

RAPPORT

WP MVII - Ontwerp parkbekabeling windturbines harde zeewering

Ontwerp parkbekabeling en mantelbuizen

Klant: Eneco Wind B.V.

Referentie: BG8375-RHD-ZZ-XX-RP-D-0003

Status: 0.1/S0

Datum: 17 juni 2020



HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Jonkerbosplein 52
6534 AB NIJMEGEN
Water

Trade register number: 56515154

+31 88 348 70 00 **T**
+31 24 323 93 46 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: WP MVII - Ontwerp parkbekabeling windturbines harde zeewering

Ondertitel: Sterkteberekeningen mantelbuizen en tracé
Referentie: BG8375-RHD-ZZ-XX-RP-D-0003
Status: 0.1/S0
Datum: 17 juni 2020
Projectnaam: Windpark Maasvlakte II
Projectnummer: BG8375
Auteur(s): [REDACTED]

Opgesteld door: [REDACTED]

Gecontroleerd door: [REDACTED]

Datum/paraaf: _____

Goedgekeurd door: Erik Zigterman

Datum/paraaf: _____

Classificatie

Projectgerelateerd



Disclaimer

Niets uit deze specificaties/drukwerk mag worden veeleenvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van HaskoningDHV Nederland B.V.; noch mogen zij zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor andere doeleinden dan waarvoor zij zijn vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor deze specificaties/drukwerk ten opzichte van anderen dan de personen door wie zij in opdracht is gegeven en zoals deze zijn vastgesteld in het kader van deze Opdracht. Het geïntegreerde QHSE-managementsysteem van HaskoningDHV Nederland B.V. is gecertificeerd volgens ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 en ISO 45001:2018.

Inhoud

1	Inleiding	1
2	Ontwerp parkbekabeling algemeen	3
3	Uitgangspunten	4
3.1	Referenties	4
3.2	Voorschriften en literatuur	4
3.3	Risicobeheersplan en verificatiematrix	5
3.4	Randvoorwaarden HbR	5
3.4.1	Verbreding Maasvlakteweg	6
3.4.2	Toekomstig viaduct	6
3.4.3	Kabel & leidingenstrook HbR	7
3.5	Randvoorwaarden RWS (objectgrens zeewering)	8
3.6	Eisen NEN	9
3.7	Eisen Richtlijn Boortechnieken	9
3.8	Eisen Handboek Leidingen	9
3.9	Eisen Witte Boekje	12
3.10	Eisen overige nutspartijen	12
3.11	Beschrijving uitvoeringsstappen	12
3.12	Eigenschappen PE mantelbuizen	13
3.13	Eigenschappen stalen mantelbuizen	14
3.14	Bodem en waterstanden	14
3.14.1	Maaiveldniveaus	14
3.14.2	Grondonderzoek	14
3.14.3	Bodemopbouw	15
3.14.4	Grondparameters en waterstanden	15
3.15	Grondbelasting	16
3.16	Belastingen t.g.v. verkeer, kranen en materieel	16
3.17	Inwendige druk	16
3.18	Temperatuurbelasting	16
3.19	Zettingen en uitvoeringszakkingen	16
3.20	Overige uitgangspunten	17
4	Kabeltracé tussen windturbines HZ-01 en toekomstige viaduct	18
4.1	Bekabeling tussen fietspad	18
4.2	Aansluiting op windturbines HZ-01 t/m HZ-10	19

5	Kabeltracé t.p.v. toekomstige viaduct	21
5.1	Kruising toekomstige Prinses Maximaweg	21
5.2	Kruising huidige Prinses Maximaweg	22
5.3	Kruising toekomstige rijbanen viaduct	22
5.4	Bekabeling in k&l strook HbR	24
6	Kabeltracé tussen kruising k&l strook HbR en inkoopstation	25
6.1	Kruising k&l strook Hbr	26
6.2	Bekabeling tussen k&l strook HbR en toekomstige watergang	27
6.3	Kruising Maasvlakteweg	27
6.4	Aansluiting inkoopstation	28
7	Leidingsterkteberekening mantelbuizen	29
7.1	Inleiding	29
7.2	Uitgangspunten	29
7.3	Berekeningen en resultaten PE mantelbuizen	31
7.4	Berekeningen en resultaten stalen mantelbuizen	32
8	Conclusies en aanbevelingen	33
8.1	Conclusies	33
8.2	Aanbevelingen	33

Bijlagen

- 1 Tekeningen
- 2 Berekeningen PE mantelbuizen
- 3 Berekeningen Sigma stalen mantelbuizen
- 4 Doorsnede toekomstig viaduct (ter indicatie)

1 Inleiding

Eneco is voornemens op de Maasvlakte II een nieuw windpark te realiseren. In Figuur 1.1 is een indicatie gegeven van de situatie van het geplande windpark op de Maasvlakte II. Er worden 10 windturbines op de harde zeewering (HZ) geplaatst. Deze windturbines komen in het huidige talud aan de binnenzijde van de zeewering. Het betreft de windturbines HZ-01 tot en met HZ-10. De windturbines worden onderling met elkaar verbonden door middel van kabels. Vanaf HZ-10 ligt het kabeltracé parallel achter de zachte zeewering (oostzijde van de zachte zeewering) en sluit aan op het inkoopstation.

Bij de zachte zeewering (ZZ) zullen 12 windturbines worden geplaatst op het strand nabij de waterlijn. Het betreft de windturbines ZZ-01 tot en met ZZ-12. Deze windturbines worden eveneens onderling met elkaar verbonden door middel van kabels welke zoveel als mogelijk door middel van horizontaal gestuurde boringen (HDD's) worden uitgevoerd. De kabels kruisen ter hoogte van ZZ-05 de zachte zeewering door middel van horizontaal gestuurde boringen (HDD's). Daarbij worden tevens de Prinses Maximaweg en de kabel & leidingstrook van het Havenbedrijf Rotterdam (k&l strook HbR) en de Maasvlakteweg gekruist. Vervolgens sluit de bekabeling aan op het inkoopstation.

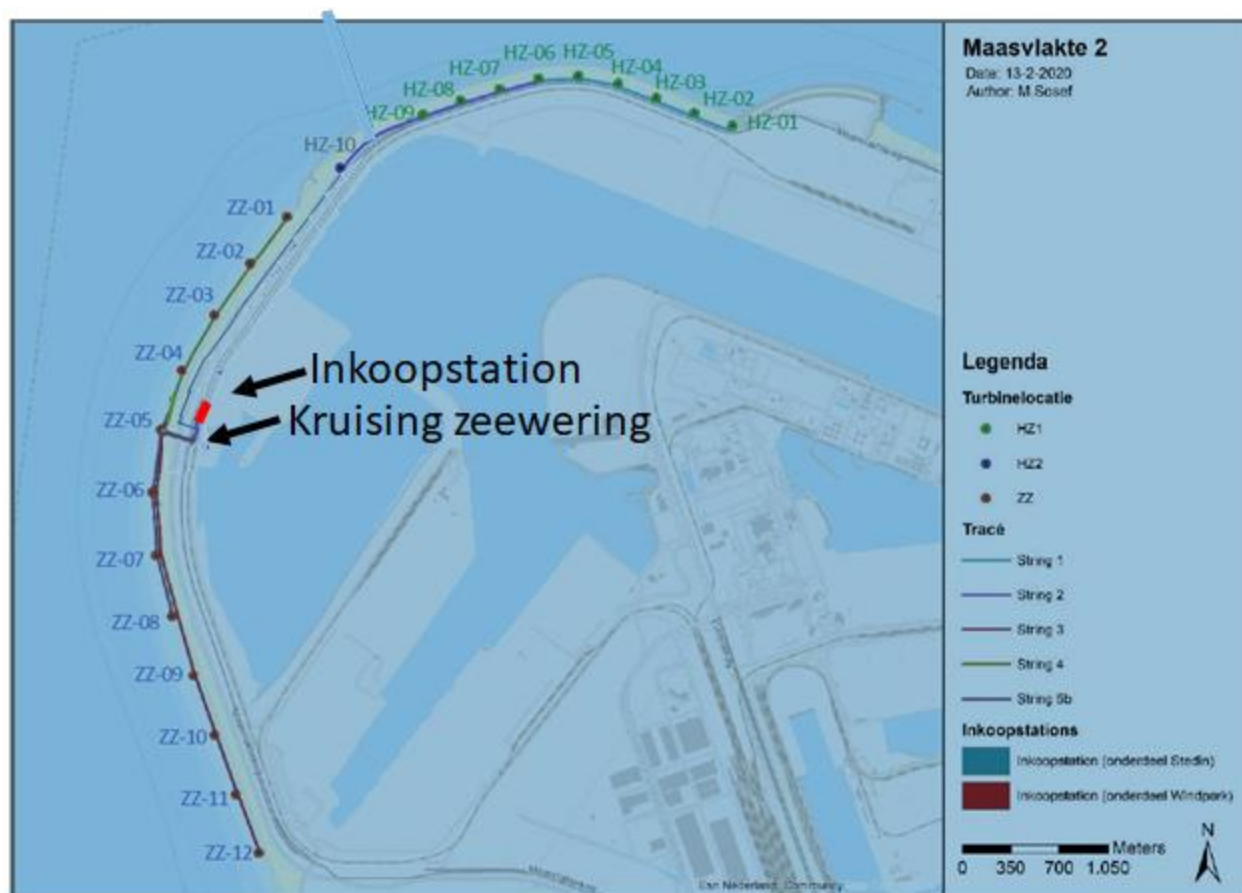
Eneco heeft Royal HaskoningDHV opdracht gegeven om het voorlopig ontwerp van dit windpark te maken. In onderliggende rapportage is het ontwerp beschreven van de kabelverbindingen tussen de windturbines bij de harde zeewering inclusief het kabeltracé tot aan de aansluiting op het inkoopstation. Er wordt daarbij tevens ingegaan op het ontwerp van de te hanteren mantelbuizen. Daarnaast is een beknopte omschrijving gegeven van de verschillende uitvoeringsstappen voor de realisatiefase.

In [ref. 9] is nader ingegaan op de elektrotechnische aspecten van de bekabeling. In [ref. 1] is het ontwerp van de parkbekabeling van de windturbines op de zachte zeewering beschreven.

Onderliggend rapport maakt onderdeel uit van de aanvraag omgevingsvergunning en waterwetvergunning.

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is het ontwerp van de parkbekabeling op hoofdlijnen gegeven. In hoofdstuk 0 zijn de uitgangspunten gegeven waarbij in paragraaf 3.11 een beknopte beschrijving van de uitvoeringsstappen is gegeven. In hoofdstuk 4 tot en met hoofdstuk 6 is het ontwerp van de parkbekabeling met de beschrijving van de tracés gegeven. In hoofdstuk 7 is het sterktechnisch ontwerp gegeven van de mantelbuizen. In hoofdstuk 8 zijn de conclusies en aanbevelingen opgenomen.



Figuur 1.1 Schematische weergave Maasvlakte II met windturbines en bekabeling

2 Ontwerp parkbekabeling algemeen

Zoals in hoofdstuk 1 is aangegeven worden er 10 windturbines bij de harde zeewering geplaatst. De windturbines worden in serie op elkaar aangesloten via (kabel)strings. Daarbij is het volgende onderscheid gemaakt:

- String 1: bekabeling HZ-01 t/m HZ-05.
- String 2: bekabeling HZ-06 t/m HZ-10.

Per string worden 3 stuks elektrakabels en 2 ductbuizen (DB7 of DB10) ten behoeve van datatransport aangebracht (zie [ref. 9]). Vanwege de bescherming van deze kabels en in verband met toekomstig onderhoud, zijn de kabels tussen de aansluiting op de windturbines en de kruising met het fietspad in mantelbuizen voorzien. Daar waar de bekabeling de Maasvlakteweg en Prinses Maximaweg kruist zijn eveneens mantelbuizen voorzien. De elektrakabels worden uitgevoerd in aluminium. Tussen het inkoopstation en de eerste windturbine per string hebben de elektrakabels een oppervlak van 630 mm². Vanaf de eerste windturbine naar de laatste windturbine in een string hebben de elektrakabels een oppervlak van 400 mm². In de vervolgfase zal nog nader worden onderzocht in hoeverre optimalisaties mogelijk zijn.

Omdat de windturbines HZ-01 tot en met HZ-09 reeds in bedrijf zullen zijn alvorens HZ-10 is gebouwd wordt er tussen HZ-09 en HZ-10 extra bekabeling aangebracht die later wordt verbonden met string 2.

In paragraaf 3.11 is een beknopte beschrijving van de uitvoeringsstappen gegeven. In hoofdstuk 4 tot en met hoofdstuk 0 is nader ingegaan op het ontwerp van het kabeltracé van de windturbines op het inkoopstation.

Op de tekening in bijlage 1 is het ontwerp van de parkbekabeling gegeven.

3 Uitgangspunten

3.1 Referenties

- [Ref. 1] Rapportage Royal HaskoningDHV “WP MVII - Ontwerp parkbekabeling windturbines zachte zeewering, ontwerp parkbekabeling (HDD's) en mantelbuizen, referentie: BG8375-RHD-ZZ-XX-RP-D-0001, status: 0.1/S0, d.d. 16-06-2020”.
- [Ref. 2] Tekening Royal HaskoningDHV “Aanleg bekabeling in open ontgraving, vanaf HZ1 tot HZ10, blad 1 overzicht, BG8375-RHD-ZZ-XX-DR-D-0001, documentstatus: VO, documentversie 1.1, d.d. 16-06-2020” (zie bijlage 1).
- [Ref. 3] Tekening Royal HaskoningDHV “Aanleg bekabeling in open ontgraving en persing, vanaf HZ10 tot inkoopstation, blad 2 overzicht, BG8375-RHD-ZZ-XX-DR-D-0001, documentstatus: VO, documentversie 1.1, d.d. 16-06-2020” (zie bijlage 1).
- [Ref. 4] Tekening Royal HaskoningDHV “Aanleg bekabeling in open ontgraving en persing, vanaf HZ10 tot inkoopstation, blad 3 details, BG8375-RHD-ZZ-XX-DR-D-0001, documentstatus: VO, documentversie 1.1, d.d. 16-06-2020” (zie bijlage 1).
- [Ref. 5] Inpijn Blokpoel, Bodemkundig onderzoek Harde Zeewering. Doc. Nr.: 02P003077-adv-01, 21-06-2013.
- [Ref. 6] MOS grondmechanica, Sonderingen Windpark 2e Maasvlakte. Doc. Nr.: 4300038842, 4-11-2019.
- [Ref. 7] BG8375-RHD-ZZ-XX-NT-G-0002-WP MV2 Definitieve uitvraag grondonderzoek.
- [Ref. 8] BG8375-RHD-ZZ-XX-RP-G-0005-WP MV2 Rapportage VO HZ fundering
- [Ref. 9] BG8375-RHD-ZZ-XX-NT-E-0001-WP MV2 VO parkbekabeling.
- [Ref. 10] Notulen Royal HaskoningDHV “Notulen overleg HbR kabeltracés, kenmerk: BG8375-RHD-ZZ-XX-MI-D-0001, d.d. 14-05-2020”.
- [Ref. 11] Memo Royal HaskoningDHV “WP MV2: bouwfasering HZ, kenmerk: BG8375-RHD-ZZ-XX-NT-G-0003, d.d. 13-05-2020”.
- [Ref. 12] Tekening Port of Rotterdam “Dwarsdoorsnede's, dwarsprofiel C-C Zachte Zeewering Infrabundel Maasvlakte 2, tek.nr. 2005-619, d.d. 17-07-2018” (bijlage 4).

3.2 Voorschriften en literatuur

Het ontwerp is gebaseerd op de volgende normen:

- NEN 3650-1: 2020 – Eisen voor buisleidingsystemen – Deel 1: Algemeen.
- NEN 3650-3: 2020 – Eisen voor buisleidingsystemen – Deel 3: Aanvullende eisen voor leidingen van kunststof.
- NEN 3651: 2020 – Aanvullende eisen voor buisleidingen in of nabij belangrijke waterstaatswerken.
- Richtlijn Boortechnieken en open ontgraving voor kabels en leidingen, versienummer: juni 2019-v-1.0.
- Gemeentewerken, gemeente Rotterdam, Handboek Leidingen, Rotterdam 2005, nadere regels ter uitvoering van de leidingenverordening Rotterdam en de Telecommunicatieverordening Rotterdam.
- Railinfrabeheer, technische voorschriften bij vergunningen voor kabels en leidingen langs, onder en boven de spoorweg, uitgave 2002 (Witte Boekje Prorail).

3.3 Risicobeheersplan en verificatiematrix

In het risicobeheersplan en de verificatiematrix voor het windpark MV2 zijn maatregelen op het gebied van parkbekabeling opgenomen.

In Tabel 3.1 is een uitsnede van de verificatiematrix opgenomen met de eisen met betrekking tot parkbekabeling. In de twee laatste kolommen wordt toegelicht hoe deze worden meegenomen in de planfase en realisatiefase.

Tabel 3.1 Uitsnede verificatiematrix

Eis nr.	Eis	Toelichting eis	Planfase/exploitant	Realisatiefase/aannemer
ME_0 501	Afstemmen en overeenstemmen Werkzaamheden met kabel- en leidingbeheerders	Bij de uitvoering van de Werkzaamheden dient de Exploitant alle voorschriften van kabel- en leidingbeheerders in acht te nemen en aantoonbare overeenstemming te bereiken met de betreffende kabel- en leidingbeheerder voor de Werkzaamheden in de nabijheid van kabels en leidingen of voor de Werkzaamheden die de functionaliteit van kabels en leidingen kan verstoren.	Met HbR heeft afstemming plaatsgevonden over het tracé. Eisen van HbR zoals vastgelegd in het Handboek Leidingen worden zoveel als nodig gevolgd. Afstemming met overige nutspartijen vindt plaats in de vervolgfase.	-
ME_0 617	Inpassen kabels en leidingen op Terrein HBR	Exploitant dient kabels en leidingen op Terrein HBR zoveel als redelijkerwijs mogelijk in te passen in de daarvoor bestemde leidingenstroken, of daarmee op aanwijzing van Havenbedrijf Rotterdam te bundelen.	In overleg met HbR zijn de tracés voor de bekabeling afgestemd. Daarbij is overeengekomen het gebruik van de HbR stroken te minimaliseren.	-
ME_0 618	Boringen, ontgravingen op Terrein HBR	Exploitant dient voor boringen, ontgravingen, bovengrondse passages en tracés onder water(bodems) op het terrein van het Havenbedrijf Rotterdam voorafgaand schriftelijke instemming van Havenbedrijf Rotterdam te verkrijgen.	Tracékeuzen zijn afgestemd met HbR.	De uitvoerende partij dient vooraf schriftelijk verzoek in.
ME_0 619	Mogelijk houden open ontgravingen Terrein HBR	Exploitant dient open ontgravingen tot NAP op het terrein van het Havenbedrijf Rotterdam blijvend mogelijk te houden in verband met de mogelijke aanleg van ondergrondse infrastructuur en inspecties of herstel daarvan.	Tracékeuzen op grondgebied HbR zijn afgestemd met HbR.	-

3.4 Randvoorwaarden HbR

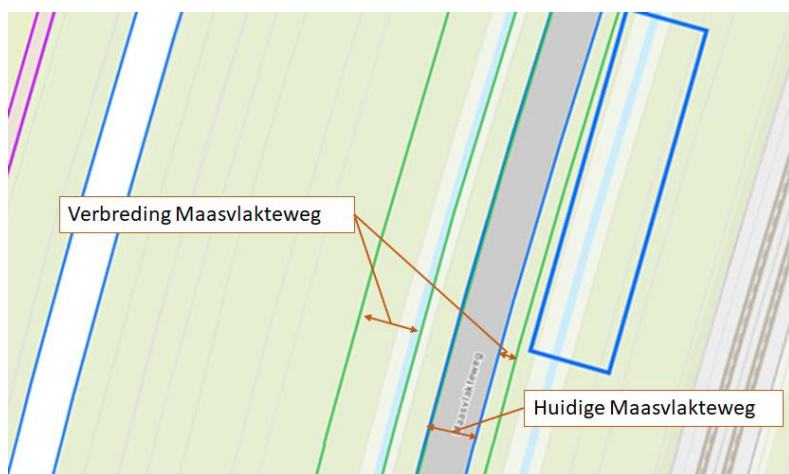
In afwijking tot eis ME0617 is door HbR aangegeven geen voorstander te zijn van korte kabeltracés in de k&l stroken van HbR. HbR wil namelijk de k&l stroken reserveren voor lange ondergrondse k&l van meerdere kilometers.

Tevens heeft HbR aangegeven, dat er rekening gehouden moet worden met toekomstige ontwikkelingen op de Tweede Maasvlakte. Deze zijn weergegeven op de tekening inrichtingsgrenzen, aangeleverd door HbR.

In navolgende paragrafen zijn de toekomstige ontwikkelingen die mogelijk impact hebben op de parkbekabeling beschreven. Voor de tracébeplanning in hoofdstuk 4 tot en met 0 is hier waar mogelijk rekening mee gehouden.

3.4.1 Verbreding Maasvlakteweg

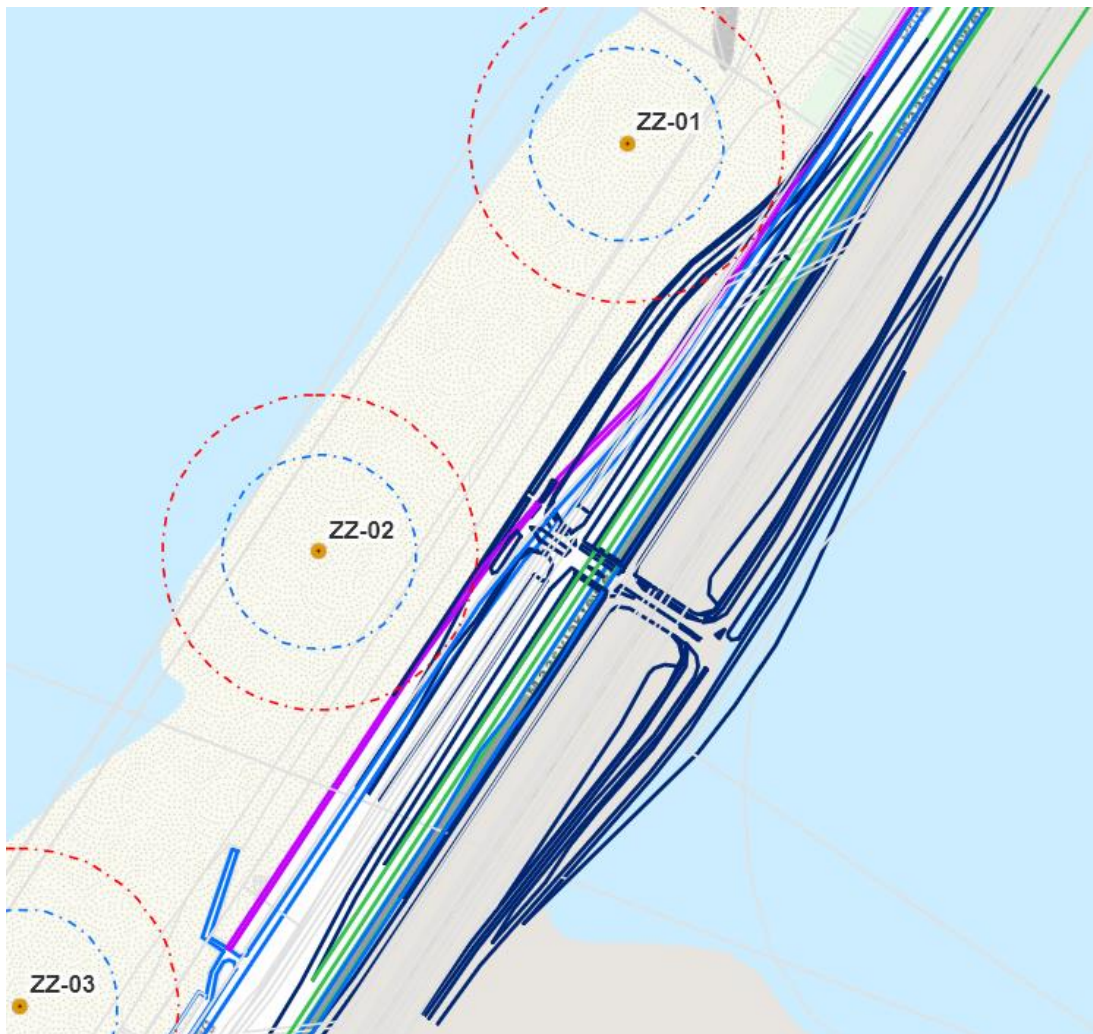
HbR heeft aangegeven, dat de Maasvlakteweg in de toekomst wordt verbreed. Vooralsnog is het uitgangspunt dat de Maasvlakteweg in de richting van het duin (westelijke richting) wordt verbreed en dat de sloot die er nu ligt, wordt opgeschoven naar de westzijde van de toekomstig verbrede Maasvlakteweg. Aan de oostzijde van de huidige Maasvlakteweg zal lokaal ook een verschuiving van de kant van de verharding plaatsvinden. Op de tekening in bijlage 1 is de Maasvlakteweg inclusief geplande verbreding inzichtelijk gemaakt. In Figuur 3.1 is de verbreding ter hoogte van het inkoopstation aangeduid.



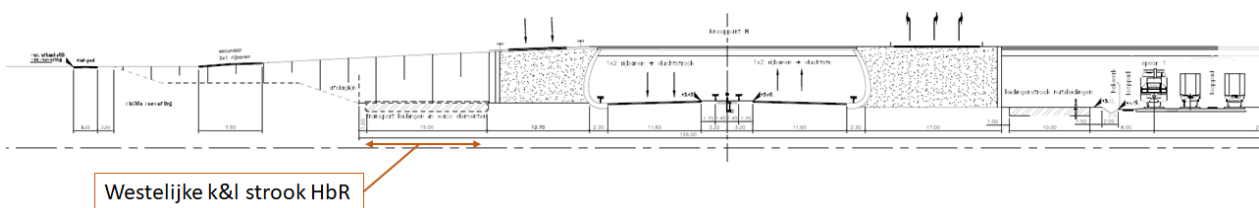
Figuur 3.1 Indicatie toekomstige verbreding Maasvlakteweg (in donker groen aangeduid)

3.4.2 Toekomstig viaduct

HbR heeft aangegeven, dat er ongelijkvloerse kruisingen (viaducten) worden aangebracht. Wanneer dit gepland is, is vooralsnog niet bekend (mogelijk pas over 5 tot 10 jaar). Maar hoogstwaarschijnlijk wordt het viaduct wel tijdens de operationele fase van het windpark Maasvlakte 2 gerealiseerd. Op de tekening in bijlage 1 en Figuur 3.2 is het toekomstige viaduct weergegeven welke een raakvlak heeft met de parkbekabeling van de harde zeewering. Vanaf de Maasvlakteweg komen nieuwe op- en afritten die geleidelijk omhoog lopen. Grondkeringen zijn hiervoor noodzakelijk. Het viaduct kruist het spoor en de Maasvlakteweg en sluit aan op de Prinses Maximaweg welke hoog op de zeewering ligt. In Figuur 3.3 is een principe doorsnede gegeven van het geplande viaduct (overeenkomstig [ref. 12]). Conform deze tekening zullen de kabels en leidingen in de westelijke k&l strook van HbR in WACO elementen worden aangebracht.



Figuur 3.2 Indicatie toekomstig viaduct met op- en afritten (in donker blauw aangeduid)



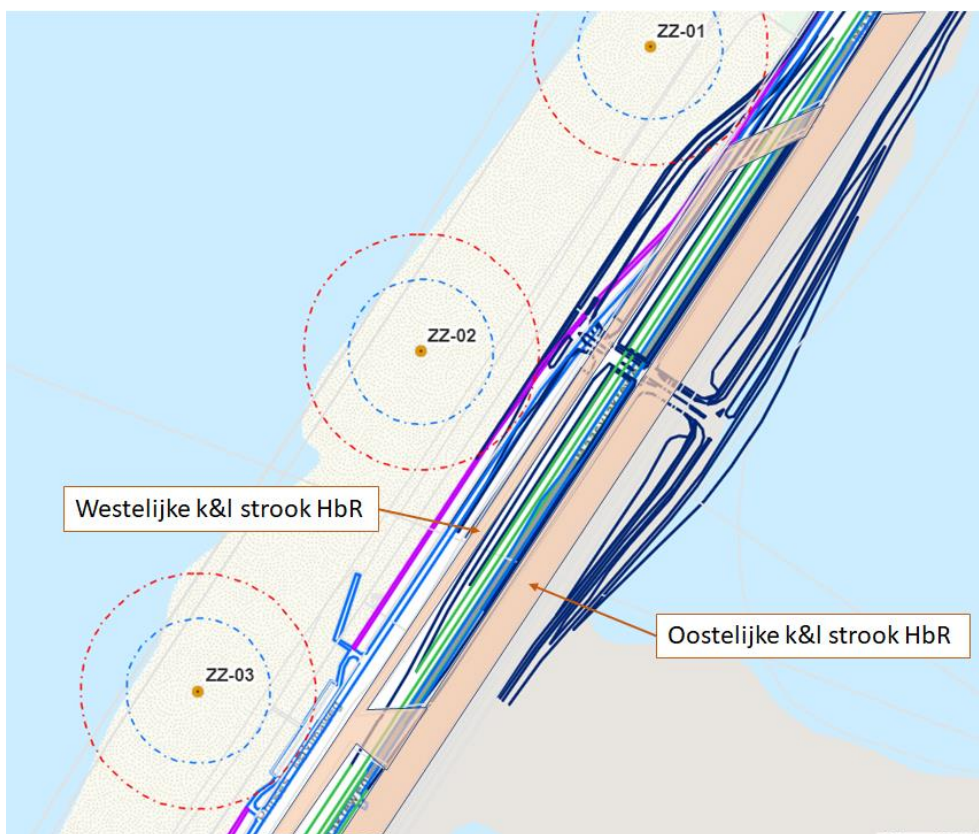
Figuur 3.3 Doorsnede toekomstig viaduct (ter indicatie)

3.4.3 Kabel & leidingstrook HbR

In bijlage 1 en Figuur 3.4 is de k&l strook van HbR ter indicatie weergegeven. Deze strook kenmerkt zich door:

- Ligging parallel tussen het spoor en de Maasvlakteweg. De k&l strook van HbR is smaller aan de oostzijde van de Maasvlakteweg ter plaatse van het toekomstig aan te brengen viaduct. De k&l strook wordt daardoor niet geraakt door het toekomstige viaduct.

- Vanaf het toekomstige viaduct ligt de k&l strook in zuidelijke richting aan weerszijde van de Maasvlakteweg. Waarbij de westelijke k&l strook van HbR meer westelijk is georiënteerd richting de Prinses Maximaweg.
- De kruising van de Maasvlakteweg aan weerszijde van het toekomstige viaduct.
- Aan weerszijde van de k&l strook van HbR moet rekening worden gehouden met een belemmerende strook van 5 m breed. Binnen deze strook mogen wel kabels en leidingen van derden worden aangebracht echter gelden hieromtrent wel restricties vanuit HbR.



Figuur 3.4 Indicatie k&l stroken HbR (in licht oranje aangeduid)

3.5 Randvoorwaarden RWS (objectgrens zeewering)

Voor de zachte en harde zeewering hanteert Rijkswaterstaat (RWS) een objectgrens waarbinnen zoveel als mogelijk vreemde objecten moeten worden vermeden ten behoeve van de waterveiligheid. Ter plaatse van de harde zeewering ligt de objectgrens tussen de insteek van het talud en het fietspad. Ter plaatse van de zachte zeewering ligt de objectgrens:

- Vanaf HZ-10 tot het toekomstige viaduct: ten westen van het fietspad.
- Vanaf het toekomstige viaduct en verder zuidelijk: ten westen van de westelijke k&l strook van HbR. De Prinses Maximaweg ligt verder westelijk.

RWS heeft als eis gesteld, dat de bekabeling van HZ-10 naar het inkoopstation ten oosten van de objectgrens van de zachte en harde zeewering moet liggen. Deze eis is als uitgangspunt overgenomen voor de tracébeplanning van de bekabeling.

3.6 Eisen NEN

In de NEN3651 en NEN3650-1 zijn eisen opgenomen waar leidingen aan moeten voldoen. De NEN3651 gaat specifiek in op de situatie van leidingen ter plaatse van waterstaatswerken.

De NEN3656 "Eisen voor stalen buisleidingsystemen op zee" is hier niet van toepassing. Deze norm is pas geldig vanaf Lowest Astronomical Tide (LAT) en verder zeewaarts.

De NEN3651 is van toepassing voor leidingen die binnen veiligheidszone van waterstaatswerken liggen. De veiligheidszone bestaat daarbij normaliter uit een stabiliteitszone en een verstoringszone. Voor zeeweringen die gevormd worden door duinen is geen sprake van een normale veiligheidszone. Voor de bekabeling inclusief mantelbuizen welke ten westen van de objectgrens van RWS liggen zijn de eisen uit de NEN3651 aangehouden.

Voor de mantelbuizen die het fietspad, de Prinses Maximaweg en de Maasvlakteweg kruisen zijn eveneens de eisen uit de NEN3651 van toepassing.

Voor de overige kabeltracés zonder mantelbuizen zijn geen aanvullende eisen vanuit de NEN3651 van toepassing.

Relatieve sterkte

De relatieve sterkte eis waarbij de leidingen binnen de veiligheidszone 20% sterker dienen te zijn dan daarbuiten is hier niet van toepassing. Deze eis is gekoppeld aan de inwendige druk in de leiding. De mantelbuizen zijn drukloos. Tevens is deze eis enkel van toepassing voor situaties waarbij een dijk wordt gekruist.

Importantiefactor

Conform de NEN3651 hoeft een importantiefactor niet te worden aangehouden voor de mantelbuizen die aansluiten op de windturbines en ten westen van de objectgrens van RWS liggen, omdat deze mantelbuizen de zeewering niet kruisen. Daarnaast is er geen sprake van eventuele risico's voor de waterveiligheid voor de zeewering door deze mantelbuizen.

Conform de NEN3651 hoeft voor de kruising met het fietspad, de Prinses Maximaweg en de Maasvlakteweg eveneens geen importantiefactor te worden aangehouden.

Kwel

Omdat er geen verhoogd risico op kwel langs de aangelegde mantelbuizen kan optreden, zijn aanvullende maatregelen niet nodig. De mantelbuizen worden wel aan weerszijden waterdicht afgesloten.

3.7 Eisen Richtlijn Boortechnieken

De Richtlijn boortechnieken is niet van toepassing voor de kruising van de Prinses Maximaweg en Maasvlakteweg omdat het geen rijkswegen betreft. Een Wbr vergunning is voor deze tracédelen daarom niet vereist.

3.8 Eisen Handboek Leidingen

De eisen van HbR ten aanzien van kabels en leidingen zijn vastgelegd in het Handboek Leidingen.

De wijze waarop de bekabeling aansluit op de windturbines ligt ten westen van de objectgrens van RWS en zal naast HbR ook door RWS worden beoordeeld.

Voor het volledige tracé van de parkbekabeling voor de windturbines op de harde zeewering zijn de eisen uit het Handboek Leidingen (Rotterdam 2005) van toepassing.

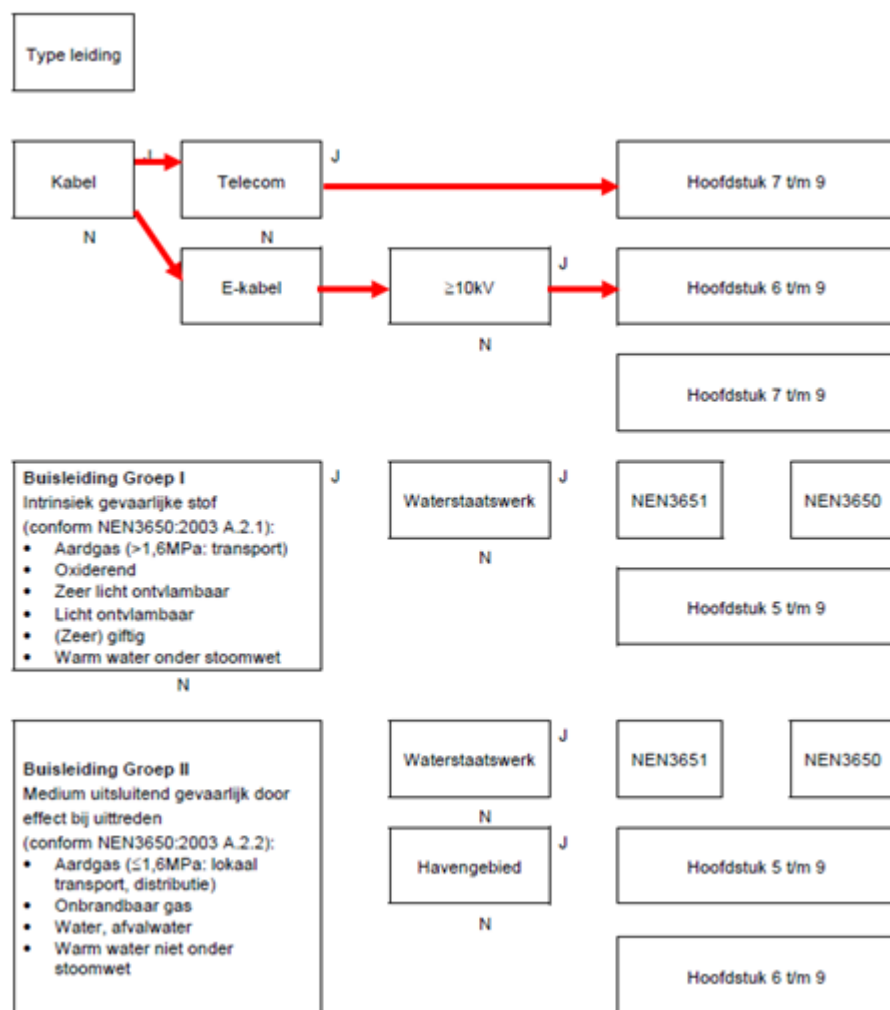
Overeenkomstig het handboek zijn voor kabels enkel de hoofdstukken 6 t/m 9 van toepassing. Risico's zoals bij mediumvoerende leidingen treden hier niet op waardoor er geen extra veiligheidseisen van toepassing zijn. De PE en stalen mantelbuizen waarin de kabels komen zijn op basis van de NEN3650 en NEN3651 rekentechnisch beschouwd.

De belangrijkste eisen uit het handboek inclusief toelichting zijn in Tabel 3.2 opgenomen.

Tabel 3.2 Voornaamste van toepassing zijnde eisen uit Handboek Leidingen

Paragraaf uit handboek met onderwerp	Toelichting eis	Relatie met parkbekabeling HZ
3.2.2 Horizontale ligging in het havengebied	In het havengebied ligt een groot deel van de leidingen in leidingenstroken. In leidingenstroken geldt een horizontale dagmaat tussen parallel liggende leidingen van 0,40 m.	Afhankelijk van gekozen tracé
3.2.4 Verticale ligging in het havengebied	In het havengebied ligt een groot deel van de leidingen in leidingenstroken. Bij de dekking van leidingen in leidingenstroken gelden de volgende uitgangspunten: - De dekking bedraagt 1,00 m minus uitgiftepeil; - Indien het aanwezige maaiveld hoger ligt dan het uitgiftepeil, dan bedraagt de dekking 1,00 m minus uitgiftepeil; - Indien het aanwezige maaiveld over het algemeen lager ligt dan het uitgiftepeil, dan bedraagt de dekking 1,00 m minus maaiveld. - De dekking van nieuwe leidingen in leidingenstroken met reeds aanwezige leidingen dient te allen tijde dezelfde te zijn als die van de naastliggende bestaande leidingen. – Bij een kruising met een leidingenstrook, geldt een dekking van ten minste 2,50 m ten opzichte van het maaiveld. Daarbij dient een verticale dagmaat van ten minste 0,30 m met de te kruisen bestaande leidingen te worden gehanteerd bij een open ontgraving.	Afhankelijk van gekozen tracé Voor de kruising met de k&l strook van HbR tussen de Prinses Maximaweg en Maasvlakteweg moet rekening worden gehouden met de dekkingseis (zie tekening bijlage 1).
3.2.5 Aanvullende eisen voor verticale ligging	Bij boringen/persingen, in welke vorm ook, is de diepteligging afhankelijk van de situatie ter plaatse. De minimale verticale dagmaat ten opzichte van de te kruisen leidingen bedraagt tenminste 0,50 m, waarbij de te boren/persen leiding onder de bestaande leiding dient te worden gevoerd. Genoemde minimale verticale dagmaat dient aantoonbaar te worden gegarandeerd om afwijkingen tijdens de uitvoering op te vangen. Bij het kruisen van sloten / open watergangen dient een minimale gronddekking van 1,00 m ten opzichte van de ontwerpdiepte van de bodem van de watergang te worden aangehouden. Indien de aanwezige bodem van de watergang lager ligt dan de ontwerpdiepte dient een gronddekking van 1,00 m ten opzichte van de aanwezige bodem te worden aangehouden	Afhankelijk van gekozen tracé. (zie tekening bijlage 1).
4 Verdere procesgang	Nadat het voorlopige tracé van een leiding is vastgelegd, kan aan de hand van Figuur 3.5 bepaald worden wat de vervolgstappen in het verdere proces zijn om te komen tot het hebben van een leiding in de ondergrond	Hoofdstuk 6 t/m 9 zijn van toepassing omdat het hier elektrakabels en datakabels betreft
6 Ontwerp van leidingen 6.1 Kabels	Voor nieuwe en/of te wijzigen hoogspanningsverbindingen, zijnde transport en/of distributie van 10kV en hoger, zowel boven- als ondergronds, evenwijdig aan en/of in de nabijheid van stalen leidingen dient een beïnvloedingsberekening overeenkomstig NPR	In de vervolgfase dient te worden beoordeeld in hoeverre een beïnvloedingsberekening vereist is

Paragraaf uit handboek met onderwerp	Toelichting eis	Relatie met parkbekabeling HZ
	2760:1991 te worden uitgevoerd. Ook indien een bestaande hoogspanningsverbinding wordt opgewaardeerd dient een beïnvloedingsberekening te worden gemaakt. Indien uit de berekening blijkt dat er aanpassingen aan bestaande buisleidingen moeten worden uitgevoerd, dan dienen deze aanpassingen, in overleg met de desbetreffende leidingeigenaar en voor rekening van het energiebedrijf, te worden uitgevoerd. De uitgevoerde berekening dient vooraf te worden uitgevoerd en aan de betreffende leidingeigenaren ter accordering te worden voorgelegd. Indien mantelbuizen worden toegepast dan dienen deze te voldoen aan het gesteld in paragraaf 6.4.	
6.4 Mantelbuizen	In principe worden geen mantelbuizen voorgeschreven voor buisleidingen. Voor kabels kunnen mantelbuizen worden verlangd bijvoorbeeld voor het kruisen van belangrijke verkeersaders. Dit laat onverlet de eis die door andere vergunningverlenende instanties kan worden gesteld. Aan een mantelbuis kunnen de volgende eisen worden gesteld: ▪ De mantelbuis moet geschikt zijn voor het opnemen van alle uitwendige belastingen en in die gevallen waarin het ontwerp dat aangeeft, de inwendige ontwerpdruk van de mediumvoerende leiding; ▪ De mantelbuis moet zo worden samengesteld dat corrosiebescherming van de mediumvoerende leiding kan worden gewaarborgd; ▪ De mantelbuis moet aan beide uiteinden flexibel worden afgesloten om de grondwatercirculatie binnen de annulaire ruimte en daarmee de aanvoer van zuurstof tot een minimum te beperken. Voor de constructie van een mantelbuis voor buisleidingen wordt verwezen naar artikel 9.6.2 van NEN 3650-1:2003. (Ga verder met hoofdstuk 7)	De PE en stalen mantelbuizen zijn overeenkomstig de NEN3650 en NEN3651 rekentechnisch beschouwd. De uiteinden van de mantelbuizen worden flexibel afgesloten.
7.1.5 Betreden van leidingenstroken	Het is verboden zich met materialen en materieel die niet voor de uitvoering van het werk nodig zijn in de leidingenstroken te bevinden. Bij transport van materiaal en materieel over de leidingenstroken alsmede het tijdelijk opslaan van uitkomende grond kan door de beheerders/exploitanten van de reeds aanwezige leidingen en/of toezichthouder GW worden verlangd, dat de nodige (tijdelijke) voorzieningen worden getroffen. De hoogte van de opslag van de uitkomende grond in de leidingenstroken mag nooit > 1,00m boven het maaiveld bedragen.	Afhankelijk van gekozen tracé.
8.2 Kabels	Voor kabels dienen onder andere de volgende zaken een onderdeel van het beheersysteem te zijn: ▪ analyse van de storingen in het net; ▪ onderzoek naar de ligginggegevens van het net in relatie tot de vaste punten in de aansluiting van percelen. Dit in relatie tot het zettinggedrag van het gebied.	In de vervolgfase worden beïnvloedingsberekeningen uitgevoerd.



Figuur 3.5 Schema verdere procesgang uit Handboek Leidingen

3.9 Eisen Witte Boekje

De eisen van Prorail ten aanzien van kabels en leidingen nabij het spoor zijn vastgelegd in het Witte Boekje. Parallel gelegen kabels op minder dan 5 m vanaf het hart van het spoor zijn niet toegestaan. Ter plaatse van het inkoopstation ligt de parkbekabeling van de harde zeewering het dichtste bij het spoor maar ruim buiten deze 5 m contour waardoor de eisen uit het Witte Boekje niet van toepassing zijn.

3.10 Eisen overige nutspartijen

In de vervolgfase dienen de eisen vanuit de beheerders van deze nutsvoorzieningen verder inzichtelijk worden gemaakt.

3.11 Beschrijving uitvoeringsstappen

Op hoofdlijnen zijn de volgende uitvoeringsstappen te onderscheiden (zie tevens [ref. 11]):

- Gestart wordt met het grondwerk en gewapende grondconstructie voor HZ-01 t/m HZ-09. In de gewapende grondconstructie worden tevens mantelbuizen voor de bekabeling voorzien.
- Aanbrengen fundatie windturbines HZ-01 t/m HZ-09.

- Aanbrengen toren, wieken en afbouw HZ-01 t/m HZ-09.
- Verwijderen kraanopstelplaatsen.
- Aanbrengen bekabeling tussen de windturbines HZ-01 t/m HZ-09. Inclusief aanbrengen bekabeling in mantelbuizen
- Aanbrengen bekabeling tussen de windturbines HZ-09 en HZ-10 en bekabeling naar het inkoopstation vanaf HZ-10.
- Proefdraaien windturbines HZ-01 t/m HZ-09.
- Ingebruikname HZ-01 t/m HZ-09.
- Bouw windturbine HZ-10 (grondwerk, fundatie, mantelbuizen, toren, wieken en afbouw).
- Bekabeling HZ-10 verbinden met string waar HZ-09 onderdeel van uitmaakt.
- Proefdraaien windturbines HZ-10.
- Ingebruikname HZ-10.

3.12 Eigenschappen PE mantelbuizen

In Tabel 3.3 zijn de leidinggegevens en materiaaleigenschappen opgenomen van de PE-mantelbuizen die worden toegepast. De diameter van de PE mantelbuizen is gebaseerd op de warmteontwikkeling van de elektrakabel zelf. Door de kabelleverancier is aangegeven, dat voor de warmteafdracht een inwendige diameter van de PE mantelbuis moet worden aangehouden welke tenminste groter is dan 3 x de diameter van de elektrakabel. Enige optimalisatie mogelijkheden worden in de vervolgfase beschouwd. De diameter van de gegeven PE mantelbuizen zou dan mogelijk kleiner kunnen worden.

De mantelbuizen zijn drukloos. Overeenkomstig de NEN3651 wordt aanbevolen de belastingssituatie tijdens de sterktebeproeving met 0,4 MPa inwendige druk door te rekenen en te toetsen op sterkte.

In overleg met de vergunningverlenende instanties moet worden vastgesteld of de PE mantelbuizen op sterkte beproefd moeten worden.

De uiteinden van de PE mantelbuizen worden flexibel afgesloten om grondwatercirculatie in de annulaire ruimten te voorkomen.

Tabel 3.3 Leidinggegevens PE mantelbuizen

Betreft		Elektrakabel 630 mm ² ⁽²⁾	Elektrakabel 400 mm ² ⁽²⁾	Datatransportkabel DB7 of DB10
Materiaal	[-]	PE100	PE100	PE100
Uitwendige diameter	[mm]	250	250 ⁽¹⁾	110
Wanddikte	[mm]	22,7 (SDR 11)	22,7 (SDR 11)	10,0 (SDR 11)

(1) Vanaf de eerste windturbine in een string naar de overige windturbines in die string worden vooralsnog elektrakabels met een oppervlak van 400 mm² aangebracht. Voor deze kabels zou een reductie van de mantelbuis diameter mogelijk zijn naar 200 mm. Voor deze fase van het project is gekozen om een eenduidige mantelbuis diameter aan te houden. In een latere fase zou dit geoptimaliseerd kunnen worden.

(2) Uitwendige diameter: 630 mm² kabel is 58 mm en 400 mm² is 53 mm.

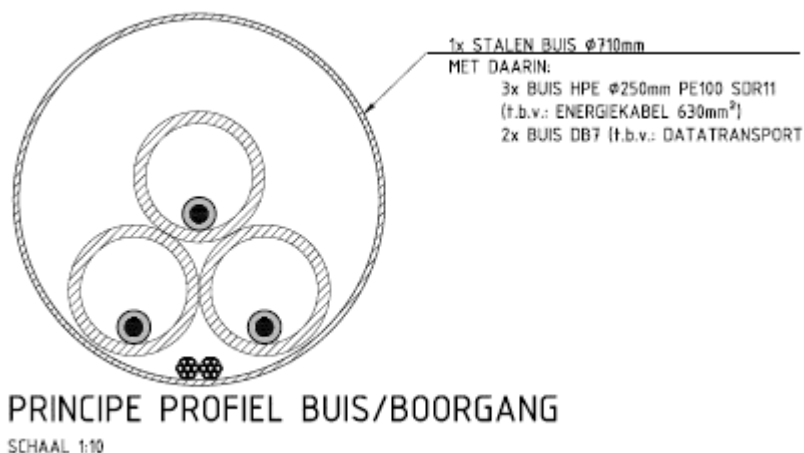
Tabel 3.4 geeft de materiaaleigenschappen van het toegepaste materiaal.

Tabel 3.4 Materiaaleigenschappen PE mantelbuizen

Materiaal		PE100	
Korte duur treksterkte	R_k	10,0	N/mm ²
Korte duur elasticiteitsmodulus	E_k	975	N/mm ²
Lange duur treksterkte	R_l	8,0	N/mm ²
Lange duur elasticiteitsmodulus	E_l	350	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α	16×10^{-5}	mm/mm/°C
Soortelijk gewicht	γ	$9,55 \times 10^{-6}$	N/mm ³
Poissonfactor	ν	0,4	-

3.13 Eigenschappen stalen mantelbuizen

Ter plaatse van de kruising met de Maasvlakteweg inclusief toekomstige verbreding zijn PE mantelbuizen voorzien (conform paragraaf 3.12). De kruising met de huidige Maasvlakteweg zal door middel van twee parallel uitgevoerde doorpersingen (GFT / OFT) met stalen mantelbuizen worden uitgevoerd (zie Figuur 6.5). De stalen mantelbuizen zullen een uitwendige diameter van circa 710 mm hebben (wanddikte 10 mm, staalkwaliteit L360). In de vervolgfase zal dit waar mogelijk worden geoptimaliseerd. Het sterkte technisch ontwerp van de stalen mantelbuizen is gegeven in hoofdstuk 7.



Figuur 3.6 Doorsnede geperste stalen mantelbuis onder Maasvlakteweg

3.14 Bodem en waterstanden

3.14.1 Maaiveldniveaus

Over het tracé van de bekabeling varieert het maaiveldniveau. Voor het ontwerp en de tekeningen zijn de maaiveldniveaus uit AHN aangehouden. Voor de vervolgfase zal het maaiveld ter plaatse van het kabeltracé worden ingemeten. Op basis van de resultaten uit de inmeting en de uitgiftepeilen van HbR zal het definitieve ontwerp worden vastgesteld.

3.14.2 Grondonderzoek

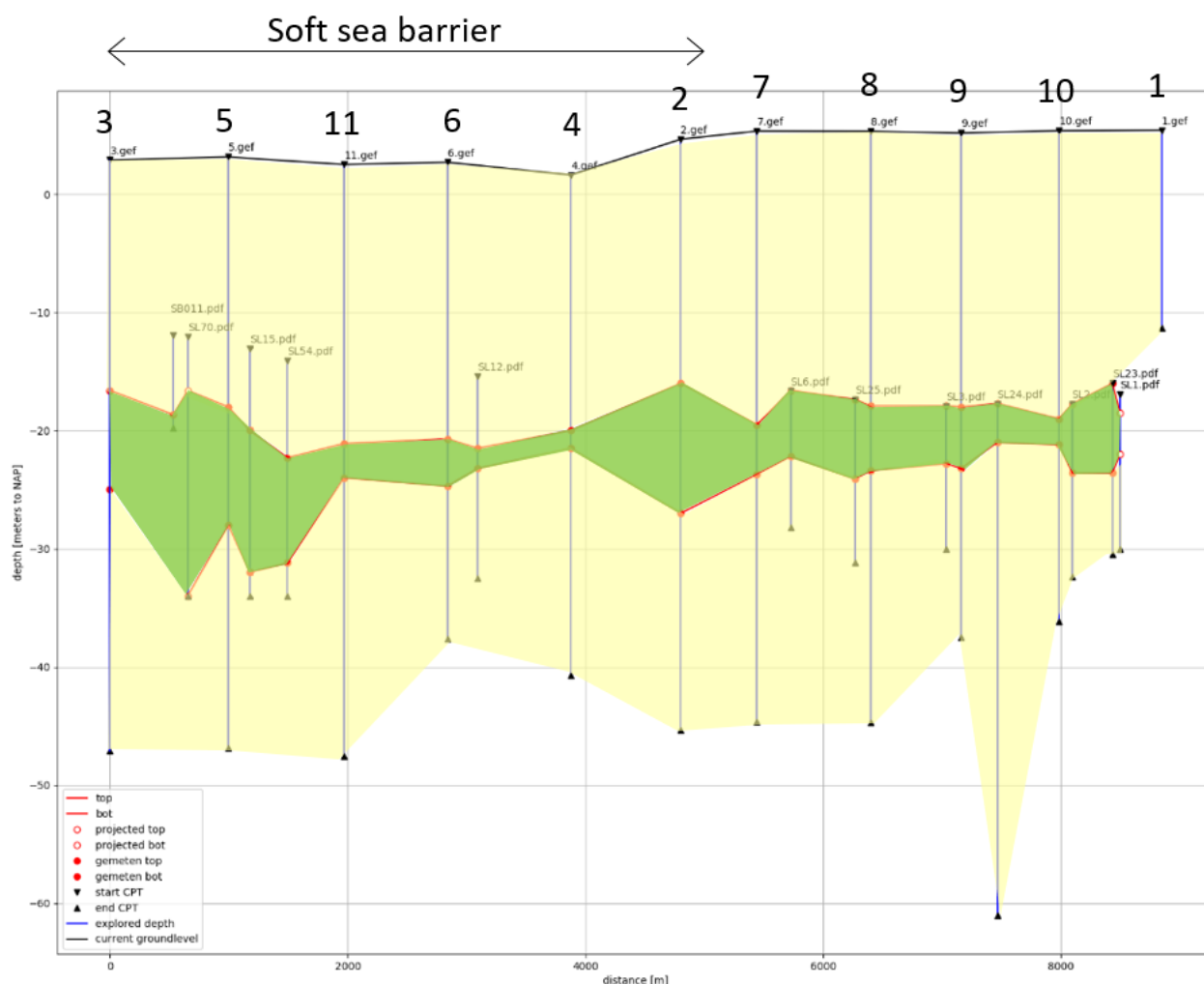
Tijdens het aanbestedingsontwerp van dit project is in opdracht van Rijkswaterstaat grondonderzoek uitgevoerd [ref. 6].

Ten behoeve van de verdere ontwerpwerkzaamheden van de bekabeling naar het inkoopstation is aanvullend grondonderzoek ingepland [ref. 7]. De resultaten uit dit grondonderzoek zullen worden vergeleken met de in dit rapport aangehouden gegevens. Indien er aanleiding is om de gehanteerde uitgangspunten en berekeningen aan te passen zal dit in de vervolgfase plaatsvinden. Tevens dient het aanvullende grondonderzoek als input voor de uitvoerende aannemer.

3.14.3 Bodemopbouw

Op basis van [ref. 5] en [ref. 6] is geconcludeerd dat de grondopbouw voornamelijk uit zand bestaat. Vanaf maaiveld tot een diepte van circa NAP -17 tot -21 m is een dikke zandlaag aanwezig (aanvulzand). Het zand varieert van fijn tot gravelachtig materiaal dat matig tot vast gepakt is (conusweerstand tot circa 50 MPa). De bekabeling zal in deze zandlaag worden aangebracht.

In Figuur 3.7 is een doorsnede over de zachte en harde zeewering gegeven.



Figuur 3.7 Geologisch profiel harde en zachte zeewering

3.14.4 Grondparameters en waterstanden

De aangehouden grondparameters en waterstanden zijn specifiek gegeven in de paragrafen die betrekking hebben op de desbetreffende sterkteberekeningen.

3.15 Grondbelasting

Voor het ontwerp van de mantelbuizen die in een open ontgraving worden aangebracht of worden doorgeperst zijn de grondbelastingen bepaald met behulp van het programma Sigma 2018 versie 1.5.

3.16 Belastingen t.g.v. verkeer, kranen en materieel

Voor het ontwerp van de PE mantelbuizen bij de aansluitingen op de windturbines is vooralsnog rekening gehouden met vrachtverkeer met een aslast van maximaal 12 ton (120 kN). Voor de sterkteberekeningen van de mantelbuizen is daar uitgegaan van grafiek I uit de NEN3650-1 (load model 3). De aangehouden verkeersbelasting is groter dan de aslast van 12 ton en betreft dus een conservatief uitgangspunt. In de vervolgfase dient te worden beschouwd in hoeverre de kraanopstelplaatsen boven de bekabeling komt. Waar nodig zullen dan maatregelen getroffen moeten worden. Tevens zal in de vervolgfase worden beoordeeld in hoeverre een extra verkeerslast noodzakelijk is ten behoeve van de realisatie van de fundatie en grondkering ter plaatse van de windturbines.

Ter plaatse van de Maasvlakteweg, de Prinses Maximaweg en het fietspad is uitgegaan van grafiek I uit de NEN3650-1 (fatigue load model 3).

3.17 Inwendige druk

De nieuwe mantelbuizen worden zowel voor de drukloze situatie als met een druk van 0,4 bar (overeenkomstig de eis uit de NEN3651) doorgerekend.

3.18 Temperatuurbelasting

In de berekeningen is uitgegaan van een temperatuur fluctuatie van 10 graden. De referentie temperatuur is 10 °C. De maximum temperatuur is 20 °C. De minimale temperatuur is 5 °C.

Overeenkomstig de NEN3650-3 moet rekening worden gehouden met reductiefactoren voor de sterkte van kunststofleidingen wanneer de leidingtemperatuur boven de 20 °C komt.

Voor de vervolgfase moet worden onderzocht tot welke temperatuur de mantelbuizen werkelijk kunnen opwarmen en in hoeverre reductiefactoren op de sterkte noodzakelijk zijn. Het oppervlak van de elektrakabels is momenteel gebaseerd op een maximum optredende temperatuur van circa 80 °C van de buitenmantel van deze kabel. Wat hierdoor de warmteontwikkeling wordt van de PE mantelbuis is vooralsnog niet onderzocht. Uitwendig worden deze mantelbuizen gekoeld door het grondwater en de grond.

3.19 Zettingen en uitvoeringszakkingen

Zettingverschillen worden niet verwacht omdat de ondergrond hoofdzakelijk uit zand bestaat. Een eventuele zetting door de bovenbelasting ter plaatse van de aan te brengen grondophoging wordt in een vervolgfase bepaald.

Voor het ontwerp van de mantelbuizen is uitgegaan van een uitvoeringszakking zie specifieke uitgangspunten in de sterkteberekeningen.

Ter plaatse van de overgangen met en zonder mantelbuis kunnen uitvoeringszakkingverschillen worden opgevangen in de kabel.

3.20 Overige uitgangspunten

- De minimale dagmaat tussen de kabelstrings in een open ontgraving is 0,5 m.
- Ter bescherming van de bekabeling wordt er boven de kabels een PE beschermplaat aangebracht. Daar waar de bekabeling in PE mantelbuizen ligt worden in plaats van deze beschermplaat waarschuwinglinten aangebracht (zie tekeningen in bijlage 1).
- Voor de dikte van de asfaltverharding inclusief puinfundering onder de wegen en het fietspad is een dikte van 0,5 m aangenomen.

4 Kabeltracé tussen windturbines HZ-01 en toekomstige viaduct

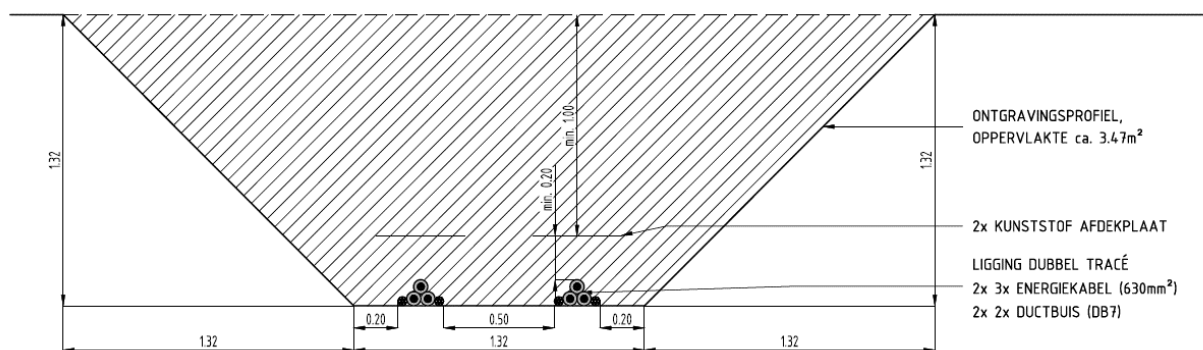
In Figuur 4.1 is de situatie gegeven tussen de windturbines en het toekomstige viaduct. Het betreft hier een uitsnede van de tekening uit bijlage 1.



Figuur 4.1 Situatie tussen windturbines en toekomstig viaduct

4.1 Bekabeling tussen fietspad

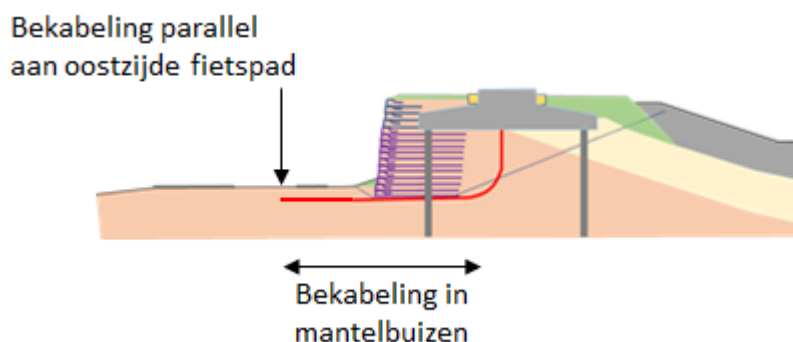
De bekabeling tussen de windmolens op de harde zeewering tot aan het toekomstige viaduct komt parallel aan de oostzijde van het fietspad te liggen (zie locatie H, Figuur 4.1). De tracés tussen de windmolens worden zonder mantelbuizen uitgevoerd, in een open ontgraving. In Figuur 4.2 is een doorsnede van de kabelsleuf gegeven. Tussen HZ-09 en HZ-10 wordt uitgegaan van een drie dubbel legtracé (zie bijlage 1).



Figuur 4.2 Principe ontgravingsprofiel dubbele bekabeling in open ontgraving

4.2 Aansluiting op windturbines HZ-01 t/m HZ-10

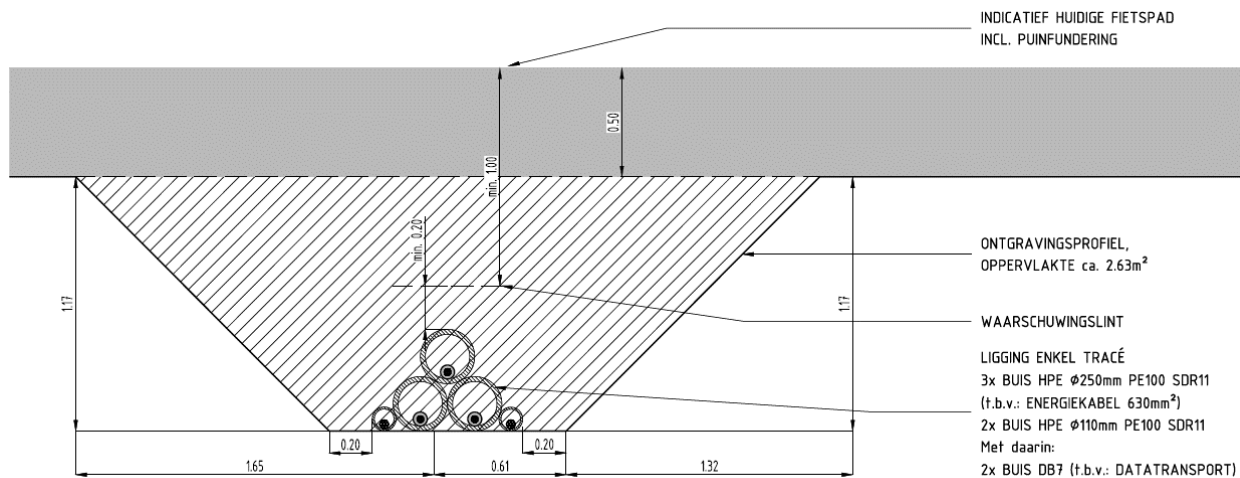
Het ontwerp van de windturbines en fundaties op de harde zeewering is gegeven in [ref. 8]. Omdat de windturbines in het talud van de harde zeewering komen te staan en er gebruik wordt gemaakt van een gewapende grondconstructie is de bekabeling hierop afgestemd. In de gewapende grondconstructie komen namelijk de kabels in PE mantelbuizen te liggen. Deze PE mantelbuizen beginnen in de voet van de windturbine en eindigen aan de oostkant van het fietspad (zie Figuur 4.3 en zie locatie G, Figuur 4.1). In de vervolgfase zal beoordeeld worden welke radius kan worden aangehouden in verband met krachtwerking in kabels en te overbruggen hoogteverschil tevens wordt dan verder beschouwd van welk type mantelbuizen zal worden uitgegaan. In [ref. 11] is de bouwvolgorde van de fundatie en kabelinvoer toegelicht.



Figuur 4.3 Aansluiting bekabeling op windturbine

In de vervolgfase dient de detaillering van deze aansluitingen op de windturbines nader te worden uitgewerkt.

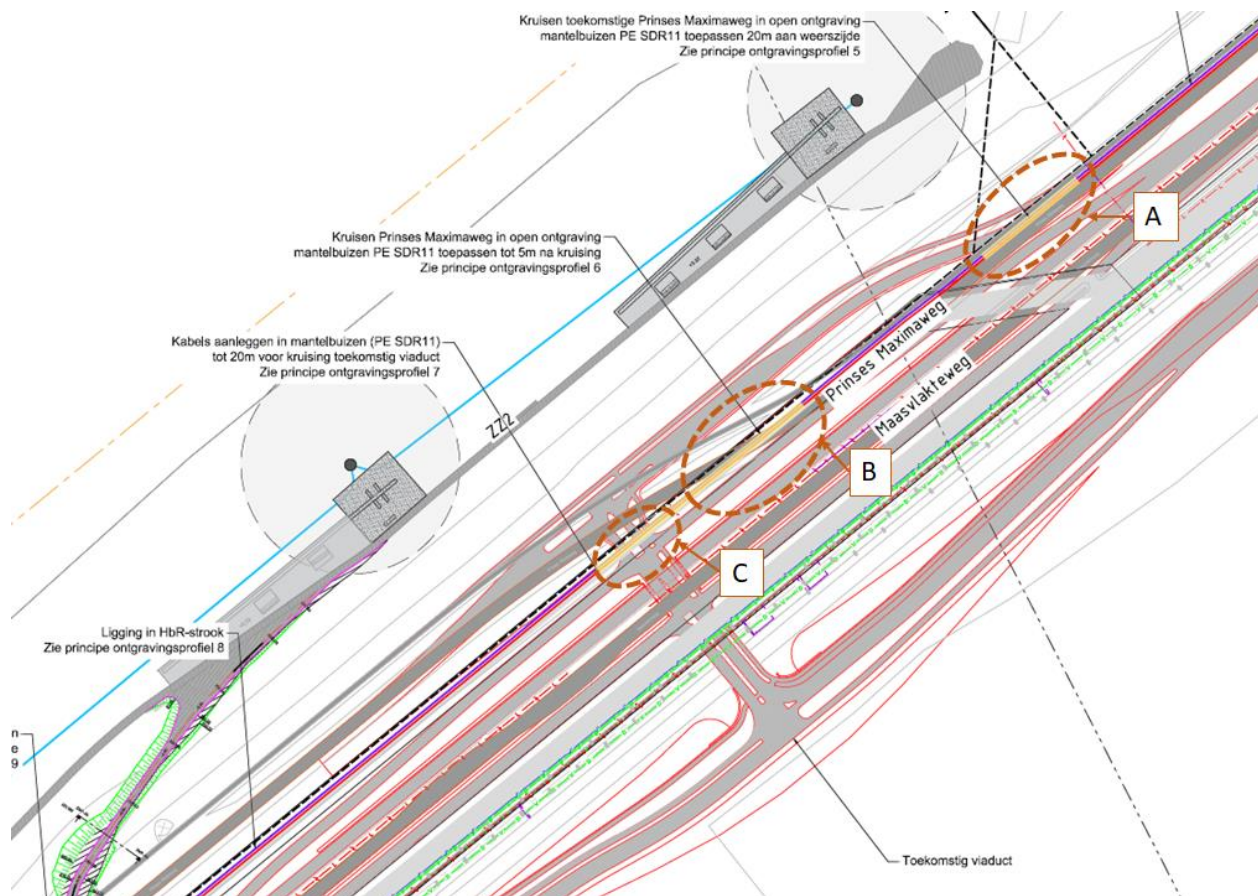
Doordat de kabels aan de oostzijde van het fietspad moeten liggen, wordt het fietspad bij elk van de 10 windturbines gekruist. De kruising met het fietspad wordt in open ontgraving uitgevoerd in PE mantelbuizen zie Figuur 4.4. In hoofdstuk 3.12 zijn de eigenschappen van de PE mantelbuizen gegeven. De sterkte-technische beoordeling van deze mantelbuizen is gegeven in hoofdstuk 7.



Figuur 4.4 Principe ontgravingsprofiel bekabeling in open ontgraving met PE mantelbuizen t.b.v. kruising fietspad

5 Kabeltracé t.p.v. toekomstige viaduct

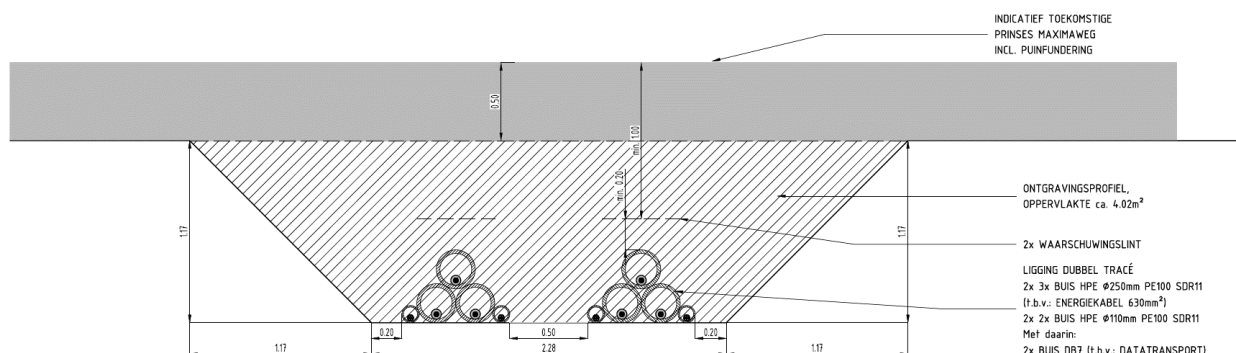
In Figuur 5.1 is de situatie gegeven ter plaatse van het toekomstige viaduct. Het betreft hier een uitsnede van de tekening uit bijlage 1.



Figuur 5.1 Situatie ter plaatse van toekomstige viaduct

5.1 Kruising toekomstige Prinses Maximaweg

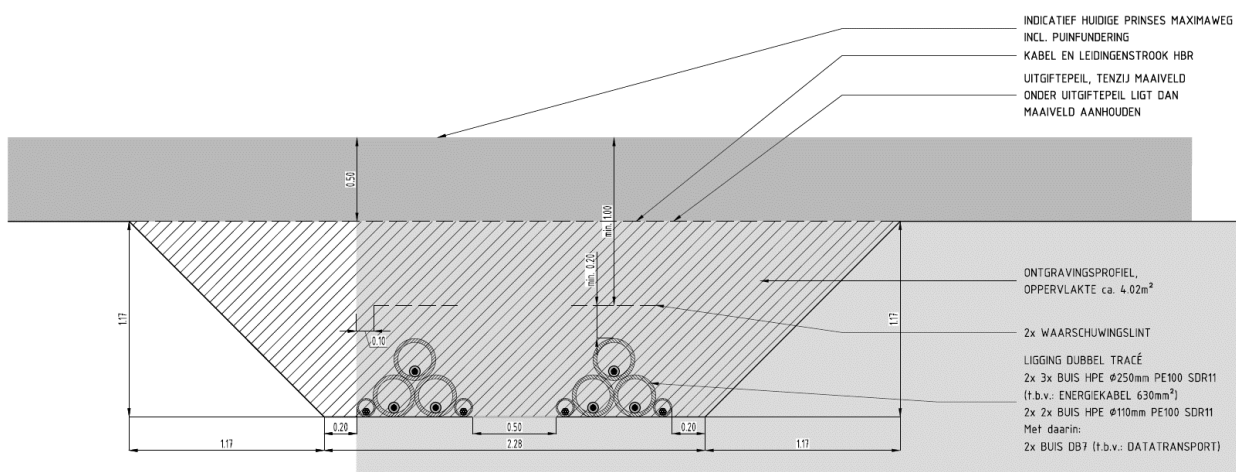
In de toekomstige situatie schuift de huidige Prinses Maximaweg op in westelijke richting waardoor de aangelegde bekabeling voor de windturbines zal worden gekruist (zie locatie A, Figuur 5.1). Om te voorkomen, dat de reconstructie van de weg resulteert in benodigde aanpassingen van de bekabeling wordt de bekabeling in mantelbuizen geplaatst. De lengte van de mantelbuizen is dusdanig ver doorgezet (20 m aan weerszijde) zodat enige vrijheid behouden blijft in het ontwerp van de toekomstige locatie van de Prinses Maximaweg. De kruisingen met de toekomstige Prinses Maximaweg wordt in open ontgraving uitgevoerd met PE mantelbuizen zie Figuur 5.2. In hoofdstuk 3.12 zijn de eigenschappen van de PE mantelbuizen gegeven. De sterkte-technische beoordeling van deze mantelbuizen is gegeven in hoofdstuk 7.



Figuur 5.2 Principe ontgravingsprofiel dubbele bekabeling in open ontgraving met PE mantelbuizen t.b.v. kruising toekomstige Prinses Maximaweg

5.2 Kruising huidige Prinses Maximaweg

De kruising met de huidige Prinses Maximaweg (zie locatie B, Figuur 5.1) wordt in open ontgraving uitgevoerd met PE mantelbuizen zie Figuur 5.3. De bekabeling wordt aan de westzijde in de westelijke k&l strook van HbR gelegd. In de toekomstige situatie wordt hier het fietspad en de Prinses Maximaweg in westelijke richting opgeschoven. Om te voorkomen, dat deze reconstructie van de verhardingen resulteert in benodigde aanpassingen van de bekabeling wordt de bekabeling in mantelbuizen geplaatst. De lengte van de mantelbuizen is tot buiten de huidige verhardingen doorgezet. Aan de zuidzijde zijn deze mantelbuizen tot en met de kruising met het toekomstige viaduct doorgezet. Het maaiveld zal hier nauwelijks wijzigen door het aanbrengen van het toekomstige viaduct omdat de bekabeling gedeeltelijk in de k&l strook van HbR ligt. In hoofdstuk 3.12 zijn de eigenschappen van de PE mantelbuizen gegeven. De sterkte-technische beoordeling van deze mantelbuizen is gegeven in hoofdstuk 7.



Figuur 5.3 Principe ontgravingsprofiel dubbele bekabeling in open ontgraving met PE mantelbuizen t.b.v. kruising huidige Prinses Maximaweg, ligging in k&l strook HbR

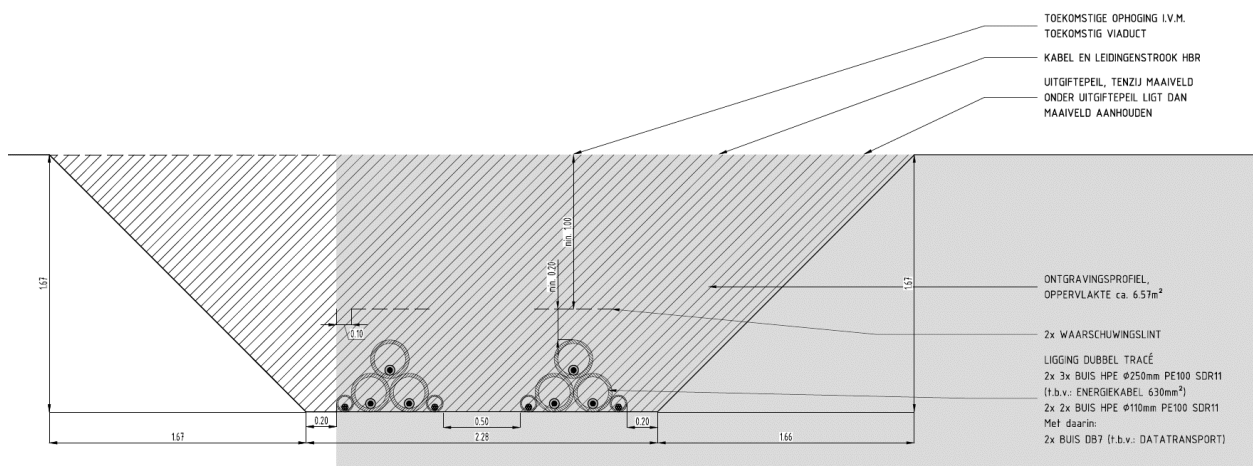
5.3 Kruising toekomstige rijbanen viaduct

Ter plaatse van de kruising met de toekomstige rijbanen van het viaduct (zie locatie C, Figuur 5.1) wordt de bekabeling door middel van een open ontgraving in PE mantelbuizen aangebracht zie Figuur 5.4. De bekabeling wordt daarbij aan de westzijde in de westelijke k&l strook van HbR gelegd. De lengte van de mantelbuizen is ruim doorgezet tot 20 m ten zuiden van de toekomstige rijbanen. Aan de noordzijde

worden deze mantelbuizen volledig doorgezet tot en met de kruising van de huidige Prinses Maximaweg. De keuze om hier mantelbuizen toe te passen is gebaseerd op het toekomstig aan te brengen viaduct. Eventuele reconstructies zullen dan niet direct tot grote aanpassingen van de bekabeling leiden.

Conform [ref. 12] waarop het ontwerp van het toekomstige viaduct is gegeven zullen de kabels en leidingen van de westelijke k&l strook van HbR in WACO elementen worden opgenomen. Boven deze WACO elementen zal ten behoeve van dit toekomstige viaduct een grondophoging van circa 6 m worden aangebracht. De PE mantelbuizen inclusief bekabeling voor de HZ turbines kunnen voorafgaand aan het aanbrengen van deze ophogingen worden verschoven en eveneens in de WACO elementen worden opgenomen. De grondophogingen en eventuele zettingen hebben dan geen nadelig effect op deze bekabeling en de PE mantelbuizen.

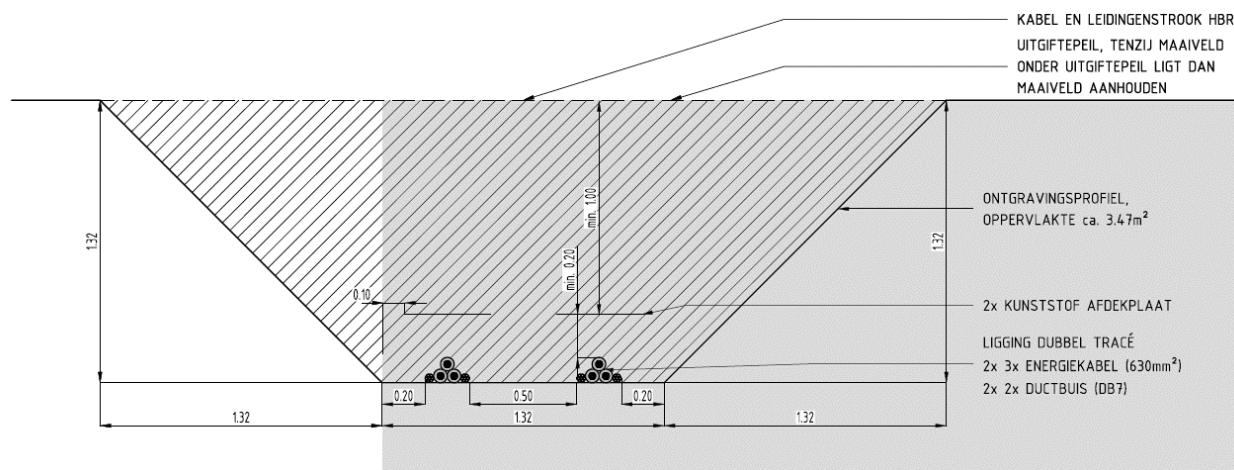
In hoofdstuk 3.12 zijn de eigenschappen van de PE mantelbuizen gegeven. De sterkte-technische beoordeling van deze mantelbuizen is gegeven in hoofdstuk 7. Omdat de PE mantelbuizen na realisatie van het toekomstige viaduct in de WACO elementen komen te liggen zijn geen berekeningen noodzakelijk met de aangebrachte grondophogingen.



Figuur 5.4 Principe ontgravingsprofiel dubbele bekabeling in open ontgraving met PE mantelbuizen t.b.v. ongelijkvloerse kruising rijbanen toekomstige viaduct, ligging in k&l strook HbR (situatie na aanbrengen bekabeling)

5.4 Bekabeling in k&l strook HbR

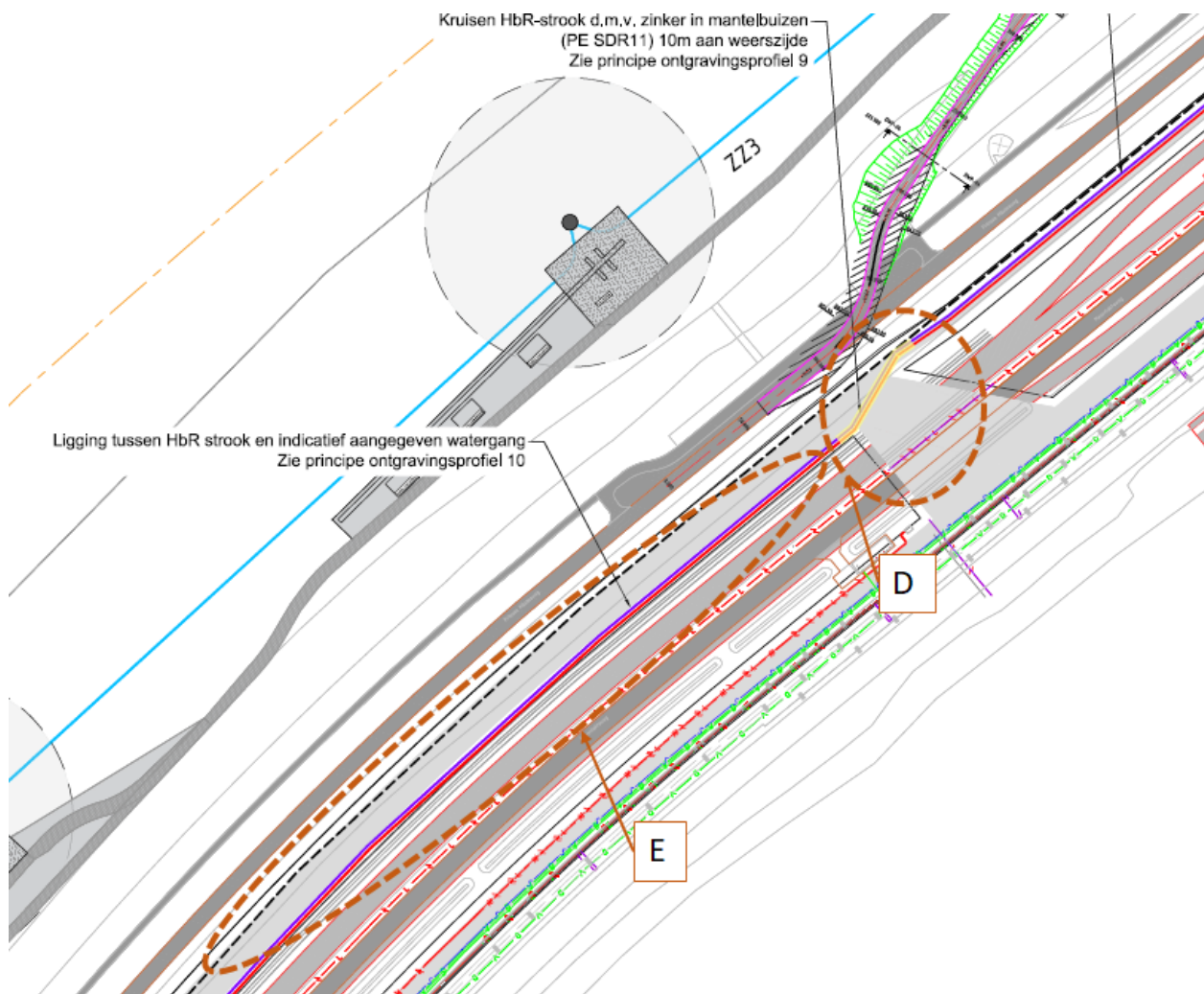
Het resterende kabeltracé komt niet in PE mantelbuizen te liggen. De bekabeling wordt in open ontgraving aan de westzijde in de westelijke k&l strook van HbR gelegd zie Figuur 5.5.



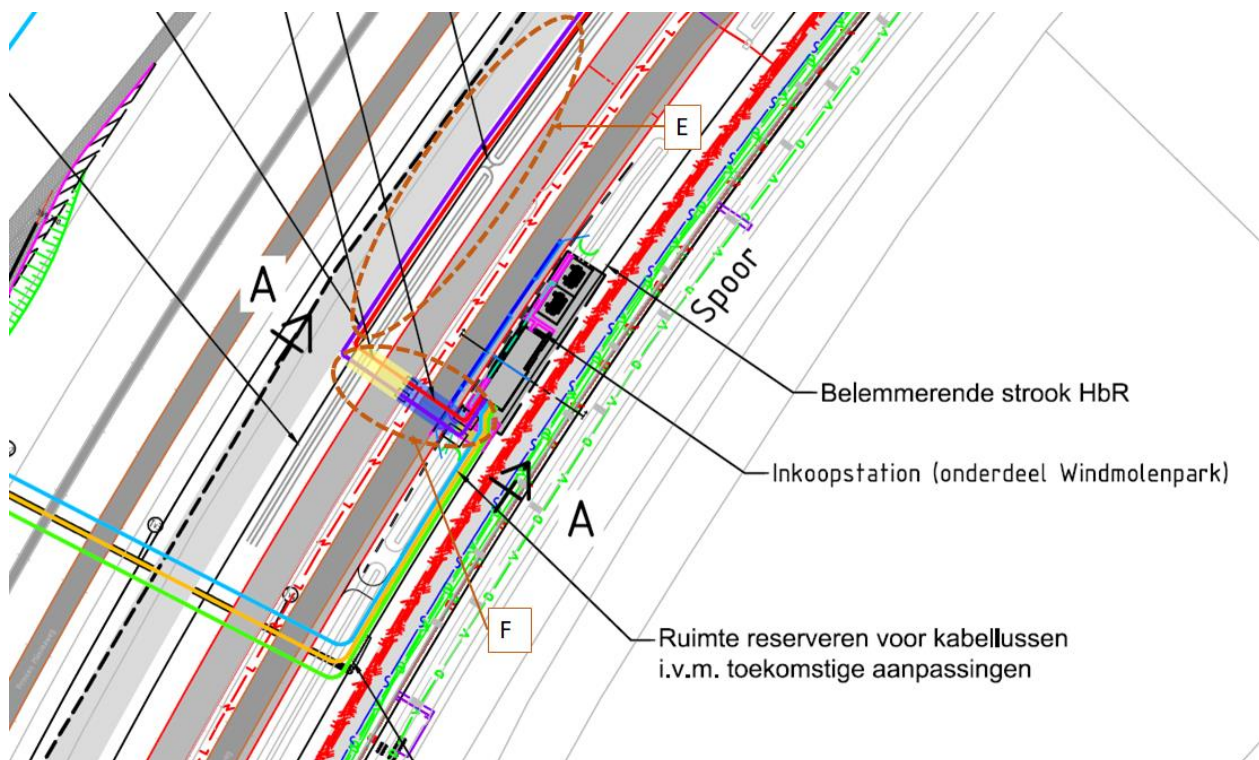
Figuur 5.5 Principe ontgravingsprofiel dubbele bekabeling in open ontgraving, ligging in k&l strook HbR

6 Kabeltracé tussen kruising k&l strook HbR en inkoopstation

In Figuur 6.1 en Figuur 6.2 is de situatie gegeven ter plaatse van de kruising met de k&l strook van HbR en de aansluiting op het inkoopstation. Het betreft hier een uitsnede van de tekening uit bijlage 1.



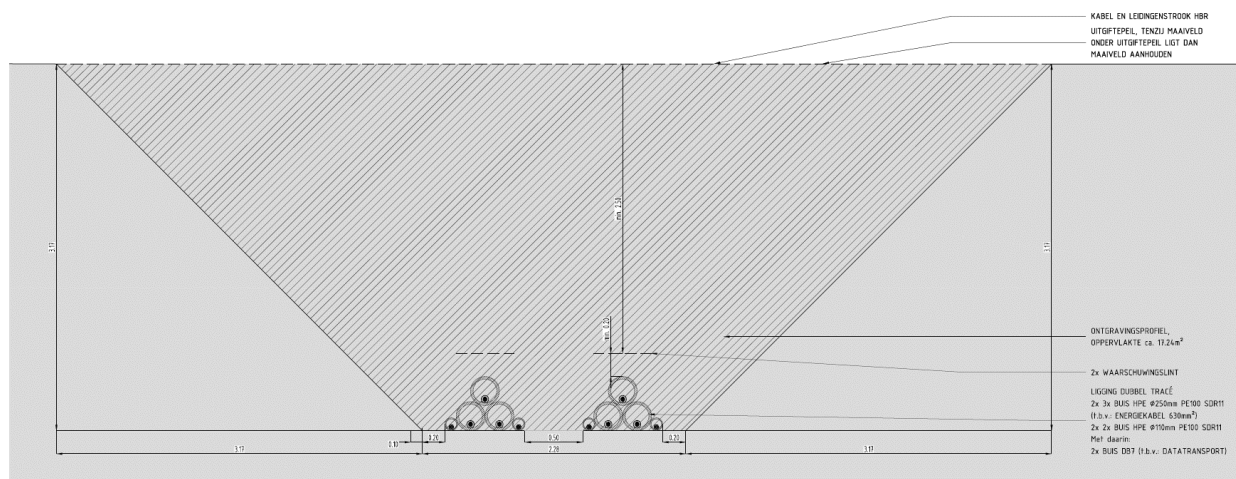
Figuur 6.1 Situatie ter plaatse van kruising k&l strook HbR



Figuur 6.2 Situatie ter plaatse van inkoopstation

6.1 Kruising k&l strook HbR

De kruising met de k&l strook van HbR wordt in open ontgraving uitgevoerd met PE mantelbuizen zie locatie D, Figuur 6.1). Bij de inpassing van de bekabeling is rekening gehouden met de toekomstig aan te brengen kabel en leidingen infrastructuur. De PE mantelbuizen ten behoeve van de bekabeling van de HZ windturbines worden daarom extra diep in een zinker aangelegd (circa 2,5 m beneden maaiveld), zie Figuur 6.3. De kruising wordt hier dan ook als zinker uitgevoerd. In hoofdstuk 3.12 zijn de eigenschappen van de PE mantelbuizen gegeven. De sterkte-technische beoordeling van deze mantelbuizen is gegeven in hoofdstuk 7.

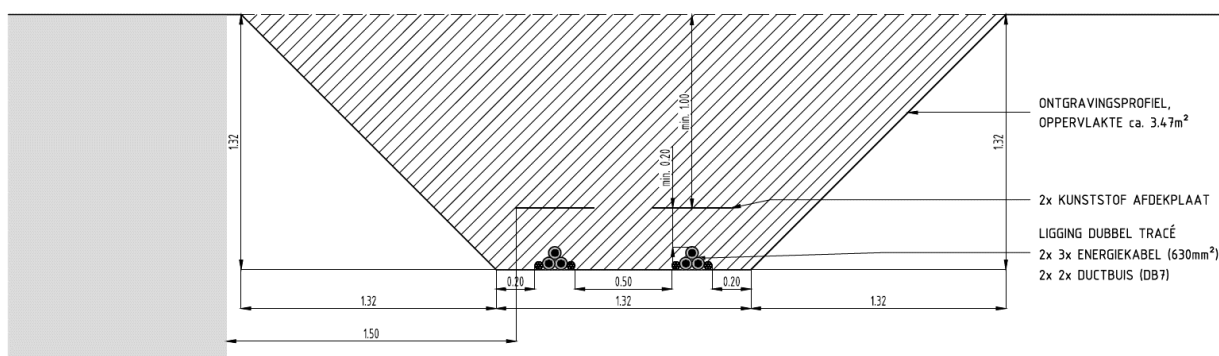


Figuur 6.3 Principe ontgravingsprofiel dubbele bekabeling in open ontgraving ter plaatse van kruising k&l strook HbR

6.2 Bekabeling tussen k&l strook HbR en toekomstige watergang

Vanaf de kruising met de k&l strook van HbR tot de kruising van de Maasvlakteweg (zie locatie E, Figuur 6.1 en Figuur 6.2) ligt de bekabeling tussen de westelijke k&l strook van HbR en de toekomstige watergang parallel aan de Maasvlakteweg.

De bekabeling wordt zodanig gesitueerd dat het ontgravingsprofiel aan de westzijde buiten de k&l strook van HbR komt (afstand afdekplaat tot rand k&l strook HbR is 1,5 m), zie Figuur 6.4. In dit tracé komen de kabels niet in PE mantelbuizen te liggen. De bekabeling wordt in open ontgraving aangebracht.



Figuur 6.4 Principe ontgravingsprofiel dubbele bekabeling in open ontgraving vanaf kruising k&l strook HbR naar kruising Maasvlakteweg

6.3 Kruising Maasvlakteweg

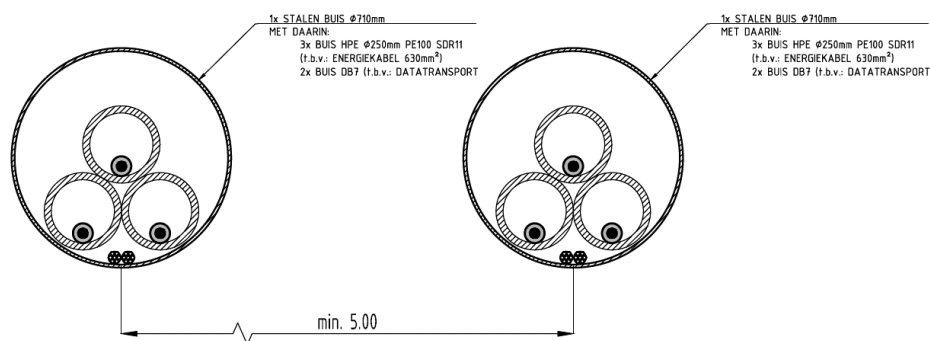
Ten zuiden van het inkoopstation worden de toekomstige watergang en Maasvlakteweg en de huidige Maasvlakteweg gekruist (zie locatie F, Figuur 6.2). De kruising met de huidige Maasvlakteweg wordt door middel van twee stuks doorpersingen (OFT / GFT) uitgevoerd. Vooralsnog wordt uitgegaan van door te persen stalen mantelbuizen (uitwendige diameter circa 710 mm). In een later stadium kan mogelijk besloten worden om uit te gaan van een ander type leidingmateriaal. De perskuip(en) komen ten zuiden van het inkoopstation. Er is uitgegaan van 2,5 m gronddekking tussen bovenkant verharding en bovenkant mantelbuis (zie voor onderbouwing paragraaf 7.2. De ontvangstkuip komt ten westen van de huidige Maasvlakteweg. In Figuur 6.6 is het principe schematisch aangegeven. In de vervolgfase zal dit principe nader worden uitgewerkt.

In de stalen mantelbuizen worden PE mantelbuizen voorzien. Deze PE mantelbuizen worden doorgezet tot voorbij de toekomstige Maasvlakteweg en sloot. Vanaf de ontvangstuip tot voorbij de sloot worden de PE mantelbuizen in open ontgraving aangebracht.

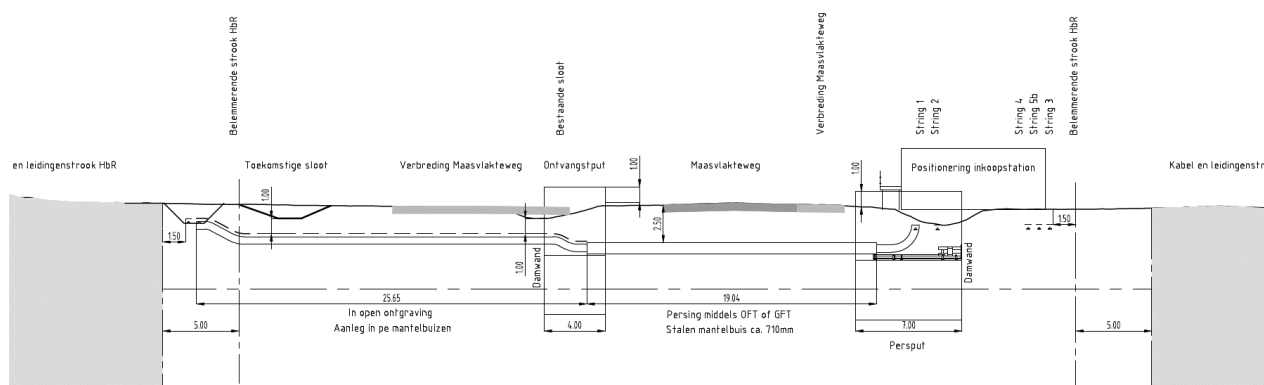
In hoofdstuk 3.12 en 3.13 zijn de eigenschappen van de PE en stalen mantelbuizen gegeven. De sterkte-technische beoordeling van de stalen en PE mantelbuizen is gegeven in hoofdstuk 7.

De dagmaat tussen de door te persen stalen mantelbuizen bedraagt tenminste 4,8 m. Deze afstand is gebaseerd op de NEN3651 waarvoor een hart op hart afstand geldt van ten minste 2,0 m vermeerderd met vijfmaal de grootste leidingmiddellijn (circa 710 mm) indien de leidingen gelijktijdig door doorpersing worden aangebracht.

In verband met toekomstige aanpassingen van de bekabeling in het inkoopstation wordt ten westen van de sloot ruimte gereserveerd voor eventuele extra over lengte van de bekabeling.



Figuur 6.5 Doorsnede geperste bekabeling onder Maasvlakteweg



Figuur 6.6 Schematische weergave kruising Maasvlakteweg

6.4 Aansluiting inkoopstation

Vanaf de perskuipen loopt de bekabeling parallel aan de Maasvlakteweg naar het inkoopstation. De bekabeling sluit op de zuidzijde van het inkoopstation (kopse zijde) aan. De bekabeling van de HZ en ZZ windturbines komen hier parallel ten opzichte van elkaar te liggen (zie Figuur 6.2).

7 Leidingsterkteberekening mantelbuizen

7.1 Inleiding

Ter plaatse van de aansluitingen op de windturbines, de kruisingen met het fietspad, de Prinses Maximaweg, de Maasvlakteweg en de kruisingen met de k&l strook van HbR komen de kabels in PE mantelbuizen. Ter plaatse van de Maasvlakteweg komen deze PE mantelbuizen in geboorde stalen mantelbuizen. De stalen mantelbuizen worden door middel van een persing (OFT / GFT) aangebracht. De wijze van doorpersen is afhankelijk van de aanwezige grondwaterstand en ter keuze van de aannemer welke in een later stadium definitief zullen worden vastgesteld. De berekening van de perskrachten en eventuele zettingtroggen worden in een vervolgfase uitgevoerd.

In navolgende paragrafen zijn specifieke uitgangspunten gegeven voor het ontwerp van de mantelbuizen. Vervolgens zijn zowel de PE als stalen mantelbuizen sterkte technisch beschouwd aan de hand van vereenvoudigde sterkteberekeningen met het programma Sigma. Dit programma geeft de mogelijkheid om eventuele belastingen door grond, verkeer en vervormingen in te voeren. Het ontwerp van de PE mantelbuizen die aansluiten op de windturbines wordt in een vervolgfase uitgevoerd.

7.2 Uitgangspunten

PE mantelbuizen

- De eigenschappen van de beschouwde mantelbuizen zijn gegeven in Tabel 3.3 en Tabel 3.4.
- De koppeling van de onderlinge mantelbuizen zal plaatsvinden door middel van spiegellas verbindingen.
- Voor de berekeningen van de PE mantelbuizen is uitgegaan van getrokken bochten met een aangenomen straal van 3 maal de uitwendige diameter.
- De volgende gronddekkingen zijn beschouwd:
 - Gronddekking van 1,2 m. Betreft minimale gronddekking naast verhardingen.
 - Gronddekking van 2,7 m. Ter plaatse van kruising met k&l strook HbR.
- Voor de situatie waar de PE mantelbuizen in stalen mantelbuizen komen is geen sterkteberekening uitgevoerd.
- Grondgegevens zand:
 - Uitvoeringszakkingverschil = 15 mm (PE 250 mm) en 10 mm (PE 110 mm), zettingverschil = 0 mm, klinkpercentage = 0,02 % (verdicht zand).
 - Minimale verticale beddingsconstante = 0,019 N/mm³ (D_e 250 mm) en 0,04 N/mm³ (D_e 110 mm).
 - Gemiddelde verticale beddingsconstante = 0,022 / 0,049 N/mm³ (gronddekking 1,2 m / 2,7 m) (D_e 250 mm) en 0,045 / 0,11 N/mm³ (gronddekking 1,2 m / 2,7 m) (D_e 110 mm).

Stalen mantelbuizen

- Vooralsnog is uitgegaan van stalen buizen met een “exacte” uitwendige diameter van 711,2 mm, L360 buizen met een wanddikte van 10 mm.
- De koppeling van de onderlinge mantelbuizen zal plaatsvinden door middel van gelaste verbindingen.
- Voor de berekeningen van de stalen mantelbuizen is uitgegaan van rechte buisdelen.
- In de NEN3650-1 zijn eisen opgenomen ten aanzien van de diepteligging bij kruising van leidingen met wegen die zijn aangebracht met een doorpersing. Ten aanzien van de diepteligging wordt er geen

onderscheid gemaakt tussen de OFT of GFT techniek. Overeenkomstig de NEN3650-1 is de vereiste diepteligging gebaseerd op de middellijneis ($a \geq 1,0 + 0,71 = 1,7$ m) en de perslengte-eis ($a \geq 1,0 + 0,01 \times 40$ m = 1,4 m). Hierbij komt een aangenomen dikte van de wegfundering (asfalt en puingranulaat) van 0,5 m. Veiligheidshalve is uitgegaan van 2,5 m gronddekking tussen bovenkant verharding en bovenkant mantelbuis.

Algemeen

- De lengte van een eventuele mantelbuis bestrijkt ten minste een spreidingszone onder 45 graden vanuit de zijkant van de wegconstructie. In verband met toekomstige reconstructies van de verhardingen zijn de mantelbuizen langer doorgezet.
- Er is uitgegaan van een grondwaterstand welke beneden het leidingniveau staat. Een lage grondwaterstand is namelijk maatgevend voor de sterkteberekening (hogere grondbelasting).
- Voor de sterkteberekeningen van de mantelbuizen is uitgegaan van grafiek I uit de NEN3650-1 (fatigue load model 3).
- Er is geen rekening gehouden met een ontlastende werking vanuit eventueel aangebrachte draglineschotten, rijplaten of overige verhardingen.
- Voor de mantelbuizen mag conform de NEN3651 worden uitgegaan van een vereenvoudigde sterkteberekening, omdat:
 - De ontwerpdruk kleiner is dan 1 MPa (10 bar);
 - De te verwachten zettingverschillen kleiner zijn dan 100 mm;
 - Er wordt voldaan aan het criterium $H^3 \times D_i^5 < 40$ m⁸;
- De leidingsterkteberekening voor de mantelbuizen is uitgevoerd met het programma Sigma 2018 (versie 1.5).
- Marstonfactor = 0,3.
- Horizontale steundruk is niet in rekening gebracht.
- Ondersteuningshoek van 70 graden.
- Grondgegevens zand:
 - Volumiek gewicht = 18 / 20 kN/m³.
 - Hoek van inwendige wrijving = 30 graden.
 - Cohesie = 0 kPa.
 - Ongedraineerde schuifsterkte = 0 kN/m².
 - E-modulus sleufmateriaal = 5 MN/m².
 - E-modulus ondergrond = 15 MN/m².

7.3 Berekeningen en resultaten PE mantelbuizen

In Tabel 7.1 en Tabel 7.2 zijn de berekeningsresultaten gegeven. De berekeningen zijn gegeven in bijlage 2.

Tabel 7.1 Berekeningsresultaten mantelbuizen in open ontgraving PE 250 mm

Situatie ⁽¹⁾		1	2
Uitwendige diameter mantelbuis	mm	250	250
Gronddekking	m	1,2	2,7
Verkeer	-	Ja	Ja
Optredende spanning 1 ^{ste} en 2 ^{de} jaar			
Omtreksrichting	N/mm ²	3,6	5,8
Langsrichting	N/mm ²	0,2	0,3
Optredende spanning na 2 jaar			
Omtreksrichting	N/mm ²	3,1	3,8
Langsrichting	N/mm ²	0,2	0,3
Deflectie	mm	3,9	4,8
Toelaatbare spanning	N/mm ²	8,0	8,0
Toelaatbare deflectie	Mm	18,2	18,2

- (1) Voor de vervolgfase dient beoordeeld te worden in hoeverre de toelaatbare spanningen niet worden overschreden wanneer rekening wordt gehouden met aanvullende reductiefactoren door warmteafdracht van de elektrakabel naar de mantelbuis

Tabel 7.2 Berekeningsresultaten mantelbuizen in open ontgraving PE 110 mm

Situatie		1	2
Uitwendige diameter mantelbuis	mm	110	110
Gronddekking	m	1,2	2,7
Verkeer	-	Ja	Ja
Optredende spanning 1 ^{ste} en 2 ^{de} jaar			
Omtreksrichting	N/mm ²	4,6	6,9
Langsrichting	N/mm ²	0,3	0,4
Optredende spanning na 2 jaar			
Omtreksrichting	N/mm ²	3,3	4,2
Langsrichting	N/mm ²	0,3	0,4

Deflectie	mm	1,8	2,4
Toelaatbare spanning	N/mm ²	8,0	8,0
Toelaatbare deflectie	Mm	8,0	8,0

De spanningen en deflectie worden niet overschreden bij toepassing van PE 100 mantelbuizen en een uitwendige diameter van 250 mm en 110 mm (SDR11).

7.4 Berekeningen en resultaten stalen mantelbuizen

In Tabel 7.3 zijn de berekeningsresultaten gegeven van de stalen mantelbuizen. De berekeningen zijn gegeven in bijlage 3.

Tabel 7.3 Berekeningsresultaten stalen mantelbuizen geboord

Situatie		1
Uitwendige diameter mantelbuis	mm	711,2
Gronddekking	m	2,5
Verkeer	-	Ja
Optredende spanning		
Omtreksrichting	N/mm ²	143,7
Langsrichting	N/mm ²	0,0
Deflectie	mm	5,9
Toelaatbare spanning	N/mm ²	288,0
Toelaatbare deflectie	mm	105,2

De spanningen en deflectie worden niet overschreden bij toepassing van de stalen mantelbuizen en een uitwendige diameter van 711,2 mm en een wanddikte van 10 mm (staaltype L360). In de vervolgfase zal er nog een perskrachtprognose en een zettingtrog berekening uitgevoerd worden. Op basis van de zettingtrog berekening kan inzage worden verkregen in eventuele zakkingen van het maaiveld. In deze vervolgfase is de uiteindelijk aan te houden boortechniek (OFT / GFT) ook inzichtelijk.

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Conclusies

In onderliggend rapport is het tracé van de parkbekabeling inzichtelijk gemaakt zie tevens bijlage 1. Daarbij is rekening gehouden met de eisen vanuit de NEN3650-serie, Handboek Leidingen en RWS. Het tracé van de bekabeling is afgestemd met zowel RWS als HbR. Op hoofdlijnen ziet het kabeltracé er als volgt uit:

- Voor de aansluiting op de windturbines worden de kabels in PE mantelbuizen gelegd die het fietspad kruisen en vervolgens in de gewapende grondconstructie aansluiten op de voet van de windturbine.
- Tussen de windturbines HZ-01 en HZ-10 ligt de bekabeling tussen het fietspad en de Prinses Maximaweg (dekking circa 1,2 m).
- Ter hoogte van de kruising van de huidige en toekomstige Prinses Maximaweg en het toekomstige viaduct ligt de bekabeling in de westelijke k&l strook van HbR. Ter plaatse van de toekomstige en huidige verhardingen ligt de bekabeling in PE mantelbuizen.
- De kruising van westelijke k&l strook van HbR zal verdiept worden uitgevoerd inclusief PE mantelbuizen.
- Vanaf de kruising met de westelijke k&l strook van HbR tot de kruising met de Maasvlakteweg ligt de bekabeling tussen de westelijke k&l strook van HbR en de toekomstige sloot.
- De kruising van de huidige Maasvlakteweg wordt ten zuiden van het inkoopstation uitgevoerd met een doorpersing (OFT / GFT) van een stalen mantelbuis (circa 710 mm, wanddikte 10 mm, L360). De bekabeling ligt ter plaatse van de huidige en toekomstige Maasvlakteweg in PE mantelbuizen.
- Vanaf de kruising met de Maasvlakteweg loopt de bekabeling parallel aan de Maasvlakteweg en sluit op de kopse zijde van het inkoopstation (zuidzijde) aan op het gebouw.

Op basis van de uitgevoerde berekeningen voor de PE mantelbuizen met een uitwendige diameter van 250 mm en 110 mm is geconcludeerd, dat SDR 11 buizen kunnen worden toegepast. De berekende leidingspanningen en deflecties zijn toelaatbaar.

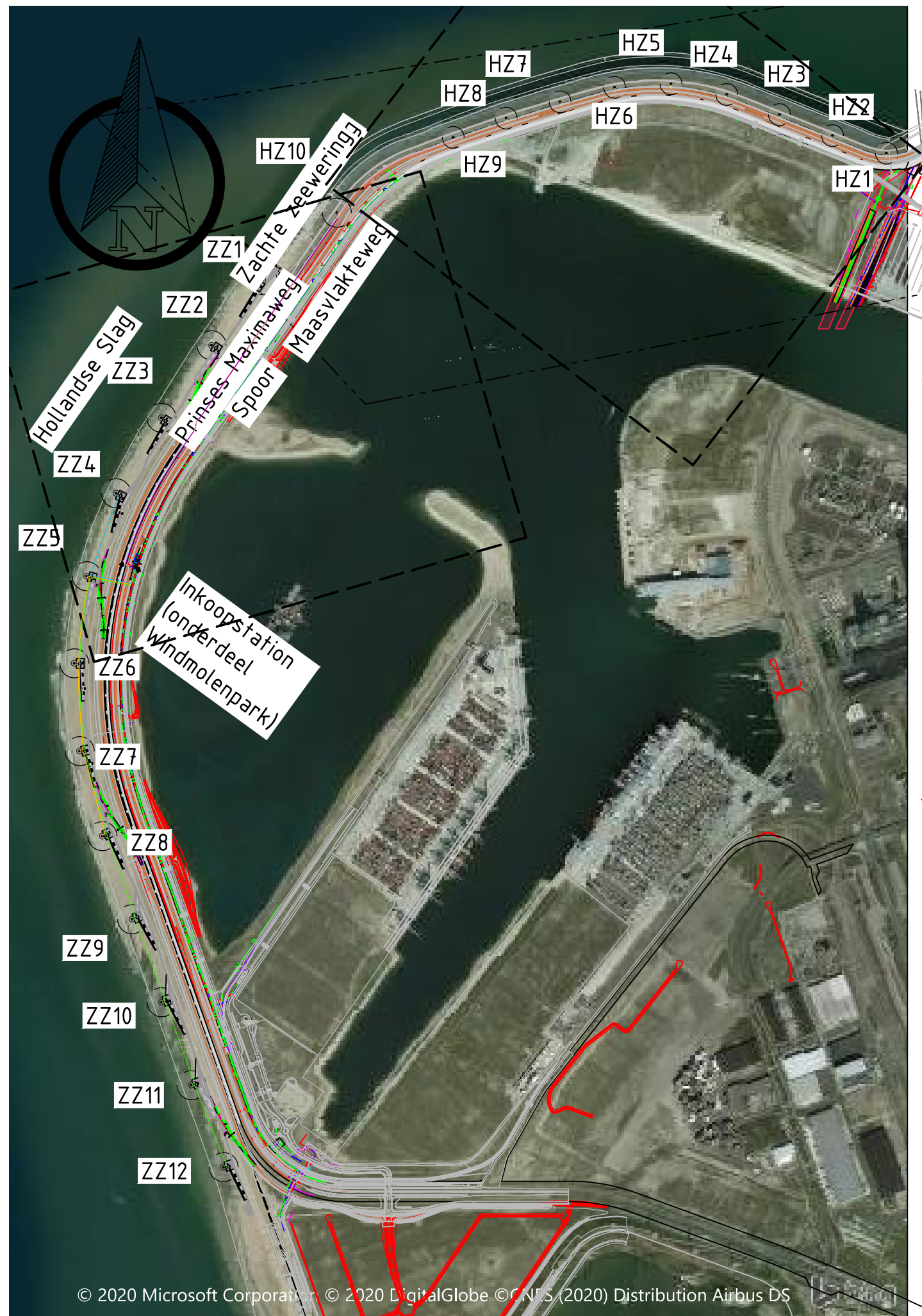
8.2 Aanbevelingen

- Vooralsnog is dit ontwerp gebaseerd op de beschikbare sonderingen. Alvorens het ontwerp definitief kan worden gemaakt dient het aanvullende grondonderzoek te worden vergeleken met de thans beschikbare grondonderzoeksresultaten. Indien noodzakelijk dient het ontwerp te worden bijgesteld.
- In de vervolgfase dient het maaiveldniveau ter plaatse van het kabeltracé te worden ingemeten en dient het ontwerp hierop te worden afgestemd. Hierbij dient tevens rekening te worden gehouden met de uitgiftepeilen van HbR.
- Voorafgaand aan de uitvoering dient de booraannemer een boorplan op te stellen. Dit boorplan maakt derhalve geen onderdeel uit van de vergunningaanvraag. Vooralsnog is niet inzichtelijk welk materieel de booraannemer tijdens de uitvoering wil inzetten.
- In het boorplan van de aannemer dient rekening te worden gehouden met de dan geldende voorwaarden uit het Besluit Bodemkwaliteit waarin wordt gesteld dat bouwstoffen niet mogen worden geleverd en toegepast zonder een geldige milieuhygiënische verklaring.
- Voor de vervolgfase moet worden onderzocht wat de optimalisatie mogelijkheden zijn ten aanzien van type kabels (aluminium). Momenteel is uitgegaan van aluminium kabels.

- Voor de vervolgfase moet worden onderzocht tot welke temperatuur de mantelbuizen werkelijk kunnen opwarmen en in hoeverre reductiefactoren op de sterkte noodzakelijk zijn (zie hoofdstuk 7). Daarnaast zal worden beoordeeld in hoeverre de diameters van de mantelbuizen geoptimaliseerd kunnen worden.
- In de vervolgfase dient het principe ontwerp en de keuze van de toe te passen materialen voor de aansluitingen op de windturbines nader worden uitgewerkt. Daarbij dient het detailontwerp van de aansluitingen, fundatie en mantelbuizen te worden uitgewerkt.
- In de vervolgfase zal er nog een perskrachtprognose en een zettingtrog berekening uitgevoerd worden voor de kruising van de Maasvlakteweg. In de vervolgfase is de uiteindelijk aan te houden boortechniek (OFT / GFT) ook inzichtelijk.
- In de vervolgfase moet worden afgestemd met de vergunningverlener of de mantelbuizen sterktebeproevingstesten moeten ondergaan alvorens deze worden aangebracht.

Bijlage 1

Tekeningen

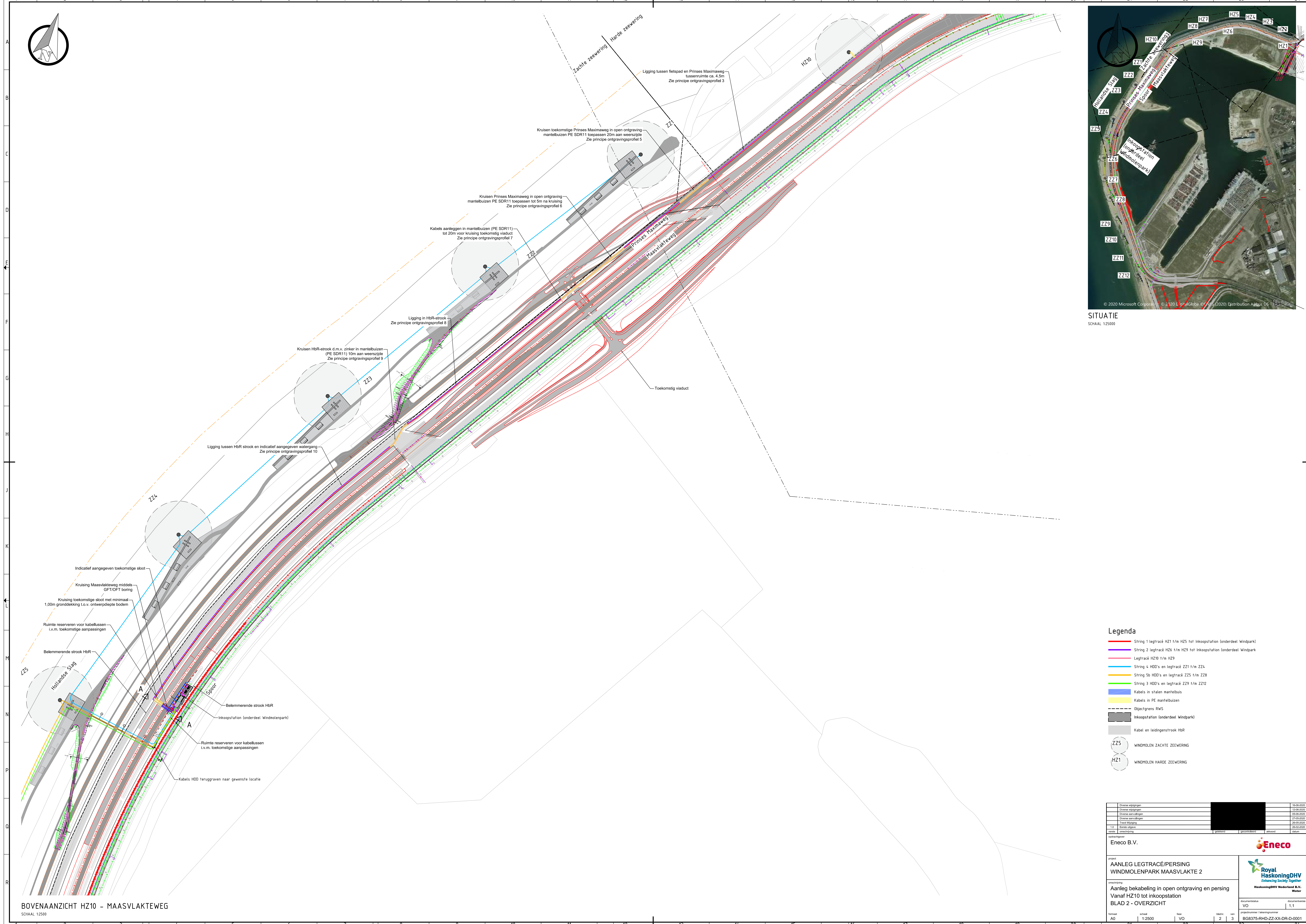


25000

- | | | | | | |
|--------|-------------------|---------|--------------|-----------|------------|
| 1 | Dremaal opslippen | | | | 16-06-2020 |
| 1 | Dremaal opslippen | | | | 12-08-2020 |
| 1 | Dremaal opslippen | | | | 25-09-2020 |
| versie | omschrijving | gepland | gerealiseerd | afgevoerd | datum |
- oceanprojectover
- Eneco B.V.
- 
- | | | | |
|--|----------------------------|---|--|
| project | | 
Royal
HaskoningDHV
<i>Enhancing Society Together</i>

HaskoningDHV Nederland B.V.
Water | |
| AANLEG LEGTRACÉ/PERSING
WINDMOLENPARK MAASVLAKTE 2 | | | |
| omschrijving | | | |
| Aanleg bekabeling in open ontgraving
Vanaf HZ1 tot HZ10
BLAD 1 - OVERZICHT | | | |
| documentnaam | documentversie | | |
| VO | 1,1 | | |
| projectnummer / tekeningnummer | BGB7S-RHD-ZZ-XK-DK-DK-0001 | | |
- | formaat | schaal | twee | tekstnr. | ver |
|---------|--------|------|----------|-----|
| A0 | 1:2500 | VO | 1 | 3 |

BOVENAANZICHT HZ10 - MAASVLAKTEWEG
SCHAAL 1:2500



SCHAAL 1:25000

-
- String 1 legrack H21 t/m H25 tot inkoopstation (onderdeel Windpark)
 String 2 legrack H26 t/m H29 tot inkoopstation (onderdeel Windpark)
 Legrack H210 t/m H29
 String 4 HDD's en legrack Z21 t/m Z24
 String 5b HDD's en legrack Z25 t/m Z28
 String 3 HDD's en legrack Z29 t/m Z32
 Kabels in stalen mantelbuis
 Kabels in PE mantelbuizen
 Objectgrens RW's
 Inkoopstation (onderdeel Windpark)
 Kabel en leidingenstroom HDR
 Z25
 WINDMOLEN ZACHTE ZEEWIERING
 H21
 WINDMOLEN HARDE ZEEWIERING

									16-06-2020
									15-06-2020
									15-06-2020
									27-06-2020
									26-06-2020
1.0	Extra vragen								26-06-2020
versie	omschrijving			gemaakt		gemaakt door		afgekeurd	datum

Eneco B.V.

opdrachtgever

project

**AANLEG LEGTRACÉ/PERSING
WINDMOLENPARK MAASVLAKTE 2**

ontwerper

**Aanleg bekabeling in open ontgraving en persing
Vanaf HZ10 tot inkoopstation
BLAD 2 - OVERZICHT**

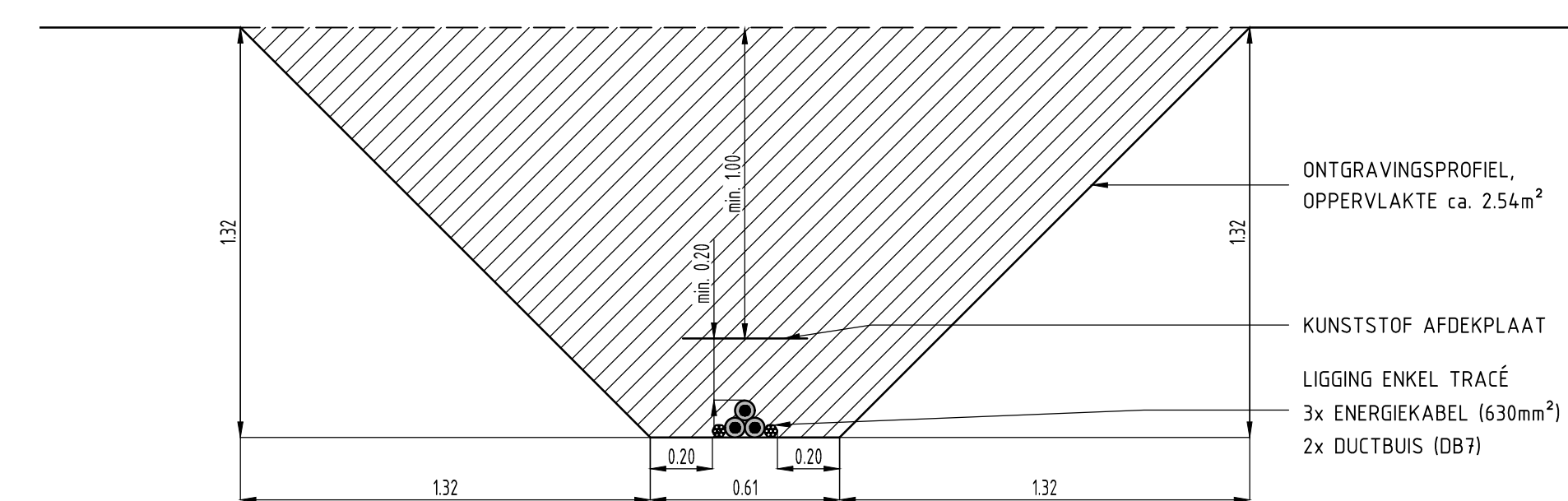
formaat	afmet	kleur	bladen	van
A4	1:2500	VO	22	3

documentnaam
VO

documentnummer
1.1

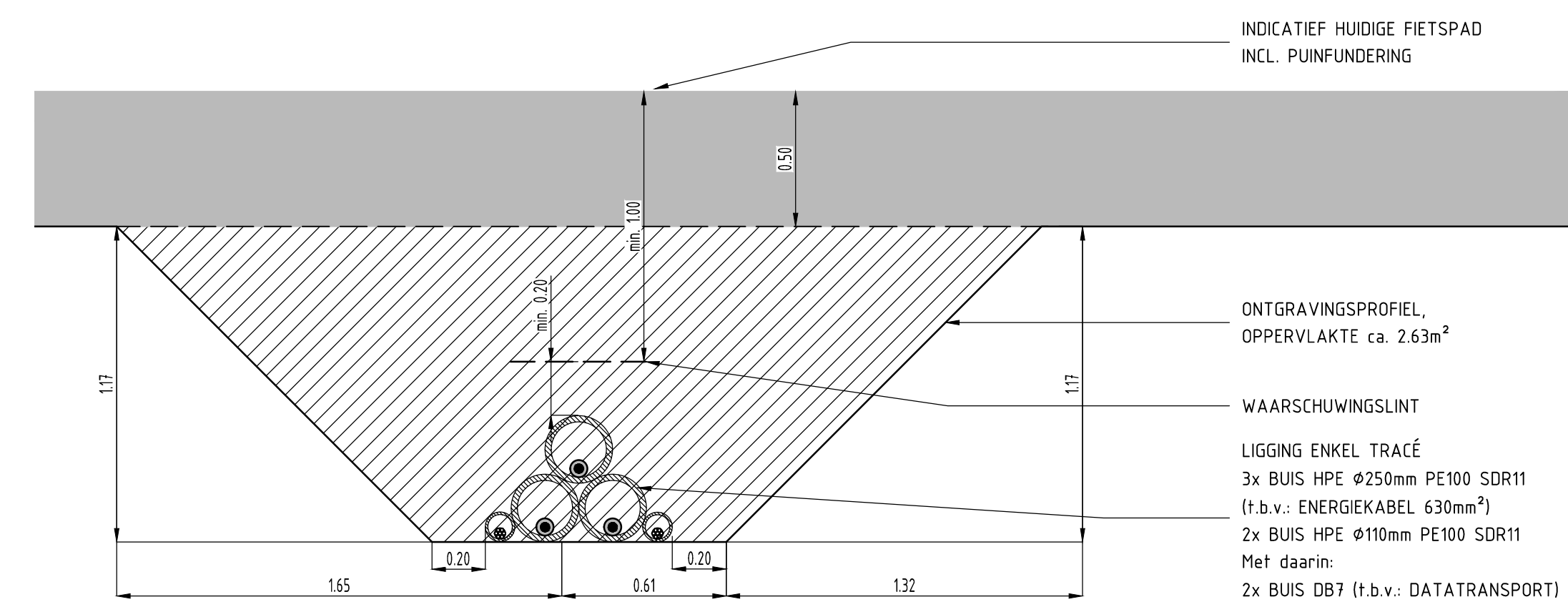
projectnummer / tekeningnummer
B06375-RHD-ZX-XX-DP-0001

Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together
HaskoningDHV Nederland B.V.
Water



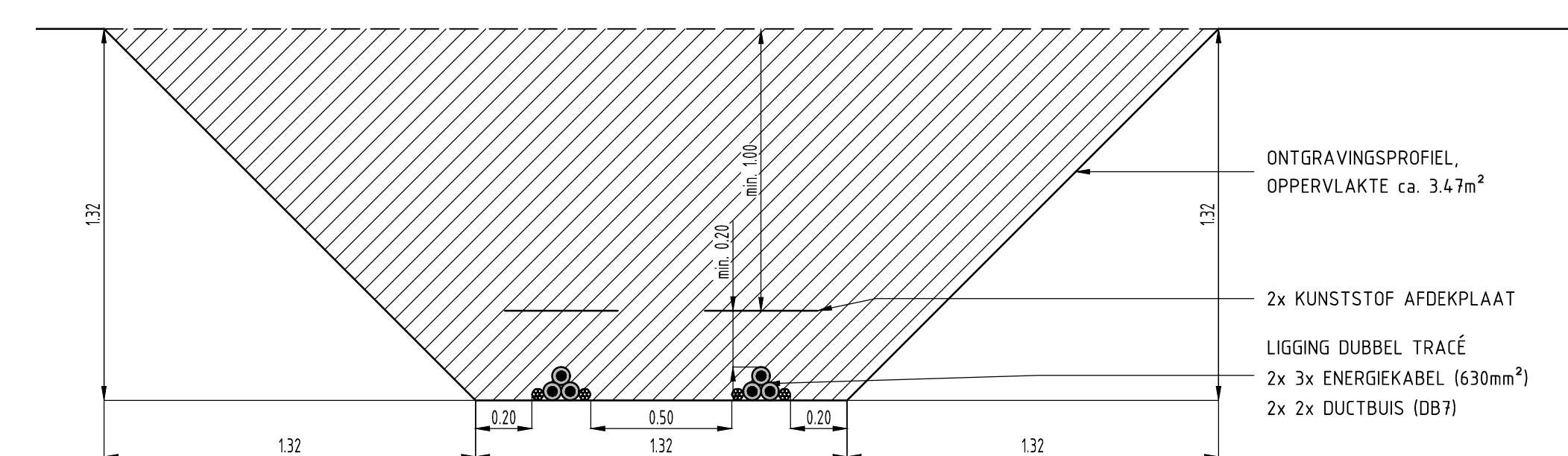
PRINCIPE ONTGRAVINGSPROFIEL 1 ENKEL LEGTRACÉ

SCHAAL 1:20



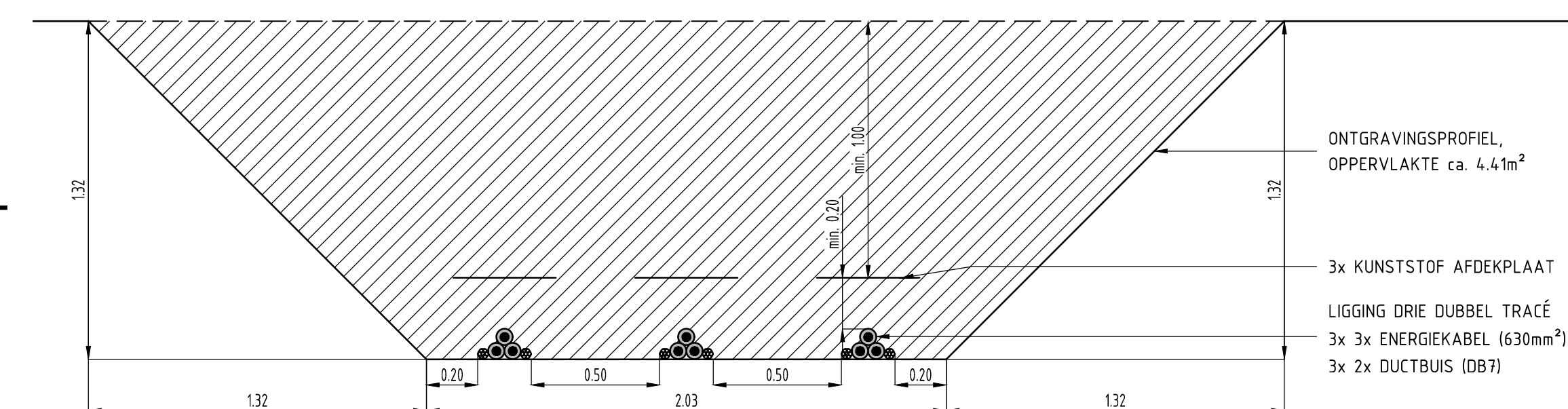
PRINCIPE ONTGRAVINGSPROFIEL 2 ENKEL LEGTRACÉ T.H.V. HUIDIG FIETSPAD

SCHAAL 1:20



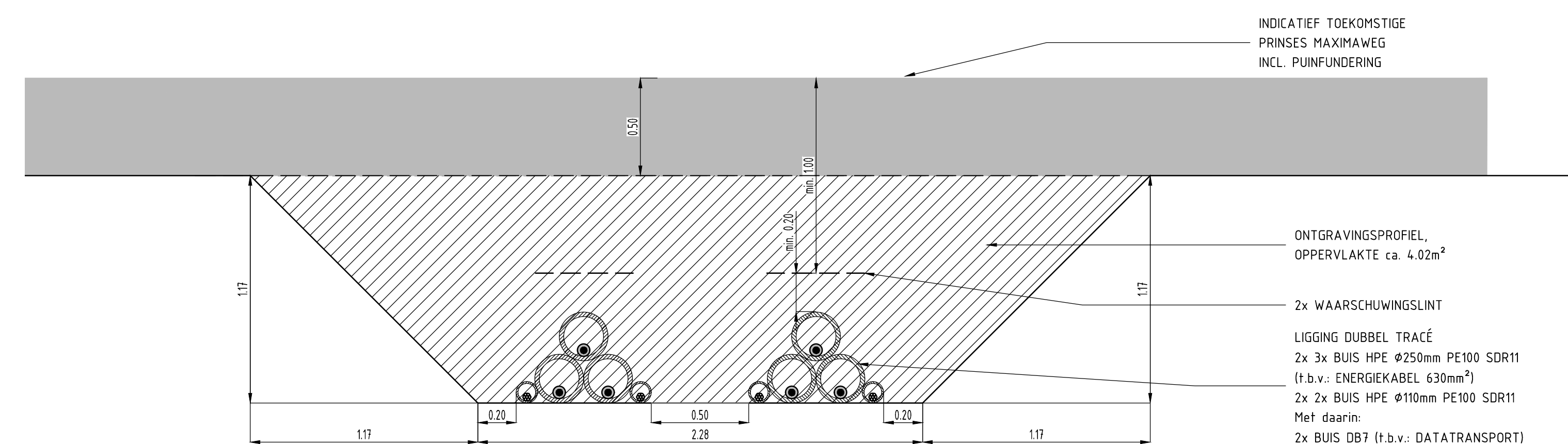
PRINCIPE ONTGRAVINGSPROFIEL 3 DUBBEL LEGTRACÉ

SCHAAL 1:20



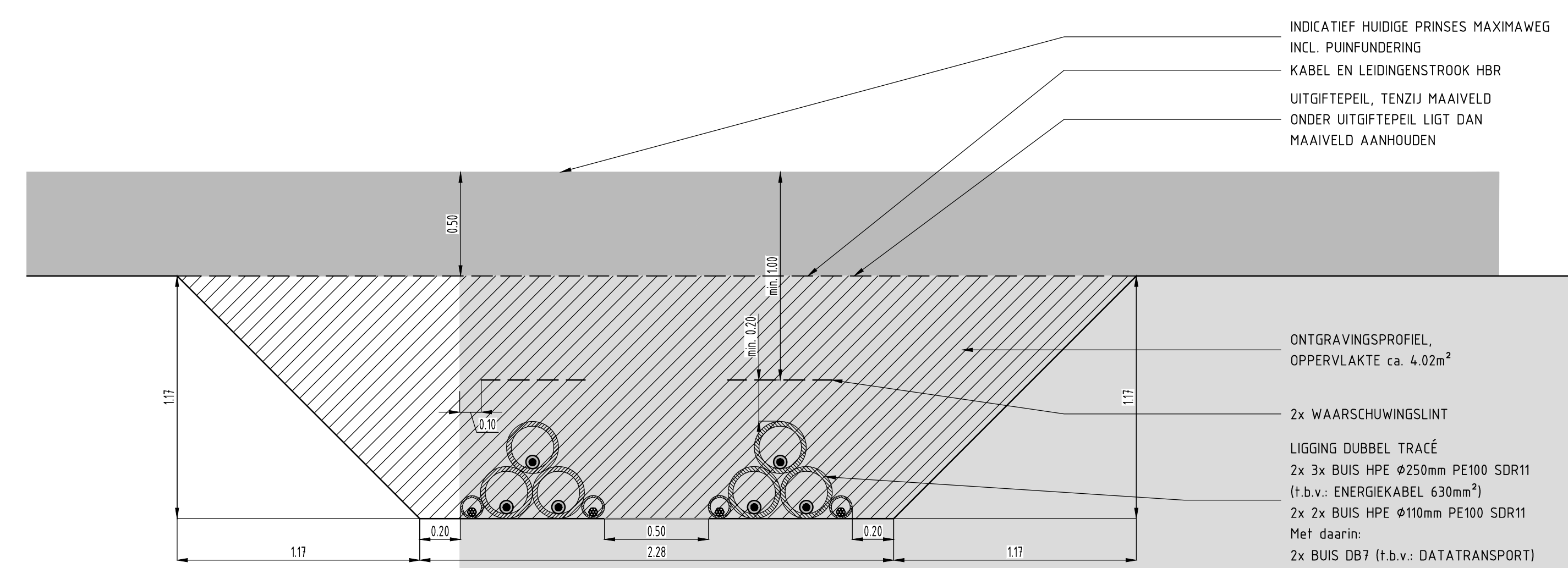
PRINCIPE ONTGRAVINGSPROFIEL 4 DRIE DUBBEL LEGTRACÉ

SCHAAL 1:20



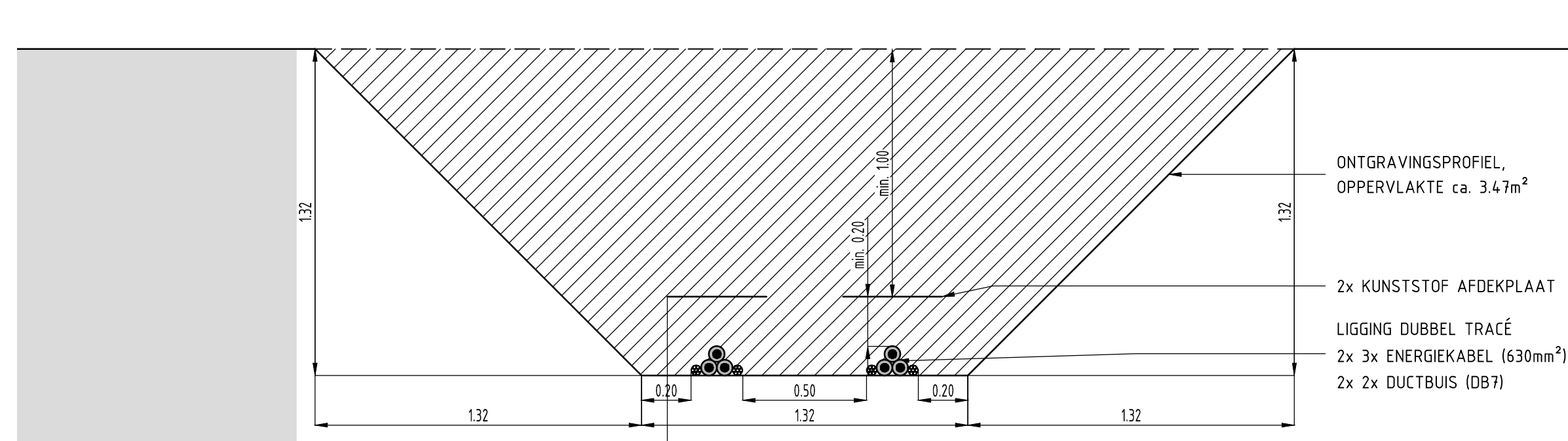
PRINCIPE ONTGRAVINGSPROFIEL 5 DUBBEL LEGTRACÉ T.H.V. TOEKOMSTIGE PRINSES MAXIMAWEG

SCHAAL 1:20



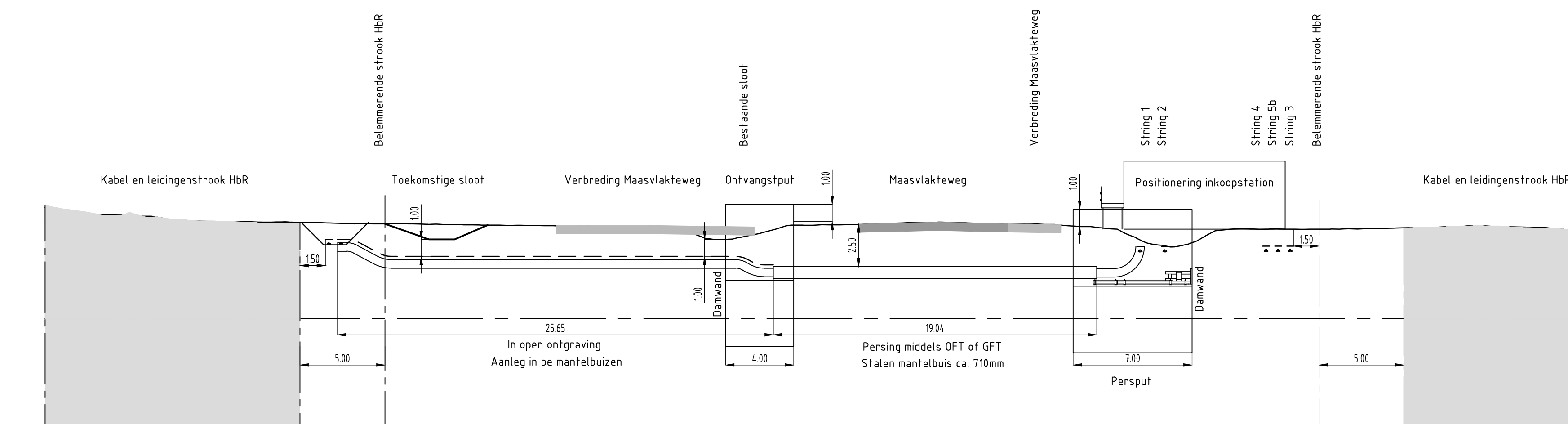
PRINCIPE ONTGRAVINGSPROFIEL 6 DUBBEL LEGTRACÉ KRUISING PRINSES MAXIMAWEG IN HBR STROOK

SCHAAL 1:20



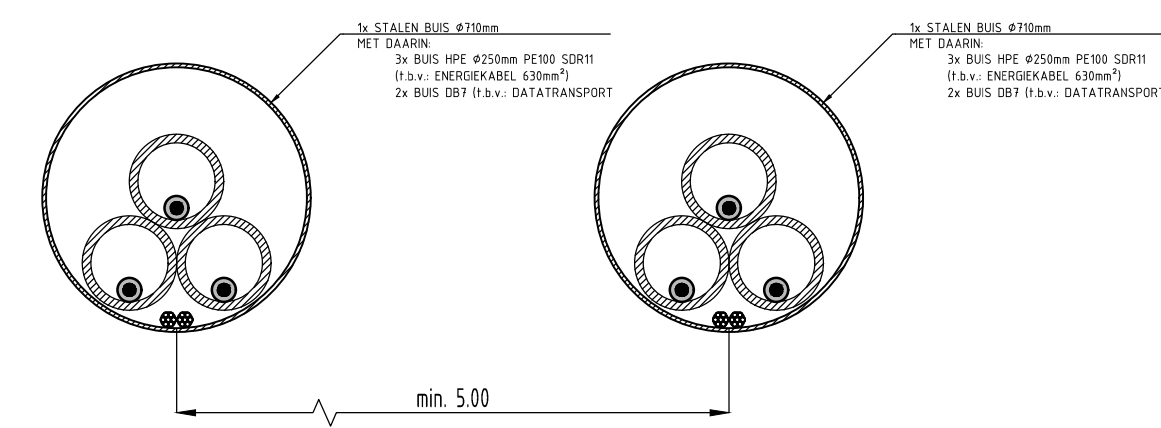
PRINCIPE ONTGRAVINGSPROFIEL 10 DUBBEL LEGTRACÉ PARALLEL AAN HBR STROOK

SCHAAL 120



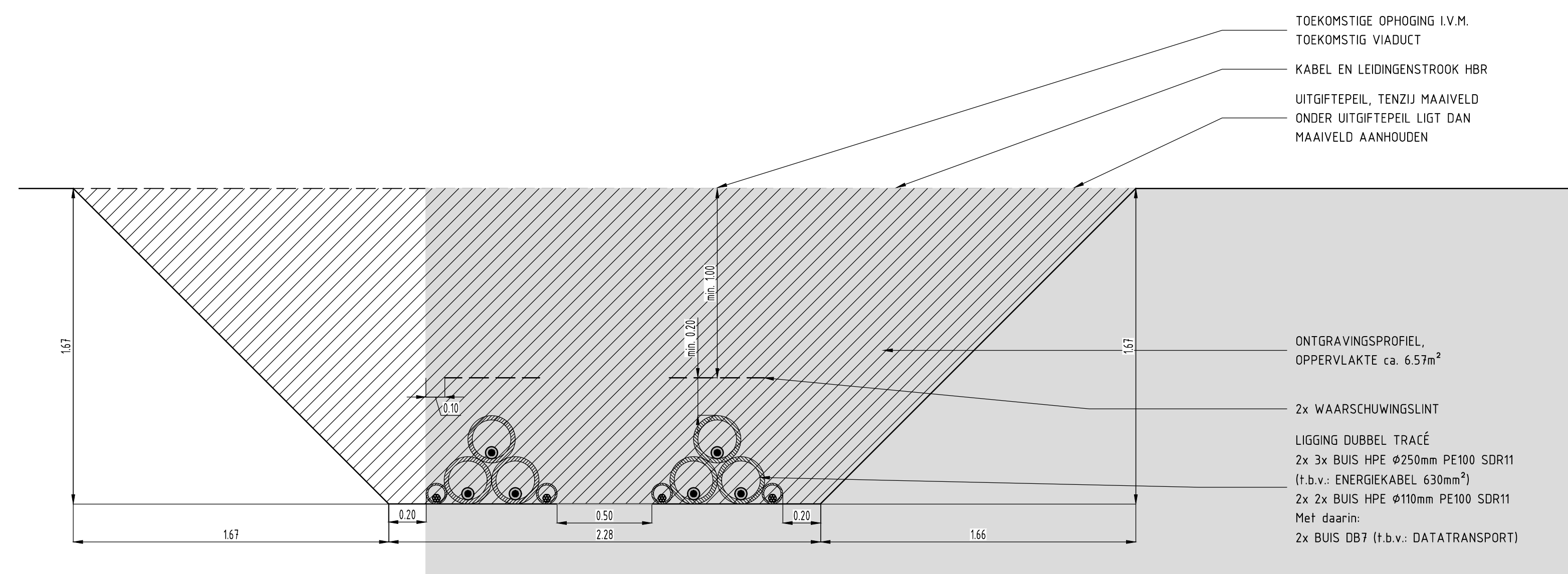
DOORSNEDE A-A PRINCIPE PROFIEL KRUISSING MAASVLAKTEWEG MIDDELS GFT/OFT EN OPEN ONTGRAVING

SCHAL 1:200



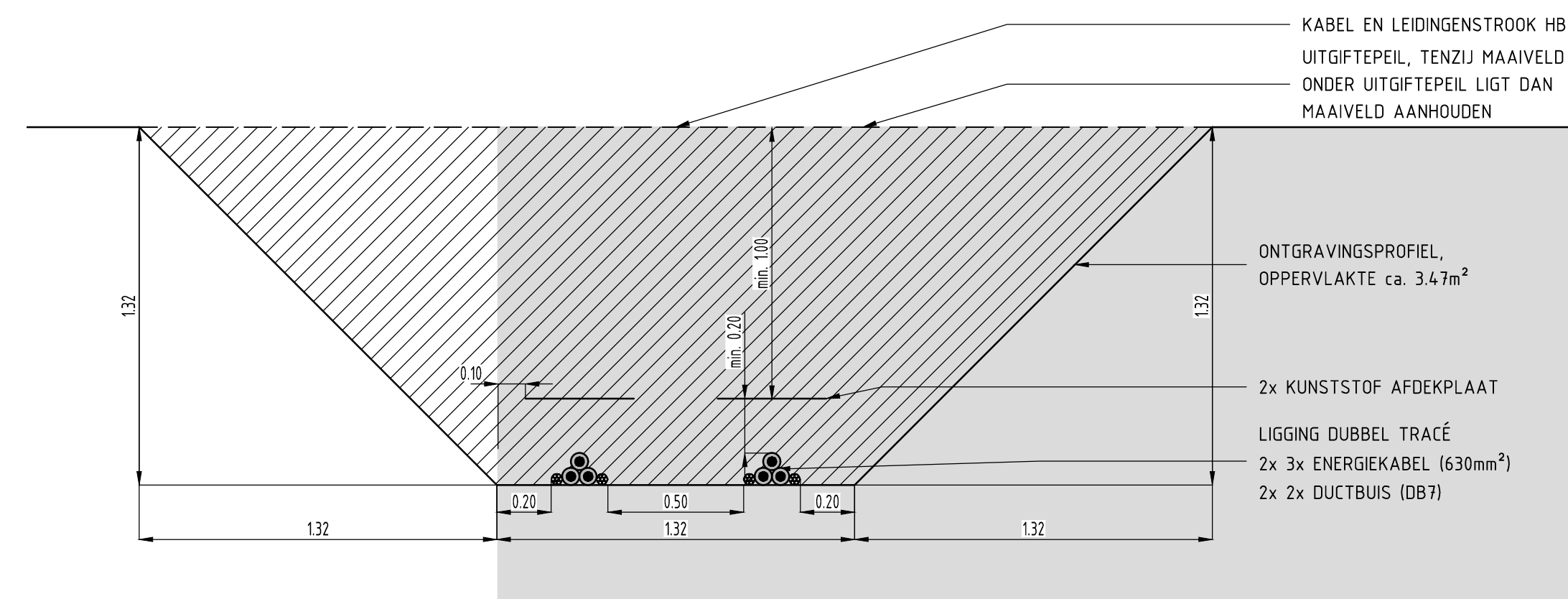
PRINCIPE PROFIEL BUIS/BOORGANG

SCHAAL 1:20



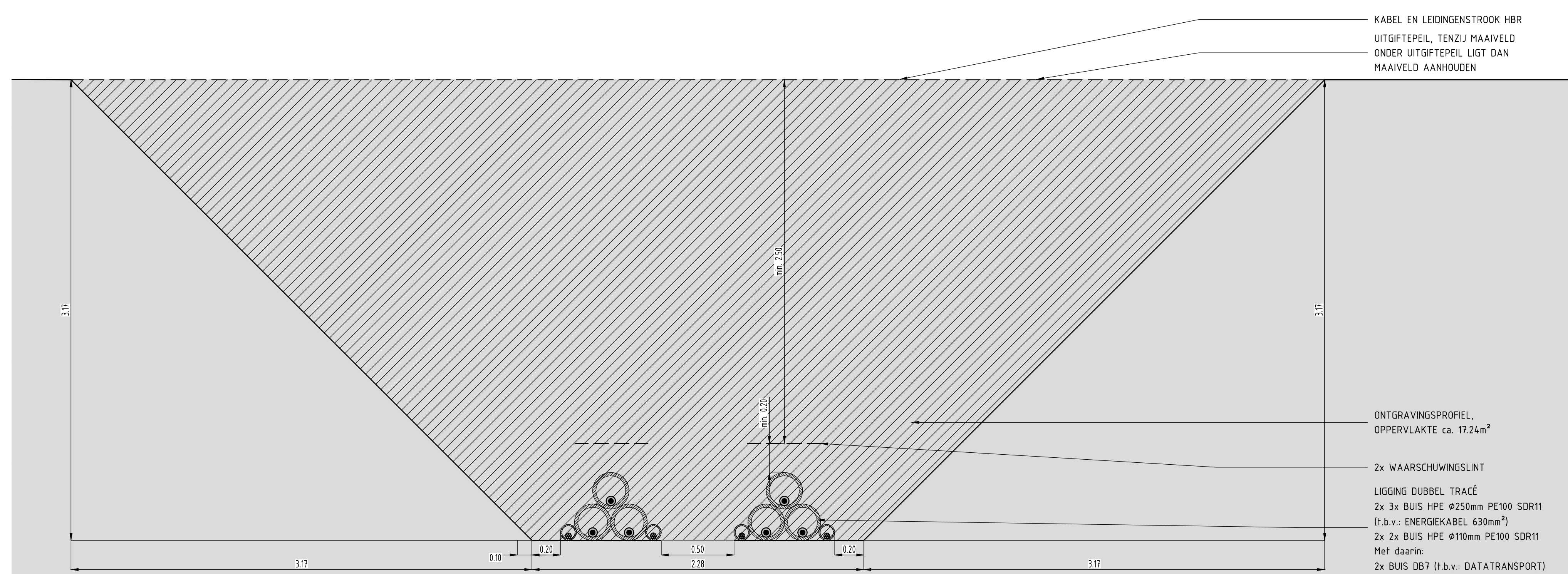
PRINCIPE ONTGRAVINGSPROFIEL 7 DUBBEL LEGTRACÉ IN HBR STROOK T.H.V. TOEKOMSTIG VIADUCT

SCHAAL 1:20



PRINCIPE ONTGRAVINGSPROFIEL 8 DUBBEL LEGTRACÉ IN HBR STROOK

SCHAL 1:20



PRINCIPE ONTGRAVINGSPROFIEL 9 DUBBEL LEGTRACÉ KRUISING HBR STROOK

SCHAAL 1:20

[illegible]

Bijlage 2

Berekeningen PE mantelbuizen

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Maasvlakte 2 Harde Zeewering Projectonderdeel : Gronddekking 1,2 m Importantiefactor S : 1			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm ²
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Toelaatbare deflectie	δ	= 8	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 110,00	mm
Wanddikte	d _n	= 10,0	mm
Wanddikte bocht	t	= 10,0	mm
Bochtstraal	R	= 330,00	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	
Aanleggegevens			
Ligging: Kruising met een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 4.941	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 1,2	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 10,0	mm
Zettingsverschil	f _z	= 0	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,02	%
Marstonfactor	f _m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Verheeld			

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2018 1.5 ©	
Grondmechanische gegevens				
Grondsoort			= Zand	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 18,0		kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	ϕ	= 30		°
Effectieve cohesie	c'	= 0		kN/m ²
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 0		kN/m ²
E-modulus sleufmateriaal	E_1	= 5		MN/m ²
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,04		N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,045		N/mm ³
Niet rekenen met horizontale steundruk				
Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1		
Verkeersbelasting				
Grafiek I:			Fatigue Load Model 3	
Niet rekenen met ontlastende invloed wegdek				
			17-06-2020 07:03:42	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2018 1.5 ©
1. Eigenschappen van de leiding			
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 90,00	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 100,00	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 110,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 55,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 45,00	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 50,00	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 3.966.260,73	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 72.113,83	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 83,33	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 16,67	mm ³ /mm ¹
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan			
Leiding is drukloos: Controle is niet mogelijk.			
3. Berekening van de veiligheidszone			
Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} = 4 \cdot 0,00 = 0,00$ m			
4. Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pl} t.g.v. inwendige druk			
Leiding is drukloos: $\sigma_p = 0,00$ N/mm ²			
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}			
Leiding is drukloos: $f_{rr} = 1,00$			
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n			
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 18,0 \cdot 1,2 = 23,76$ kN/m ² $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 23,76 \cdot 10^{-3} \cdot 110,0 = 2,61$ N/mm ¹			
7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p			
$q_p = q_n \cdot (1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o})$ $q_p = 23,76 \cdot (1 + 0,3 \cdot \frac{1,2}{0,11}) = 101,52$ kN/m ² $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 101,52 \cdot 10^{-3} \cdot 110,0 = 11,17$ N/mm ¹			
			17-06-2020 07:03:42

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2018 1.5 ©
8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k	
$z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{D_o}{E_1^{0,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$ $z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{0,11}{5^{0,5} \cdot \sqrt{1,2/0,11}} = 0,0030 \text{ m}$ $q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_o}{z_{\max}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\max} \cdot k_{v,\min}}}$ $q_k = 23,76 + \frac{\frac{0,02 \cdot 0,11}{0,0030} \cdot (101,52 - 23,76)}{1 + \frac{101,52 - 23,76}{0,0030 \cdot 0,0400 \cdot 10^6}} = 58,51 \text{ kN/m}^2$ $Q_k = q_k \cdot D_o$ $Q_k = 58,51 \cdot 10^{-3} \cdot 110,0 = 6,44 \text{ N/mm}^1$	
9. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Grafiek I NEN 3650-1:C.17	
Niet rekenen met ontlastende invloed $q_v = 43,15 \text{ kN/m}^2$ $Q_v = q_v \cdot D_o$ $Q_v = 43,15 \cdot 10^{-3} \cdot 110,0 = 4,75 \text{ N/mm}^1$	
10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ	
$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_{v,\text{gem}}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$ $\lambda = \sqrt[4]{\frac{110,0 \cdot 0,045}{4 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}} = 0,0042 \text{ mm}^{-1}$	
11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1^e en 2^e jaar)	
Zettingslengte $L = 4.941 \text{ mm}$ $\lambda \cdot L = 0,0042 \cdot 4.941 = 20,90$ $i = 0,900$ (= 90,0 % inklemming) $B_z = 0,000360$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5) $Q_z = B_z \cdot f_v \cdot D_o \cdot k_{v,\text{gem}}$ $Q_z = 0,000360 \cdot 10,0 \cdot 110,0 \cdot 0,045 = 0,018 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$ $Q_d = 0,018 \cdot 0,0042 \cdot 4.941 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0042 \cdot 4.941}{6}\right) = 1,50 \text{ N/mm}^1$	
12. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (na 2 jaar)	
$Q_z = B_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v,\text{gem}}$ $Q_z = 0,000360 \cdot (10,0 + 1,5 \cdot 0) \cdot 110,0 \cdot 0,045 = 0,018 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$ $Q_d = 0,018 \cdot 0,0042 \cdot 4.941 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0042 \cdot 4.941}{6}\right) = 1,50 \text{ N/mm}^1$	
	17-06-2020 07:03:42

13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen*Berekening evenwichtsdraagvermogen*

$$N_q = e^{\pi \tan(\varphi)} \cdot \tan^2(45^\circ + \varphi/2) = 18,40$$

$$N_y = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi) = 15,07$$

$$B = D_o = 0,11 \text{ m}$$

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 1,20 + 0,11 / 2 = 1,26 \text{ m}$$

$$S_y = 1 - 0,4 \cdot B/L = 0,96$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 1,43$$

$$\gamma'_{gem} = (q_n + \gamma \cdot \gamma_d \cdot D_o / 2) / Z = 19,80 \text{ kN/m}^3$$

$$P_{we} = 0,95 \cdot (0,5 \cdot \gamma'_{gem} \cdot D_o \cdot N_y \cdot S_y \cdot d_y + S_q \cdot N_q \cdot d_q \cdot (q_n + c' \cdot \cot(\varphi)) - c' \cdot \cot(\varphi))$$

$$P_{we} = 637,84 \text{ kN/m}^2 = 0,64 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weD_o} = P_{we} \cdot D_o = 0,64 \cdot 110,00 = 70,16 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen

<i>Situatie 1^e en 2^e jaar</i>	<i>Conclusie:</i>	<i>Situatie na 2 jaar</i>	<i>Conclusie:</i>
$Q_k = 6,44 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_n = 2,61 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig
$Q_v = 4,75 \text{ N/mm}^1$		$Q_v = 4,75 \text{ N/mm}^1$	
$Q_d = 1,50 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 1,50 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 12,68 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 8,86 \text{ N/mm}^1$	

14. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (1^e en 2^e jaar)*Moment t.g.v. Q_k en Q_v*

$$M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$$

$$M_q = 0,178 \cdot (6,44 + 4,75) \cdot 50,00$$

$$M_q = 99,52 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

$$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$$

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 1,50 \cdot 50,00$$

$$M_{qd} = 9,16 \text{ Nmm/mm}^1$$

Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$$

$$\sigma_q = 1,00 \cdot (99,52 + 9,16) / 16,67 = 6,52 \text{ N/mm}^2$$

15. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (na 2 jaar)*Moment t.g.v. Q_n en Q_v*

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$$

$$M_q = 0,178 \cdot (2,61 + 4,75) \cdot 50,00$$

$$M_q = 65,50 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

$$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$$

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 1,50 \cdot 50,00$$

$$M_{qd} = 9,16 \text{ Nmm/mm}^1$$

Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$$

$$\sigma_q = 1,00 \cdot (65,50 + 9,16) / 16,67 = 4,48 \text{ N/mm}^2$$

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2018 1.5 ©
16. Berekening van de spanning S_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v	
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot 10,0 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,045}{10,0}} = \mathbf{0,40 \text{ N/mm}^2}$	
17. Berekening van de spanning S_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z	
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot (10,0 + 1,5 \cdot 0) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,045}{10,0}} = \mathbf{0,40 \text{ N/mm}^2}$	
18. Berekening van de spanning S_{ax} t.g.v. temperatuurverschil	
Leiding is drukloos $\sigma_{ax} = \mathbf{0 \text{ N/mm}^2}$	
19. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht	
Berekening van de factoren i_x , i_{xp} , i_y en i_{yp} van de bocht: $r = \left(\frac{D_e}{2} + \frac{D_e - 2 \cdot t}{2} \right) / 2 = 50,00 \text{ mm}$ $h = \frac{t \cdot R}{r^2} = \frac{10,0 \cdot 330,0}{50,0^2} = 1,32$ $k = \frac{1,65}{h} = \frac{1,65}{1,32} = 1,25$ $i_x = \frac{0,9}{h^{(2/3)}} = \frac{0,9}{1,32^{(2/3)}} = 0,75$ $i_y = 2 \cdot i_x = 2 \cdot 0,75 = 1,50$ $i_x < 1 \rightarrow i_x = 1,00$	
20. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N	
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100,0^3} = 0,0812 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,25 \text{ kN/m}^2}$ Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²	
21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk	
Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij 27,78 m grondwater boven de leiding	
	17-06-2020 07:03:42

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2018 1.5 ©
22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (2,61 + 4,75) - 0,083 \cdot (1 - \sin(30^\circ)) \cdot (2,61 + 4,75) + 0,048 \cdot 1,50) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33} = \mathbf{1,81 \text{ mm}} (= 1,81\%)$ Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · D_g = 0,08 · 1 · 100,00 = 8,00 mm	
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + i_y \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (6,52 + 1,50 \cdot 0,40) = \mathbf{4,63 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot i_x \cdot \sigma_{bx}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,40 = \mathbf{0,26 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 1,00 = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$	
24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + i_y \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (4,48 + 1,50 \cdot 0,40) = \mathbf{3,30 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot i_x \cdot \sigma_{bx}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,40 = \mathbf{0,26 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 1,00 = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$	
	17-06-2020 07:03:42

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Maasvlakte 2 Harde Zeewering Projectonderdeel : Gronddekking 1,2 m Importantiefactor S : 1			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm ²
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Toelaatbare deflectie	δ	= 8	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 250,00	mm
Wanddikte	d _n	= 22,7	mm
Wanddikte bocht	t	= 22,7	mm
Bochtstraal	R	= 750,00	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	
Aanleggegevens			
Ligging: Kruising met een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 10.936	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 1,2	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 15,0	mm
Zettingsverschil	f _z	= 0	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,02	%
Marstonfactor	f _m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Verheeld			

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2018 1.5 ©	
Grondmechanische gegevens				
Grondsoort			= Zand	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 18,0		kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	ϕ	= 30		°
Effectieve cohesie	c'	= 0		kN/m ²
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 0		kN/m ²
E-modulus sleufmateriaal	E_1	= 5		MN/m ²
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,019		N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,022		N/mm ³
Niet rekenen met horizontale steundruk				
Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1		
Verkeersbelasting				
Grafiek I:			Fatigue Load Model 3	
Niet rekenen met ontlastende invloed wegdek				

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012				Sigma 2018 1.5 ©
1. Eigenschappen van de leiding				
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 204,60	mm	
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 227,30	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	$r_i = D_i / 2$	= 102,30	mm	
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 113,65	mm	
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 105.728.989,31	mm ⁴	
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 845.831,91	mm ³	
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 974,76	mm ⁴ /mm ¹	
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 85,88	mm ³ /mm ¹	
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan				
Leiding is drukloos: Controle is niet mogelijk.				
3. Berekening van de veiligheidszone				
Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} = 4 \cdot 0,00 = 0,00$ m				
4. Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pl} t.g.v. inwendige druk				
Leiding is drukloos: $\sigma_p = 0,00$ N/mm ²				
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}				
Leiding is drukloos: $f_{rr} = 1,00$				
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n				
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 18,0 \cdot 1,2 = 23,76$ kN/m ² $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 23,76 \cdot 10^{-3} \cdot 250,0 = 5,94$ N/mm ¹				
7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p				
$q_p = q_n \cdot (1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o})$ $q_p = 23,76 \cdot (1 + 0,3 \cdot \frac{1,2}{0,25}) = 57,97$ kN/m ² $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 57,97 \cdot 10^{-3} \cdot 250,0 = 14,49$ N/mm ¹				
				17-06-2020 07:17:59

8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k

$$z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{D_o}{E_1^{0,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$$

$$z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{0,25}{5^{0,5} \cdot \sqrt{1,2/0,25}} = 0,010 \text{ m}$$

$$q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_o}{z_{\max}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\max} \cdot k_{v,\min}}}$$

$$q_k = 23,76 + \frac{\frac{0,02 \cdot 0,25}{0,010} \cdot (57,97 - 23,76)}{1 + \frac{57,97 - 23,76}{0,010 \cdot 0,0190 \cdot 10^6}} = 38,01 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 38,01 \cdot 10^{-3} \cdot 250,0 = 9,50 \text{ N/mm}^1$$

9. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Grafiek I NEN 3650-1:C.17

Niet rekenen met ontlastende invloed

$$q_v = 42,91 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_v = q_v \cdot D_o$$

$$Q_v = 42,91 \cdot 10^{-3} \cdot 250,0 = 10,73 \text{ N/mm}^1$$

10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_{v,\text{gem}}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{250,0 \cdot 0,022}{4 \cdot 975 \cdot 105.728.989,31}} = 0,0019 \text{ mm}^{-1}$$

11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1^e en 2^e jaar)

$$\text{Zettingslengte } L = 10.936 \text{ mm}$$

$$\lambda \cdot L = 0,0019 \cdot 10.936 = 20,90$$

$$i = 0,900 \text{ (= 90,0 \% inklemming)}$$

$$B_z = 0,000360 \text{ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)}$$

$$Q_z = B_z \cdot f_v \cdot D_o \cdot k_{v,\text{gem}}$$

$$Q_z = 0,000360 \cdot 15,0 \cdot 250,0 \cdot 0,022 = 0,030 \text{ N/mm}^1$$

$$Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$$

$$Q_d = 0,030 \cdot 0,0019 \cdot 10.936 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0019 \cdot 10.936}{6}\right) = 2,50 \text{ N/mm}^1$$

12. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (na 2 jaar)

$$Q_z = B_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v,\text{gem}}$$

$$Q_z = 0,000360 \cdot (15,0 + 1,5 \cdot 0) \cdot 250,0 \cdot 0,022 = 0,030 \text{ N/mm}^1$$

$$Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$$

$$Q_d = 0,030 \cdot 0,0019 \cdot 10.936 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0019 \cdot 10.936}{6}\right) = 2,50 \text{ N/mm}^1$$

13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen*Berekening evenwichtsdraagvermogen*

$$N_q = e^{\pi \tan(\varphi)} \cdot \tan^2(45^\circ + \varphi/2) = 18,40$$

$$N_y = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi) = 15,07$$

$$B = D_o = 0,25 \text{ m}$$

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 1,20 + 0,25 / 2 = 1,33 \text{ m}$$

$$S_y = 1 - 0,4 \cdot B/L = 0,96$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 1,40$$

$$\gamma'_{\text{gem}} = (q_n + \gamma \cdot \gamma_d \cdot D_o / 2) / Z = 19,80 \text{ kN/m}^3$$

$$P_{we} = 0,95 \cdot (0,5 \cdot \gamma'_{\text{gem}} \cdot D_o \cdot N_y \cdot S_y \cdot d_y + S_q \cdot N_q \cdot d_q \cdot (q_n + c' \cdot \cot(\varphi)) - c' \cdot \cot(\varphi))$$

$$P_{we} = 644,41 \text{ kN/m}^2 = 0,64 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 0,64 \cdot 250,00 = 161,10 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen

<i>Situatie 1^e en 2^e jaar</i>	<i>Conclusie:</i>	<i>Situatie na 2 jaar</i>	<i>Conclusie:</i>
$Q_k = 9,50 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_n = 5,94 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig
$Q_v = 10,73 \text{ N/mm}^1$		$Q_v = 10,73 \text{ N/mm}^1$	
$Q_d = 2,50 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 2,50 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 22,73 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 19,17 \text{ N/mm}^1$	

14. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (1^e en 2^e jaar)*Moment t.g.v. Q_k en Q_v*

$$M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$$

$$M_q = 0,178 \cdot (9,50 + 10,73) \cdot 113,65$$

$$M_q = 409,22 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

$$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$$

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 2,50 \cdot 113,65$$

$$M_{qd} = 34,69 \text{ Nmm/mm}^1$$

Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$$

$$\sigma_q = 1,00 \cdot (409,22 + 34,69) / 85,88 = 5,17 \text{ N/mm}^2$$

15. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (na 2 jaar)*Moment t.g.v. Q_n en Q_v*

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$$

$$M_q = 0,178 \cdot (5,94 + 10,73) \cdot 113,65$$

$$M_q = 337,16 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

$$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$$

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 2,50 \cdot 113,65$$

$$M_{qd} = 34,69 \text{ Nmm/mm}^1$$

Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$$

$$\sigma_q = 1,00 \cdot (337,16 + 34,69) / 85,88 = 4,33 \text{ N/mm}^2$$

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©
16. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot 15,0 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,022}{22,7}} = \mathbf{0,28 \text{ N/mm}^2}$		
17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot (15,0 + 1,5 \cdot 0) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,022}{22,7}} = \mathbf{0,28 \text{ N/mm}^2}$		
18. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil		
Leiding is drukloos $\sigma_{ax} = \mathbf{0 \text{ N/mm}^2}$		
19. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht		
Berekening van de factoren i_x , i_{xp} , i_y en i_{yp} van de bocht: $r = \left(\frac{D_e}{2} + \frac{D_e - 2 \cdot t}{2} \right) / 2 = 113,65 \text{ mm}$ $h = \frac{t \cdot R}{r^2} = \frac{22,7 \cdot 750}{113,65^2} = 1,32$ $k = \frac{1,65}{h} = \frac{1,65}{1,32} = 1,25$ $i_x = \frac{0,9}{h^{(2/3)}} = \frac{0,9}{1,32^{(2/3)}} = 0,75$ $i_y = 2 \cdot i_x = 2 \cdot 0,75 = 1,50$ $i_x < 1 \rightarrow i_x = 1,00$		
20. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N		
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{974,76}{227,3^3} = 0,0809 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{80,93 \text{ kN/m}^2}$ Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²		
21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk		
Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 974,76}{227,30^3} = 1,54 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 974,76}{227,30^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij 27,67 m grondwater boven de leiding		
		17-06-2020 07:17:59

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2018 1.5 ©
22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (5,94 + 10,73) - 0,083 \cdot (1 - \sin(30^\circ)) \cdot (5,94 + 10,73) + 0,048 \cdot 2,50) \cdot 113,65^3}{350 \cdot 974,76} = \mathbf{3,92 \text{ mm}} (= 1,73\%)$ Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · D_g = 0,08 · 1 · 227,30 = 18,18 mm	
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + i_y \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (5,17 + 1,50 \cdot 0,28) = \mathbf{3,63 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot i_x \cdot \sigma_{bx}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,28 = \mathbf{0,18 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 1,00 = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$	
24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + i_y \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (4,33 + 1,50 \cdot 0,28) = \mathbf{3,09 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot i_x \cdot \sigma_{bx}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,28 = \mathbf{0,18 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 1,00 = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$	
	17-06-2020 07:17:59

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Maasvlakte 2 Harde Zeewering Projectonderdeel : Gronddekking 2,7 m Importantiefactor S : 1			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm ²
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Toelaatbare deflectie	δ	= 8	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 110,00	mm
Wanddikte	d _n	= 10,0	mm
Wanddikte bocht	t	= 10,0	mm
Bochtstraal	R	= 330,00	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	
Aanleggegevens			
Ligging: Kruising met een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 3.952	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 2,7	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 10,0	mm
Zettingsverschil	f _z	= 0	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,02	%
Marstonfactor	f _m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Verheeld			

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2018 1.5 ©	
Grondmechanische gegevens				
Grondsoort			= Zand	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 18,0		kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	ϕ	= 30		°
Effectieve cohesie	c'	= 0		kN/m ²
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 0		kN/m ²
E-modulus sleufmateriaal	E_1	= 5		MN/m ²
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,04		N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,11		N/mm ³
Niet rekenen met horizontale steundruk				
Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1		
Verkeersbelasting				
Grafiek I:			Fatigue Load Model 3	
Niet rekenen met ontlastende invloed wegdek				

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2018 1.5 ©
1. Eigenschappen van de leiding			
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 90,00	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 100,00	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 110,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 55,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 45,00	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 50,00	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 3.966.260,73	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 72.113,83	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 83,33	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 16,67	mm ³ /mm ¹
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan			
Leiding is drukloos: Controle is niet mogelijk.			
3. Berekening van de veiligheidszone			
Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} = 4 \cdot 0,00 = 0,00$ m			
4. Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pl} t.g.v. inwendige druk			
Leiding is drukloos: $\sigma_p = 0,00$ N/mm ²			
5. Berekening reroundingfactor f_r			
Leiding is drukloos: $f_r = 1,00$			
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n			
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 18,0 \cdot 2,7 = 53,46$ kN/m ² $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 53,46 \cdot 10^{-3} \cdot 110,0 = 5,88$ N/mm ¹			
			17-06-2020 10:11:59

7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d$$

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{18,0}{1,1} \cdot 2,7 = 44,18 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{\text{hor}} = \sigma_{\text{vert}} \cdot (1 - \sin(\varphi))$$

$$\sigma_{\text{hor}} = 44,18 \cdot (1 - \sin(30)) = 22,09 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_o' = \frac{\sigma_{\text{vert}} + \sigma_{\text{hor}}}{2}$$

$$\sigma_o' = \frac{44,18 + 22,09}{2} = 33,14 \text{ kN/m}^2$$

$$p_f' = \sigma_o' \cdot (1 + \sin(\varphi)) + c \cdot \cos(\varphi)$$

$$p_f' = 33,14 \cdot (1 + \sin(30)) + 0 \cdot \cos(30) = 49,70 \text{ kN/m}^2$$

$$G = \frac{E_{100}}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

$$G = \frac{15}{2 \cdot (1 + 0,3)} = 5,77 \text{ MN/m}^2$$

$$Q = \frac{\sigma_o' \cdot \sin(\varphi) + c \cdot \cos(\varphi)}{G}$$

$$Q = \frac{33,14 \cdot \sin(30) + 0 \cdot \cos(30)}{5,77 \cdot 10^3} = 0,003$$

$$p_{\text{max}}' = (p_f' + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{0,5 \cdot D_o^2}{0,5 \cdot D_o + H} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi)$$

$$p_{\text{max}}' = (49,70 + 30 \cdot \cot(0)) \cdot \left(\frac{0,5 \cdot 0,11^2}{0,5 \cdot 0,11 + 2,7} + 0,00 \right)^{\frac{-\sin 30}{1 + \sin 30}} - 0 \cdot \cot(30)$$

$$p_{\text{max}}' = \mathbf{334,86 \text{ kN/m}^2}$$

$$Q_p = p_{\text{max}}' \cdot D_o$$

$$Q_p = 334,86 \cdot 10^{-3} \cdot 110,0 = 36,83 \text{ N/mm}^1$$

8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k

$$z_{\text{max}} = 0,2 \cdot \frac{D_o}{E_1^{0,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$$

$$z_{\text{max}} = 0,2 \cdot \frac{0,11}{5^{0,5} \cdot \sqrt{2,7/0,11}} = 0,0020 \text{ m}$$

$$q_k = q_n + \frac{\mu \cdot D_o}{z_{\text{max}}} \cdot (q_p - q_n)$$

$$1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\text{max}} \cdot k_{v,\text{min}}}$$

$$q_k = 53,46 + \frac{\frac{0,02 \cdot 0,11}{0,0020} \cdot (334,86 - 53,46)}{1 + \frac{334,86 - 53,46}{0,0020 \cdot 0,0400 \cdot 10^6}} = 122,09 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 122,09 \cdot 10^{-3} \cdot 110,0 = 13,43 \text{ N/mm}^1$$

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2018 1.5 ©
9. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Grafiek I NEN 3650-1:C.17	
Niet rekenen met ontlastende invloed $q_v = 18,80 \text{ kN/m}^2$ $Q_v = q_v \cdot D_o$ $Q_v = 18,80 \cdot 10^{-3} \cdot 110,0 = 2,07 \text{ N/mm}^1$	
10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ	
$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_{v,gem}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$ $\lambda = \sqrt[4]{\frac{110,0 \cdot 0,11}{4 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}} = 0,0053 \text{ mm}^{-1}$	
11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1^e en 2^e jaar)	
Zettingslengte $L = 3.952 \text{ mm}$ $\lambda \cdot L = 0,0053 \cdot 3.952 = 20,90$ $i = 0,900$ (= 90,0 % inklemming) $B_z = 0,000360$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5) $Q_z = B_z \cdot f_v \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$ $Q_z = 0,000360 \cdot 10,0 \cdot 110,0 \cdot 0,11 = 0,044 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$ $Q_d = 0,044 \cdot 0,0053 \cdot 3.952 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0053 \cdot 3.952}{6}\right) = 3,67 \text{ N/mm}^1$	
12. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (na 2 jaar)	
$Q_z = B_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$ $Q_z = 0,000360 \cdot (10,0 + 1,5 \cdot 0) \cdot 110,0 \cdot 0,11 = 0,044 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$ $Q_d = 0,044 \cdot 0,0053 \cdot 3.952 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0053 \cdot 3.952}{6}\right) = 3,67 \text{ N/mm}^1$	
	17-06-2020 10:11:59

13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen*Berekening evenwichtsdraagvermogen*

$$N_q = e^{\pi \tan(\varphi)} \cdot \tan^2(45^\circ + \varphi/2) = 18,40$$

$$N_y = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi) = 15,07$$

$$B = D_o = 0,11 \text{ m}$$

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 2,70 + 0,11 / 2 = 2,76 \text{ m}$$

$$S_y = 1 - 0,4 \cdot B/L = 0,96$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 1,44$$

$$\gamma'_{gem} = (q_n + \gamma \cdot \gamma_d \cdot D_o / 2) / Z = 19,80 \text{ kN/m}^3$$

$$P_{we} = 0,95 \cdot (0,5 \cdot \gamma'_{gem} \cdot D_o \cdot N_y \cdot S_y \cdot d_y + S_q \cdot N_q \cdot d_q \cdot (q_n + c' \cdot \cot(\varphi)) - c' \cdot \cot(\varphi))$$

$$P_{we} = 1.429,88 \text{ kN/m}^2 = 1,43 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weD_o} = P_{we} \cdot D_o = 1,43 \cdot 110,00 = 157,29 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen

<i>Situatie 1^e en 2^e jaar</i>	<i>Conclusie:</i>	<i>Situatie na 2 jaar</i>	<i>Conclusie:</i>
$Q_k = 13,43 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing	$Q_n = 5,88 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing
$Q_v = 2,07 \text{ N/mm}^1$	van Q_d nodig	$Q_v = 2,07 \text{ N/mm}^1$	van Q_d nodig
$Q_d = 3,67 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 3,67 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 19,17 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 11,62 \text{ N/mm}^1$	

14. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (1^e en 2^e jaar)*Moment t.g.v. Q_k en Q_v*

$$M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$$

$$M_q = 0,178 \cdot (13,43 + 2,07) \cdot 50,00$$

$$M_q = 137,93 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

$$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$$

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 3,67 \cdot 50,00$$

$$M_{qd} = 22,38 \text{ Nmm/mm}^1$$

Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$$

$$\sigma_q = 1,00 \cdot (137,93 + 22,38) / 16,67 = 9,62 \text{ N/mm}^2$$

15. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (na 2 jaar)*Moment t.g.v. Q_n en Q_v*

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$$

$$M_q = 0,178 \cdot (5,88 + 2,07) \cdot 50,00$$

$$M_q = 70,74 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

$$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$$

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 3,67 \cdot 50,00$$

$$M_{qd} = 22,38 \text{ Nmm/mm}^1$$

Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$$

$$\sigma_q = 1,00 \cdot (70,74 + 22,38) / 16,67 = 5,59 \text{ N/mm}^2$$

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2018 1.5 ©
16. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v	
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot 10,0 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,11}{10,0}} = \mathbf{0,63 \text{ N/mm}^2}$	
17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z	
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot (10,0 + 1,5 \cdot 0) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,11}{10,0}} = \mathbf{0,63 \text{ N/mm}^2}$	
18. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil	
Leiding is drukloos $\sigma_{ax} = \mathbf{0 \text{ N/mm}^2}$	
19. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht	
Berekening van de factoren i_x , i_{xp} , i_y en i_{yp} van de bocht: $r = \left(\frac{D_e}{2} + \frac{D_e - 2 \cdot t}{2} \right) / 2 = 50,00 \text{ mm}$ $h = \frac{t \cdot R}{r^2} = \frac{10,0 \cdot 330,0}{50,0^2} = 1,32$ $k = \frac{1,65}{h} = \frac{1,65}{1,32} = 1,25$ $i_x = \frac{0,9}{h^{(2/3)}} = \frac{0,9}{1,32^{(2/3)}} = 0,75$ $i_y = 2 \cdot i_x = 2 \cdot 0,75 = 1,50$ $i_x < 1 \rightarrow i_x = 1,00$	
20. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N	
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100,0^3} = 0,0812 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,25 \text{ kN/m}^2}$ Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²	
21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk	
Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij 27,78 m grondwater boven de leiding	
	17-06-2020 10:11:59

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2018 1.5 ©
22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (5,88 + 2,07) - 0,083 \cdot (1 - \sin(30^\circ)) \cdot (5,88 + 2,07) + 0,048 \cdot 3,67) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33} = \mathbf{2,37 \text{ mm}} (= 2,37\%)$ Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · D_g = 0,08 · 1 · 100,00 = 8,00 mm	
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + i_y \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (9,62 + 1,50 \cdot 0,63) = \mathbf{6,86 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot i_x \cdot \sigma_{bx}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,63 = \mathbf{0,41 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 1,00 = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$	
24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + i_y \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (5,59 + 1,50 \cdot 0,63) = \mathbf{4,24 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot i_x \cdot \sigma_{bx}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,63 = \mathbf{0,41 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 1,00 = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$	
	17-06-2020 10:11:59

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Maasvlakte 2 Harde Zeewering Projectonderdeel : Gronddekking 2,7 m Importantiefactor S : 1			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm ²
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Toelaatbare deflectie	δ	= 8	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 250,00	mm
Wanddikte	d _n	= 22,7	mm
Wanddikte bocht	t	= 22,7	mm
Bochtstraal	R	= 750,00	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	
Aanleggegevens			
Ligging: Kruising met een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 8.952	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 2,7	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 15,0	mm
Zettingsverschil	f _z	= 0	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,02	%
Marstonfactor	f _m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Verheeld			
		17-06-2020 07:20:25	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2018 1.5 ©	
Grondmechanische gegevens				
Grondsoort			= Zand	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 18,0		kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	ϕ	= 30		°
Effectieve cohesie	c'	= 0		kN/m ²
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 0		kN/m ²
E-modulus sleufmateriaal	E_1	= 5		MN/m ²
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,019		N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,049		N/mm ³
Niet rekenen met horizontale steundruk				
Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1		
Verkeersbelasting				
Grafiek I:			Fatigue Load Model 3	
Niet rekenen met ontlastende invloed wegdek				
			17-06-2020 07:20:25	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012				Sigma 2018 1.5 ©
1. Eigenschappen van de leiding				
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 204,60	mm	
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 227,30	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	$r_i = D_i / 2$	= 102,30	mm	
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 113,65	mm	
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 105.728.989,31	mm ⁴	
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 845.831,91	mm ³	
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 974,76	mm ⁴ /mm ¹	
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 85,88	mm ³ /mm ¹	
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan				
Leiding is drukloos: Controle is niet mogelijk.				
3. Berekening van de veiligheidszone				
Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} = 4 \cdot 0,00 = 0,00$ m				
4. Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pl} t.g.v. inwendige druk				
Leiding is drukloos: $\sigma_p = 0,00$ N/mm ²				
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}				
Leiding is drukloos: $f_{rr} = 1,00$				
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n				
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 18,0 \cdot 2,7 = 53,46$ kN/m ² $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 53,46 \cdot 10^{-3} \cdot 250,0 = 13,37$ N/mm ¹				
7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p				
$q_p = q_n \cdot (1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o})$ $q_p = 53,46 \cdot (1 + 0,3 \cdot \frac{2,7}{0,25}) = 226,67$ kN/m ² $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 226,67 \cdot 10^{-3} \cdot 250,0 = 56,67$ N/mm ¹				
				17-06-2020 07:20:25

8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k

$$z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{D_o}{E_1^{0,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$$

$$z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{0,25}{5^{0,5} \cdot \sqrt{2,7/0,25}} = 0,0068 \text{ m}$$

$$q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_o}{z_{\max}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\max} \cdot k_{v,\min}}}$$

$$q_k = 53,46 + \frac{\frac{0,02 \cdot 0,25}{0,0068} \cdot (226,67 - 53,46)}{1 + \frac{226,67 - 53,46}{0,0068 \cdot 0,0190 \cdot 10^6}} = 107,86 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 107,86 \cdot 10^{-3} \cdot 250,0 = 26,96 \text{ N/mm}^1$$

9. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Grafiek I NEN 3650-1:C.17

Niet rekenen met ontlastende invloed

$$q_v = 18,79 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_v = q_v \cdot D_o$$

$$Q_v = 18,79 \cdot 10^{-3} \cdot 250,0 = 4,70 \text{ N/mm}^1$$

10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_{v,\text{gem}}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{250,0 \cdot 0,049}{4 \cdot 975 \cdot 105.728.989,31}} = 0,0023 \text{ mm}^{-1}$$

11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1^e en 2^e jaar)

Zettingslengte $L = 8.952 \text{ mm}$

$$\lambda \cdot L = 0,0023 \cdot 8.952 = 20,90$$

$i = 0,900$ (= 90,0 % inklemming)

$B_z = 0,000360$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)

$$Q_z = B_z \cdot f_v \cdot D_o \cdot k_{v,\text{gem}}$$

$$Q_z = 0,000360 \cdot 15,0 \cdot 250,0 \cdot 0,049 = 0,066 \text{ N/mm}^1$$

$$Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$$

$$Q_d = 0,066 \cdot 0,0023 \cdot 8.952 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0023 \cdot 8.952}{6}\right) = 5,57 \text{ N/mm}^1$$

12. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (na 2 jaar)

$$Q_z = B_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v,\text{gem}}$$

$$Q_z = 0,000360 \cdot (15,0 + 1,5 \cdot 0) \cdot 250,0 \cdot 0,049 = 0,066 \text{ N/mm}^1$$

$$Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$$

$$Q_d = 0,066 \cdot 0,0023 \cdot 8.952 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0023 \cdot 8.952}{6}\right) = 5,57 \text{ N/mm}^1$$

13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen*Berekening evenwichtsdraagvermogen*

$$N_q = e^{\pi \tan(\varphi)} \cdot \tan^2(45^\circ + \varphi/2) = 18,40$$

$$N_y = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi) = 15,07$$

$$B = D_o = 0,25 \text{ m}$$

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 2,70 + 0,25 / 2 = 2,83 \text{ m}$$

$$S_y = 1 - 0,4 \cdot B/L = 0,96$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 1,43$$

$$\gamma'_{gem} = (q_n + \gamma \cdot \gamma_d \cdot D_o / 2) / Z = 19,80 \text{ kN/m}^3$$

$$P_{we} = 0,95 \cdot (0,5 \cdot \gamma'_{gem} \cdot D_o \cdot N_y \cdot S_y \cdot d_y + S_q \cdot N_q \cdot d_q \cdot (q_n + c' \cdot \cot(\varphi)) - c' \cdot \cot(\varphi))$$

$$P_{we} = 1.435,23 \text{ kN/m}^2 = 1,44 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 1,44 \cdot 250,00 = 358,81 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen

<i>Situatie 1^e en 2^e jaar</i>	<i>Conclusie:</i>	<i>Situatie na 2 jaar</i>	<i>Conclusie:</i>
$Q_k = 26,96 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_n = 13,37 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig
$Q_v = 4,70 \text{ N/mm}^1$		$Q_v = 4,70 \text{ N/mm}^1$	
$Q_d = 5,57 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 5,57 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 37,23 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 23,63 \text{ N/mm}^1$	

14. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (1^e en 2^e jaar)*Moment t.g.v. Q_k en Q_v*

$$M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$$

$$M_q = 0,178 \cdot (26,96 + 4,70) \cdot 113,65$$

$$M_q = 640,50 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

$$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$$

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 5,57 \cdot 113,65$$

$$M_{qd} = 77,25 \text{ Nmm/mm}^1$$

Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$$

$$\sigma_q = 1,00 \cdot (640,50 + 77,25) / 85,88 = 8,36 \text{ N/mm}^2$$

15. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (na 2 jaar)*Moment t.g.v. Q_n en Q_v*

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$$

$$M_q = 0,178 \cdot (13,37 + 4,70) \cdot 113,65$$

$$M_q = 365,39 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

$$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$$

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 5,57 \cdot 113,65$$

$$M_{qd} = 77,25 \text{ Nmm/mm}^1$$

Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$$

$$\sigma_q = 1,00 \cdot (365,39 + 77,25) / 85,88 = 5,15 \text{ N/mm}^2$$

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©
16. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot 15,0 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,049}{22,7}} = \mathbf{0,42 \text{ N/mm}^2}$		
17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot (15,0 + 1,5 \cdot 0) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,049}{22,7}} = \mathbf{0,42 \text{ N/mm}^2}$		
18. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil		
Leiding is drukloos $\sigma_{ax} = \mathbf{0 \text{ N/mm}^2}$		
19. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht		
Berekening van de factoren i_x , i_{xp} , i_y en i_{yp} van de bocht: $r = \left(\frac{D_e}{2} + \frac{D_e - 2 \cdot t}{2} \right) / 2 = 113,65 \text{ mm}$ $h = \frac{t \cdot R}{r^2} = \frac{22,7 \cdot 750}{113,65^2} = 1,32$ $k = \frac{1,65}{h} = \frac{1,65}{1,32} = 1,25$ $i_x = \frac{0,9}{h^{(2/3)}} = \frac{0,9}{1,32^{(2/3)}} = 0,75$ $i_y = 2 \cdot i_x = 2 \cdot 0,75 = 1,50$ $i_x < 1 \rightarrow i_x = 1,00$		
20. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N		
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{974,76}{227,3^3} = 0,0809 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{80,93 \text{ kN/m}^2}$ Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²		
21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk		
Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 974,76}{227,30^3} = 1,54 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 974,76}{227,30^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij 27,67 m grondwater boven de leiding		
		17-06-2020 07:20:25

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2018 1.5 ©
22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (13,37 + 4,70) - 0,083 \cdot (1 - \sin(30^\circ)) \cdot (13,37 + 4,70) + 0,048 \cdot 5,57) \cdot 113,65^3}{350 \cdot 974,76} = \mathbf{4,84 \text{ mm}} (= 2,13\%)$ Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · D_g = 0,08 · 1 · 227,30 = 18,18 mm	
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + i_y \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (8,36 + 1,50 \cdot 0,42) = \mathbf{5,84 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot i_x \cdot \sigma_{bx}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,42 = \mathbf{0,27 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 1,00 = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$	
24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + i_y \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (5,15 + 1,50 \cdot 0,42) = \mathbf{3,76 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot i_x \cdot \sigma_{bx}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,42 = \mathbf{0,27 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 1,00 = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$	
	17-06-2020 07:20:25

Bijlage 3

Berekeningen stalen mantelbuizen

Sterkteberekening van een doorpersing conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Maasvlakte 2 Harde Zeewering Projectonderdeel : Gronddekking 2,5 m stalen mantelbuis 710 mm Importantiefactor S : 1			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	Staal		
Kwaliteit:	EN 10208 L360		
Rekgrens van het materiaal bij 20°C	Re	= 360	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus	E	= 205800	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= $1,2 \cdot 10^{-5}$	mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	α_σ	= 1	-
Toelaatbare deflectie	δ	= 15	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D_e	= 711,20	mm
Wanddikte	d_n	= 10	mm
Minimale wanddikte	d	= 10	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	
Aanleggegevens			
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 2,5	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 120	°
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Verheeld			
Grondmechanische gegevens			
Grondsoort	= Zand		
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 18	kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	φ	= 30	°
Niet rekenen met horizontale steundruk			
Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	
Verkeersbelasting			
Grafiek I:		Fatigue Load Model 3	
Niet rekenen met ontlastende invloed wegdek			

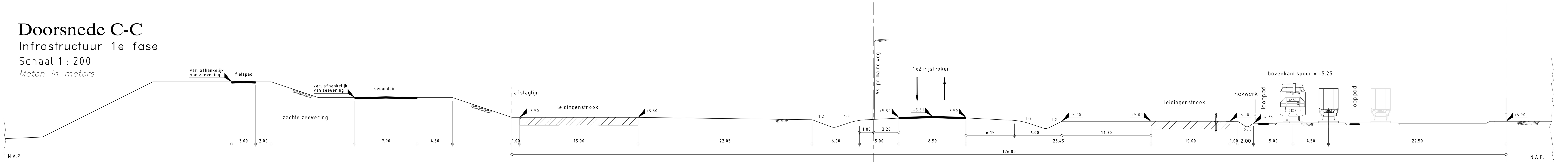
Sterkteberekening van een doorpersing conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2018 1.5 ©
1. Eigenschappen van de leiding			
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 691,20	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 701,20	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 711,20	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 355,60	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 345,60	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 350,60	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 1.354.172.304,63	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 3.808.133,59	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 83,33	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 16,67	mm ³ /mm ¹
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan			
Leiding is drukloos: Controle is niet mogelijk.			
3. Berekening van de veiligheidszone			
Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} = 4 \cdot 0,00 = 0,00$ m			
4. Berekening van de spanningen s_p en s_{pl} t.g.v. inwendige druk			
Leiding is drukloos: $\sigma_p = 0,00$ N/mm ²			
5. Berekening reroundingfactor f_r			
Leiding is drukloos: $f_r = 1,00$			
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n			
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 18 \cdot 2,5 = 49,50$ kN/m ² $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 49,50 \cdot 10^{-3} \cdot 711,2 = 35,20$ N/mm ¹			
7. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Grafiek I NEN 3650-1:C.17			
Niet rekenen met ontlastende invloed $q_v = 20,09$ kN/m ² $Q_v = q_v \cdot D_o$ $Q_v = 20,09 \cdot 10^{-3} \cdot 711,2 = 14,29$ N/mm ¹			
8. Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen			
<i>Moment t.g.v. Q_n en Q_v</i> $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,138 \cdot (35,20 + 14,29) \cdot 350,60$ $M_q = 2.394,62$ Nmm/mm ¹ <i>Spanning t.g.v. M_q</i> $\sigma_q = f_r \cdot M_q / W_w$ $\sigma_q = 1,00 \cdot 2.394,62 / 16,67 = \mathbf{143,68}$ N/mm ²			
			02-06-2020 15:22:34

Sterkteberekening van een doorpersing conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2018 1.5 ©
9. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil	
Leiding is drukloos $\sigma_{ax} = 0 \text{ N/mm}^2$	
10. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N	
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 205800 \cdot \frac{83,33}{701,2^3} = 0,0497 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{49,74 \text{ kN/m}^2}$ Minimaal vereiste ringstijfheid = 0 kN/m ²	
11. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk	
Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,3^2)} \cdot \frac{24 \cdot 205.800,00 \cdot 83,33}{701,20^3} = 0,87 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,3^2)} \cdot \frac{24 \cdot 205.800,00 \cdot 83,33}{701,20^3} = 0,44 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij 43,73 m grondwater boven de leiding	
12. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (35,20 + 14,29) - 0,083 \cdot (1 - \sin(30^\circ)) \cdot (35,20 + 14,29) + 0,048 \cdot 0,00) \cdot 350,60^3}{205800 \cdot 83,33} = \mathbf{5,91 \text{ mm}} (= 0,84\%)$ Toelaatbare deflectie = 15% · importantiefactor S · $D_g = 0,15 \cdot 1 \cdot 701,20 = \mathbf{105,18 \text{ mm}}$	
13. Berekening van het totaal aan optredende spanningen	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 1 \cdot 143,68 = \mathbf{143,68 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx}$ $\sigma_x = 1 \cdot 0,00 = \mathbf{0,00 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $0,8 \cdot R_e \cdot S = 0,8 \cdot 360 \cdot 1,00 = \mathbf{288,00 \text{ N/mm}^2}$	
	02-06-2020 15:22:34

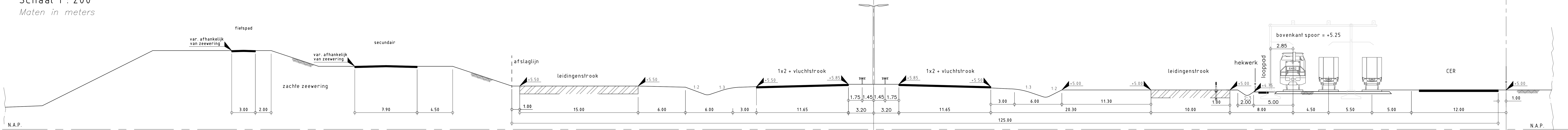
Bijlage 4

Doorsnede toekomstig viaduct (ter indicatie)

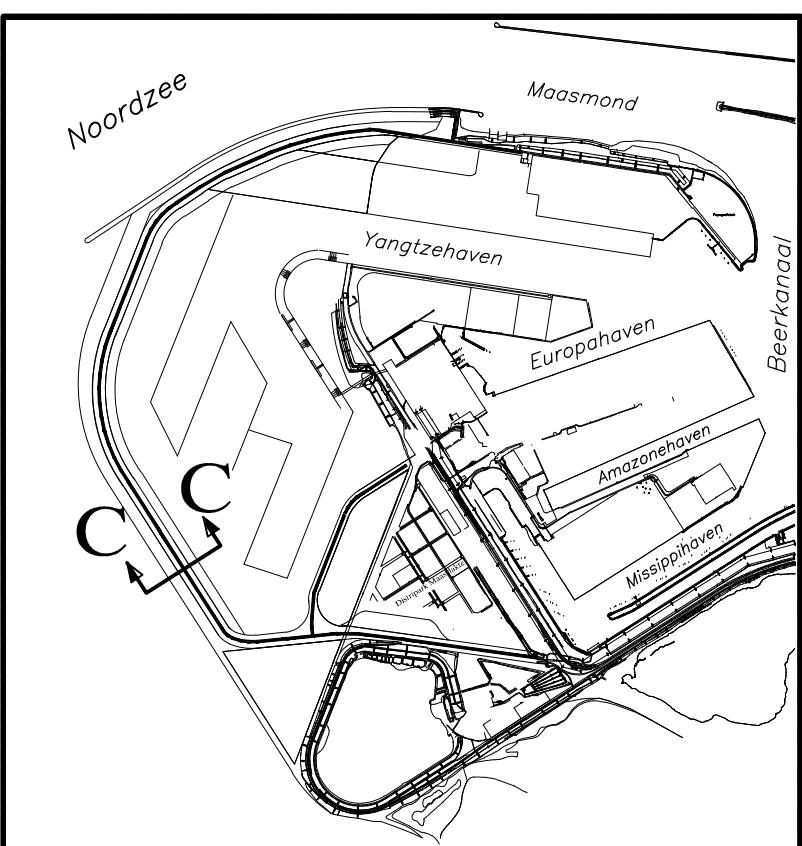
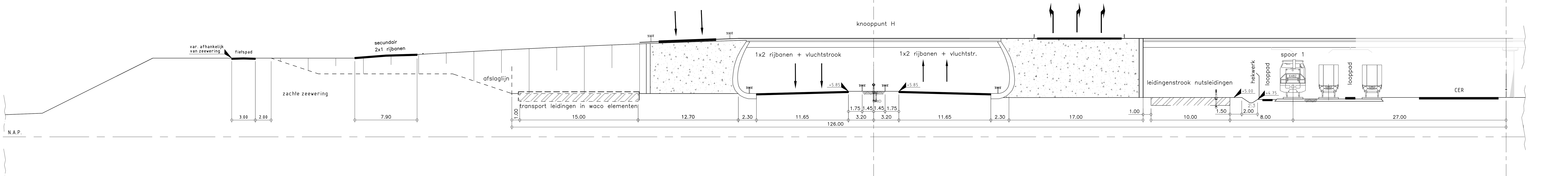
Doorsnede C-C
Infrastructuur 1e fase
Schaal 1 : 200
Maten in meters



Doorsnede C-C
Infrastructuur eindfase
Schaal 1 : 200
Maten in meters



Maten in meters



 Port of Rotterdam		Tekenaar: [redacted]		Gebied: Maasvlakte 2	
Havenbedrijf Rotterdam NV		Datum aanmaak: 05-10-2005		Project: Dwarsdoorsnede's	
Ruimtelijk Service Centrum		Datum wijziging: 17-07-2018		Onderwerp: Dwarsprofiel C-C Zachte Zeewering	
		Gezien: [redacted]		Uitgave: 05	
		Opdrachtgever: [redacted]		Schaal: 1:200	
				Tekening nummer: 2005-619	

Definitief