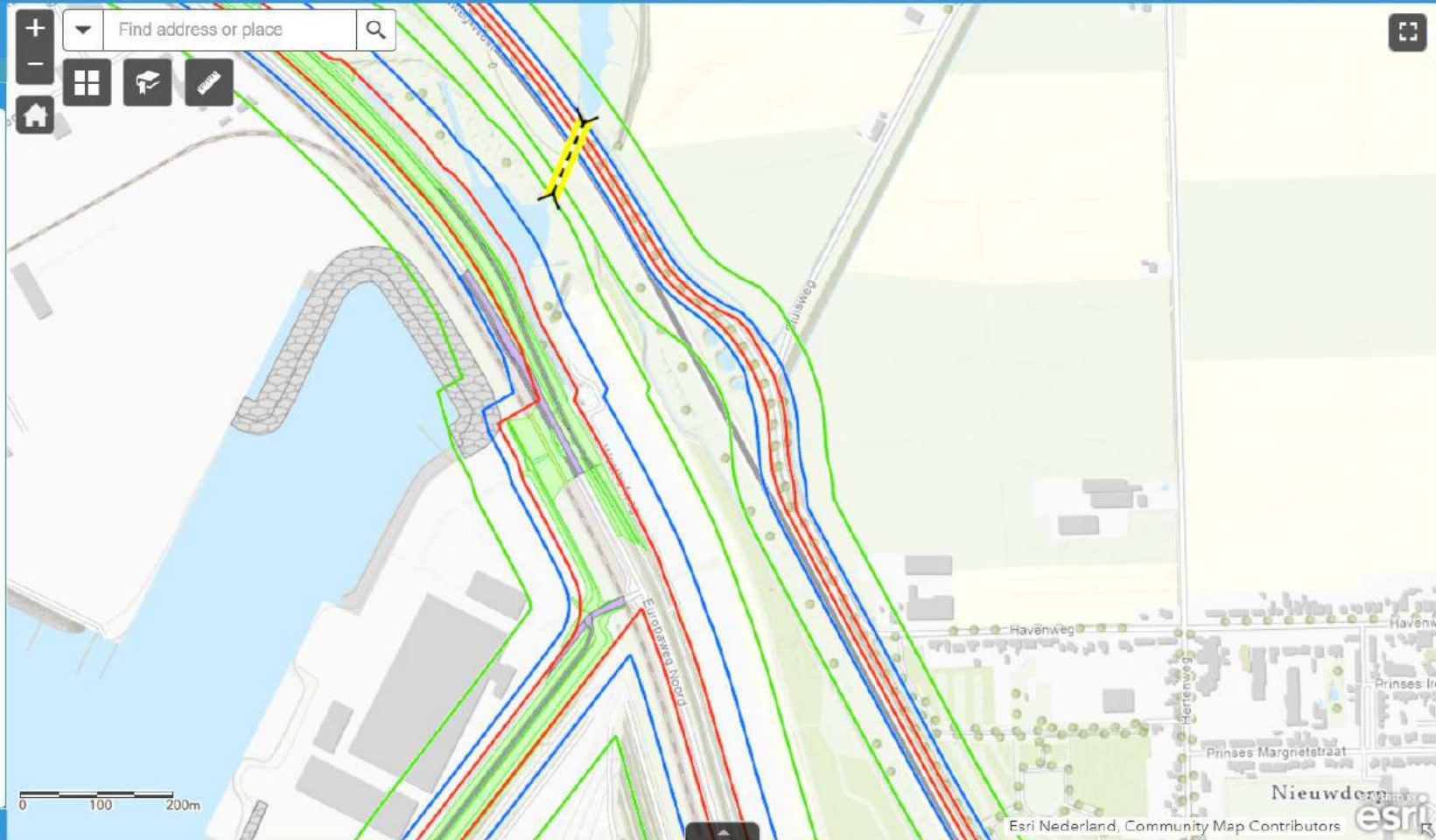




Layer List

Layers

- Legger waterkeringen 2012
- Kunstwerken met waterkerende functie
- Zonerings per type waterkering
  - Primair
    - Waterstaatswerk
    - Beschermingszone A
    - Beschermingszone B
  - Regionaal
    - Waterstaatswerk
    - Beschermingszone A
    - Beschermingszone B
- Soort bekleding van de waterkering
- Kadastrale percelen
- Luchtfoto







Over

De Algemene Vergadering heeft op 6 december 2012 vastgesteld de Keur watersysteem waterschap Scheldestromen, de partiële herziening legger Waterkeringen en de Legger oppervlaktewaterlichamen waterschap Scheldestromen. Deze treden in werking op 22 december 2012. De kaartlagen in deze kaart behoren bij de Legger oppervlaktewaterlichamen.

Mocht u over de kaart vragen of opmerkingen hebben, dan horen wij dit graag. Ziet u dat er bepaalde gegevens niet correct zijn, vragen wij u dit te melden.

E-mail: [info@Scheldestromen.nl](mailto:info@Scheldestromen.nl)

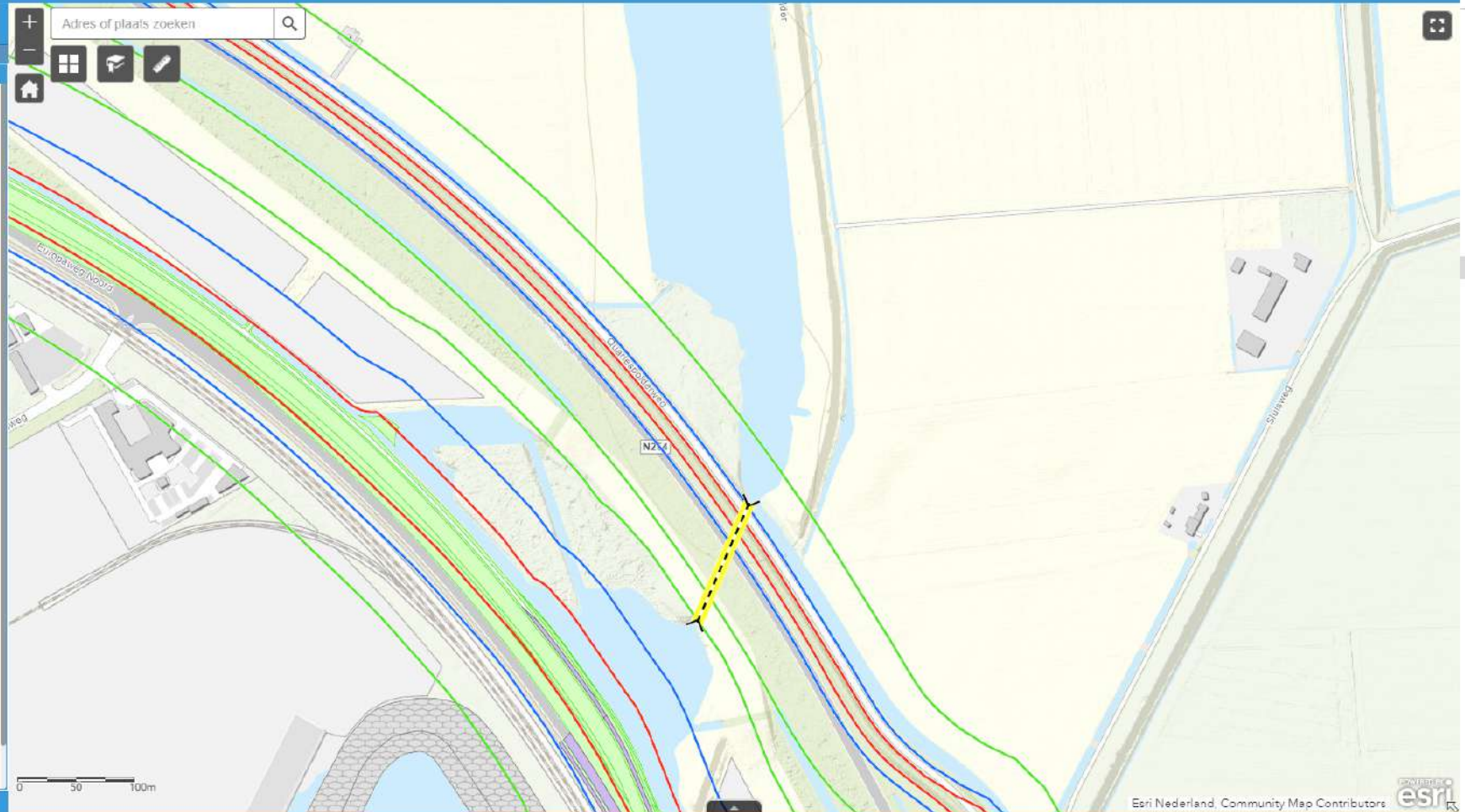
In de "Lijst met lagen" kunnen kaartlagen aan/uit gezet worden door het vinkje te plaatsen of weg te halen.

Door hier op een kaartlaag te klikken kan de legenda zichtbaar gemaakt worden.

Het is ook mogelijk dat deze kaartlaag uitgeklaapt wordt zodat er ook andere sub-kaartlagen zichtbaar gemaakt kunnen worden.

Door in de kaart te klikken zal de relevante informatie van waar geklikt wordt getoond worden.

Door verder in te zoomen kan er, afhankelijk van het schaalniveau,



**Legger Waterkeringen** waterschap Scheldestromen

Adres of plaats zoeken

Over

De Algemene Vergadering heeft op 6 december 2012 vastgesteld de Keur watersysteem waterschap Scheldestromen, de partiële herziening legger Waterkeringen en de Legger oppervlaktewaterlichamen waterschap Scheldestromen. Deze treden in werking op 22 december 2012. De kaartlagen in deze kaart behoren bij de Legger oppervlaktewaterlichamen.

Mocht u over de kaart vragen of opmerkingen hebben, dan horen wij dit graag. Ziet u dat er bepaalde gegevens niet correct zijn, vragen wij u dit te melden.  
E-mail: [info@Scheldestromen.nl](mailto:info@Scheldestromen.nl)

In de "Lijst met lagen" kunnen kaartlagen aan/uit gezet worden door het vinkje te plaatsen of weg te halen.

Door hier op een kaartlaag te klikken kan de legenda zichtbaar gemaakt worden.

Het is ook mogelijk dat deze kaartlaag uitgeklaapt wordt zodat er ook andere sub-kaartlagen zichtbaar gemaakt kunnen worden.

Door in de kaart te klikken zal de relevante informatie van waar geklikt wordt getoond worden.

Door verder in te zoomen kan er...

0 100 200m

All rights reserved

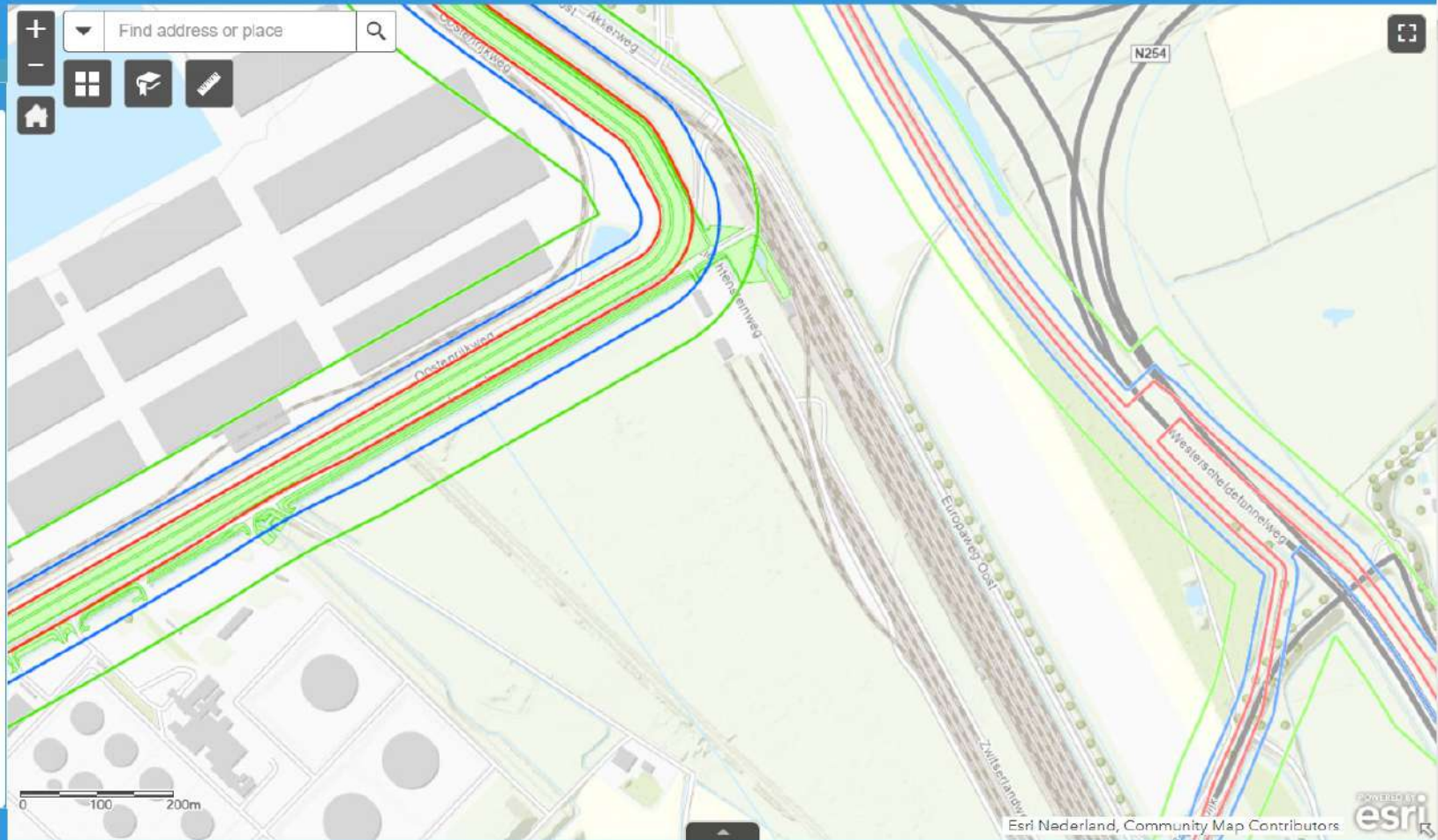
Esri Nederland, Community Map Contributors



Layer List

Layers

- Legger waterkeringen 2012
- Kunstwerken met waterkerende functie
- Zonerings per type waterkering
- Primair
- Waterstaatswerk
- Beschermingszone A
- Beschermingszone B
- Regionaal
- Waterstaatswerk
- Beschermingszone A
- Beschermingszone B
- Soort bekleding van de waterkering
- Kadastrale percelen
- Luchtfoto



Bijlage G : Berekening veiligheidszones waterkering HDDN12 (Rijkweg A58)

Berekening van de veiligheidszone conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2022 1.3 ©	
<b>Algemene gegevens</b>			
Naam van het project		: TenneT Nederwiek 1	
Projectonderdeel		: VZ noordzijde HDDN12 Rijksweg A58 4xØ250mm SDR11	
<b>Gegevens van de leiding</b>			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	
Uitwendige middellijn		$D_e$	= 250 mm
Wanddikte		$d_n$	= 22,8 mm
Inwendige middellijn		$D_i$	= 204,4 mm
<b>Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone</b>			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld		$H_{werk}$	= 4 m
<b>Berekening van de breedte van de ontgrondingskuil</b>			
Breedte erosiekrater = 0 m			
<b>Berekening van de lengte van de ontgrondingskuil</b>			
Lengte erosiekrater = 0 m			
<b>Berekening van de veiligheidszone</b>			
Veiligheidszone = $4 \cdot H_{werk} = 4 \cdot 4,00 = 16,00$ m			
		01-12-2022 15:29:48	

Berekening van de veiligheidszone conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2022 1.3 ©	
<b>Algemene gegevens</b>			
Naam van het project	: TenneT Nederwiek 1		
Projectonderdeel	: VZ zuidzijde HDDN12 Rijksweg A58 4xØ250mm SDR11		
<b>Gegevens van de leiding</b>			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	
Uitwendige middellijn	$D_e$	= 250	mm
Wanddikte	$d_n$	= 22,8	mm
Inwendige middellijn	$D_i$	= 204,4	mm
<b>Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone</b>			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld	$H_{werk}$	= 2	m
<b>Berekening van de breedte van de ontgrondingskuil</b>			
Breedte erosiekrater = 0 m			
<b>Berekening van de lengte van de ontgrondingskuil</b>			
Lengte erosiekrater = 0 m			
<b>Berekening van de veiligheidszone</b>			
Veiligheidszone = $4 \cdot H_{werk} = 4 \cdot 2,00 = 8,00$ m			
		01-12-2022 15:30:09	

Bijlage H : Samenvattende sheet met uitkomsten sterkteberekeningen

Code	Locatie	Diameter [mm]	SDR	Wanddikte [mm]	Lengte boring	Toelaatbare spanning rollerbaan [N/mm <sup>2</sup> ]	max. optredende spanning rollerbaan [N/mm <sup>2</sup> ]	Benodigde trekkracht [ton]	Toelaatbare spanning trekoperatie [N/mm <sup>2</sup> ]	max. optredende spanning trekoperatie [N/mm <sup>2</sup> ]	Diepste punt tot as HDD [m]	Implosie bij grondwater [m]	Toelaatbare spanning omtreksrichting [N/mm <sup>2</sup> ]	max. optredende spanning omtreksrichting [N/mm <sup>2</sup> ]	Toelaatbare spanning langsrichting [N/mm <sup>2</sup> ]	max. optredende spanning langsrichting [N/mm <sup>2</sup> ]	Toelaatbare deflectie [mm]	Optreden de deflectie [mm]	Boorspoeldruk binnen grenzen [l/N]	Sterkteberekening	Vergunnings-rapportage	Boring
HDDN12	Rijksweg A58	250	11	22,8	704	10,00	4,77	3,6	10,00	4,48	21,08	16,04	8,00	3,60	8,00	7,11	18,18	5,91	j	Voldoet (gereduceerde grondbelasting toegepast in diepe deel). Blijvend gevuld met water $\alpha=30$ graden C boorgat 780mm	RWS + Waterschap + ProRail	bundel 4x
HDDN16	Kruising leidingen	250	11	22,8	116	10,00	1,61	0,7	10,00	1,38	8,42	16,04	8,00	6,52	8,00	7,30	18,18	10,65	j	Voldoet. Blijvend gevuld met water $\alpha=30$ graden C boorgat 780mm	RWS + Waterschap	bundel 4x
HDDN21	Quarlespolderweg en Bernhardweg West	250	11	22,8	995	10,00	5,72	5,1	10,00	6,15	13,50	16,04	8,00	6,16	8,00	7,16	18,18	6,75	n	Voldoet. (deels gereduceerde grondbelasting toegepast). Aandachtspunt boorspoeldrukken ruimertase. Blijvend gevuld met water $\alpha=30$ graden C boorgat 780mm	Waterschap	bundel 4x
HDDN22	Frankrijkweg	250	11	22,8	250	10,00	2,34	1,3	10,00	1,89	19,63	16,04	8,00	6,84	8,00	7,06	18,18	11,24	j	Voldoet (gereduceerde grondbelasting toegepast in diepe deel). Blijvend gevuld met water $\alpha=30$ graden C boorgat 780mm	Waterschap	bundel 4x
HDDN28	Liechtensteinweg naar trafostation	250	11	22,8	429	10,00	3,29	2,2	10,00	2,90	18,09	16,04	8,00	4,71	8,00	7,11	18,18	3,57	j	Voldoet (gereduceerde grondbelasting toegepast in diepe deel) Blijvend gevuld met water $\alpha=30$ graden C boorgat 780mm	ProRail + Waterschap	bundel 4x



Bijlage I : Sterkteberekening HDDN12 – Kruising Rijksweg A58

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2022 1.3 ©	
<b>Algemene gegevens</b>			
Naam van het project	: TenneT Nederwiek 1		
Projectonderdeel	: HDDN12 Rijksweg A58 Ø250mm, SDR 11 (blijvend 100pct gevuld)		
<b>Materiaalgegevens</b>			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS = 10		N/mm <sup>2</sup>
Materiaalfactor	$\gamma_M = 1,25$		-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t = 8,00$		N/mm <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus korte duur	E = 1.100		N/mm <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus lange duur	E' = 200		N/mm <sup>2</sup>
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	$\alpha_g = 20,0 \cdot 10^{-5}$		mm/(mm·K)
Alfa Tangentieel / Alfa Axiaal	$\alpha_\sigma = 0,65$		-
Soortelijk gewicht buis	$\rho_L = 9,55$		kN/m <sup>3</sup>
Toelaatbare deflectie	$\delta = 8,00$		%
<b>Leidinggegevens</b>			
Uitwendige middellijn	D <sub>e</sub> = 250,00		mm
Wanddikte	d <sub>n</sub> = 22,8		mm
<b>Procesgegevens</b>			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Ontwerpdruk	p <sub>d</sub> = 0		N/mm <sup>2</sup>
Volumieke massa medium	$\rho = 1000$		kg/m <sup>3</sup>
Temperatuurverschil	$\Delta t = 30$		°
<b>Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken</b>			
Totale lengte	L = 708,35		m
Lengte 1e rechte deel	L <sub>1</sub> = 15,50		m
Lengte neergaande bocht	L <sub>2</sub> = 81,59		m
Lengte 2e rechte deel	L <sub>3</sub> = 492,50		m
Lengte opgaande bocht	L <sub>4</sub> = 97,74		m
Lengte 3e rechte deel	L <sub>5</sub> = 21,02		m
Straal maaiveld/rollenbaan	R <sub>r</sub> = 100,00		m
Straal neergaande bocht	R <sub>1</sub> = 275,00		m
Straal opgaande bocht	R <sub>2</sub> = 400,00		m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	$\alpha_1 = 17,00 / 30,57$		° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	$\alpha_2 = 14,00 / 24,93$		° / %
Belastinghoek	$\alpha = 30$		°
Ondersteuningshoek	$\beta = 30$		°
Horizontale steundrukhoek	$\gamma = 120$		°
Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	$\gamma = 1,1$		
<p>The diagram illustrates the layout of a horizontal borehole. It starts with a horizontal segment of length L<sub>1</sub> at an angle <math>\alpha_1</math> to the horizontal. This is followed by a downward curve with radius R<sub>1</sub> and length L<sub>2</sub>. A horizontal segment of length L<sub>3</sub> follows, then an upward curve with radius R<sub>2</sub> and length L<sub>4</sub>. Finally, there is a horizontal segment of length L<sub>5</sub> that ends at an angle <math>\alpha_2</math> to the horizontal. The total length of the borehole is L. A radius R<sub>r</sub> is also indicated for the final horizontal segment.</p>			

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2022 1.3 ©	
Uitvoeringsaspecten			
Diameter boorstang	$D_b$	= 114	mm
<i>Tijdens pilot</i>			
Diameter boorkop/boorgat	$D_p$	= 170	mm
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_{m,p}$	= 11,5	kN/m <sup>3</sup>
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_{y,p}$	= 13,4	Pa
Plastische viscositeit boorvloeistof	$\eta_p$	= 0,009	Pa·s
Debiet boorvloeistof	$Q_{m,p}$	= 100	l/min
<i>Tijdens ruimgang</i>			
Boorstangen koppelen tijden ruimen			
Diameter ruimer/boorgat	$D_{g,r}$	= 780	mm
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_{m,r}$	= 11,5	kN/m <sup>3</sup>
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_{y,r}$	= 13,4	Pa
Plastische viscositeit boorvloeistof	$\eta_r$	= 0,009	Pa·s
Debiet boorvloeistof	$Q_{m,r}$	= 500	l/min
<i>Tijdens intrekken</i>			
Equivalent diameter bundel	$D_{eq}$	= 500	mm
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_{m,i}$	= 11,5	kN/m <sup>3</sup>
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_{y,i}$	= 13,4	Pa
Plastische viscositeit boorvloeistof	$\eta_i$	= 0,009	Pa·s
Debiet boorvloeistof	$Q_{m,i}$	= 300	l/min
Aantal buizen in de bundel	$n$	= 4	
De bundelbuizen worden niet gekoppeld			
Gewicht vulling/extra gewicht op rollenbaan	$g_{vul, r}$	= 0,328	N/mm <sup>1</sup>
Gewicht vulling/extra gewicht tpv boorgang	$g_{vul, b}$	= 0,328	N/mm <sup>1</sup>
Onzekerheids- en wrijvingsfactoren			
Totaalfactor bij boring met bundels	$f$	= 1,8	
Belastingfactor, bovengronds	$f_{k,b}$	= 1,1	
Belastingfactor, ondergronds	$f_{k,o}$	= 1,4	
Onzekerheidsfactor straal, ondergronds	$f_{r,o}$	= 0,9	
Wrijvingscoëff. met rollenbaan	$f_1$	= 0,1	
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	$f_2$	= 0,00005	N/mm <sup>2</sup>
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	$f_3$	= 0,2	

## Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting

Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grondsoort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m <sup>3</sup> ]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m <sup>3</sup> ]	Wrijvingshoek grond [°]
1e rechte deel	15,50	4,50	1,30	Zand	17,59	19,53	32,50
Neergaande bocht	97,09	16,20	1,30	Zand	17,59	20,41	32,50
2e rechte deel	342,57	16,20	1,30	Zand	16,45	20,79	32,50
w1	427,77	16,10	1,00	Zand	16,28	20,90	35,00
w2	429,67	14,90	0,00	Zand	0,00	20,66	35,00
w3	432,57	14,90	0,00	Zand	0,00	20,66	35,00
w4	434,27	16,00	1,00	Zand	16,29	20,90	35,00
spoor1	473,47	20,40	3,50	Zand	18,73	20,74	35,00
spoor2	482,27	20,50	3,50	Zand	18,89	20,94	35,00
A58-1	492,07	18,80	3,00	Zand	17,44	20,92	35,00
A58-2	520,37	18,30	3,00	Zand	17,44	20,92	35,00
N665-1	542,89	17,20	1,80	Zand	17,63	20,66	35,00
N665-2	557,03	16,30	1,80	Zand	18,00	20,33	35,00
Opgaande bocht	586,59	18,30	3,00	Zand	16,17	20,91	35,00
3e rechte deel	692,07	4,50	1,80	Zand	15,36	20,96	35,00

Locatie	Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm <sup>3</sup> ]	Effectieve cohesie [kN/m <sup>2</sup> ]	E-modulus ondergrond [MN/m <sup>2</sup> ]	Verkeersbelasting
1e rechte deel	-	0,00	45,00	Geen
Neergaande bocht	0,0490	0,00	45,00	Geen
2e rechte deel	-	0,00	45,00	Geen
w1	-	0,00	75,00	Geen
w2	-	0,00	75,00	Geen
w3	-	0,00	75,00	Geen
w4	-	0,00	75,00	Geen
spoor1	-	0,00	75,00	Grafiek I
spoor2	-	0,00	75,00	Grafiek I
A58-1	-	0,00	75,00	Grafiek I
A58-2	-	0,00	75,00	Grafiek I
N665-1	-	0,00	75,00	Grafiek I
N665-2	-	0,00	75,00	Grafiek I
Opgaande bocht	-	0,00	75,00	Grafiek I
3e rechte deel	-	0,00	75,00	Geen

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Sondering
1e rechte deel	Geen	201
Neergaande bocht	Homogeen (zand)	201
2e rechte deel	Homogeen (zand)	202
w1	Homogeen (zand)	107
w2	Homogeen (zand)	107
w3	Homogeen (zand)	107
w4	Homogeen (zand)	107
spoor1	Homogeen (zand)	107
spoor2	Homogeen (zand)	31
A58-1	Homogeen (zand)	31
A58-2	Homogeen (zand)	31
N665-1	Homogeen (zand)	31
N665-2	Homogeen (zand)	108
Opgaande bocht	Homogeen (zand)	108
3e rechte deel	Geen	108



\* Niet op schaal

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2022 1.3 ©		
<b>2. Eigenschappen van de leiding</b>				
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 204,40	mm	
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 227,20	mm	
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 250,00	mm	
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 125,00	mm	
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 102,20	mm	
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 113,60	mm	
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 106.064.835,12	mm <sup>4</sup>	
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 848.518,68	mm <sup>3</sup>	
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 987,70	mm <sup>4</sup> /mm <sup>1</sup>	
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 86,64	mm <sup>3</sup> /mm <sup>1</sup>	
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 16.273,95	mm <sup>2</sup>	
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,1554	N/mm <sup>1</sup>	
<b>3. Berekening van het gewicht van de leiding tijdens het intrekken van de leiding</b>				
	<i>Leiding op rollenbaan/maaiveld</i>		<i>Leiding in boorgat</i>	
Gewicht mediumleiding	$g = 0,1554$	N/mm <sup>1</sup>	$g = 0,1554$	N/mm <sup>1</sup>
Gewicht vulling	$g_{vul} = 0,328$	N/mm <sup>1</sup> +	$g_{vul} = 0,328$	N/mm <sup>1</sup> +
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,4834$	N/mm <sup>1</sup>	$g_{gat} = 0,4834$	N/mm <sup>1</sup>
<b>4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds</b>				
<b>4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld</b>				
Trekkraft $T_1$ tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	$T_1$ [N]		
Starten met trekken	708,35	<b>61.637</b>		
Na intrekken van $L_5$	687,33	<b>59.808</b>		
Na intrekken van $L_5 + L_4$	589,59	<b>51.303</b>		
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	97,09	<b>8.448</b>		
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	15,50	<b>1.349</b>		
$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,4834 \cdot 0,1$				
<b>4.2 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten op rollenbaan/maaiveld</b>				
Spanningen $\sigma_t$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_1$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]		
Starten met trekken	61.637	<b>3,79</b>		
Na intrekken van $L_5$	59.808	<b>3,68</b>		
Na intrekken van $L_5 + L_4$	51.303	<b>3,15</b>		
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	8.448	<b>0,52</b>		
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	1.349	<b>0,08</b>		
$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{16.273,95}$				

## 4.3 Berekening van de optredende spanning t.g.v. kromming van de leiding op rollenbaan/maaiveld

$$M_b = f_{k,b} \cdot E \cdot \frac{I_b}{R_r}$$

$$M_b = 1,1 \cdot 1.100 \cdot \frac{106.064.835}{100.000} = 1.283.384,50 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{1.283.384,50}{848.519} = 1,51 \text{ N/mm}^2$$

## 4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

Spanningen $\sigma_a$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Starten met trekken	3,79	<b>4,77</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub>	3,68	<b>4,66</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub>	3,15	<b>4,14</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub> + L <sub>3</sub>	0,52	<b>1,50</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub> + L <sub>3</sub> + L <sub>2</sub>	0,08	<b>1,07</b>

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 1,51 + \sigma_t$$

Toelaatbare spanning:  $\sigma_{kd} = MRS = 10,00 \text{ N/mm}^2$



**5. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat****5.1 Berekening van de vereiste trekkkracht  $T_2$  en  $T_{3a}$  in verband met wrijving tussen leiding en boorvloeistof/boorgangwand**

Aantal buizen in de bundel  $n = 4$

De bundelbuizen worden niet gekoppeld  $\rightarrow f_b = 1/n^{0,3} = 0,660$

Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof.

66,0% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet.

Hieruit volgt:  $D_{e,omtrek} = 518,17 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat  $g_{gat} = 0,483 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof:  $g_{opw} = \rho_{m,i} \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 250,00^2 \cdot \pi/4 = 0,565 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is  $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,0811 \text{ N/mm}^1$

Trekkkracht $T_2$ en $T_{3a}$ tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	$T_2$ [N]	$T_{3a}$ [N]
Na intrekken van $L_5$	21,02	<b>1.594</b>	-
Na intrekken van $L_5 + L_4$	118,76	-	<b>9.005</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	611,26	<b>46.350</b>	-
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	692,85	-	<b>52.537</b>
Geheel ingetrokken	708,35	<b>53.712</b>	-

Rechte delen:  $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (518,17 \cdot 0,00005 + 0,0811 \cdot 0,2)$

Gebogen delen:  $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (518,17 \cdot 0,00005 + 0,0811 \cdot 0,2)$

**5.2 Berekening van de vereiste trekkkracht  $T_{3b}$  in verband met wrijving door grondreactie in de bochten**

Locatie	$\lambda$ [mm <sup>-1</sup> ]	R [m]	$Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_{3b}$ [N]
Neergaande bocht	0,0023	275,0	0,0031	<b>777</b>

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_{v,gen}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$$

$$Q_r = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot 0,9 \cdot R}$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 250 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

5.3 Berekening van de wrijving door bochtcracht  $T_{3c}$ 

Trekkraft $T_{\text{bocht}}$ tijdens verschillende stadia [N]	$T_1$ [N] (f = 1)	$T_2 / T_{3a}$ [N] (f = 1)	$T_{3b,neer}$ [N] (f = 1)	$T_{3b,op}$ [N] (f = 1)	$T_{\text{bocht}}$ [N]
Neergaande bocht	28.502	5.003	432	-	<b>33.936</b>
Opgaande bocht	749	29.187	432	0	<b>30.368</b>

Neergaande bocht:  $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_2 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max}$

Opgaande bocht:  $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_2 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max} + T_{3a,op} + T_{3b,op,max}$

Trekkraft $T_{3c}$ tijdens verschillende stadia [N]	$\alpha$ [°]	$T_{\text{bocht}}$ [N]	$T_{3c}$ [N]
Neergaande bocht	8,50	33.936	<b>3.612</b>
Opgaande bocht	7,00	30.368	<b>3.232</b>

$$T_{3c} = f \cdot L_B \cdot g_t \cdot f_3$$

$$L_B = 2 \cdot R \cdot 2\pi \cdot \frac{\alpha}{360}$$

$$g_t = \frac{2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha)}{L_B}$$

$$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,8 \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$

## 5.4 Totalisatie van de trekkraften in fase II

Trekkraft $T_{\text{tot}}$ tijdens verschillende stadia [N]	$T_1$ [N]	$T_2 / T_{3a}$ [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3c,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{3c,op}$ [N]	$T_{\text{tot}}$ [N]
Na intrekken van $L_5$	59.808	1.594	-	-	-	-	<b>61.402</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4$	51.303	9.005	777	3.612	-	-	<b>64.697</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	8.448	46.350	777	3.612	-	-	<b>59.187</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	1.349	52.537	777	3.612	0	3.232	<b>60.939</b>
Geheel ingetrokken	0	53.712	777	3.612	0	3.232	<b>60.766</b>

$$T_{\text{tot}} = T_1 + T_2 + T_{3a} + T_{3b,neer,max} + T_{3c,neer} + T_{3b,op,max} + T_{3c,op}$$

**5.5 Karakteristieke waarden van de benodigde trekkrachten in fase II**

Wanneer geen totaalfactor wordt toegepast ( $f = 1$ ), gelden de volgende karakteristieke waarden voor de trekkrachten.

Trekkracht $T_{tot}$ tijdens verschillende stadia [N]	$T_1$ [N]	$T_2 / T_{3a}$ [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3c,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{3c,op}$ [N]	$T_{tot}$ [N]
Na intrekken van $L_5$	33.227	885	-	-	-	-	<b>34.112</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4$	28.502	5.003	432	2.006	-	-	<b>35.943</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	4.693	25.750	432	2.006	-	-	<b>32.882</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	749	29.187	432	2.006	0	1.795	<b>33.855</b>
Geheel ingetrokken	0	29.840	432	2.006	0	1.795	<b>33.759</b>

De maximale karakteristieke waarde voor de benodigde trekkracht bedraagt **35.943 N** ( $\approx 3,6$  ton).

Volgens het voorschrift van de Drilling Contractors Association (DCA - Europe) wordt een boormachine voorgeschreven met een trekkracht 2 tot 3 keer deze maximale waarde.

**5.6 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten in fase II**

Spanningen $\sigma_t$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_{tot}$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Na intrekken van $L_5$	61.402	<b>3,77</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4$	64.697	<b>3,98</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	59.187	<b>3,64</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	60.939	<b>3,74</b>
Geheel ingetrokken	60.766	<b>3,73</b>

$$\sigma_t = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{16.273,95}$$

## 5.7 Optredende spanningen t.g.v. kromming van de leiding in het boorgat

## 5.7.1 Neergaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{f_{r,o} \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 1.100 \cdot \frac{106.064.835,12}{0,9 \cdot 275.000} = 659.958,97 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{659.958,97}{848.518,68} = 0,78 \text{ N/mm}^2$$

## 5.7.2 Opgaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{f_{r,o} \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 1.100 \cdot \frac{106.064.835,12}{0,9 \cdot 400.000} = 453.721,79 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{453.721,79}{848.518,68} = 0,53 \text{ N/mm}^2$$

## 5.8 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

Spanningen $\sigma_a$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_{tot}$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Na intrekken van L <sub>5</sub>	61.402	3,77	-	<b>3,77</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub>	64.697	3,98	0,78	<b>4,48</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub> + L <sub>3</sub>	59.187	3,64	-	<b>3,64</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub> + L <sub>3</sub> + L <sub>2</sub>	60.939	3,74	0,53	<b>4,09</b>
Geheel ingetrokken	60.766	3,73	-	<b>3,73</b>

$$\text{Rechte delen: } \sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{16.273,95} = \sigma_t$$

$$\text{Gebogen delen: } \sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot \sigma_b + \sigma_t$$

$$\text{Toelaatbare spanning: } \sigma_{kd} = MRS = 10,00 \text{ N/mm}^2$$

**6. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase***6.1 Berekening van de spanningen  $\sigma_p$  en  $\sigma_{pl}$  t.g.v. inwendige druk*

$$D_g/d_n = 227,20/22,80 = 9,96 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow \text{Dikwandige leiding}$$

$$\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$$

$$\sigma_p = \frac{125,00^2 + 102,20^2}{125,00^2 - 102,20^2} \cdot 0 = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{y1} = \sigma_p = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 0,00 = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \bar{\sigma}_t = 8,00 \text{ N/mm}^2$$

*6.2 Berekening reroundingfactor  $f_{rr}$* 

$$f_{rr} = 1 / \left( 1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w} \right)$$

$$f_{rr} = 1 / \left( 1 + \frac{2 \cdot 0 \cdot 113,6^3 \cdot 0,143}{1100 \cdot 987,70} \right) = 1,00$$

*6.3.1 Berekening van de neutrale grondbelasting  $Q_n$* 

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grondsoort	$q_{\text{droog}}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_{\text{nat}}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_n$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1e rechte deel	4,50	1,30	Zand	25,15	36,75	61,90	15,47
Neergaande bocht	16,20	1,30	Zand	25,15	185,52	210,67	52,67
2e rechte deel	16,20	1,30	Zand	23,52	191,75	215,27	53,82
w1	16,10	1,00	Zand	17,91	196,15	214,06	53,51
w2	14,90	0,00	Zand	0,00	189,62	189,62	47,40
w3	14,90	0,00	Zand	0,00	189,62	189,62	47,40
w4	16,00	1,00	Zand	17,92	194,85	212,77	53,19
spoor1	20,40	3,50	Zand	72,11	216,56	288,67	72,17
spoor2	20,50	3,50	Zand	72,73	221,58	294,30	73,58
A58-1	18,80	3,00	Zand	57,55	205,59	263,14	65,79
A58-2	18,30	3,00	Zand	57,55	199,08	256,64	64,16
N665-1	17,20	1,80	Zand	34,91	195,98	230,89	57,72
N665-2	16,30	1,80	Zand	35,64	179,26	214,90	53,73
Opgaande bocht	18,30	3,00	Zand	53,36	198,92	252,28	63,07
3e rechte deel	4,50	1,80	Zand	30,41	35,25	65,66	16,42

$$q_{\text{droog}} = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$$

$$q_{\text{nat}} = \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$Q_n = q_n \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot 250$$

6.3.2 Berekening van de gereduceerde neutrale grondbelasting  $Q_{nr}$ 

Locatie	h [m]	GWS [m]	$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]
Neergaande bocht	16,20	1,30	13,00
2e rechte deel	16,20	1,30	13,29
w1	16,10	1,00	13,30
w2	14,90	0,00	12,73
w3	14,90	0,00	12,73
w4	16,00	1,00	13,30
spoor1	20,40	3,50	14,15
spoor2	20,50	3,50	14,36
A58-1	18,80	3,00	14,00
A58-2	18,30	3,00	14,02
N665-1	17,20	1,80	13,42
N665-2	16,30	1,80	13,18
Opgaande bocht	18,30	3,00	13,79

$$\gamma' = \frac{\gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w}{h}$$

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	$B_1$ [m]	$8 \cdot B_1$ [m]	$q_{n,r}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_{n,r}$ [N/mm <sup>1</sup> ]
Neergaande bocht	Homogeen (zand)	0,39	3,12	17,21 <sup>(1)</sup>	4,30
2e rechte deel	Homogeen (zand)	0,39	3,12	17,58 <sup>(1)</sup>	4,40
w1	Homogeen (zand)	0,39	3,12	17,37 <sup>(1)</sup>	4,34
w2	Homogeen (zand)	0,39	3,12	16,62 <sup>(1)</sup>	4,16
w3	Homogeen (zand)	0,39	3,12	16,62 <sup>(1)</sup>	4,16
w4	Homogeen (zand)	0,39	3,12	17,37 <sup>(1)</sup>	4,34
spoor1	Homogeen (zand)	0,39	3,12	18,48 <sup>(1)</sup>	4,62
spoor2	Homogeen (zand)	0,39	3,12	18,75 <sup>(1)</sup>	4,69
A58-1	Homogeen (zand)	0,39	3,12	18,28 <sup>(1)</sup>	4,57
A58-2	Homogeen (zand)	0,39	3,12	18,32 <sup>(1)</sup>	4,58
N665-1	Homogeen (zand)	0,39	3,12	17,53 <sup>(1)</sup>	4,38
N665-2	Homogeen (zand)	0,39	3,12	17,22 <sup>(1)</sup>	4,31
Opgaande bocht	Homogeen (zand)	0,39	3,12	18,01 <sup>(1)</sup>	4,50

$$R = \frac{D_{gr}}{2} = \frac{780}{2} = 390 \text{ mm}$$

$$B_1 = \frac{1}{2} \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45^\circ - \frac{1}{2} \cdot \varphi) \geq R$$

$$K = 1 - \sin(\varphi)$$

Indien gereduceerde grondbelasting volgens berekeningswijze 'Homogeen (zand)': ( $h \geq 8 \cdot B_1$ ):

$$q_{n,r1} = \frac{B_1 \cdot (\gamma' - c/B_1)}{K \cdot \tan(\varphi)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{K \cdot h \cdot \tan \varphi}{B_1}}\right) \quad (1)$$

$$Q_{n,r} = q_{n,r} \cdot D_o = q_{n,r} \cdot 250$$

## 6.3.3 Overzicht berekende (gereduceerde) neutrale gronddrukken

Locatie	$q_n$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$q_{n,r}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_{n,r}$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1e rechte deel	61,90	15,47	-	-
Neergaande bocht	210,67	52,67	17,21	4,30
2e rechte deel	215,27	53,82	17,58	4,40
w1	214,06	53,51	17,37	4,34
w2	189,62	47,40	16,62	4,16
w3	189,62	47,40	16,62	4,16
w4	212,77	53,19	17,37	4,34
spoor1	288,67	72,17	18,48	4,62
spoor2	294,30	73,58	18,75	4,69
A58-1	263,14	65,79	18,28	4,57
A58-2	256,64	64,16	18,32	4,58
N665-1	230,89	57,72	17,53	4,38
N665-2	214,90	53,73	17,22	4,31
Opgaande bocht	252,28	63,07	18,01	4,50
3e rechte deel	65,66	16,42	-	-

6.4 Berekening van de verkeersbelasting  $Q_v$ 

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeersbelasting	$q_v$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1e rechte deel	4,50	Geen	0,00	0,00
Neergaande bocht	16,20	Geen	0,00	0,00
2e rechte deel	16,20	Geen	0,00	0,00
w1	16,10	Geen	0,00	0,00
w2	14,90	Geen	0,00	0,00
w3	14,90	Geen	0,00	0,00
w4	16,00	Geen	0,00	0,00
spoor1	20,40	Grafiek I	1,27	0,32
spoor2	20,50	Grafiek I	1,25	0,31
A58-1	18,80	Grafiek I	1,47	0,37
A58-2	18,30	Grafiek I	1,54	0,39
N665-1	17,20	Grafiek I	1,73	0,43
N665-2	16,30	Grafiek I	1,90	0,47
Opgaande bocht	18,30	Grafiek I	1,54	0,39
3e rechte deel	4,50	Geen	0,00	0,00

$$Q_v = q_v \cdot D_0 = q_v \cdot 250$$

## 6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_{n,r}$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_{boven}$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$M_q$ [Nmm]	$\sigma_q$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	15,47	-	0,00	15,47	451,79 <sup>(1)</sup>	5,21
Neergaande bocht	52,67	4,30	0,00	4,30	125,58 <sup>(2)</sup>	1,45
2e rechte deel	53,82	4,40	0,00	4,40	128,32 <sup>(2)</sup>	1,48
w1	53,51	4,34	0,00	4,34	126,75 <sup>(2)</sup>	1,46
w2	47,40	4,16	0,00	4,16	121,32 <sup>(2)</sup>	1,40
w3	47,40	4,16	0,00	4,16	121,32 <sup>(2)</sup>	1,40
w4	53,19	4,34	0,00	4,34	126,78 <sup>(2)</sup>	1,46
spoor1	72,17	4,62	0,32	4,94	144,14 <sup>(2)</sup>	1,66
spoor2	73,58	4,69	0,31	5,00	146,02 <sup>(2)</sup>	1,69
A58-1	65,79	4,57	0,37	4,94	144,17 <sup>(2)</sup>	1,66
A58-2	64,16	4,58	0,39	4,97	144,96 <sup>(2)</sup>	1,67
N665-1	57,72	4,38	0,43	4,81	140,57 <sup>(2)</sup>	1,62
N665-2	53,73	4,31	0,47	4,78	139,55 <sup>(2)</sup>	1,61
Opgaande bocht	63,07	4,50	0,39	4,89	142,69 <sup>(2)</sup>	1,65
3e rechte deel	16,42	-	0,00	16,42	479,27 <sup>(1)</sup>	5,53

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 113,60 \quad (1)$$

$$M_q = K_b \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 113,60 \quad (2)$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{86,64}$$

6.6 Optredende spanning  $\sigma_{qr}$  t.g.v. grondreactie in de bochten

Locatie	R [m]	$Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{qr}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Neergaande bocht	275,0	0,0031	0,20

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,179 \cdot Q_r \cdot 250 \cdot \frac{125,00}{86,64}$$

6.7 Berekening van de spanning  $\sigma_{ax}$  t.g.v. temperatuurverschil

$$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$$

$$\sigma_{ax} = 30 \cdot 0,0002 \cdot 1100 = 6,60 \text{ N/mm}^2$$

7. Toetsing op minimale ringstijfheid  $S_N$ 

$$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$$

$$S_N = 1100 \cdot \frac{987,70}{227,2^3} = 0,0926 \text{ N/mm}^2 = 92,64 \text{ kN/m}^2$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m<sup>2</sup>



**8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk**Veiligheidsfactor  $\gamma$  voor langdurige onderdruk:  $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor  $\gamma$  voor kortdurende onderdruk:  $\gamma = 1,5$ 

$$p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot l_w}{D_g^3}$$

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 1.100,00 \cdot 987,70}{227,20^3} = 1,76 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 200,00 \cdot 987,70}{227,20^3} = 0,16 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **16,04 m** grondwater boven de leiding**9. Berekening van het totaal aan optredende spanningen***9.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding*

Locatie	$\sigma_q$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{qr}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_\sigma$ [-]	$\sigma_{y2}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	5,21	-	0,65	<b>3,39</b>
Neergaande bocht	1,45	0,20	0,65	<b>1,07</b>
2e rechte deel	1,48	-	0,65	<b>0,96</b>
w1	1,46	-	0,65	<b>0,95</b>
w2	1,40	-	0,65	<b>0,91</b>
w3	1,40	-	0,65	<b>0,91</b>
w4	1,46	-	0,65	<b>0,95</b>
spoor1	1,66	-	0,65	<b>1,08</b>
spoor2	1,69	-	0,65	<b>1,10</b>
A58-1	1,66	-	0,65	<b>1,08</b>
A58-2	1,67	-	0,65	<b>1,09</b>
N665-1	1,62	-	0,65	<b>1,05</b>
N665-2	1,61	-	0,65	<b>1,05</b>
Opgaande bocht	1,65	-	0,65	<b>1,07</b>
3e rechte deel	5,53	-	0,65	<b>3,60</b>

Rechte delen:  $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ Bochten:  $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$ Toelaatbare spanning:  $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = 8,00 \text{ N/mm}^2$

## 9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

Locatie	$\sigma_{pl}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{ax}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_{\sigma}$ [-]	$\sigma_x$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	0,00	6,60	-	-	6,60
Neergaande bocht	0,00	6,60	0,78	0,65	7,11
2e rechte deel	0,00	6,60	-	-	6,60
w1	0,00	6,60	-	-	6,60
w2	0,00	6,60	-	-	6,60
w3	0,00	6,60	-	-	6,60
w4	0,00	6,60	-	-	6,60
spoor1	0,00	6,60	-	-	6,60
spoor2	0,00	6,60	-	-	6,60
A58-1	0,00	6,60	-	-	6,60
A58-2	0,00	6,60	-	-	6,60
N665-1	0,00	6,60	-	-	6,60
N665-2	0,00	6,60	-	-	6,60
Opgaande bocht	0,00	6,60	-	-	6,60
3e rechte deel	0,00	6,60	-	-	6,60

Rechte delen:  $\sigma_x = \sigma_{pl} + \sigma_{ax}$

Bochten:  $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_A \cdot \sigma_b + \sigma_{ax}$

Toelaatbare spanning:  $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = 8,00$  N/mm<sup>2</sup>

## 10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_{n,r}$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\delta_y$ [mm]	$\delta_y/D_g$ [%]
1e rechte deel	15,47	-	0,00	-	5,17 <sup>(1)</sup>	2,28
Neergaande bocht	52,67	4,30	0,00	0,0031	1,93 <sup>(2)</sup>	0,63
2e rechte deel	53,82	4,40	0,00	-	1,97 <sup>(2)</sup>	0,65
w1	53,51	4,34	0,00	-	2,04 <sup>(2)</sup>	0,69
w2	47,40	4,16	0,00	-	1,95 <sup>(2)</sup>	0,66
w3	47,40	4,16	0,00	-	1,95 <sup>(2)</sup>	0,66
w4	53,19	4,34	0,00	-	2,04 <sup>(2)</sup>	0,69
spoor1	72,17	4,62	0,32	-	2,24 <sup>(2)</sup>	0,76
spoor2	73,58	4,69	0,31	-	2,27 <sup>(2)</sup>	0,77
A58-1	65,79	4,57	0,37	-	2,23 <sup>(2)</sup>	0,75
A58-2	64,16	4,58	0,39	-	2,24 <sup>(2)</sup>	0,76
N665-1	57,72	4,38	0,43	-	2,16 <sup>(2)</sup>	0,73
N665-2	53,73	4,31	0,47	-	2,13 <sup>(2)</sup>	0,72
Opgaande bocht	63,07	4,50	0,39	-	2,20 <sup>(2)</sup>	0,74
3e rechte deel	16,42	-	0,00	-	5,91 <sup>(1)</sup>	2,60

$$\delta_y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (1)$$

$$\delta_y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 113,60^3}{200 \cdot 987,70}$$

$$\delta_y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{h,r} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (2)$$

$$\delta_y = \frac{(0,089 \cdot (Q_{n,r} + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot \frac{(1 - \sin \varphi)}{(1 + \sin \varphi)} \cdot (Q_{n,r} + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 113,60^3}{200 \cdot 987,70}$$

Toelaatbare deflectie = 8% · D<sub>g</sub> = 0,08 · 227,20 = 18,18 mm

**11. Berekening van de boorspoeldrukken**

Locatie	H [m]	$\sigma_{vert}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{hor}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_o'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$p'_r$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$E_{100}$ [MN/m <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	4,50	45,60	21,10	33,35	51,27	35,40
Neergaande bocht	16,20	148,25	68,60	108,42	166,68	65,32
2e rechte deel	16,20	152,05	70,35	111,20	170,95	66,02
w1	16,10	150,70	64,26	107,48	169,13	109,73
w2	14,90	130,85	55,80	93,32	146,85	103,28
w3	14,90	130,85	55,80	93,32	146,85	103,28
w4	16,00	149,81	63,88	106,85	168,13	109,40
spoor1	20,40	209,24	89,22	149,23	234,83	127,43
spoor2	20,50	213,72	91,14	152,43	239,86	128,66
A58-1	18,80	190,05	81,04	135,55	213,29	121,66
A58-2	18,30	185,54	79,12	132,33	208,23	120,15
N665-1	17,20	164,09	69,97	117,03	184,16	113,96
N665-2	16,30	152,44	65,00	108,72	171,08	109,95
Opgaande bocht	18,30	181,94	77,58	129,76	204,19	119,12
3e rechte deel	4,50	49,58	21,14	35,36	55,65	60,77

$$\sigma_{vert} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$\sigma_{hor} = \sigma_{vert} \cdot (1 - \sin(\varphi))$$

$$\sigma_o' = \frac{\sigma_{vert} + \sigma_{hor}}{2}$$

$$p'_r = \sigma_o' \cdot (1 + \sin(\varphi)) + c \cdot \cos(\varphi)$$

$$E_{100, norm} = E_{100} \cdot (q_n/100)^m \quad (\text{Zand/Leem/Grind} \rightarrow m = 0,5; \text{Veen/Klei} \rightarrow m = 0,8)$$

Locatie	G [MN/m <sup>2</sup> ]	Q [-]	u [N/mm <sup>2</sup> ]	v [-]	p <sub>lim</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	90% p <sub>lim</sub> [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1</span>
1e rechte deel	19,01	0,00094	0,0320	0,3163	0,62	5,56
Neergaande bocht	35,08	0,0017	0,1490	0,3163	1,71	15,39
2e rechte deel	35,46	0,0017	0,1490	0,3163	1,74	15,68
w1	56,69	0,0011	0,1510	0,2989	2,19	19,67
w2	53,36	0,0010	0,1490	0,2989	1,97	17,71
w3	53,36	0,0010	0,1490	0,2989	1,97	17,71
w4	56,52	0,0011	0,1500	0,2989	2,17	19,57
spoor1	65,83	0,0013	0,1690	0,2989	2,82	25,34
spoor2	66,47	0,0013	0,1700	0,2989	2,86	25,76
A58-1	62,86	0,0012	0,1580	0,2989	2,61	23,46
A58-2	62,07	0,0012	0,1530	0,2989	2,55	22,98
N665-1	58,88	0,0011	0,1540	0,2989	2,33	20,98
N665-2	56,80	0,0011	0,1450	0,2989	2,20	19,76
Opgaande bocht	61,55	0,0012	0,1530	0,2989	2,52	22,64
3e rechte deel	31,40	0,00065	0,0270	0,2989	0,84	7,53

$$G = \frac{E_{100, \text{norm}}}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

$$Q = \frac{\sigma'_0 \cdot \sin(\varphi) + c \cdot \cos(\varphi)}{G}$$

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$K = 1 - \sin(\varphi)$$

$$\nu = \frac{K}{1 + K}$$

$$p_{\text{lim}} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

## 11.1 Tijdens pilot

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	$\Delta h_{in}$ [m]	$p_{max}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{max}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2</span>	$p_{min}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{min}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</span>
1e rechte deel	0,88	4,53	0,29	<b>2,85</b>	0,06	<b>0,56</b>
Neergaande bocht	0,66	16,55	0,82	<b>8,24</b>	0,21	<b>2,14</b>
2e rechte deel	0,65	16,55	0,84	<b>8,38</b>	0,27	<b>2,74</b>
w1	0,82	16,55	1,00	<b>10,00</b>	0,30	<b>2,95</b>
w2	0,85	16,55	0,91	<b>9,08</b>	0,30	<b>2,96</b>
w3	0,85	16,55	0,91	<b>9,08</b>	0,30	<b>2,96</b>
w4	0,82	16,55	0,99	<b>9,95</b>	0,30	<b>2,97</b>
spoor1	0,75	16,55	1,27	<b>12,73</b>	0,31	<b>3,06</b>
spoor2	0,74	16,55	1,29	<b>12,93</b>	0,31	<b>3,08</b>
A58-1	0,76	16,55	1,18	<b>11,80</b>	0,31	<b>3,11</b>
A58-2	0,77	16,55	1,15	<b>11,54</b>	0,32	<b>3,18</b>
N665-1	0,80	16,55	1,06	<b>10,63</b>	0,32	<b>3,23</b>
N665-2	0,81	16,55	1,00	<b>10,01</b>	0,33	<b>3,27</b>
Opgaande bocht	0,77	16,55	1,14	<b>11,39</b>	0,33	<b>3,34</b>
3e rechte deel	1,06	3,52	0,36	<b>3,65</b>	0,21	<b>2,10</b>

$$R_{p,max} = \frac{H}{2}; R_{p,max,zand} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot \varepsilon_{g,max}} \text{ of } \frac{H}{2}$$

$$R_o = \frac{D_p}{2} = \frac{170}{2} = 85 \text{ mm}$$

$$p_{max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left( \frac{R_o^2}{R_{p,max}} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

$$v_{m,p} = \frac{Q_{m,p}}{A_p} = \frac{100}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - D_b^2)} = \frac{100}{1/4 \cdot \pi \cdot (170^2 - 114^2)} = 0,133 \text{ m/s}$$

$$p_{min} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_p \cdot v_{m,p}}{(D_p - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,p}}{D_p - D_b} \right) \cdot L + \rho_{m,p} \cdot \Delta h_{in}$$

## 11.2 Tijdens ruimgang

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	$\Delta h_{uit}$ [m]	$P_{max}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$P_{max}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">4</span>	$P_{min}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$P_{min}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">5</span>
3e rechte deel	2,25	3,94	0,23	<b>2,25</b>	0,05 <sup>(1)</sup>	<b>0,46</b>
Opgaande bocht	3,55	16,97	1,14	<b>11,39</b>	0,20 <sup>(1)</sup>	<b>1,98</b>
N665-2	3,72	16,97	1,00	<b>10,01</b>	0,20 <sup>(1)</sup>	<b>1,98</b>
N665-1	3,65	16,97	1,06	<b>10,63</b>	0,20 <sup>(1)</sup>	<b>1,98</b>
A58-2	3,53	16,97	1,15	<b>11,54</b>	0,20 <sup>(1)</sup>	<b>1,99</b>
A58-1	3,51	16,97	1,18	<b>11,80</b>	0,20 <sup>(1)</sup>	<b>1,99</b>
spoor2	3,40	16,97	1,29	<b>12,93</b>	0,20 <sup>(1)</sup>	<b>2,00</b>
spoor1	3,42	16,97	1,27	<b>12,73</b>	0,20 <sup>(1)</sup>	<b>2,00</b>
w4	3,75	16,97	0,99	<b>9,95</b>	0,20 <sup>(1)</sup>	<b>2,01</b>
w3	3,89	16,97	0,91	<b>9,08</b>	0,20 <sup>(1)</sup>	<b>2,01</b>
w2	3,89	16,97	0,91	<b>9,08</b>	0,20 <sup>(1)</sup>	<b>2,01</b>
w1	3,74	16,97	1,00	<b>10,00</b>	0,20 <sup>(1)</sup>	<b>2,01</b>
2e rechte deel	3,00	16,97	0,84	<b>8,38</b>	0,20 <sup>(1)</sup>	<b>2,02</b>
Neergaande bocht	3,03	16,97	0,82	<b>8,24</b>	0,21 <sup>(1)</sup>	<b>2,07</b>
1e rechte deel	2,25	4,95	0,20	<b>2,05</b>	0,06 <sup>(2)</sup>	<b>0,56</b>

$$R_o = \frac{D_{g,r}}{2} = \frac{780}{2} = 390 \text{ mm}$$

$$v_{m,r,uit} = \frac{Q_{m,r}}{A_r} = \frac{500}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_b^2)} = \frac{500}{1/4 \cdot \pi \cdot (780^2 - 114^2)} = 0,018 \text{ m/s}$$

$$v_{m,r,in} = \frac{Q_{m,r}}{A_p} = \frac{500}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - D_b^2)} = \frac{500}{1/4 \cdot \pi \cdot (170^2 - 114^2)} = 0,667 \text{ m/s}$$

$$p_{min,uit} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_r \cdot v_{m,r,uit}}{(D_{g,r} - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,r}}{D_{g,r} - D_b} \right) \cdot (L_{tot} - L) + \rho_{m,r} \cdot \Delta h_{uit} \quad (1)$$

$$p_{min,in} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_r \cdot v_{m,r,in}}{(D_p - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,r}}{D_p - D_b} \right) \cdot L + \rho_{m,r} \cdot \Delta h_{in} \quad (2)$$

## 11.3 Tijdens intrekken

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	$\Delta h_{uit}$ [m]	$P_{max}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$P_{max}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">6</span>	$P_{min}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$P_{min}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">7</span>
3e rechte deel	2,25	3,94	0,23	<b>2,25</b>	0,05 <sup>(1)</sup>	<b>0,46</b>
Opgaande bocht	3,55	16,97	1,14	<b>11,39</b>	0,20 <sup>(1)</sup>	<b>2,01</b>
N665-2	3,72	16,97	1,00	<b>10,01</b>	0,20 <sup>(2)</sup>	<b>2,02</b>
N665-1	3,65	16,97	1,06	<b>10,63</b>	0,20 <sup>(2)</sup>	<b>2,01</b>
A58-2	3,53	16,97	1,15	<b>11,54</b>	0,20 <sup>(2)</sup>	<b>2,01</b>
A58-1	3,51	16,97	1,18	<b>11,80</b>	0,20 <sup>(2)</sup>	<b>2,00</b>
spoor2	3,40	16,97	1,29	<b>12,93</b>	0,20 <sup>(2)</sup>	<b>2,00</b>
spoor1	3,42	16,97	1,27	<b>12,73</b>	0,20 <sup>(2)</sup>	<b>2,00</b>
w4	3,75	16,97	0,99	<b>9,95</b>	0,20 <sup>(2)</sup>	<b>1,99</b>
w3	3,89	16,97	0,91	<b>9,08</b>	0,20 <sup>(2)</sup>	<b>1,99</b>
w2	3,89	16,97	0,91	<b>9,08</b>	0,20 <sup>(2)</sup>	<b>1,99</b>
w1	3,74	16,97	1,00	<b>10,00</b>	0,20 <sup>(2)</sup>	<b>1,99</b>
2e rechte deel	3,00	16,97	0,84	<b>8,38</b>	0,20 <sup>(2)</sup>	<b>1,97</b>
Neergaande bocht	3,03	16,97	0,82	<b>8,24</b>	0,19 <sup>(2)</sup>	<b>1,92</b>
1e rechte deel	2,25	4,95	0,20	<b>2,05</b>	0,05 <sup>(2)</sup>	<b>0,52</b>

$$D_{eq} = \sqrt{\sum_{i=1}^n D_{0,i}^2} = 500 \text{ mm}$$

$$R_o = \frac{D_{g,r}}{2} = \frac{780}{2} = 390 \text{ mm}$$

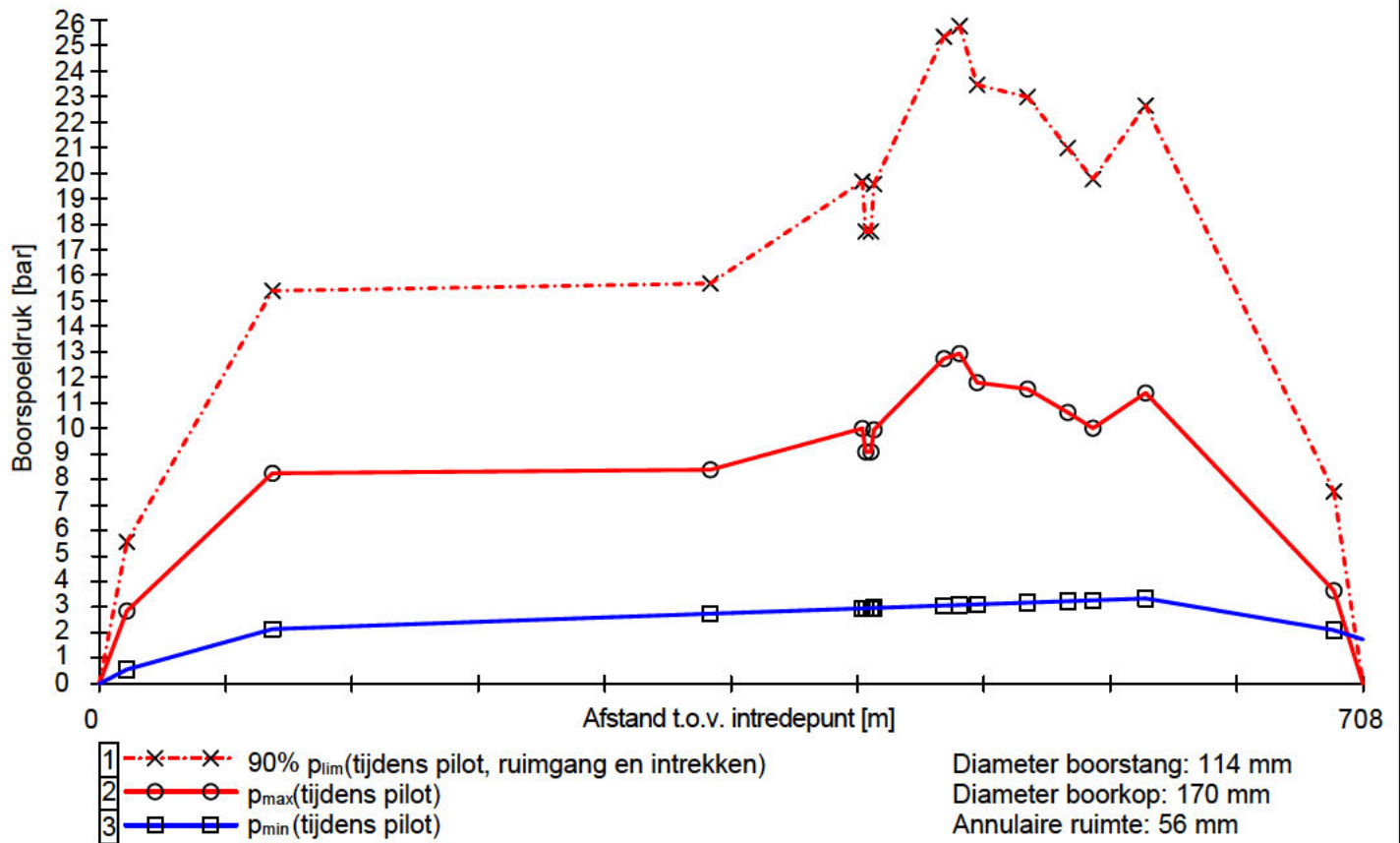
$$v_{m,i,uit} = \frac{Q_{m,i}}{A_i} = \frac{300}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_{eq}^2)} = \frac{300}{1/4 \cdot \pi \cdot (780^2 - 500^2)} = 0,018 \text{ m/s}$$

$$p_{min,uit} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_i \cdot v_{m,i,uit}}{(D_{g,r} - D_{eq})^2} + \frac{\tau_{y,i}}{D_{g,r} - D_{eq}} \right) \cdot (L_{tot} - L) + \rho_{m,i} \cdot \Delta h_{uit} \quad (1)$$

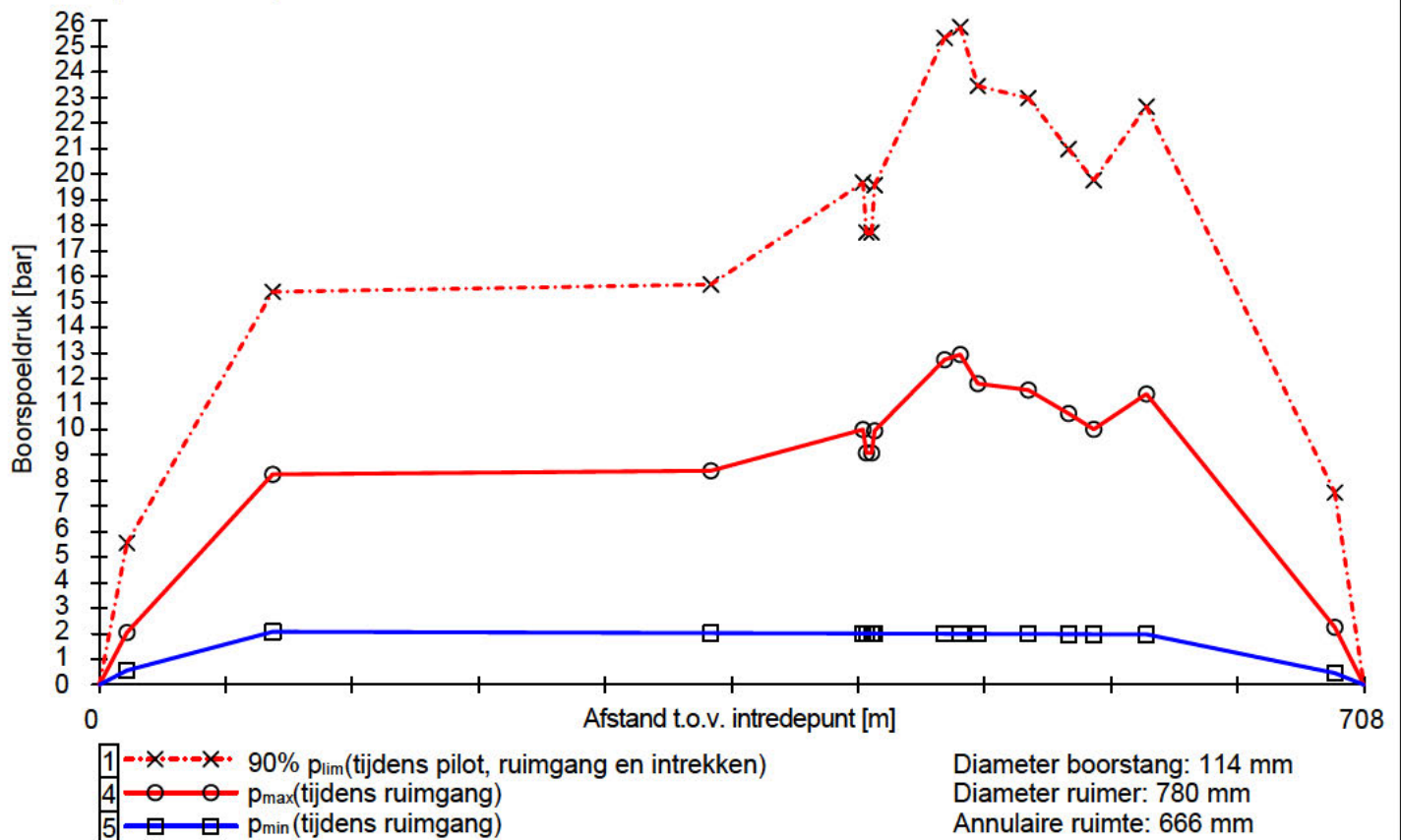
$$p_{min,in} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_i \cdot v_{m,in}}{(D_{g,r} - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,i}}{D_{g,r} - D_b} \right) \cdot L + \rho_{m,i} \cdot \Delta h_{in} \quad (2)$$



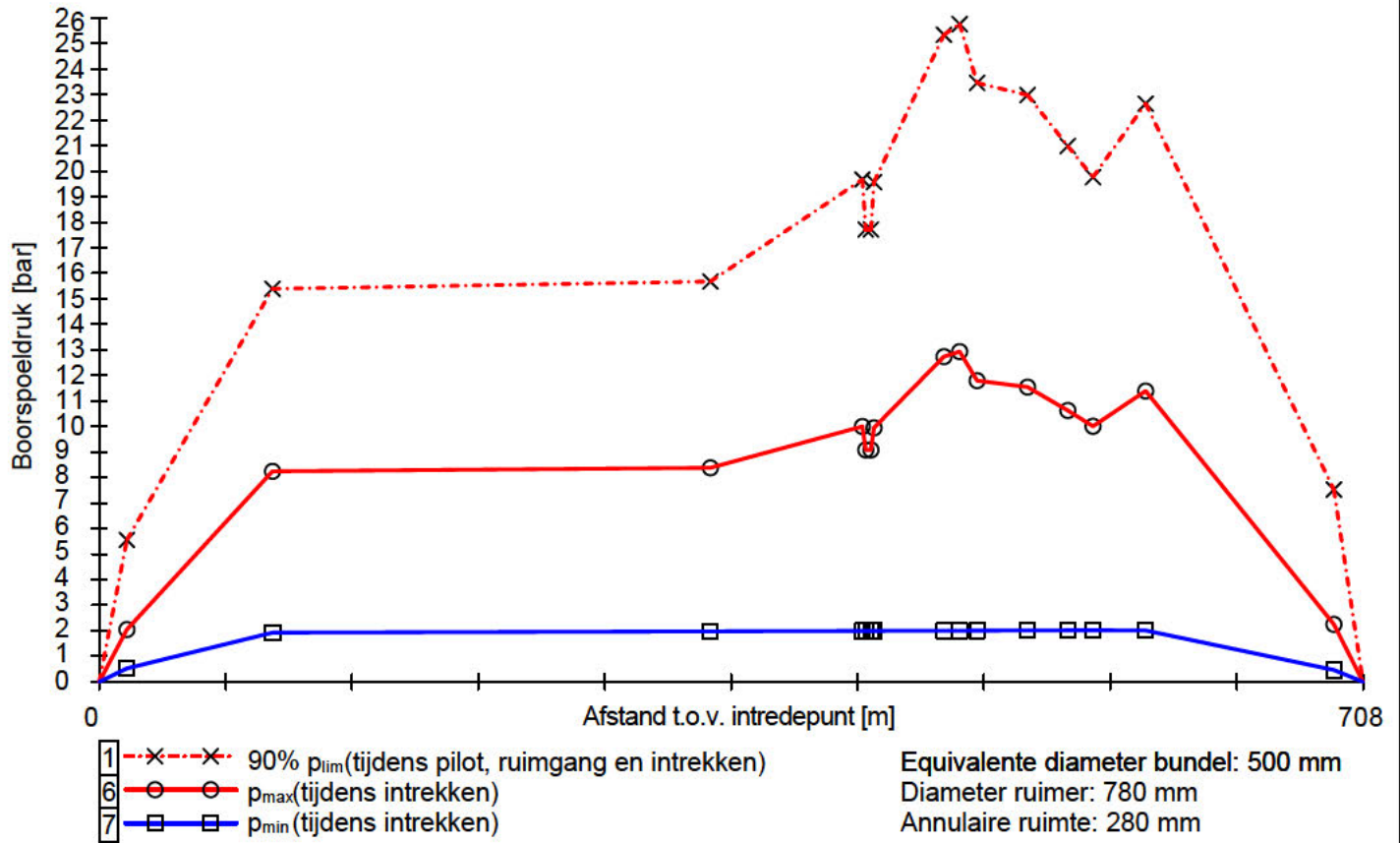
11.4 Boorspoeldrukken tijdens pilot



11.5 Boorspoeldrukken tijdens ruimen

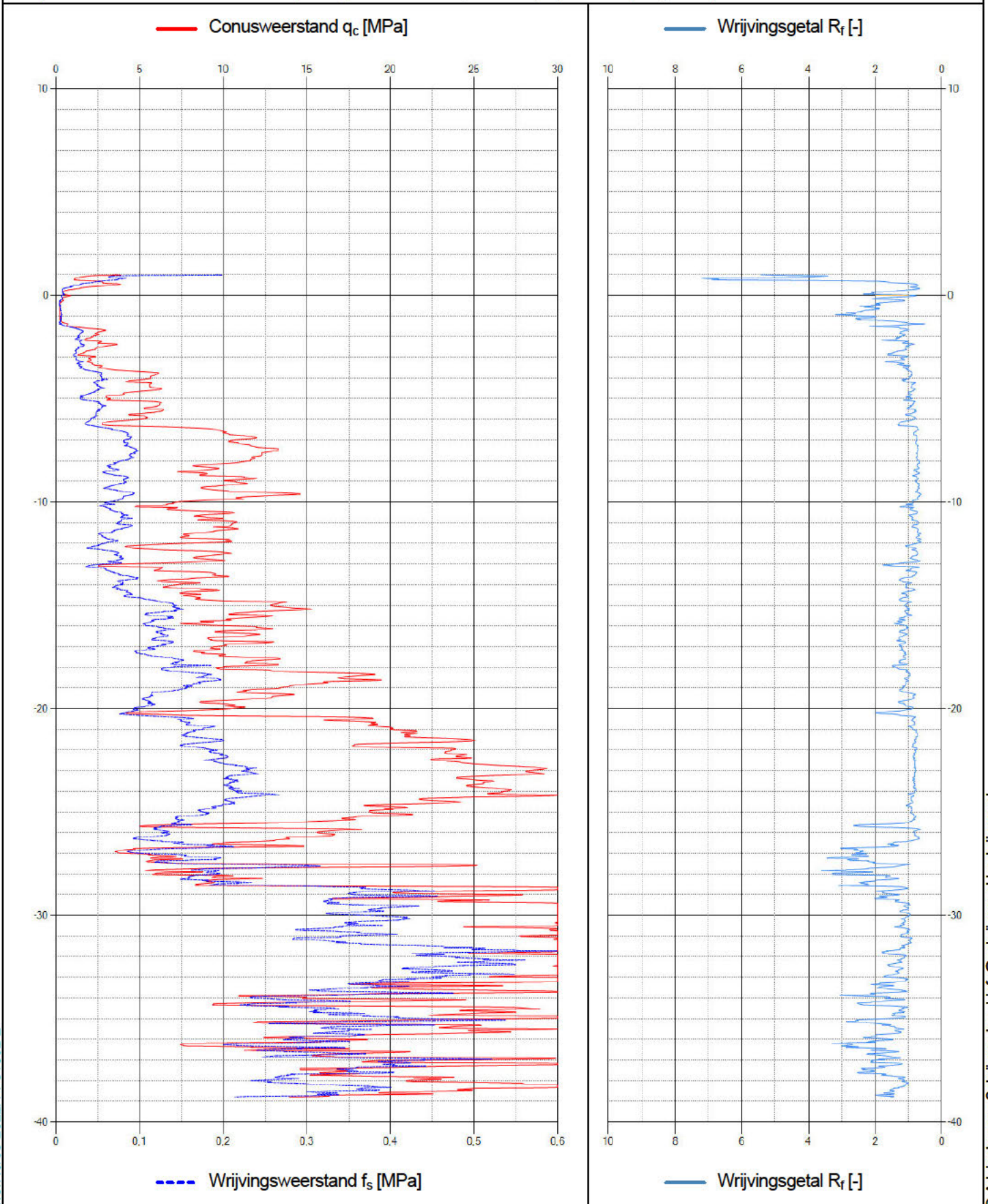


11.6 Boorspoeldrukken tijdens intrekken



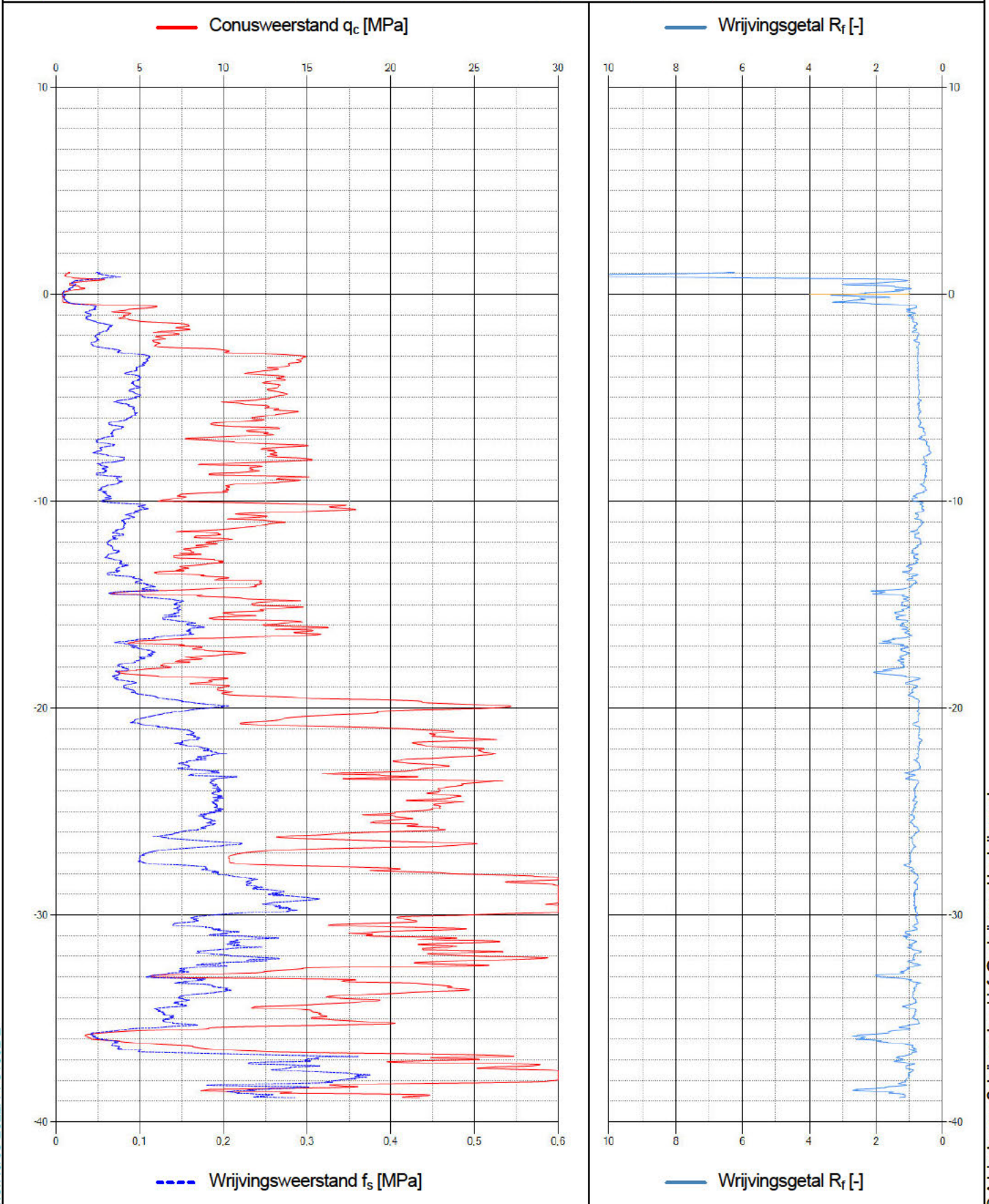
Naam van het project : TenneT Nederwiek 1

Projectonderdeel : HDDN12 Rijksweg A58 Ø250mm, SDR 11 (blijvend 100pct gevuld)



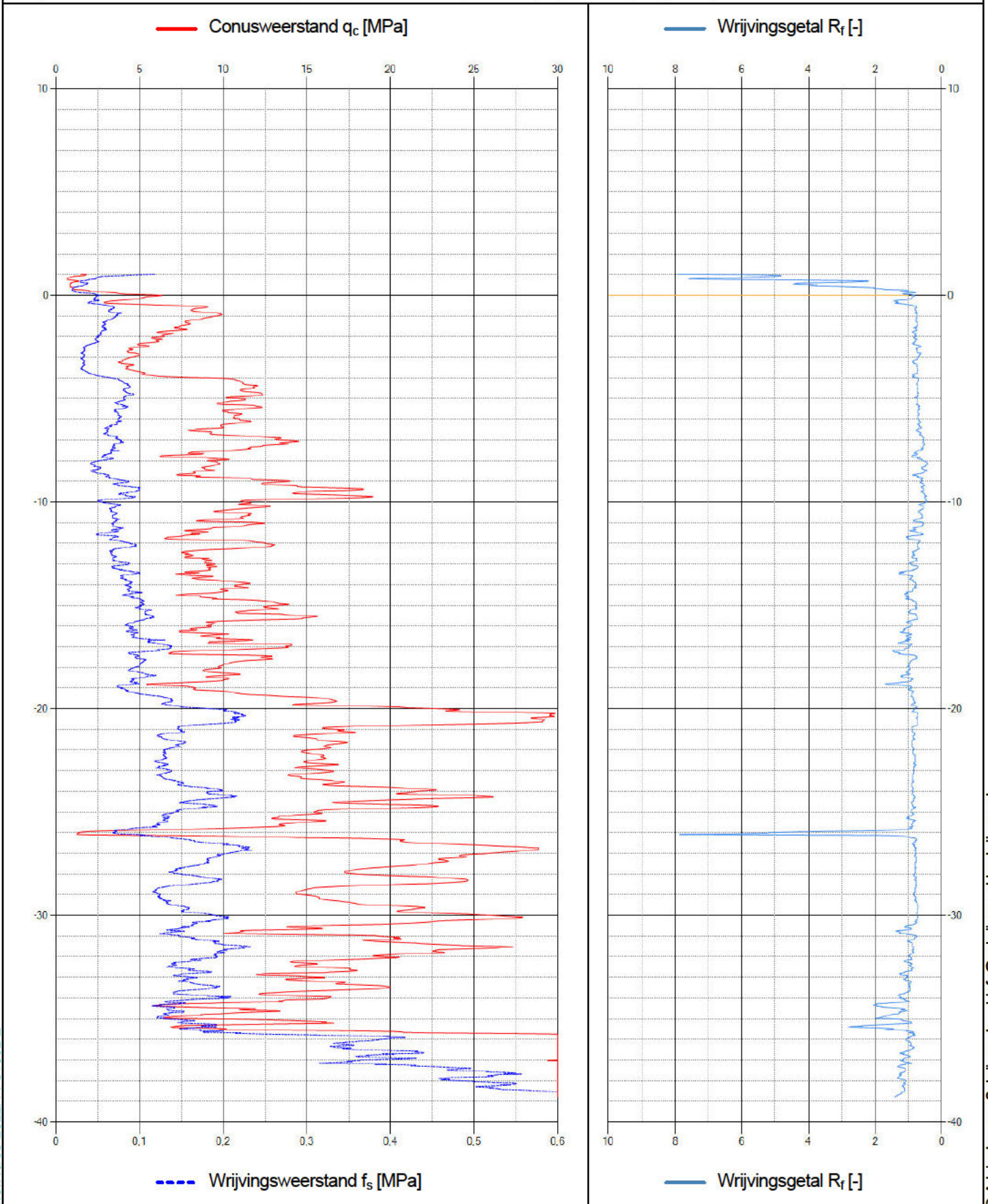
Naam van het project : TenneT Nederwiek 1

Projectonderdeel : HDDN12 Rijksweg A58 Ø250mm, SDR 11 (blijvend 100pct gevuld)



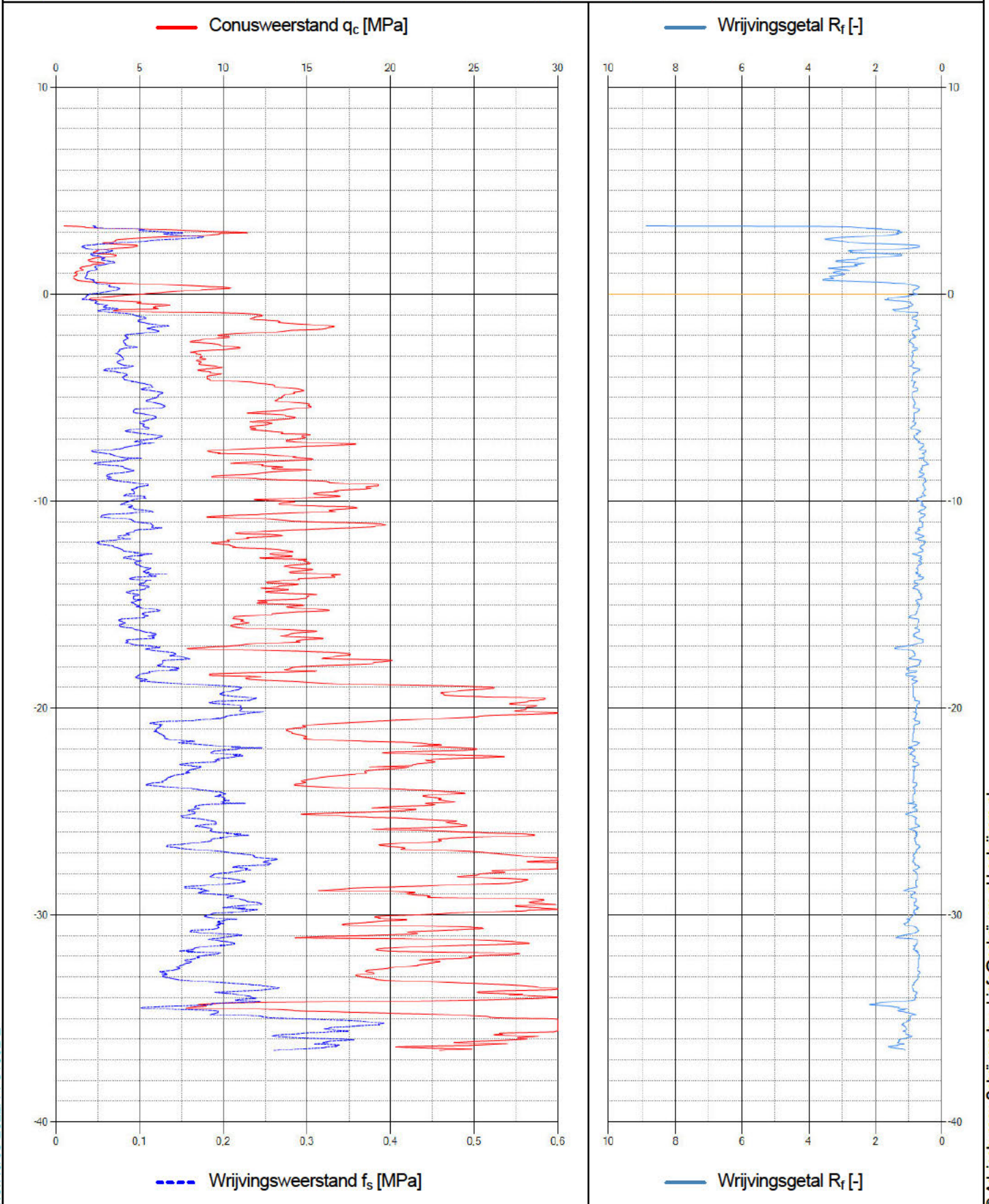
Naam van het project : TenneT Nederwiek 1

Projectonderdeel : HDDN12 Rijksweg A58 Ø250mm, SDR 11 (blijvend 100pct gevuld)



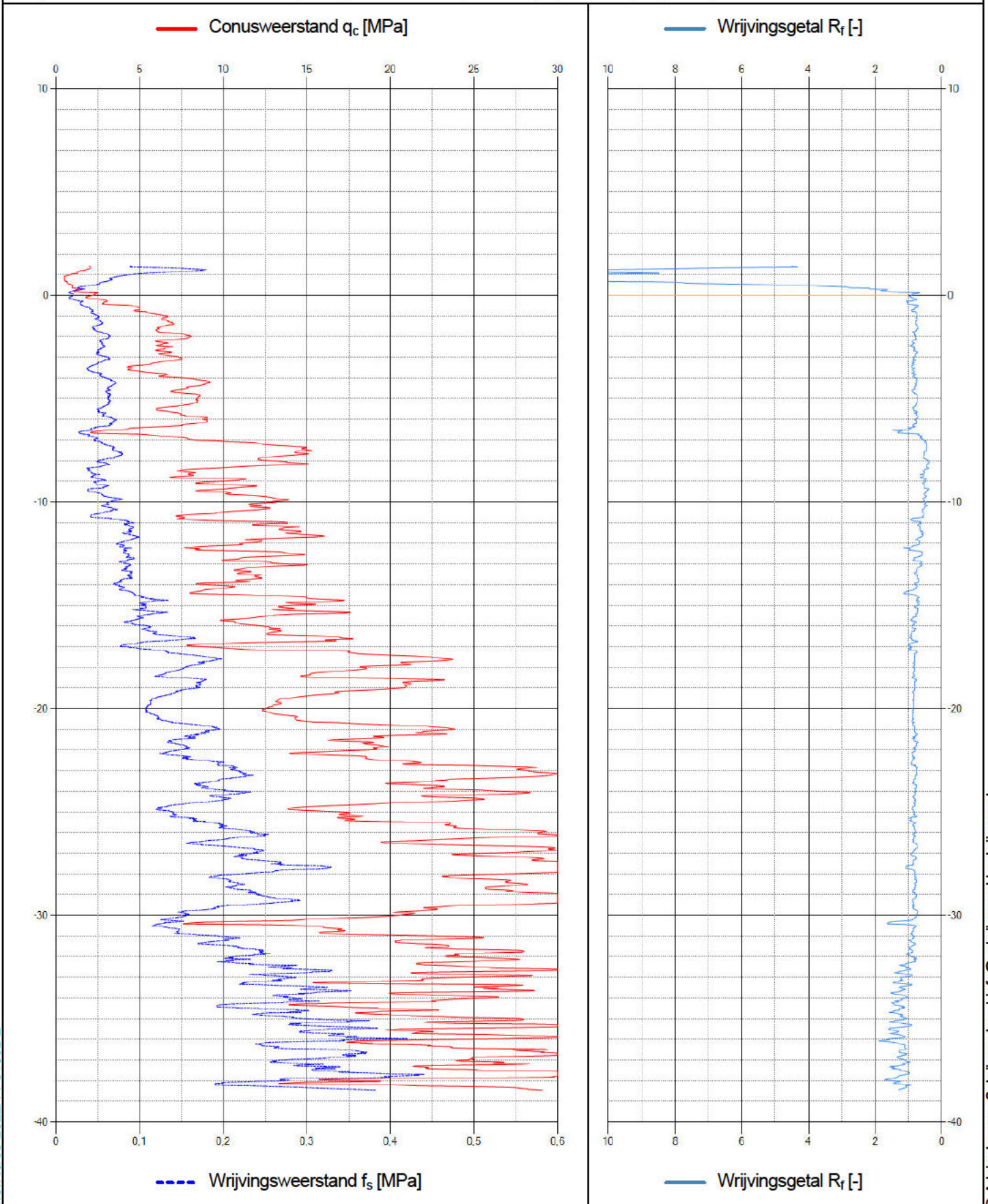
Naam van het project : TenneT Nederwiek 1

Projectonderdeel : HDDN12 Rijksweg A58 Ø250mm, SDR 11 (blijvend 100pct gevuld)



Naam van het project : TenneT Nederwiek 1

Projectonderdeel : HDDN12 Rijksweg A58 Ø250mm, SDR 11 (blijvend 100pct gevuld)



Bijlage J : Sterkteberekening HDDN21 – Kruising Quarlespolderweg



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2022 1.3 ©	
<b>Algemene gegevens</b>			
Naam van het project	: TenneT Nederwiek 1		
Projectonderdeel	: HDDN21 Quarlespolderweg en Bernhardweg West Ø250mm, SDR 11 (blijvend 100pct gevuld)		
<b>Materiaalgegevens</b>			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm <sup>2</sup>
Materiaalfactor	$\gamma_M$	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 1.100	N/mm <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 200	N/mm <sup>2</sup>
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	$\alpha_g$	= 20,0·10 <sup>-5</sup>	mm/(mm·K)
Alfa Tangentieel / Alfa Axiaal	$\alpha_\sigma$	= 0,65	-
Soortelijk gewicht buis	$\rho_L$	= 9,55	kN/m <sup>3</sup>
Toelaatbare deflectie	$\delta$	= 8,00	%
<b>Leidinggegevens</b>			
Uitwendige middellijn	D <sub>e</sub>	= 250,00	mm
Wanddikte	d <sub>n</sub>	= 22,8	mm
<b>Procesgegevens</b>			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Ontwerpdruk	p <sub>d</sub>	= 0	N/mm <sup>2</sup>
Volumieke massa medium	$\rho$	= 1000	kg/m <sup>3</sup>
Temperatuurverschil	$\Delta t$	= 30	°
<b>Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken</b>			
Totale lengte	L	= 995,51	m
Lengte 1e rechte deel	L <sub>1</sub>	= 15,01	m
Lengte neergaande bocht	L <sub>2</sub>	= 64,50	m
Lengte 2e rechte deel	L <sub>3</sub>	= 835,00	m
Lengte opgaande bocht	L <sub>4</sub>	= 60,50	m
Lengte 3e rechte deel	L <sub>5</sub>	= 20,50	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R <sub>r</sub>	= 250,00	m
Straal neergaande bocht	R <sub>1</sub>	= 250,00	m
Straal opgaande bocht	R <sub>2</sub>	= 250,00	m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	$\alpha_1$	= 15,00 / 26,79	° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	$\alpha_2$	= 13,00 / 23,09	° / %
Belastinghoek	$\alpha$	= 30	°
Ondersteuningshoek	$\beta$	= 30	°
Horizontale steundrukhoek	$\gamma$	= 120	°
Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	$\gamma$	= 1,1	
<p>The diagram illustrates the layout of a horizontal borehole. It starts with a horizontal segment of length L<sub>1</sub> at an angle <math>\alpha_1</math> to the horizontal. This is followed by a downward curve of length L<sub>2</sub> with radius R<sub>1</sub>. A horizontal segment of length L<sub>3</sub> follows, then an upward curve of length L<sub>4</sub> with radius R<sub>2</sub>. Finally, there is a horizontal segment of length L<sub>5</sub> that ends at an angle <math>\alpha_2</math> to the horizontal. The total length of the borehole is L. A radius R<sub>r</sub> is also indicated for the final horizontal segment.</p>			

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020				Sigma 2022 1.3 ©			
Uitvoeringsaspecten							
Diameter boorstang		$D_b$	= 114	mm			
<i>Tijdens pilot</i>							
Diameter boorkop/boorgat		$D_p$	= 215	mm			
Soortelijk gewicht boorvloeistof		$\rho_{m,p}$	= 11,5	kN/m <sup>3</sup>			
Zwichtspanning boorvloeistof		$\tau_{y,p}$	= 13,4	Pa			
Plastische viscositeit boorvloeistof		$\eta_p$	= 0,009	Pa·s			
Debiet boorvloeistof		$Q_{m,p}$	= 600	l/min			
<i>Tijdens ruimgang</i>							
Boorstangen koppelen tijden ruimen							
Diameter ruimer/boorgat		$D_{g,r}$	= 780	mm			
Soortelijk gewicht boorvloeistof		$\rho_{m,r}$	= 11,5	kN/m <sup>3</sup>			
Zwichtspanning boorvloeistof		$\tau_{y,r}$	= 13,4	Pa			
Plastische viscositeit boorvloeistof		$\eta_r$	= 0,009	Pa·s			
Debiet boorvloeistof		$Q_{m,r}$	= 2000,0	l/min			
<i>Tijdens intrekken</i>							
Equivalente diameter bundel		$D_{eq}$	= 500	mm			
Soortelijk gewicht boorvloeistof		$\rho_{m,i}$	= 11,5	kN/m <sup>3</sup>			
Zwichtspanning boorvloeistof		$\tau_{y,i}$	= 13,4	Pa			
Plastische viscositeit boorvloeistof		$\eta_i$	= 0,009	Pa·s			
Debiet boorvloeistof		$Q_{m,i}$	= 1400	l/min			
Aantal buizen in de bundel		$n$	= 4				
De bundelbuizen worden niet gekoppeld							
Gewicht vulling/extra gewicht op rollenbaan		$g_{vul, r}$	= 0,328	N/mm <sup>1</sup>			
Gewicht vulling/extra gewicht tpv boorgang		$g_{vul, b}$	= 0,328	N/mm <sup>1</sup>			
Onzekerheids- en wrijvingsfactoren							
Totaalfactor bij boring met bundels		$f$	= 1,8				
Belastingfactor, bovengronds		$f_{k,b}$	= 1,1				
Belastingfactor, ondergronds		$f_{k,o}$	= 1,4				
Onzekerheidsfactor straal, ondergronds		$f_{r,o}$	= 0,9				
Wrijvingscoëff. met rollenbaan		$f_1$	= 0,1				
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof		$f_2$	= 0,00005	N/mm <sup>2</sup>			
Wrijving tussen leiding/boorgangwand		$f_3$	= 0,2				
Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting							
Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grondsoort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m <sup>3</sup> ]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m <sup>3</sup> ]	Wrijvingshoek grond [°]
1e rechte deel	14,5	4,50	2,00	Zand	19,31	20,91	35,00
Neergaande bocht	79	11,00	2,00	Zand	19,31	20,98	35,00
Bernhardweg West	126,4	11,70	2,00	Zand	19,23	20,98	35,00
Beschermzone B	135,5	11,90	2,00	Zand	19,23	20,97	32,50
Waterstaatswerk-1	149,7	13,40	2,50	Zand	19,39	20,97	35,00
Waterstaatswerk-2	163,8	11,50	1,90	Zand	19,19	20,98	35,00
Beschermzone A	178	10,10	1,90	Zand	17,09	20,93	35,00
Beschermzone B	234,5	10,00	1,00	Zand	15,21	20,91	35,00
2e rechte deel	495,5	13,50	1,50	Klei	17,76	15,39	22,50
Opgaande bocht	914	12,00	1,90	Klei	18,00	15,09	22,50
3e rechte deel	974,5	4,50	1,90	Klei	17,67	14,32	15,00
						29-11-2022 12:32:49	

Locatie	Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm <sup>3</sup> ]	Effectieve cohesie [kN/m <sup>2</sup> ]	E-modulus ondergrond [MN/m <sup>2</sup> ]	Verkeersbelasting
1e rechte deel	-	0,00	75,00	Geen
Neergaande bocht	0,0490	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
Bernhardweg West	-	0,00	75,00	Grafiek I
Beschermzone B	-	0,00	45,00	Grafiek ½ x II
Waterstaatswerk-1	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
Waterstaatswerk-2	-	0,00	75,00	Grafiek I
Beschermzone A	-	0,00	75,00	Grafiek I
Beschermzone B	-	0,00	75,00	Geen
2e rechte deel	-	0,00	1,50	Geen
Opgaande bocht	-	0,00	1,50	Geen
3e rechte deel	0,0110	1,00	0,50	Geen

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Sondering
1e rechte deel	Geen	4
Neergaande bocht	Homogeen (zand)	4
Bernhardweg West	Homogeen (zand)	4
Beschermzone B	Homogeen (zand)	4
Waterstaatswerk-1	Homogeen (zand)	4
Waterstaatswerk-2	Homogeen (zand)	4
Beschermzone A	Homogeen (zand)	114
Beschermzone B	Homogeen (zand)	114
2e rechte deel	Geen	113
Opgaande bocht	Geen	113
3e rechte deel	Geen	113



\* Niet op schaal

**2. Eigenschappen van de leiding**

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 204,40	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 227,20	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 250,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 125,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 102,20	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 113,60	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 106.064.835,12	mm <sup>4</sup>
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 848.518,68	mm <sup>3</sup>
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 987,70	mm <sup>4</sup> /mm <sup>1</sup>
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 86,64	mm <sup>3</sup> /mm <sup>1</sup>
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 16.273,95	mm <sup>2</sup>
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,1554	N/mm <sup>1</sup>

**3. Berekening van het gewicht van de leiding tijdens het intrekken van de leiding**

	<i>Leiding op rollenbaan/maaiveld</i>		<i>Leiding in boorgat</i>	
Gewicht mediumleiding	$g = 0,1554$	N/mm <sup>1</sup>	$g = 0,1554$	N/mm <sup>1</sup>
Gewicht vulling	$g_{vul} = 0,328$	N/mm <sup>1</sup> +	$g_{vul} = 0,328$	N/mm <sup>1</sup> +
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,4834$	N/mm <sup>1</sup>	$g_{gat} = 0,4834$	N/mm <sup>1</sup>

**4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds****4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld**

Trekkraft $T_1$ tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	$T_1$ [N]
Starten met trekken	995,51	<b>86.624</b>
Na intrekken van $L_5$	975,01	<b>84.840</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4$	914,51	<b>79.576</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	79,51	<b>6.919</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	15,01	<b>1.306</b>

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,4834 \cdot 0,1$$

**4.2 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten op rollenbaan/maaiveld**

Spanningen $\sigma_t$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_1$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Starten met trekken	86.624	<b>5,32</b>
Na intrekken van $L_5$	84.840	<b>5,21</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4$	79.576	<b>4,89</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	6.919	<b>0,43</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	1.306	<b>0,08</b>

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{16.273,95}$$

## 4.3 Berekening van de optredende spanning t.g.v. kromming van de leiding op rollenbaan/maaiveld

$$M_b = f_{k,b} \cdot E \cdot \frac{I_b}{R_r}$$

$$M_b = 1,1 \cdot 1.100 \cdot \frac{106.064.835}{250.000} = 513.353,80 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{513.353,80}{848.519} = 0,61 \text{ N/mm}^2$$

## 4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

Spanningen $\sigma_a$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Starten met trekken	5,32	<b>5,72</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub>	5,21	<b>5,61</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub>	4,89	<b>5,28</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub> + L <sub>3</sub>	0,43	<b>0,82</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub> + L <sub>3</sub> + L <sub>2</sub>	0,08	<b>0,47</b>

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 0,61 + \sigma_t$$

Toelaatbare spanning:  $\sigma_{kd} = MRS = 10,00 \text{ N/mm}^2$

**5. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat****5.1 Berekening van de vereiste trekkracht  $T_2$  en  $T_{3a}$  in verband met wrijving tussen leiding en boorvloeistof/boorgangwand**

Aantal buizen in de bundel  $n = 4$

De bundelbuizen worden niet gekoppeld  $\rightarrow f_b = 1/n^{0,3} = 0,660$

Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof.

66,0% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet.

Hieruit volgt:  $D_{e,omtrek} = 518,17 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat  $g_{gat} = 0,483 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof:  $g_{opw} = \rho_{m,i} \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 250,00^2 \cdot \pi/4 = 0,565 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is  $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,0811 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht $T_2$ en $T_{3a}$ tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	$T_2$ [N]	$T_{3a}$ [N]
Na intrekken van $L_5$	20,50	<b>1.554</b>	-
Na intrekken van $L_5 + L_4$	81,00	-	<b>6.142</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	916,00	<b>69.458</b>	-
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	980,50	-	<b>74.349</b>
Geheel ingetrokken	995,51	<b>75.487</b>	-

Rechte delen:  $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (518,17 \cdot 0,00005 + 0,0811 \cdot 0,2)$

Gebogen delen:  $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (518,17 \cdot 0,00005 + 0,0811 \cdot 0,2)$

**5.2 Berekening van de vereiste trekkracht  $T_{3b}$  in verband met wrijving door grondreactie in de bochten****5.2.1 Neergaande bocht**

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_{v,gem}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{250,00 \cdot 0,0490}{4 \cdot 1.100 \cdot 106.064.835,12}} = 0,0023 \text{ mm}^{-1}$$

$$Q_{r1} = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot f_{r,o} \cdot R}$$

$$Q_{r1} = \frac{0,322 \cdot 0,0023^2 \cdot 1.100 \cdot 106.064.835,12}{250,00 \cdot 0,9 \cdot 250.000} = 0,0034 \text{ N/mm}^2$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_{r1}}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3$$

$$T_{3b} = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{0,0034}{2} \cdot 250,00 \cdot \frac{\pi}{0,0023} \cdot 0,2 = 854,87 \text{ N}$$

## 5.2.2 Opgaande bocht

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_{v,gem}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{250,00 \cdot 0,0110}{4 \cdot 1.100 \cdot 106.064.835,12}} = 0,0016 \text{ mm}^{-1}$$

$$Q_{r2} = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot f_{r,o} \cdot R}$$

$$Q_{r2} = \frac{0,322 \cdot 0,0016^2 \cdot 1.100 \cdot 106.064.835,12}{250,00 \cdot 0,9 \cdot 250.000} = 0,0016 \text{ N/mm}^2$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_{r2}}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3$$

$$T_{3b} = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{0,0016}{2} \cdot 250,00 \cdot \frac{\pi}{0,0016} \cdot 0,2 = 588,43 \text{ N}$$

5.3 Berekening van de wrijving door bochtkracht  $T_{3c}$ 

Trekkraft $T_{bocht}$ tijdens verschillende stadia [N]	$T_1$ [N] (f = 1)	$T_2 / T_{3a}$ [N] (f = 1)	$T_{3b,neer}$ [N] (f = 1)	$T_{3b,op}$ [N] (f = 1)	$T_{bocht}$ [N]
Neergaande bocht	44.209	3.412	475	-	<b>48.096</b>
Opgaande bocht	726	41.305	475	327	<b>42.832</b>

Neergaande bocht:  $T_{bocht} = T_1 + T_2 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max}$

Opgaande bocht:  $T_{bocht} = T_1 + T_2 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max} + T_{3a,op} + T_{3b,op,max}$

Trekkraft $T_{3c}$ tijdens verschillende stadia [N]	$\alpha$ [°]	$T_{bocht}$ [N]	$T_{3c}$ [N]
Neergaande bocht	7,50	48.096	<b>4.520</b>
Opgaande bocht	6,50	42.832	<b>4.025</b>

$$T_{3c} = f \cdot L_B \cdot g_t \cdot f_3$$

$$L_B = 2 \cdot R \cdot 2\pi \cdot \frac{\alpha}{360}$$

$$g_t = \frac{2 \cdot T_{bocht} \cdot \sin(\alpha)}{L_B}$$

$$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{bocht} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,8 \cdot 2 \cdot T_{bocht} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$

## 5.4 Totalisatie van de trekkrachten in fase II

Trekkraft $T_{tot}$ tijdens verschillende stadia [N]	$T_1$ [N]	$T_2 / T_{3a}$ [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3c,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{3c,op}$ [N]	$T_{tot}$ [N]
Na intrekken van $L_5$	84.840	1.554	-	-	-	-	<b>86.395</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4$	79.576	6.142	855	4.520	-	-	<b>91.093</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	6.919	69.458	855	4.520	-	-	<b>81.751</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	1.306	74.349	855	4.520	588	4.025	<b>85.109</b>
Geheel ingetrokken	0	75.487	855	4.520	588	4.025	<b>84.941</b>

$$T_{tot} = T_1 + T_2 + T_{3a} + T_{3b,neer,max} + T_{3c,neer} + T_{3b,op,max} + T_{3c,op}$$



**5.5 Karakteristieke waarden van de benodigde trekkrachten in fase II**

Wanneer geen totaalfactor wordt toegepast ( $f = 1$ ), gelden de volgende karakteristieke waarden voor de trekkrachten.

Trekkracht $T_{tot}$ tijdens verschillende stadia [N]	$T_1$ [N]	$T_2 / T_{3a}$ [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3c,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{3c,op}$ [N]	$T_{tot}$ [N]
Na intrekken van $L_5$	47.134	864	-	-	-	-	<b>47.997</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4$	44.209	3.412	475	2.511	-	-	<b>50.607</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	3.844	38.588	475	2.511	-	-	<b>45.417</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	726	41.305	475	2.511	327	2.236	<b>47.283</b>
Geheel ingetrokken	0	41.937	475	2.511	327	2.236	<b>47.190</b>

De maximale karakteristieke waarde voor de benodigde trekkracht bedraagt **50.607 N** ( $\approx 5,1$  ton).

Volgens het voorschrift van de Drilling Contractors Association (DCA - Europe) wordt een boormachine voorgeschreven met een trekkracht 2 tot 3 keer deze maximale waarde.

**5.6 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten in fase II**

Spanningen $\sigma_t$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_{tot}$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Na intrekken van $L_5$	86.395	<b>5,31</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4$	91.093	<b>5,60</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	81.751	<b>5,02</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	85.109	<b>5,23</b>
Geheel ingetrokken	84.941	<b>5,22</b>

$$\sigma_t = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{16.273,95}$$

## 5.7 Optredende spanningen t.g.v. kromming van de leiding in het boorgat

## 5.7.1 Neergaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{f_{r,o} \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 1.100 \cdot \frac{106.064.835,12}{0,9 \cdot 250.000} = 725.954,87 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{725.954,87}{848.518,68} = 0,86 \text{ N/mm}^2$$

## 5.7.2 Opgaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{f_{r,o} \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 1.100 \cdot \frac{106.064.835,12}{0,9 \cdot 250.000} = 725.954,87 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{725.954,87}{848.518,68} = 0,86 \text{ N/mm}^2$$

## 5.8 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

Spanningen $\sigma_a$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_{tot}$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Na intrekken van L <sub>5</sub>	86.395	5,31	-	<b>5,31</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub>	91.093	5,60	0,86	<b>6,15</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub> + L <sub>3</sub>	81.751	5,02	-	<b>5,02</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub> + L <sub>3</sub> + L <sub>2</sub>	85.109	5,23	0,86	<b>5,79</b>
Geheel ingetrokken	84.941	5,22	-	<b>5,22</b>

$$\text{Rechte delen: } \sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{16.273,95} = \sigma_t$$

$$\text{Gebogen delen: } \sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot \sigma_b + \sigma_t$$

$$\text{Toelaatbare spanning: } \sigma_{kd} = MRS = 10,00 \text{ N/mm}^2$$

**6. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase***6.1 Berekening van de spanningen  $\sigma_p$  en  $\sigma_{pl}$  t.g.v. inwendige druk*

$$D_g/d_n = 227,20/22,80 = 9,96 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow \text{Dikwandige leiding}$$

$$\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$$

$$\sigma_p = \frac{125,00^2 + 102,20^2}{125,00^2 - 102,20^2} \cdot 0 = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{yt} = \sigma_p = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 0,00 = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \bar{\sigma}_t = 8,00 \text{ N/mm}^2$$

*6.2 Berekening reroundingfactor  $f_{rr}$* 

$$f_{rr} = 1 / \left( 1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w} \right)$$

$$f_{rr} = 1 / \left( 1 + \frac{2 \cdot 0 \cdot 113,6^3 \cdot 0,143}{1100 \cdot 987,70} \right) = 1,00$$

*6.3.1 Berekening van de neutrale grondbelasting  $Q_n$* 

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grondsoort	$q_{\text{droog}}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_{\text{nat}}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_n$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1e rechte deel	4,50	2,00	Zand	42,48	32,50	74,98	18,75
Neergaande bocht	11,00	2,00	Zand	42,48	117,70	160,18	40,05
Bernhardweg West	11,70	2,00	Zand	42,31	126,86	169,16	42,29
Beschermzone B	11,90	2,00	Zand	42,31	129,36	171,67	42,92
Waterstaatswer..	13,40	2,50	Zand	53,32	142,43	195,75	48,94
Waterstaatswer..	11,50	1,90	Zand	40,11	125,55	165,66	41,41
Beschermzone A	10,10	1,90	Zand	35,72	106,79	142,51	35,63
Beschermzone B	10,00	1,00	Zand	16,73	117,01	133,74	33,44
2e rechte deel	13,50	1,50	Klei	29,30	83,15	112,45	28,11
Opgaande bocht	12,00	1,90	Klei	37,62	66,65	104,27	26,07
3e rechte deel	4,50	1,90	Klei	36,93	14,96	51,89	12,97

$$q_{\text{droog}} = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$$

$$q_{\text{nat}} = \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$Q_n = q_n \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot 250$$

6.3.2 Berekening van de gereduceerde neutrale grondbelasting  $Q_{nr}$ 

Locatie	h [m]	GWS [m]	$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]
Neergaande bocht	11,00	2,00	14,56
Bernhardweg West	11,70	2,00	14,46
Beschermzone B	11,90	2,00	14,43
Waterstaatswer..	13,40	2,50	14,61
Waterstaatswer..	11,50	1,90	14,40
Beschermzone A	10,10	1,90	14,11
Beschermzone B	10,00	1,00	13,37

$$\gamma' = \frac{\gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w}{h}$$

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	$B_1$ [m]	$8 \cdot B_1$ [m]	$q_{n,r}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_{n,r}$ [N/mm <sup>1</sup> ]
Neergaande bocht	Homogeen (zand)	0,39	3,12	19,02 <sup>(1)</sup>	4,75
Bernhardweg West	Homogeen (zand)	0,39	3,12	18,88 <sup>(1)</sup>	4,72
Beschermzone B	Homogeen (zand)	0,39	3,12	19,08 <sup>(1)</sup>	4,77
Waterstaatswer..	Homogeen (zand)	0,39	3,12	19,08 <sup>(1)</sup>	4,77
Waterstaatswer..	Homogeen (zand)	0,39	3,12	18,81 <sup>(1)</sup>	4,70
Beschermzone A	Homogeen (zand)	0,39	3,12	18,42 <sup>(1)</sup>	4,61
Beschermzone B	Homogeen (zand)	0,39	3,12	17,46 <sup>(1)</sup>	4,37

$$R = \frac{D_{gr}}{2} = \frac{780}{2} = 390 \text{ mm}$$

$$B_1 = \frac{1}{2} \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45^\circ - \frac{1}{2} \cdot \varphi) \geq R$$

$$K = 1 - \sin(\varphi)$$

Indien gereduceerde grondbelasting volgens berekeningswijze 'Homogeen (zand)': ( $h \geq 8 \cdot B_1$ ):

$$q_{n,r1} = \frac{B_1 \cdot (\gamma' - c/B_1)}{K \cdot \tan(\varphi)} \cdot (1 - e^{-\frac{K \cdot h \cdot \tan \varphi}{B_1}}) \quad (1)$$

$$Q_{n,r} = q_{n,r} \cdot D_o = q_{n,r} \cdot 250$$

## 6.3.3 Overzicht berekende (gereduceerde) neutrale gronddrukken

Locatie	$q_n$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$q_{n,r}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_{n,r}$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1e rechte deel	74,98	18,75	-	-
Neergaande bocht	160,18	40,05	19,02	4,75
Bernhardweg West	169,16	42,29	18,88	4,72
Beschermzone B	171,67	42,92	19,08	4,77
Waterstaatswer..	195,75	48,94	19,08	4,77
Waterstaatswer..	165,66	41,41	18,81	4,70
Beschermzone A	142,51	35,63	18,42	4,61
Beschermzone B	133,74	33,44	17,46	4,37
2e rechte deel	112,45	28,11	-	-
Opgaande bocht	104,27	26,07	-	-
3e rechte deel	51,89	12,97	-	-

6.4 Berekening van de verkeersbelasting  $Q_v$ 

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeersbelasting	$q_v$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1e rechte deel	4,50	Geen	0,00	0,00
Neergaande bocht	11,00	Grafiek ½ x II	0,73	0,18
Bernhardweg West	11,70	Grafiek I	3,32	0,83
Beschermzone B	11,90	Grafiek ½ x II	0,65	0,16
Waterstaatswer..	13,40	Grafiek ½ x II	0,55	0,14
Waterstaatswer..	11,50	Grafiek I	3,41	0,85
Beschermzone A	10,10	Grafiek I	4,17	1,04
Beschermzone B	10,00	Geen	0,00	0,00
2e rechte deel	13,50	Geen	0,00	0,00
Opgaande bocht	12,00	Geen	0,00	0,00
3e rechte deel	4,50	Geen	0,00	0,00

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 250$$

## 6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_{n,r}$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_{\text{boven}}$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$M_q$ [Nmm]	$\sigma_q$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	18,75	-	0,00	18,75	547,30 <sup>(1)</sup>	<b>6,32</b>
Neergaande bocht	40,05	4,75	0,18	4,94	144,15 <sup>(2)</sup>	<b>1,66</b>
Bernhardweg West	42,29	4,72	0,83	5,55	162,05 <sup>(2)</sup>	<b>1,87</b>
Beschermzone B	42,92	4,77	0,16	4,93	144,07 <sup>(2)</sup>	<b>1,66</b>
Waterstaatswer..	48,94	4,77	0,14	4,91	143,27 <sup>(2)</sup>	<b>1,65</b>
Waterstaatswer..	41,41	4,70	0,85	5,56	162,21 <sup>(2)</sup>	<b>1,87</b>
Beschermzone A	35,63	4,61	1,04	5,65	164,90 <sup>(2)</sup>	<b>1,90</b>
Beschermzone B	33,44	4,37	0,00	4,37	127,44 <sup>(2)</sup>	<b>1,47</b>
2e rechte deel	28,11	-	0,00	28,11	820,76 <sup>(1)</sup>	<b>9,47</b>
Opgaande bocht	26,07	-	0,00	26,07	761,05 <sup>(1)</sup>	<b>8,78</b>
3e rechte deel	12,97	-	0,00	12,97	378,70 <sup>(1)</sup>	<b>4,37</b>

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 113,60 \quad (1)$$

$$M_q = K_b \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 113,60 \quad (2)$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{86,64}$$

6.6 Optredende spanning  $\sigma_{qr}$  t.g.v. grondreactie in de bochten

## 6.6.1 Neergaande bocht

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_{r1} \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w}$$

$$\sigma_{qr} = 0,179 \cdot 0,0034 \cdot 250,00 \cdot \frac{125,00}{86,64} = 0,22 \text{ N/mm}^2$$

## 6.6.2 Opgaande bocht

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_{r2} \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w}$$

$$\sigma_{qr} = 0,179 \cdot 0,0016 \cdot 250,00 \cdot \frac{125,00}{86,64} = 0,10 \text{ N/mm}^2$$

**6.7 Berekening van de spanning  $\sigma_{ax}$  t.g.v. temperatuurverschil**

$$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$$

$$\sigma_{ax} = 30 \cdot 0,0002 \cdot 1100 = 6,60 \text{ N/mm}^2$$

**7. Toetsing op minimale ringstijfheid  $S_N$** 

$$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$$

$$S_N = 1100 \cdot \frac{987,70}{227,2^3} = 0,0926 \text{ N/mm}^2 = 92,64 \text{ kN/m}^2$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m<sup>2</sup>

**8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk**

Veiligheidsfactor  $\gamma$  voor langdurige onderdruk:  $\gamma = 3$

Veiligheidsfactor  $\gamma$  voor kortdurende onderdruk:  $\gamma = 1,5$

$$p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$$

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 1.100,00 \cdot 987,70}{227,20^3} = 1,76 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 200,00 \cdot 987,70}{227,20^3} = 0,16 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **16,04 m** grondwater boven de leiding

**9. Berekening van het totaal aan optredende spanningen****9.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding**

Locatie	$\sigma_q$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{qr}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_\sigma$ [-]	$\sigma_{y2}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	6,32	-	0,65	<b>4,11</b>
Neergaande bocht	1,66	0,22	0,65	<b>1,23</b>
Bernhardweg West	1,87	-	0,65	<b>1,22</b>
Beschermzone B	1,66	-	0,65	<b>1,08</b>
Waterstaatswer..	1,65	-	0,65	<b>1,07</b>
Waterstaatswer..	1,87	-	0,65	<b>1,22</b>
Beschermzone A	1,90	-	0,65	<b>1,24</b>
Beschermzone B	1,47	-	0,65	<b>0,96</b>
2e rechte deel	9,47	-	0,65	<b>6,16</b>
Opgaande bocht	8,78	-	0,65	<b>5,71</b>
3e rechte deel	4,37	0,10	0,65	<b>2,91</b>

Rechte delen:  $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$

Bochten:  $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$

Toelaatbare spanning:  $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = 8,00 \text{ N/mm}^2$

## 9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

Locatie	$\sigma_{pl}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{ax}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_{\sigma}$ [-]	$\sigma_x$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	0,00	6,60	-	-	6,60
Neergaande bocht	0,00	6,60	0,86	0,65	7,16
Bernhardweg West	0,00	6,60	-	-	6,60
Beschermzone B	0,00	6,60	-	-	6,60
Waterstaatswer..	0,00	6,60	-	-	6,60
Waterstaatswer..	0,00	6,60	-	-	6,60
Beschermzone A	0,00	6,60	-	-	6,60
Beschermzone B	0,00	6,60	-	-	6,60
2e rechte deel	0,00	6,60	-	-	6,60
Opgaande bocht	0,00	6,60	-	-	6,60
3e rechte deel	0,00	6,60	0,86	0,65	7,16

Rechte delen:  $\sigma_x = \sigma_{pl} + \sigma_{ax}$

Bochten:  $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_A \cdot \sigma_b + \sigma_{ax}$

Toelaatbare spanning:  $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = 8,00$  N/mm<sup>2</sup>

## 10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_{n,r}$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\delta_y$ [mm]	$\delta_y/D_g$ [%]
1e rechte deel	18,75	-	0,00	-	6,75 <sup>(1)</sup>	2,97
Neergaande bocht	40,05	4,75	0,18	0,0034	2,28 <sup>(2)</sup>	0,77
Bernhardweg West	42,29	4,72	0,83	-	2,41 <sup>(2)</sup>	0,81
Beschermzone B	42,92	4,77	0,16	-	2,18 <sup>(2)</sup>	0,71
Waterstaatswer..	48,94	4,77	0,14	-	2,27 <sup>(2)</sup>	0,77
Waterstaatswer..	41,41	4,70	0,85	-	2,41 <sup>(2)</sup>	0,81
Beschermzone A	35,63	4,61	1,04	-	2,41 <sup>(2)</sup>	0,81
Beschermzone B	33,44	4,37	0,00	-	2,05 <sup>(2)</sup>	0,69
2e rechte deel	28,11	-	0,00	-	6,33 <sup>(1)</sup>	2,79
Opgaande bocht	26,07	-	0,00	-	5,87 <sup>(1)</sup>	2,58
3e rechte deel	12,97	-	0,00	0,0016	1,79 <sup>(1)</sup>	0,79

$$\delta_y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (1)$$

$$\delta_y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 113,60^3}{200 \cdot 987,70}$$

$$\delta_y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,r} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (2)$$

$$\delta_y = \frac{(0,089 \cdot (Q_{n,r} + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi)/(1 + \sin \varphi) \cdot (Q_{n,r} + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 113,60^3}{200 \cdot 987,70}$$

Toelaatbare deflectie = 8% · D<sub>g</sub> = 0,08 · 227,20 = 18,18 mm

## 11. Berekening van de boorspoeldrukken

Locatie	H [m]	$\sigma_{vert}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{hor}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_o'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$p'_f$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$E_{100}$ [MN/m <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	4,50	57,63	24,58	41,10	64,68	64,95
Neergaande bocht	11,00	116,76	49,79	83,28	131,04	94,92
Bernhardweg West	11,70	122,97	52,44	87,70	138,01	97,55
Beschermzone B	11,90	124,69	57,70	91,19	140,19	58,96
Waterstaatswer..	13,40	142,86	60,92	101,89	160,33	104,93
Waterstaatswer..	11,50	120,24	51,28	85,76	134,95	96,53
Beschermzone A	10,10	103,54	44,15	73,85	116,21	89,53
Beschermzone B	10,00	94,91	40,47	67,69	106,52	86,73
2e rechte deel	13,50	72,11	44,51	58,31	80,63	1,65
Opgaande bocht	12,00	68,64	42,38	55,51	76,75	1,55
3e rechte deel	4,50	38,37	28,44	33,40	43,01	0,30

$$\sigma_{vert} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$\sigma_{hor} = \sigma_{vert} \cdot (1 - \sin(\varphi))$$

$$\sigma_o' = \frac{\sigma_{vert} + \sigma_{hor}}{2}$$

$$p'_f = \sigma_o' \cdot (1 + \sin(\varphi)) + c \cdot \cos(\varphi)$$

$$E_{100, norm} = E_{100} \cdot (q_n/100)^m \quad (\text{Zand/Leem/Grind} \rightarrow m = 0,5; \text{Veen/Klei} \rightarrow m = 0,8)$$

Locatie	G [MN/m <sup>2</sup> ]	Q [-]	u [N/mm <sup>2</sup> ]	v [-]	$p_{lim}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	90% $p_{lim}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1</span>
1e rechte deel	33,55	0,00070	0,0250	0,2989	0,94	8,44
Neergaande bocht	49,04	0,00097	0,0900	0,2989	1,73	15,58
Bernhardweg West	50,40	0,00100	0,0970	0,2989	1,81	16,29
Beschermzone B	31,67	0,0015	0,0990	0,3163	1,44	13,00
Waterstaatswer..	54,21	0,0011	0,1090	0,2989	2,04	18,39
Waterstaatswer..	49,87	0,00099	0,0960	0,2989	1,78	16,00
Beschermzone A	46,26	0,00092	0,0820	0,2989	1,57	14,13
Beschermzone B	44,81	0,00087	0,0900	0,2989	1,48	13,34
2e rechte deel	1,13	0,020	0,1200	0,3817	0,36	3,23
Opgaande bocht	1,06	0,020	0,1010	0,3817	0,33	2,95
3e rechte deel	0,28	0,034	0,0260	0,4257	0,12	1,04

$$G = \frac{E_{100, norm}}{2 \cdot (1 + v)}$$

$$Q = \frac{\sigma_o' \cdot \sin(\varphi) + c \cdot \cos(\varphi)}{G}$$

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$K = 1 - \sin(\varphi)$$

$$v = \frac{K}{1 + K}$$

$$p_{lim} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$



## 11.1 Tijdens pilot

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	$\Delta h_{in}$ [m]	$p_{max}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{max}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2</span>	$p_{min}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{min}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</span>
1e rechte deel	1,28	3,75	0,41	<b>4,06</b>	0,05	<b>0,45</b>
Neergaande bocht	1,09	12,40	0,77	<b>7,75</b>	0,15	<b>1,54</b>
Bernhardweg West	1,08	12,40	0,81	<b>8,12</b>	0,16	<b>1,60</b>
Beschermzone B	0,86	12,40	0,68	<b>6,81</b>	0,16	<b>1,61</b>
Waterstaatswer..	1,04	12,40	0,92	<b>9,16</b>	0,16	<b>1,63</b>
Waterstaatswer..	1,08	12,40	0,80	<b>7,98</b>	0,17	<b>1,65</b>
Beschermzone A	1,12	12,40	0,70	<b>7,03</b>	0,17	<b>1,67</b>
Beschermzone B	1,15	12,40	0,67	<b>6,71</b>	0,17	<b>1,75</b>
2e rechte deel	6,75	12,40	0,36	<b>3,58</b>	0,21	<b>2,11</b>
Opgaande bocht	6,00	12,40	0,33	<b>3,27</b>	0,27	<b>2,68</b>
3e rechte deel	2,25	6,10	0,11	<b>1,15</b>	0,20	<b>2,04</b>

$$R_{p,max} = \frac{H}{2}; R_{p,max,zand} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot \epsilon_{g,max}} \text{ of } \frac{H}{2}$$

$$R_o = \frac{D_p}{2} = \frac{215}{2} = 107,5 \text{ mm}$$

$$p_{max} = (p'_r + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left( \frac{R_o^2}{R_{p,max}} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

$$v_{m,p} = \frac{Q_{m,p}}{A_p} = \frac{600}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - D_b^2)} = \frac{600}{1/4 \cdot \pi \cdot (215^2 - 114^2)} = 0,383 \text{ m/s}$$

$$p_{min} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_p \cdot v_{m,p}}{(D_p - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,p}}{D_p - D_b} \right) \cdot L + \rho_{m,p} \cdot \Delta h_{in}$$

## 11.2 Tijdens ruimgang

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	$\Delta h_{uit}$ [m]	$p_{max}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{max}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">4</span>	$p_{min}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{min}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">5</span>
3e rechte deel	2,25	4,72	0,10	1,04	0,05 <sup>(1)</sup>	0,55
Opgaande bocht	6,00	11,02	0,32	3,16	0,13 <sup>(1)</sup>	1,28
2e rechte deel	6,75	11,02	0,35	3,49	0,14 <sup>(1)</sup>	1,37
Beschermzone B	4,19	11,02	0,67	6,71	0,14 <sup>(1)</sup>	1,42
Beschermzone A	4,08	11,02	0,70	7,03	0,14 <sup>(1)</sup>	1,43
Waterstaatswer..	3,93	11,02	0,80	7,98	0,14 <sup>(1)</sup>	1,43
Waterstaatswer..	3,76	11,02	0,92	9,16	0,14 <sup>(1)</sup>	1,44
Beschermzone B	3,14	11,02	0,68	6,81	0,14 <sup>(1)</sup>	1,44
Bernhardweg West	3,90	11,02	0,81	8,12	0,14 <sup>(1)</sup>	1,44
Neergaande bocht	3,95	11,02	0,77	7,75	0,15 <sup>(1)</sup>	1,45
1e rechte deel	2,25	2,37	0,26	2,55	0,05 <sup>(2)</sup>	0,45

$$R_o = \frac{D_{g,r}}{2} = \frac{780}{2} = 390 \text{ mm}$$

$$v_{m,r,uit} = \frac{Q_{m,r}}{A_r} = \frac{2000,0}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_b^2)} = \frac{2000,0}{1/4 \cdot \pi \cdot (780^2 - 114^2)} = 0,071 \text{ m/s}$$

$$v_{m,r,in} = \frac{Q_{m,r}}{A_p} = \frac{2000,0}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - D_b^2)} = \frac{2000,0}{1/4 \cdot \pi \cdot (215^2 - 114^2)} = 1,277 \text{ m/s}$$

$$p_{min,uit} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_r \cdot v_{m,r,uit}}{(D_{g,r} - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,r}}{D_{g,r} - D_b} \right) \cdot (L_{tot} - L) + \rho_{m,r} \cdot \Delta h_{uit} \quad (1)$$

$$p_{min,in} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_r \cdot v_{m,r,in}}{(D_p - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,r}}{D_p - D_b} \right) \cdot L + \rho_{m,r} \cdot \Delta h_{in} \quad (2)$$

## 11.3 Tijdens intrekken

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	$\Delta h_{uit}$ [m]	$P_{max}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$P_{max}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">6</span>	$P_{min}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$P_{min}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">7</span>
3e rechte deel	2,25	4,72	0,10	<b>1,04</b>	0,06 <sup>(1)</sup>	<b>0,55</b>
Opgaande bocht	6,00	11,02	0,32	<b>3,16</b>	0,13 <sup>(1)</sup>	<b>1,31</b>
2e rechte deel	6,75	11,02	0,35	<b>3,49</b>	0,15 <sup>(1)</sup>	<b>1,51</b>
Beschermzone B	4,19	11,02	0,67	<b>6,71</b>	0,15 <sup>(2)</sup>	<b>1,47</b>
Beschermzone A	4,08	11,02	0,70	<b>7,03</b>	0,15 <sup>(2)</sup>	<b>1,46</b>
Waterstaatswer..	3,93	11,02	0,80	<b>7,98</b>	0,15 <sup>(2)</sup>	<b>1,46</b>
Waterstaatswer..	3,76	11,02	0,92	<b>9,16</b>	0,15 <sup>(2)</sup>	<b>1,46</b>
Beschermzone B	3,14	11,02	0,68	<b>6,81</b>	0,15 <sup>(2)</sup>	<b>1,45</b>
Bernhardweg West	3,90	11,02	0,81	<b>8,12</b>	0,15 <sup>(2)</sup>	<b>1,45</b>
Neergaande bocht	3,95	11,02	0,77	<b>7,75</b>	0,14 <sup>(2)</sup>	<b>1,44</b>
1e rechte deel	2,25	2,37	0,26	<b>2,55</b>	0,04 <sup>(2)</sup>	<b>0,43</b>

$$D_{eq} = \sqrt{\sum_{i=1}^n D_{0,i}^2} = 500 \text{ mm}$$

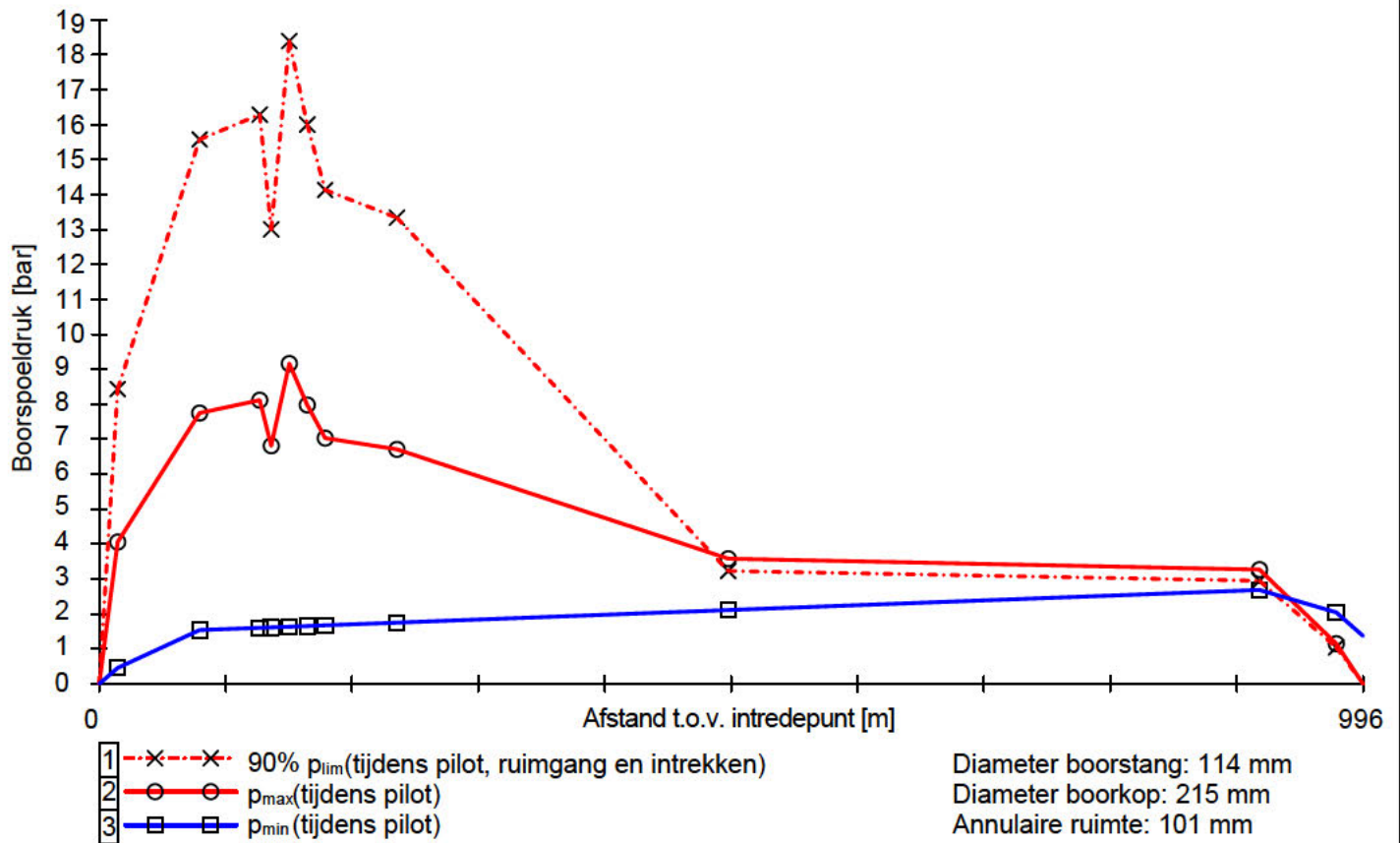
$$R_o = \frac{D_{g,r}}{2} = \frac{780}{2} = 390 \text{ mm}$$

$$v_{m,i,uit} = \frac{Q_{m,i}}{A_i} = \frac{1400}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_{eq}^2)} = \frac{1400}{1/4 \cdot \pi \cdot (780^2 - 500^2)} = 0,083 \text{ m/s}$$

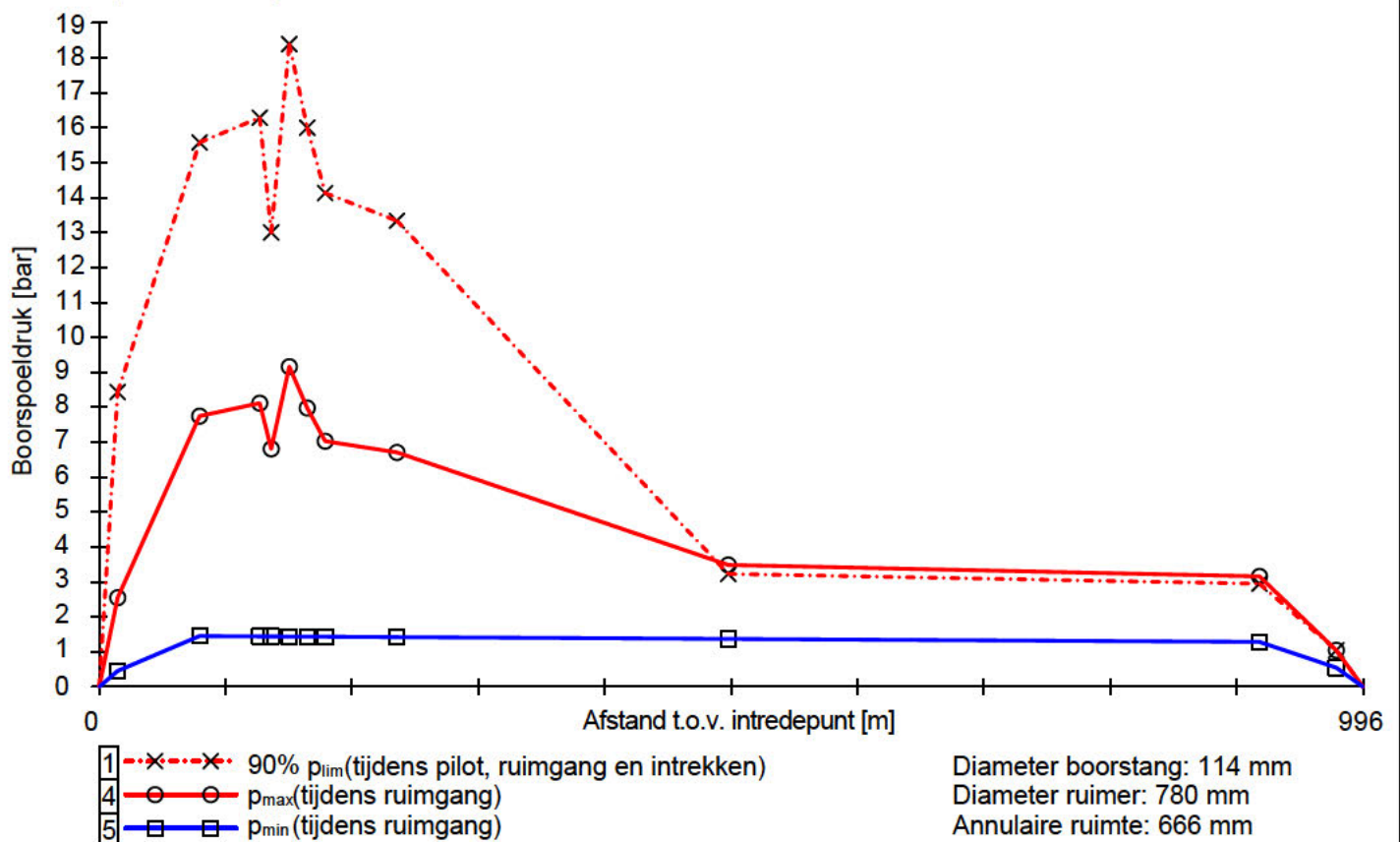
$$p_{min,uit} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_i \cdot v_{m,i,uit}}{(D_{g,r} - D_{eq})^2} + \frac{\tau_{y,i}}{D_{g,r} - D_{eq}} \right) \cdot (L_{tot} - L) + \rho_{m,i} \cdot \Delta h_{uit} \quad (1)$$

$$p_{min,in} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_i \cdot v_{m,in}}{(D_{g,r} - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,i}}{D_{g,r} - D_b} \right) \cdot L + \rho_{m,i} \cdot \Delta h_{in} \quad (2)$$

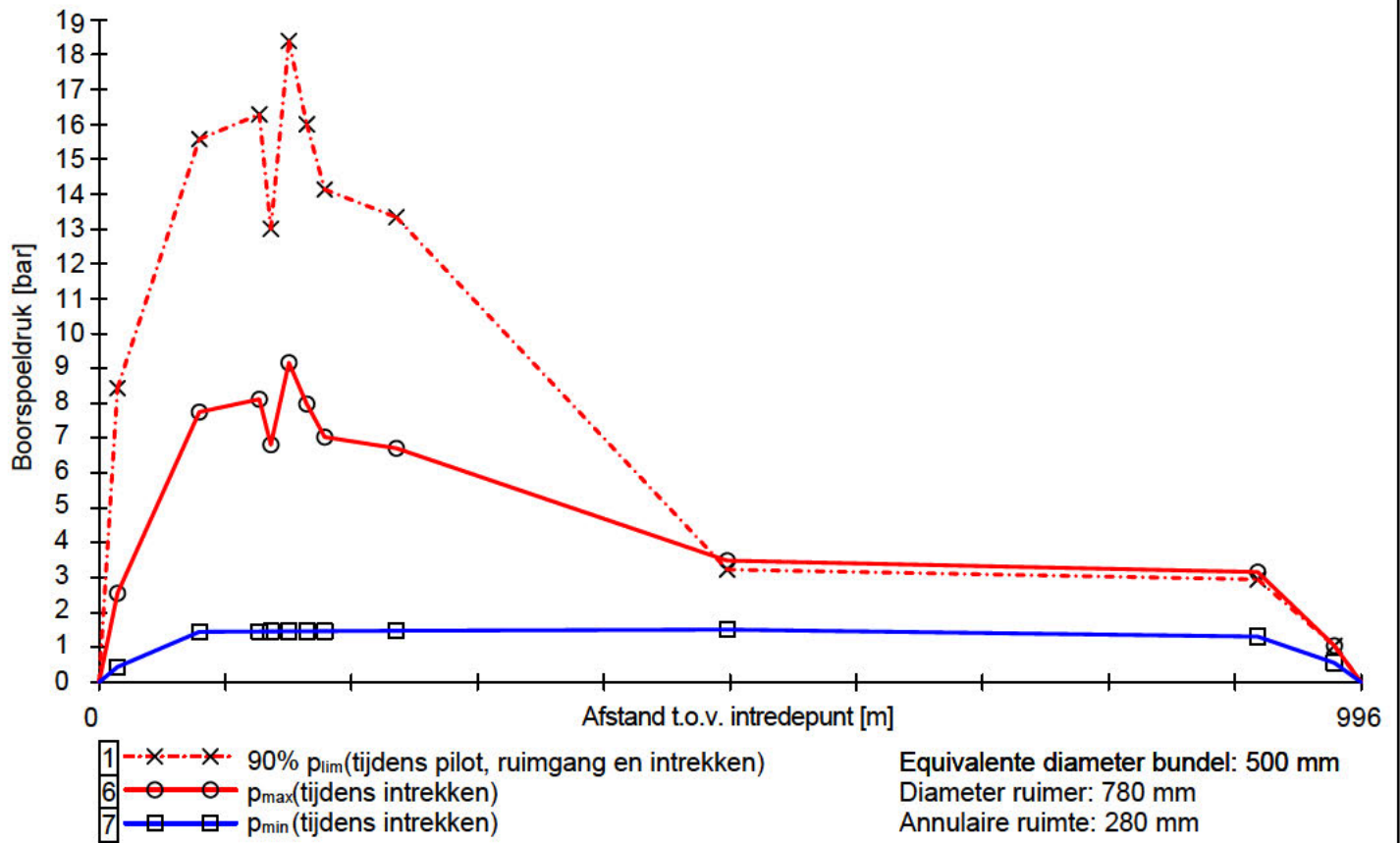
11.4 Boorspoeldrukken tijdens pilot



11.5 Boorspoeldrukken tijdens ruimen

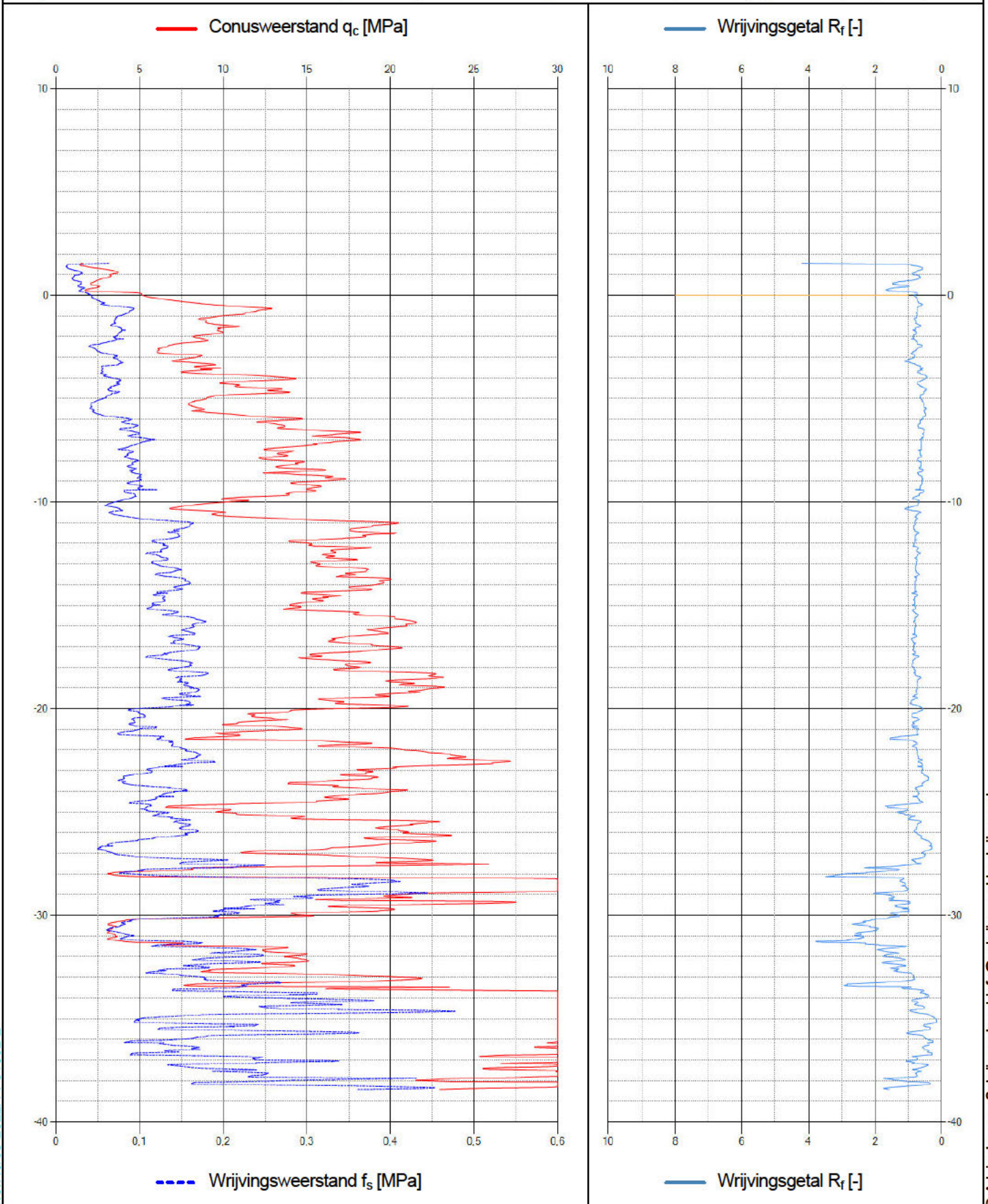


11.6 Boorspoeldrukken tijdens intrekken



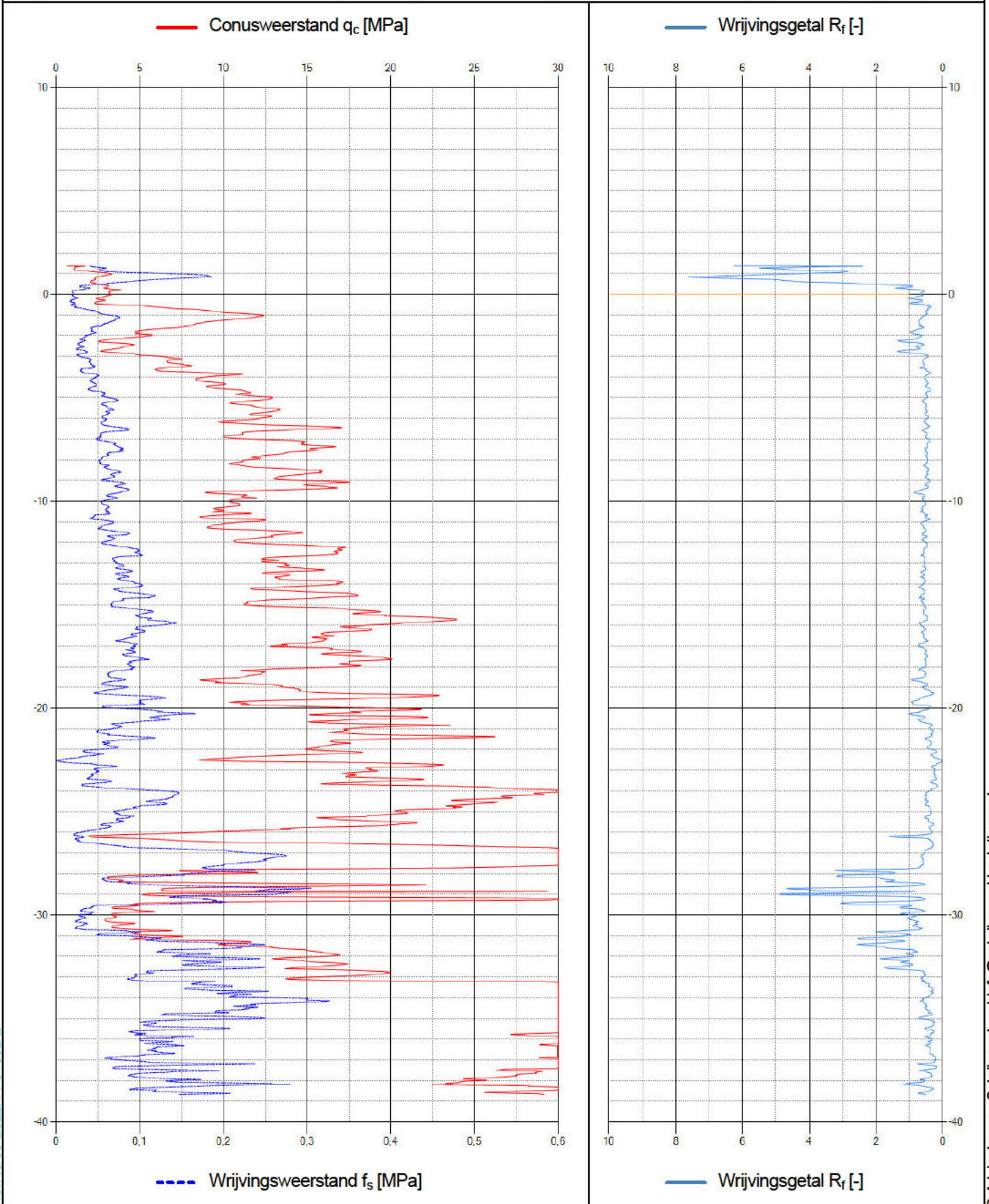
Naam van het project : TenneT Nederwiek 1

Projectonderdeel : HDDN21 Quarlespolderweg en Bernhardweg West Ø250mm, SDR 11 (blijvend 100pct gevuld)



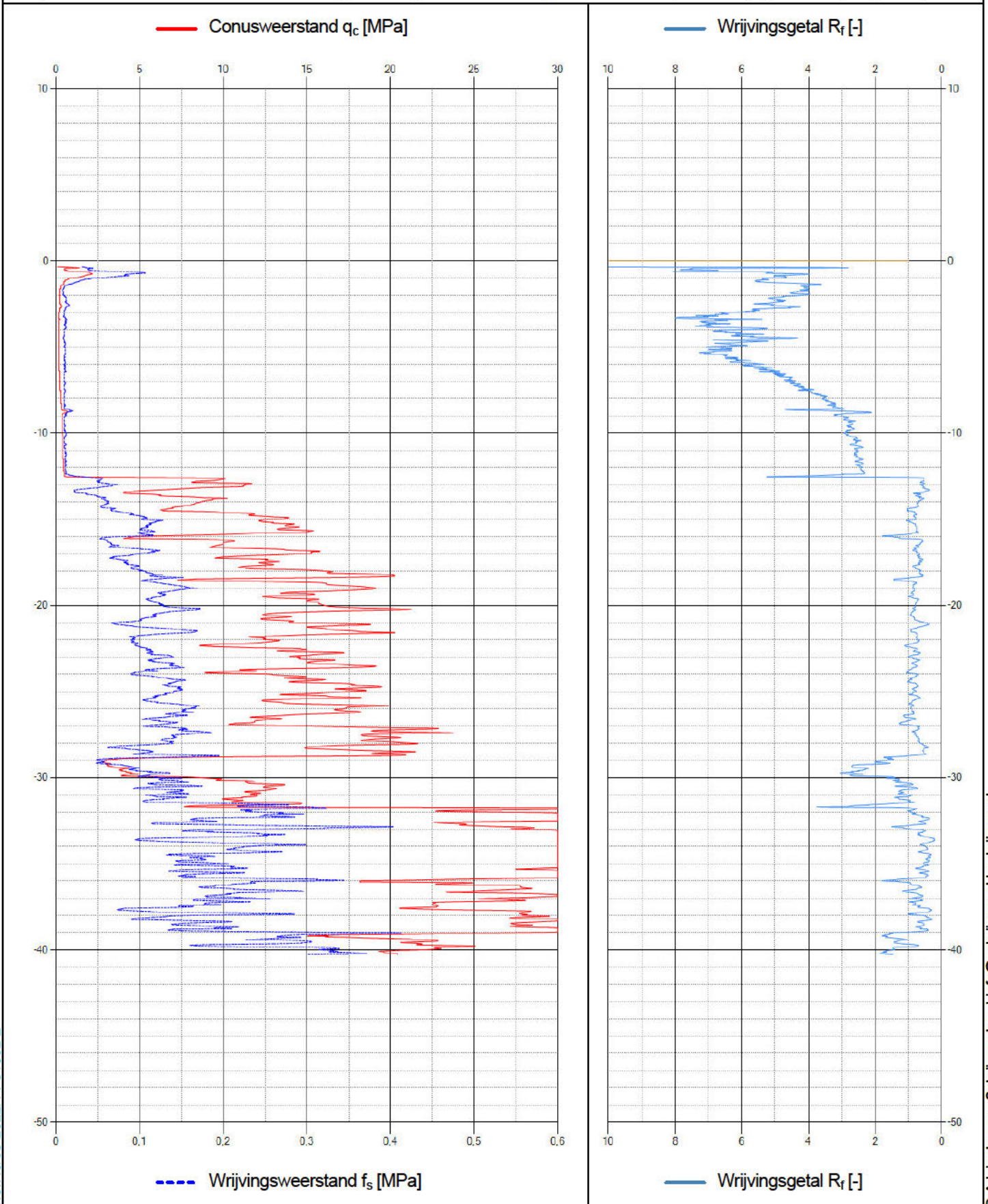
Naam van het project : TenneT Nederwiek 1

Projectonderdeel : HDDN21 Quarlespolderweg en Bernhardweg West Ø250mm, SDR 11 (blijvend 100pct gevuld)



Naam van het project : TenneT Nederwiek 1

Projectonderdeel : HDDN21 Quarlespolderweg en Bernhardweg West Ø250mm, SDR 11 (blijvend 100pct gevuld)





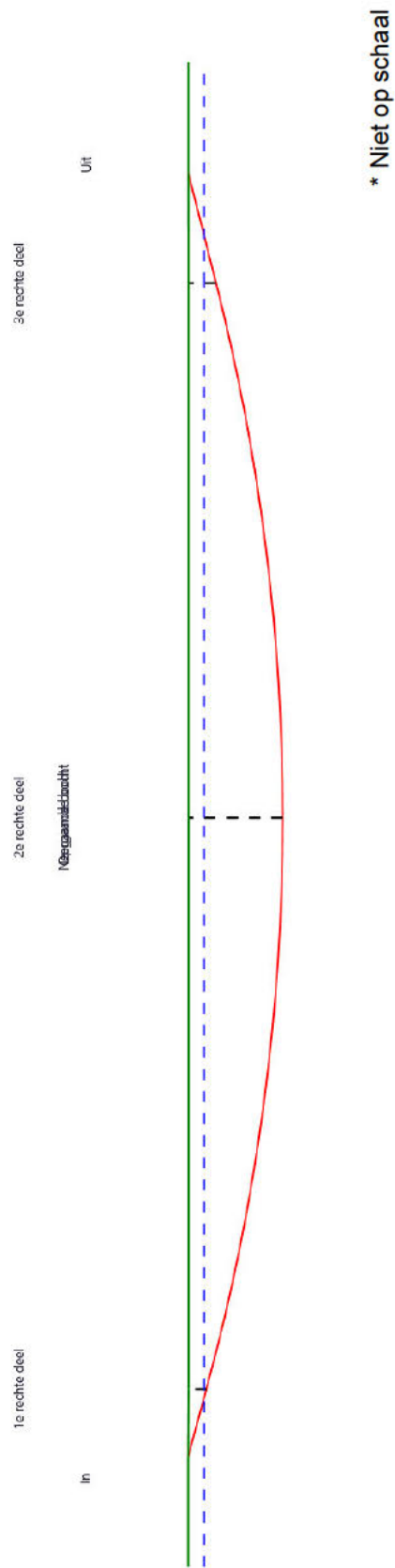
Bijlage K : Sterkteberekening HDDN16 – Kruising Leidingen

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2022 1.3 ©	
<b>Algemene gegevens</b>			
Naam van het project	: TenneT Nederwiek 1		
Projectonderdeel	: HDDN16 Boring onder leidingen Ø250mm, SDR 11 (100pct gevuld)		
<b>Materiaalgegevens</b>			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm <sup>2</sup>
Materiaalfactor	$\gamma_M$	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 1.100	N/mm <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 200	N/mm <sup>2</sup>
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	$\alpha_g$	= 20,0·10 <sup>-5</sup>	mm/(mm·K)
Alfa Tangentieel / Alfa Axiaal	$\alpha_\sigma$	= 0,65	-
Soortelijk gewicht buis	$\rho_L$	= 9,55	kN/m <sup>3</sup>
Toelaatbare deflectie	$\delta$	= 8,00	%
<b>Leidinggegevens</b>			
Uitwendige middellijn	D <sub>e</sub>	= 250,00	mm
Wanddikte	d <sub>n</sub>	= 22,8	mm
<b>Procesgegevens</b>			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Ontwerpdruk	p <sub>d</sub>	= 0	N/mm <sup>2</sup>
Volumieke massa medium	$\rho$	= 1000	kg/m <sup>3</sup>
Temperatuurverschil	$\Delta t$	= 30	°
<b>Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken</b>			
Totale lengte	L	= 117,87	m
Lengte 1e rechte deel	L <sub>1</sub>	= 6,32	m
Lengte neergaande bocht	L <sub>2</sub>	= 52,36	m
Lengte 2e rechte deel	L <sub>3</sub>	= 0,01	m
Lengte opgaande bocht	L <sub>4</sub>	= 48,87	m
Lengte 3e rechte deel	L <sub>5</sub>	= 10,31	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R <sub>r</sub>	= 100,00	m
Straal neergaande bocht	R <sub>1</sub>	= 200,00	m
Straal opgaande bocht	R <sub>2</sub>	= 200,00	m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	$\alpha_1$	= 15,00 / 26,79	° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	$\alpha_2$	= 14,00 / 24,93	° / %
Belastinghoek	$\alpha$	= 30	°
Ondersteuningshoek	$\beta$	= 30	°
Horizontale steundrukhoek	$\gamma$	= 120	°
Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	$\gamma$	= 1,1	
<p>The diagram illustrates the layout of a horizontal borehole. It starts with a horizontal segment of length L<sub>1</sub> at an angle <math>\alpha_1</math> to the horizontal. This is followed by a downward curve of length L<sub>2</sub> with radius R<sub>1</sub>. A short horizontal segment of length L<sub>3</sub> follows, then an upward curve of length L<sub>4</sub> with radius R<sub>2</sub>. Finally, there is a horizontal segment of length L<sub>5</sub> that ends at an angle <math>\alpha_2</math> to the horizontal. The total length of the borehole is L. A ground profile is shown below the borehole, and a roller track (rollenbaan) is indicated at the end of the horizontal segment L<sub>5</sub>.</p>			
			30-11-2022 10:58:23

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020				Sigma 2022 1.3 ©			
Uitvoeringsaspecten							
Diameter boorstang		$D_b$	= 114	mm			
<i>Tijdens pilot</i>							
Diameter boorkop/boorgat		$D_p$	= 170	mm			
Soortelijk gewicht boorvloeistof		$\rho_{m,p}$	= 11,5	kN/m <sup>3</sup>			
Zwichtspanning boorvloeistof		$\tau_{y,p}$	= 13,4	Pa			
Plastische viscositeit boorvloeistof		$\eta_p$	= 0,009	Pa·s			
Debiet boorvloeistof		$Q_{m,p}$	= 100	l/min			
<i>Tijdens ruimgang</i>							
Boorstangen koppelen tijden ruimen							
Diameter ruimer/boorgat		$D_{g,r}$	= 780	mm			
Soortelijk gewicht boorvloeistof		$\rho_{m,r}$	= 11,5	kN/m <sup>3</sup>			
Zwichtspanning boorvloeistof		$\tau_{y,r}$	= 13,4	Pa			
Plastische viscositeit boorvloeistof		$\eta_r$	= 0,009	Pa·s			
Debiet boorvloeistof		$Q_{m,r}$	= 500	l/min			
<i>Tijdens intrekken</i>							
Equivalente diameter bundel		$D_{eq}$	= 500	mm			
Soortelijk gewicht boorvloeistof		$\rho_{m,i}$	= 11,5	kN/m <sup>3</sup>			
Zwichtspanning boorvloeistof		$\tau_{y,i}$	= 13,4	Pa			
Plastische viscositeit boorvloeistof		$\eta_i$	= 0,009	Pa·s			
Debiet boorvloeistof		$Q_{m,i}$	= 300	l/min			
Aantal buizen in de bundel		$n$	= 4				
De bundelbuizen worden niet gekoppeld							
Gewicht vulling/extra gewicht op rollenbaan		$g_{vul, r}$	= 0,328	N/mm <sup>1</sup>			
Gewicht vulling/extra gewicht tpv boorgang		$g_{vul, b}$	= 0,328	N/mm <sup>1</sup>			
Onzekerheids- en wrijvingsfactoren							
Totaalfactor bij boring met bundels		$f$	= 1,8				
Belastingfactor, bovengronds		$f_{k,b}$	= 1,1				
Belastingfactor, ondergronds		$f_{k,o}$	= 1,4				
Onzekerheidsfactor straal, ondergronds		$f_{r,o}$	= 0,9				
Wrijvingscoëff. met rollenbaan		$f_1$	= 0,1				
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof		$f_2$	= 0,00005	N/mm <sup>2</sup>			
Wrijving tussen leiding/boorgangwand		$f_3$	= 0,2				
Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting							
Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grondsoort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m <sup>3</sup> ]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m <sup>3</sup> ]	Wrijvingshoek grond [°]
1e rechte deel	6,32	1,60	1,40	Zand	16,25	21,00	35,00
Neergaande bocht	58,68	8,42	1,40	Zand	16,25	21,00	35,00
2e rechte deel	58,685	8,42	1,40	Zand	16,25	21,00	35,00
Opgaande bocht	58,69	8,42	1,40	Zand	17,13	21,00	35,00
3e rechte deel	107,56	2,48	1,40	Zand	17,13	20,98	35,00
						30-11-2022 10:58:23	

Locatie	Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm <sup>3</sup> ]	Effectieve cohesie [kN/m <sup>2</sup> ]	E-modulus ondergrond [MN/m <sup>2</sup> ]	Verkeersbelasting
1e rechte deel	-	0,00	75,00	Geen
Neergaande bocht	0,0028	0,00	75,00	Geen
2e rechte deel	-	0,00	75,00	Geen
Opgaande bocht	0,0028	0,00	75,00	Geen
3e rechte deel	-	0,00	75,00	Geen

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Sondering
1e rechte deel	Geen	115
Neergaande bocht	Geen	115
2e rechte deel	Geen	115
Opgaande bocht	Geen	116
3e rechte deel	Geen	116



**2. Eigenschappen van de leiding**

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 204,40	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 227,20	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 250,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 125,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 102,20	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 113,60	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 106.064.835,12	mm <sup>4</sup>
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 848.518,68	mm <sup>3</sup>
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 987,70	mm <sup>4</sup> /mm <sup>1</sup>
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 86,64	mm <sup>3</sup> /mm <sup>1</sup>
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 16.273,95	mm <sup>2</sup>
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,1554	N/mm <sup>1</sup>

**3. Berekening van het gewicht van de leiding tijdens het intrekken van de leiding**

	<i>Leiding op rollenbaan/maaiveld</i>		<i>Leiding in boorgat</i>	
Gewicht mediumleiding	$g = 0,1554$	N/mm <sup>1</sup>	$g = 0,1554$	N/mm <sup>1</sup>
Gewicht vulling	$g_{vul} = 0,328$	N/mm <sup>1</sup> +	$g_{vul} = 0,328$	N/mm <sup>1</sup> +
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,4834$	N/mm <sup>1</sup>	$g_{gat} = 0,4834$	N/mm <sup>1</sup>

**4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds****4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld**

Trekkraft $T_1$ tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	$T_1$ [N]
Starten met trekken	117,87	<b>10.256</b>
Na intrekken van $L_5$	107,56	<b>9.359</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4$	58,69	<b>5.107</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	58,68	<b>5.106</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	6,32	<b>550</b>

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,4834 \cdot 0,1$$

**4.2 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten op rollenbaan/maaiveld**

Spanningen $\sigma_t$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_1$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Starten met trekken	10.256	<b>0,63</b>
Na intrekken van $L_5$	9.359	<b>0,58</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4$	5.107	<b>0,31</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	5.106	<b>0,31</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	550	<b>0,03</b>

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{16.273,95}$$

## 4.3 Berekening van de optredende spanning t.g.v. kromming van de leiding op rollenbaan/maaiveld

$$M_b = f_{k,b} \cdot E \cdot \frac{l_b}{R_r}$$

$$M_b = 1,1 \cdot 1.100 \cdot \frac{106.064.835}{100.000} = 1.283.384,50 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{1.283.384,50}{848.519} = 1,51 \text{ N/mm}^2$$

## 4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

Spanningen $\sigma_a$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Starten met trekken	0,63	<b>1,61</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub>	0,58	<b>1,56</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub>	0,31	<b>1,30</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub> + L <sub>3</sub>	0,31	<b>1,30</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub> + L <sub>3</sub> + L <sub>2</sub>	0,03	<b>1,02</b>

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 1,51 + \sigma_t$$

Toelaatbare spanning:  $\sigma_{kd} = MRS = 10,00 \text{ N/mm}^2$

**5. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat****5.1 Berekening van de vereiste trekkracht  $T_2$  en  $T_{3a}$  in verband met wrijving tussen leiding en boorvloeistof/boorgangwand**

Aantal buizen in de bundel  $n = 4$

De bundelbuizen worden niet gekoppeld  $\rightarrow f_b = 1/n^{0,3} = 0,660$

Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof.

66,0% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet.

Hieruit volgt:  $D_{e,omtrek} = 518,17 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat  $g_{gat} = 0,483 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof:  $g_{opw} = \rho_{m,i} \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 250,00^2 \cdot \pi/4 = 0,565 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is  $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,0811 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht $T_2$ en $T_{3a}$ tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	$T_2$ [N]	$T_{3a}$ [N]
Na intrekken van $L_5$	10,31	<b>782</b>	-
Na intrekken van $L_5 + L_4$	59,18	-	<b>4.487</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	59,19	<b>4.488</b>	-
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	111,55	-	<b>8.459</b>
Geheel ingetrokken	117,87	<b>8.938</b>	-

Rechte delen:  $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (518,17 \cdot 0,00005 + 0,0811 \cdot 0,2)$

Gebogen delen:  $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (518,17 \cdot 0,00005 + 0,0811 \cdot 0,2)$

**5.2 Berekening van de vereiste trekkracht  $T_{3b}$  in verband met wrijving door grondreactie in de bochten****5.2.1 Neergaande bocht**

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_{v,gem}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{250,00 \cdot 0,0028}{4 \cdot 1.100 \cdot 106.064.835,12}} = 0,0011 \text{ mm}^{-1}$$

$$Q_{r1} = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot f_{r,o} \cdot R}$$

$$Q_{r1} = \frac{0,322 \cdot 0,0011^2 \cdot 1.100 \cdot 106.064.835,12}{250,00 \cdot 0,9 \cdot 200.000} = 0,0010 \text{ N/mm}^2$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_{r1}}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3$$

$$T_{3b} = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{0,0010}{2} \cdot 250,00 \cdot \frac{\pi}{0,0011} \cdot 0,2 = 522,45 \text{ N}$$



## 5.2.2 Opgaande bocht

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_{v,gem}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{250,00 \cdot 0,0028}{4 \cdot 1.100 \cdot 106.064.835,12}} = 0,0011 \text{ mm}^{-1}$$

$$Q_{r2} = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot f_{r,o} \cdot R}$$

$$Q_{r2} = \frac{0,322 \cdot 0,0011^2 \cdot 1.100 \cdot 106.064.835,12}{250,00 \cdot 0,9 \cdot 200.000} = 0,0010 \text{ N/mm}^2$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_{r2}}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3$$

$$T_{3b} = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{0,0010}{2} \cdot 250,00 \cdot \frac{\pi}{0,0011} \cdot 0,2 = 522,45 \text{ N}$$

5.3 Berekening van de wrijving door bochtkracht  $T_{3c}$ 

Trekkraft $T_{bocht}$ tijdens verschillende stadia [N]	$T_1$ [N] (f = 1)	$T_2 / T_{3a}$ [N] (f = 1)	$T_{3b,neer}$ [N] (f = 1)	$T_{3b,op}$ [N] (f = 1)	$T_{bocht}$ [N]
Neergaande bocht	2.837	2.493	290	-	<b>5.620</b>
Opgaande bocht	306	4.699	290	290	<b>5.585</b>

Neergaande bocht:  $T_{bocht} = T_1 + T_2 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max}$

Opgaande bocht:  $T_{bocht} = T_1 + T_2 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max} + T_{3a,op} + T_{3b,op,max}$

Trekkraft $T_{3c}$ tijdens verschillende stadia [N]	$\alpha$ [°]	$T_{bocht}$ [N]	$T_{3c}$ [N]
Neergaande bocht	7,50	5.620	<b>528</b>
Opgaande bocht	7,00	5.585	<b>525</b>

$$T_{3c} = f \cdot L_B \cdot g_t \cdot f_3$$

$$L_B = 2 \cdot R \cdot 2\pi \cdot \frac{\alpha}{360}$$

$$g_t = \frac{2 \cdot T_{bocht} \cdot \sin(\alpha)}{L_B}$$

$$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{bocht} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,8 \cdot 2 \cdot T_{bocht} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$

## 5.4 Totalisatie van de trekkrachten in fase II

Trekkraft $T_{tot}$ tijdens verschillende stadia [N]	$T_1$ [N]	$T_2 / T_{3a}$ [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3c,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{3c,op}$ [N]	$T_{tot}$ [N]
Na intrekken van $L_5$	9.359	782	-	-	-	-	<b>10.141</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4$	5.107	4.487	522	528	-	-	<b>10.645</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	5.106	4.488	522	528	-	-	<b>10.645</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	550	8.459	522	528	522	525	<b>11.072</b>
Geheel ingetrokken	0	8.938	522	528	522	525	<b>11.001</b>

$$T_{tot} = T_1 + T_2 + T_{3a} + T_{3b,neer,max} + T_{3c,neer} + T_{3b,op,max} + T_{3c,op}$$

**5.5 Karakteristieke waarden van de benodigde trekkrachten in fase II**

Wanneer geen totaalfactor wordt toegepast ( $f = 1$ ), gelden de volgende karakteristieke waarden voor de trekkrachten.

Trekkracht $T_{tot}$ tijdens verschillende stadia [N]	$T_1$ [N]	$T_2 / T_{3a}$ [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3c,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{3c,op}$ [N]	$T_{tot}$ [N]
Na intrekken van $L_5$	5.200	434	-	-	-	-	<b>5.634</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4$	2.837	2.493	290	293	-	-	<b>5.914</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	2.837	2.493	290	293	-	-	<b>5.914</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	306	4.699	290	293	290	292	<b>6.151</b>
Geheel ingetrokken	0	4.965	290	293	290	292	<b>6.112</b>

De maximale karakteristieke waarde voor de benodigde trekkracht bedraagt **6.151 N** ( $\approx 0,7$  ton).

Volgens het voorschrift van de Drilling Contractors Association (DCA - Europe) wordt een boormachine voorgeschreven met een trekkracht 2 tot 3 keer deze maximale waarde.

**5.6 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten in fase II**

Spanningen $\sigma_t$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_{tot}$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Na intrekken van $L_5$	10.141	<b>0,62</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4$	10.645	<b>0,65</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	10.645	<b>0,65</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	11.072	<b>0,68</b>
Geheel ingetrokken	11.001	<b>0,68</b>

$$\sigma_t = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{16.273,95}$$

## 5.7 Optredende spanningen t.g.v. kromming van de leiding in het boorgat

## 5.7.1 Neergaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{f_{r,o} \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 1.100 \cdot \frac{106.064.835,12}{0,9 \cdot 200.000} = 907.443,59 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{907.443,59}{848.518,68} = 1,07 \text{ N/mm}^2$$

## 5.7.2 Opgaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{f_{r,o} \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 1.100 \cdot \frac{106.064.835,12}{0,9 \cdot 200.000} = 907.443,59 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{907.443,59}{848.518,68} = 1,07 \text{ N/mm}^2$$

## 5.8 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

Spanningen $\sigma_a$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_{tot}$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Na intrekken van L <sub>5</sub>	10.141	0,62	-	<b>0,62</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub>	10.645	0,65	1,07	<b>1,35</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub> + L <sub>3</sub>	10.645	0,65	-	<b>0,65</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub> + L <sub>3</sub> + L <sub>2</sub>	11.072	0,68	1,07	<b>1,38</b>
Geheel ingetrokken	11.001	0,68	-	<b>0,68</b>

$$\text{Rechte delen: } \sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{16.273,95} = \sigma_t$$

$$\text{Gebogen delen: } \sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot \sigma_b + \sigma_t$$

$$\text{Toelaatbare spanning: } \sigma_{kd} = MRS = 10,00 \text{ N/mm}^2$$

**6. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase****6.1 Berekening van de spanningen  $\sigma_p$  en  $\sigma_{pl}$  t.g.v. inwendige druk**

$$D_g/d_n = 227,20/22,80 = 9,96 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow \text{Dikwandige leiding}$$

$$\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$$

$$\sigma_p = \frac{125,00^2 + 102,20^2}{125,00^2 - 102,20^2} \cdot 0 = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{y1} = \sigma_p = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 0,00 = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \bar{\sigma}_t = 8,00 \text{ N/mm}^2$$

**6.2 Berekening reroundingfactor  $f_{rr}$** 

$$f_{rr} = 1 / \left( 1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w} \right)$$

$$f_{rr} = 1 / \left( 1 + \frac{2 \cdot 0 \cdot 113,6^3 \cdot 0,143}{1100 \cdot 987,70} \right) = 1,00$$

**6.3 Berekening van de neutrale grondbelasting  $Q_n$** 

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grondsoort	$q_{\text{droog}}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_{\text{nat}}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_n$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1e rechte deel	1,60	1,40	Zand	25,03	2,62	27,65	6,91
Neergaande bocht	8,42	1,40	Zand	25,03	91,96	116,99	29,25
2e rechte deel	8,42	1,40	Zand	25,03	91,96	116,99	29,25
Opgaande bocht	8,42	1,40	Zand	26,38	91,96	118,34	29,59
3e rechte deel	2,48	1,40	Zand	26,38	14,12	40,50	10,13

$$q_{\text{droog}} = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$$

$$q_{\text{nat}} = \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$Q_n = q_n \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot 250$$

**6.4 Berekening van de verkeersbelasting  $Q_v$** 

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeersbelasting	$q_v$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1e rechte deel	1,60	Geen	0,00	0,00
Neergaande bocht	8,42	Geen	0,00	0,00
2e rechte deel	8,42	Geen	0,00	0,00
Opgaande bocht	8,42	Geen	0,00	0,00
3e rechte deel	2,48	Geen	0,00	0,00

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 250$$

## 6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_{\text{boven}}$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$M_q$ [Nmm]	$\sigma_q$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	6,91	0,00	6,91	201,78	<b>2,33</b>
Neergaande bocht	29,25	0,00	29,25	853,86	<b>9,86</b>
2e rechte deel	29,25	0,00	29,25	853,86	<b>9,86</b>
Opgaande bocht	29,59	0,00	29,59	863,76	<b>9,97</b>
3e rechte deel	10,13	0,00	10,13	295,63	<b>3,41</b>

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 113,60$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{86,64}$$

6.6 Optredende spanning  $\sigma_{qr}$  t.g.v. grondreactie in de bochten

## 6.6.1 Neergaande bocht

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_{r1} \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w}$$

$$\sigma_{qr} = 0,179 \cdot 0,0010 \cdot 250,00 \cdot \frac{125,00}{86,64} = \mathbf{0,07 \text{ N/mm}^2}$$

## 6.6.2 Opgaande bocht

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_{r2} \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w}$$

$$\sigma_{qr} = 0,179 \cdot 0,0010 \cdot 250,00 \cdot \frac{125,00}{86,64} = \mathbf{0,07 \text{ N/mm}^2}$$

6.7 Berekening van de spanning  $\sigma_{ax}$  t.g.v. temperatuurverschil

$$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$$

$$\sigma_{ax} = 30 \cdot 0,0002 \cdot 1100 = \mathbf{6,60 \text{ N/mm}^2}$$

7. Toetsing op minimale ringstijfheid  $S_N$ 

$$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$$

$$S_N = 1100 \cdot \frac{987,70}{227,2^3} = 0,0926 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{92,64 \text{ kN/m}^2}$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m<sup>2</sup>

## 8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

Veiligheidsfactor  $\gamma$  voor langdurige onderdruk:  $\gamma = 3$

Veiligheidsfactor  $\gamma$  voor kortdurende onderdruk:  $\gamma = 1,5$

$$p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$$

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 1.100,00 \cdot 987,70}{227,20^3} = 1,76 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 200,00 \cdot 987,70}{227,20^3} = 0,16 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **16,04 m** grondwater boven de leiding

**9. Berekening van het totaal aan optredende spanningen***9.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding*

Locatie	$\sigma_q$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{qr}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_{\sigma}$ [-]	$\sigma_{y2}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	2,33	-	0,65	<b>1,51</b>
Neergaande bocht	9,86	0,066	0,65	<b>6,45</b>
2e rechte deel	9,86	-	0,65	<b>6,41</b>
Opgaande bocht	9,97	0,066	0,65	<b>6,52</b>
3e rechte deel	3,41	-	0,65	<b>2,22</b>

Rechte delen:  $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_q$ Bochten:  $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$ Toelaatbare spanning:  $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = 8,00$  N/mm<sup>2</sup>*9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding*

Locatie	$\sigma_{pl}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{ax}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_{\sigma}$ [-]	$\sigma_x$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	0,00	6,60	-	-	<b>6,60</b>
Neergaande bocht	0,00	6,60	1,07	0,65	<b>7,30</b>
2e rechte deel	0,00	6,60	-	-	<b>6,60</b>
Opgaande bocht	0,00	6,60	1,07	0,65	<b>7,30</b>
3e rechte deel	0,00	6,60	-	-	<b>6,60</b>

Rechte delen:  $\sigma_x = \sigma_{pl} + \sigma_{ax}$ Bochten:  $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_A \cdot \sigma_b + \sigma_{ax}$ Toelaatbare spanning:  $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = 8,00$  N/mm<sup>2</sup>**10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie**

Locatie	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\delta_y$ [mm]	$\delta_y/D_g$ [%]
1e rechte deel	6,91	0,00	-	<b>2,49</b>	1,09
Neergaande bocht	29,25	0,00	0,0010	<b>10,53</b>	4,63
2e rechte deel	29,25	0,00	-	<b>10,52</b>	4,63
Opgaande bocht	29,59	0,00	0,0010	<b>10,65</b>	4,69
3e rechte deel	10,13	0,00	-	<b>3,64</b>	1,60

$$\delta_y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 113,60^3}{200 \cdot 987,70}$$

Toelaatbare deflectie = 8% · D<sub>g</sub> = 0,08 · 227,20 = **18,18** mm

## 11. Berekening van de boorspoeldrukken

Locatie	H [m]	$\sigma_{vert}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{hor}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_o'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$p'_f$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$E_{100}$ [MN/m <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	1,60	22,50	9,59	16,05	25,25	39,43
Neergaande bocht	8,42	84,50	36,03	60,27	94,83	81,12
2e rechte deel	8,42	84,50	36,03	60,27	94,83	81,12
Opgaande bocht	8,42	85,62	36,51	61,07	96,09	81,59
3e rechte deel	2,48	31,60	13,48	22,54	35,46	47,73

$$\sigma_{vert} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$\sigma_{hor} = \sigma_{vert} \cdot (1 - \sin(\varphi))$$

$$\sigma_o' = \frac{\sigma_{vert} + \sigma_{hor}}{2}$$

$$p'_f = \sigma_o' \cdot (1 + \sin(\varphi)) + c \cdot \cos(\varphi)$$

$$E_{100, norm} = E_{100} \cdot (q_n/100)^m \quad (\text{Zand/Leem/Grind} \rightarrow m = 0,5; \text{Veen/Klei} \rightarrow m = 0,8)$$

Locatie	G [MN/m <sup>2</sup> ]	Q [-]	u [N/mm <sup>2</sup> ]	v [-]	$p_{lim}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	90% $p_{lim}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1</span>
1e rechte deel	20,37	0,00045	0,0020	0,2989	0,42	3,78
Neergaande bocht	41,91	0,00082	0,0702	0,2989	1,33	11,99
2e rechte deel	41,91	0,00082	0,0702	0,2989	1,33	11,99
Opgaande bocht	42,15	0,00083	0,0702	0,2989	1,35	12,11
3e rechte deel	24,66	0,00052	0,0108	0,2989	0,57	5,11

$$G = \frac{E_{100, norm}}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

$$Q = \frac{\sigma_o' \cdot \sin(\varphi) + c \cdot \cos(\varphi)}{G}$$

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$K = 1 - \sin(\varphi)$$

$$\nu = \frac{K}{1 + K}$$

$$p_{lim} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

## 11.1 Tijdens pilot

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	$\Delta h_{in}$ [m]	$p_{max}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{max}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2</span>	$p_{min}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{min}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</span>
1e rechte deel	0,80	1,64	0,13	<b>1,30</b>	0,02	<b>0,20</b>
Neergaande bocht	0,94	8,45	0,60	<b>5,97</b>	0,11	<b>1,12</b>
2e rechte deel	0,94	8,45	0,60	<b>5,97</b>	0,11	<b>1,12</b>
Opgaande bocht	0,93	8,45	0,60	<b>6,02</b>	0,11	<b>1,12</b>
3e rechte deel	1,17	2,51	0,24	<b>2,43</b>	0,06	<b>0,55</b>

$$R_{p,max} = \frac{H}{2}, R_{p,max,zand} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot e_{g,max}} \text{ of } \frac{H}{2}$$

$$R_o = \frac{D_p}{2} = \frac{170}{2} = 85 \text{ mm}$$

$$p_{max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left( \frac{R_o^2}{R_{p,max}} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

$$v_{m,p} = \frac{Q_{m,p}}{A_p} = \frac{100}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - D_b^2)} = \frac{100}{1/4 \cdot \pi \cdot (170^2 - 114^2)} = 0,133 \text{ m/s}$$

$$p_{min} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_p \cdot v_{m,p}}{(D_p - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,p}}{D_p - D_b} \right) \cdot L + \rho_{m,p} \cdot \Delta h_{in}$$

## 11.2 Tijdens ruimgang

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	$\Delta h_{uit}$ [m]	$p_{max}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{max}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">4</span>	$p_{min}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{min}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">5</span>
3e rechte deel	1,24	2,49	0,09	<b>0,93</b>	0,03 <sup>(1)</sup>	<b>0,29</b>
Opgaande bocht	4,21	8,44	0,60	<b>5,97</b>	0,10 <sup>(1)</sup>	<b>0,98</b>
2e rechte deel	4,21	8,44	0,59	<b>5,90</b>	0,10 <sup>(1)</sup>	<b>0,98</b>
Neergaande bocht	4,21	8,44	0,59	<b>5,90</b>	0,10 <sup>(1)</sup>	<b>0,98</b>
1e rechte deel	0,80	1,62	0,04	<b>0,45</b>	0,02 <sup>(2)</sup>	<b>0,20</b>

$$R_o = \frac{D_{g,r}}{2} = \frac{780}{2} = 390 \text{ mm}$$

$$v_{m,r,uit} = \frac{Q_{m,r}}{A_r} = \frac{500}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_b^2)} = \frac{500}{1/4 \cdot \pi \cdot (780^2 - 114^2)} = 0,018 \text{ m/s}$$

$$v_{m,r,in} = \frac{Q_{m,r}}{A_p} = \frac{500}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - D_b^2)} = \frac{500}{1/4 \cdot \pi \cdot (170^2 - 114^2)} = 0,667 \text{ m/s}$$

$$p_{min,uit} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_r \cdot v_{m,r,uit}}{(D_{g,r} - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,r}}{D_{g,r} - D_b} \right) \cdot (L_{tot} - L) + \rho_{m,r} \cdot \Delta h_{uit} \quad (1)$$

$$p_{min,in} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_r \cdot v_{m,r,in}}{(D_p - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,r}}{D_p - D_b} \right) \cdot L + \rho_{m,r} \cdot \Delta h_{in} \quad (2)$$



## 11.3 Tijdens intrekken

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	$\Delta h_{uit}$ [m]	$p_{max}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{max}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">6</span>	$p_{min}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{min}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">7</span>
3e rechte deel	1,24	2,49	0,09	<b>0,93</b>	0,03 <sup>(1)</sup>	<b>0,29</b>
Opgaande bocht	4,21	8,44	0,60	<b>5,97</b>	0,10 <sup>(2)</sup>	<b>0,98</b>
2e rechte deel	4,21	8,44	0,59	<b>5,90</b>	0,10 <sup>(2)</sup>	<b>0,98</b>
Neergaande bocht	4,21	8,44	0,59	<b>5,90</b>	0,10 <sup>(2)</sup>	<b>0,98</b>
1e rechte deel	0,80	1,62	0,04	<b>0,45</b>	0,02 <sup>(2)</sup>	<b>0,19</b>

$$D_{eq} = \sqrt{\sum_{i=1}^n D_{0,i}^2} = 500 \text{ mm}$$

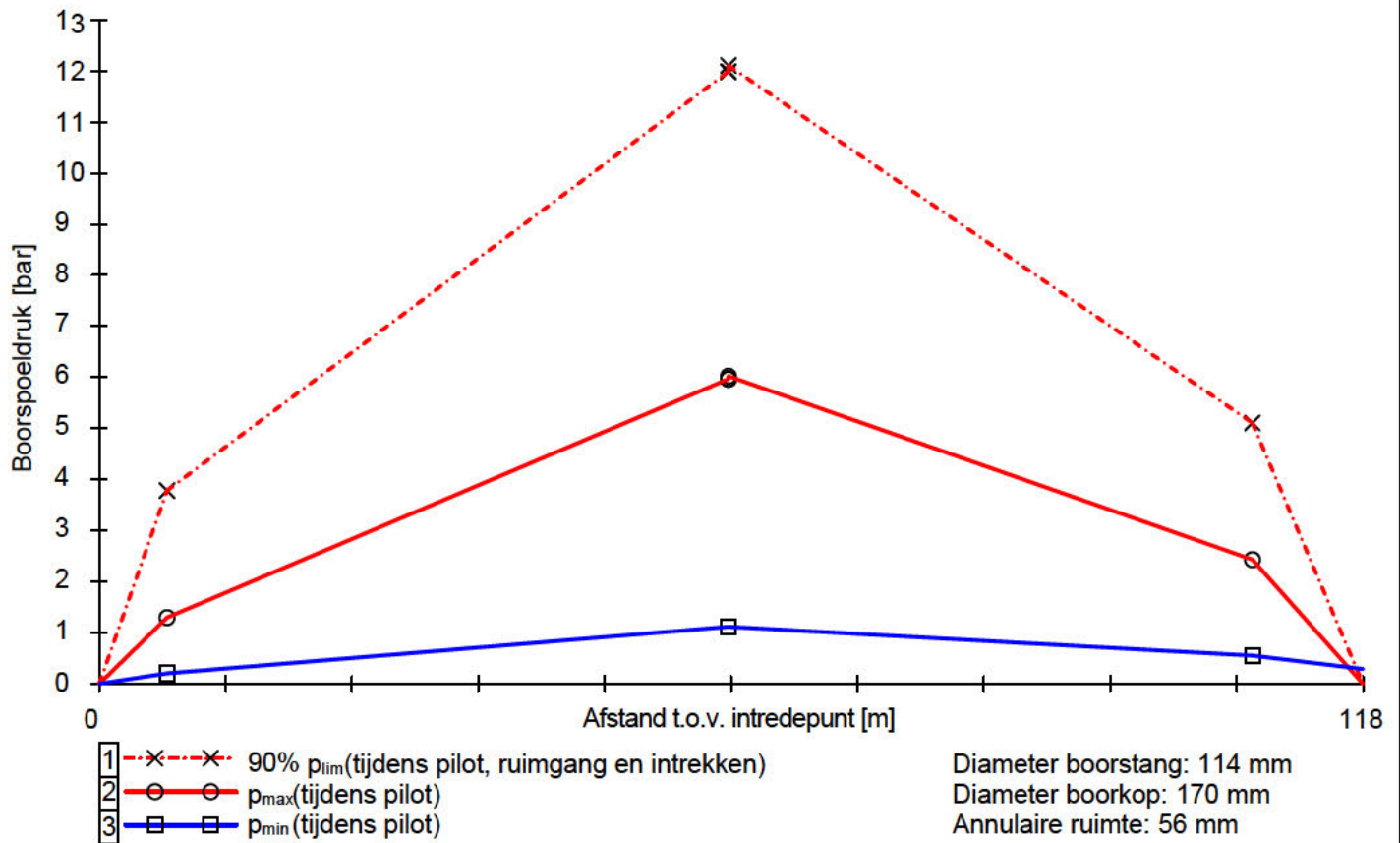
$$R_o = \frac{D_{g,r}}{2} = \frac{780}{2} = 390 \text{ mm}$$

$$v_{m,i,uit} = \frac{Q_{m,i}}{A_i} = \frac{300}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_{eq}^2)} = \frac{300}{1/4 \cdot \pi \cdot (780^2 - 500^2)} = 0,018 \text{ m/s}$$

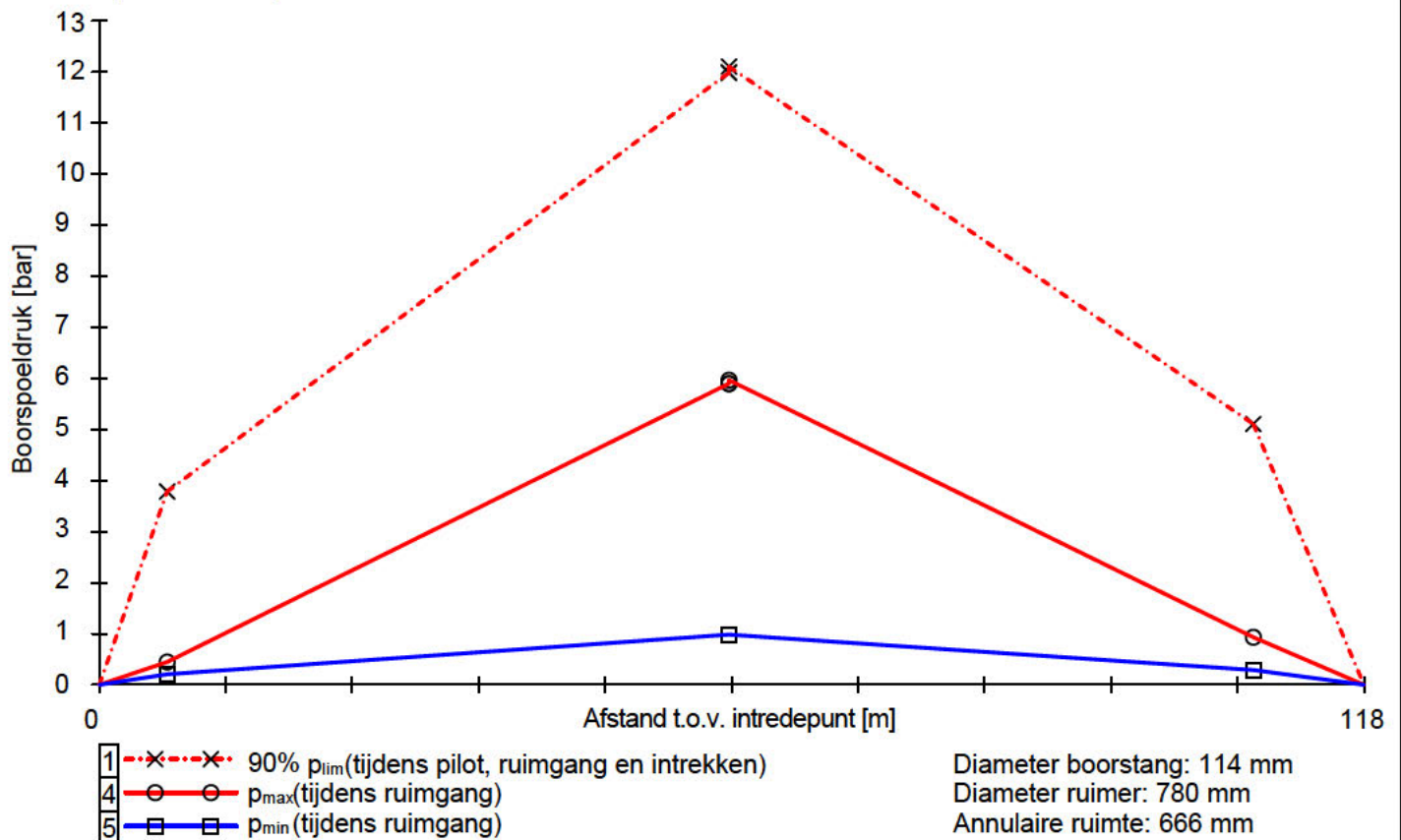
$$p_{min,uit} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_i \cdot v_{m,i,uit}}{(D_{g,r} - D_{eq})^2} + \frac{\tau_{y,i}}{D_{g,r} - D_{eq}} \right) \cdot (L_{tot} - L) + \rho_{m,i} \cdot \Delta h_{uit} \quad (1)$$

$$p_{min,in} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_i \cdot v_{m,in}}{(D_{g,r} - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,i}}{D_{g,r} - D_b} \right) \cdot L + \rho_{m,i} \cdot \Delta h_{in} \quad (2)$$

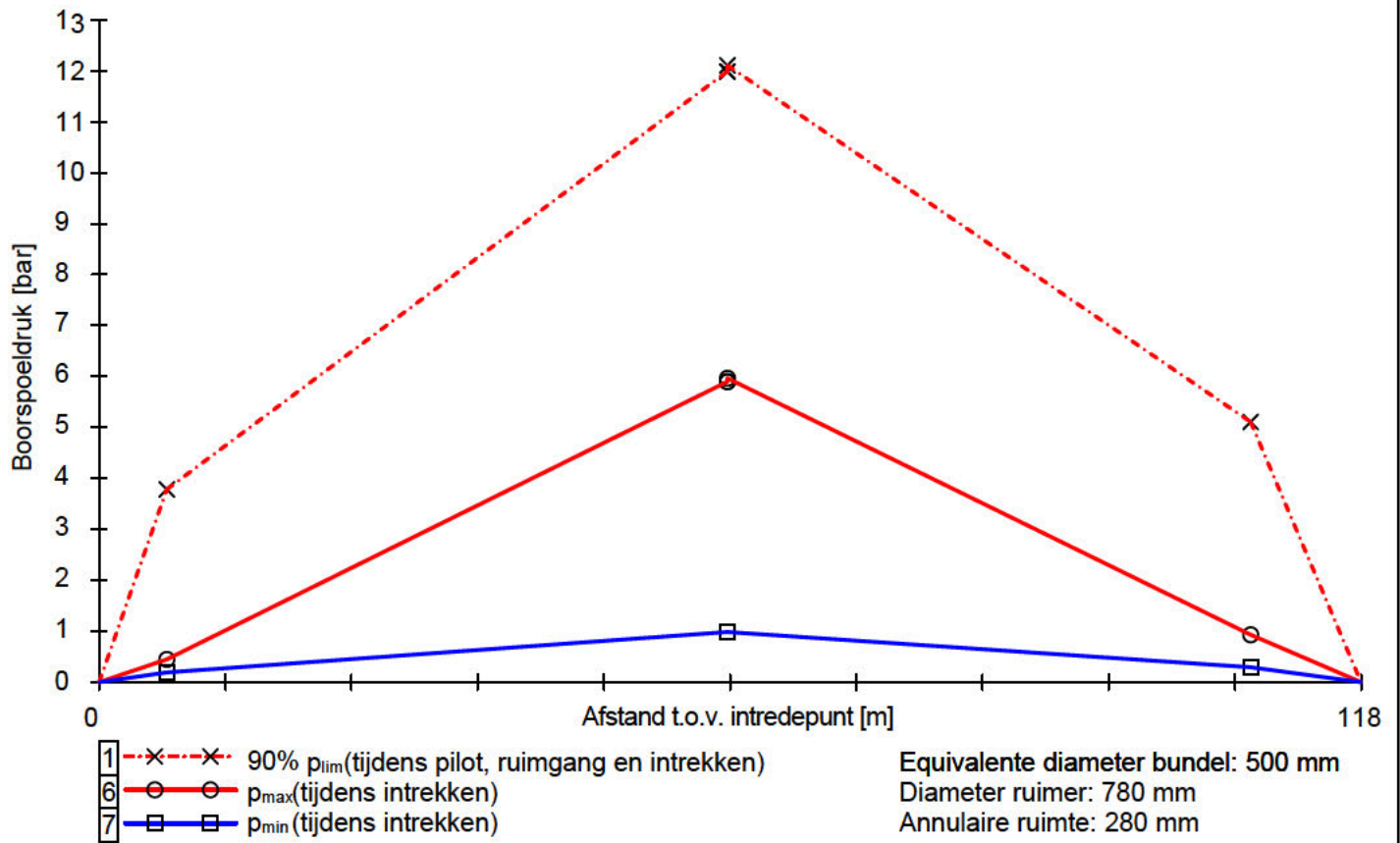
11.4 Boorspoeldrukken tijdens pilot



11.5 Boorspoeldrukken tijdens ruimen

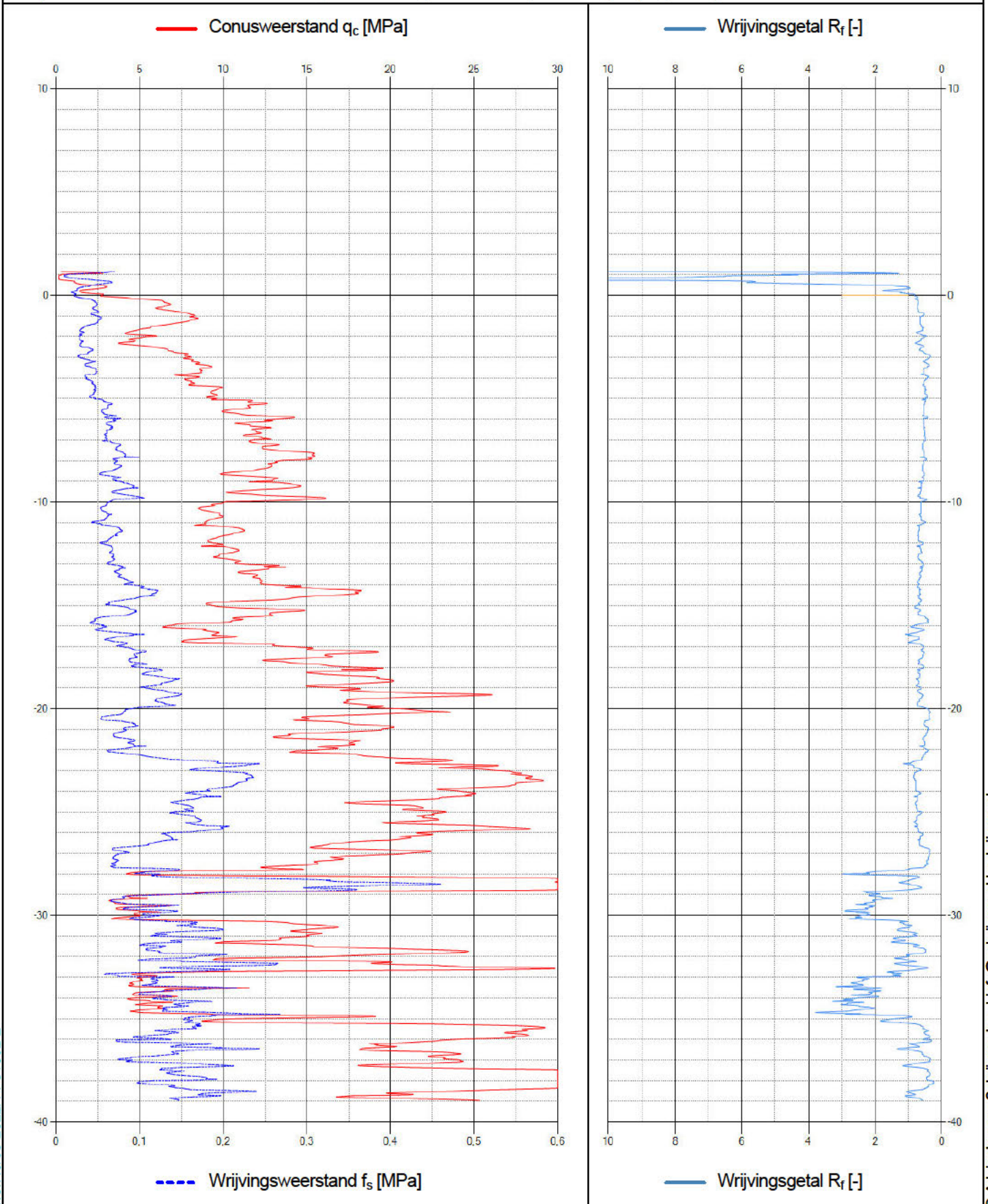


11.6 Boorspoeldrukken tijdens intrekken



Naam van het project : TenneT Nederwiek 1

Projectonderdeel : HDDN16 Boring onder leidingen Ø250mm, SDR 11 (100pct gevuld)

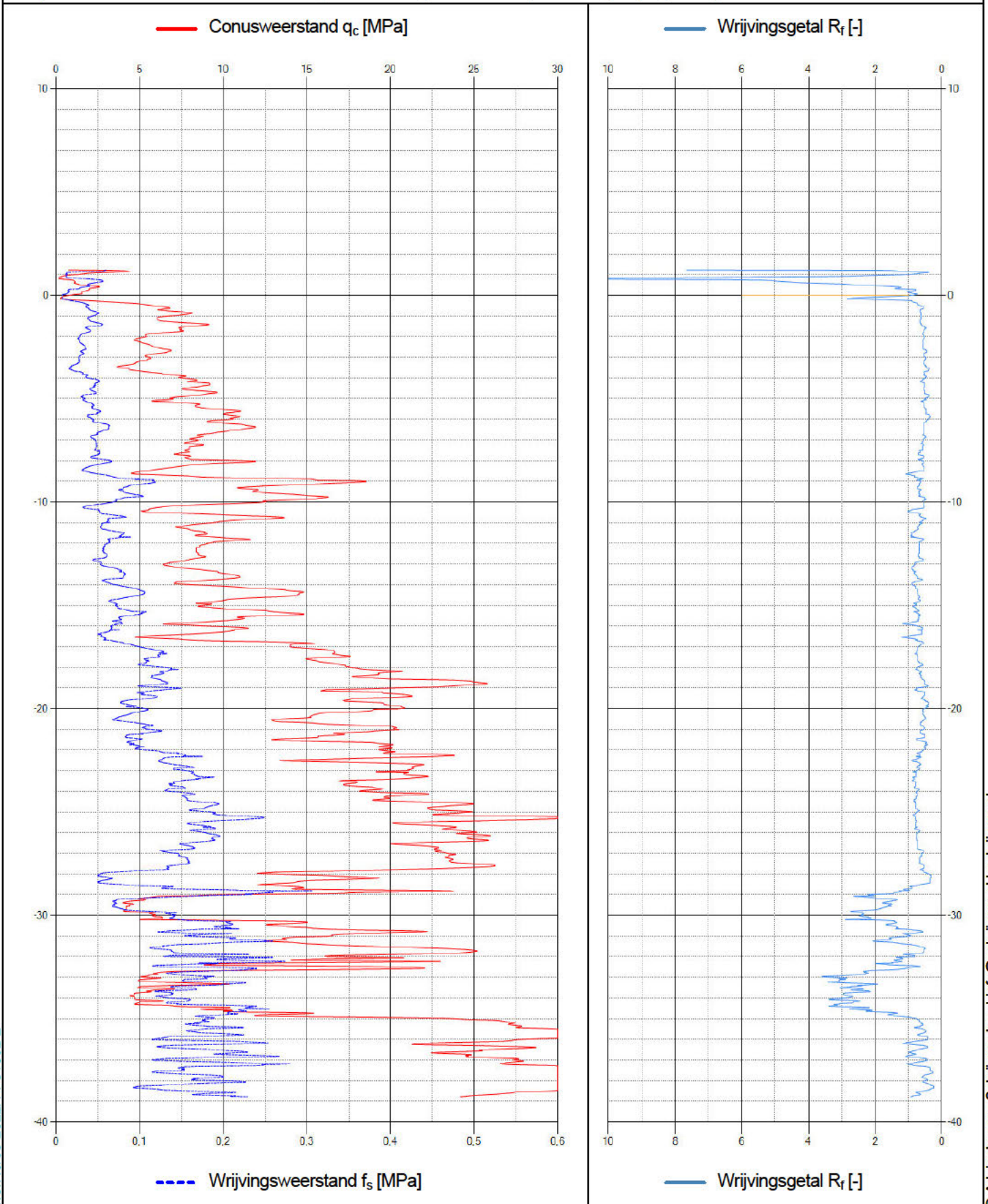


1.3.7.0/03-2022/14-31382-2

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

Naam van het project : TenneT Nederwiek 1

Projectonderdeel : HDDN16 Boring onder leidingen Ø250mm, SDR 11 (100pct gevuld)



1.3.7.003-2022/14-31382-2

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

Bijlage L : Sterkteberekening HDDN22 – Kruising Frankrijkweg

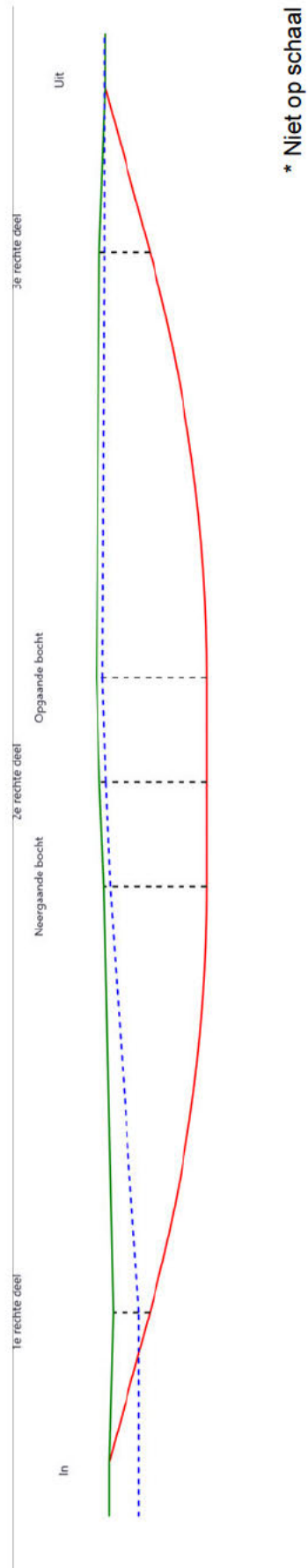
Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2022 1.3 ©	
<b>Algemene gegevens</b>			
Naam van het project	: TenneT Nederwiek 1		
Projectonderdeel	: HDDN22 Frankrijkweg Ø250mm, SDR 11 (blijvend 100pct gevuld)		
<b>Materiaalgegevens</b>			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm <sup>2</sup>
Materiaalfactor	$\gamma_M$	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 1.100	N/mm <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 200	N/mm <sup>2</sup>
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	$\alpha_g$	= 20,0·10 <sup>-5</sup>	mm/(mm·K)
Alfa Tangentieel / Alfa Axiaal	$\alpha_\sigma$	= 0,65	-
Soortelijk gewicht buis	$\rho_L$	= 9,55	kN/m <sup>3</sup>
Toelaatbare deflectie	$\delta$	= 8,00	%
<b>Leidinggegevens</b>			
Uitwendige middellijn	D <sub>e</sub>	= 250,00	mm
Wanddikte	d <sub>n</sub>	= 22,8	mm
<b>Procesgegevens</b>			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Ontwerpdruk	p <sub>d</sub>	= 0	N/mm <sup>2</sup>
Volumieke massa medium	$\rho$	= 1000	kg/m <sup>3</sup>
Temperatuurverschil	$\Delta t$	= 30	°
<b>Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken</b>			
Totale lengte	L	= 254,35	m
Lengte 1e rechte deel	L <sub>1</sub>	= 28,28	m
Lengte neergaande bocht	L <sub>2</sub>	= 78,54	m
Lengte 2e rechte deel	L <sub>3</sub>	= 38,00	m
Lengte opgaande bocht	L <sub>4</sub>	= 78,54	m
Lengte 3e rechte deel	L <sub>5</sub>	= 30,99	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R <sub>r</sub>	= 100,00	m
Straal neergaande bocht	R <sub>1</sub>	= 300,00	m
Straal opgaande bocht	R <sub>2</sub>	= 300,00	m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	$\alpha_1$	= 15,00 / 26,79	° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	$\alpha_2$	= 15,00 / 26,79	° / %
Belastinghoek	$\alpha$	= 30	°
Ondersteuningshoek	$\beta$	= 30	°
Horizontale steundrukhoek	$\gamma$	= 120	°
Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	$\gamma$	= 1,1	
<p>The diagram illustrates the layout of a horizontal borehole. It starts with a straight segment of length L<sub>1</sub> at an angle <math>\alpha_1</math> to the horizontal. This is followed by a downward curve with radius R<sub>1</sub> and length L<sub>2</sub>. A horizontal segment of length L<sub>3</sub> follows, then an upward curve with radius R<sub>2</sub> and length L<sub>4</sub>. Finally, there is a horizontal segment of length L<sub>5</sub> that ends at an angle <math>\alpha_2</math> to the horizontal. The total length of the borehole is L. A radius R<sub>r</sub> is also indicated for the ground surface profile.</p>			

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020					Sigma 2022 1.3 ©		
Uitvoeringsaspecten							
Diameter boorstang		$D_b$	= 114	mm			
<i>Tijdens pilot</i>							
Diameter boorkop/boorgat		$D_p$	= 170	mm			
Soortelijk gewicht boorvloeistof		$\rho_{m,p}$	= 11,5	kN/m <sup>3</sup>			
Zwichtspanning boorvloeistof		$\tau_{y,p}$	= 13,4	Pa			
Plastische viscositeit boorvloeistof		$\eta_p$	= 0,009	Pa·s			
Debiet boorvloeistof		$Q_{m,p}$	= 100	l/min			
<i>Tijdens ruimgang</i>							
Boorstangen koppelen tijden ruimen							
Diameter ruimer/boorgat		$D_{g,r}$	= 780	mm			
Soortelijk gewicht boorvloeistof		$\rho_{m,r}$	= 11,5	kN/m <sup>3</sup>			
Zwichtspanning boorvloeistof		$\tau_{y,r}$	= 13,4	Pa			
Plastische viscositeit boorvloeistof		$\eta_r$	= 0,009	Pa·s			
Debiet boorvloeistof		$Q_{m,r}$	= 500,0	l/min			
<i>Tijdens intrekken</i>							
Equivalente diameter bundel		$D_{eq}$	= 500	mm			
Soortelijk gewicht boorvloeistof		$\rho_{m,i}$	= 11,5	kN/m <sup>3</sup>			
Zwichtspanning boorvloeistof		$\tau_{y,i}$	= 13,4	Pa			
Plastische viscositeit boorvloeistof		$\eta_i$	= 0,009	Pa·s			
Debiet boorvloeistof		$Q_{m,i}$	= 300	l/min			
Aantal buizen in de bundel		$n$	= 4				
De bundelbuizen worden niet gekoppeld							
Gewicht vulling/extra gewicht op rollenbaan		$g_{vul, r}$	= 0,328	N/mm <sup>1</sup>			
Gewicht vulling/extra gewicht tpv boorgang		$g_{vul, b}$	= 0,328	N/mm <sup>1</sup>			
Onzekerheids- en wrijvingsfactoren							
Totaalfactor bij boring met bundels		$f$	= 1,8				
Belastingfactor, bovengronds		$f_{k,b}$	= 1,1				
Belastingfactor, ondergronds		$f_{k,o}$	= 1,4				
Onzekerheidsfactor straal, ondergronds		$f_{r,o}$	= 0,9				
Wrijvingscoëff. met rollenbaan		$f_1$	= 0,1				
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof		$f_2$	= 0,00005	N/mm <sup>2</sup>			
Wrijving tussen leiding/boorgangwand		$f_3$	= 0,2				
Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting							
Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grondsoort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m <sup>3</sup> ]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m <sup>3</sup> ]	Wrijvingshoek grond [°]
1e rechte deel	28,28	6,60	4,60	Zand	19,51	21,00	35,00
Neergaande bocht	106,82	18,50	1,15	Zand	19,55	21,00	35,00
2e rechte deel	125,82	19,30	1,15	Zand	18,43	21,00	35,00
Opgaande bocht	144,82	19,90	1,15	Zand	18,43	21,00	35,00
3e rechte deel	223,36	9,10	0,95	Zand	14,80	20,74	35,00
					07-11-2022 14:02:46		



Locatie	Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm <sup>3</sup> ]	Effectieve cohesie [kN/m <sup>2</sup> ]	E-modulus ondergrond [MN/m <sup>2</sup> ]	Verkeersbelasting
1e rechte deel	-	0,00	75,00	Geen
Neergaande bocht	0,0490	0,00	75,00	Geen
2e rechte deel	-	0,00	75,00	Grafiek I
Opgaande bocht	0,0490	0,00	75,00	Grafiek I
3e rechte deel	-	0,00	75,00	Geen

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Sondering
1e rechte deel	Geen	6
Neergaande bocht	Homogeen (zand)	5
2e rechte deel	Homogeen (zand)	5
Opgaande bocht	Homogeen (zand)	5
3e rechte deel	Geen	117



**2. Eigenschappen van de leiding**

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 204,40	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 227,20	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 250,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 125,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 102,20	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 113,60	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 106.064.835,12	mm <sup>4</sup>
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 848.518,68	mm <sup>3</sup>
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 987,70	mm <sup>4</sup> /mm <sup>1</sup>
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 86,64	mm <sup>3</sup> /mm <sup>1</sup>
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 16.273,95	mm <sup>2</sup>
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,1554	N/mm <sup>1</sup>

**3. Berekening van het gewicht van de leiding tijdens het intrekken van de leiding**

	<i>Leiding op rollenbaan/maaiveld</i>		<i>Leiding in boorgat</i>	
Gewicht mediumleiding	$g = 0,1554$	N/mm <sup>1</sup>	$g = 0,1554$	N/mm <sup>1</sup>
Gewicht vulling	$g_{vul} = 0,328$	N/mm <sup>1</sup> +	$g_{vul} = 0,328$	N/mm <sup>1</sup> +
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,4834$	N/mm <sup>1</sup>	$g_{gat} = 0,4834$	N/mm <sup>1</sup>

**4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds****4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld**

Trekkraft $T_1$ tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	$T_1$ [N]
Starten met trekken	254,35	<b>22.132</b>
Na intrekken van $L_5$	223,36	<b>19.436</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4$	144,82	<b>12.602</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	106,82	<b>9.295</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	28,28	<b>2.461</b>

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,4834 \cdot 0,1$$

**4.2 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten op rollenbaan/maaiveld**

Spanningen $\sigma_t$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_1$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Starten met trekken	22.132	<b>1,36</b>
Na intrekken van $L_5$	19.436	<b>1,19</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4$	12.602	<b>0,77</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	9.295	<b>0,57</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	2.461	<b>0,15</b>

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{16.273,95}$$

## 4.3 Berekening van de optredende spanning t.g.v. kromming van de leiding op rollenbaan/maaiveld

$$M_b = f_{k,b} \cdot E \cdot \frac{I_b}{R_r}$$

$$M_b = 1,1 \cdot 1.100 \cdot \frac{106.064.835}{100.000} = 1.283.384,50 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{1.283.384,50}{848.519} = 1,51 \text{ N/mm}^2$$

## 4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

Spanningen $\sigma_a$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Starten met trekken	1,36	<b>2,34</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub>	1,19	<b>2,18</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub>	0,77	<b>1,76</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub> + L <sub>3</sub>	0,57	<b>1,55</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub> + L <sub>3</sub> + L <sub>2</sub>	0,15	<b>1,13</b>

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 1,51 + \sigma_t$$

Toelaatbare spanning:  $\sigma_{kd} = MRS = 10,00 \text{ N/mm}^2$

**5. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat****5.1 Berekening van de vereiste trekkracht  $T_2$  en  $T_{3a}$  in verband met wrijving tussen leiding en boorvloeistof/boorgangwand**

Aantal buizen in de bundel  $n = 4$

De bundelbuizen worden niet gekoppeld  $\rightarrow f_b = 1/n^{0,3} = 0,660$

Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof.

66,0% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet.

Hieruit volgt:  $D_{e,omtrek} = 518,17 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat  $g_{gat} = 0,483 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof:  $g_{opw} = \rho_{m,i} \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 250,00^2 \cdot \pi/4 = 0,565 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is  $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,0811 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht $T_2$ en $T_{3a}$ tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	$T_2$ [N]	$T_{3a}$ [N]
Na intrekken van $L_5$	30,99	<b>2.350</b>	-
Na intrekken van $L_5 + L_4$	109,53	-	<b>8.305</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	147,53	<b>11.187</b>	-
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	226,07	-	<b>17.142</b>
Geheel ingetrokken	254,35	<b>19.287</b>	-

Rechte delen:  $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (518,17 \cdot 0,00005 + 0,0811 \cdot 0,2)$

Gebogen delen:  $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (518,17 \cdot 0,00005 + 0,0811 \cdot 0,2)$

**5.2 Berekening van de vereiste trekkracht  $T_{3b}$  in verband met wrijving door grondreactie in de bochten****5.2.1 Neergaande bocht**

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_{v,gem}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{250,00 \cdot 0,0490}{4 \cdot 1.100 \cdot 106.064.835,12}} = 0,0023 \text{ mm}^{-1}$$

$$Q_{r1} = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot f_{r,o} \cdot R}$$

$$Q_{r1} = \frac{0,322 \cdot 0,0023^2 \cdot 1.100 \cdot 106.064.835,12}{250,00 \cdot 0,9 \cdot 300.000} = 0,0029 \text{ N/mm}^2$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_{r1}}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3$$

$$T_{3b} = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{0,0029}{2} \cdot 250,00 \cdot \frac{\pi}{0,0023} \cdot 0,2 = 712,39 \text{ N}$$

## 5.2.2 Opgaande bocht

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_{v,gem}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{250,00 \cdot 0,0490}{4 \cdot 1.100 \cdot 106.064.835,12}} = 0,0023 \text{ mm}^{-1}$$

$$Q_{r2} = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot f_{r,o} \cdot R}$$

$$Q_{r2} = \frac{0,322 \cdot 0,0023^2 \cdot 1.100 \cdot 106.064.835,12}{250,00 \cdot 0,9 \cdot 300.000} = 0,0029 \text{ N/mm}^2$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_{r2}}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3$$

$$T_{3b} = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{0,0029}{2} \cdot 250,00 \cdot \frac{\pi}{0,0023} \cdot 0,2 = 712,39 \text{ N}$$

5.3 Berekening van de wrijving door bochtkracht  $T_{3c}$ 

Trekkraft $T_{bocht}$ tijdens verschillende stadia [N]	$T_1$ [N] (f = 1)	$T_2 / T_{3a}$ [N] (f = 1)	$T_{3b,neer}$ [N] (f = 1)	$T_{3b,op}$ [N] (f = 1)	$T_{bocht}$ [N]
Neergaande bocht	7.001	4.614	396	-	<b>12.011</b>
Opgaande bocht	1.367	9.523	396	396	<b>11.682</b>

Neergaande bocht:  $T_{bocht} = T_1 + T_2 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max}$

Opgaande bocht:  $T_{bocht} = T_1 + T_2 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max} + T_{3a,op} + T_{3b,op,max}$

Trekkraft $T_{3c}$ tijdens verschillende stadia [N]	$\alpha$ [°]	$T_{bocht}$ [N]	$T_{3c}$ [N]
Neergaande bocht	7,50	12.011	<b>1.129</b>
Opgaande bocht	7,50	11.682	<b>1.098</b>

$$T_{3c} = f \cdot L_B \cdot g_t \cdot f_3$$

$$L_B = 2 \cdot R \cdot 2\pi \cdot \frac{\alpha}{360}$$

$$g_t = \frac{2 \cdot T_{bocht} \cdot \sin(\alpha)}{L_B}$$

$$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{bocht} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,8 \cdot 2 \cdot T_{bocht} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$

## 5.4 Totalisatie van de trekkrachten in fase II

Trekkraft $T_{tot}$ tijdens verschillende stadia [N]	$T_1$ [N]	$T_2 / T_{3a}$ [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3c,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{3c,op}$ [N]	$T_{tot}$ [N]
Na intrekken van $L_5$	19.436	2.350	-	-	-	-	<b>21.786</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4$	12.602	8.305	712	1.129	-	-	<b>22.748</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	9.295	11.187	712	1.129	-	-	<b>22.323</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	2.461	17.142	712	1.129	712	1.098	<b>23.254</b>
Geheel ingetrokken	0	19.287	712	1.129	712	1.098	<b>22.938</b>

$$T_{tot} = T_1 + T_2 + T_{3a} + T_{3b,neer,max} + T_{3c,neer} + T_{3b,op,max} + T_{3c,op}$$

**5.5 Karakteristieke waarden van de benodigde trekkrachten in fase II**

Wanneer geen totaalfactor wordt toegepast ( $f = 1$ ), gelden de volgende karakteristieke waarden voor de trekkrachten.

Trekkracht $T_{tot}$ tijdens verschillende stadia [N]	$T_1$ [N]	$T_2 / T_{3a}$ [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3c,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{3c,op}$ [N]	$T_{tot}$ [N]
Na intrekken van $L_5$	10.798	1.305	-	-	-	-	<b>12.103</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4$	7.001	4.614	396	627	-	-	<b>12.638</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	5.164	6.215	396	627	-	-	<b>12.402</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	1.367	9.523	396	627	396	610	<b>12.919</b>
Geheel ingetrokken	0	10.715	396	627	396	610	<b>12.743</b>

De maximale karakteristieke waarde voor de benodigde trekkracht bedraagt **12.919 N** ( $\approx 1,3$  ton).

Volgens het voorschrift van de Drilling Contractors Association (DCA - Europe) wordt een boormachine voorgeschreven met een trekkracht 2 tot 3 keer deze maximale waarde.

**5.6 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten in fase II**

Spanningen $\sigma_t$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_{tot}$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Na intrekken van $L_5$	21.786	<b>1,34</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4$	22.748	<b>1,40</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	22.323	<b>1,37</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	23.254	<b>1,43</b>
Geheel ingetrokken	22.938	<b>1,41</b>

$$\sigma_t = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{16.273,95}$$

## 5.7 Optredende spanningen t.g.v. kromming van de leiding in het boorgat

## 5.7.1 Neergaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{f_{r,o} \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 1.100 \cdot \frac{106.064.835,12}{0,9 \cdot 300.000} = 604.962,39 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{604.962,39}{848.518,68} = 0,71 \text{ N/mm}^2$$

## 5.7.2 Opgaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{f_{r,o} \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 1.100 \cdot \frac{106.064.835,12}{0,9 \cdot 300.000} = 604.962,39 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{604.962,39}{848.518,68} = 0,71 \text{ N/mm}^2$$

## 5.8 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

Spanningen $\sigma_a$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_{tot}$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Na intrekken van L <sub>5</sub>	21.786	1,34	-	<b>1,34</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub>	22.748	1,40	0,71	<b>1,86</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub> + L <sub>3</sub>	22.323	1,37	-	<b>1,37</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub> + L <sub>3</sub> + L <sub>2</sub>	23.254	1,43	0,71	<b>1,89</b>
Geheel ingetrokken	22.938	1,41	-	<b>1,41</b>

$$\text{Rechte delen: } \sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{16.273,95} = \sigma_t$$

$$\text{Gebogen delen: } \sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot \sigma_b + \sigma_t$$

$$\text{Toelaatbare spanning: } \sigma_{kd} = MRS = 10,00 \text{ N/mm}^2$$



**6. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase***6.1 Berekening van de spanningen  $\sigma_p$  en  $\sigma_{pl}$  t.g.v. inwendige druk*

$$D_g/d_n = 227,20/22,80 = 9,96 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow \text{Dikwandige leiding}$$

$$\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$$

$$\sigma_p = \frac{125,00^2 + 102,20^2}{125,00^2 - 102,20^2} \cdot 0 = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{y1} = \sigma_p = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 0,00 = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \bar{\sigma}_t = 8,00 \text{ N/mm}^2$$

*6.2 Berekening reroundingfactor  $f_{rr}$* 

$$f_{rr} = 1 / \left( 1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w} \right)$$

$$f_{rr} = 1 / \left( 1 + \frac{2 \cdot 0 \cdot 113,6^3 \cdot 0,143}{1100 \cdot 987,70} \right) = 1,00$$

*6.3.1 Berekening van de neutrale grondbelasting  $Q_n$* 

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grondsoort	$q_{\text{droog}}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_{\text{nat}}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_n$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1e rechte deel	6,60	4,60	Zand	98,72	26,20	124,92	31,23
Neergaande bocht	18,50	1,15	Zand	24,73	227,29	252,02	63,00
2e rechte deel	19,30	1,15	Zand	23,31	237,77	261,08	65,27
Opgaande bocht	19,90	1,15	Zand	23,31	245,63	268,94	67,23
3e rechte deel	9,10	0,95	Zand	15,47	104,43	119,90	29,98

$$q_{\text{droog}} = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$$

$$q_{\text{nat}} = \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$Q_n = q_n \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot 250$$

*6.3.2 Berekening van de gereduceerde neutrale grondbelasting  $Q_{nr}$* 

Locatie	h [m]	GWS [m]	$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]
Neergaande bocht	18,50	1,15	13,62
2e rechte deel	19,30	1,15	13,53
Opgaande bocht	19,90	1,15	13,51

$$\gamma' = \frac{\gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w}{h}$$

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	$B_1$ [m]	$8 \cdot B_1$ [m]	$q_{n,r}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_{n,r}$ [N/mm <sup>1</sup> ]
Neergaande bocht	Homogeen (zand)	0,39	3,12	17,79 <sup>(1)</sup>	4,45
2e rechte deel	Homogeen (zand)	0,39	3,12	17,67 <sup>(1)</sup>	4,42
Opgaande bocht	Homogeen (zand)	0,39	3,12	17,65 <sup>(1)</sup>	4,41

$$R = \frac{D_{gr}}{2} = \frac{780}{2} = 390 \text{ mm}$$

$$B_1 = 1/2 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45^\circ - 1/2 \cdot \varphi) \geq R$$

$$K = 1 - \sin(\varphi)$$

Indien gereduceerde grondbelasting volgens berekeningswijze 'Homogeen (zand)': ( $h \geq 8 \cdot B_1$ ):

$$q_{n,r1} = \frac{B_1 \cdot (\gamma' - c/B_1)}{K \cdot \tan(\varphi)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{K \cdot h \cdot \tan \varphi}{B_1}}\right) \quad (1)$$

$$Q_{n,r} = q_{n,r} \cdot D_o = q_{n,r} \cdot 250$$

### 6.3.3 Overzicht berekende (gereduceerde) neutrale gronddrukken

Locatie	$q_n$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$q_{n,r}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_{n,r}$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1e rechte deel	124,92	31,23	-	-
Neergaande bocht	252,02	63,00	17,79	4,45
2e rechte deel	261,08	65,27	17,67	4,42
Opgaande bocht	268,94	67,23	17,65	4,41
3e rechte deel	119,90	29,98	-	-

### 6.4 Berekening van de verkeersbelasting $Q_v$

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeersbelasting	$q_v$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1e rechte deel	6,60	Geen	0,00	0,00
Neergaande bocht	18,50	Geen	0,00	0,00
2e rechte deel	19,30	Grafiek I	1,40	0,35
Opgaande bocht	19,90	Grafiek I	1,33	0,33
3e rechte deel	9,10	Geen	0,00	0,00

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 250$$

### 6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_{n,r}$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_{\text{boven}}$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$M_q$ [Nmm]	$\sigma_q$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	31,23	-	0,00	31,23	911,77 <sup>(1)</sup>	<b>10,52</b>
Neergaande bocht	63,00	4,45	0,00	4,45	129,87 <sup>(2)</sup>	<b>1,50</b>
2e rechte deel	65,27	4,42	0,35	4,77	139,19 <sup>(2)</sup>	<b>1,61</b>
Opgaande bocht	67,23	4,41	0,33	4,74	138,51 <sup>(2)</sup>	<b>1,60</b>
3e rechte deel	29,98	-	0,00	29,98	875,13 <sup>(1)</sup>	<b>10,10</b>

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 113,60 \quad (1)$$

$$M_q = K_b \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 113,60 \quad (2)$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{86,64}$$

6.6 Optredende spanning  $\sigma_{qr}$  t.g.v. grondreactie in de bochten

## 6.6.1 Neergaande bocht

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_{r1} \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w}$$

$$\sigma_{qr} = 0,179 \cdot 0,0029 \cdot 250,00 \cdot \frac{125,00}{86,64} = 0,18 \text{ N/mm}^2$$

## 6.6.2 Opgaande bocht

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_{r2} \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w}$$

$$\sigma_{qr} = 0,179 \cdot 0,0029 \cdot 250,00 \cdot \frac{125,00}{86,64} = 0,18 \text{ N/mm}^2$$

6.7 Berekening van de spanning  $\sigma_{ax}$  t.g.v. temperatuurverschil

$$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$$

$$\sigma_{ax} = 30 \cdot 0,0002 \cdot 1100 = 6,60 \text{ N/mm}^2$$

7. Toetsing op minimale ringstijfheid  $S_N$ 

$$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$$

$$S_N = 1100 \cdot \frac{987,70}{227,2^3} = 0,0926 \text{ N/mm}^2 = 92,64 \text{ kN/m}^2$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m<sup>2</sup>

## 8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

Veiligheidsfactor  $\gamma$  voor langdurige onderdruk:  $\gamma = 3$

Veiligheidsfactor  $\gamma$  voor kortdurende onderdruk:  $\gamma = 1,5$

$$p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$$

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 1.100,00 \cdot 987,70}{227,20^3} = 1,76 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 200,00 \cdot 987,70}{227,20^3} = 0,16 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij 16,04 m grondwater boven de leiding

## 9. Berekening van het totaal aan optredende spanningen

## 9.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

Locatie	$\sigma_q$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{qr}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_\sigma$ [-]	$\sigma_{y2}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	10,52	-	0,65	<b>6,84</b>
Neergaande bocht	1,50	0,18	0,65	<b>1,09</b>
2e rechte deel	1,61	-	0,65	<b>1,04</b>
Opgaande bocht	1,60	0,18	0,65	<b>1,16</b>
3e rechte deel	10,10	-	0,65	<b>6,57</b>

Rechte delen:  $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$

Bochten:  $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$

Toelaatbare spanning:  $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = 8,00 \text{ N/mm}^2$

## 9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

Locatie	$\sigma_{pl}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{ax}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_{\sigma}$ [-]	$\sigma_x$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	0,00	6,60	-	-	<b>6,60</b>
Neergaande bocht	0,00	6,60	0,71	0,65	<b>7,06</b>
2e rechte deel	0,00	6,60	-	-	<b>6,60</b>
Opgaande bocht	0,00	6,60	0,71	0,65	<b>7,06</b>
3e rechte deel	0,00	6,60	-	-	<b>6,60</b>

Rechte delen:  $\sigma_x = \sigma_{pl} + \sigma_{ax}$ Bochten:  $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_A \cdot \sigma_b + \sigma_{ax}$ Toelaatbare spanning:  $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = 8,00$  N/mm<sup>2</sup>

## 10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_{n,r}$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\delta_Y$ [mm]	$\delta_Y/D_g$ [%]
1e rechte deel	31,23	-	0,00	-	<b>11,24<sup>(1)</sup></b>	4,95
Neergaande bocht	63,00	4,45	0,00	0,0029	<b>2,09<sup>(2)</sup></b>	0,71
2e rechte deel	65,27	4,42	0,35	-	<b>2,16<sup>(2)</sup></b>	0,73
Opgaande bocht	67,23	4,41	0,33	0,0029	<b>2,15<sup>(2)</sup></b>	0,73
3e rechte deel	29,98	-	0,00	-	<b>10,79<sup>(1)</sup></b>	4,75

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (1)$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 113,60^3}{200 \cdot 987,70}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,r} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (2)$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_{n,r} + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot \frac{(1 - \sin \varphi)}{(1 + \sin \varphi)} \cdot (Q_{n,r} + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 113,60^3}{200 \cdot 987,70}$$

Toelaatbare deflectie = 8% · D<sub>g</sub> = 0,08 · 227,20 = **18,18 mm**

## 11. Berekening van de boorspoeldrukken

Locatie	H [m]	$\sigma_{vert}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{hor}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_o'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$p'_f$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$E_{100}$ [MN/m <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	6,60	99,77	42,54	71,16	111,97	83,83
Neergaande bocht	18,50	178,17	75,97	127,07	199,95	119,06
2e rechte deel	19,30	184,27	78,58	131,42	206,80	121,18
Opgaande bocht	19,90	189,72	80,90	135,31	212,92	123,00
3e rechte deel	9,10	84,95	36,22	60,58	95,33	82,12

$$\sigma_{vert} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$\sigma_{hor} = \sigma_{vert} \cdot (1 - \sin(\varphi))$$

$$\sigma_o' = \frac{\sigma_{vert} + \sigma_{hor}}{2}$$

$$p'_f = \sigma_o' \cdot (1 + \sin(\varphi)) + c \cdot \cos(\varphi)$$

$$E_{100, norm} = E_{100} \cdot (q_n/100)^m \quad (\text{Zand/Leem/Grind} \rightarrow m = 0,5; \text{Veen/Klei} \rightarrow m = 0,8)$$

Locatie	G [MN/m <sup>2</sup> ]	Q [-]	u [N/mm <sup>2</sup> ]	v [-]	$p_{lim}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	90% $p_{lim}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1</span>
1e rechte deel	43,31	0,00094	0,0200	0,2989	1,44	12,95
Neergaande bocht	61,51	0,0012	0,1735	0,2989	2,50	22,54
2e rechte deel	62,61	0,0012	0,1815	0,2989	2,58	23,21
Opgaande bocht	63,55	0,0012	0,1875	0,2989	2,64	23,78
3e rechte deel	42,43	0,00082	0,0815	0,2989	1,35	12,18

$$G = \frac{E_{100, norm}}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

$$Q = \frac{\sigma_o' \cdot \sin(\varphi) + c \cdot \cos(\varphi)}{G}$$

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$K = 1 - \sin(\varphi)$$

$$\nu = \frac{K}{1 + K}$$

$$p_{lim} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

## 11.1 Tijdens pilot

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	$\Delta h_{in}$ [m]	$p_{max}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{max}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2</span>	$p_{min}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{min}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</span>
1e rechte deel	0,88	7,32	0,61	<b>6,12</b>	0,09	<b>0,91</b>
Neergaande bocht	0,78	17,54	1,15	<b>11,46</b>	0,23	<b>2,28</b>
2e rechte deel	0,77	17,54	1,18	<b>11,82</b>	0,23	<b>2,33</b>
Opgaande bocht	0,77	17,54	1,21	<b>12,12</b>	0,24	<b>2,37</b>
3e rechte deel	0,94	7,32	0,61	<b>6,12</b>	0,14	<b>1,39</b>

$$R_{p,max} = \frac{H}{2}, R_{p,max,zand} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot \epsilon_{g,max}} \text{ of } \frac{H}{2}$$

$$R_o = \frac{D_p}{2} = \frac{170}{2} = 85 \text{ mm}$$

$$p_{max} = (p'_r + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left( \frac{R_o^2}{R_{p,max}} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

$$v_{m,p} = \frac{Q_{m,p}}{A_p} = \frac{100}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - D_b^2)} = \frac{100}{1/4 \cdot \pi \cdot (170^2 - 114^2)} = 0,133 \text{ m/s}$$

$$p_{min} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_p \cdot v_{m,p}}{(D_p - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,p}}{D_p - D_b} \right) \cdot L + \rho_{m,p} \cdot \Delta h_{in}$$

## 11.2 Tijdens ruimgang

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	$\Delta h_{uit}$ [m]	$p_{max}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{max}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">4</span>	$p_{min}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{min}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">5</span>
3e rechte deel	4,31	8,02	0,61	<b>6,12</b>	0,09 <sup>(1)</sup>	<b>0,93</b>
Opgaande bocht	3,53	18,24	1,21	<b>12,12</b>	0,21 <sup>(1)</sup>	<b>2,12</b>
2e rechte deel	3,55	18,24	1,18	<b>11,82</b>	0,21 <sup>(1)</sup>	<b>2,12</b>
Neergaande bocht	3,58	18,24	1,15	<b>11,46</b>	0,21 <sup>(1)</sup>	<b>2,13</b>
1e rechte deel	3,30	8,02	0,54	<b>5,39</b>	0,09 <sup>(2)</sup>	<b>0,92</b>

$$R_o = \frac{D_{g,r}}{2} = \frac{780}{2} = 390 \text{ mm}$$

$$v_{m,r,uit} = \frac{Q_{m,r}}{A_r} = \frac{500,0}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_b^2)} = \frac{500,0}{1/4 \cdot \pi \cdot (780^2 - 114^2)} = 0,018 \text{ m/s}$$

$$v_{m,r,in} = \frac{Q_{m,r}}{A_p} = \frac{500,0}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - D_b^2)} = \frac{500,0}{1/4 \cdot \pi \cdot (170^2 - 114^2)} = 0,667 \text{ m/s}$$

$$p_{min,uit} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_r \cdot v_{m,r,uit}}{(D_{g,r} - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,r}}{D_{g,r} - D_b} \right) \cdot (L_{tot} - L) + \rho_{m,r} \cdot \Delta h_{uit} \quad (1)$$

$$p_{min,in} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_r \cdot v_{m,r,in}}{(D_p - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,r}}{D_p - D_b} \right) \cdot L + \rho_{m,r} \cdot \Delta h_{in} \quad (2)$$

## 11.3 Tijdens intrekken

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	$\Delta h_{uit}$ [m]	$p_{max}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{max}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">6</span>	$p_{min}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{min}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">7</span>
3e rechte deel	4,31	8,02	0,61	<b>6,12</b>	0,09 <sup>(2)</sup>	<b>0,89</b>
Opgaande bocht	3,53	18,24	1,21	<b>12,12</b>	0,20 <sup>(2)</sup>	<b>2,05</b>
2e rechte deel	3,55	18,24	1,18	<b>11,82</b>	0,20 <sup>(2)</sup>	<b>2,04</b>
Neergaande bocht	3,58	18,24	1,15	<b>11,46</b>	0,20 <sup>(2)</sup>	<b>2,04</b>
1e rechte deel	3,30	8,02	0,54	<b>5,39</b>	0,08 <sup>(2)</sup>	<b>0,85</b>

$$D_{eq} = \sqrt{\sum_{i=1}^n D_{0,i}^2} = 500 \text{ mm}$$

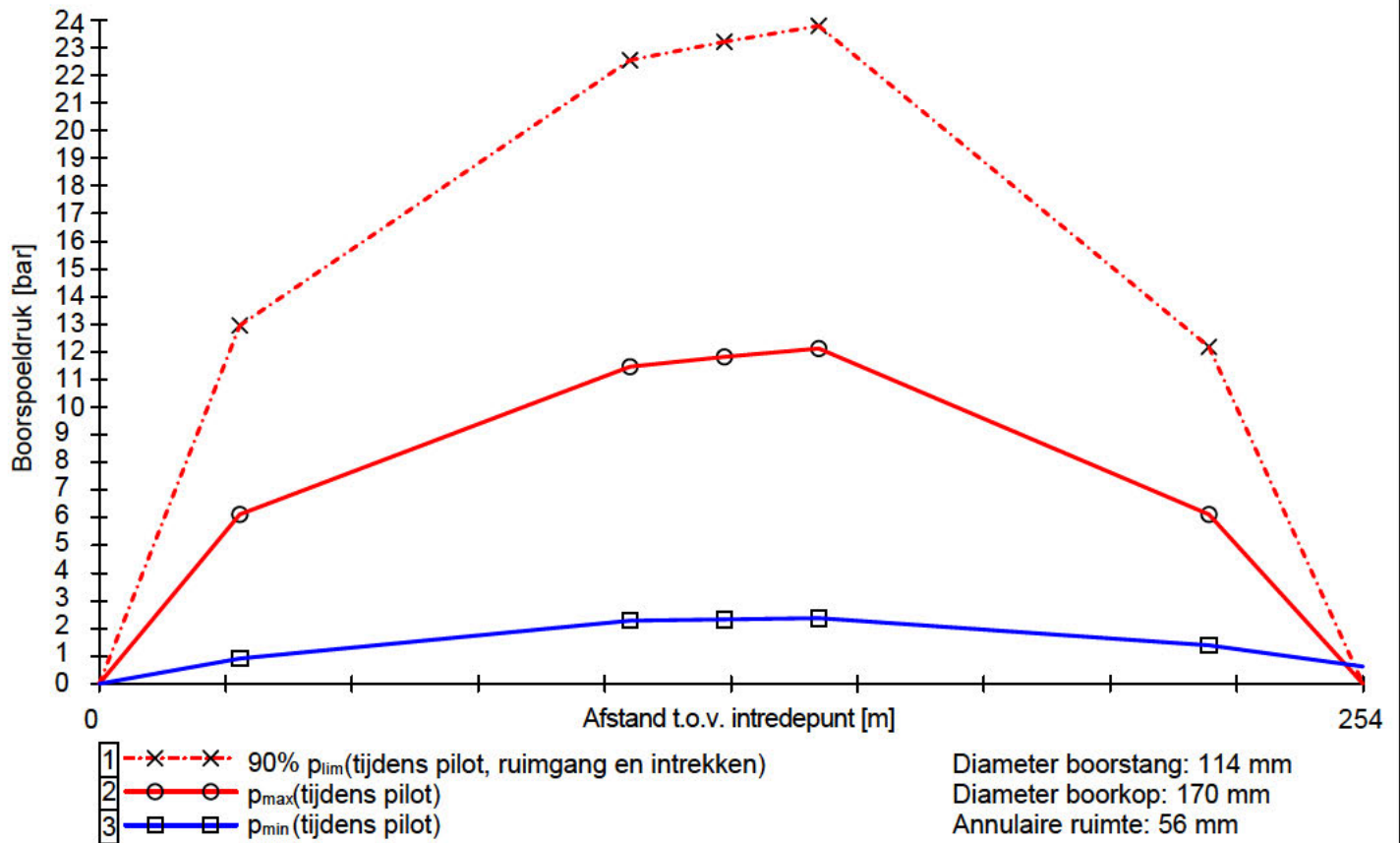
$$R_o = \frac{D_{g,r}}{2} = \frac{780}{2} = 390 \text{ mm}$$

$$v_{m,i,uit} = \frac{Q_{m,i}}{A_i} = \frac{300}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_{eq}^2)} = \frac{300}{1/4 \cdot \pi \cdot (780^2 - 500^2)} = 0,018 \text{ m/s}$$

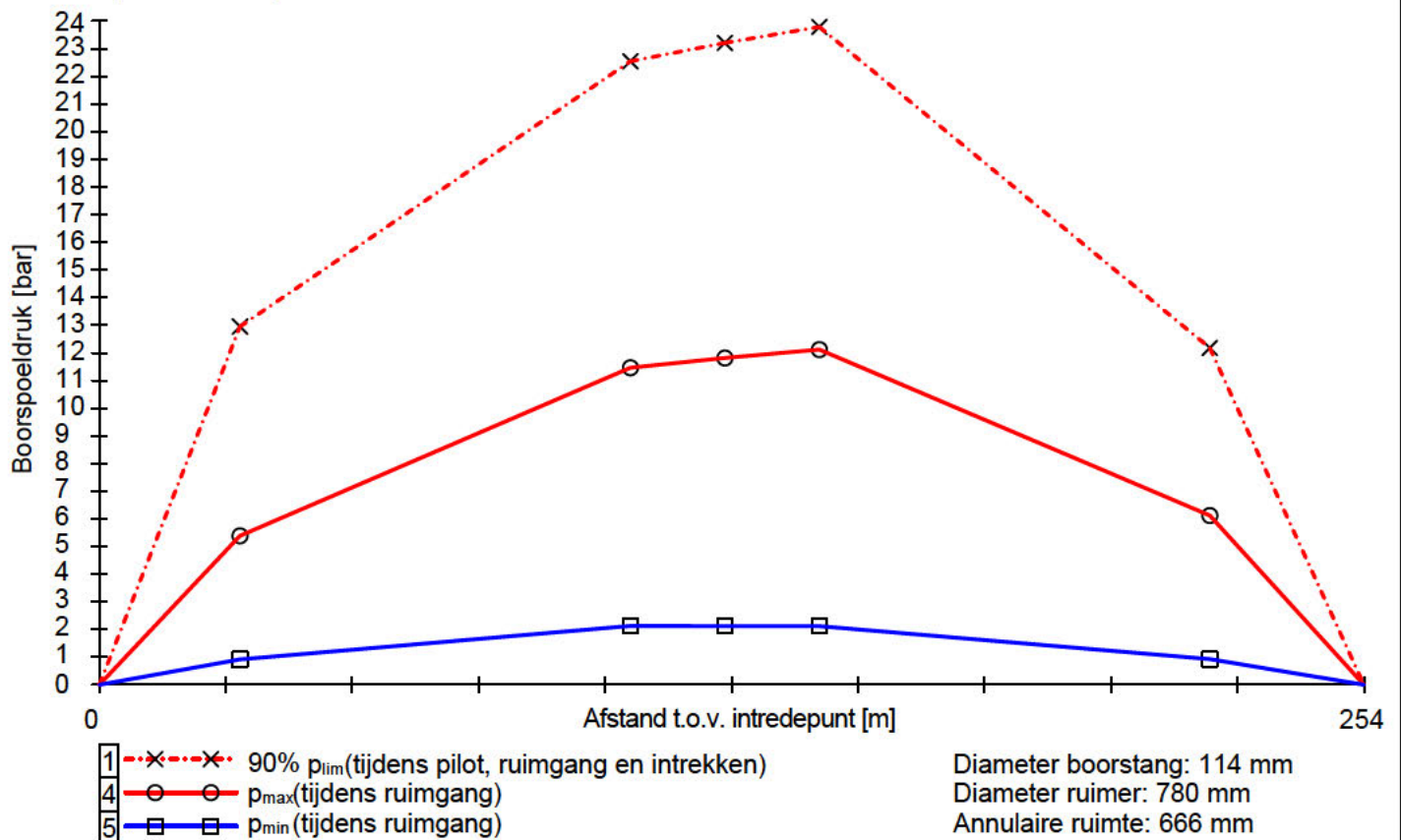
$$p_{min,uit} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_i \cdot v_{m,i,uit}}{(D_{g,r} - D_{eq})^2} + \frac{\tau_{y,i}}{D_{g,r} - D_{eq}} \right) \cdot (L_{tot} - L) + \rho_{m,i} \cdot \Delta h_{uit} \quad (1)$$

$$p_{min,in} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_i \cdot v_{m,in}}{(D_{g,r} - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,i}}{D_{g,r} - D_b} \right) \cdot L + \rho_{m,i} \cdot \Delta h_{in} \quad (2)$$

11.4 Boorspoeldrukken tijdens pilot

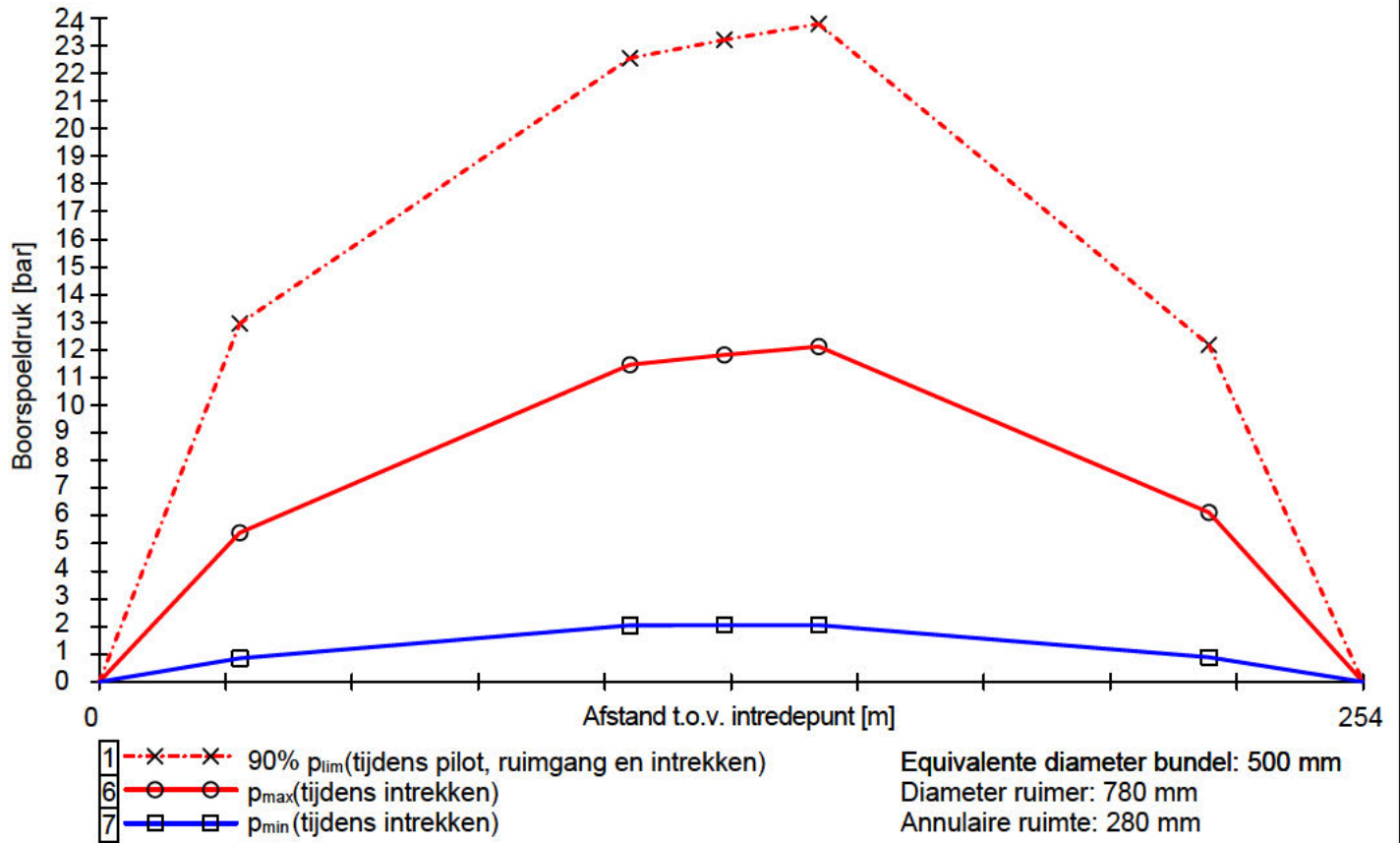


11.5 Boorspoeldrukken tijdens ruimen



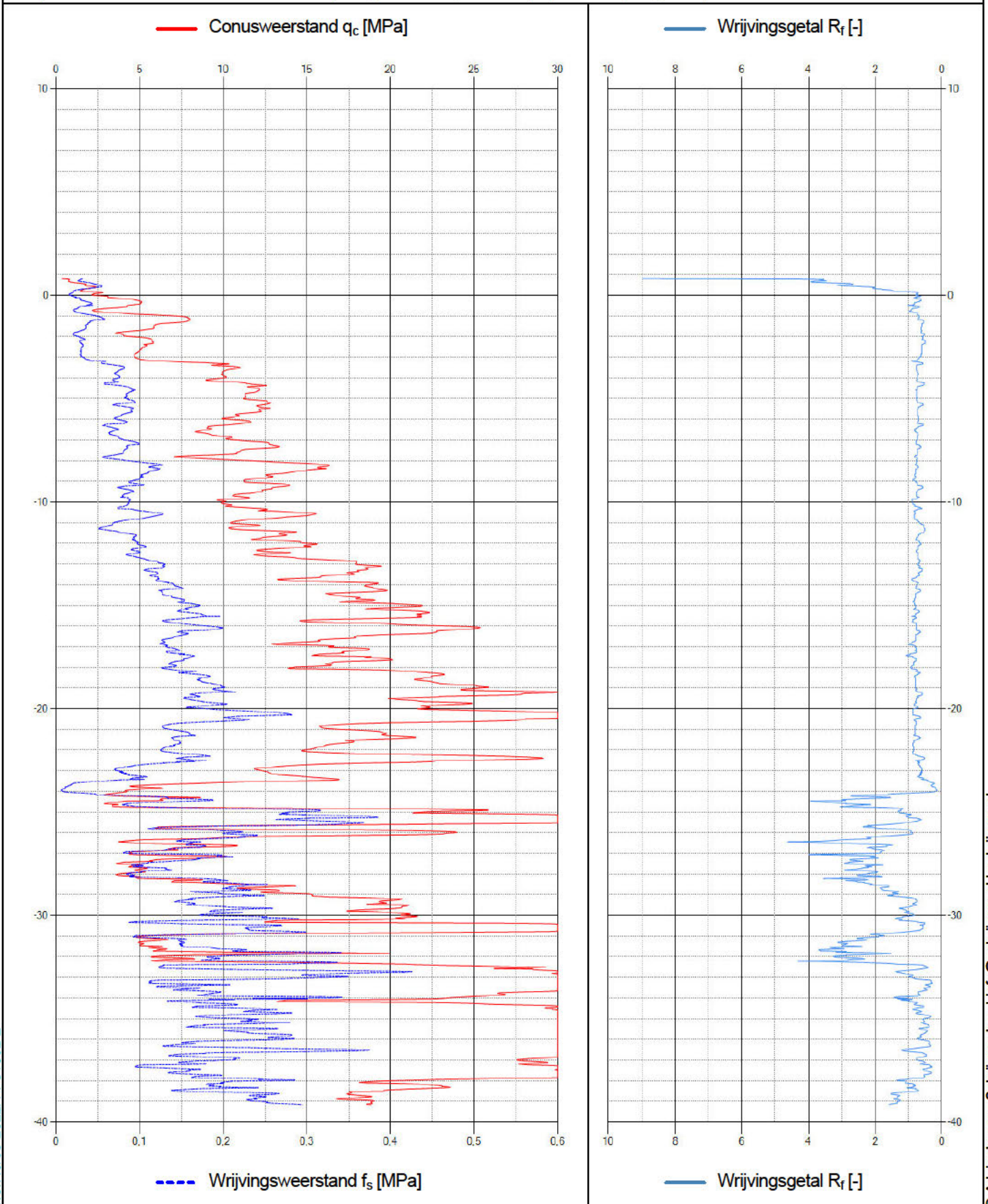


11.6 Boorspoeldrukken tijdens intrekken



Naam van het project : TenneT Nederwiek 1

Projectonderdeel : HDDN22 Frankrijkweg Ø250mm, SDR 11 (blijvend 100pct gevuld)

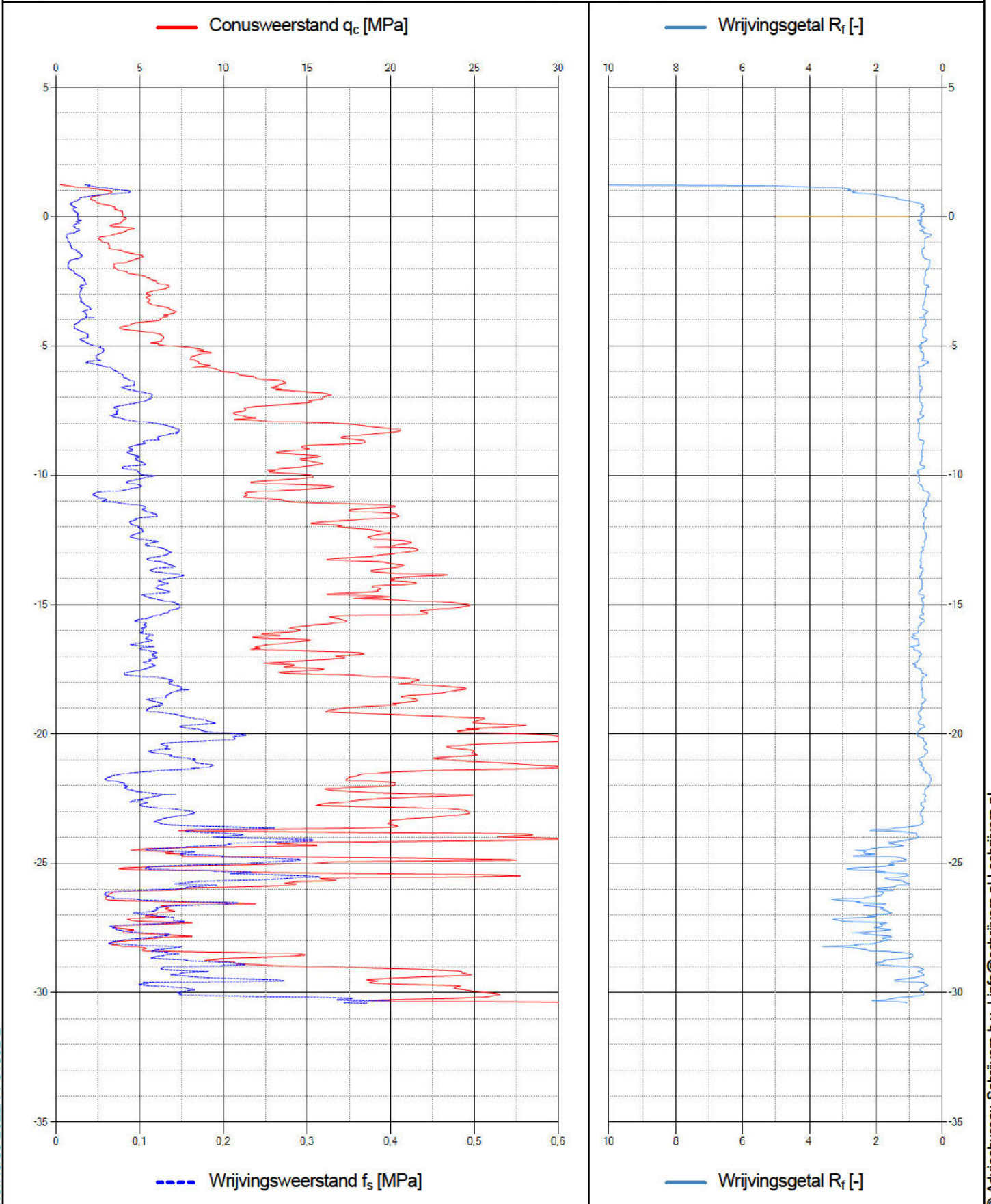


1.3.7.003-2022/14-31382-2

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

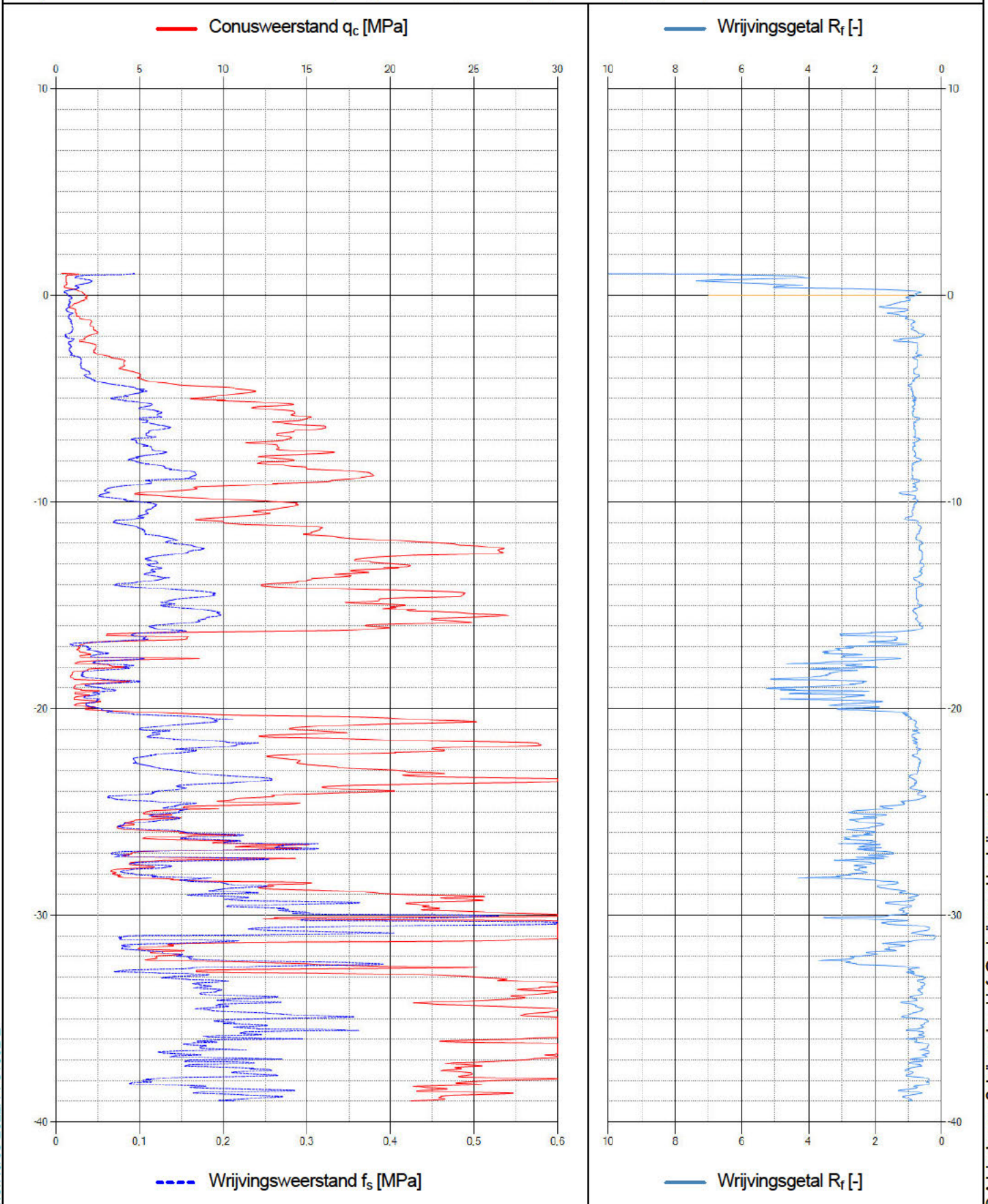
Naam van het project : TenneT Nederwiek 1

Projectonderdeel : HDDN22 Frankrijkweg Ø250mm, SDR 11 (blijvend 100pct gevuld)



Naam van het project : TenneT Nederwiek 1

Projectonderdeel : HDDN22 Frankrijkweg Ø250mm, SDR 11 (blijvend 100pct gevuld)



Bijlage M : Sterkteberekening HDDN28 – Kruising Station Liechtensteinweg

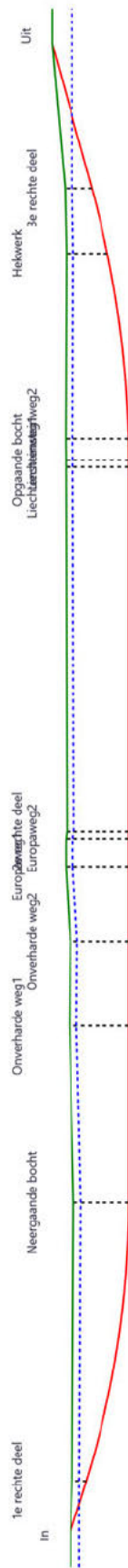
Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2022 1.3 ©	
<b>Algemene gegevens</b>			
Naam van het project	: TenneT Nederwiek 1		
Projectonderdeel	: HDDN28 Liechtensteinweg Ø250mm, SDR 11 (100pct gevuld)		
<b>Materiaalgegevens</b>			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS = 10		N/mm <sup>2</sup>
Materiaalfactor	$\gamma_M = 1,25$		-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t = 8,00$		N/mm <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus korte duur	E = 1.100		N/mm <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus lange duur	E' = 200		N/mm <sup>2</sup>
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	$\alpha_g = 20,0 \cdot 10^{-5}$		mm/(mm·K)
Alfa Tangentieel / Alfa Axiaal	$\alpha_\sigma = 0,65$		-
Soortelijk gewicht buis	$\rho_L = 9,55$		kN/m <sup>3</sup>
Toelaatbare deflectie	$\delta = 8,00$		%
<b>Leidinggegevens</b>			
Uitwendige middellijn	D <sub>e</sub> = 250,00		mm
Wanddikte	d <sub>n</sub> = 22,8		mm
<b>Procesgegevens</b>			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Ontwerpdruk	p <sub>d</sub> = 0		N/mm <sup>2</sup>
Volumieke massa medium	$\rho = 1000$		kg/m <sup>3</sup>
Temperatuurverschil	$\Delta t = 30$		°
<b>Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken</b>			
Totale lengte	L = 429,00		m
Lengte 1e rechte deel	L <sub>1</sub> = 14,22		m
Lengte neergaande bocht	L <sub>2</sub> = 81,59		m
Lengte 2e rechte deel	L <sub>3</sub> = 212,00		m
Lengte opgaande bocht	L <sub>4</sub> = 78,54		m
Lengte 3e rechte deel	L <sub>5</sub> = 42,65		m
Straal maaiveld/rollenbaan	R <sub>r</sub> = 100,00		m
Straal neergaande bocht	R <sub>1</sub> = 275,00		m
Straal opgaande bocht	R <sub>2</sub> = 300,00		m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	$\alpha_1 = 17,00 / 30,57$		° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	$\alpha_2 = 15,00 / 26,79$		° / %
Belastinghoek	$\alpha = 30$		°
Ondersteuningshoek	$\beta = 30$		°
Horizontale steundrukhoek	$\gamma = 120$		°
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	$\gamma = 1,1$		
<p>The diagram illustrates the layout of a horizontal borehole. It starts with a horizontal segment of length L<sub>1</sub> at an entry angle <math>\alpha_1</math>. This is followed by a downward curve with radius R<sub>1</sub> and length L<sub>2</sub>. A horizontal segment of length L<sub>3</sub> follows, then an upward curve with radius R<sub>2</sub> and length L<sub>4</sub>. Finally, there is a horizontal segment of length L<sub>5</sub> ending at an exit angle <math>\alpha_2</math>. The total length is L. A radius R<sub>r</sub> is also indicated for the final horizontal section.</p>			

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020				Sigma 2022 1.3 ©			
Uitvoeringsaspecten							
Diameter boorstang		$D_b$	= 114	mm			
<i>Tijdens pilot</i>							
Diameter boorkop/boorgat		$D_p$	= 170	mm			
Soortelijk gewicht boorvloeistof		$\rho_{m,p}$	= 11,5	kN/m <sup>3</sup>			
Zwichtspanning boorvloeistof		$\tau_{y,p}$	= 13,4	Pa			
Plastische viscositeit boorvloeistof		$\eta_p$	= 0,009	Pa·s			
Debiet boorvloeistof		$Q_{m,p}$	= 100	l/min			
<i>Tijdens ruimgang</i>							
Boorstangen koppelen tijden ruimen							
Diameter ruimer/boorgat		$D_{g,r}$	= 750	mm			
Soortelijk gewicht boorvloeistof		$\rho_{m,r}$	= 11,5	kN/m <sup>3</sup>			
Zwichtspanning boorvloeistof		$\tau_{y,r}$	= 13,4	Pa			
Plastische viscositeit boorvloeistof		$\eta_r$	= 0,009	Pa·s			
Debiet boorvloeistof		$Q_{m,r}$	= 500,0	l/min			
<i>Tijdens intrekken</i>							
Equivalente diameter bundel		$D_{eq}$	= 500	mm			
Soortelijk gewicht boorvloeistof		$\rho_{m,i}$	= 11,5	kN/m <sup>3</sup>			
Zwichtspanning boorvloeistof		$\tau_{y,i}$	= 13,4	Pa			
Plastische viscositeit boorvloeistof		$\eta_i$	= 0,009	Pa·s			
Debiet boorvloeistof		$Q_{m,i}$	= 300	l/min			
Aantal buizen in de bundel		$n$	= 4				
De bundelbuizen worden niet gekoppeld							
Gewicht vulling/extra gewicht op rollenbaan		$g_{vul, r}$	= 0,328	N/mm <sup>1</sup>			
Gewicht vulling/extra gewicht tpv boorgang		$g_{vul, b}$	= 0,328	N/mm <sup>1</sup>			
Onzekerheids- en wrijvingsfactoren							
Totaalfactor bij boring met bundels		$f$	= 1,8				
Belastingfactor, bovengronds		$f_{k,b}$	= 1,1				
Belastingfactor, ondergronds		$f_{k,o}$	= 1,4				
Onzekerheidsfactor straal, ondergronds		$f_{r,o}$	= 0,9				
Wrijvingscoëff. met rollenbaan		$f_1$	= 0,1				
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof		$f_2$	= 0,00005	N/mm <sup>2</sup>			
Wrijving tussen leiding/boorgangwand		$f_3$	= 0,2				
Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting							
Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grondsoort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m <sup>3</sup> ]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m <sup>3</sup> ]	Wrijvingshoek grond [°]
1e rechte deel	15,16	4,00	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Neergaande bocht	95,81	15,30	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Onverharde weg1	146,31	16,50	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Onverharde weg2	170,31	16,30	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Europaweg1	191,81	17,50	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Europaweg2	199,81	17,50	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
2e rechte deel	201,81	17,20	2,00	Zand	17,00	20,00	32,50
Liechtensteinweg1	305,81	17,50	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Opgaande bocht	307,81	17,50	2,00	Zand	17,00	20,00	32,50
Liechtensteinweg2	313,81	17,50	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Hekwerk	367,20	11,50	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
3e rechte deel	386,30	7,50	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
						02-12-2022 09:58:12	

Locatie	Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm <sup>3</sup> ]	Effectieve cohesie [kN/m <sup>2</sup> ]	E-modulus ondergrond [MN/m <sup>2</sup> ]	Verkeersbelasting
1e rechte deel	0,0050	5,00	2,00	Geen
Neergaande bocht	0,0490	0,00	45,00	Geen
Onverharde weg1	-	0,00	45,00	Grafiek II
Onverharde weg2	-	0,00	45,00	Grafiek II
Europaweg1	-	0,00	45,00	Grafiek I
Europaweg2	-	0,00	45,00	Grafiek I
2e rechte deel	-	0,00	45,00	Grafiek I
Liechtensteinweg1	-	0,00	45,00	Grafiek I
Opgaande bocht	0,0490	0,00	45,00	Grafiek I
Liechtensteinweg2	0,0490	0,00	45,00	Grafiek I
Hekwerk	0,0490	0,00	45,00	Grafiek I
3e rechte deel	0,0050	5,00	2,00	Geen

Locatie	Gereduceerde grondbelasting
1e rechte deel	Geen
Neergaande bocht	Homogeen (zand)
Onverharde weg1	Homogeen (zand)
Onverharde weg2	Homogeen (zand)
Europaweg1	Homogeen (zand)
Europaweg2	Homogeen (zand)
2e rechte deel	Homogeen (zand)
Liechtensteinweg1	Homogeen (zand)
Opgaande bocht	Homogeen (zand)
Liechtensteinweg2	Homogeen (zand)
Hekwerk	Homogeen (zand)
3e rechte deel	Geen





\* Niet op schaal

**2. Eigenschappen van de leiding**

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 204,40	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 227,20	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 250,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 125,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 102,20	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 113,60	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 106.064.835,12	mm <sup>4</sup>
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 848.518,68	mm <sup>3</sup>
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 987,70	mm <sup>4</sup> /mm <sup>1</sup>
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 86,64	mm <sup>3</sup> /mm <sup>1</sup>
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 16.273,95	mm <sup>2</sup>
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,1554	N/mm <sup>1</sup>

**3. Berekening van het gewicht van de leiding tijdens het intrekken van de leiding**

	<i>Leiding op rollenbaan/maaiveld</i>		<i>Leiding in boorgat</i>	
Gewicht mediumleiding	$g$	= 0,1554 N/mm <sup>1</sup>	$g$	= 0,1554 N/mm <sup>1</sup>
Gewicht vulling	$g_{vul}$	= 0,328 N/mm <sup>1</sup> +	$g_{vul}$	= 0,328 N/mm <sup>1</sup> +
Totaal gewicht	$g_{rol}$	= 0,4834 N/mm <sup>1</sup>	$g_{gat}$	= 0,4834 N/mm <sup>1</sup>

**4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds****4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld**

Trekkraft $T_1$ tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	$T_1$ [N]
Starten met trekken	429,00	<b>37.329</b>
Na intrekken van $L_5$	386,35	<b>33.618</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4$	307,81	<b>26.784</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	95,81	<b>8.337</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	14,22	<b>1.237</b>

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,4834 \cdot 0,1$$

**4.2 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten op rollenbaan/maaiveld**

Spanningen $\sigma_t$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_1$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Starten met trekken	37.329	<b>2,29</b>
Na intrekken van $L_5$	33.618	<b>2,07</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4$	26.784	<b>1,65</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	8.337	<b>0,51</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	1.237	<b>0,08</b>

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{16.273,95}$$

## 4.3 Berekening van de optredende spanning t.g.v. kromming van de leiding op rollenbaan/maaiveld

$$M_b = f_{k,b} \cdot E \cdot \frac{I_b}{R_r}$$

$$M_b = 1,1 \cdot 1.100 \cdot \frac{106.064.835}{100.000} = 1.283.384,50 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{1.283.384,50}{848.519} = 1,51 \text{ N/mm}^2$$

## 4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

Spanningen $\sigma_a$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Starten met trekken	2,29	<b>3,28</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub>	2,07	<b>3,05</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub>	1,65	<b>2,63</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub> + L <sub>3</sub>	0,51	<b>1,50</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub> + L <sub>3</sub> + L <sub>2</sub>	0,08	<b>1,06</b>

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 1,51 + \sigma_t$$

Toelaatbare spanning:  $\sigma_{kd} = MRS = 10,00 \text{ N/mm}^2$

**5. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat****5.1 Berekening van de vereiste trekkracht  $T_2$  en  $T_{3a}$  in verband met wrijving tussen leiding en boorvloeistof/boorgangwand**

Aantal buizen in de bundel  $n = 4$

De bundelbuizen worden niet gekoppeld  $\rightarrow f_b = 1/n^{0,3} = 0,660$

Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof.

66,0% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet.

Hieruit volgt:  $D_{e,omtrek} = 518,17 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat  $g_{gat} = 0,483 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof:  $g_{opw} = \rho_{m,i} \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 250,00^2 \cdot \pi/4 = 0,565 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is  $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,0811 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht $T_2$ en $T_{3a}$ tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	$T_2$ [N]	$T_{3a}$ [N]
Na intrekken van $L_5$	42,65	<b>3.234</b>	-
Na intrekken van $L_5 + L_4$	121,19	-	<b>9.189</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	333,19	<b>25.265</b>	-
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	414,78	-	<b>31.452</b>
Geheel ingetrokken	429,00	<b>32.530</b>	-

Rechte delen:  $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (518,17 \cdot 0,00005 + 0,0811 \cdot 0,2)$

Gebogen delen:  $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (518,17 \cdot 0,00005 + 0,0811 \cdot 0,2)$

**5.2 Berekening van de vereiste trekkracht  $T_{3b}$  in verband met wrijving door grondreactie in de bochten**

Locatie	$\lambda$ [mm <sup>-1</sup> ]	R [m]	$Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_{3b}$ [N]
1e rechte deel	0,0013	275,0	0,00099	<b>439</b>
Neergaande bocht	0,0023	275,0	0,0031	<b>777</b>
Opgaande bocht	0,0023	300	0,0029	<b>712</b>
Liechtensteinw..	0,0023	300	0,0029	<b>712</b>
Hekwerk	0,0023	300	0,0029	<b>712</b>
3e rechte deel	0,0013	300	0,00091	<b>403</b>

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_{v,gem}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$$

$$Q_r = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot 0,9 \cdot R}$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 250 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

5.3 Berekening van de wrijving door bochtcracht  $T_{3c}$ 

Trekkraft $T_{\text{bocht}}$ tijdens verschillende stadia [N]	$T_1$ [N] (f = 1)	$T_2 / T_{3a}$ [N] (f = 1)	$T_{3b,\text{neer}}$ [N] (f = 1)	$T_{3b,\text{op}}$ [N] (f = 1)	$T_{\text{bocht}}$ [N]
Neergaande bocht	14.880	5.105	432	-	<b>20.417</b>
Opgaande bocht	687	17.473	432	396	<b>18.988</b>

Neergaande bocht:  $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_2 + T_{3a,\text{neer}} + T_{3b,\text{neer,max}}$

Opgaande bocht:  $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_2 + T_{3a,\text{neer}} + T_{3b,\text{neer,max}} + T_{3a,\text{op}} + T_{3b,\text{op,max}}$

Trekkraft $T_{3c}$ tijdens verschillende stadia [N]	$\alpha$ [°]	$T_{\text{bocht}}$ [N]	$T_{3c}$ [N]
Neergaande bocht	8,50	20.417	<b>2.173</b>
Opgaande bocht	7,50	18.988	<b>2.021</b>

$$T_{3c} = f \cdot L_B \cdot g_t \cdot f_3$$

$$L_B = 2 \cdot R \cdot 2\pi \cdot \frac{\alpha}{360}$$

$$g_t = \frac{2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha)}{L_B}$$

$$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,8 \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$

## 5.4 Totalisatie van de trekkrachten in fase II

Trekkraft $T_{\text{tot}}$ tijdens verschillende stadia [N]	$T_1$ [N]	$T_2 / T_{3a}$ [N]	$T_{3b,\text{neer}}$ [N]	$T_{3c,\text{neer}}$ [N]	$T_{3b,\text{op}}$ [N]	$T_{3c,\text{op}}$ [N]	$T_{\text{tot}}$ [N]
Na intrekken van $L_5$	33.618	3.234	-	-	-	-	<b>36.852</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4$	26.784	9.189	777	2.173	-	-	<b>38.924</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	8.337	25.265	777	2.173	-	-	<b>36.552</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	1.237	31.452	777	2.173	712	2.021	<b>38.136</b>
Geheel ingetrokken	0	32.530	777	2.173	712	2.021	<b>37.977</b>

$$T_{\text{tot}} = T_1 + T_2 + T_{3a} + T_{3b,\text{neer,max}} + T_{3c,\text{neer}} + T_{3b,\text{op,max}} + T_{3c,\text{op}}$$

**5.5 Karakteristieke waarden van de benodigde trekkrachten in fase II**

Wanneer geen totaalfactor wordt toegepast ( $f = 1$ ), gelden de volgende karakteristieke waarden voor de trekkrachten.

Trekkracht $T_{tot}$ tijdens verschillende stadia [N]	$T_1$ [N]	$T_2 / T_{3a}$ [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3c,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{3c,op}$ [N]	$T_{tot}$ [N]
Na intrekken van $L_5$	18.677	1.797	-	-	-	-	<b>20.473</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4$	14.880	5.105	432	1.207	-	-	<b>21.624</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	4.632	14.036	432	1.207	-	-	<b>20.307</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	687	17.473	432	1.207	396	1.123	<b>21.187</b>
Geheel ingetrokken	0	18.072	432	1.207	396	1.123	<b>21.098</b>

De maximale karakteristieke waarde voor de benodigde trekkracht bedraagt **21.624 N** ( $\approx 2,2$  ton).

Volgens het voorschrift van de Drilling Contractors Association (DCA - Europe) wordt een boormachine voorgeschreven met een trekkracht 2 tot 3 keer deze maximale waarde.

**5.6 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten in fase II**

Spanningen $\sigma_t$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_{tot}$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Na intrekken van $L_5$	36.852	<b>2,26</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4$	38.924	<b>2,39</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	36.552	<b>2,25</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	38.136	<b>2,34</b>
Geheel ingetrokken	37.977	<b>2,33</b>

$$\sigma_t = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{16.273,95}$$

## 5.7 Optredende spanningen t.g.v. kromming van de leiding in het boorgat

## 5.7.1 Neergaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{f_{r,o} \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 1.100 \cdot \frac{106.064.835,12}{0,9 \cdot 275.000} = 659.958,97 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{659.958,97}{848.518,68} = 0,78 \text{ N/mm}^2$$

## 5.7.2 Opgaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{f_{r,o} \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 1.100 \cdot \frac{106.064.835,12}{0,9 \cdot 300.000} = 604.962,39 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{604.962,39}{848.518,68} = 0,71 \text{ N/mm}^2$$

## 5.8 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

Spanningen $\sigma_a$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_{tot}$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Na intrekken van L <sub>5</sub>	36.852	2,26	-	<b>2,26</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub>	38.924	2,39	0,78	<b>2,90</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub> + L <sub>3</sub>	36.552	2,25	-	<b>2,25</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub> + L <sub>3</sub> + L <sub>2</sub>	38.136	2,34	0,71	<b>2,81</b>
Geheel ingetrokken	37.977	2,33	-	<b>2,33</b>

$$\text{Rechte delen: } \sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{16.273,95} = \sigma_t$$

$$\text{Gebogen delen: } \sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot \sigma_b + \sigma_t$$

$$\text{Toelaatbare spanning: } \sigma_{kd} = MRS = 10,00 \text{ N/mm}^2$$

**6. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase***6.1 Berekening van de spanningen  $\sigma_p$  en  $\sigma_{pl}$  t.g.v. inwendige druk*

$$D_g/d_n = 227,20/22,80 = 9,96 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow \text{Dikwandige leiding}$$

$$\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$$

$$\sigma_p = \frac{125,00^2 + 102,20^2}{125,00^2 - 102,20^2} \cdot 0 = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{y1} = \sigma_p = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 0,00 = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \bar{\sigma}_t = 8,00 \text{ N/mm}^2$$

*6.2 Berekening reroundingfactor  $f_{rr}$* 

$$f_{rr} = 1 / \left( 1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w} \right)$$

$$f_{rr} = 1 / \left( 1 + \frac{2 \cdot 0 \cdot 113,6^3 \cdot 0,143}{1100 \cdot 987,70} \right) = 1,00$$

*6.3.1 Berekening van de neutrale grondbelasting  $Q_n$* 

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grondsoort	$q_{\text{droog}}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_{\text{nat}}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_n$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1e rechte deel	4,00	2,00	Klei	37,40	17,40	54,80	13,70
Neergaande bocht	15,30	2,00	Zand	39,60	159,60	199,20	49,80
Onverharde weg1	16,50	2,00	Zand	39,60	174,00	213,60	53,40
Onverharde weg2	16,30	2,00	Zand	39,60	171,60	211,20	52,80
Europaweg1	17,50	2,00	Zand	39,60	186,00	225,60	56,40
Europaweg2	17,50	2,00	Zand	39,60	186,00	225,60	56,40
2e rechte deel	17,20	2,00	Zand	37,40	182,40	219,80	54,95
Liechtensteinw..	17,50	2,00	Zand	39,60	186,00	225,60	56,40
Opgaande bocht	17,50	2,00	Zand	37,40	186,00	223,40	55,85
Liechtensteinw..	17,50	2,00	Zand	39,60	186,00	225,60	56,40
Hekwerk	11,50	2,00	Zand	39,60	114,00	153,60	38,40
3e rechte deel	7,50	2,00	Klei	37,40	47,85	85,25	21,31

$$q_{\text{droog}} = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$$

$$q_{\text{nat}} = \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$Q_n = q_n \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot 250$$



6.3.2 Berekening van de gereduceerde neutrale grondbelasting  $Q_{nr}$ 

Locatie	h [m]	GWS [m]	$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]
Neergaande bocht	15,30	2,00	13,02
Onverharde weg1	16,50	2,00	12,95
Onverharde weg2	16,30	2,00	12,96
Europaweg1	17,50	2,00	12,89
Europaweg2	17,50	2,00	12,89
2e rechte deel	17,20	2,00	12,78
Liechtensteinw..	17,50	2,00	12,89
Opgaande bocht	17,50	2,00	12,77
Liechtensteinw..	17,50	2,00	12,89
Hekwerk	11,50	2,00	13,36

$$\gamma' = \frac{\gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w}{h}$$

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	$B_1$ [m]	$8 \cdot B_1$ [m]	$q_{n,r}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_{n,r}$ [N/mm <sup>1</sup> ]
Neergaande bocht	Homogeen (zand)	0,38	3,00	16,56 <sup>(1)</sup>	4,14
Onverharde weg1	Homogeen (zand)	0,38	3,00	16,47 <sup>(1)</sup>	4,12
Onverharde weg2	Homogeen (zand)	0,38	3,00	16,48 <sup>(1)</sup>	4,12
Europaweg1	Homogeen (zand)	0,38	3,00	16,40 <sup>(1)</sup>	4,10
Europaweg2	Homogeen (zand)	0,38	3,00	16,40 <sup>(1)</sup>	4,10
2e rechte deel	Homogeen (zand)	0,38	3,00	16,26 <sup>(1)</sup>	4,06
Liechtensteinw..	Homogeen (zand)	0,38	3,00	16,40 <sup>(1)</sup>	4,10
Opgaande bocht	Homogeen (zand)	0,38	3,00	16,24 <sup>(1)</sup>	4,06
Liechtensteinw..	Homogeen (zand)	0,38	3,00	16,40 <sup>(1)</sup>	4,10
Hekwerk	Homogeen (zand)	0,38	3,00	16,99 <sup>(1)</sup>	4,25

$$R = \frac{D_{gr}}{2} = \frac{750}{2} = 375 \text{ mm}$$

$$B_1 = \frac{1}{2} \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45^\circ - \frac{1}{2} \cdot \varphi) \geq R$$

$$K = 1 - \sin(\varphi)$$

Indien gereduceerde grondbelasting volgens berekeningswijze 'Homogeen (zand)': ( $h \geq 8 \cdot B_1$ ):

$$q_{n,r1} = \frac{B_1 \cdot (\gamma' - c/B_1)}{K \cdot \tan(\varphi)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{K \cdot h \cdot \tan \varphi}{B_1}}\right) \quad (1)$$

$$Q_{n,r} = q_{n,r} \cdot D_o = q_{n,r} \cdot 250$$

## 6.3.3 Overzicht berekende (gereduceerde) neutrale gronddrukken

Locatie	$q_n$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$q_{n,r}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_{n,r}$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1e rechte deel	54,80	13,70	-	-
Neergaande bocht	199,20	49,80	16,56	4,14
Onverharde weg1	213,60	53,40	16,47	4,12
Onverharde weg2	211,20	52,80	16,48	4,12
Europaweg1	225,60	56,40	16,40	4,10
Europaweg2	225,60	56,40	16,40	4,10
2e rechte deel	219,80	54,95	16,26	4,06
Liechtensteinw..	225,60	56,40	16,40	4,10
Opgaande bocht	223,40	55,85	16,24	4,06
Liechtensteinw..	225,60	56,40	16,40	4,10
Hekwerk	153,60	38,40	16,99	4,25
3e rechte deel	85,25	21,31	-	-

6.4 Berekening van de verkeersbelasting  $Q_v$ 

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeersbelasting	$q_v$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1e rechte deel	4,00	Geen	0,00	0,00
Neergaande bocht	15,30	Geen	0,00	0,00
Onverharde weg1	16,50	Grafiek II	0,79	0,20
Onverharde weg2	16,30	Grafiek II	0,81	0,20
Europaweg1	17,50	Grafiek I	1,67	0,42
Europaweg2	17,50	Grafiek I	1,67	0,42
2e rechte deel	17,20	Grafiek I	1,73	0,43
Liechtensteinw..	17,50	Grafiek I	1,67	0,42
Opgaande bocht	17,50	Grafiek I	1,67	0,42
Liechtensteinw..	17,50	Grafiek I	1,67	0,42
Hekwerk	11,50	Grafiek I	3,41	0,85
3e rechte deel	7,50	Geen	0,00	0,00

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 250$$

## 6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_{n,r}$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_{boven}$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$M_q$ [Nmm]	$\sigma_q$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	13,70	-	0,00	13,70	399,97 <sup>(1)</sup>	<b>4,62</b>
Neergaande bocht	49,80	4,14	0,00	4,14	120,89 <sup>(2)</sup>	<b>1,40</b>
Onverharde weg1	53,40	4,12	0,20	4,31	125,97 <sup>(2)</sup>	<b>1,45</b>
Onverharde weg2	52,80	4,12	0,20	4,32	126,19 <sup>(2)</sup>	<b>1,46</b>
Europaweg1	56,40	4,10	0,42	4,52	131,91 <sup>(2)</sup>	<b>1,52</b>
Europaweg2	56,40	4,10	0,42	4,52	131,91 <sup>(2)</sup>	<b>1,52</b>
2e rechte deel	54,95	4,06	0,43	4,50	131,25 <sup>(2)</sup>	<b>1,51</b>
Liechtensteinw..	56,40	4,10	0,42	4,52	131,91 <sup>(2)</sup>	<b>1,52</b>
Opgaande bocht	55,85	4,06	0,42	4,48	130,74 <sup>(2)</sup>	<b>1,51</b>
Liechtensteinw..	56,40	4,10	0,42	4,52	131,91 <sup>(2)</sup>	<b>1,52</b>
Hekwerk	38,40	4,25	0,85	5,10	148,91 <sup>(2)</sup>	<b>1,72</b>
3e rechte deel	21,31	-	0,00	21,31	622,22 <sup>(1)</sup>	<b>7,18</b>

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 113,60 \quad (1)$$

$$M_q = K_b \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 113,60 \quad (2)$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{86,64}$$

6.6 Optredende spanning  $\sigma_{qr}$  tgv. grondreactie in de bochten

Locatie	R [m]	$Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{qr}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	275,0	0,00099	0,064
Neergaande bocht	275,0	0,0031	0,20
Opgaande bocht	300	0,0029	0,18
Liechtensteinw..	300	0,0029	0,18
Hekwerk	300	0,0029	0,18
3e rechte deel	300	0,00091	0,059

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,179 \cdot Q_r \cdot 250 \cdot \frac{125,00}{86,64}$$

6.7 Berekening van de spanning  $\sigma_{ax}$  t.g.v. temperatuurverschil

$$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$$

$$\sigma_{ax} = 30 \cdot 0,0002 \cdot 1100 = 6,60 \text{ N/mm}^2$$

7. Toetsing op minimale ringstijfheid  $S_N$ 

$$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$$

$$S_N = 1100 \cdot \frac{987,70}{227,2^3} = 0,0926 \text{ N/mm}^2 = 92,64 \text{ kN/m}^2$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m<sup>2</sup>

**8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk**

Veiligheidsfactor  $\gamma$  voor langdurige onderdruk:  $\gamma = 3$

Veiligheidsfactor  $\gamma$  voor kortdurende onderdruk:  $\gamma = 1,5$

$$p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot l_w}{D_g^3}$$

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 1.100,00 \cdot 987,70}{227,20^3} = 1,76 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 200,00 \cdot 987,70}{227,20^3} = 0,16 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **16,04 m** grondwater boven de leiding

**9. Berekening van het totaal aan optredende spanningen***9.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding*

Locatie	$\sigma_q$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{qr}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_\sigma$ [-]	$\sigma_{y2}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	4,62	0,064	0,65	<b>3,04</b>
Neergaande bocht	1,40	0,20	0,65	<b>1,04</b>
Onverharde weg1	1,45	-	0,65	<b>0,95</b>
Onverharde weg2	1,46	-	0,65	<b>0,95</b>
Europaweg1	1,52	-	0,65	<b>0,99</b>
Europaweg2	1,52	-	0,65	<b>0,99</b>
2e rechte deel	1,51	-	0,65	<b>0,98</b>
Liechtensteinw..	1,52	-	0,65	<b>0,99</b>
Opgaande bocht	1,51	0,18	0,65	<b>1,10</b>
Liechtensteinw..	1,52	0,18	0,65	<b>1,11</b>
Hekwerk	1,72	0,18	0,65	<b>1,24</b>
3e rechte deel	7,18	0,059	0,65	<b>4,71</b>

Rechte delen:  $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$

Bochten:  $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$

Toelaatbare spanning:  $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = 8,00 \text{ N/mm}^2$

## 9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

Locatie	$\sigma_{pl}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{ax}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_{\sigma}$ [-]	$\sigma_x$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	0,00	6,60	0,78	0,65	7,11
Neergaande bocht	0,00	6,60	0,78	0,65	7,11
Onverharde weg1	0,00	6,60	-	-	6,60
Onverharde weg2	0,00	6,60	-	-	6,60
Europaweg1	0,00	6,60	-	-	6,60
Europaweg2	0,00	6,60	-	-	6,60
2e rechte deel	0,00	6,60	-	-	6,60
Liechtensteinw..	0,00	6,60	-	-	6,60
Opgaande bocht	0,00	6,60	0,71	0,65	7,06
Liechtensteinw..	0,00	6,60	0,71	0,65	7,06
Hekwerk	0,00	6,60	0,71	0,65	7,06
3e rechte deel	0,00	6,60	0,71	0,65	7,06

Rechte delen:  $\sigma_x = \sigma_{pl} + \sigma_{ax}$

Bochten:  $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_A \cdot \sigma_b + \sigma_{ax}$

Toelaatbare spanning:  $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = 8,00$  N/mm<sup>2</sup>

## 10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_{n,r}$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\delta_Y$ [mm]	$\delta_Y/D_g$ [%]
1e rechte deel	13,70	-	0,00	0,00099	2,29 <sup>(1)</sup>	1,01
Neergaande bocht	49,80	4,14	0,00	0,0031	1,86 <sup>(2)</sup>	0,61
Onverharde weg1	53,40	4,12	0,20	-	1,89 <sup>(2)</sup>	0,62
Onverharde weg2	52,80	4,12	0,20	-	1,89 <sup>(2)</sup>	0,62
Europaweg1	56,40	4,10	0,42	-	1,93 <sup>(2)</sup>	0,63
Europaweg2	56,40	4,10	0,42	-	1,93 <sup>(2)</sup>	0,63
2e rechte deel	54,95	4,06	0,43	-	1,92 <sup>(2)</sup>	0,63
Liechtensteinw..	56,40	4,10	0,42	-	1,93 <sup>(2)</sup>	0,63
Opgaande bocht	55,85	4,06	0,42	0,0029	1,91 <sup>(2)</sup>	0,63
Liechtensteinw..	56,40	4,10	0,42	0,0029	1,93 <sup>(2)</sup>	0,63
Hekwerk	38,40	4,25	0,85	0,0029	2,10 <sup>(2)</sup>	0,69
3e rechte deel	21,31	-	0,00	0,00091	3,57 <sup>(1)</sup>	1,57

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (1)$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 113,60^3}{200 \cdot 987,70}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,r} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (2)$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_{n,r} + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot \frac{(1 - \sin \varphi)}{(1 + \sin \varphi)} \cdot (Q_{n,r} + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 113,60^3}{200 \cdot 987,70}$$

Toelaatbare deflectie =  $8\% \cdot D_g = 0,08 \cdot 227,20 = 18,18$  mm

**11. Berekening van de boorspoeldrukken**

Locatie	H [m]	$\sigma_{vert}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{hor}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_o'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$p'_r$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$E_{100}$ [MN/m <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	4,00	41,82	29,24	35,53	50,98	1,24
Neergaande bocht	15,30	141,55	65,49	103,52	159,14	63,51
Onverharde weg1	16,50	151,36	70,04	110,70	170,18	65,77
Onverharde weg2	16,30	149,73	69,28	109,50	168,34	65,40
Europaweg1	17,50	159,55	73,82	116,68	179,38	67,59
Europaweg2	17,50	159,55	73,82	116,68	179,38	67,59
2e rechte deel	17,20	155,27	71,84	113,56	174,57	66,72
Liechtensteinw..	17,50	159,55	73,82	116,68	179,38	67,59
Opgaande bocht	17,50	157,73	72,98	115,35	177,33	67,26
Liechtensteinw..	17,50	159,55	73,82	116,68	179,38	67,59
Hekwerk	11,50	110,45	51,11	80,78	124,18	55,77
3e rechte deel	7,50	60,91	42,59	51,75	72,08	1,76

$$\sigma_{vert} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$\sigma_{hor} = \sigma_{vert} \cdot (1 - \sin(\varphi))$$

$$\sigma_o' = \frac{\sigma_{vert} + \sigma_{hor}}{2}$$

$$p'_r = \sigma_o' \cdot (1 + \sin(\varphi)) + c \cdot \cos(\varphi)$$

$$E_{100, norm} = E_{100} \cdot (q_n/100)^m \quad (\text{Zand/Leem/Grind} \rightarrow m = 0,5; \text{Veen/Klei} \rightarrow m = 0,8)$$

Locatie	G [MN/m <sup>2</sup> ]	Q [-]	u [N/mm <sup>2</sup> ]	v [-]	p <sub>lim</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	90% p <sub>lim</sub> [bar]
1e rechte deel	1,03	0,015	0,0200	0,4115	0,18	1,63
Neergaande bocht	34,11	0,0016	0,1330	0,3163	1,63	14,70
Onverharde weg1	35,32	0,0017	0,1450	0,3163	1,73	15,58
Onverharde weg2	35,12	0,0017	0,1430	0,3163	1,71	15,43
Europaweg1	36,30	0,0017	0,1550	0,3163	1,81	16,31
Europaweg2	36,30	0,0017	0,1550	0,3163	1,81	16,31
2e rechte deel	35,83	0,0017	0,1520	0,3163	1,77	15,95
Liechtensteinw..	36,30	0,0017	0,1550	0,3163	1,81	16,31
Opgaande bocht	36,12	0,0017	0,1550	0,3163	1,80	16,17
Liechtensteinw..	36,30	0,0017	0,1550	0,3163	1,81	16,31
Hekwerk	29,95	0,0014	0,0950	0,3163	1,31	11,83
3e rechte deel	1,47	0,014	0,0550	0,4115	0,28	2,48

$$G = \frac{E_{100, \text{norm}}}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

$$Q = \frac{\sigma'_o \cdot \sin(\varphi) + c \cdot \cos(\varphi)}{G}$$

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$K = 1 - \sin(\varphi)$$

$$\nu = \frac{K}{1 + K}$$

$$p_{\text{lim}} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

## 11.1 Tijdens pilot

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	$\Delta h_{in}$ [m]	$p_{max}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{max}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2</span>	$p_{min}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{min}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</span>
1e rechte deel	2,00	4,44	0,18	1,76	0,05	0,55
Neergaande bocht	0,67	16,17	0,78	7,82	0,21	2,09
Onverharde weg1	0,66	16,17	0,83	8,31	0,22	2,22
Onverharde weg2	0,66	16,17	0,82	8,23	0,23	2,28
Europaweg1	0,65	16,17	0,87	8,72	0,23	2,33
Europaweg2	0,65	16,17	0,87	8,72	0,23	2,35
2e rechte deel	0,65	16,17	0,85	8,53	0,24	2,35
Liechtensteinw..	0,65	16,17	0,87	8,72	0,26	2,61
Opgaande bocht	0,65	16,17	0,87	8,65	0,26	2,61
Liechtensteinw..	0,65	16,11	0,87	8,72	0,26	2,62
Hekwerk	0,71	10,31	0,62	6,23	0,21	2,09
3e rechte deel	3,75	5,96	0,27	2,74	0,16	1,63

$$R_{p,max} = \frac{H}{2}; R_{p,max,zand} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot \varepsilon_{g,max}} \text{ of } \frac{H}{2}$$

$$R_o = \frac{D_p}{2} = \frac{170}{2} = 85 \text{ mm}$$

$$p_{max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left( \frac{R_o^2}{R_{p,max}} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

$$v_{m,p} = \frac{Q_{mp}}{A_p} = \frac{100}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - D_b^2)} = \frac{100}{1/4 \cdot \pi \cdot (170^2 - 114^2)} = 0,133 \text{ m/s}$$

$$p_{min} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_p \cdot v_{m,p}}{(D_p - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,p}}{D_p - D_b} \right) \cdot L + \rho_{m,p} \cdot \Delta h_{in}$$



## 11.2 Tijdens ruimgang

Locatie	R <sub>p,max</sub> [m]	Δh <sub>uit</sub> [m]	P <sub>max</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	P <sub>max</sub> [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">4</span>	P <sub>min</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	P <sub>min</sub> [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">5</span>
3e rechte deel	3,75	11,05	0,25	<b>2,48</b>	0,13 <sup>(1)</sup>	<b>1,28</b>
Hekwerk	3,12	15,40	0,62	<b>6,23</b>	0,18 <sup>(1)</sup>	<b>1,78</b>
Liechtensteinw..	2,85	21,20	0,87	<b>8,72</b>	0,25 <sup>(1)</sup>	<b>2,46</b>
Opgaande bocht	2,86	21,26	0,87	<b>8,65</b>	0,25 <sup>(1)</sup>	<b>2,47</b>
Liechtensteinw..	2,85	21,26	0,87	<b>8,72</b>	0,25 <sup>(1)</sup>	<b>2,47</b>
2e rechte deel	2,87	21,26	0,85	<b>8,53</b>	0,24 <sup>(2)</sup>	<b>2,40</b>
Europaweg2	2,85	21,26	0,87	<b>8,72</b>	0,24 <sup>(2)</sup>	<b>2,39</b>
Europaweg1	2,85	21,26	0,87	<b>8,72</b>	0,24 <sup>(2)</sup>	<b>2,37</b>
Onverharde weg2	2,90	21,26	0,82	<b>8,23</b>	0,23 <sup>(2)</sup>	<b>2,32</b>
Onverharde weg1	2,89	21,26	0,83	<b>8,31</b>	0,23 <sup>(2)</sup>	<b>2,25</b>
Neergaande bocht	2,94	21,26	0,78	<b>7,82</b>	0,21 <sup>(2)</sup>	<b>2,12</b>
1e rechte deel	2,00	9,53	0,14	<b>1,38</b>	0,06 <sup>(2)</sup>	<b>0,55</b>

$$R_o = \frac{D_{g,r}}{2} = \frac{750}{2} = 375 \text{ mm}$$

$$v_{m,r,uit} = \frac{Q_{m,r}}{A_r} = \frac{500,0}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_b^2)} = \frac{500,0}{1/4 \cdot \pi \cdot (750^2 - 114^2)} = 0,019 \text{ m/s}$$

$$v_{m,r,in} = \frac{Q_{m,r}}{A_p} = \frac{500,0}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - D_b^2)} = \frac{500,0}{1/4 \cdot \pi \cdot (170^2 - 114^2)} = 0,667 \text{ m/s}$$

$$p_{min,uit} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_r \cdot v_{m,r,uit}}{(D_{g,r} - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,r}}{D_{g,r} - D_b} \right) \cdot (L_{tot} - L) + \rho_{m,r} \cdot \Delta h_{uit} \quad (1)$$

$$p_{min,in} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_r \cdot v_{m,r,in}}{(D_p - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,r}}{D_p - D_b} \right) \cdot L + \rho_{m,r} \cdot \Delta h_{in} \quad (2)$$

## 11.3 Tijdens intrekken

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	$\Delta h_{uit}$ [m]	$p_{max}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{max}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">6</span>	$p_{min}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{min}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">7</span>
3e rechte deel	3,75	11,05	0,25	2,48	0,08 <sup>(2)</sup>	0,77
Hekwerk	3,12	15,40	0,62	6,23	0,13 <sup>(2)</sup>	1,26
Liechtensteinw..	2,85	21,20	0,87	8,72	0,19 <sup>(2)</sup>	1,92
Opgaande bocht	2,86	21,26	0,87	8,65	0,19 <sup>(2)</sup>	1,93
Liechtensteinw..	2,85	21,26	0,87	8,72	0,19 <sup>(2)</sup>	1,93
2e rechte deel	2,87	21,26	0,85	8,53	0,19 <sup>(2)</sup>	1,90
Europaweg2	2,85	21,26	0,87	8,72	0,19 <sup>(2)</sup>	1,90
Europaweg1	2,85	21,26	0,87	8,72	0,19 <sup>(2)</sup>	1,90
Onverharde weg2	2,90	21,26	0,82	8,23	0,19 <sup>(2)</sup>	1,90
Onverharde weg1	2,89	21,26	0,83	8,31	0,19 <sup>(2)</sup>	1,89
Neergaande bocht	2,94	21,26	0,78	7,82	0,19 <sup>(2)</sup>	1,88
1e rechte deel	2,00	9,53	0,14	1,38	0,05 <sup>(2)</sup>	0,51

$$D_{eq} = \sqrt{\sum_{i=1}^n D_{0,i}^2} = 500 \text{ mm}$$

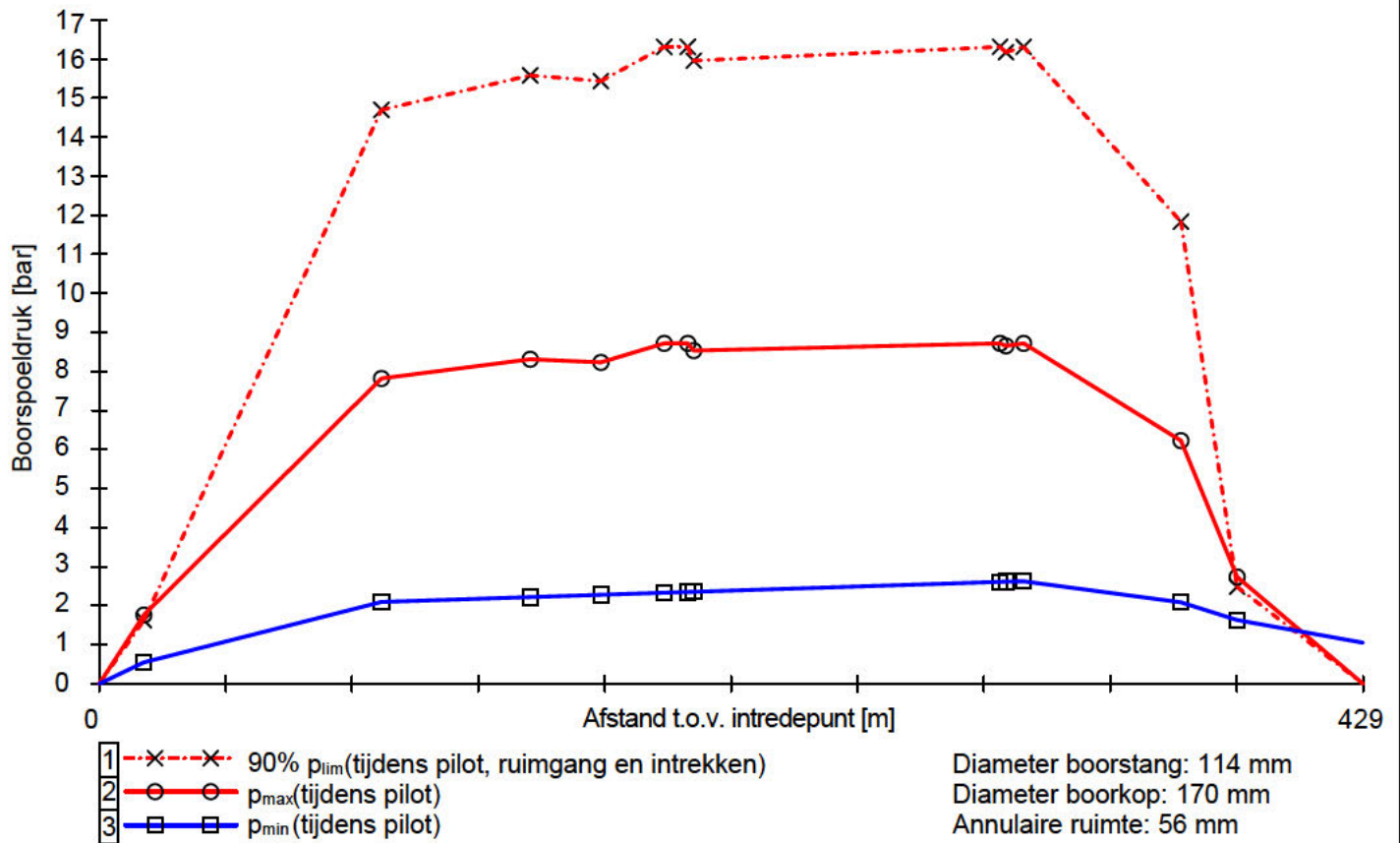
$$R_o = \frac{D_{g,r}}{2} = \frac{750}{2} = 375 \text{ mm}$$

$$v_{m,i,uit} = \frac{Q_{m,i}}{A_i} = \frac{300}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_{eq}^2)} = \frac{300}{1/4 \cdot \pi \cdot (750^2 - 500^2)} = 0,020 \text{ m/s}$$

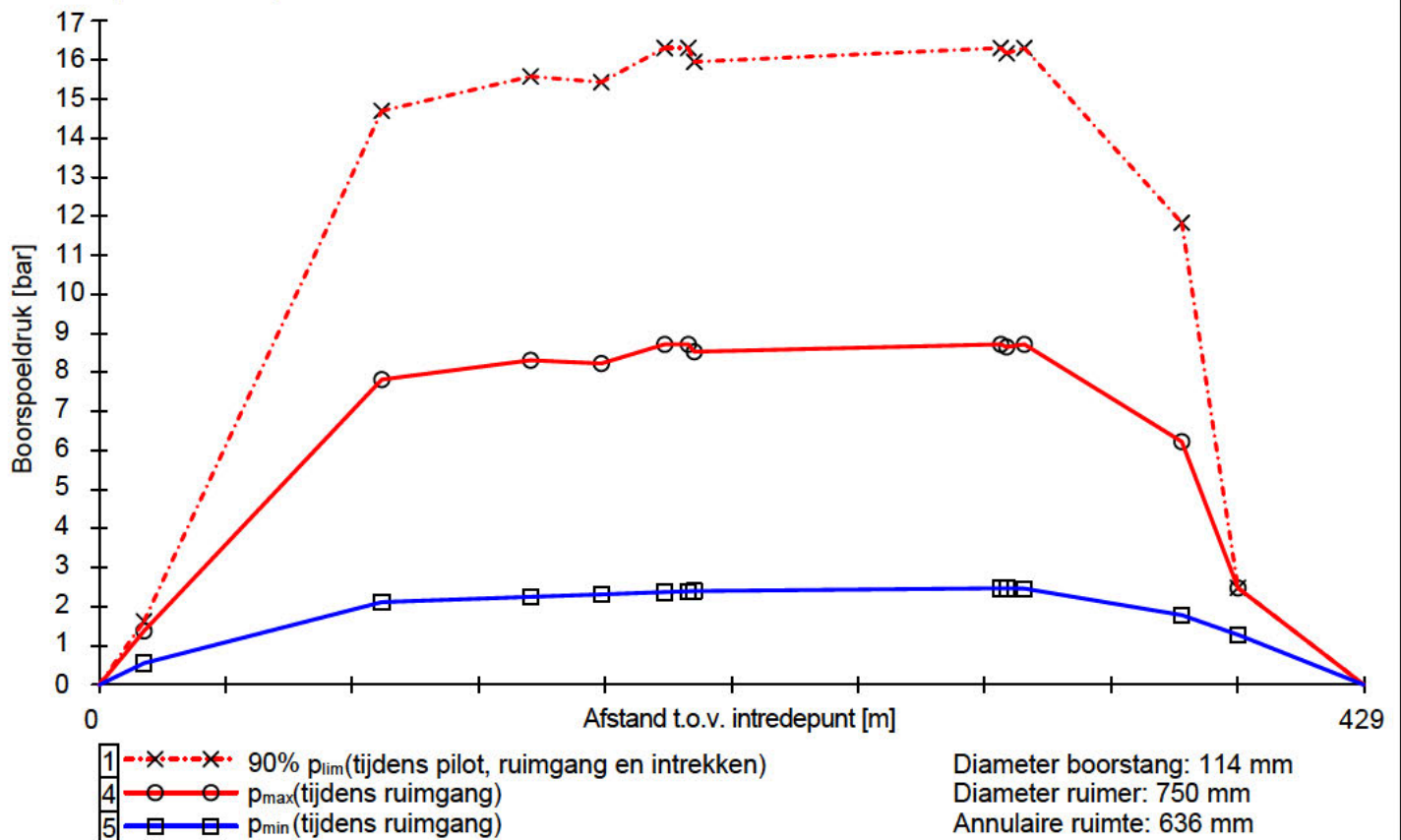
$$p_{min,uit} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_i \cdot v_{m,i,uit}}{(D_{g,r} - D_{eq})^2} + \frac{\tau_{y,i}}{D_{g,r} - D_{eq}} \right) \cdot (L_{tot} - L) + \rho_{m,i} \cdot \Delta h_{uit} \quad (1)$$

$$p_{min,in} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_i \cdot v_{m,in}}{(D_{g,r} - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,i}}{D_{g,r} - D_b} \right) \cdot L + \rho_{m,i} \cdot \Delta h_{in} \quad (2)$$

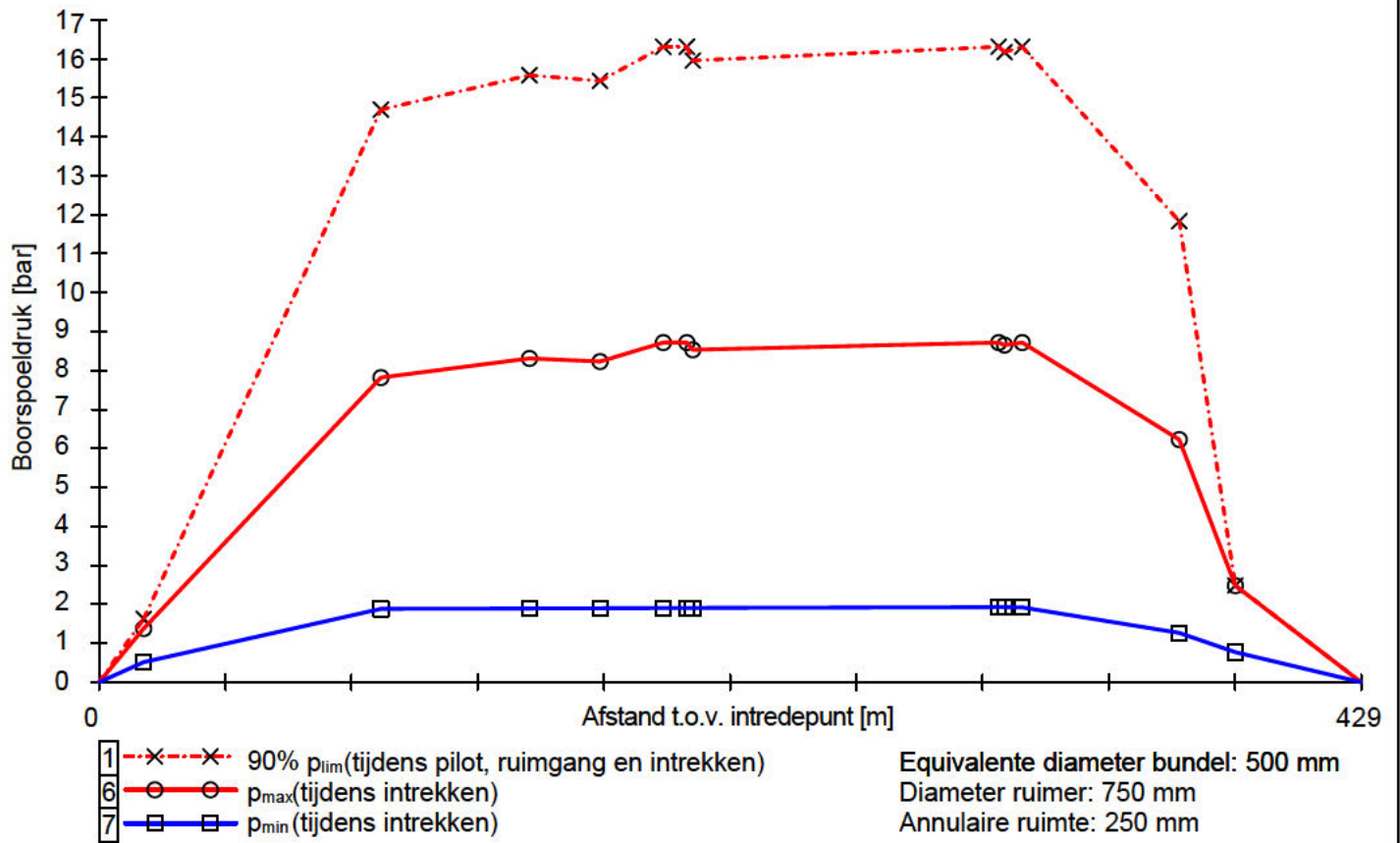
11.4 Boorspoeldrukken tijdens pilot



11.5 Boorspoeldrukken tijdens ruimen



11.6 Boorspoeldrukken tijdens intrekken



Bijlage N : Grondwaterkaart TNO, dienst grondwaterverkenning

**Stijghoogteverdeling binnen het eerste watervoerend pakket op 28 augustus 1983**