



Aanvullingen aanvraag Waterwetvergunning Windpark Fryslân



Ministerie van Economische Zaken



Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Aanvulling waterwetvergunning

14-09-2015 (Deel 1)



Rijkswaterstaat Midden Nederland (IJsselmeergebied)
T.a.v. dhr. van de Velde
Postbus 2232
3500 GE Utrecht

Betreft : aanvulling aanvraag waterwetvergunning en WBR-vergunning Windpark Fryslân
Datum : 14 september 2015
Bijlagen :
Kenmerk : 709026/ME/001

Geachte heer Van de Velde,

Op 14 juli 2015 heeft Windpark Fryslân b.v. een aanvraag ingediend voor een waterwetvergunning (RWS-2015/31477) en een WBR-vergunning (RWS-2015/31493) ten behoeve van de realisatie van Windpark Fryslân, inclusief de aanleg van de hoogspanningskabel door de Afsluitdijk. Op 24 augustus 2015 hebben wij van u een ontvangstbevestiging en een verzoek tot aanvulling van de aanvragen ontvangen. In deze brief gaan wij in op de door u gestelde vragen. Deze brief, inclusief bijlagen dient derhalve als aanvulling op de aanvragen van 14 juli j.l..

U heeft uw opmerkingen voor beide aanvragen in één brief aangegeven. Aangezien er overlap zit in de vragen voor de waterwetvergunning en de WBR-vergunning worden uw vragen uit de brief van 25 augustus in onderhavige brief inclusief bijlagen voor beide aanvragen behandeld. Het geheel wordt als aanvulling bij beide aanvragen ingediend. Vanzelfsprekend verzoeken wij u alleen de informatie die relevant is voor de betreffende aanvraag en het van toepassing zijnde kader te betrekken bij de beoordeling van de aanvullende informatie.

De aanvullende informatie betreft een voorontwerp uitwerking van de uitvoering van het project. Zoals in het vooroverleg met u besproken en in de aanvraag aangegeven vindt detailengineering plaats voorafgaand aan de uitvoering van de werkzaamheden. Omdat aanbesteding pas na vergunningverlening plaats vindt, is derhalve voor de aanvraag op basis van conservatieve uitgangspunten een effectbeoordeling uitgevoerd, voor een nadere toelichting verwijzen wij u ook graag naar de aanvraag. Definitieve plannen worden uiterlijk 3 maanden voorafgaand aan de werkzaamheden aan Rijkswaterstaat voorgelegd. Op basis van de detail-engineering ten behoeve van uw aanvullende vragen zijn een aantal wijzigingen ten opzichte van de oorspronkelijke aanvraag doorgevoerd. De relevante wijzigingen zijn beschreven in de toelichting en bij het beantwoorden van uw vragen meegenomen.

Wij vertrouwen erop u hiermee voldoende geïnformeerd te hebben. In geval van inhoudelijke vragen of onduidelijkheden verzoeken wij u contact op te nemen met onze adviseur, de heer M. Ten Klooster van Pondera Consult.

Namens Windpark Fryslân B.V..

Met vriendelijke groet,



Dhr. J.F.W. Rijntalder
Directeur Pondera Consult

Overzicht documenten aanvulling

Document	
Onderhavig document	Brief & toelichting aanvulling
Bijlage 1	Mobiliteitsplan
Bijlage 2	Verwijderingsplan
Bijlage 3 (A t/m F)	Boorplannen + kwelwegberekeningen
Bijlage 4	Rapportage Fugro
Bijlage 5	Rapportage Tebodin
Bijlage 6	Rapportage Ensol
Bijlage 7	Tekeningen

1 TOELICHTING OP DE AANVULLING

In uw brief verzoekt u op vijf punten aanvullende gegevens te leveren. In het overleg op 6 augustus jl. naar aanleiding van de aanvragen van Windpark Fryslân BV is tevens gevraagd of de boringen die onderdeel van het kabeltracé uitvoerbaar zijn. Ten behoeve van de beantwoording van de vragen is derhalve door KL Infra Engineering B.V. een voorontwerp opgesteld inclusief boorplannen. Zoals in de aanbiedingsbrief aangegeven en in het vooroverleg afgestemd dient kan het definitieve ontwerp afwijken van het voorontwerp, echter zullen de effecten op de waterkering en de overige rijkswaterstaatswerken kleiner of neutraal zijn ten opzichte van hetgeen in de aanvraag is beschreven. Tevens zullen, zoals in de aanvraag aangegeven, de definitieve ontwerpen voorafgaand aan de uitvoering ter goedkeuring aan u voorgelegd worden.

In deze toelichting wordt achtereenvolgens ingegaan op:

- Wijzigingen ten opzichte van de oorspronkelijke aanvraag om de aanvraag in lijn met de voorontwerpen te brengen;
- De door u verzochte aanvullende informatie.

1.1 Wijzigingen ten opzichte van de oorspronkelijke aanvraag

Op basis van de detail-engineering ten behoeve van uw aanvullende vragen zijn een aantal wijzigingen ten opzichte van de oorspronkelijke aanvraag doorgevoerd. De wijzigingen betreffen:

1. De twee persboringen onder de A7 ten oosten en ten westen van Kornwerderzand worden vervangen door twee HDD-boringen;
2. Voor alle boringen geldt als gevolg van de detailengineering een beperkte aanpassing van de lengtes van de boringen. De lengtes zijn weergegeven in de boorplannen in bijlage 3;
3. De casings bij de in- en uitredepunten worden verwijderd aangezien deze geen toegevoegde waarde hebben voor de dijkstabiliteit.;
4. De tussenafstand tussen de boringen onder de sluizen bij Kornwerderzand wordt gewijzigd van minimaal 15 meter in minimaal 5 meter;
5. In de twee boringen onder de Kornwerdersluizen wordt conservatief in plaats van twee stalen buizen uitgegaan van 2x4 stalen buizen (2x3 273mm + 2x1 114mm). Dit is weergegeven in de boorplannen in bijlage 3;

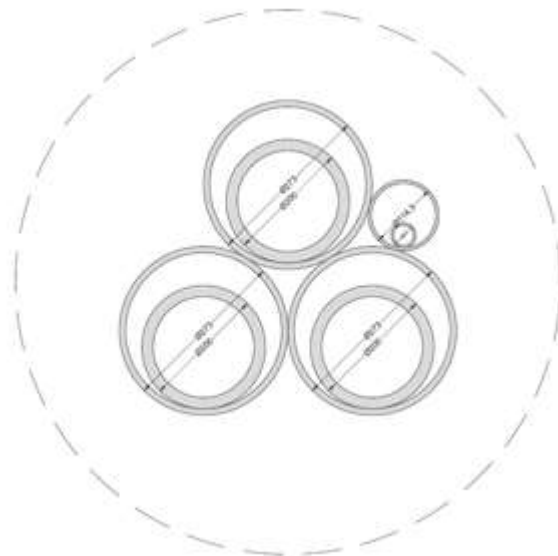
Voor punt 1 en 2 geldt dat de details van de boringen in de boorplannen van KL infra engineering B.V in bijlage 3 zijn opgenomen. Om aan te tonen dat de wijziging geen andere effecten tot gevolg heeft is door Fugro bekeken wat de wijziging naar HDD-boringen voor andere/ effecten kan hebben ten opzichte van de oorspronkelijke aanvraag (zie beantwoording vraag 1b).

Voor punt 3 geldt dat het verwijderen van de casings bij de intredepunten geen gevolgen heeft voor de effectbeoordeling uit de aanvraag. Toepassing van een casing heeft gezien de intredepunten van de aangevraagde boringen geen toegevoegde waarde bezien vanuit de potentiële effecten op de omgeving en wordt derhalve niet als uitgangspunt gehanteerd.

Voor punt 4 geldt dat bij de detailengineering blijkt dat de uitvoering van de twee boringen onder de sluizen door beter uitvoerbaar zijn wanneer de boringen op 5 meter van elkaar zijn gelegen in plaats van 15 meter. Dit heeft te maken met de buigstraal van de mantelbuizen ten opzichte van de in- en uitredepunten van de boringen. Aangezien de bodem en de dijk grotendeels uit zand bestaat, is dat in lijn met NEN 3650/3651 (minimaal 5 meter afstand tussen twee boringen in zand). De afstand tussen twee parallelle HDD-boringen moet volgens NEN 3650/3651 verder zo groot zijn dat stuurcorrecties onbelemmerd kunnen plaatsvinden. De precisie van de boorkop staat dat toe. Een kleinere tussenafstand heeft mogelijk een gevolg voor maaiveldzettingen. Voor de boringen onder de Kornwerdersluizen met de tussenafstand van 5 meter is dit door Fugro berekend. De resultaten worden behandeld bij het beantwoorden van vraag 1b en zijn tevens weergegeven in bijlage 4.

In de boringen bij het sluizencomplex wordt conservatief niet uitgegaan van twee mantelbuizen maar van vier mantelbuizen in een boorgat. Dit betekent dat elke individuele kabelstreng en de communicatiekabel in een eigen mantelbuis komt te liggen. Dit heeft geen effect op de HDD boring ten opzichte van de oorspronkelijke aanvraag. Dit is echter wel conservatief vanuit het oogpunt van potentiële zetting. De nieuwe situatie is weergegeven in onderstaande figuur.

Figuur 1.1 Mantelbuizen in HDD Kornwerderzand



De wijzigingen zoals hierboven genoemd zijn bij het beantwoorden van uw vragen meegenomen en in de verschillende bijlagen, inclusief tekeningen verwerkt. De wijzigingen zijn tevens in de tekeningen doorgevoerd. Hieronder vindt u een overzicht van de aangepaste tekeningen en de oorspronkelijke tekeningen die ze vervangen.

Tabel 1.1 overzicht tekeningen

Oorspronkelijke tekening	Gewijzigd in	Naam/inhoud
C3-01A	482.15.2.039-104	Kabelroute rondom transformatorstation
C3-01B	482.15.2.039-102	Kabelroute rondom transformatorstation
C4-01	482.15.2.039-106	Dwarsprofiel/bovenaanzicht boring A7 Breezanddijk
C4-01A	482 15 2 039-202	Opstelplaats boorinstallatie Breezanddijk
C4-05A	482.15.2.039-103	Boring ten westen van Kornwerderzand
C4-06	482.15.2.039-100 / 482.15.2.039-101	Dwarsprofiel boring Kornwerdersluizen IJsselmeerzijde
C4-06A	482 15 2 039-200	Opstelplaats boorinstallatie Kornwerderzand
C4-06B	482 15 2 039-201	Uitleggen mantelbuizen, kattenrug opstelling
C4-07	482.15.2.039-105	Boring ten Oosten van Kornwerdersluizen tot bovenkant fietspad
-	482.15.2.039-130	Locatie kwelremmende voorziening boring A Kornwerdersluizen
-	482.15.2.039-131	Locatie kwelremmende voorziening boring B Kornwerdersluizen
-	482.15.2.039-132	Locatie kwelremmende voorziening boring parkbekabeling (8)
-	482.15.2.039-133	Locatie kwelremmende voorziening boring parkbekabeling (7)

1.2 Aanvullende informatie

1a Elektriciteitskabel door Afsluitdijk

Risico lengte effect kabel en verwachting holle ruimtes, meer specifiek hieraan gerelateerde informatie:

- Aanleveren onderbouwing over eigenschappen van de kabel
- Aanleveren nadere informatie over de potentiële beweging van de kabel in de ondergrond en het optreden van holle ruimtes.

In de oorspronkelijke aanvraag is reeds ingegaan op de grond-kabelinteractie waarbij is gekeken naar het scenario 'maatgevend hoog water tegen de dijk' en de 'maximale verhoging van de tuimeldijk'. Uit de berekening van Fugro blijkt dat de verhoging van de tuimeldijk maatgevend is voor de grondvervorming bij de kabels. De berekening laat vervormingen zien van circa 0,03 meter met een maximum van 0,05 m. Deze grondvervormingen treden ook op zonder de aanwezigheid van de kabel.

In het overleg van 6 augustus jl. is gevraagd naderde informatie aan te leveren over het gedrag van de kabel in de ondergrond ter bevestiging van hetgeen tijdens de overleggen met Rijkswaterstaat is toegelicht. Dit in relatie tot de vraag of kabels onder invloed van temperatuursverandering in de kabel uitzetten en bewegen in de bodem waardoor holle ruimtes kunnen ontstaan.

Aanvullende informatie:

Kabeleigenschappen

Ingenieursbureau Ensol, gespecialiseerd in hoogspanningsnetwerken, heeft een aanvullende toelichting gegeven op de eigenschappen van de kabel. Zoals in het overleg met u toegelicht worden kabels project specifiek ontworpen op basis van ondermeer de eigenschappen van het type windturbine dat wordt toegepast en de locatie/omgeving van de kabel. Ensol licht toe welke normen gehanteerd worden ten behoeve van het ontwerp van de kabel. Centraal staat de NEN-IEC 60287 voor de dimensionering van de kabel. De memo van Ensol is in bijlage 6 opgenomen. Op basis van de eigenschappen van de kabel en de ervaringen in de praktijk heeft Ensol inzicht gegeven in de mate waarin een kabel in de grond kan bewegen.

Kortweg komt dit er op neer dat bij het begraven van een kabel in de grond de uitzetting van de kabel volledig belemmerd wordt doordat de kabel gefixeerd is door de omringende grond. De uitzettingscoëfficiënt van met name de kabelkern die gerelateerd is aan de kerntemperatuur leidt tot een kracht, echter vertaald deze zich niet in beweging (aangezien dit niet mogelijk is) maar wordt omgezet in een zogeheten stuikkracht in de kabel. Deze stuikkracht in de lengterichting van de kabel wordt grotendeels bepaald door de doorsnede van de geleider en uit zich aan de einden van de kabelgeleider. De grootte van deze stuikkracht is onafhankelijk van de lengte van de kabel. Deze stuikkracht wordt uiteindelijk opgevangen bij de eindsluitingen van de kabel door de eindsluitingen en de ondersteuningsconstructies van de eindsluitingen. Ensol geeft aanvullend aan dat het haar ervaring in de praktijk is dat bij kabels die zijn opgegraven geen verplaatsing van kabels in de ondergrond is waargenomen wat voorgaande bevestigd. Voorgaande is ook in lijn met de conclusies uit het overleg met u van 29 juni 2015.

Holle ruimtes

Door Fugro is in het rapport van 21 mei 2015 op basis van conservatieve aannames de verwachte zetting bij de kabel onderzocht. In principe is zetting ten gevolge van aanleg tot een minimum beperkt bij correcte uitvoering van de aanleg (aangenomen is conservatief 0,01 m) en relevante zetting van de Afsluitdijk is niet aan de orde gezien de leeftijd van de Afsluitdijk. Echter voor de toekomstige versterking van de Afsluitdijk is mogelijk een verhoging van de kering één van de versterkingsopties. In de aanvraag is, conform het verzoek van Rijkswaterstaat, uit gegaan van de maximale potentiële zetting bij deze versterkingsoptie. Dit bleek bij de grootste denkbare ophoging (conform opgave Rijkswaterstaat) van de Afsluitdijk circa 0,03 meter te zijn, conservatief is uitgegaan van 0,05 m om rekening te houden met onzekerheid in de berekening. Aanvullend is nu onderzocht in hoeverre de kabel meebeweegt met zetting en of als gevolg van de mate van (afwezigheid van) meebewegen holle ruimtes langs de kabel kunnen ontstaan en of dit gevolgen kan hebben voor de veiligheid van de kering. Het onderdeel over holle ruimtes is door Fugro opgenomen in hoofdstuk 4 van hun rapportage (bijlage 4).

Om te bepalen of de kabel meebeweegt met zetting of stijf in de grond ligt waardoor holtes langs de kabels ontstaan zijn conform het voorstel van de adviseur van Rijkswaterstaat liggerberekeningen uitgevoerd met het programma PLE door Tebodin (bijlage 5). Deze rekenmethode wordt in principe gebruikt voor buisleidingen (zoals stalen gasleidingen) maar is voor een indicatie ook toegepast voor de kabelcircuits van Windpark Fryslân. Op basis van EI en EA karakteristieken is een berekening uitgevoerd.

Op basis van een beschouwing van de grond-kabelinteractie met behulp van het PLE model is geconcludeerd dat voor de kabel in de lengte richting in de dijk holle ruimtes verwaarloosbaar zijn. De kabel beweegt mee met eventuele zettingen. Op locaties waar zakkingsverschillen over korte afstand (abrupt) kunnen optreden kunnen holle ruimtes langs de kabels ontstaan. Dit is niet geheel uit te sluiten bij aansluiting van kabels bij kruisingen. Dit betreft de locaties van de boringen.. Voorafgaand aan de realisatie zal in het definitieve ontwerp aandacht aan de aansluiting worden besteed en verantwoord worden of maatregelen, zoals toepassing van getrompt uiteinden van de mantelbuizen, gewenst zijn. Mogelijk is dan ook reeds bekend of de ophoging van de Afsluitdijk de mate krijgt die hier als worst case uitgangspunt ten behoeve van het bepalen van zetting is gehanteerd.

Hoewel de kans op holle ruimtes nauwelijks aanwezig is, is aanvullend door Fugro beoordeeld wat een holle ruimte in potentie kan betekenen voor de stabiliteit van de dijk. Hierbij is gekeken naar de potentiële afname van de erosiebestendigheid en de mogelijke uitspoeling van holle ruimtes.

In de rapportage van Fugro komt naar voren dat ook als holle ruimtes over grotere lengte zouden optreden dit geen effect op de stabiliteit van de kering heeft aangezien de potentiële zettingstrog (0,01 a 0,02 m diep) dermate beperkt is dat dit naar verwachting niet leidt tot scheurvorming in het asfalt van het fietspad en omdat holtes in de lengterichting van de dijk liggen waardoor geen grondwaterstroming optreedt.

Vraag 1b HDD-boringen:

- Aanleveren resultaten berekeningen op basis van de zettingsmethode Peck (incl. plastische straal berekeningen) voor de verschillende locaties waar dit relevant is;
- De berekeningen dienen te worden uitgevoerd conform de NEN 3650-1. De grond mechanische parameters kunnen worden gebruikt om een volledige sterkteberekeningen uit te voeren zoals beschreven in 3650-2. De kabel kan dan als ligger worden beschouwd (waarvan de EI en EA bekend zijn). In de berekeningen dienen alleen de grond- en temperatuur belasting (axiaal en tangentieel) te worden meegenomen. De overige in NEN 3650 par. 8.2.7 genoemde belastingen zijn niet relevant. De partiële factoren op de grond mechanische parameters kunnen worden toegepast, NEN 3650-1 tabel B4. Aangezien het een ontwerpsituatie betreft dienen ook de belasting factoren voor temperatuurverschillen en opgedrongen vervormingen te worden toegepast conform NEN 3650-2 tabel 2 (c en /of e, afhankelijk hoe de temperatuurverschillen worden gemodelleerd). Het is van belang om de zettingsverschillen per lengte te gebruiken in de berekeningen.

Rijkswaterstaat wil graag meer informatie over potentiële zettingen en druk bij en ter plaatse van HDD-boringen, door middel van berekeningen op basis van de zettingsmethode Peck, conform het voorstel van Deltares, inclusief plastische straal. Ten behoeve van de uitvoerbaarheid van het project is het voor Rijkswaterstaat van belang inzichtelijk te hebben of er zettingen kunnen optreden en in welke mate.

Aanvullende informatie:

De verschillende boringen in het tracé die de onderdelen van de dijk kruisen, zijn uitgewerkt in boorplannen die als bijlage 3 bij deze aanvulling zijn opgenomen. De boorplannen betreffen een mogelijke uitwerking van de uitvoering van de boringen en dienen als input voor de gevraagde berekeningen. De definitieve boorplannen worden 3 maanden voorafgaand aan de werkzaamheden aan Rijkswaterstaat voorgelegd, zoals ook in de oorspronkelijke aanvraag aangevraagd.

Volumeverlies

Voor de boringen wordt uitgegaan van een minimale zetting. Bij boringen wordt veelal bentoniet gebruikt om een boorgang in stand te houden. Voor de langere termijn kan dit echter aan volume verliezen waardoor zetting optreedt. Zoals in het overleg met Rijkswaterstaat naar voren is gekomen kan dit door middel van toepassing van groutinjectie worden voorkomen. Uitgangspunt van de aanvraag is dan ook de toepassing van grout, indien uit de definitieve ontwerpen blijkt dat dit vereist is teneinde zetting te vermijden.

Als aanvullende informatie is met de Methode Peck een berekening uitgevoerd van de zetting met alleen toepassing van bentoniet en voor de boringen waar dit vereist is op grond van de berekening (omdat zetting optreedt) met groutinjectie.

Met betrekking tot het volumeverlies geldt het volgende. Een boorgat wordt in stand gehouden doordat deze wordt opgevuld met een bentonietmengsel. Dit bentoniet heeft een laag volumiek gewicht (ca. 1150 a 1200 kg/m³) en een hoog watergehalte en zal op termijn samendrukken door het gewicht van de omliggende grond. Voor de berekeningen is een volumeverlies van 75% gehanteerd, wat als worst-case kan worden beschouwd. Door het toepassen van groutinjectie treedt namelijk geen volumeverlies op bij goede toepassing (navraag bij de

groutspecialist van een leverancier van onder meer grout voor de olie- en gasboringsindustrie, leert dat bij verschillende tunnelboringen is aangetoond dat er geen verlies optreedt).

Methode Peck

Voor de boringen is een berekening uitgevoerd op basis van de methode Peck. De berekeningen en resultaten zijn weergegeven in bijlage 4 (hoofdstuk 5). Op basis van de berekeningen met de methode Peck komt naar voren dat er zakkingen kunnen optreden bij de conservatieve aanname van gebruik van bentoniet en geen grout. Hieronder is per boring aangegeven wat de maximale zakkingen kunnen zijn:

- Aanlanding Breezanddijk – 0,01 meter
- Onder A7 bij Breezanddijk – 0,04 meter
- Onder A7 westzijde Kornwerderzand – 0,07 meter
- in het IJsselmeer bij de passage Kornwerdersluizen – 0,06 – 0,10 meter
- Onder de A7 oostzijde Kornwerderzand – 0,04 meter

De berekeningen met de methode Peck voor de maaiveldzakkingen t.g.v. volumeverlies van het bentoniet mengsel laten zien dat er met de gekozen uitgangspunten zakkingen kunnen optreden. De uitgangspunten (bentoniet met volumeverlies van 75%) zijn echter zeer conservatief. Door gebruik te maken van groutinjectie treedt er geen volumeverlies op en zijn zakkingen niet aan de orde (zie tevens onderstaande tabel). Voor de boringen voor Windpark Fryslân wordt groutinjectie toegepast om het volumeverlies (en daarmee de zettingen) tot een verwaarloosbaar niveau te beperken; conform de basis van de aanvraag. Uit de berekeningen blijkt dat bij de boringen voor de aanlanding van Breezanddijk groutinjectie in principe achterwege kan blijven gezien de potentiële minimale zetting.

Tabel 1.2 Overzicht Peckberekeningen (uit Fugro-rapportage)

Locatie	Naam	Diepte	Object	Max. zakkingen (zonder grout)	Max. zakkingen (met grout)
1	Aanlanding Breezanddijk	5,3 m	Steenbekleding	0,01 m	niet van toepassing
2	Onderdoorgang A7 t.h.v. km. 86.581 tot km 86.875	9,7 m	Rijksweg	0,04 m	0,00 m
3	Onderdoorgang A7 t.h.v. km. 95.952 tot km 96.148	4,7 m	Rijksweg	0,07 m	0,00 m
4	Voorhaven en sluis Kornwerderzand	7,5 m*	Onderkant meerpaal	0,06 m	0,00 m
4	Voorhaven en sluis Kornwerderzand	5,0 m	Steenbekleding	0,10 m	0,00 m
5	Onderdoorgang A7 t.h.v. km. 97.390 tot km 97.715	7,5 m	Fietspad / rijksweg	0,04 m	0,00 m
6	Onderdoorgang vismigratierivier	5,0 m	Onderkant funderingspalen coupure vismigratieriver	0,12 m	0,00 m**
6	Onderdoorgang vismigratierivier	16,7 m	Rijksweg	0,03 m	0,00 m

Plastische straal berekening

In de boorplannen in bijlage 3 (onder 1.7) zijn de plastische straal berekeningen voor de verschillende boringen opgenomen. De berekeningen geven de maximale straal rond de boorgang weer, waar mogelijk vervorming optreedt. De toelaatbare boorspoeldruk is afhankelijk van deze plastische straal en wordt hierop afgestemd. De berekeningen tonen aan dat de boringen elkaar onderling niet beïnvloeden.

Stabiliteit waterkering HDD-boring

In de eerdere rapportage van Fugro is de stabiliteit van de kering beschouwd bij de verschillende boringen. Op basis van de detailengineering van de HDD boringen (boorplannen) is aanvullend bekeken in hoeverre bij de uitgewerkte boringen andere effecten kunnen optreden. Voor alle boringen concludeert Fugro dat er geen negatieve effecten op de stabiliteit van de dijk zijn te verwachten.

Kwelweg

Voor de HDD boringen is tevens een kwelwegberekening uitgevoerd (zie boorplannen bijlage 3). De berekening laten een beperkte kans op kwel zien. Dit wordt echter voorkomen door het gebruik van drill-grout en/of kwelwegremmende voorzieningen (kleikist of kwelscherm). Fugro geeft hierbij overigens in haar rapportage aan dat kwel geen risico vormt aangezien er niet van buitendijks gebied naar binnendijks gebied geboord wordt. Ten tweede is er geen sprake van een waterstandsverschil tussen de in- en uittredepunten.

Zettingsvloeiing

Aanvullend is door Fugro gecontroleerd of de HDD boringen tot zettingsvloeiing kunnen leiden. Op basis van de beschouwing in bijlage 4 kan worden geconcludeerd dat het risico op zettingsvloeiing door toedoen van de voorziene HDD-boringen voldoende klein is.

Vraag 1c Kwaliteit grasmat;

- Inzichtelijk maken waar de warmte, die zich ontwikkelt in de kern van de kabel naar toe gaat. Tevens aangeven mocht de kabel invloed hebben op de kwaliteit van de grasmat welke beheer- en onderhoudsmaatregelen getroffen kunnen worden.

Rijkswaterstaat wil graag meer inzicht in de warmteontwikkeling van de kabel en de afgifte naar de omgeving met als achtergrond te kunnen beoordelen of in potentie negatieve effecten op de vegetatie van de kering kan optreden. De vegetatie heeft een functie in het overslagbestendige karakter van de kering.

Aanvullende informatie:

Als aanvullende informatie is enerzijds informatie opgenomen over de warmte van de kabel. Tevens is door Fugro een meer gedetailleerde berekening van de warmteontwikkeling in de bodem op basis van locatie specifieke modellering. Daarbij is een extreem scenario (een soort 'schok'effect) gemodelleerd om inzicht in de potentiële effecten te verkrijgen.

De grootste temperatuurval ten gevolge van de warmtestroom van de kabels vindt plaats in de kabel zelf door de isolatie van de kabel. Met andere woorden: de mantel heeft een isolerende werking waardoor de warmte van de kern aanmerkelijk hoger is dan de temperatuur van de

mantel. Dit heeft als gevolg dat zelfs bij een hoge geleider temperatuur, de temperatuur van de buitenmantel van de kabel beduidend lager is (zie ook bijlage 6). De warmte afkomstig van de buitenmantel van een kabel verspreid zich naar de omliggende grond. waarvan het meeste zich naar het maaiveld zal verspreiden.

In de Fugro rapportage van 21 mei 2015 is op basis van een kwalitatieve analyse reeds geconcludeerd dat geen meetbare invloed van de temperatuurverhoging door de aanwezigheid van de kabel op de kwaliteit van de grasmatten optreedt. Om meer inzicht te krijgen in de bodemwarmtestroom naar het maaiveld is door Fugro (zie bijlage 4, onderdeel 6) nader gekeken naar de verdeling van de warmtestroom en de tijdverdeling van de warmtestroom.

De invloed van de temperatuur van kabels op de grasmatten is beschouwd door middel van modelberekeningen waarin precies de situatie bij de Afsluitdijk bij twee doorsnedes is nagebootst voor gemiddelde temperaturomstandigheden. Uit deze modelberekeningen volgt dat onder toepassing van diverse conservatieve scenario's de temperatuur in de wortelzone tijdens normaal bedrijf van de windturbines maximaal met enkele graden stijgt en voor een extreem scenario na 11 dagen intensief bedrijf (11 dagen 17-18 m/s, windkracht 7/8 op ashoogte), gevolgd door een hittegolf, maximaal met 6 graden. Dit is een uitzonderlijk scenario aangezien een dergelijk langdurig windaanbod een bijzondere lage kans van voorkomen heeft, waarbij ook de combinatie met een hittegolf (een hoog windaanbod is niet kenmerkend voor de zomerperiode) worst case is.

Na een lange, droge en warme periode kunnen de kabels een gering negatief effect hebben op de bodemwaterreserve bij de grasmatten. Dit kan in potentie een negatief effect hebben op de vegetatie (beschikbaarheid vocht). Voorafgaand aan een hittegolf begint het gras boven de kabels door de versterkte verdamping met ongeveer 1 dagbudget lagere bodemwaterreserve per twee weken droogte voorafgaand aan de hittegolf. Op basis van het kleiprofiel heeft gras op de Afsluitdijk een bodemwaterreserve van ongeveer 14 dagen. Indien een intensieve windperiode voorafgaat aan een hittegolf, gaat een dagbudget extra verloren.

Op grond van deze berekeningen heeft de aanwezigheid van de kabel geen significante invloed op de grasvegetatie op de Afsluitdijk. Fugro tekent daarbij aan dat in de praktijk tijdens hittegolven geen grootschalige aantastingen van gras op dijken wordt waargenomen en derhalve eveneens wordt verwacht dat de veel geringere temperatuurstijging door de warmte van de kabels geen significante invloed zal hebben. Een gunstige bijkomstigheid van de Afsluitdijk is de ligging tussen open waterpartijen met bijbehorende hoge luchtvochtigheid en lage luchttemperaturen.

Mocht mitigatie wenselijk zijn kan het tekort aan bodemvocht eenvoudig worden aangevuld door middel van beregening.

Aangezien in de praktijk in principe de kwaliteit van de grasmatten in relatie tot het weer (met name het aanbod en de onttrekking van vocht) beperkt wordt gemonitord wordt aanvullend op hetgeen in de aanvraag is aangegeven toegevoegd dat:

- Gedurende vijf jaar wordt jaarlijks, op een door Rijkswaterstaat te bepalen moment, een grastoets conform de VTV uitgevoerd teneinde de ontwikkeling van de vegetatie na aanleg

van de kabel te monitoren en maatregelen te treffen indien herstel na aanleg onvoldoende is (niet voldoet aan de van toepassing zijnde kaders);

- Gedurende vijf jaar een monitoringsprogramma uit te voeren gericht op het bepalen van het effect op de omgevingscondities van de vegetatie ten gevolge van de aanwezigheid van de kabels. Drie maanden voorafgaand aan de aanleg van de kabels wordt een monitoringsprogramma ter goedkeuring aan Rijkswaterstaat voorgelegd. Het monitoringsprogramma resulteert in inzicht in de potentiële effecten en een advies over de momenten waarop berekening vereist is.

Vraag 2: Passage coupure vismigratierivier

Een nadere uitwerking maken voor de passage coupure vismigratie en de aan- en afvoer hiernaartoe op grond van de tot nu toe beschikbare informatie. De nadere uitwerking dient te bestaan uit tekeningen en een toelichting op de effecten van de kabel op de kerende functie van de coupure. Hierbij dient tevens aandacht te zijn voor de mogelijke effecten van minder gronddekking.

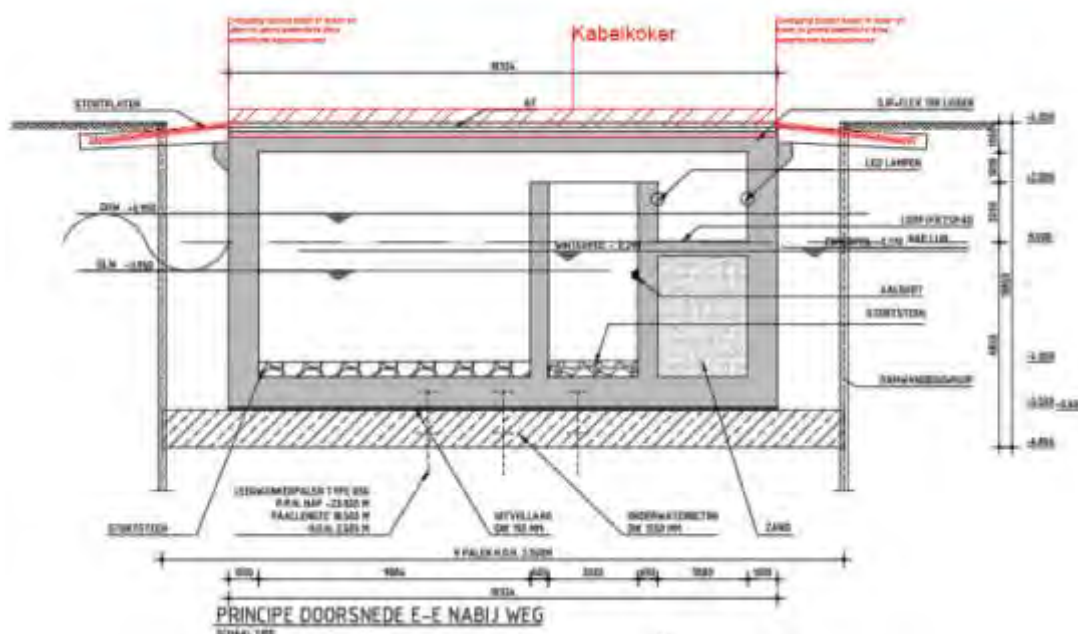
Aanvullende informatie:

Het ontwerp van de coupure wordt door Rijkswaterstaat meegenomen in het DBFM-contract voor de versterking van de Afsluitdijk, wat betekent dat het definitieve ontwerp van de coupure pas later wordt bepaald door de aannemer van Rijkswaterstaat. Het ontwerp is op het moment van indienen van deze aanvraag dan ook slechts als (concept) voorontwerp beschikbaar. Op basis van dit concept is door Windpark Fryslân bekeken op welke wijze de kabel de coupure zou kunnen kruisen. Dit is mogelijk door de kabel in een beschermende koker onder het fietspad door te trekken. Hiervan is een nadere uitwerking gemaakt. Voor de realisatie van deze optie geldt dat er in het ontwerp van de coupure rekening moet worden gehouden met de ligging van de kabel. Uit de uitwerking zijn randvoorwaarden naar voren gekomen die de kruising van de kabel door de coupure mogelijk maken. Wanneer voor optie 1 wordt gekozen kunnen deze randvoorwaarden in het definitieve ontwerp van de coupure worden meegenomen.

Kruising VMR

De kabel ligt aan weerszijde van de coupure onder het fietspad. Het fietspad komt op de coupure op een betonnen brug (constructie coupure) te liggen. De kabel wordt in een beschermende koker (mantelbuis) in die constructie onder het fietspad doorgetrokken op ongeveer dezelfde hoogte als de ligging van de kabel in de dijk. Hierbij wordt de kruising van de kabel met de muur aan beide kanten grond- en waterdicht afgedicht, waardoor er geen grondwater kan uittreden. In figuur 1.1 is een weergave van de kabelkoker ten opzichte van de coupure te zien.

Figuur 1 Mogelijke kruising coupure



Door Fugro is bepaald in hoeverre de kruising een effect heeft op de veiligheid van de coupure, waarbij, op basis van de 'Leidraad Kunstwerken' is gekeken naar drie aspecten die voor een type 1 constructie van belang zijn:

- Kerende hoogte;
- Betrouwbaarheid van de afsluitmiddelen;
- Sterkte en stabiliteit.

De rapportage van Fugro is opgenomen in bijlage 4 (hoofdstuk 3) bij deze aanvulling. Hierin concludeert Fugro dat de kabel geen invloed op de kerende hoogte van het kunstwerk heeft omdat deze niet kruist met het afsluitmiddel.

Wederzijdse beïnvloeding van de windpark bekabeling en de bedieningskabels van het sluitwerk in de coupure kan worden voorkomen, door voldoende afstand aan te houden. Op grond van de gewenste locatie van de hoogspanningskabels en de afstand tot de sluitend delen in het voorontwerp vormt dit naar verwachting geen belemmering. Dit draagt er tevens toe bij dat in het uitzonderlijke geval dat de kabels reparatie behoeven geen schade aan de meet- en regeltechniek kan optreden.

Door de aansluitingen van de koker waterdicht af te dichten is lekkage in de dijk, wat kwel en erosie kan veroorzaken, uitgesloten. Zolang de aansluiting met de muur waterdicht is afgesloten zullen ook eventuele holle ruimtes geen effect hebben op de sterkte van de muurconstructie. De muur kan hier tevens op worden gedimensioneerd in het definitieve ontwerp.

Ten behoeve van het definitieve ontwerp van de coupure zijn de volgende randvoorwaarden geformuleerd.

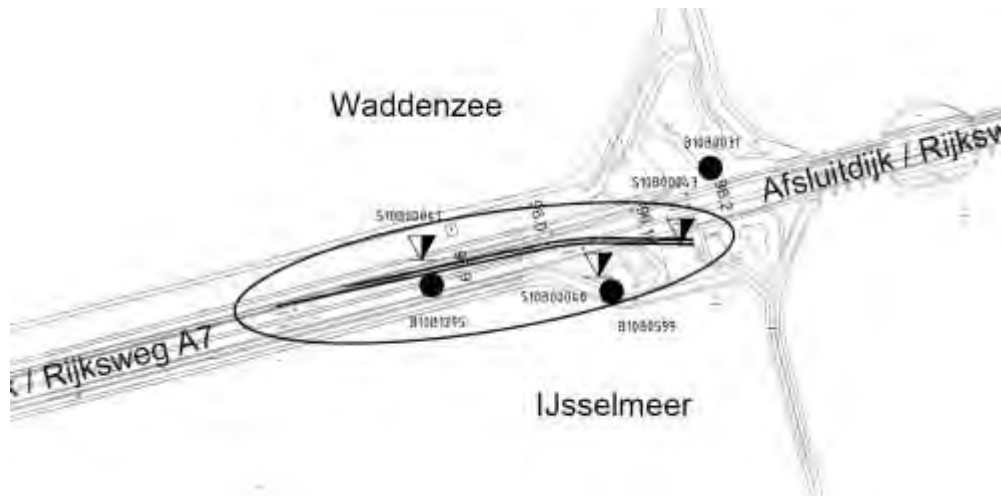
Randvoorwaarden ten behoeve van het definitieve ontwerp van de coupure bij optie 1:

- In de constructie van de coupure 4 mantelbuizen aanbrengen van 250mm doorsnede;
- De ligging van de mantelbuizen volgens de tekening in bijlage 7;
- De mantelbuizen aan weerszijde een meter laten uitsteken;
- Aansluiting van de kabel dusdanig leggen dat bij significante ophoging van de dijk de kabel ruimte heeft om te zakken (op het overgangspunt niet onderin de mantel leggen);
- Toepassing van water- en gronddichte aansluiting op de constructie van de coupure;
- Windpark Fryslân BV tijdig betrekken bij raakvlak overleggen voor een goede samenwerking tussen betrokken partijen;

Alternatief

Een alternatieve methode om de coupure te passeren is door middel van een gestuurde boring. Uitgangspunt voor windpark Fryslân op dit moment is de coupure bovenlangs te passeren, zoals hierboven beschreven. Mocht uit het overleg met de betrokken stakeholders naar voren komen dat het wenselijk wordt geacht een boring toe te passen zal Windpark Fryslân BV de aanvraag hierop aanvullen of een verzoek tot wijziging van de vergunning indienen. Qua effecten op de kering zijn de effecten van de betreffende boring niet anders dan voor andere boringen en is deze potentiële verandering derhalve effectneutraal.

Figuur 2 Alternatief: HDD-boring onder de dijk



Vraag 3 Werkeiland

Graag aangeven voor welke scheepvaartklasse de kade en afmeervoorzieningen worden ingericht en op welk moment een definitief ontwerp ter goedkeuring wordt voorgelegd aan Rijkswaterstaat.

Aanvullende informatie:

De kade en afmeervoorzieningen voor het werkeiland worden maximaal ingericht voor scheepvaartklasse III. Hierbij horen de volgende karakteristieken:

Tabel 1 Scheepvaartklasse

Klasse	Lengte (m)	Breedte (m)	Diepgang (m)	Hoogte (m)	Laadvermogen (ton)
III	67-80	8,2	2,5	4-5	650 – 1000

3 maanden voorafgaand aan de aanleg van het werkeiland wordt een definitief ontwerp ter goedkeuring aan Rijkswaterstaat voorgelegd.

Vraag 4 Mobiliteitsplan

Graag een nadere toelichting aanleveren op welke wijze ervoor gezorgd kan worden dat de RWS werken gedurende werkzaamheden toegankelijk blijven voor:

- De (dijk) beheerder als het gaat om de Afsluitdijk als waterkering;
- Vaarwegverkeer als het gaat om de Lorentzsluizen;
- Wegverkeer als het gaat om de rijksweg A7;
- Langzaam verkeer als het gaat om de verbinding van Noord-Holland – Friesland.

Daarbij tevens aangeven op welk moment een definitief mobiliteitsplan wordt aangeleverd en op welk moment afstemming met de dijk-, weg-, en vaarwegbeheerder plaats vindt voorafgaand aan het definitieve mobiliteitsplan.

Aanvullende informatie:

In bijlage 1 is een mobiliteitsplan opgenomen waarin wordt toegelicht hoe de Rijkswaterstaatwerken tijdens de werkzaamheden van Windpark Fryslân bereikbaar blijven voor de dijkbeheerder, het vaarwegverkeer, wegverkeer en fietsverkeer. In het mobiliteitsplan is een mogelijke uitvoeringsoptie uitgewerkt, waarbij wordt toegelicht hoe om wordt gegaan met o.a. ruimtegebruik op de dijk tijdens de werkzaamheden, benodigde maatregelen voor het verkeer en de veiligheid voor de gebruikers van de Rijkswaterstaatwerken. Het mobiliteitsplan betreft een mogelijke uitwerking van hoe de uitvoering plaats zou kunnen vinden. Een definitief mobiliteitsplan wordt 3 maanden voorafgaand aan de werkzaamheden met Rijkswaterstaat overlegd. Uiterlijk 3 maanden voorafgaand aan het indienen van het definitieve mobiliteitsplan wordt met de dijk-, weg-, en vaarwegbeheerder afstemming gezocht.

Vraag 5 Verwijdering

Per aangevraagd onderdeel de beoogde verwijderingswijze aangeven, in de vorm van een principe verwijderingsplan.

Aanvullende informatie:

In bijlage 2 is een principe verwijderingsplan opgenomen, waarin per onderdeel van het windpark wordt omschreven wat, op welke wijze wordt verwijderd. Het betreft een principeplan, waarin op hoofdlijnen wordt toegelicht wat wordt verwijderd en op welke wijze dat (in principe) zal gebeuren. Uitgangspunt is dat alle onderdelen geheel of (waar mogelijk) deels worden verwijderd met uitzondering van heipalen en mantelbuizen. Voorafgaand aan de verwijdering wordt Rijkswaterstaat een definitief verwijderingsplan opgesteld. Dit zal 3 maanden voorafgaand aan de ontmanteling ter goedkeuring aan Rijkswaterstaat worden voorgelegd. In het principe verwijderingsplan staat omschreven uit welke elementen het definitieve plan zal bestaan.

Bijlage 1 Mobiliteitsplan



NOTITIE MOBILITEIT

Datum	14 September 2015
Aan	Rijkswaterstaat
Van	Florentine van der Wind
Betreft	Notitie mobiliteit ten behoeve van de vergunningaanvragen Windpark Fryslân
Projectnummer	709026

Aanleiding

Op 14 juli 2015 heeft Pondera Consult namens Windpark Fryslân B.V. een vergunningaanvraag op grond van de Waterwet (RWSV2015-00003566, met kenmerk RWS-2015/31477) en Wet beheer rijkswaterstaatswerken (RWSV2015-00003545, met kenmerk RWS-2015/31493) ingediend. Per brief van 25 augustus jl. is een verzoek door Rijkswaterstaat (RWS) gedaan voor aanvullende gegevens.

In deze brief is onder andere gevraagd om een nadere toelichting op welke wijze ervoor gezorgd wordt dat de RWS werken gedurende werkzaamheden toegankelijk blijven voor:

- De beheerder;
- Vaarwegverkeer;
- Wegverkeer;
- Langzaam verkeer.

Tevens dient te worden aangegeven op welk moment een definitief mobiliteitsplan wordt aangeleverd en op welk moment afstemming plaats vindt met dijk-, weg- en waterbeheerder voorafgaand aan dit plan.

Deze notitie gaat in op een mogelijk wijze waarop de RWS werken voor bovengenoemde gebruikers toegankelijk blijven. Aangezien de aanleg naar verwachting pas over enkele jaren plaatsvindt en nog geen aannemers zijn geselecteerd, zoals met u gecommuniceerd zijn op dit moment nog niet alle technische uitvoeringsdetails bekend, derhalve wordt een mobiliteitsplan drie maanden voorafgaand aan de aanvang van de betreffende werkzaamheden ter goedkeuring ingediend (), dit is een bijlage bij het definitieve werkplan voor de betreffende werkzaamheden. Uiterlijk 6 maanden voorafgaand aan de voorziene start van de bouw wordt overleg opgestart met de vaar-, weg- en dijkbeheerder over het mobiliteitsplan.

Voor onderhavig document is op grond van voorgaande waar nodig van de worst-case situatie uitgegaan en / of zijn conservatieve aannames gedaan. De aanvullende informatie is bedoeld om vragen met betrekking tot de uitvoerbaarheid van de werkzaamheden te onderbouwen.

Het uitgangspunt is om de aanleg van de kabels in de Afsluitdijk in één seizoen tussen 1 april en 1 oktober uit te voeren. Er zullen geen aanlegwerkzaamheden plaatsvinden in het stormseizoen (tussen 1 oktober en 1 april). Als uitgangspunt is door Rijkswaterstaat staat gesteld dat gedurende de werkzaamheden een verbinding voor langzaam verkeer (fietsers) in stand wordt gehouden en dat de beheerder toegang heeft tot de dijk. Daar waar fietsers worden omgeleid kan de beheerder gebruik maken van de strook voor werkverkeer.

Toegankelijkheid RWS werken beheerder, wegverkeer en langzaam verkeer

Het kabeltracé vanaf Breezanddijk tot de Kop Afsluitdijk kan globaal in drie delen worden onderverdeeld:

1. Transformatorstation Breezanddijk tot ten westen van Kornwerderzand (circa 8 km)
2. Kornwerderzand: boring passage Lorenz sluizen (circa 1 km)
3. Ten oosten Kornwerderzand tot Kop Afsluitdijk (circa 4 km)

Figuur 1 Overzichtstekening Kabeltracé windpark Fryslân



Ad 1. Transformatorstation Breezanddijk tot ten westen van Kornwerderzand

Dit gedeelte van het tracé is het smalste gedeelte van de Afsluitdijk (dijkvak 11). De kabels komen onder het bestaande fietspad annex onderhoudsweg. Voor de aanleg van de werkzaamheden moet het fietspad worden verwijderd. Om gedurende de werkzaamheden een fietsverbinding in stand te houden en voor de benodigde ruimte voor het werkverkeer is omleiding van het verkeer over een tijdelijke rijbaan nodig. Voor de uitwerking op dit moment is als uitgangspunt gekozen om het langzaam verkeer en het werkverkeer te scheiden en daarmee een relatief brede ruimte voor langzaam verkeer te handhaven. In de huidige situatie is dit voor het fietspad niet het geval (beheerder en langzaam verkeer benutten dit beide). Dit is derhalve een voorbeeld van een aanpak die mogelijk uiteindelijk anders kan worden ingevoerd, eventueel met een beperktere breedte tot gevolg. Voor de aanleg van het kabeltracé en om de

vraag van RWS over uitvoerbaarheid te beantwoorden, wordt uitgegaan van een vermindering van het aantal rijstroken volgens een contraflowsysteem (het 3-0-systeem) op tweestrooksrijbanen.

Tekening VM-01 (zie kaartbijlage) geeft de verschillende verkeersstromen schematisch weer. De twee rijbanen richting Den Oever worden gebruikt voor:

- het werkverkeer;
- langzaam verkeer.

De twee rijbanen richting Fryslân worden gebruikt voor:

- 2 versmalde rijbanen voor verkeer richting Fryslân;
- 1 versmalde rijbaan voor het wegverkeer richting Den Oever.

Tegengestelde verkeersstromen worden van elkaar gescheiden door een voertuigkerende barrier. Langzaam verkeer is gescheiden van het wegverkeer door de middenberm met de bestaande geleiderails. Aan de andere kant scheiden barriers langzaam verkeer van het werkverkeer. Het langzame verkeer krijgt op deze manier een eigen strook gescheiden van weg- en werkverkeer.

Langzaam verkeer moet de rijbaan voor werkverkeer 2x kruisen: van het bestaande fietspad naar de tijdelijk fietsstrook en weer terug. Dit kan tijdens de aan- en afvoer van materieel bijvoorbeeld tijdelijk gecoördineerd worden door een stoplicht en/of verkeersregelaar. Gezien het beperkte werkverkeer, de beperkte snelheid van zowel langzaam verkeer als het werkverkeer en de zeer overzichtelijke situatie op de Afsluitdijk zal dit een zeer beperkt effect hebben op langzaam verkeer.

De beheerder kan gebruik maken van de strook voor wegverkeer, rijplaten zijn paraat in het geval dat beheerder aan de andere zijde van de kabelsleuf moeten zijn om waar nodig een tijdelijke toegang / passage te creëren.

Ad. 2 Kornwerderzand: passage Lorentzsluizen

De Lorentzsluizen bij Kornwerderzand worden met een gestuurde boring gepasseerd. Op Kornwerderzand is voldoende ruimte naast de weg voor intrede en uitrede punt van de boring. De aanleg hiervan heeft geen invloed op de mobiliteit. Er is geen omleiding van het wegverkeer via andere rijbanen nodig. Langzaam verkeer (fietsers) en beheerders maken gebruik van de bestaande verbinding.

Ad 3. Traject Kornwerderzand – kop Afsluitdijk. (ca 4 km)

Ten oosten van Kornwerderzand en de Kop Afsluitdijk is de Afsluitdijk breder. De kabels komen naast het bestaande fietspad ten noorden van de A7 te liggen. Voor dit deel van het tracé is geen omleiding van het wegverkeer via andere rijbanen nodig, dit geldt voor beide rijrichtingen.

Voor langzaam verkeer (fietsers) en werkverkeer zijn er twee mogelijkheden:

1. Omleiden langzaam verkeer via de bestaande weg ten zuiden van de A7 en het fietspad aan de noordzijde van de A7 afsluiten en benutten voor werkzaamheden. Eventueel is parallel aan het fietspad een tijdelijke route voor werkverkeer nodig. De beheerder kan gebruik maken van de strook voor werkverkeer.

2. Fietspad / onderhoudsweg ten noorden A7 in gebruik houden voor fietsers en beheerder (mogelijk iets versmald) en werkverkeer via een tijdelijke route ten noorden van het fietspad leiden.

Vaarwegverkeer

De Lorentzsluizen vormen het sluiscomplex bij Kornwerderzand. De sluizen worden gebruikt voor het vaarverkeer tussen de Waddenzee en het IJsselmeer. Het autoverkeer op de Afsluitdijk en het scheepvaartverkeer kruisen elkaar bij de beweegbare bruggen van de Lorentzsluizen. De aanleg van kabeltracé in de Afsluitdijk heeft geen invloed op het vaarwegverkeer en/of de Lorentzsluizen aangezien het kabeltracé middels een gestuurde boring onder het sluisencomplex aan de IJsselmeerzijde wordt aangelegd. Op dit moment is nog niet bekend vanuit waar de aanvoer van de windturbine-onderdelen voor Windpark Fryslân middels scheepsvaartverkeer plaatsvindt. Mogelijk is dit vanuit Amsterdam / IJmuiden waardoor de Lorentzsluizen niet gepasseerd zullen worden. Vanaf het werkeiland zullen ook vaarbewegingen richting het windpark plaatsvinden, dit kruist geen vaarroute op het IJsselmeer.

Voor het vaarwegverkeer geldt dat het hier enkel om regulier vaarverkeer van en naar het werkeiland en het windpark gaat. Voor exceptioneel transport voor het transporteren van grote onderdelen worden, indien nodig, separaat vergunningen aangevraagd door de aannemer.

Het vaarverkeer van en naar het werkeiland heeft slechts beperkt invloed op de beroeps- en recreatievaart op het IJsselmeer. Het werkverkeer tussen het werkeiland en het projectgebied komt niet in de buurt van de vaarroute van en naar de Lorentzsluizen en zal dus geen invloed hebben op de beroepsvaart. Voor de fuikenvissers geldt dat de fuiken ook tijdens de turbinebouw bereikbaar zijn (behalve wanneer de turbines in het fuikengebied zelf worden gebouwd) en dat afstemming plaats zal vinden over het scheepvaartverkeer. Voor de recreatievaart geldt dat het gebied tussen het werkeiland en de turbinelocaties een zeer lage vaarintensiteit kent. Het werkverkeer zal dan ook zeer beperkt van invloed zijn op de recreatievaart.

Voor het werkverkeer dat onderdelen bij het werkeiland aflevert ten behoeve van de aanleg van het windpark, geldt dat het aantal transporten per dag beperkt is, maar dat nog niet bekend is waar deze vandaan zullen komen. Dit zal naar verwachting vanuit het zuiden over het IJsselmeer plaatsvinden gezien de beperkte breedte van de Lorentzsluizen, maar is bijvoorbeeld voor reguliere transporten ook via de sluizen door de Afsluitdijk mogelijk (of beiden). Ook hier geldt dat het reguliere scheepvaart betreft die door de sluizen kunnen en die niet tot stremming leiden aangezien deze onderdeel zijn van het reguliere transport. De hoeveelheid vaarverkeer per dag zal beperkt zijn en niet zorgen voor stremmingen bij sluizen.

Slechts het exceptionele transport, afhankelijk van de turbineleverancier en de wijze van installatie (te denken valt aan horizontaal transport van een volledige rotor of transport van torendelen), is relevant om te beschouwen vanuit het oogpunt van stremming bij passage van doorgangen zoals de Lorentzsluizen. Voor deze transporten wordt separaat ontheffing gevraagd. In het definitieve mobiliteitsplan wordt dit geadresseerd en voorafgaand hieraan wordt dit met de vaarweg- en wegbeheerder afgestemd. In het mobiliteitsplan wordt ingegaan op:

- Het type transporten,

- Het aantal vaarbewegingen,
- Route van de transporten
- Momenten van de dag van de transporten
- Begeleiding van de transporten indien van toepassing
- Beperken stremmingen waterwegen en verkeerswegen

Voor de reguliere transporten is geen bijzondere invloed op de beschikbaarheid van (vaar)wegen te verwachten aangezien dit niet onderscheidend is van overig transport en verkeer. Voor het exceptionele transport van de aanleg van windturbines is geen aanleiding te verwachten dat dit tot onaanvaardbare stremming leidt aangezien dit betrokken wordt bij het mobiliteitsplan en het bevoegd gezag voor de betreffende ontheffing van exceptioneel transport deze afweging maakt.

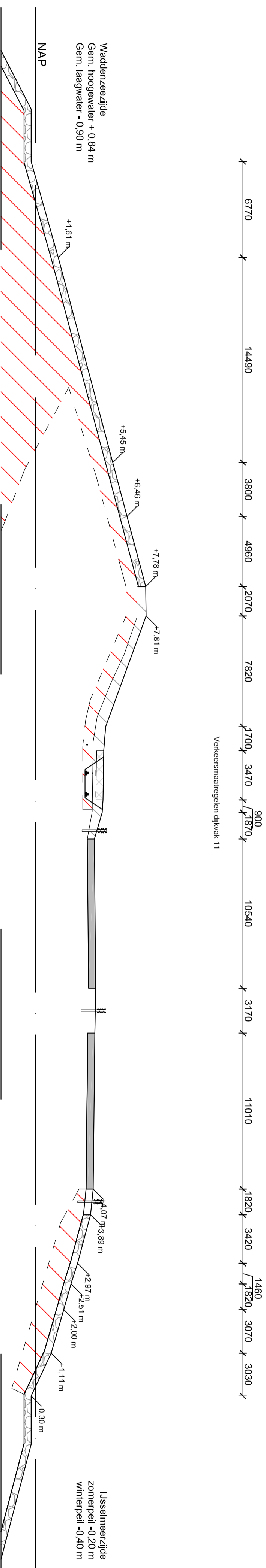
Samenvattend

Het uitgangspunt is dat het kabeltracé in één seizoen wordt aangelegd, binnen het stormseizoen zijn geen werkzaamheden gepland. Het tracé tussen Breezanddijk en tot ten westen van Kornwerderzand is onder het fietspad / onderhoudsweg gepland. Voor dit deel van het traject is voorzien om het wegverkeer en langzaam verkeer om te leiden. De beheerder kan gebruik maken van de rijbaan voor werkverkeer. Voor de passage van de sluisen bij Kornwerderzand en voor het deel tot de Kop Afsluitdijk is geen omleiding van wegverkeer voorzien. Voor fietsers zijn er twee mogelijkheden: niet omleiden (door een tijdelijke verbinding voor werkverkeer) of via de bestaande weg ten zuiden van de A7. Uiterlijk 6 maanden voorafgaand aan de voorziene start van de bouw wordt overleg opgestart met de vaar-, weg- en dijkbeheerder over het mobiliteitsplan.

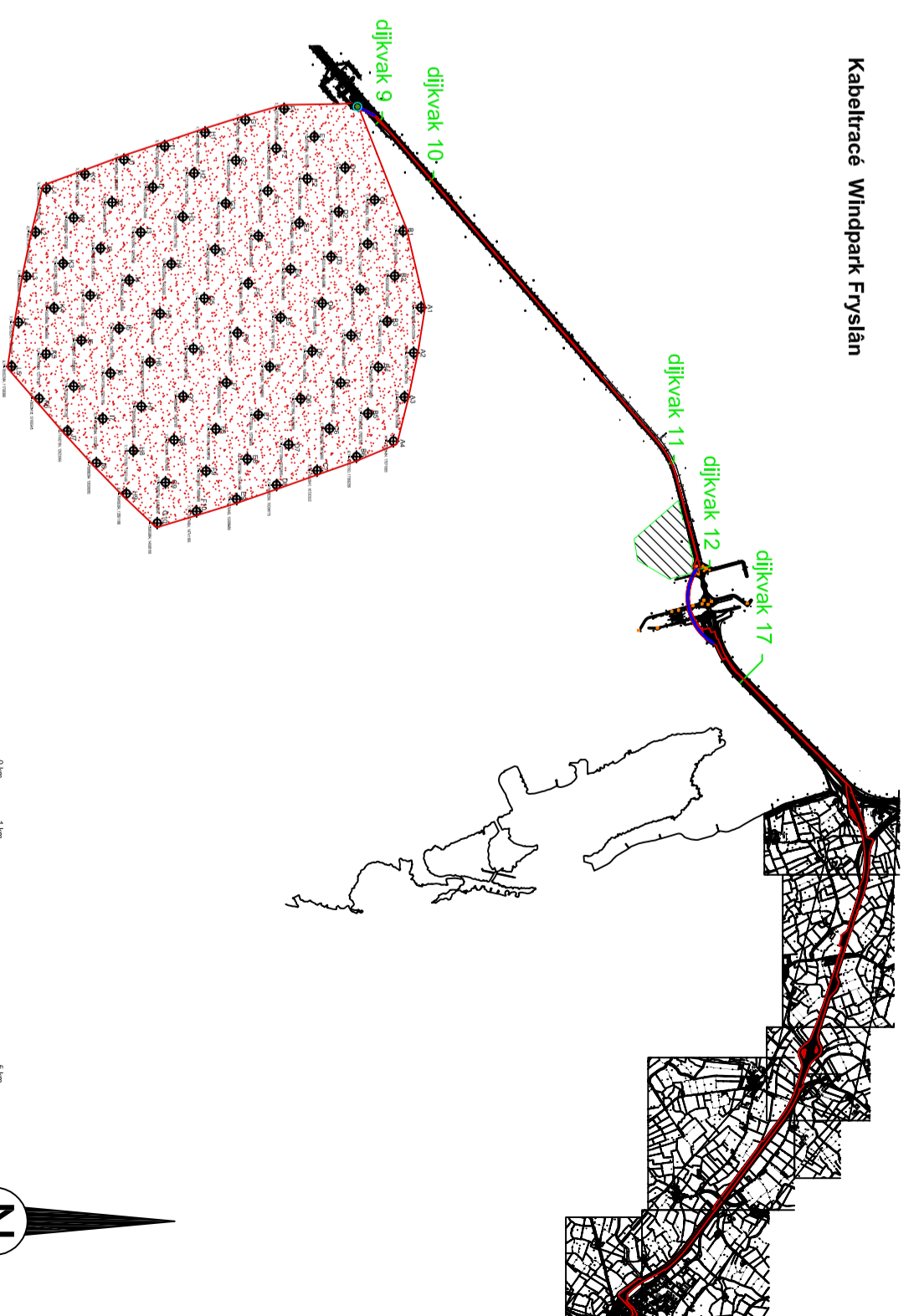
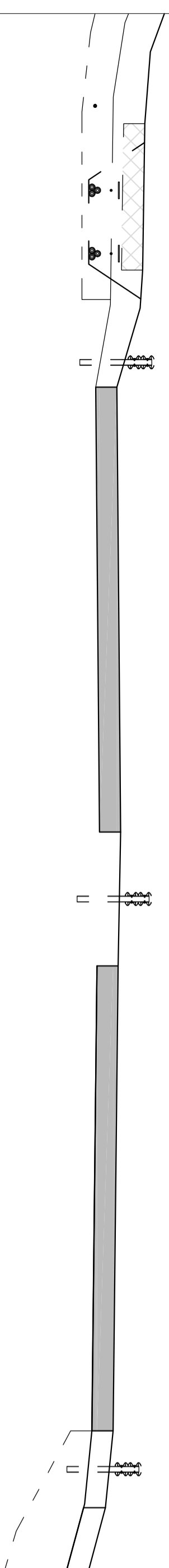
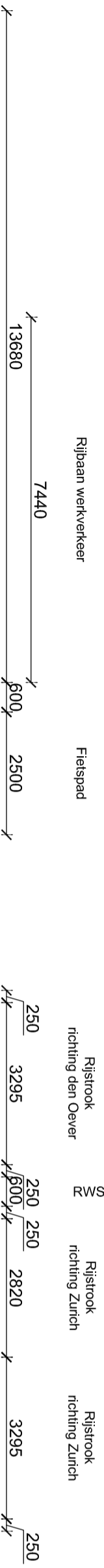
Onderstaande tabel geeft per traject aan hoe de RWS werken bereikbaar kunnen blijven voor de verschillende gebruikers.

	Breezanddijk – Kornwerderzand (westen)	Passage Lorenz sluisen	Kornwerderzand (oosten) – kop Afsluitdijk
Wegverkeer	Omleiding via andere rijbanen, contraflow 3-0 systeem en snelheidsbeperking	Geen omleiding	Geen omleiding
Langzaam verkeer	Omleiding (eigen, gescheiden strook)	Geen omleiding	Omleiding via bestaande weg ten zuiden A7; óf Geen omleiding (bestaande fietspad / onderhoudsweg)
Beheerder	Strook voor werkverkeer	Geen omleiding	Strook voor werkverkeer; óf Geen omleiding (bestaande fietspad / onderhoudsweg)

De aanlegwerkzaamheden van de kabel en het windpark heeft geen bijzondere invloed op de beschikbaarheid van (vaar)wegen.



Verkeersmaatregelen dijkvak 11
 Versmalling met contraflowsysteem 3-0 90 km/h
 2 rijbanen in beide richtingen
 Minimale breedte bij 90 km/h
 Rijstrook 1: 3,25 m
 Rijstrook 2: 2,75 m
 Kantstroken : 0,25 m



Dijkvak 11	00	20-08-2015	FOR PERMITS	AVV	Bau
	REV.	DATE/DATUM	STATUS/STATUS	GETEKEND/DRAWN	GOEDGEKEURD/APPR
Windpark Frysân					
PROJECTBUREAU / PROJECT OFFICE :					
Ventolines					
Verolines bv					
Dijk 15, 8300 BB Emmeloord					
T: +31 527 61 61 67					
TITLE Verkeersmaatregelen dijkvak 11					
Contraflow 3-0 90 km/h					
PROJECT	WPF	SITE	Frysân		
SCHAAL/SCALE	1:100/ 1:200	DOC. NO.	VM-01		
FORMAT/SIZE	A2				
Deze tekening is eigendom van Windpark Frysân en mag niet worden gebruikt, gereproduceerd of beschikbaar gesteld aan derden zonder schriftelijke toestemming. / This drawing is the property of Windpark Frysân and may not be used reproduced or made available to third parties without written consent.					

BIJLAGE 2 VERWIJDERINGSPLAN



VERWIJDERINGSPLAN WINDPARK FRYSLAN

1. Inleiding

In dit verwijderingsplan staat op hoofdlijnen beschreven op welke wijze de verschillende onderdelen van het windpark worden ontmanteld. Nadat aangegeven wordt welke onderdelen worden verwijderd en welke voorbereidingen nodig zijn, komen achtereenvolgens turbines, fundaties, transformatorstation, bekabeling en tot slot de opleveringscontrole aan bod. Onderhavig plan betreft een principeplan dat drie maanden voorafgaand aan de daadwerkelijke verwijdering ter goedkeuring wordt voorgelegd aan het bevoegd gezag, teneinde rekening te kunnen houden met de stand der techniek en de daadwerkelijk gerealiseerde werken.

2. Te verwijderen onderdelen

In dit verwijderingsplan staat beschreven op welke wijze het werk verwijderd zal worden. Hierin worden ook de veiligheids- en milieuaspecten betrokken en aangepast aan de inzichten van die tijd.

In het kort wordt het volgende verwijderd of achtergelaten, rekening houdend met zowel korte als langetermijneffecten voor milieu:

- Windturbines – geheel verwijderd;
- Funderingen windturbines– bij heipalen gedeeltelijk verwijderd (tot 1,5 meter onder de waterbodem);
- Bekabeling tussen turbines – geheel verwijderd;
- Bekabeling van turbinepark naar kust – geheel verwijderd;
- Aanlanding kabels – geheel verwijderen met uitzondering van mantelbuizen;
- Bekabeling op land – geheel verwijderen met uitzondering van mantelbuizen;
- Transformatorstation – geheel verwijderen of ombouwen voor ander doel, heipalen gedeeltelijk verwijderd (tot een nader te bepalen afstand onder maaiveld).

3. Voorbereiding

Bij de aanvang van de ontmanteling zal een projectteam worden samengesteld. Dit team zal bestaan uit de initiatiefnemers, een uitvoerende aannemer die ervaring heeft met ontmanteling van installaties en Rijkswaterstaat aangevuld met eventuele andere relevante partijen, zoals de Centrale Meldpost IJsselmeer. Tijdens de voorbereiding zal dit projectteam plannen gedetailleerd uitwerken voor de verwijdering van de verschillende nog te bespreken componenten van het windpark. De verwijdering van de verschillende elementen zullen op een veilige en milieuvriendelijke wijze plaatsvinden. Dezelfde milieu- en veiligheidseisen gelden hier als bij de oprichting en onderhoud van het windpark, geactualiseerd naar de wet- en regelgeving en stand der techniek op dat moment. Er zal een plan van aanpak worden opgesteld van de uit te voeren werkzaamheden, rekening houdend met het in te zetten materiaal en omgevingsfactoren. Dit plan komt er globaal als volgt uit te zien:

Tabel 1 Globale inhoud Plan van Aanpak

Periode 1	Periode 2	Periode 3	Periode 4	Periode 5	Periode 6
Inleidend overleg met Rijkswaterstaat	Gedetailleerde besprekingen, voorlegging en	Overleg met belang-	Formele indiening van verwijderingsplan	Begin van feitelijke verwijdering en	Monitoren van de locatie

	overweging van een ontwerp-programma	hebbende partijen		monitoren van de locatie	
--	--------------------------------------	-------------------	--	--------------------------	--

In de eerste fase wordt overleg gevoerd tussen de operator en het projectteam over de planning en het ontmantelingsproces. In de tweede periode wordt gedetailleerder overleg gevoerd en wordt een eerste ontwerp van een ontmantelingsprogramma gemaakt. Aan het einde van periode 2 dient dit ontmantelingsprogramma overlegd te worden met Rijkswaterstaat. In periode 3 zal in het kader van een transparant en open proces overleg met belanghebbenden worden gevoerd. In periode 4 wordt een definitief programma vastgesteld, waarna in periode 5 met de feitelijke ontmanteling wordt gestart. De feitelijke verwijdering zal naar verwachting grotendeels in de zomermaanden geschieden, wanneer de windsnelheden het laagst zijn. De duur van de monitoring van de betreffende locatie in periode 5 en 6 wordt nader vastgesteld in overleg met Rijkswaterstaat.

4. Verwijdering van windturbines

De verwijdering van de turbines is nagenoeg het omgekeerde proces van installatie. De verwijdering van de windturbines (hier als voorbeeld gefundeerd op een monopile) ziet er als volgt uit:

- Verwijdering van alle stoffen in de turbines (zoals oliereserves) voor verwerking op land;
- Aftappen leidingen en losnemen van kabels tussen turbine en fundering;
- Mobiliseren van een vaartuig (pontons en kranen) met voldoende hijscapaciteit, een transportponton met sleepboot en een werkschip naar het windpark;
- Maken van verbindingen tussen haak en turbine, met gebruikmaking van de hijspunten welke zijn gebruikt bij de installatie;
- Zetten van spanning op het systeem;
- Losmaken/doorlassen van boutverbindingen tussen turbine en fundering;
- Doorsnijden van kabels tussen turbine en fundatie;
- Afhijzen van de turbine;
- Neerleggen van turbine op ponton en vastzetten;
- Transporteren naar kustlocatie, waar verder ontmanteling plaatsvindt.

Indien de turbine niet in zijn geheel kan worden afgevoerd, dan dienen eerste de rotorbladen en gondel verwijderd te worden. Meerdere turbines worden op een dergelijke manier ontmanteld en afgevoerd naar de kust. Een maal aan wal worden de volgende stappen gezet:

- Alle staaonderdelen worden verkocht voor recycling. Dit is het grootste gedeelte van de turbine;
- De rotors (fiberglas) worden verwerkt in overeenstemming met de dan bij de verwijdering geldende regels. Een mogelijkheid het te verwerken tot pulp voor holte isolatie in gebouwen;
- Alle zware metalen en toxische stoffen worden verwijderd in overeenstemming met dan geldende relevante regels.

5. Verwijdering fundaties

De verwijdering van de fundatie is afhankelijk van het gekozen fundatietype. Als voorbeeld wordt gegeven de verwijdering van een monopaal-fundatie:

- Pontons en kranen, een transportpont met sleepboot en een werkschip positioneren zich bij de te verwijderen fundering;
- De hijshaak van de bok wordt aan het transitiestuk vastgemaakt;
- Het transitiestuk wordt boven IJsselmeerbodenniveau doorgesneden, evenals de J-tube en de kabels en vervolgens omhoog gehesen en op het transportpont neergelaten;
- Met behulp van een airliftsysteem wordt de grond in de funderingspaal verwijderd tot een diepte van circa 6 meter onder bodenniveau;
- Vervolgens wordt een snijmachine in de paal afgelaten;
- De snijmachine snijdt de paal op een diepte van 1,5 meter onder de waterbodem door;
- De bok hijst de paal omhoog en maakt een tweede verbinding aan de onderzijde van de paal;
- De bok legt de paal op een transportpont die inclusief het transitiestuk naar een haven wordt gesleept.

Voor de andere fundamementtypen geldt grotendeels hetzelfde principe; door middel van schepen met kranen worden de delen van het fundament verwijderd waarbij het ondergrondse deel van het fundament voor een groot deel in de waterbodem achterblijft, ruim onder waterbodenniveau.

6. Verwijdering parkbekabeling

Voor Windpark Fryslân wordt ervan uitgegaan dat de parkbekabeling wordt verwijderd. Dit zal op de volgende manier gebeuren:

- Een werkschip, met onderwaterrobot en een kabellegschip worden gemobiliseerd;
- De elektrische infrastructuur is reeds uitgeschakeld en losgenomen bij de voet van de fundering van de windturbine;
- De kabels zullen met behulp van de onderwaterrobot naar de oppervlakte worden gebracht;
- De kabels zullen vervolgens door het kabellegschip uit de grond worden getrokken en worden opgewonden op de kabeltrommel;
- De kabels zullen bij het landingspunt worden losgenomen zover nodig worden uitgegraven en worden afgevoerd;
- De kabels onder het talud van Breezanddijk worden uit de mantelbuis getrokken, waarna deze wordt waterdicht afgevuld en afgedicht;
- De kabels worden ontkoppeld bij het transformatorstation;
- De kabels tussen het transformatorstation en het IJsselmeertalud worden uitgegraven;
- Het transformatorgebouw, inclusief fundering wordt gesloopt (of krijgt een andere bestemming).

7. Verwijdering kabel in Afsluitdijk

Ook de kabel in de Afsluitdijk zal worden verwijderd. Dit gebeurt op min of meer de volgende wijze:

- De landkabels worden bij het transformatorstation ontkoppeld;
- De kabels tot de snelweg worden uit de mantelbuis verwijderd;
- Het fietspad wordt opengebrouwen;
- De kabel wordt uitgegraven;

- De sleuf wordt gedicht en verdicht;
- Het fietspad wordt hersteld.

Voor de delen van het tracé die middels boringen onder de snelweg en sluizen door zijn geplaatst, geldt dat de kabel aan beide kanten wordt doorgesneden en uit de mantelbuis wordt getrokken. Vervolgens wordt de mantelbuis waterdicht afgevuld en afgedicht;

8. Opleveringscontrole

Na de verwijderingswerkzaamheden zal een survey worden uitgevoerd van het IJsselmeerbed en de Afsluitdijk om te verifiëren of alle verwijderbare onderdelen conform afspraak verwijderd zijn. Indien dit niet het geval blijkt te zijn, worden deze alsnog op deugdelijk wijze verwijderd.

BIJLAGE 3A BOORPLAN KORNWERDERZAND





BOORPLAN

Engineering HDD boring t.b.v. kabeltracé Winpark Friesland Afsluitdijk / Kornwerderzand

Opdrachtgever : Windpark Fryslân BV
 Project : Aanbrengen hoogspanningkabels Windpark Fryslân
 Hoofdaannemer : Nader te bepalen
 Aannemer H.D.D.-boringen : Nader te bepalen
 Kenmerk : 482.15.2.039-01
 Versie : 1

	Naam	Functie	Datum	Paraaf
Auteur	A. Lammersen	Engineer	21-08-2015	
Verificatie				
Autorisatie	M.H.H. Berger	Directeur	21-08-2015	

INHOUDSOPGAVE

1	Projectomschrijving	4
2	Werkmethode.....	6
3	OMSchrijving werkzaamheden	8
3.1	<i>Tijdschema</i>	8
3.2	<i>Personeelsbezetting boring</i>	9
3.3	<i>Kwaliteit en keuring van bouwmaterialen</i>	10
3.3.1	Buizen	10
3.3.2	Boorvloeistof	10
3.3.3	Debieten	10
3.3.4	Samenstellen en intrekken van de stalen leiding	11
3.4	<i>In te zetten boormaterieel (voorbeeld)</i>	12
3.5	<i>Boortechnische wijze van uitvoering</i>	13
3.5.1	Werkterrein	13
3.5.2	Werkwijze Gestuurde Boringen	14
3.6	<i>Kwaliteitsregistratie</i>	14
3.7	<i>Bestaande kabels en leidingen</i>	15
3.8	<i>Overlegstructuur, procesbeheersing, procedures</i>	15
4	Berekeningen voor de boringen	16
4.1	<i>Uitgangspunten</i>	16
	<i>Materiaal en buis gegevens</i>	16
4.1.1	Grondgegevens	18
4.1.2	Belastingen	18
4.2	<i>Berekeningen</i>	19
4.2.1	De mantelbuis op rollenbaan	19
4.2.2	De mantelbuis het boorgat intrekken	19
4.2.3	De 'bedrijfstoestand' van de mantelbuis	20
4.2.4	Deflectie berekening	20
4.2.5	Boorspoel berekening	21
4.3	<i>Conclusies</i>	21

Bijlagen

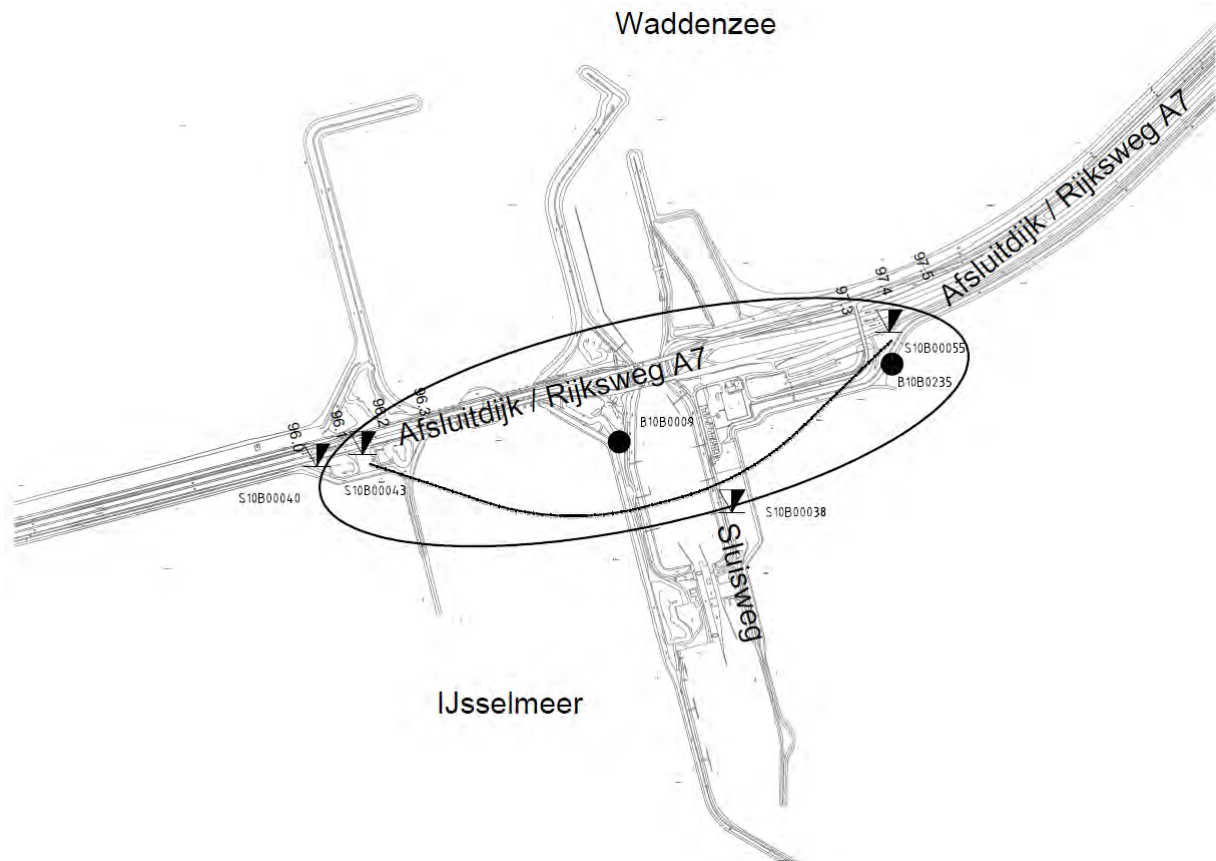
- Bijlage 1: Tekening
- Bijlage 2: Luchtfoto
- Bijlage 3: Grondonderzoek, sterkte- en muddrukberendingen
- Bijlage 4: Certificaten en productomschrijving
- Bijlage 5: Technische gegevens rig 4 ton t/m rig 100 ton
- Bijlage 6: Drill-sheet

1 PROJECTOMSCHRIJVING

Om Windpark Fryslân op het openbare electriciteitsnet aan te sluiten is een kabeltracé voorzien dat loopt vanaf het substation op Breezanddijk naar de kop van de afsluitdijk. Het kabeltracé van Windpark Fryslân bestaat uit twee kabelcircuits van 3 1-fase kabels elk plus twee mantelbuizen voor glasvezelkabels. Het deel van het kabeltracé dat over de Afsluitdijk loopt, is gepland aan de noordkant van de snelweg, deels onder het bestaande fietspad. Daar waar aanleg middels openontgraving of niet mogelijk is, zijn horizontaalgestuurde boringen (HDD's) gepland.

Om de uitvoerbaarheid te toetsen zijn in dit document een boorplan opgesteld waarin in een van de mogelijke uitvoeringswijze omschreven is en zijn de berekeningen te vinden van een horizontaalgestuude boring die gepland is voor het passeren van de sluis bij Kornwerderzand. Dit document is geschreven ten behoeve van de vergunningsaanvraag en is niet bestemd voor de uitvoering. Definitieve werkplannen zullen 3 maanden en de definitieve boorplannen 3 weken voor de start van de uitvoering van de werkzaamheden worden ingediend bij de vergunningverlenende instanties.

De passage van de sluisen bij Kornwerderzand zal gemaakt worden middels een tweetal boringen met een onderlinge afstand van circa 5,0 m. De lengte van de boringen is ca. 1360 meter (zie tekening nr. 482.15.2.039-100 – boring A en tekening nr. 482.15.2.039-101 – boring B). Per boring wordt een bundel mantelbuizen aangebracht, te weten 3 stuks 273 staal en 1 stuks 114 staal. In deze mantelbuizen komen de kabels van windpark Fryslân te liggen.



Figuur 1:

De werkmethode is gebaseerd op de volgende documenten:

- Werkomschrijving voor het project
- Boorplan:
 - 482.15.2.039-01 t/m6
- Detailtekeningen:
 - 482.15.2.039-100_R0
 - 482.15.2.039-101_R0
 - 482.15.2.039-200_R0
 - 482.15.2.039-201_R0
- Geotechnische informatie DINO loket
- NEN 3650/3651

2 WERKMETHODE

Voor de aanleg van ondergrondse netwerken bestaande uit kabels en leidingen kunnen horizontaal gestuurd boringen ingezet worden om wegen, watergangen en andere infrastructurele constructies te kruisen. Daar de werkzaamheden worden uitgevoerd met een sleufloze techniek wordt de hinder bovengronds tot een minimum beperkt.

Voorafgaand aan de uitvoering van een horizontaal gestuurd boring wordt geotechnisch grondonderzoek uitgevoerd. Afhankelijk van de van eisen van de vergunningverlenende instantie kan dit onderzoek bestaan uit sonderingen, handboring of andere geotechnisch grondonderzoeken. De gegevens hiervan dienen als input voor de sterkte- en muddrukberoeeningen en het boorplan. Van elke boring worden tekeningen gemaakt welke de boring volledig in kaart brengen. Deze documenten worden ingediend bij de vergunningverlenende instanties als onderdeel van het boorplan.

De geotechnische gegevens die gebruikt zijn voor het maken van de onderliggende berekeningen behorend bij deze boring zijn verkregen uit een bureaustudie. Voor deze berekeningen zijn de gebruikte gegevens conservatief geïnterpreteerd. Geotechnische grondonderzoeken ten behoeve van de uitvoering zullen ten behoeve van het definitieve boorplan worden uitgevoerd conform die hiervoor geldende normen.

Een horizontaal gestuurde boring is een techniek waarbij de werkzaamheden vanaf het maaiveld plaatsvinden. De uitvoering van een horizontaal gestuurde boring is opgebouwd uit drie fasen:

- Mobiliseren;
- Pilotboring;
- Ruimfase;
- Intrekken van leiding;
- Demobiliseren.

Het mobiliseren bestaat uit het gereed maken van het terrein. Indien nog wordt er op de opstelplaats van de boorinstallatie een baan van een zand pakket of rijplaten aangebracht. Hiernaast wordt alle benodigde materieel aangevoerd en opgesteld. Aan de uittrede kant van de boring wordt in deze fase de leiding uitgelegd en gelast.

Als eerst wordt vanaf het intredepunt een pilotboring uitgevoerd in het ontworpen tracé. Na de intrede wordt gestart met een rechtstand vervolgd door een neergaande bocht, een horizontaal gedeelte, na de opgaande bocht wordt het uittredepunt bereikt. Afhankelijk van de beschikbare ruimte en de buigstraal van de opgaande bocht kan na de opgaande bocht nog een rechtstand worden uitgevoerd. Tijdens de eerste fase worden de coördinaten van de pilotboring door middel van driedimensionale plaatsbepaling van de pilotboring verkregen. Bijvoorbeeld middels een gyroscoopmeetsysteem.

In de tweede fase, de ruimfase, wordt aan het uiteinde van de boorstreng een ruimer (of verdringer) geplaatst. Tijdens de ruimfase, welke uit meerder ruimgangen kan bestaan, wordt de gewenste diameter van de boorgang verkregen. De keuze van de soort ruimer is afhankelijk van de plaatselijke grondslag. Bij het aanbrengen van mantelbuizen / mediumvoerende buizen met een geringe diameter kan fase 2 (extra ruimgang) komen te vervallen en wordt de mantelbuis direct achter de ruimer ingetrokken (zoals omschreven in onderstaande "laatste" ruimgang).

De derde en laatste fase is het intrekken van de productleiding(-en). De gereedliggende leiding(-en) worden hierbij met behulp van een trekkop direct achter de ruimer bevestigd en terug getrokken door het boorgat.

Als de leiding is in getrokken wordt het materieel gedemobiliseerd en het terrein hersteld.

Tijdens alle fasen wordt gebruik gemaakt van zo geheten boorspoeling. Deze is bedoeld om de boorkop te koelen, de losgeboorde grond af te voeren en het stabiel houden van de tunnelwand. De boorspoeling wordt vanaf een hogedrukpomp via een hogedrukslang naar de boorinstallatie verpompt, door de holle boorstangen en door zijkanalen in de boorkop vervolgens de grond ingepompt. Tijdens iedere fase worden de doorspoeldrukken geregistreerd. Dit wordt gedaan om te controleren of er een constante return van de boorspoeling is. Tijdens de laatste fase, het intrekken van de leiding, kan er voor gekozen worden om drillgrout te gebruiken in plaats van bentoniet.

3 OMSCHRIJVING WERKZAAMHEDEN

Het volgende hoofdstuk bevat de werksomschrijving zoals de stalen mantelbuizen door een nader te bepalen aannemer kunnen worden aangebracht.

3.1 Tijdschema

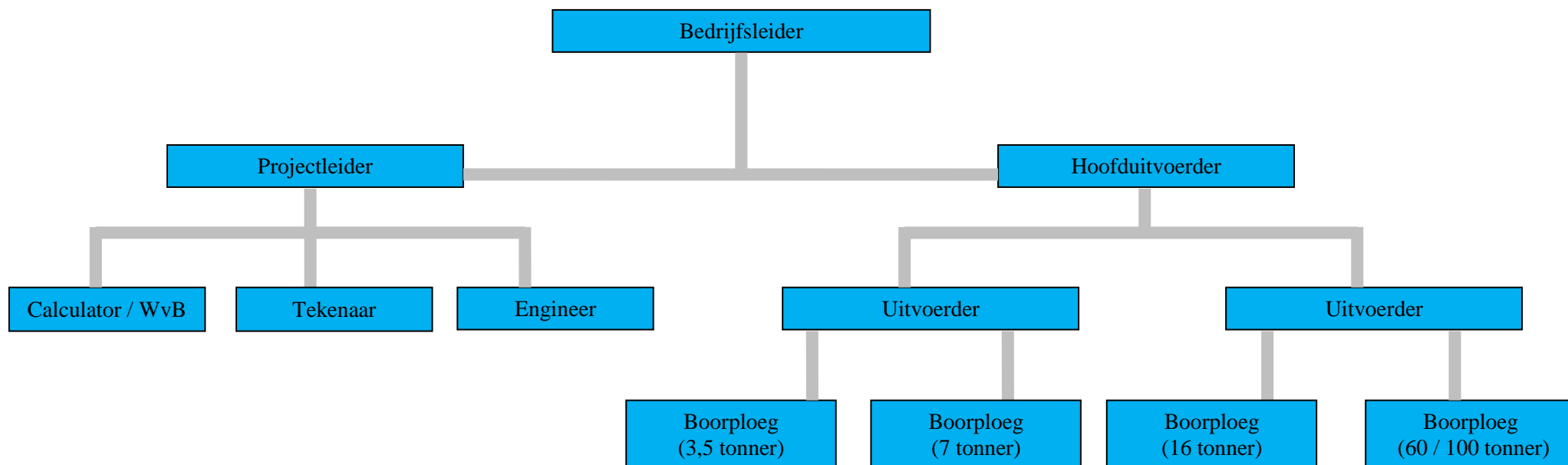
Hieronder wordt een globale planning van de HDD-boringen weergegeven.

Boring: HDD-boring A ca. 1356 meter en HDD boring B ca. 1362 meter

Inrichten werkterrein	5,0 dag(-en)
Aanvoer en mobilisatie	5,0 dag(-en)
Pilotboring - Boring A	5,0 dag(-en)
Ruimen - Boring A	5,0 dag(-en)
Intrekken - Boring A	4,0 dag(-en)
Omzetten boorstelling	2,0 dag(-en)
Pilotboring - Boring B	5,0 dag(-en)
Ruimen - Boring B	5,0 dag(-en)
Intrekken - Boring B	4,0 dag(-en)
Demobiliseren en afvoeren	2,0 dag(-en)
Opruimen en herstellen werkterrein	5,0 dag(-en)
TOTAAL:	47,0 dag(-en)

De startdatum van de werkzaamheden wordt bepaald in overleg met de opdrachtgever. Mogelijk wordt het intrekken van de mantelbuis in één aaneengesloten fase uitgevoerd. Hierdoor kan het voorkomen dat er volcontinu geboord moet worden totdat de boring gereed is.

3.2 Indicatieve personeelsbezetting boring



Bezetting afhankelijk van bedrijfsprofiel opdrachtnemer

3.3 Kwaliteit en keuring van bouwmaterialen

Alle te gebruiken materialen en grondstoffen zullen minimaal voldoen aan de hiervoor in Nederland geldende kwaliteitsnormen.

3.3.1 Buizen

Stalen buis

De in te trekken stalen buizen wordt door de opdrachtnemer ter beschikking gesteld en op het werk geleverd.

HDPE buis

De in te trekken HDPE buizen worden door de aannemer te beschikking gesteld en op het werk geleverd.

3.3.2 Boorvloeistof

De boorvloeistof kan samengesteld worden uit met water vermengde bentoniet. Indien nodig wordt bekeken of de samenstelling van de boorspoeling verder aangepast dient te worden aan de lokale bodemopbouw. Uitgangspunt daarbij is dat een boorspoeling wordt verkregen die voldoende steun geeft aan het boorgat in de plaatselijke ondergrond.

De gemiddelde samenstelling van de boorspoeling bedraagt 30-50 kg bentoniet per 1.000 liter water. Het soortelijke gewicht van de boorspoeling bedraagt circa 1.200 kg/m³ afhankelijk van de omstandigheden. Een certificaat van een mogelijk product is in bijlage 5 opgenomen.

3.3.3 Debieten

Op basis van de te verwachten samenstelling van de grondgesteldheid, zijn voor de verschillende boorfases de volgende debieten berekend:

Pilotfase: 10 à 30 l/min

Intrekken: 40 à 80 l/min

Om ongewenste muduitbraken te voorkomen dient de maximaal toelaatbare muddruk niet door de minimaal benodigde muddruk te worden overschreden. De volledige berekening van de muddruk is te vinden in bijlage 3.

In de meeste gevallen is de muddruk tijdens Pilotfase maatgevend omdat tijdens deze fase de afstroming van de vrijkomende boorspoeling slechts aan één zijde mogelijk is. Dit doet zich hoofdzakelijk voor bij het uittredepunt van de boring en in mindere mate aan het beging. Door bij het naderen van het uittredepunt de voortgangssnelheid, het debiet en de druk in dat gebied te verlagen is de kans op een zogenaamde Blow-Out nihil.

3.3.4 Samenstellen en intrekken van de stalen leiding

Het samenstellen van de leiding gebeurt met hydraulische kranen en gekwalificeerd personeel.

Het samenstellen van de mantelbuizen zal geschieden op het land. De exacte locatie wordt nader bepaald. De stalen leiding zal vanaf een kattenrugopstelling (door middel van geleiding via kranen) en rollenbokken, ingetrokken worden. Een indicatie van de opstelling hiervan is te zien op tekening 482 15 2 039-200 en 482 15 2 039-201.

De in te trekken stalen buis zal mogelijk uit verschillende lengten bestaan en zal vooraf door middel van lassen samengesteld worden aan uittrede kant. De lasser en apparatuur zal RTD gekwalificeerd zijn. In de stalen mantelbuizen kunnen HDPE buizen worden aangebracht ter bescherming van de kabels.

3.4 In te zetten boormaterieel (voorbeeld)



Figuur 2: voorbeeld 100 tons boorinstallatie

(minimaal) In te zetten boorinstallatie m.b.t. tot de uit te voeren boring

De HDD boring, zoals beschreven in dit boorplan, zal worden uitgevoerd met behulp van een maxi rig met een trekkracht van minimaal 300 ton, zie bijlage 3 voor de volledige berekening van de trekkracht. De boring wordt bijvoorbeeld uitgevoerd met behulp van een gyroscoopmeetsysteem.

De op de afbeelding weergegeven boorinstallatie is ter indicatie. De aannemer bepaalt welk boormaterieel er ingezet wordt voor de uitvoering van deze boring. Voorbeelden van technische gegevens van mogelijk boormaterieel, zijn terug te vinden in bijlage 5.

3.5 Boortechnische wijze van uitvoering

3.5.1 Werkterrein

Indien nodig wordt er voordat het boormaterieel wordt aangevoerd een zandbaan en/of rijplatenbaan en werkterrein aangelegd.

Intredelocatie:

De intredelocatie van de boring is gelegen aan de IJsselmeerkant ten westen van de Kornwerder sluizen, zie Figuur 1. De locatie wordt, indien noodzakelijk, voorzien van een zandbaan en / of platenbaan. De benodigde oppervlakte bedraagt ca 1000m².

Op de intredelocatie zal het volgende materieel worden ingezet.

- Boorrig 300 ton (incl. boorstangen en werkplaatscontainer);
- Bentonietpomp 2.500 ltr;
- Mixinstallatie 2.500 ltr;
- Recyclinginstallatie 3.200 ltr incl. voorraadtank
- 4 stuks Wavo pompen;
- Stroomaggregaat;
- Schaftkeet;
- graafmachine.

Plaatsing van apparatuur wordt aangepast aan de plaatselijke omstandigheden. De bovenstaande weergave is een voorbeeld. De booraannemer bepaalt de inzet van het benodigde materieel en materiaal. Hiernaast dient de aannemer zorg te dragen voor de benodigde verkeersvoorzieningen. Op tekening 482 15 2 039-200 is een indicatie van een mogelijke opstelling van het materieel te zien.

De maximale berekende trekkracht is circa 245 ton (244,845). De volledige berekening van de trekkracht is te vinden in bijlage 3. Het is aan booraannemer om zijn boorequipment hierop aan te passen.

Ter plaatse van het intredpunt wordt een put van circa 2 m² gegraven om de uitkomende boorspoeling op te vangen. Ter plaats van het intrede punt wordt ook de boorspoeling aangemaakt. Indien hier geen water voorhanden is wordt er voor het aanmaken van de boorspoeling water aangevoerd. De vrijkomende spoeling wordt gerecycled. Na het maken van beide boringen wordt de voerbodige boorspoeling afgevoerd door zuigwagens naar een geschikte stortplaats.

Uittredelocatie:

Bij het uittredpunt, welke is gelegen aan de IJsselmeer kant ten oosten van de Kornwerder sluizen, zie Figuur 1, kan worden volstaan met een werkterrein van ca. 100 m². Dit is exclusief de benodigde werkstrook voor het uitleggen en samenstellen van de in te brengen boorstreng. De uittredelocatie wordt ingericht met onder andere boorpijpen en eventueel een graafmachine. Ook hier kunnen de werkterreinen waar nodig worden voorzien van een zand- en platenbaan.

3.5.2 Werkwijze Gestuurde Boringen

- Aan- en afvoer via normaal wegtransport, truck met dieplader voor boor rig (het een en ander afhankelijk van het in te zetten materieel).
- Inrichten in- en uittredezijde boring met rijplaten en eventueel bouwhekken;
- Lokaliseren ligging kabels en leidingen;
- Graven intrede- en uittredeput voor boring (ca. 2 m³);
- Mobilisatie boorinstallatie met toebehoren op rig-site;
- Mixen bentonietspoeling;
- Globale samenstelling 30 - 50 kg bentoniet / 1 m³ water;
- Mits dit nodig is, kunnen er eventueel polymeren toegepast worden;
- Water voor spoelingsamenstelling zal in de omgeving worden verkregen (of worden aangevoerd);
- Maken pilotboring;
- Ruimen van het boorgat;
- Intrekken mantelbuizen;
- Leegzuigen van de boorgaten d.m.v. vloeistofdichte zuigwagens;
- Demobilisatie van de boorinstallatie en afvoer van het materieel. Werkwijze omgekeerd identiek als bij aanvoer en opbouw;
- Opruimen en herstellen werkterrein rondom in- en uittredepunt inclusief toegangsweg.

3.5.3 Kwaliteitsregistratie

Tijdens de pilotboringen, het ruimen van de boorgaten en het intrekken van de buizen worden een aantal gegevens zoals torque, mudflow, trekkracht door middel van meters op de rig weergegeven. De gegevens worden bijgehouden op een registratieformulier muddrukken. Eventueel vindt registratie van locatie en hoogteligging in RD – coördinaten t.o.v. NAP plaats.

Als er met een walkovermeetsysteem gewerkt wordt, worden de meetgegevens van de survey met de hand bijgehouden, als er met een gyroscoopmeetsysteem geboord wordt gebeurt dit automatisch. Aan de hand van deze gegevens en van de veldmetingen wordt de revisie gemaakt. De revisie zal worden ingetekend op het tracé en detail tekeningen van het omvattende werk welk wordt verzorgd door aannemer. Alle geregistreerde gegevens worden door de booraannemer gearchiveerd. Hiernaast zal er tijdens de aanleg toezicht zijn vanuit de opdrachtgever.

3.6 Bestaande kabels en leidingen

Voor uitvoering wordt door aannemer een KLIC melding gedaan, om de ligging van de bestaande ondergrondse infrastructuur in kaart te brengen. Tevens zal indien nodig met de betreffende leidingbeheerders contact worden opgenomen. Voor aanvang van de boring worden er proefsleuven gemaakt nabij het begin en einde van de boringen. Aan de hand van deze proefsleuven worden vervolgens de in- en uittredeputten gegraven.

In het dwarsprofiel van de boring, zoals weergegeven op tekeningen nrs. 482.15.2.039-100 en 482.15.2.039-101, zijn de bestaande kabels en leidingen weergegeven. De KLIC melding zal tijdens de uitvoering op het werkaanwezig zijn.

3.7 Overlegstructuur, procesbeheersing, procedures

Voor dit project wordt een V&G – (deel)plan opgesteld welke tijdens uitvoering op het werk aanwezig zal zijn. Het V&G plan wordt 3 maanden voorafgaand aan de uitvoering van de werkzaamheden ingediend.

4 BEREKENINGEN VOOR DE BORINGEN

Voor uitvoering van de boringen kunnen diverse berekeningen uitgevoerd worden met betrekking tot treksterkte van de buizen en de muddrukken. Deze berekeningen zijn uitgevoerd conform NEN 3650 / 3651.

4.1 Uitgangspunten

Materiaal en buis gegevens

Voor de horizontaal gestuurde boring zijn de volgende materiaal en mantelbuizen gehanteerd:

Boring – tekening nr. 482.15.2.039-100 (Boring A – 114 ST)

Materiaal	:	Staal Din ST-37,4
Aantal buizen	:	1 st
Uitwendige diameter	:	114,3 mm
Wanddikte	:	6,3 mm
Elasticiteitsmodulus	:	205800 N/mm ²
Lange duur Elasticiteitsmodulus	:	350 N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	:	1,2×10 ⁻⁵ (mm/mm) K ¹
Axiale verhouding zuivere trek/buigtrek	:	1,0 -
Tangentiele verhouding zuivere trek/buigtrek	:	1,0 -
Toelaatbare spanning	:	188,00 N/mm ²
Lengte boring	:	1356,48 m
Diepte boring	:	circa 30,67 m - t.o.v. maaiveld
Intrede hoek boring	:	10 °
Uittredehoek boring	:	8 °
Bochtstraal neergaande bocht	:	600 m
Bochtstraal opgaande bocht	:	600 m
Horizontale bocht	:	650 m
Kromtestraal op de rollenbaan/maaiveld	:	600 m

Boring – tekening nr. 482.15.2.039-100 (Boring A – 273 ST)

Materiaal	:	Staal Din ST-37,4
Aantal buizen	:	3 st
Uitwendige diameter	:	273 mm
Wanddikte	:	12,5 mm
Elasticiteitsmodulus	:	205800 N/mm ²
Lange duur Elasticiteitsmodulus	:	350 N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	:	1,2×10 ⁻⁵ (mm/mm) K ¹
Axiale verhouding zuivere trek/buigtrek	:	1,0 -
Tangentiele verhouding zuivere trek/buigtrek	:	1,0 -
Toelaatbare spanning	:	188,00 N/mm ²
Lengte boring	:	1356,48 m

Diepte boring	:	circa 30,67 m - t.o.v. maaiveld
Intrede hoek boring	:	10 °
Uittredehoek boring	:	8°
Bochtstraal neergaande bocht	:	600 m
Bochtstraal opgaande bocht	:	600 m
Horizontale bocht	:	650 m
Kromtestraal op de rollenbaan/maaiveld	:	600 m

Boring – tekening nr. 482.15.2.039-101 (Boring B – 114 ST)

Materiaal	:	Staal Din ST-37,4
Aantal buizen	:	1 st
Uitwendige diameter	:	114,3 mm
Wanddikte	:	6,3 mm
Elasticiteitsmodulus	:	205800 N/mm ²
Lange duur Elasticiteitsmodulus	:	350 N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	:	1,2×10 ⁻⁵ (mm/mm) K ¹
Axiale verhouding zuivere trek/buigtrek	:	1,0 -
Tangentiele verhouding zuivere trek/buigtrek	:	1,0 -
Toelaatbare spanning	:	188,00 N/mm ²
Lengte boring	:	1362,07 m
Diepte boring	:	circa 30,67 m - t.o.v. maaiveld
Intrede hoek boring	:	10 °
Uittredehoek boring	:	8°
Bochtstraal neergaande bocht	:	600 m
Bochtstraal opgaande bocht	:	600 m
Horizontale bocht	:	650 m
Kromtestraal op de rollenbaan/maaiveld	:	600 m

Boring – tekening nr. 482.15.2.039-101 (Boring B – 273 ST)

Materiaal	:	Staal Din ST-37,4
Aantal buizen	:	3 st
Uitwendige diameter	:	273 mm
Wanddikte	:	12,5 mm
Elasticiteitsmodulus	:	205800 N/mm ²
Lange duur Elasticiteitsmodulus	:	350 N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	:	1,2×10 ⁻⁵ (mm/mm) K ¹
Axiale verhouding zuivere trek/buigtrek	:	1,0 -
Tangentiele verhouding zuivere trek/buigtrek	:	1,0 -
Toelaatbare spanning	:	188,00 N/mm ²
Lengte boring	:	1362,07 m
Diepte boring	:	circa 30,67 m - t.o.v. maaiveld
Intrede hoek boring	:	10 °
Uittredehoek boring	:	8°
Bochtstraal neergaande bocht	:	600 m
Bochtstraal opgaande bocht	:	600 m
Horizontale bocht	:	650 m

Kromtestraal op de rollenbaan/maaiveld : 600 m

4.1.1 Grondgegevens

Het onderzoek bestaat uit sondering inclusief elektrische kleef en grondgegevens conform NEN 5140. De resultaten van het onderzoek zijn opgenomen in Bijlage 3 van dit rapport en op de boortekening.

De onzekerheidsfactoren voor de grondmechanische parameters zijn in deze parameters nog niet verwerkt, deze worden separaat in de berekening meegenomen, overeenkomstig Tabel B.2 "Partiële onzekerheidsfactoren in verband met modelonzekerheidtabel" van de NEN 3650.

4.1.2 Belastingen

In de sterkteberekening zijn de volgende belastingen meegenomen.

Eigengewicht, excl. inhoud Q_{eg}

Het eigengewicht van de lege buis is in de berekening als gewichtsbelasting opgenomen, met inachtneming van de grondwaterstand.

Grondbelasting Q

De grondbelasting wordt berekend conform de formules zoals opgegeven in de NEN 3650.

Verkeersbelasting Q_v

Voor de buis is de verkeersbelasting overeenkomend, volgens de VOSB, aangehouden.

4.2 Berekeningen

Voor de sterkteberekening van de horizontaal gestuurde boring wordt onderscheid gemaakt in de volgende fases:

§ 4.2.1: De buis op rollenbaan

§ 4.2.2: De buis het boorgat intrekken

§ 4.2.3: De 'bedrijfstoestand' van de buis

In §4.2.4 en 4.2.5 is respectievelijk de berekening van de deflectie en de muddruk opgenomen.

4.2.1 De mantelbuis op rollenbaan

Voor de berekening van de spanningen in de mantelbuis t.b.v. hoogspanningskabels, op de rollenbaan / maaiveld wordt verwezen naar pagina 6 van de sterkteberekeningen, opgenomen in Bijlage 3.

De omtrekspanning S_x is nihil en wordt bij het intrekken niet in ogenschouw genomen.

Boring tekening nr. 482.15.2.039-100 Boring A – 114,3 ST.

De maximaal berekende langsspanning bedraagt **79,30 N/mm²**, deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de kromtestraal op de rollenbaan en de wrijving tussen de buis en het maaiveld.

De toelaatbare spanning = **188,00 N/ mm²**

Boring tekening nr. 482.15.2.039-100 Boring A – 273 ST.

De maximaal berekende langsspanning bedraagt **109,24 N/mm²**, deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de kromtestraal op de rollenbaan en de wrijving tussen de buis en het maaiveld.

De toelaatbare spanning = **188,00 N/ mm²**

Boring tekening nr. 482.15.2.039-101 Boring B – 114,3 ST.

De maximaal berekende langsspanning bedraagt **79,30 N/mm²**, deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de kromtestraal op de rollenbaan en de wrijving tussen de buis en het maaiveld.

De toelaatbare spanning = **188,00 N/ mm²**

Boring tekening nr. 482.15.2.039-101 Boring B – 273 ST.

De maximaal berekende langsspanning bedraagt **109,24 N/mm²**, deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de kromtestraal op de rollenbaan en de wrijving tussen de buis en het maaiveld.

De toelaatbare spanning = **188,00 N/ mm²**

4.2.2 De mantelbuis het boorgat intrekken

Voor de berekening van de spanningen in de mantelbuis t.b.v. hoogspanningskabels, tijdens het intrekken van deze buis in het boorgat wordt verwezen naar pagina 9 van de sterkteberekeningen, opgenomen in Bijlage 3.

De omtrekspanning S_x is nihil en wordt bij het intrekken niet in ogenschouw genomen.

Boring tekening nr. 482.15.2.039-100 Boring A – 114,3 ST.

De maximaal berekende langsspanning_y bedraagt **87,36 N/mm²**, deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de combinatie van de trekkracht voor het intrekken en spanningen t.g.v. de kromtestralen in de boring.

De toelaatbare spanning = **188,00 N/ mm²**

Boring tekening nr. 482.15.2.039-100 Boring A – 273 ST.

De maximaal berekende langsspanning_y bedraagt **127,78 N/mm²**, deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de combinatie van de trekkracht voor het intrekken en spanningen t.g.v. de kromtestralen in de boring.

De toelaatbare spanning = **188,00 N/ mm²**

Boring tekening nr. 482.15.2.039-101 Boring B – 114,3 ST.

De maximaal berekende langsspanning_y bedraagt **87,36 N/mm²**, deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de combinatie van de trekkracht voor het intrekken en spanningen t.g.v. de kromtestralen in de boring.

De toelaatbare spanning = **188,00 N/ mm²**

Boring tekening nr. 482.15.2.039-101 Boring B – 273 ST.

De maximaal berekende langsspanning_y bedraagt **127,78 N/mm²**, deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de combinatie van de trekkracht voor het intrekken en spanningen t.g.v. de kromtestralen in de boring.

De toelaatbare spanning = **188,00 N/ mm²**

4.2.3 De 'bedrijfstoestand' van de mantelbuis

In de 'bedrijfstoestand' van de mantelbuis t.b.v. hoogspanningkabels zijn op vijf maatgevende doorsneden de spanningen in de buis berekend, zoals weergegeven op de tekening met de letters A t/m E.

Voor de berekeningen van de spanningen in de buis in bedrijfstoestand wordt verwezen naar pagina's 15 t/m 18 van de sterkteberekeningen, opgenomen in Bijlage 3.

4.2.4 Deflectie berekening

De deflectie van de buis is berekend op de vijf aangegeven doorsneden, zoals weer gegeven op tekening nrs. 482.15.2.039-100 en 482.15.2.039-101 , opgenomen in Bijlage 3.

Boring tekening nr. 482.15.2.039-100 Boring A – 114,3 ST.

De maximaal berekende deflectie van de mantelbuis t.b.v. hoogspanningkabels, bedraagt 0,08 mm, zie pagina 18 van de sterkteberekening in Bijlage 3.

Boring tekening nr. 482.15.2.039-100 Boring A – 273 ST.

De maximaal berekende deflectie van de mantelbuis t.b.v. hoogspanningkabels, bedraagt 0,36 mm, zie pagina 18 van de sterkteberekening in Bijlage 3.

Boring tekening nr. 482.15.2.039-101 Boring B – 114,3 ST.

De maximaal berekende deflectie van de mantelbuis t.b.v. hoogspanningkabels, bedraagt 0,08 mm,

zie pagina 18 van de sterkteberekening in Bijlage 3.

Boring tekening nr. 482.15.2.039-101 Boring B – 273 ST.

De maximaal berekende deflectie van de mantelbuis t.b.v. hoogspanningskabels, bedraagt 0,36 mm, zie pagina 18 van de sterkteberekening in Bijlage 3.

4.2.5 Boorspoel berekening

Op de markante doorsneden A t/m E, zijn de boorspoeldruk berekeningen uitgevoerd. De resultaten zijn opgenomen in genoemd op pagina's 19, 20 en 21 van de berekeningen in Bijlage 3.

Tevens is bijgevoegd een aanvullende boorspoeldruk berekening.

Benodigde boorspoeldruk = **183,30 kPa**.

Toelaatbare boorspoeldruk = **398,86 kPa**

4.3 Conclusies

Op basis van de tekening, het grondmechanisch onderzoek en de beschreven uitgangspunten in dit rapport zijn de horizontaal gestuurde boringen berekend overeenkomstig de NEN 3650 en NEN 3651.

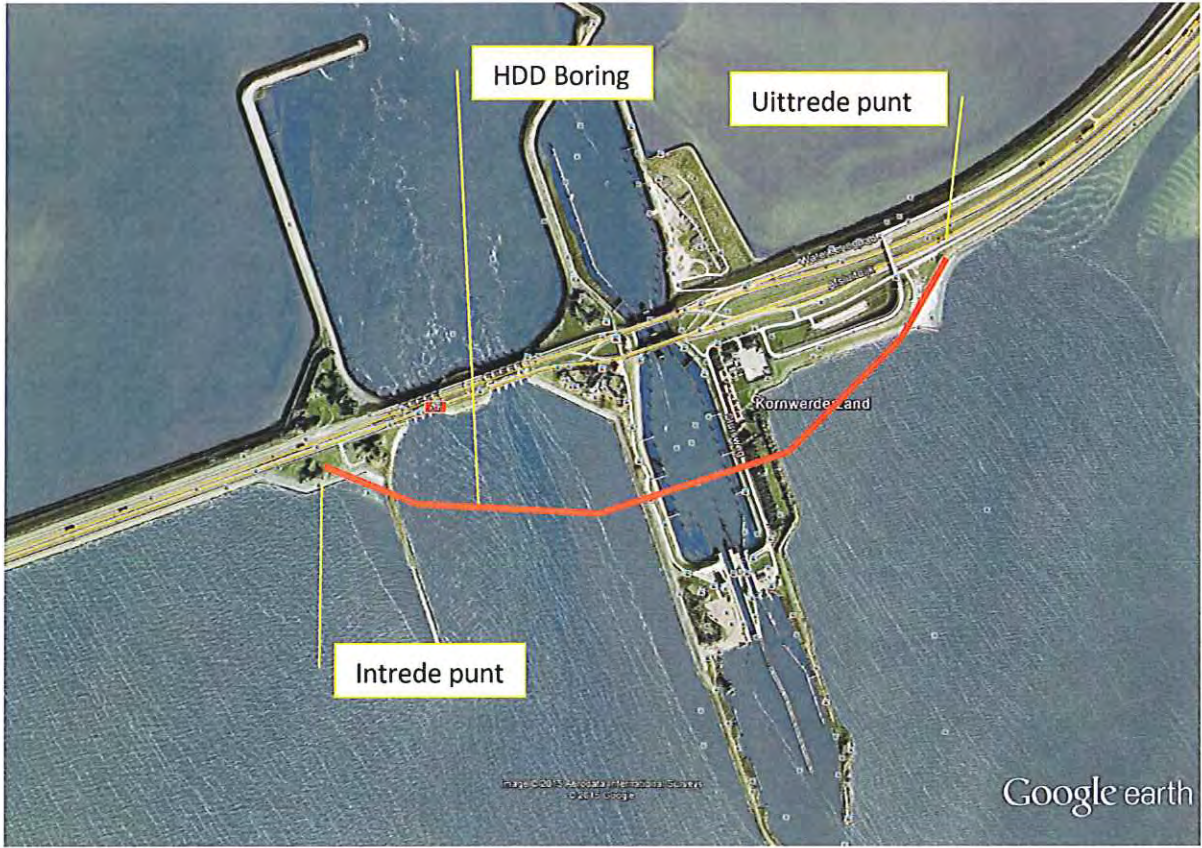
- **Boring tekening nr. 482.15.2.039-100 Boring A – 114,3 ST.**
 - De maximaal berekende omtreksspanning ($Re = 101,16 \text{ N/mm}^2$) en de maximaal berekende langsspanning ($Re = 30,49 \text{ N/mm}^2$) zijn kleiner dan de toelaatbare spanningen ($Re = 188,00 \text{ N/mm}^2$).
 - De maximaal ideële spanning ($Re = 101,16 \text{ N/mm}^2$) is kleiner dan de toelaatbare spanningen ($Re = 235,00 \text{ N/mm}^2$).
 - De maximaal berekende deflectie bedraagt **0,08 mm**, deze is kleiner dan de toelaatbare **16,20 mm**.

 - **Boring tekening nr. 482.15.2.039-100 Boring A – 273 ST.**
 - De maximaal berekende omtreksspanning ($Re = 148,03 \text{ N/mm}^2$) en de maximaal berekende langsspanning ($Re = 72,83 \text{ N/mm}^2$) zijn kleiner dan de toelaatbare spanningen ($Re = 188,00 \text{ N/mm}^2$).
 - De maximaal ideële spanning ($Re = 148,03 \text{ N/mm}^2$) is kleiner dan de toelaatbare spanningen ($Re = 235,00 \text{ N/mm}^2$).
 - De maximaal berekende deflectie bedraagt **0,36 mm**, deze is kleiner dan de toelaatbare **39,08 mm**.

 - **Boring tekening nr. 482.15.2.039-101 Boring B – 114,3 ST.**
 - De maximaal berekende omtreksspanning ($Re = 101,16 \text{ N/mm}^2$) en de maximaal berekende langsspanning ($Re = 30,49 \text{ N/mm}^2$) zijn kleiner dan de toelaatbare spanningen ($Re = 188,00 \text{ N/mm}^2$).
 - De maximaal ideële spanning ($Re = 101,16 \text{ N/mm}^2$) is kleiner dan de toelaatbare spanningen ($Re = 235,00 \text{ N/mm}^2$).
 - De maximaal berekende deflectie bedraagt **0,08 mm**, deze is kleiner dan de toelaatbare **16,20 mm**.
-

Bijlage 1: Tekening

Bijlage 2: Luchtfoto



Bijlage 3: Grondonderzoek, sterkte- en muddrukberkeningen

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project	: Windpark Fryslan		
Projectonderdeel	: HDD boring Sluisweg tekening nr. 482.15.2.039-101 Boring A - 114ST		
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	Staal		
Kwaliteit:	Din St-37.4		
Rekgrens van het materiaal bij 20°C	Re	= 235	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	-
Soortelijk gewicht buis	ρ_L	= 78,5	kN/m ³
Toelaatbare deflectie	δ	= 15	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D_e	= 114,30	mm
Wanddikte	d_n	= 6,3	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)	= Drukloos		
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 100	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	ρ_m	= 11,5	kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	τ_y	= 15	Pa
Leiding wordt niet verzwaid t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaid t.p.v. boorgang			
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	D_g	= 880	mm
Diameter boorstang	D_b	= 125	mm
Totale lengte	L	= 1.362,07	m
Lengte 1e rechte deel	L_1	= 109,96	m
Lengte neergaande bocht	L_2	= 104,72	m
Lengte 2e rechte deel	L_3	= 897,90	m
Lengte opgaande bocht	L_4	= 83,78	m
Lengte 3e rechte deel	L_5	= 165,71	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R_r	= 600,00	m
Straal neergaande bocht	R_1	= 600,00	m
Straal opgaande bocht	R_2	= 600,00	m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	α_1	= 10,00 / 17,63	° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	α_2	= 8,00 / 14,05	° / %
Belastinghoek	α	= 30	°
Ondersteuningshoek	β	= 30	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	
Totaalfactor bij boring met bundels	f	= 1,8	
Belastingfactor	$f_{k,b}$	= 1,1	
Belastingfactor	$f_{k,o}$	= 1,4	
Wrijvingscoëff. zonder rollenbaan	f_1	= 0,3	
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	f_2	= 0,00005	N/mm ²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	f_3	= 0,2	
24-08-2015 14:21:11			

Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting

Locatie	Afstand t.o.v. inbredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m ³]	Wrijvings- hoek grond [°]
Insteek talud	32,14	5,28	3,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Teen talud	50,24	5,51	1,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Talud	69,26	8,56	1,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Talud	85,98	12,87	1,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Talud	98,20	15,00	1,00	Klei	17,00	17,00	17,50
1e rechte deel	109,96	15,75	0,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Bodem	129,29	16,93	-2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Neergaande bocht	213,58	20,33	-5,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	302,12	14,00	-11,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	400,80	14,00	-11,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	506,92	20,12	-5,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	597,72	23,00	-1,70	Zand	19,00	21,00	30,00
Talud	624,94	29,15	1,80	Zand	19,00	21,00	30,00
Kruin	631,71	30,67	2,20	Zand	19,00	21,00	30,00
Kruin	638,12	30,50	2,20	Zand	19,00	21,00	30,00
Talud	646,34	29,04	2,10	Zand	19,00	21,00	30,00
Teen	657,34	23,00	-2,00	Zand	19,00	21,00	30,00
2e rechte deel	660,81	22,54	-2,30	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	684,45	21,00	-4,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	698,74	19,00	-5,70	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	781,33	19,00	-6,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	798,66	21,00	-4,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Talud	816,50	26,17	1,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Kruin	830,83	30,18	3,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Kruin	839,70	30,37	3,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Talud	872,15	28,02	2,60	Zand	19,00	21,00	30,00
Insteek	897,35	26,75	1,60	Zand	19,00	21,00	30,00
Teen bodem	907,43	23,00	-2,20	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	924,88	22,15	-3,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	979,03	22,05	-2,80	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	1082,82	23,00	-2,20	Zand	19,00	21,00	30,00
Opgaande bocht	1106,93	23,00	-2,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	1129,49	23,64	-1,00	Zand	19,00	21,00	30,00
3e rechte deel	1190,66	22,58	1,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	1197,09	22,58	1,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Insteek bodem	1217,38	20,20	1,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Kruin	1241,03	22,53	3,60	Klei	17,00	17,00	17,50
Kruin	1276,65	17,66	3,80	Zand	19,00	21,00	32,50
Kruin	1304,39	8,09	1,00	Zand	19,00	21,00	32,50

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingsconstante [N/mm ²]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
Insteek talud	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek I
Teen talud	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek ½ x II
Talud	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek ½ x II
Talud	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek ½ x II
Talud	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek ½ x II
1e rechte deel	Geen	-	10,00	2,00	Geen
Bodem	Geen	0,0050	10,00	2,00	Geen
Neergaande bocht	Geen	0,0450	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Talud	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek I
Kruin	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek I
Kruin	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek I
Talud	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Teen	Geen	-	0,00	30,00	Geen
2e rechte deel	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Talud	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Kruin	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek I
Kruin	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek I
Talud	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek I
Insteek	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek ½ x II
Teen bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Opgaande bocht	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	0,0450	0,00	30,00	Geen
3e rechte deel	Geen	0,0450	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Insteek bodem	Geen	-	2,00	2,00	Geen
Kruin	Geen	-	10,00	2,00	Grafiek I
Kruin	Geen	-	0,00	35,00	Grafiek I
Kruin	Geen	-	0,00	35,00	Grafiek I

* Niet op schaal

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2012 3.0 ©
---	------------------

2. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 101,70	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 108,00	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 114,30	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 57,15	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 50,85	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 54,00	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 3.127.137,67	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 54.718,07	mm ³
Wandraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 20,84	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 6,62	mm ³ /mm ¹
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 2.137,54	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,1678	N/mm ¹

3. Berekening van het gewicht van de leiding tijdens het intrekken van de leiding

	<i>Leiding op rollenbaan/maaiveld</i>	<i>Leiding in boorgat</i>
Gewicht mediumleiding	$g = 0,1678 \text{ N/mm}^1$	$g = 0,1678 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,1678 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,1678 \text{ N/mm}^1$

4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds

4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld

Trekkracht T_1 tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_1 [N]
Starten met trekken	1.362,07	123.418
Na 1 ^e deel intrekken	1.196,36	108.403
Na 2 ^e deel intrekken	1.112,58	100.811
Na 3 ^e deel intrekken	214,68	19.452
Na 4 ^e deel intrekken	109,96	9.964

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,1678 \cdot 0,3$$

4.2 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_1 [N]	σ_t [N/mm ²]
Starten met trekken	123.418	57,74
Na 1 ^e deel intrekken	108.403	50,71
Na 2 ^e deel intrekken	100.811	47,16
Na 3 ^e deel intrekken	19.452	9,10
Na 4 ^e deel intrekken	9.964	4,66

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{2.137,54}$$

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 205.800 \cdot \frac{3.127.138}{600.000} = 1.179.869,04 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{1.179.869,04}{54.718} = \mathbf{21,56 \text{ N/mm}^2}$$

4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	σ_t [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	57,74	79,30
Na 1 ^e deel intrekken	50,71	72,28
Na 2 ^e deel intrekken	47,16	68,72
Na 3 ^e deel intrekken	9,10	30,66
Na 4 ^e deel intrekken	4,66	26,22

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 1 \cdot 21,56 + \sigma_t$$

Toelaatbare spanning: $\sigma_{kd} = 0,8 \cdot Re = 0,8 \cdot 235 = \mathbf{188,00 \text{ N/mm}^2}$

5. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat

5.1 Berekening van de vereiste trekkracht T_2 en T_{3a} in verband met wrijving tussen leiding en boorvloeistof/boorgangwand

Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof. 100% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet. Hieruit volgt: $D_{e,omtrek} = 359,08 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,168 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof: $g_{opw} = \rho_m \cdot D_o^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 114,30^2 \cdot \pi/4 = 0,118 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,0498 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
1 ^e deel intrekken	165,71	8.326	-
2 ^e deel intrekken	249,49	-	12.536
3 ^e deel intrekken	1.147,39	57.650	-
4 ^e deel intrekken	1.252,11	-	62.912
Geheel ingetrokken	1.362,07	68.437	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (359,08 \cdot 0,00005 + 0,0498 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (359,08 \cdot 0,00005 + 0,0498 \cdot 0,2)$

5.3 Berekening van de vereiste trekkracht T_{3b} in verband met wrijving door grondreactie in de bochten

Locatie	λ [mm ⁻¹]	R [m]	Q_r [N/mm ²]	T_{3b} [N]
Bodem	0,0007	600	0,0016	596
Neergaande bocht	0,0012	600	0,0047	1.032
Bodem	0,0012	600	0,0047	1.032
3e rechte deel	0,0012	600	0,0047	1.032

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

$$Q_r = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot 0,9 \cdot R}$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 114,3 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

5.4 Berekening van de wrijving door bochtkracht T_{3c}

Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	T_{bocht} [N]
Neergaande bocht	100.811	12.536	1.032	-	114.379
Opgaande bocht	9.964	62.912	1.032	1.032	74.939

Neergaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max}$

Opgaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max} + T_{3a,op} + T_{3b,op,max}$

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N]
Neergaande bocht	5,00	114.379	7.178
Opgaande bocht	4,00	74.939	4.703

$$T_{3c} = f \cdot L_B \cdot g_t \cdot f_3$$

$$L_B = 2 \cdot R \cdot 2\pi \cdot \frac{\alpha}{360}$$

$$g_t = \frac{2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha)}{L_B}$$

$$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,8 \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$

5.5 Totalisatie van de trekkraften in fase II

Trekkraft T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 / T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3c,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{3c,op}$ [N]	T_{tot} [N]
1 ^e deel intrekken	108.403	8.326	-	-	-	-	116.729
2 ^e deel intrekken	100.811	12.536	1.032	7.178	-	-	121.556
3 ^e deel intrekken	19.452	57.650	1.032	7.178	-	-	85.312
4 ^e deel intrekken	9.964	62.912	1.032	7.178	1.032	4.703	85.881
Geheel intrekken	0	68.437	1.032	7.178	1.032	4.703	81.442

$$T_{\text{tot}} = T_1 + T_2 + T_{3a} + T_{3b,neer,max} + T_{3c,neer} + T_{3b,op,max} + T_{3c,op}$$

5.6 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkraften in fase II

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]
1 ^e deel intrekken	116.729	54,61
2 ^e deel intrekken	121.556	56,87
3 ^e deel intrekken	85.312	39,91
4 ^e deel intrekken	85.881	40,18
Geheel intrekken	81.442	38,10

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{2.137,54}$$

5.7 Optredende spanningen t.g.v. kromming van de leiding in het boorgat

5.7.1 Neergaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{l_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 205.800 \cdot \frac{3.127.137,67}{0,9 \cdot 600.000} = 1.668.501,67 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{1.668.501,67}{54.718,07} = 30,49 \text{ N/mm}^2$$

5.7.2 Opgaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{l_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 205.800 \cdot \frac{3.127.137,67}{0,9 \cdot 600.000} = 1.668.501,67 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{1.668.501,67}{54.718,07} = 30,49 \text{ N/mm}^2$$

5.8 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	116.729	54,61	-	54,61
Na 1 ^e deel intrekken	121.556	56,87	30,49	87,36
Na 2 ^e deel intrekken	85.312	39,91	-	39,91
Na 3 ^e deel intrekken	85.881	40,18	30,49	70,67
Na 4 ^e deel intrekken	81.442	38,10	-	38,10

Rechte delen: $\sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{2.137,54} = \sigma_t$

Gebogen delen: $\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 1 \cdot \sigma_b + \sigma_t$

Toelaatbare spanning: $\sigma_{kd} = 0,8 \cdot Re = 0,8 \cdot 235 = 188,00 \text{ N/mm}^2$

6. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase

6.1 Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pl} t.g.v. inwendige druk

Leiding is drukloos:

$$\sigma_p = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

6.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

Leiding is drukloos:

$$f_{rr} = 1,00$$

6.3 Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	q_{droog} [kN/m ²]	q_{nat} [kN/m ²]	q_{totaal} [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]
Insteek talud	5,28	3,00	Zand	62,70	52,67	115,37	10,58
Teen talud	5,51	1,00	Zand	20,90	104,18	125,08	9,14
Talud	8,56	1,00	Zand	20,90	174,64	195,54	13,71
Talud	12,87	1,00	Zand	20,90	274,20	295,10	20,16
Talud	15,00	1,00	Klei	18,70	261,80	280,50	16,06
1e rechte deel	15,75	0,00	Klei	0,00	294,53	294,53	15,66
Bodem	16,93	-2,00	Klei	0,00	316,59	316,59	16,84
Neergaande bocht	20,33	-5,00	Zand	0,00	469,62	469,62	30,44
Bodem	14,00	-11,00	Zand	0,00	323,40	323,40	20,96
Bodem	14,00	-11,00	Zand	0,00	323,40	323,40	20,96
Bodem	20,12	-5,00	Zand	0,00	464,77	464,77	30,13
Bodem	23,00	-1,70	Zand	0,00	531,30	531,30	34,44
Talud	29,15	1,80	Zand	37,62	631,79	669,41	45,25
Kruin	30,67	2,20	Zand	45,98	657,66	703,64	47,88
Kruin	30,50	2,20	Zand	45,98	653,73	699,71	47,63
Talud	29,04	2,10	Zand	43,89	622,31	666,20	45,35
Teen	23,00	-2,00	Zand	0,00	531,30	531,30	34,44
2e rechte deel	22,54	-2,30	Zand	0,00	520,67	520,67	33,75
Bodem	21,00	-4,00	Zand	0,00	485,10	485,10	31,44
Bodem	19,00	-5,70	Zand	0,00	438,90	438,90	28,45
Bodem	19,00	-6,00	Zand	0,00	438,90	438,90	28,45
Bodem	21,00	-4,00	Zand	0,00	485,10	485,10	31,44
Talud	26,17	1,00	Zand	20,90	581,43	602,33	40,08
Kruin	30,18	3,00	Zand	62,70	627,86	690,56	47,86
Kruin	30,37	3,00	Zand	62,70	632,25	694,95	48,15
Talud	28,02	2,60	Zand	54,34	587,20	641,54	44,27
Insteek	26,75	1,60	Zand	33,44	580,97	614,41	41,48
Teen bodem	23,00	-2,20	Zand	0,00	531,30	531,30	34,44
Bodem	22,15	-3,00	Zand	0,00	511,67	511,67	33,17
Bodem	22,05	-2,80	Zand	0,00	509,36	509,36	33,02
Bodem	23,00	-2,20	Zand	0,00	531,30	531,30	34,44
Opgaande bocht	23,00	-2,00	Zand	0,00	531,30	531,30	34,44
Bodem	23,64	-1,00	Zand	0,00	546,08	546,08	35,40
3e rechte deel	22,58	1,00	Zand	20,90	498,50	519,40	34,70
Bodem	22,58	1,00	Zand	20,90	498,50	519,40	34,70
Insteek bodem	20,20	1,00	Klei	18,70	359,04	377,74	21,23
Kruin	22,53	3,60	Klei	67,32	353,99	421,31	26,52
Kruin	17,66	3,80	Zand	79,42	320,17	399,59	29,83
Kruin	8,09	1,00	Zand	20,90	163,78	184,68	13,00

$$Q_n = (\gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o$$

6.4 Berekening van de verkeersbelasting Q_v

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeers- belasting	q_v [kN/m ²]	Q_v [N/mm ¹]
Insteek talud	5,28	Grafiek I	9,61	1,10
Teen talud	5,51	Grafiek ½ x II	1,79	0,20
Talud	8,56	Grafiek ½ x II	1,03	0,12
Talud	12,87	Grafiek ½ x II	0,58	0,07
Talud	15,00	Grafiek ½ x II	0,46	0,05
1e rechte deel	15,75	Geen	0,00	0,00
Bodem	16,93	Geen	0,00	0,00
Neergaande bocht	20,33	Geen	0,00	0,00
Bodem	14,00	Geen	0,00	0,00
Bodem	14,00	Geen	0,00	0,00
Bodem	20,12	Geen	0,00	0,00
Bodem	23,00	Geen	0,00	0,00
Talud	29,15	Grafiek I	0,65	0,07
Kruin	30,67	Grafiek I	0,59	0,07
Kruin	30,50	Grafiek I	0,59	0,07
Talud	29,04	Geen	0,00	0,00
Teen	23,00	Geen	0,00	0,00
2e rechte deel	22,54	Geen	0,00	0,00
Bodem	21,00	Geen	0,00	0,00
Bodem	19,00	Geen	0,00	0,00
Bodem	19,00	Geen	0,00	0,00
Bodem	21,00	Geen	0,00	0,00
Talud	26,17	Geen	0,00	0,00
Kruin	30,18	Grafiek I	0,60	0,07
Kruin	30,37	Grafiek I	0,60	0,07
Talud	28,02	Grafiek I	0,70	0,08
Insteek	26,75	Grafiek ½ x II	0,17	0,02
Teen bodem	23,00	Geen	0,00	0,00
Bodem	22,15	Geen	0,00	0,00
Bodem	22,05	Geen	0,00	0,00
Bodem	23,00	Geen	0,00	0,00
Opgaande bocht	23,00	Geen	0,00	0,00
Bodem	23,64	Geen	0,00	0,00
3e rechte deel	22,58	Geen	0,00	0,00
Bodem	22,58	Geen	0,00	0,00
Insteek bodem	20,20	Geen	0,00	0,00
Kruin	22,53	Grafiek I	1,05	0,12
Kruin	17,66	Grafiek I	1,65	0,19
Kruin	8,09	Grafiek I	5,73	0,65

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 114,3$$

6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_{boven} [N/mm ¹]	M_q [Nmm]	σ_q [N/mm ¹]
Insteek talud	10,58	1,10	11,68	162,08	24,50
Teen talud	9,14	0,20	9,35	129,70	19,61
Talud	13,71	0,12	13,83	191,88	29,01
Talud	20,16	0,07	20,23	280,74	42,44
Talud	16,06	0,05	16,11	223,60	33,80
1e rechte deel	15,66	0,00	15,66	217,36	32,86
Bodem	16,84	0,00	16,84	233,64	35,32
Neergaande bocht	30,44	0,00	30,44	422,46	63,86
Bodem	20,96	0,00	20,96	290,92	43,98
Bodem	20,96	0,00	20,96	290,92	43,98
Bodem	30,13	0,00	30,13	418,09	63,20
Bodem	34,44	0,00	34,44	477,94	72,25
Talud	45,25	0,07	45,33	629,03	95,09
Kruin	47,88	0,07	47,95	665,47	100,60
Kruin	47,63	0,07	47,70	661,95	100,07
Talud	45,35	0,00	45,35	629,43	95,15
Teen	34,44	0,00	34,44	477,94	72,25
2e rechte deel	33,75	0,00	33,75	468,38	70,81
Bodem	31,44	0,00	31,44	436,38	65,97
Bodem	28,45	0,00	28,45	394,82	59,69
Bodem	28,45	0,00	28,45	394,82	59,69
Bodem	31,44	0,00	31,44	436,38	65,97
Talud	40,08	0,00	40,08	556,18	84,08
Kruin	47,86	0,07	47,93	665,22	100,56
Kruin	48,15	0,07	48,22	669,15	101,16
Talud	44,27	0,08	44,35	615,53	93,05
Insteek	41,48	0,02	41,50	575,93	87,06
Teen bodem	34,44	0,00	34,44	477,94	72,25
Bodem	33,17	0,00	33,17	460,28	69,58
Bodem	33,02	0,00	33,02	458,20	69,27
Bodem	34,44	0,00	34,44	477,94	72,25
Opgaande bocht	34,44	0,00	34,44	477,94	72,25
Bodem	35,40	0,00	35,40	491,24	74,26
3e rechte deel	34,70	0,00	34,70	481,58	72,80
Bodem	34,70	0,00	34,70	481,58	72,80
Insteek bodem	21,23	0,00	21,23	294,63	44,54
Kruin	26,52	0,12	26,64	369,70	55,89
Kruin	29,83	0,19	30,02	416,60	62,98
Kruin	13,00	0,65	13,66	189,57	28,66

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 54,00$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{6,62}$$

6.6 Optredende spanning σ_{qr} t.g.v. grondreactie in de bochten

Locatie	R [m]	Q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
Bodem	600	0,0016	0,28
Neergaande bocht	600	0,0047	0,84
Bodem	600	0,0047	0,84
3e rechte deel	600	0,0047	0,84

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,179 \cdot Q_r \cdot 114,3 \cdot \frac{57,15}{6,62}$$

6.7 Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil

Leiding is drukloos

$$\sigma_{ax} = 0 \text{ N/mm}^2$$

7. Berekening van het totaal aan optredende spanningen
7.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

Locatie	σ_q [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_{y2} [N/mm ²]
Insteek talud	24,50	-	1	24,50
Teen talud	19,61	-	1	19,61
Talud	29,01	-	1	29,01
Talud	42,44	-	1	42,44
Talud	33,80	-	1	33,80
1e rechte deel	32,86	-	1	32,86
Bodem	35,32	0,28	1	35,60
Neergaande bocht	63,86	0,84	1	64,70
Bodem	43,98	-	1	43,98
Bodem	43,98	-	1	43,98
Bodem	63,20	-	1	63,20
Bodem	72,25	-	1	72,25
Talud	95,09	-	1	95,09
Kruin	100,60	-	1	100,60
Kruin	100,07	-	1	100,07
Talud	95,15	-	1	95,15
Teen	72,25	-	1	72,25
2e rechte deel	70,81	-	1	70,81
Bodem	65,97	-	1	65,97
Bodem	59,69	-	1	59,69
Bodem	59,69	-	1	59,69
Bodem	65,97	-	1	65,97
Talud	84,08	-	1	84,08
Kruin	100,56	-	1	100,56
Kruin	101,16	-	1	101,16
Talud	93,05	-	1	93,05
Insteek	87,06	-	1	87,06
Teen bodem	72,25	-	1	72,25
Bodem	69,58	-	1	69,58
Bodem	69,27	-	1	69,27
Bodem	72,25	-	1	72,25
Opgaande bocht	72,25	-	1	72,25
Bodem	74,26	0,84	1	75,10
3e rechte deel	72,80	0,84	1	73,64
Bodem	72,80	-	1	72,80
Insteek bodem	44,54	-	1	44,54
Kruin	55,89	-	1	55,89
Kruin	62,98	-	1	62,98
Kruin	28,66	-	1	28,66

 Rechte delen: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$

 Bochten: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$

 Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = 0,8 \cdot Re = 0,8 \cdot 235 = 188,00$ N/mm²

7.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

Locatie	σ_{ax} [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_x [N/mm ²]
Insteek talud	0,00	-	-	0,00
Teen talud	0,00	-	-	0,00
Talud	0,00	-	-	0,00
Talud	0,00	-	-	0,00
Talud	0,00	-	-	0,00
1e rechte deel	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	30,49	1	30,49
Neergaande bocht	0,00	30,49	1	30,49
Bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Talud	0,00	-	-	0,00
Kruin	0,00	-	-	0,00
Kruin	0,00	-	-	0,00
Talud	0,00	-	-	0,00
Teen	0,00	-	-	0,00
2e rechte deel	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Talud	0,00	-	-	0,00
Kruin	0,00	-	-	0,00
Kruin	0,00	-	-	0,00
Talud	0,00	-	-	0,00
Insteek	0,00	-	-	0,00
Teen bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Opgaande bocht	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	30,49	1	30,49
3e rechte deel	0,00	30,49	1	30,49
Bodem	0,00	-	-	0,00
Insteek bodem	0,00	-	-	0,00
Kruin	0,00	-	-	0,00
Kruin	0,00	-	-	0,00
Kruin	0,00	-	-	0,00

 Rechte delen: $\sigma_x = \sigma_{ax}$

 Bochten: $\sigma_x = \sigma_{ax} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_b$

 Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = 0,8 \cdot Re = 0,8 \cdot 235 = 188,00$ N/mm²

7.3 Overzicht van de ideale spanningen in de leiding

Locatie	σ_{y2} [N/mm ²]	σ_x [N/mm ²]	σ_v [N/mm ²]
Insteek talud	24,50	0,00	24,50
Teen talud	19,61	0,00	19,61
Talud	29,01	0,00	29,01
Talud	42,44	0,00	42,44
Talud	33,80	0,00	33,80
1e rechte deel	32,86	0,00	32,86
Bodem	35,60	30,49	33,34
Neergaande bocht	64,70	30,49	56,06
Bodem	43,98	0,00	43,98
Bodem	43,98	0,00	43,98
Bodem	63,20	0,00	63,20
Bodem	72,25	0,00	72,25
Talud	95,09	0,00	95,09
Kruin	100,60	0,00	100,60
Kruin	100,07	0,00	100,07
Talud	95,15	0,00	95,15
Teen	72,25	0,00	72,25
2e rechte deel	70,81	0,00	70,81
Bodem	65,97	0,00	65,97
Bodem	59,69	0,00	59,69
Bodem	59,69	0,00	59,69
Bodem	65,97	0,00	65,97
Talud	84,08	0,00	84,08
Kruin	100,56	0,00	100,56
Kruin	101,16	0,00	101,16
Talud	93,05	0,00	93,05
Insteek	87,06	0,00	87,06
Teen bodem	72,25	0,00	72,25
Bodem	69,58	0,00	69,58
Bodem	69,27	0,00	69,27
Bodem	72,25	0,00	72,25
Opgaande bocht	72,25	0,00	72,25
Bodem	75,10	30,49	65,42
3e rechte deel	73,64	30,49	64,09
Bodem	72,80	0,00	72,80
Insteek bodem	44,54	0,00	44,54
Kruin	55,89	0,00	55,89
Kruin	62,98	0,00	62,98
Kruin	28,66	0,00	28,66

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_{y2}^2 + \sigma_x^2 - \sigma_{y2} \cdot \sigma_x}$$

Toelaatbare ideale spanning: Re = **235,00** N/mm²

8. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q _n [N/mm ¹]	Q _v [N/mm ¹]	Q _r [N/mm ²]	δ _y [mm]	δ _y /D _g [%]
Insteek talud	10,58	1,10	-	0,02	0,019
Teen talud	9,14	0,20	-	0,02	0,015
Talud	13,71	0,12	-	0,02	0,022
Talud	20,16	0,07	-	0,04	0,033
Talud	16,06	0,05	-	0,02	0,017
1e rechte deel	15,66	0,00	-	0,02	0,016
Bodem	16,84	0,00	0,0016	0,02	0,018
Neergaande bocht	30,44	0,00	0,0047	0,05	0,049
Bodem	20,96	0,00	-	0,04	0,034
Bodem	20,96	0,00	-	0,04	0,034
Bodem	30,13	0,00	-	0,05	0,049
Bodem	34,44	0,00	-	0,06	0,056
Talud	45,25	0,07	-	0,08	0,073
Kruin	47,88	0,07	-	0,08	0,077
Kruin	47,63	0,07	-	0,08	0,077
Talud	45,35	0,00	-	0,08	0,073
Teen	34,44	0,00	-	0,06	0,056
2e rechte deel	33,75	0,00	-	0,06	0,055
Bodem	31,44	0,00	-	0,05	0,051
Bodem	28,45	0,00	-	0,05	0,046
Bodem	28,45	0,00	-	0,05	0,046
Bodem	31,44	0,00	-	0,05	0,051
Talud	40,08	0,00	-	0,07	0,065
Kruin	47,86	0,07	-	0,08	0,077
Kruin	48,15	0,07	-	0,08	0,078
Talud	44,27	0,08	-	0,08	0,072
Insteek	41,48	0,02	-	0,07	0,067
Teen bodem	34,44	0,00	-	0,06	0,056
Bodem	33,17	0,00	-	0,06	0,054
Bodem	33,02	0,00	-	0,06	0,053
Bodem	34,44	0,00	-	0,06	0,056
Opgaande bocht	34,44	0,00	-	0,06	0,056
Bodem	35,40	0,00	0,0047	0,06	0,057
3e rechte deel	34,70	0,00	0,0047	0,06	0,056
Bodem	34,70	0,00	-	0,06	0,056
Insteek bodem	21,23	0,00	-	0,02	0,022
Kruin	26,52	0,12	-	0,03	0,028
Kruin	29,83	0,19	-	0,06	0,052
Kruin	13,00	0,65	-	0,03	0,023

$$\delta_y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 54,00^3}{205.800 \cdot 20,84}$$

 Toelaatbare deflectie = 15% · D_g = 0,15 · 108,00 = **16,20 mm**

9. Berekening van de boorspoeldrukken tijdens de trekfase

Locatie	H [m]	σ_{vert} [kN/m ²]	σ_{hor} [kN/m ²]	σ_o' [kN/m ²]	p_f' [kN/m ²]	G [MN/m ²]
Insteek talud	5,28	72,55	36,27	54,41	81,61	11,54
Teen talud	5,51	58,27	29,14	43,70	65,56	11,54
Talud	8,56	86,00	43,00	64,50	96,75	11,54
Talud	12,87	125,18	62,59	93,89	140,83	11,54
Talud	15,00	91,82	64,21	78,01	103,38	0,71
1e rechte deel	15,75	85,91	60,08	72,99	104,48	0,71
Bodem	16,93	92,35	64,58	78,46	111,59	0,71
Neergaande bocht	20,33	184,82	92,41	138,61	207,92	11,54
Bodem	14,00	127,27	63,64	95,45	143,18	11,54
Bodem	14,00	127,27	63,64	95,45	143,18	11,54
Bodem	20,12	182,91	91,45	137,18	205,77	11,54
Bodem	23,00	209,09	104,55	156,82	235,23	11,54
Talud	29,15	279,73	139,86	209,80	314,69	11,54
Kruin	30,67	296,82	148,41	222,61	333,92	11,54
Kruin	30,50	295,27	147,64	221,45	332,18	11,54
Talud	29,04	281,18	140,59	210,89	316,33	11,54
Teen	23,00	209,09	104,55	156,82	235,23	11,54
2e rechte deel	22,54	204,91	102,45	153,68	230,52	11,54
Bodem	21,00	190,91	95,45	143,18	214,77	11,54
Bodem	19,00	172,73	86,36	129,55	194,32	11,54
Bodem	19,00	172,73	86,36	129,55	194,32	11,54
Bodem	21,00	190,91	95,45	143,18	214,77	11,54
Talud	26,17	246,09	123,05	184,57	276,85	11,54
Kruin	30,18	298,91	149,45	224,18	336,27	11,54
Kruin	30,37	300,64	150,32	225,48	338,22	11,54
Talud	28,02	276,00	138,00	207,00	310,50	11,54
Insteek	26,75	256,27	128,14	192,20	288,31	11,54
Teen bodem	23,00	209,09	104,55	156,82	235,23	11,54
Bodem	22,15	201,36	100,68	151,02	226,53	11,54
Bodem	22,05	200,45	100,23	150,34	225,51	11,54
Bodem	23,00	209,09	104,55	156,82	235,23	11,54
Opgaande bocht	23,00	209,09	104,55	156,82	235,23	11,54
Bodem	23,64	214,91	107,45	161,18	241,77	11,54
3e rechte deel	22,58	213,45	106,73	160,09	240,14	11,54
Bodem	22,58	213,45	106,73	160,09	240,14	11,54
Insteek bodem	20,20	120,18	84,04	102,11	134,73	0,71
Kruin	22,53	158,89	111,11	135,00	185,13	0,71
Kruin	17,66	191,64	88,67	140,15	215,46	13,46
Kruin	8,09	81,73	37,82	59,77	91,89	13,46

$$\sigma_{vert} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

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

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

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

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

Locatie	Q [-]	R _{p,max} [m]	u [N/mm ²]	p _{st} [N/mm ²]	Δ _p [N/mm ²]	p _{lim} [N/mm ²]
Insteek talud	0,0024	2,64	0,0228	0,02572	0,00	0,64
Teen talud	0,0019	2,76	0,0451	0,05088	0,00	0,57
Talud	0,0028	2,63	0,0756	0,08529	0,01	0,76
Talud	0,0041	2,18	0,1187	0,1339	0,01	1,00
Talud	0,036	7,50	0,1400	0,1579	0,01	0,37
1e rechte deel	0,044	7,88	0,1575	0,1777	0,01	0,41
Bodem	0,046	8,47	0,1893	0,2136	0,01	0,45
Neergaande bocht	0,0060	1,80	0,2533	0,2858	0,02	1,40
Bodem	0,0041	2,16	0,2500	0,2820	0,02	1,14
Bodem	0,0041	2,16	0,2500	0,2820	0,03	1,14
Bodem	0,0059	1,80	0,2512	0,2834	0,04	1,39
Bodem	0,0068	1,69	0,2470	0,2787	0,05	1,49
Talud	0,0091	1,46	0,2735	0,3085	0,05	1,78
Kruin	0,0096	1,42	0,2847	0,3212	0,05	1,85
Kruin	0,0096	1,42	0,2830	0,3193	0,05	1,85
Talud	0,0091	1,46	0,2694	0,3039	0,05	1,78
Teen	0,0068	1,69	0,2500	0,2820	0,05	1,49
2e rechte deel	0,0067	1,71	0,2484	0,2802	0,05	1,47
Bodem	0,0062	1,77	0,2500	0,2820	0,05	1,42
Bodem	0,0056	1,86	0,2470	0,2787	0,06	1,34
Bodem	0,0056	1,86	0,2500	0,2820	0,06	1,34
Bodem	0,0062	1,77	0,2500	0,2820	0,06	1,42
Talud	0,0080	1,56	0,2517	0,2840	0,06	1,64
Kruin	0,0097	1,41	0,2718	0,3066	0,07	1,85
Kruin	0,0098	1,41	0,2737	0,3088	0,07	1,86
Talud	0,0090	1,47	0,2542	0,2868	0,07	1,75
Insteek	0,0083	1,52	0,2515	0,2837	0,07	1,67
Teen bodem	0,0068	1,69	0,2520	0,2843	0,07	1,49
Bodem	0,0065	1,72	0,2515	0,2837	0,07	1,46
Bodem	0,0065	1,72	0,2485	0,2803	0,08	1,46
Bodem	0,0068	1,69	0,2520	0,2843	0,09	1,49
Opgaande bocht	0,0068	1,69	0,2500	0,2820	0,09	1,49
Bodem	0,0070	1,66	0,2464	0,2780	0,09	1,51
3e rechte deel	0,0069	1,67	0,2158	0,2435	0,09	1,47
Bodem	0,0069	1,67	0,2158	0,2435	0,10	1,47
Insteek bodem	0,046	10,10	0,1920	0,2166	0,10	0,47
Kruin	0,070	11,27	0,1893	0,2136	0,10	0,56
Kruin	0,0056	1,86	0,1386	0,1564	0,10	1,46
Kruin	0,0024	2,85	0,0709	0,07999	0,10	0,83

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

$$R_{p,max} = \frac{H}{2}; R_{p,max,zand} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot \varepsilon_{g,max}} \text{ of } \frac{H}{2}$$

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$p_{st} = \rho_m \cdot g \cdot h_z$$

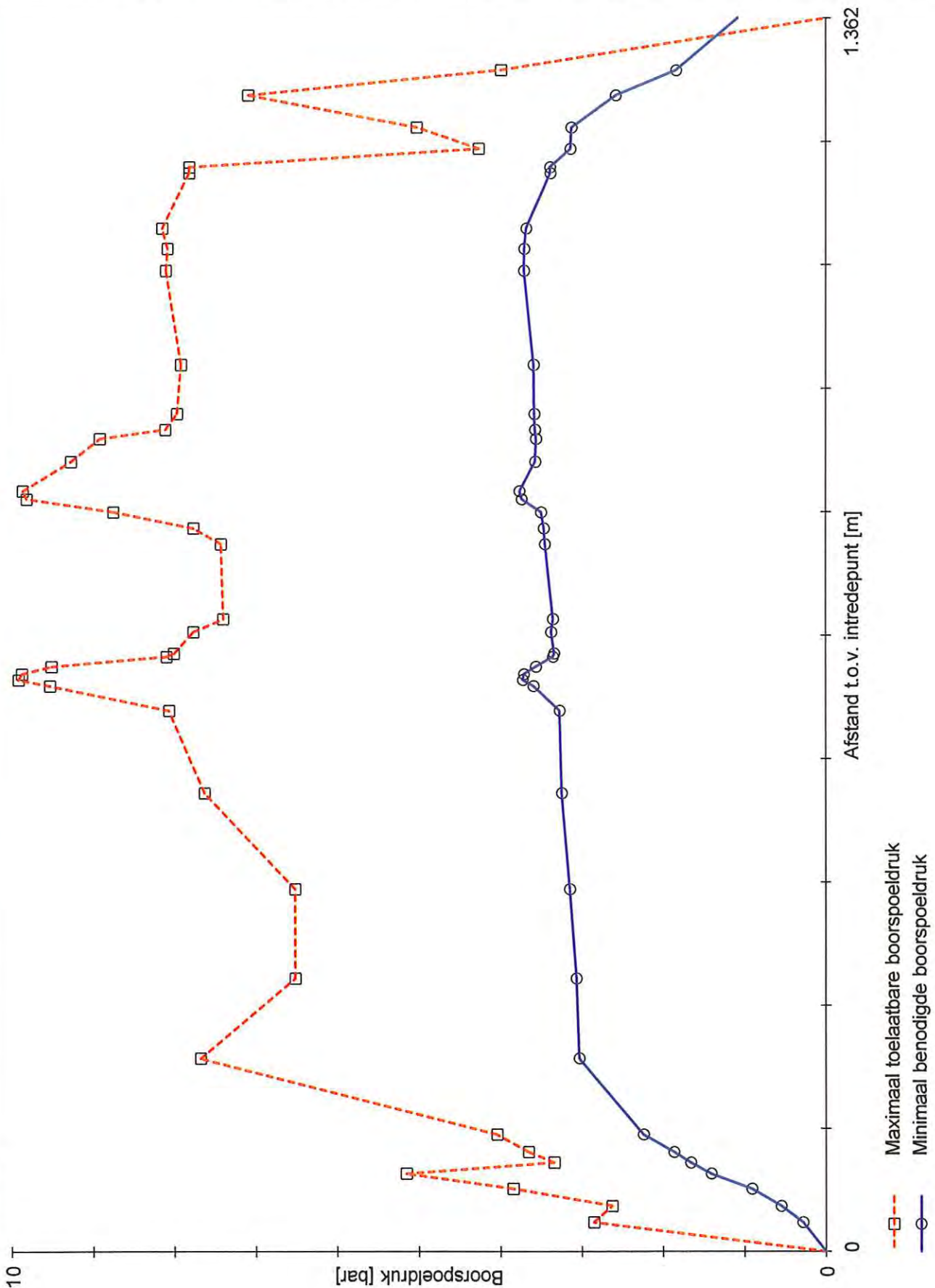
$$\Delta_p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$$

$$p_{lim} = (p'_r + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q \cdot \frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

Locatie	p_{max} [N/mm ²]	90% p_{lim} [N/mm ²]	p_{min} [N/mm ²]	p_{max} [bar]	90% p_{lim} [bar]	p_{min} [bar]
Insteek talud	0,29	0,57	0,03	2,85	5,72	0,28
Teen talud	0,26	0,52	0,05	2,63	5,17	0,55
Talud	0,38	0,69	0,09	3,84	6,86	0,91
Talud	0,52	0,90	0,14	5,15	9,01	1,41
Talud	0,37	0,33	0,17	3,66	3,34	1,66
1e rechte deel	0,40	0,37	0,19	4,02	3,65	1,86
Bodem	0,45	0,40	0,22	4,45	4,04	2,24
Neergaande bocht	0,77	1,26	0,30	7,68	12,57	3,03
Bodem	0,65	1,03	0,31	6,51	10,28	3,06
Bodem	0,65	1,03	0,31	6,51	10,28	3,14
Bodem	0,76	1,25	0,32	7,62	12,48	3,24
Bodem	0,81	1,34	0,33	8,05	13,40	3,26
Talud	0,95	1,60	0,36	9,51	16,03	3,58
Kruin	0,99	1,67	0,37	9,90	16,68	3,71
Kruin	0,99	1,66	0,37	9,86	16,62	3,70
Talud	0,95	1,60	0,36	9,50	16,04	3,55
Teen	0,81	1,34	0,33	8,08	13,43	3,34
2e rechte deel	0,80	1,33	0,33	7,99	13,26	3,33
Bodem	0,78	1,28	0,34	7,76	12,77	3,36
Bodem	0,74	1,21	0,33	7,39	12,06	3,34
Bodem	0,74	1,21	0,34	7,42	12,09	3,44
Bodem	0,78	1,28	0,35	7,76	12,77	3,46
Talud	0,87	1,47	0,35	8,74	14,72	3,49
Kruin	0,98	1,66	0,37	9,80	16,63	3,73
Kruin	0,99	1,67	0,38	9,85	16,70	3,76
Talud	0,93	1,57	0,36	9,26	15,74	3,56
Insteek	0,89	1,51	0,36	8,91	15,06	3,55
Teen bodem	0,81	1,34	0,36	8,10	13,44	3,56
Bodem	0,80	1,32	0,36	7,96	13,16	3,57
Bodem	0,79	1,31	0,36	7,91	13,10	3,58
Bodem	0,81	1,34	0,37	8,10	13,44	3,70
Opgaande bocht	0,81	1,34	0,37	8,08	13,43	3,70
Bodem	0,82	1,36	0,37	8,15	13,60	3,68
3e rechte deel	0,78	1,33	0,34	7,82	13,27	3,38
Bodem	0,78	1,33	0,34	7,82	13,27	3,39
Insteek bodem	0,47	0,43	0,31	4,71	4,26	3,13
Kruin	0,56	0,50	0,31	5,56	5,03	3,12
Kruin	0,71	1,31	0,26	7,10	13,13	2,58
Kruin	0,40	0,75	0,18	3,99	7,46	1,84

$$p_{max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{R_o}{R_{p,max}} \right)^2 + Q - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

$$p_{min} = p_{st} + \Delta p$$



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project	: Windpark Fryslan		
Projectonderdeel	: HDD boring Sluisweg tekening nr. 482.15.2.039-101 Boring A - 273ST		
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	Staal		
Kwaliteit:	Din St-37.4		
Rekgrens van het materiaal bij 20°C	Re	= 235	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	-
Soortelijk gewicht buis	ρ_L	= 78,5	kN/m ³
Toelaatbare deflectie	δ	= 15	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D_e	= 273,00	mm
Wanddikte	d_n	= 12,5	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)	= Drukloos		
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 100	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	ρ_m	= 11,5	kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	τ_y	= 15	Pa
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	D_g	= 880	mm
Diameter boorstang	D_b	= 125	mm
Totale lengte	L	= 1.362,07	m
Lengte 1e rechte deel	L_1	= 109,96	m
Lengte neergaande bocht	L_2	= 104,72	m
Lengte 2e rechte deel	L_3	= 897,90	m
Lengte opgaande bocht	L_4	= 83,78	m
Lengte 3e rechte deel	L_5	= 165,71	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R_r	= 600,00	m
Straal neergaande bocht	R_1	= 600,00	m
Straal opgaande bocht	R_2	= 600,00	m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	α_1	= 10,00 / 17,63	° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	α_2	= 8,00 / 14,05	° / %
Belastinghoek	α	= 30	°
Ondersteuningshoek	β	= 30	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	
Totaalfactor bij boring met bundels	f	= 1,8	
Belastingfactor	$f_{k,b}$	= 1,1	
Belastingfactor	$f_{k,o}$	= 1,4	
Wrijvingscoëff. zonder rollenbaan	f_1	= 0,3	
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	f_2	= 0,00005	N/mm ²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	f_3	= 0,2	
		24-08-2015 14:19:54	

Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting

Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m ³]	Wrijvings- hoek grond [°]
Insteek talud	32,14	5,28	3,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Teen talud	50,24	5,51	1,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Talud	69,26	8,56	1,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Talud	85,98	12,87	1,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Talud	98,20	15,00	1,00	Klei	17,00	17,00	17,50
1e rechte deel	109,96	15,75	0,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Bodem	129,29	16,93	-2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Neergaande bocht	213,58	20,33	-5,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	302,12	14,00	-11,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	400,80	14,00	-11,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	506,92	20,12	-5,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	597,72	23,00	-1,70	Zand	19,00	21,00	30,00
Talud	624,94	29,15	1,80	Zand	19,00	21,00	30,00
Kruin	631,71	30,67	2,20	Zand	19,00	21,00	30,00
Kruin	638,12	30,50	2,20	Zand	19,00	21,00	30,00
Talud	646,34	29,04	2,10	Zand	19,00	21,00	30,00
Teen	657,34	23,00	-2,00	Zand	19,00	21,00	30,00
2e rechte deel	660,81	22,54	-2,30	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	684,45	21,00	-4,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	698,74	19,00	-5,70	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	781,33	19,00	-6,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	798,66	21,00	-4,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Talud	816,50	26,17	1,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Kruin	830,83	30,18	3,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Kruin	839,70	30,37	3,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Talud	872,15	28,02	2,60	Zand	19,00	21,00	30,00
Insteek	897,35	26,75	1,60	Zand	19,00	21,00	30,00
Teen bodem	907,43	23,00	-2,20	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	924,88	22,15	-3,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	979,03	22,05	-2,80	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	1082,82	23,00	-2,20	Zand	19,00	21,00	30,00
Opgaande bocht	1106,93	23,00	-2,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	1129,49	23,64	-1,00	Zand	19,00	21,00	30,00
3e rechte deel	1190,66	22,58	1,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	1197,09	22,58	1,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Insteek bodem	1217,38	20,20	1,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Kruin	1241,03	22,53	3,60	Klei	17,00	17,00	17,50
Kruin	1276,65	17,66	3,80	Zand	19,00	21,00	32,50
Kruin	1304,39	8,09	1,00	Zand	19,00	21,00	32,50

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingsconstante [N/mm ³]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
Insteek talud	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek I
Teen talud	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek ½ x II
Talud	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek ½ x II
Talud	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek ½ x II
Talud	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek ½ x II
1e rechte deel	Geen	-	10,00	2,00	Geen
Bodem	Geen	0,0050	10,00	2,00	Geen
Neergaande bocht	Geen	0,0450	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Talud	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek I
Kruin	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek I
Kruin	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek I
Talud	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Teen	Geen	-	0,00	30,00	Geen
2e rechte deel	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Talud	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Kruin	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek I
Kruin	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek I
Talud	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek I
Insteek	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek ½ x II
Teen bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Opgaande bocht	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	0,0450	0,00	30,00	Geen
3e rechte deel	Geen	0,0450	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Insteek bodem	Geen	-	2,00	2,00	Geen
Kruin	Geen	-	10,00	2,00	Grafiek I
Kruin	Geen	-	0,00	35,00	Grafiek I
Kruin	Geen	-	0,00	35,00	Grafiek I

* Niet op schaal

2. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 248,00	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 260,50	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 273,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 136,50	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 124,00	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 130,25	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 86.974.493,15	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 637.175,77	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 162,76	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 26,04	mm ³ /mm ¹
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 10.229,81	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,8030	N/mm ¹

3. Berekening van het gewicht van de leiding tijdens het intrekken van de leiding

	<i>Leiding op rollenbaan/maaiveld</i>	<i>Leiding in boorgat</i>
Gewicht mediumleiding	$g = 0,8030 \text{ N/mm}^1$	$g = 0,8030 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,8030 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,8030 \text{ N/mm}^1$

4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds

4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld

Trekkraft T_1 tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_1 [N]
Starten met trekken	1.362,07	590.650
Na 1 ^e deel intrekken	1.196,36	518.792
Na 2 ^e deel intrekken	1.112,58	482.461
Na 3 ^e deel intrekken	214,68	93.094
Na 4 ^e deel intrekken	109,96	47.683

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,8030 \cdot 0,3$$

4.2 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_1 [N]	σ_t [N/mm ²]
Starten met trekken	590.650	57,74
Na 1 ^e deel intrekken	518.792	50,71
Na 2 ^e deel intrekken	482.461	47,16
Na 3 ^e deel intrekken	93.094	9,10
Na 4 ^e deel intrekken	47.683	4,66

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{10.229,81}$$

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 205.800 \cdot \frac{86.974.493}{600.000} = 32.815.476,27 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{32.815.476,27}{637.176} = 51,50 \text{ N/mm}^2$$

4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	σ_t [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	57,74	109,24
Na 1 ^e deel intrekken	50,71	102,22
Na 2 ^e deel intrekken	47,16	98,66
Na 3 ^e deel intrekken	9,10	60,60
Na 4 ^e deel intrekken	4,66	56,16

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 1 \cdot 51,50 + \sigma_t$$

Toelaatbare spanning: $\sigma_{kd} = 0,8 \cdot R_e = 0,8 \cdot 235 = 188,00 \text{ N/mm}^2$

5. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat

5.1 Berekening van de vereiste trekkracht T_2 en T_{3a} in verband met wrijving tussen leiding en boorvloeistof/boorgangwand

Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof. 100% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet. Hieruit volgt: $D_{e,omtrek} = 857,65 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,803 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof: $g_{opw} = \rho_m \cdot D_o^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 273,00^2 \cdot \pi/4 = 0,673 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,130 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
1 ^e deel intrekken	165,71	20.540	-
2 ^e deel intrekken	249,49	-	30.924
3 ^e deel intrekken	1.147,39	142.218	-
4 ^e deel intrekken	1.252,11	-	155.197
Geheel ingetrokken	1.362,07	168.827	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (857,65 \cdot 0,00005 + 0,130 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (857,65 \cdot 0,00005 + 0,130 \cdot 0,2)$

5.3 Berekening van de vereiste trekkracht T_{3b} in verband met wrijving door grondreactie in de bochten

Locatie	λ [mm ⁻¹]	R [m]	Q_r [N/mm ²]	T_{3b} [N]
Bodem	0,0004	600	0,0054	8.971
Neergaande bocht	0,0006	600	0,016	15.538
Bodem	0,0006	600	0,016	15.538
3e rechte deel	0,0006	600	0,016	15.538

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

$$Q_r = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot 0,9 \cdot R}$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 273,0 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

5.4 Berekening van de wrijving door bochtkracht T_{3c}

Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	T_{bocht} [N]
Neergaande bocht	482.461	30.924	15.538	-	528.923
Opgaande bocht	47.683	155.197	15.538	15.538	233.957

Neergaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max}$

Opgaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max} + T_{3a,op} + T_{3b,op,max}$

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N]
Neergaande bocht	5,00	528.923	33.191
Opgaande bocht	4,00	233.957	14.681

$$T_{3c} = f \cdot L_B \cdot g_t \cdot f_3$$

$$L_B = 2 \cdot R \cdot 2\pi \cdot \frac{\alpha}{360}$$

$$g_t = \frac{2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha)}{L_B}$$

$$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,8 \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$

5.5 Totalisatie van de trekkrachten in fase II

Trekkraft T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 / T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3c,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{3c,op}$ [N]	T_{tot} [N]
1 ^e deel intrekken	518.792	20.540	-	-	-	-	539.331
2 ^e deel intrekken	482.461	30.924	15.538	33.191	-	-	562.114
3 ^e deel intrekken	93.094	142.218	15.538	33.191	-	-	284.041
4 ^e deel intrekken	47.683	155.197	15.538	33.191	15.538	14.681	278.899
Geheel intrekken	0	168.827	15.538	33.191	15.538	14.681	244.845

$$T_{\text{tot}} = T_1 + T_2 + T_{3a} + T_{3b,neer,max} + T_{3c,neer} + T_{3b,op,max} + T_{3c,op}$$

5.6 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten in fase II

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]
1 ^e deel intrekken	539.331	52,72
2 ^e deel intrekken	562.114	54,95
3 ^e deel intrekken	284.041	27,77
4 ^e deel intrekken	278.899	27,26
Geheel intrekken	244.845	23,93

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{10.229,81}$$

5.7 Optredende spanningen t.g.v. kromming van de leiding in het boorgat

5.7.1 Neergaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 205.800 \cdot \frac{86.974.493,15}{0,9 \cdot 600.000} = 46.405.724,01 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{46.405.724,01}{637.175,77} = \mathbf{72,83 \text{ N/mm}^2}$$

5.7.2 Opgaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 205.800 \cdot \frac{86.974.493,15}{0,9 \cdot 600.000} = 46.405.724,01 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{46.405.724,01}{637.175,77} = \mathbf{72,83 \text{ N/mm}^2}$$

5.8 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	539.331	52,72	-	52,72
Na 1 ^e deel intrekken	562.114	54,95	72,83	127,78
Na 2 ^e deel intrekken	284.041	27,77	-	27,77
Na 3 ^e deel intrekken	278.899	27,26	72,83	100,09
Na 4 ^e deel intrekken	244.845	23,93	-	23,93

Rechte delen: $\sigma_a = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{10.229,81} = \sigma_t$

Gebogen delen: $\sigma_a = \alpha_\sigma \cdot \sigma_b + \sigma_t = 1 \cdot \sigma_b + \sigma_t$

Toelaatbare spanning: $\sigma_{kd} = 0,8 \cdot R_e = 0,8 \cdot 235 = \mathbf{188,00 \text{ N/mm}^2}$

6. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase

6.1 Berekening van de spanningen σ_p en σ_d t.g.v. inwendige druk

Leiding is drukloos:

$$\sigma_p = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

6.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

Leiding is drukloos:

$$f_{rr} = 1,00$$

6.3 Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	q_{droog} [kN/m ²]	q_{nat} [kN/m ²]	q_{totaal} [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]
Insteek talud	5,28	3,00	Zand	62,70	52,67	115,37	25,27
Teen talud	5,51	1,00	Zand	20,90	104,18	125,08	21,83
Talud	8,56	1,00	Zand	20,90	174,64	195,54	32,74
Talud	12,87	1,00	Zand	20,90	274,20	295,10	48,16
Talud	15,00	1,00	Klei	18,70	261,80	280,50	38,36
1e rechte deel	15,75	0,00	Klei	0,00	294,53	294,53	37,41
Bodem	16,93	-2,00	Klei	0,00	316,59	316,59	40,21
Neergaande bocht	20,33	-5,00	Zand	0,00	469,62	469,62	72,71
Bodem	14,00	-11,00	Zand	0,00	323,40	323,40	50,07
Bodem	14,00	-11,00	Zand	0,00	323,40	323,40	50,07
Bodem	20,12	-5,00	Zand	0,00	464,77	464,77	71,96
Bodem	23,00	-1,70	Zand	0,00	531,30	531,30	82,25
Talud	29,15	1,80	Zand	37,62	631,79	669,41	108,08
Kruin	30,67	2,20	Zand	45,98	657,66	703,64	114,37
Kruin	30,50	2,20	Zand	45,98	653,73	699,71	113,76
Talud	29,04	2,10	Zand	43,89	622,31	666,20	108,33
Teen	23,00	-2,00	Zand	0,00	531,30	531,30	82,25
2e rechte deel	22,54	-2,30	Zand	0,00	520,67	520,67	80,61
Bodem	21,00	-4,00	Zand	0,00	485,10	485,10	75,10
Bodem	19,00	-5,70	Zand	0,00	438,90	438,90	67,95
Bodem	19,00	-6,00	Zand	0,00	438,90	438,90	67,95
Bodem	21,00	-4,00	Zand	0,00	485,10	485,10	75,10
Talud	26,17	1,00	Zand	20,90	581,43	602,33	95,72
Kruin	30,18	3,00	Zand	62,70	627,86	690,56	114,32
Kruin	30,37	3,00	Zand	62,70	632,25	694,95	115,00
Talud	28,02	2,60	Zand	54,34	587,20	641,54	105,74
Insteek	26,75	1,60	Zand	33,44	580,97	614,41	99,07
Teen bodem	23,00	-2,20	Zand	0,00	531,30	531,30	82,25
Bodem	22,15	-3,00	Zand	0,00	511,67	511,67	79,22
Bodem	22,05	-2,80	Zand	0,00	509,36	509,36	78,86
Bodem	23,00	-2,20	Zand	0,00	531,30	531,30	82,25
Opgaande bocht	23,00	-2,00	Zand	0,00	531,30	531,30	82,25
Bodem	23,64	-1,00	Zand	0,00	546,08	546,08	84,54
3e rechte deel	22,58	1,00	Zand	20,90	498,50	519,40	82,88
Bodem	22,58	1,00	Zand	20,90	498,50	519,40	82,88
Insteek bodem	20,20	1,00	Klei	18,70	359,04	377,74	50,71
Kruin	22,53	3,60	Klei	67,32	353,99	421,31	63,34
Kruin	17,66	3,80	Zand	79,42	320,17	399,59	71,25
Kruin	8,09	1,00	Zand	20,90	163,78	184,68	31,06

$$Q_n = (\gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o$$

6.4 Berekening van de verkeersbelasting Q_v

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeers- belasting	q_v [kN/m ²]	Q_v [N/mm ¹]
Insteek talud	5,28	Grafiek I	9,61	2,62
Teen talud	5,51	Grafiek ½ x II	1,79	0,49
Talud	8,56	Grafiek ½ x II	1,03	0,28
Talud	12,87	Grafiek ½ x II	0,58	0,16
Talud	15,00	Grafiek ½ x II	0,46	0,13
1e rechte deel	15,75	Geen	0,00	0,00
Bodem	16,93	Geen	0,00	0,00
Neergaande bocht	20,33	Geen	0,00	0,00
Bodem	14,00	Geen	0,00	0,00
Bodem	14,00	Geen	0,00	0,00
Bodem	20,12	Geen	0,00	0,00
Bodem	23,00	Geen	0,00	0,00
Talud	29,15	Grafiek I	0,65	0,18
Kruin	30,67	Grafiek I	0,59	0,16
Kruin	30,50	Grafiek I	0,59	0,16
Talud	29,04	Geen	0,00	0,00
Teen	23,00	Geen	0,00	0,00
2e rechte deel	22,54	Geen	0,00	0,00
Bodem	21,00	Geen	0,00	0,00
Bodem	19,00	Geen	0,00	0,00
Bodem	19,00	Geen	0,00	0,00
Bodem	21,00	Geen	0,00	0,00
Talud	26,17	Geen	0,00	0,00
Kruin	30,18	Grafiek I	0,60	0,17
Kruin	30,37	Grafiek I	0,60	0,16
Talud	28,02	Grafiek I	0,70	0,19
Insteek	26,75	Grafiek ½ x II	0,17	0,05
Teen bodem	23,00	Geen	0,00	0,00
Bodem	22,15	Geen	0,00	0,00
Bodem	22,05	Geen	0,00	0,00
Bodem	23,00	Geen	0,00	0,00
Opgaande bocht	23,00	Geen	0,00	0,00
Bodem	23,64	Geen	0,00	0,00
3e rechte deel	22,58	Geen	0,00	0,00
Bodem	22,58	Geen	0,00	0,00
Insteek bodem	20,20	Geen	0,00	0,00
Kruin	22,53	Grafiek I	1,05	0,29
Kruin	17,66	Grafiek I	1,65	0,45
Kruin	8,09	Grafiek I	5,73	1,56

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 273,0$$

6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_{boven} [N/mm ¹]	M_q [Nmm]	σ_q [N/mm ¹]
Insteek talud	25,27	2,62	27,90	933,77	35,86
Teen talud	21,83	0,49	22,32	747,22	28,69
Talud	32,74	0,28	33,02	1.105,44	42,45
Talud	48,16	0,16	48,32	1.617,33	62,11
Talud	38,36	0,13	38,48	1.288,16	49,47
1e rechte deel	37,41	0,00	37,41	1.252,20	48,08
Bodem	40,21	0,00	40,21	1.346,01	51,69
Neergaande bocht	72,71	0,00	72,71	2.433,78	93,46
Bodem	50,07	0,00	50,07	1.676,00	64,36
Bodem	50,07	0,00	50,07	1.676,00	64,36
Bodem	71,96	0,00	71,96	2.408,64	92,49
Bodem	82,25	0,00	82,25	2.753,42	105,73
Talud	108,08	0,18	108,26	3.623,87	139,16
Kruin	114,37	0,16	114,53	3.833,80	147,22
Kruin	113,76	0,16	113,92	3.813,51	146,44
Talud	108,33	0,00	108,33	3.626,18	139,25
Teen	82,25	0,00	82,25	2.753,42	105,73
2e rechte deel	80,61	0,00	80,61	2.698,35	103,62
Bodem	75,10	0,00	75,10	2.513,99	96,54
Bodem	67,95	0,00	67,95	2.274,57	87,34
Bodem	67,95	0,00	67,95	2.274,57	87,34
Bodem	75,10	0,00	75,10	2.513,99	96,54
Talud	95,72	0,00	95,72	3.204,19	123,04
Kruin	114,32	0,17	114,49	3.832,33	147,16
Kruin	115,00	0,16	115,16	3.855,01	148,03
Talud	105,74	0,19	105,93	3.546,09	136,17
Insteek	99,07	0,05	99,12	3.317,95	127,41
Teen bodem	82,25	0,00	82,25	2.753,42	105,73
Bodem	79,22	0,00	79,22	2.651,66	101,82
Bodem	78,86	0,00	78,86	2.639,69	101,36
Bodem	82,25	0,00	82,25	2.753,42	105,73
Opgaande bocht	82,25	0,00	82,25	2.753,42	105,73
Bodem	84,54	0,00	84,54	2.830,04	108,67
3e rechte deel	82,88	0,00	82,88	2.774,42	106,54
Bodem	82,88	0,00	82,88	2.774,42	106,54
Insteek bodem	50,71	0,00	50,71	1.697,38	65,18
Kruin	63,34	0,29	63,63	2.129,85	81,79
Kruin	71,25	0,45	71,70	2.400,05	92,16
Kruin	31,06	1,56	32,63	1.092,11	41,94

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 130,25$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{26,04}$$

6.6 *Optredende spanning σ_{qr} tgv. grondreactie in de bochten*

Locatie	R [m]	Q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
Bodem	600	0,0054	1,38
Neergaande bocht	600	0,016	4,15
Bodem	600	0,016	4,15
3e rechte deel	600	0,016	4,15

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,179 \cdot Q_r \cdot 273,0 \cdot \frac{136,50}{26,04}$$

6.7 *Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil*

Leiding is drukloos

$$\sigma_{ax} = 0 \text{ N/mm}^2$$

7. Berekening van het totaal aan optredende spanningen

7.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

Locatie	σ_q [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_{y2} [N/mm ²]
Insteek talud	35,86	-	1	35,86
Teen talud	28,69	-	1	28,69
Talud	42,45	-	1	42,45
Talud	62,11	-	1	62,11
Talud	49,47	-	1	49,47
1e rechte deel	48,08	-	1	48,08
Bodem	51,69	1,38	1	53,07
Neergaande bocht	93,46	4,15	1	97,61
Bodem	64,36	-	1	64,36
Bodem	64,36	-	1	64,36
Bodem	92,49	-	1	92,49
Bodem	105,73	-	1	105,73
Talud	139,16	-	1	139,16
Kruin	147,22	-	1	147,22
Kruin	146,44	-	1	146,44
Talud	139,25	-	1	139,25
Teen	105,73	-	1	105,73
2e rechte deel	103,62	-	1	103,62
Bodem	96,54	-	1	96,54
Bodem	87,34	-	1	87,34
Bodem	87,34	-	1	87,34
Bodem	96,54	-	1	96,54
Talud	123,04	-	1	123,04
Kruin	147,16	-	1	147,16
Kruin	148,03	-	1	148,03
Talud	136,17	-	1	136,17
Insteek	127,41	-	1	127,41
Teen bodem	105,73	-	1	105,73
Bodem	101,82	-	1	101,82
Bodem	101,36	-	1	101,36
Bodem	105,73	-	1	105,73
Opgaande bocht	105,73	-	1	105,73
Bodem	108,67	4,15	1	112,82
3e rechte deel	106,54	4,15	1	110,69
Bodem	106,54	-	1	106,54
Insteek bodem	65,18	-	1	65,18
Kruin	81,79	-	1	81,79
Kruin	92,16	-	1	92,16
Kruin	41,94	-	1	41,94

Rechte delen: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$

Bochten: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$

Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = 0,8 \cdot Re = 0,8 \cdot 235 = 188,00$ N/mm²

7.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

Locatie	σ_{ax} [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	α_{σ} [-]	σ_x [N/mm ²]
Insteek talud	0,00	-	-	0,00
Teen talud	0,00	-	-	0,00
Talud	0,00	-	-	0,00
Talud	0,00	-	-	0,00
Talud	0,00	-	-	0,00
1e rechte deel	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	72,83	1	72,83
Neergaande bocht	0,00	72,83	1	72,83
Bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Talud	0,00	-	-	0,00
Kruin	0,00	-	-	0,00
Kruin	0,00	-	-	0,00
Talud	0,00	-	-	0,00
Teen	0,00	-	-	0,00
2e rechte deel	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Talud	0,00	-	-	0,00
Kruin	0,00	-	-	0,00
Kruin	0,00	-	-	0,00
Talud	0,00	-	-	0,00
Insteek	0,00	-	-	0,00
Teen bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Opgaande bocht	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	72,83	1	72,83
3e rechte deel	0,00	72,83	1	72,83
Bodem	0,00	-	-	0,00
Insteek bodem	0,00	-	-	0,00
Kruin	0,00	-	-	0,00
Kruin	0,00	-	-	0,00
Kruin	0,00	-	-	0,00

 Rechte delen: $\sigma_x = \sigma_{ax}$

 Bochten: $\sigma_x = \sigma_{ax} + \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b$

 Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = 0,8 \cdot Re = 0,8 \cdot 235 = 188,00$ N/mm²

7.3 Overzicht van de ideale spanningen in de leiding

Locatie	σ_{y2} [N/mm ²]	σ_x [N/mm ²]	σ_v [N/mm ²]
Insteek talud	35,86	0,00	35,86
Teen talud	28,69	0,00	28,69
Talud	42,45	0,00	42,45
Talud	62,11	0,00	62,11
Talud	49,47	0,00	49,47
1e rechte deel	48,08	0,00	48,08
Bodem	53,07	72,83	65,23
Neergaande bocht	97,61	72,83	87,88
Bodem	64,36	0,00	64,36
Bodem	64,36	0,00	64,36
Bodem	92,49	0,00	92,49
Bodem	105,73	0,00	105,73
Talud	139,16	0,00	139,16
Kruin	147,22	0,00	147,22
Kruin	146,44	0,00	146,44
Talud	139,25	0,00	139,25
Teen	105,73	0,00	105,73
2e rechte deel	103,62	0,00	103,62
Bodem	96,54	0,00	96,54
Bodem	87,34	0,00	87,34
Bodem	87,34	0,00	87,34
Bodem	96,54	0,00	96,54
Talud	123,04	0,00	123,04
Kruin	147,16	0,00	147,16
Kruin	148,03	0,00	148,03
Talud	136,17	0,00	136,17
Insteek	127,41	0,00	127,41
Teen bodem	105,73	0,00	105,73
Bodem	101,82	0,00	101,82
Bodem	101,36	0,00	101,36
Bodem	105,73	0,00	105,73
Opgaande bocht	105,73	0,00	105,73
Bodem	112,82	72,83	99,08
3e rechte deel	110,69	72,83	97,44
Bodem	106,54	0,00	106,54
Insteek bodem	65,18	0,00	65,18
Kruin	81,79	0,00	81,79
Kruin	92,16	0,00	92,16
Kruin	41,94	0,00	41,94

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_{y2}^2 + \sigma_x^2} - \sigma_{y2} \cdot \sigma_x$$

Toelaatbare ideale spanning: Re = **235,00** N/mm²

8. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q _n [N/mm ¹]	Q _v [N/mm ¹]	Q _r [N/mm ²]	δ _y [mm]	δ _y /D _g [%]
Insteek talud	25,27	2,62	-	0,09	0,034
Teen talud	21,83	0,49	-	0,07	0,027
Talud	32,74	0,28	-	0,10	0,040
Talud	48,16	0,16	-	0,15	0,058
Talud	38,36	0,13	-	0,08	0,030
1e rechte deel	37,41	0,00	-	0,08	0,029
Bodem	40,21	0,00	0,0054	0,08	0,032
Neergaande bocht	72,71	0,00	0,016	0,23	0,087
Bodem	50,07	0,00	-	0,16	0,060
Bodem	50,07	0,00	-	0,16	0,060
Bodem	71,96	0,00	-	0,23	0,087
Bodem	82,25	0,00	-	0,26	0,099
Talud	108,08	0,18	-	0,34	0,13
Kruin	114,37	0,16	-	0,36	0,14
Kruin	113,76	0,16	-	0,36	0,14
Talud	108,33	0,00	-	0,34	0,13
Teen	82,25	0,00	-	0,26	0,099
2e rechte deel	80,61	0,00	-	0,25	0,097
Bodem	75,10	0,00	-	0,24	0,090
Bodem	67,95	0,00	-	0,21	0,082
Bodem	67,95	0,00	-	0,21	0,082
Bodem	75,10	0,00	-	0,24	0,090
Talud	95,72	0,00	-	0,30	0,12
Kruin	114,32	0,17	-	0,36	0,14
Kruin	115,00	0,16	-	0,36	0,14
Talud	105,74	0,19	-	0,33	0,13
Insteek	99,07	0,05	-	0,31	0,12
Teen bodem	82,25	0,00	-	0,26	0,099
Bodem	79,22	0,00	-	0,25	0,095
Bodem	78,86	0,00	-	0,25	0,095
Bodem	82,25	0,00	-	0,26	0,099
Opgaande bocht	82,25	0,00	-	0,26	0,099
Bodem	84,54	0,00	0,016	0,26	0,10
3e rechte deel	82,88	0,00	0,016	0,26	0,100
Bodem	82,88	0,00	-	0,26	0,100
Insteek bodem	50,71	0,00	-	0,10	0,040
Kruin	63,34	0,29	-	0,13	0,050
Kruin	71,25	0,45	-	0,24	0,092
Kruin	31,06	1,56	-	0,11	0,042

$$\delta_y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 130,25^3}{205.800 \cdot 162,76}$$

Toelaatbare deflectie = 15% · D_g = 0,15 · 260,50 = **39,08 mm**

9. Berekening van de boorspoeldrukken tijdens de trekfase

Locatie	H [m]	σ_{vert} [kN/m ²]	σ_{hor} [kN/m ²]	σ_o' [kN/m ²]	p_f' [kN/m ²]	G [MN/m ²]
Insteek talud	5,28	72,55	36,27	54,41	81,61	11,54
Teen talud	5,51	58,27	29,14	43,70	65,56	11,54
Talud	8,56	86,00	43,00	64,50	96,75	11,54
Talud	12,87	125,18	62,59	93,89	140,83	11,54
Talud	15,00	91,82	64,21	78,01	103,38	0,71
1e rechte deel	15,75	85,91	60,08	72,99	104,48	0,71
Bodem	16,93	92,35	64,58	78,46	111,59	0,71
Neergaande bocht	20,33	184,82	92,41	138,61	207,92	11,54
Bodem	14,00	127,27	63,64	95,45	143,18	11,54
Bodem	14,00	127,27	63,64	95,45	143,18	11,54
Bodem	20,12	182,91	91,45	137,18	205,77	11,54
Bodem	23,00	209,09	104,55	156,82	235,23	11,54
Talud	29,15	279,73	139,86	209,80	314,69	11,54
Kruin	30,67	296,82	148,41	222,61	333,92	11,54
Kruin	30,50	295,27	147,64	221,45	332,18	11,54
Talud	29,04	281,18	140,59	210,89	316,33	11,54
Teen	23,00	209,09	104,55	156,82	235,23	11,54
2e rechte deel	22,54	204,91	102,45	153,68	230,52	11,54
Bodem	21,00	190,91	95,45	143,18	214,77	11,54
Bodem	19,00	172,73	86,36	129,55	194,32	11,54
Bodem	19,00	172,73	86,36	129,55	194,32	11,54
Bodem	21,00	190,91	95,45	143,18	214,77	11,54
Talud	26,17	246,09	123,05	184,57	276,85	11,54
Kruin	30,18	298,91	149,45	224,18	336,27	11,54
Kruin	30,37	300,64	150,32	225,48	338,22	11,54
Talud	28,02	276,00	138,00	207,00	310,50	11,54
Insteek	26,75	256,27	128,14	192,20	288,31	11,54
Teen bodem	23,00	209,09	104,55	156,82	235,23	11,54
Bodem	22,15	201,36	100,68	151,02	226,53	11,54
Bodem	22,05	200,45	100,23	150,34	225,51	11,54
Bodem	23,00	209,09	104,55	156,82	235,23	11,54
Opgaande bocht	23,00	209,09	104,55	156,82	235,23	11,54
Bodem	23,64	214,91	107,45	161,18	241,77	11,54
3e rechte deel	22,58	213,45	106,73	160,09	240,14	11,54
Bodem	22,58	213,45	106,73	160,09	240,14	11,54
Insteek bodem	20,20	120,18	84,04	102,11	134,73	0,71
Kruin	22,53	158,89	111,11	135,00	185,13	0,71
Kruin	17,66	191,64	88,67	140,15	215,46	13,46
Kruin	8,09	81,73	37,82	59,77	91,89	13,46

$$\sigma_{vert} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

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

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

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

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

Locatie	Q [-]	R _{p,max} [m]	u [N/mm ²]	ρ _{st} [N/mm ²]	Δ _p [N/mm ²]	ρ _{lim} [N/mm ²]
InstEEK talud	0,0024	2,64	0,0228	0,02572	0,00	0,64
Teen talud	0,0019	2,76	0,0451	0,05088	0,00	0,57
Talud	0,0028	2,63	0,0756	0,08529	0,01	0,76
Talud	0,0041	2,18	0,1187	0,1339	0,01	1,00
Talud	0,036	7,50	0,1400	0,1579	0,01	0,37
1e rechte deel	0,044	7,88	0,1575	0,1777	0,01	0,41
Bodem	0,046	8,47	0,1893	0,2136	0,01	0,45
Neergaande bocht	0,0060	1,80	0,2533	0,2858	0,02	1,40
Bodem	0,0041	2,16	0,2500	0,2820	0,02	1,14
Bodem	0,0041	2,16	0,2500	0,2820	0,03	1,14
Bodem	0,0059	1,80	0,2512	0,2834	0,04	1,39
Bodem	0,0068	1,69	0,2470	0,2787	0,05	1,49
Talud	0,0091	1,46	0,2735	0,3085	0,05	1,78
Kruin	0,0096	1,42	0,2847	0,3212	0,05	1,85
Kruin	0,0096	1,42	0,2830	0,3193	0,05	1,85
Talud	0,0091	1,46	0,2694	0,3039	0,05	1,78
Teen	0,0068	1,69	0,2500	0,2820	0,05	1,49
2e rechte deel	0,0067	1,71	0,2484	0,2802	0,05	1,47
Bodem	0,0062	1,77	0,2500	0,2820	0,05	1,42
Bodem	0,0056	1,86	0,2470	0,2787	0,06	1,34
Bodem	0,0056	1,86	0,2500	0,2820	0,06	1,34
Bodem	0,0062	1,77	0,2500	0,2820	0,06	1,42
Talud	0,0080	1,56	0,2517	0,2840	0,06	1,64
Kruin	0,0097	1,41	0,2718	0,3066	0,07	1,85
Kruin	0,0098	1,41	0,2737	0,3088	0,07	1,86
Talud	0,0090	1,47	0,2542	0,2868	0,07	1,75
InstEEK	0,0083	1,52	0,2515	0,2837	0,07	1,67
Teen bodem	0,0068	1,69	0,2520	0,2843	0,07	1,49
Bodem	0,0065	1,72	0,2515	0,2837	0,07	1,46
Bodem	0,0065	1,72	0,2485	0,2803	0,08	1,46
Bodem	0,0068	1,69	0,2520	0,2843	0,09	1,49
Opgaande bocht	0,0068	1,69	0,2500	0,2820	0,09	1,49
Bodem	0,0070	1,66	0,2464	0,2780	0,09	1,51
3e rechte deel	0,0069	1,67	0,2158	0,2435	0,09	1,47
Bodem	0,0069	1,67	0,2158	0,2435	0,10	1,47
InstEEK bodem	0,046	10,10	0,1920	0,2166	0,10	0,47
Kruin	0,070	11,27	0,1893	0,2136	0,10	0,56
Kruin	0,0056	1,86	0,1386	0,1564	0,10	1,46
Kruin	0,0024	2,85	0,0709	0,07999	0,10	0,83

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

$$R_{p,max} = \frac{H}{2}; R_{p,max,zand} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot \varepsilon_{g,max}} \text{ of } \frac{H}{2}$$

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$\rho_{st} = \rho_m \cdot g \cdot h_z$$

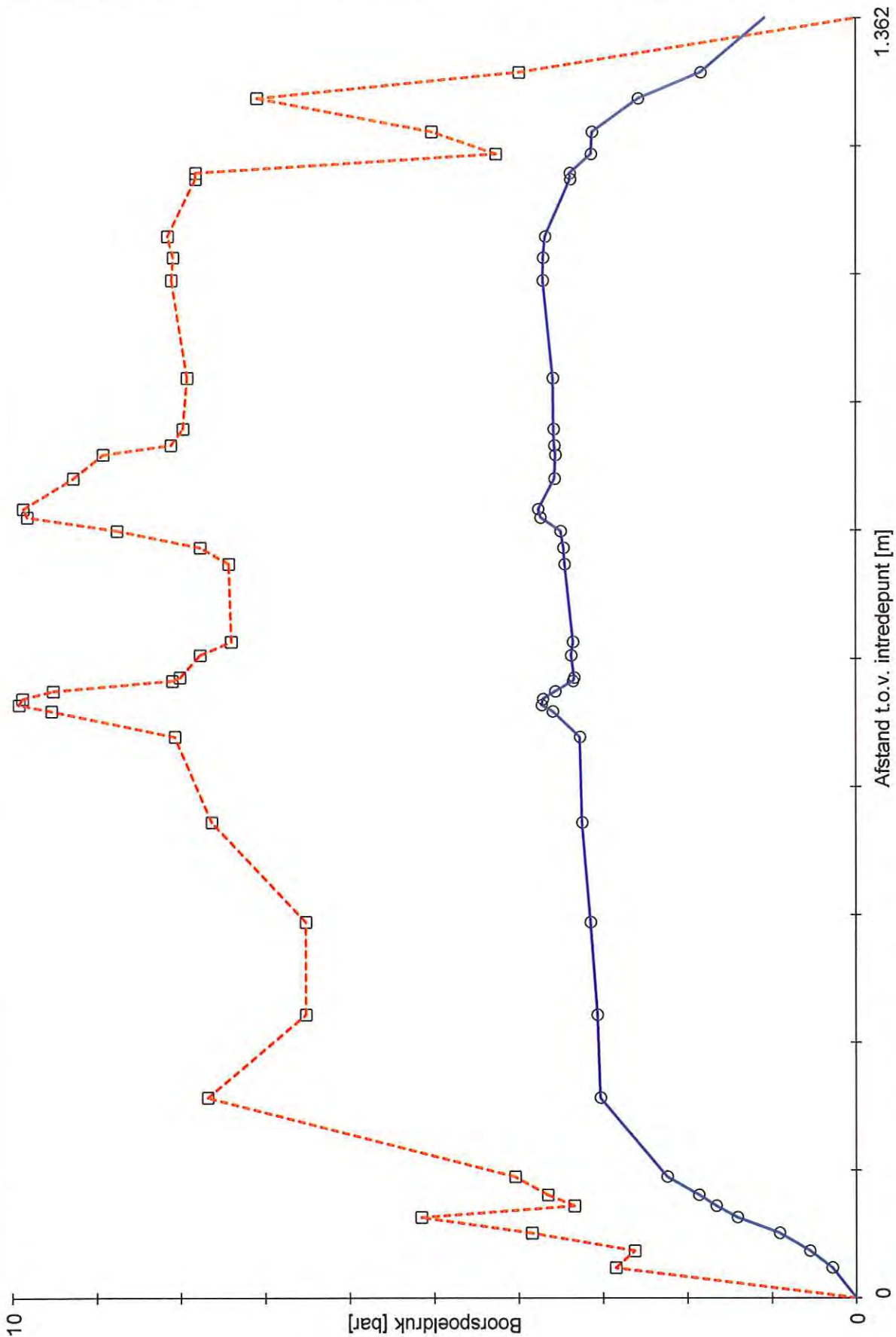
$$\Delta_p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$$

$$\rho_{lim} = (\rho'_r + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q \cdot \frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi} + c \cdot \cot(\varphi) + u$$

Locatie	p_{max} [N/mm ²]	90% p_{lim} [N/mm ²]	p_{min} [N/mm ²]	p_{max} [bar]	90% p_{lim} [bar]	p_{min} [bar]
Insteek talud	0,29	0,57	0,03	2,85	5,72	0,28
Teen talud	0,26	0,52	0,05	2,63	5,17	0,55
Talud	0,38	0,69	0,09	3,84	6,86	0,91
Talud	0,52	0,90	0,14	5,15	9,01	1,41
Talud	0,37	0,33	0,17	3,66	3,34	1,66
1e rechte deel	0,40	0,37	0,19	4,02	3,65	1,86
Bodem	0,45	0,40	0,22	4,45	4,04	2,24
Neergaande bocht	0,77	1,26	0,30	7,68	12,57	3,03
Bodem	0,65	1,03	0,31	6,51	10,28	3,06
Bodem	0,65	1,03	0,31	6,51	10,28	3,14
Bodem	0,76	1,25	0,32	7,62	12,48	3,24
Bodem	0,81	1,34	0,33	8,05	13,40	3,26
Talud	0,95	1,60	0,36	9,51	16,03	3,58
Kruin	0,99	1,67	0,37	9,90	16,68	3,71
Kruin	0,99	1,66	0,37	9,86	16,62	3,70
Talud	0,95	1,60	0,36	9,50	16,04	3,55
Teen	0,81	1,34	0,33	8,08	13,43	3,34
2e rechte deel	0,80	1,33	0,33	7,99	13,26	3,33
Bodem	0,78	1,28	0,34	7,76	12,77	3,36
Bodem	0,74	1,21	0,33	7,39	12,06	3,34
Bodem	0,74	1,21	0,34	7,42	12,09	3,44
Bodem	0,78	1,28	0,35	7,76	12,77	3,46
Talud	0,87	1,47	0,35	8,74	14,72	3,49
Kruin	0,98	1,66	0,37	9,80	16,63	3,73
Kruin	0,99	1,67	0,38	9,85	16,70	3,76
Talud	0,93	1,57	0,36	9,26	15,74	3,56
Insteek	0,89	1,51	0,36	8,91	15,06	3,55
Teen bodem	0,81	1,34	0,36	8,10	13,44	3,56
Bodem	0,80	1,32	0,36	7,96	13,16	3,57
Bodem	0,79	1,31	0,36	7,91	13,10	3,58
Bodem	0,81	1,34	0,37	8,10	13,44	3,70
Opgaande bocht	0,81	1,34	0,37	8,08	13,43	3,70
Bodem	0,82	1,36	0,37	8,15	13,60	3,68
3e rechte deel	0,78	1,33	0,34	7,82	13,27	3,38
Bodem	0,78	1,33	0,34	7,82	13,27	3,39
Insteek bodem	0,47	0,43	0,31	4,71	4,26	3,13
Kruin	0,56	0,50	0,31	5,56	5,03	3,12
Kruin	0,71	1,31	0,26	7,10	13,13	2,58
Kruin	0,40	0,75	0,18	3,99	7,46	1,84

$$p_{max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{R_o}{R_{p,max}} \right)^2 + Q - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

$$p_{min} = p_{st} + \Delta p$$



Maximaal toelaatbare boorspoeldruk
Minimaal benodigde boorspoeldruk

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Windpark Fryslan			
Projectonderdeel : HDD boring Sluisweg tekening nr. 482.15.2.039-101 Boring B - 114 ST			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	Staal		
Kwaliteit:	Din St-37.4		
Rekgrens van het materiaal bij 20°C	Re	= 235	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus	E	= 205800	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= 1,2 · 10 ⁻⁵	mm/(mm · K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	α_σ	= 1	-
Soortelijk gewicht buis	ρ_L	= 78,5	kN/m ³
Toelaatbare deflectie	δ	= 15	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D_e	= 114,30	mm
Wanddikte	d_n	= 6,3	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 100	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	ρ_m	= 11,5	kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	τ_y	= 15	Pa
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	D_g	= 880	mm
Diameter boorstang	D_b	= 125	mm
Totale lengte	L	= 1.362,07	m
Lengte 1e rechte deel	L_1	= 109,96	m
Lengte neergaande bocht	L_2	= 104,72	m
Lengte 2e rechte deel	L_3	= 897,90	m
Lengte opgaande bocht	L_4	= 83,78	m
Lengte 3e rechte deel	L_5	= 165,71	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R_r	= 600,00	m
Straal neergaande bocht	R_1	= 600,00	m
Straal opgaande bocht	R_2	= 600,00	m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	α_1	= 10,00 / 17,63	° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	α_2	= 8,00 / 14,05	° / %
Belastinghoek	α	= 30	°
Ondersteuningshoek	β	= 30	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	
Totaalfactor bij boring met bundels	f	= 1,8	
Belastingfactor	$f_{k,b}$	= 1,1	
Belastingfactor	$f_{k,o}$	= 1,4	
Wrijvingscoëff. zonder rollenbaan	f_1	= 0,3	
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	f_2	= 0,00005	N/mm ²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	f_3	= 0,2	
		24-08-2015 13:58:55	

Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting

Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m ³]	Wrijvings- hoek grond [°]
Insteek talud	32,14	5,28	3,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Teen talud	50,24	5,51	1,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Talud	69,26	8,56	1,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Talud	85,98	12,87	1,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Talud	98,20	15,00	1,00	Klei	17,00	17,00	17,50
1e rechte deel	109,96	15,75	0,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Bodem	129,29	16,93	-2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Neergaande bocht	214,68	20,33	-5,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	302,12	14,00	-11,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	400,80	14,00	-11,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	506,92	20,12	-5,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	597,72	23,00	-1,70	Zand	19,00	21,00	30,00
Talud	624,94	29,15	1,80	Zand	19,00	21,00	30,00
Kruin	631,71	30,67	2,20	Zand	19,00	21,00	30,00
Kruin	638,12	30,50	2,20	Zand	19,00	21,00	30,00
Talud	646,34	29,04	2,10	Zand	19,00	21,00	30,00
Teen	657,34	23,00	-2,00	Zand	19,00	21,00	30,00
2e rechte deel	663,63	22,54	-2,30	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	684,45	21,00	-4,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	698,74	19,00	-5,70	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	781,33	19,00	-6,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	798,66	21,00	-4,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Talud	816,50	26,17	1,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Kruin	830,83	30,18	3,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Kruin	839,70	30,37	3,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Talud	872,15	28,02	2,60	Zand	19,00	21,00	30,00
Insteek	897,35	26,75	1,60	Zand	19,00	21,00	30,00
Teen bodem	907,43	23,00	-2,20	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	924,88	22,15	-3,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	979,03	22,05	-2,80	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	1082,82	23,00	-2,20	Zand	19,00	21,00	30,00
Opgaande bocht	1112,58	23,00	-2,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	1129,49	23,64	-1,00	Zand	19,00	21,00	30,00
3e rechte deel	1196,36	22,58	1,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	1197,09	22,58	1,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Insteek bodem	1217,38	20,20	1,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Kruin	1241,03	22,53	3,60	Klei	17,00	17,00	17,50
Kruin	1276,65	17,66	3,80	Zand	19,00	21,00	32,50
Kruin	1304,39	8,09	1,00	Zand	19,00	21,00	32,50

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingsconstante [N/mm ²]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
Insteek talud	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek I
Teen talud	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek ½ x II
Talud	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek ½ x II
Talud	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek ½ x II
Talud	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek ½ x II
1e rechte deel	Geen	-	10,00	2,00	Geen
Bodem	Geen	0,0050	10,00	2,00	Geen
Neergaande bocht	Geen	0,0450	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Talud	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek I
Kruin	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek I
Kruin	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek I
Talud	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Teen	Geen	-	0,00	30,00	Geen
2e rechte deel	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Talud	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Kruin	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek I
Kruin	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek I
Talud	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek I
Insteek	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek ½ x II
Teen bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Opgaande bocht	Geen	0,0450	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	0,0450	0,00	30,00	Geen
3e rechte deel	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Insteek bodem	Geen	-	2,00	2,00	Geen
Kruin	Geen	-	10,00	2,00	Grafiek I
Kruin	Geen	-	0,00	35,00	Grafiek I
Kruin	Geen	-	0,00	35,00	Grafiek I

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012 Sigma 2012 3.0 ©

2. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 101,70	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 108,00	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 114,30	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 57,15	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 50,85	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 54,00	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 3.127.137,67	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 54.718,07	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 20,84	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 6,62	mm ³ /mm ¹
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 2.137,54	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,1678	N/mm ¹

3. Berekening van het gewicht van de leiding tijdens het intrekken van de leiding

	<i>Leiding op rollenbaan/ maaiveld</i>	<i>Leiding in boorgat</i>
Gewicht mediumleiding	$g = 0,1678 \text{ N/mm}^1$	$g = 0,1678 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,1678 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,1678 \text{ N/mm}^1$

4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds

4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/ maaiveld

Trekkracht T_1 tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_1 [N]
Starten met trekken	1.362,07	123.418
Na 1 ^e deel intrekken	1.196,36	108.403
Na 2 ^e deel intrekken	1.112,58	100.811
Na 3 ^e deel intrekken	214,68	19.452
Na 4 ^e deel intrekken	109,96	9.964

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,1678 \cdot 0,3$$

4.2 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten op rollenbaan/ maaiveld

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_1 [N]	σ_t [N/mm ²]
Starten met trekken	123.418	57,74
Na 1 ^e deel intrekken	108.403	50,71
Na 2 ^e deel intrekken	100.811	47,16
Na 3 ^e deel intrekken	19.452	9,10
Na 4 ^e deel intrekken	9.964	4,66

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{2.137,54}$$

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 205.800 \cdot \frac{3.127.138}{600.000} = 1.179.869,04 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{1.179.869,04}{54.718} = 21,56 \text{ N/mm}^2$$

4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/ maaiveld

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	σ_t [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	57,74	79,30
Na 1 ^e deel intrekken	50,71	72,28
Na 2 ^e deel intrekken	47,16	68,72
Na 3 ^e deel intrekken	9,10	30,66
Na 4 ^e deel intrekken	4,66	26,22

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 1 \cdot 21,56 + \sigma_t$$

Toelaatbare spanning: $\sigma_{kd} = 0,8 \cdot R_e = 0,8 \cdot 235 = 188,00 \text{ N/mm}^2$

5. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat

5.1 Berekening van de vereiste trekkracht T_2 en T_{3a} in verband met wrijving tussen leiding en boorvloeistof/boorgangwand

Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof. 100% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet. Hieruit volgt: $D_{e,omtrek} = 359,08 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,168 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof: $g_{opw} = \rho_m \cdot D_o^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 114,30^2 \cdot \pi/4 = 0,118 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,0498 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
1 ^e deel intrekken	165,71	8.326	-
2 ^e deel intrekken	249,49	-	12.536
3 ^e deel intrekken	1.147,39	57.650	-
4 ^e deel intrekken	1.252,11	-	62.912
Geheel ingetrokken	1.362,07	68.437	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (359,08 \cdot 0,00005 + 0,0498 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (359,08 \cdot 0,00005 + 0,0498 \cdot 0,2)$

5.3 Berekening van de vereiste trekkracht T_{3b} in verband met wrijving door grondreactie in de bochten

Locatie	λ [mm ⁻¹]	R [m]	Q_r [N/mm ²]	T_{3b} [N]
Bodem	0,0007	600	0,0016	596
Neergaande bocht	0,0012	600	0,0047	1.032
Opgaande bocht	0,0012	600	0,0047	1.032
Bodem	0,0012	600	0,0047	1.032

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

$$Q_r = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot 0,9 \cdot R}$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 114,3 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

5.4 Berekening van de wrijving door bochtkracht T_{3c}

Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	T_{bocht} [N]
Neergaande bocht	100.811	12.536	1.032	-	114.379
Opgaande bocht	9.964	62.912	1.032	1.032	74.939

Neergaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max}$

Opgaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max} + T_{3a,op} + T_{3b,op,max}$

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N]
Neergaande bocht	5,00	114.379	7.178
Opgaande bocht	4,00	74.939	4.703

$$T_{3c} = f \cdot L_B \cdot g_t \cdot f_3$$

$$L_B = 2 \cdot R \cdot 2\pi \cdot \frac{\alpha}{360}$$

$$g_t = \frac{2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha)}{L_B}$$

$$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,8 \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$

5.5 Totalisatie van de trekkraften in fase II

Trekkraft T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 / T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3c,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{3c,op}$ [N]	T_{tot} [N]
1 ^e deel intrekken	108.403	8.326	-	-	-	-	116.729
2 ^e deel intrekken	100.811	12.536	1.032	7.178	-	-	121.556
3 ^e deel intrekken	19.452	57.650	1.032	7.178	-	-	85.312
4 ^e deel intrekken	9.964	62.912	1.032	7.178	1.032	4.703	85.881
Geheel intrekken	0	68.437	1.032	7.178	1.032	4.703	81.442

$$T_{\text{tot}} = T_1 + T_2 + T_{3a} + T_{3b,neer,max} + T_{3c,neer} + T_{3b,op,max} + T_{3c,op}$$

5.6 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkraften in fase II

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]
1 ^e deel intrekken	116.729	54,61
2 ^e deel intrekken	121.556	56,87
3 ^e deel intrekken	85.312	39,91
4 ^e deel intrekken	85.881	40,18
Geheel intrekken	81.442	38,10

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{2.137,54}$$

5.7 Optredende spanningen t.g.v. kromming van de leiding in het boorgat

5.7.1 Neergaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 205.800 \cdot \frac{3.127.137,67}{0,9 \cdot 600.000} = 1.668.501,67 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{1.668.501,67}{54.718,07} = 30,49 \text{ N/mm}^2$$

5.7.2 Opgaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 205.800 \cdot \frac{3.127.137,67}{0,9 \cdot 600.000} = 1.668.501,67 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{1.668.501,67}{54.718,07} = 30,49 \text{ N/mm}^2$$

5.8 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	116.729	54,61	-	54,61
Na 1 ^e deel intrekken	121.556	56,87	30,49	87,36
Na 2 ^e deel intrekken	85.312	39,91	-	39,91
Na 3 ^e deel intrekken	85.881	40,18	30,49	70,67
Na 4 ^e deel intrekken	81.442	38,10	-	38,10

Rechte delen: $\sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{2.137,54} = \sigma_t$

Gebogen delen: $\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 1 \cdot \sigma_b + \sigma_t$

Toelaatbare spanning: $\sigma_{kd} = 0,8 \cdot Re = 0,8 \cdot 235 = 188,00 \text{ N/mm}^2$

KL Infra Engineering B.V.

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2012 3.0 ©

6. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase

6.1 Berekening van de spanningen s_p en s_{pl} t.g.v. inwendige druk

Leiding is drukloos:

$$\sigma_p = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

6.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

Leiding is drukloos:

$$f_{rr} = 1,00$$

6.3 Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	q_{droog} [kN/m ²]	q_{nat} [kN/m ²]	q_{totaal} [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]
Insteek talud	5,28	3,00	Zand	62,70	52,67	115,37	10,58
Teen talud	5,51	1,00	Zand	20,90	104,18	125,08	9,14
Talud	8,56	1,00	Zand	20,90	174,64	195,54	13,71
Talud	12,87	1,00	Zand	20,90	274,20	295,10	20,16
Talud	15,00	1,00	Klei	18,70	261,80	280,50	16,06
1e rechte deel	15,75	0,00	Klei	0,00	294,53	294,53	15,66
Bodem	16,93	-2,00	Klei	0,00	316,59	316,59	16,84
Neergaande bocht	20,33	-5,00	Zand	0,00	469,62	469,62	30,44
Bodem	14,00	-11,00	Zand	0,00	323,40	323,40	20,96
Bodem	14,00	-11,00	Zand	0,00	323,40	323,40	20,96
Bodem	20,12	-5,00	Zand	0,00	464,77	464,77	30,13
Bodem	23,00	-1,70	Zand	0,00	531,30	531,30	34,44
Talud	29,15	1,80	Zand	37,62	631,79	669,41	45,25
Kruin	30,67	2,20	Zand	45,98	657,66	703,64	47,88
Kruin	30,50	2,20	Zand	45,98	653,73	699,71	47,63
Talud	29,04	2,10	Zand	43,89	622,31	666,20	45,35
Teen	23,00	-2,00	Zand	0,00	531,30	531,30	34,44
2e rechte deel	22,54	-2,30	Zand	0,00	520,67	520,67	33,75
Bodem	21,00	-4,00	Zand	0,00	485,10	485,10	31,44
Bodem	19,00	-5,70	Zand	0,00	438,90	438,90	28,45
Bodem	19,00	-6,00	Zand	0,00	438,90	438,90	28,45
Bodem	21,00	-4,00	Zand	0,00	485,10	485,10	31,44
Talud	26,17	1,00	Zand	20,90	581,43	602,33	40,08
Kruin	30,18	3,00	Zand	62,70	627,86	690,56	47,86
Kruin	30,37	3,00	Zand	62,70	632,25	694,95	48,15
Talud	28,02	2,60	Zand	54,34	587,20	641,54	44,27
Insteek	26,75	1,60	Zand	33,44	580,97	614,41	41,48
Teen bodem	23,00	-2,20	Zand	0,00	531,30	531,30	34,44
Bodem	22,15	-3,00	Zand	0,00	511,67	511,67	33,17
Bodem	22,05	-2,80	Zand	0,00	509,36	509,36	33,02
Bodem	23,00	-2,20	Zand	0,00	531,30	531,30	34,44
Opgaande bocht	23,00	-2,00	Zand	0,00	531,30	531,30	34,44
Bodem	23,64	-1,00	Zand	0,00	546,08	546,08	35,40
3e rechte deel	22,58	1,00	Zand	20,90	498,50	519,40	34,70
Bodem	22,58	1,00	Zand	20,90	498,50	519,40	34,70
Insteek bodem	20,20	1,00	Klei	18,70	359,04	377,74	21,23
Kruin	22,53	3,60	Klei	67,32	353,99	421,31	26,52
Kruin	17,66	3,80	Zand	79,42	320,17	399,59	29,83
Kruin	8,09	1,00	Zand	20,90	163,78	184,68	13,00

$$Q_n = (\gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o$$

6.4 Berekening van de verkeersbelasting Q_v

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeers- belasting	q_v [kN/m ²]	Q_v [N/mm ¹]
Insteek talud	5,28	Grafiek I	9,61	1,10
Teen talud	5,51	Grafiek ½ x II	1,79	0,20
Talud	8,56	Grafiek ½ x II	1,03	0,12
Talud	12,87	Grafiek ½ x II	0,58	0,07
Talud	15,00	Grafiek ½ x II	0,46	0,05
1e rechte deel	15,75	Geen	0,00	0,00
Bodem	16,93	Geen	0,00	0,00
Neergaande bocht	20,33	Geen	0,00	0,00
Bodem	14,00	Geen	0,00	0,00
Bodem	14,00	Geen	0,00	0,00
Bodem	20,12	Geen	0,00	0,00
Bodem	23,00	Geen	0,00	0,00
Talud	29,15	Grafiek I	0,65	0,07
Kruin	30,67	Grafiek I	0,59	0,07
Kruin	30,50	Grafiek I	0,59	0,07
Talud	29,04	Geen	0,00	0,00
Teen	23,00	Geen	0,00	0,00
2e rechte deel	22,54	Geen	0,00	0,00
Bodem	21,00	Geen	0,00	0,00
Bodem	19,00	Geen	0,00	0,00
Bodem	19,00	Geen	0,00	0,00
Bodem	21,00	Geen	0,00	0,00
Talud	26,17	Geen	0,00	0,00
Kruin	30,18	Grafiek I	0,60	0,07
Kruin	30,37	Grafiek I	0,60	0,07
Talud	28,02	Grafiek I	0,70	0,08
Insteek	26,75	Grafiek ½ x II	0,17	0,02
Teen bodem	23,00	Geen	0,00	0,00
Bodem	22,15	Geen	0,00	0,00
Bodem	22,05	Geen	0,00	0,00
Bodem	23,00	Geen	0,00	0,00
Opgaande bocht	23,00	Geen	0,00	0,00
Bodem	23,64	Geen	0,00	0,00
3e rechte deel	22,58	Geen	0,00	0,00
Bodem	22,58	Geen	0,00	0,00
Insteek bodem	20,20	Geen	0,00	0,00
Kruin	22,53	Grafiek I	1,05	0,12
Kruin	17,66	Grafiek I	1,65	0,19
Kruin	8,09	Grafiek I	5,73	0,65

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 114,3$$

6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	Q _n [N/mm ¹]	Q _v [N/mm ¹]	Q _{boven} [N/mm ¹]	M _q [Nmm]	σ _q [N/mm ¹]
Insteek talud	10,58	1,10	11,68	162,08	24,50
Teen talud	9,14	0,20	9,35	129,70	19,61
Talud	13,71	0,12	13,83	191,88	29,01
Talud	20,16	0,07	20,23	280,74	42,44
Talud	16,06	0,05	16,11	223,60	33,80
1e rechte deel	15,66	0,00	15,66	217,36	32,86
Bodem	16,84	0,00	16,84	233,64	35,32
Neergaande bocht	30,44	0,00	30,44	422,46	63,86
Bodem	20,96	0,00	20,96	290,92	43,98
Bodem	20,96	0,00	20,96	290,92	43,98
Bodem	30,13	0,00	30,13	418,09	63,20
Bodem	34,44	0,00	34,44	477,94	72,25
Talud	45,25	0,07	45,33	629,03	95,09
Kruin	47,88	0,07	47,95	665,47	100,60
Kruin	47,63	0,07	47,70	661,95	100,07
Talud	45,35	0,00	45,35	629,43	95,15
Teen	34,44	0,00	34,44	477,94	72,25
2e rechte deel	33,75	0,00	33,75	468,38	70,81
Bodem	31,44	0,00	31,44	436,38	65,97
Bodem	28,45	0,00	28,45	394,82	59,69
Bodem	28,45	0,00	28,45	394,82	59,69
Bodem	31,44	0,00	31,44	436,38	65,97
Talud	40,08	0,00	40,08	556,18	84,08
Kruin	47,86	0,07	47,93	665,22	100,56
Kruin	48,15	0,07	48,22	669,15	101,16
Talud	44,27	0,08	44,35	615,53	93,05
Insteek	41,48	0,02	41,50	575,93	87,06
Teen bodem	34,44	0,00	34,44	477,94	72,25
Bodem	33,17	0,00	33,17	460,28	69,58
Bodem	33,02	0,00	33,02	458,20	69,27
Bodem	34,44	0,00	34,44	477,94	72,25
Opgaande bocht	34,44	0,00	34,44	477,94	72,25
Bodem	35,40	0,00	35,40	491,24	74,26
3e rechte deel	34,70	0,00	34,70	481,58	72,80
Bodem	34,70	0,00	34,70	481,58	72,80
Insteek bodem	21,23	0,00	21,23	294,63	44,54
Kruin	26,52	0,12	26,64	369,70	55,89
Kruin	29,83	0,19	30,02	416,60	62,98
Kruin	13,00	0,65	13,66	189,57	28,66

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 54,00$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{6,62}$$

6.6 Optredende spanning s_{qr} t.g.v. grondreactie in de bochten

Locatie	R [m]	Q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
Bodem	600	0,0016	0,28
Neergaande bocht	600	0,0047	0,84
Opgaande bocht	600	0,0047	0,84
Bodem	600	0,0047	0,84

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,179 \cdot Q_r \cdot 114,3 \cdot \frac{57,15}{6,62}$$

6.7 Berekening van de spanning s_{ax} t.g.v. temperatuurverschil

Leiding is drukloos

$$\sigma_{ax} = 0 \text{ N/mm}^2$$

7. Berekening van het totaal aan optredende spanningen

7.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

Locatie	σ_q [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_{y2} [N/mm ²]
Insteek talud	24,50	-	1	24,50
Teen talud	19,61	-	1	19,61
Talud	29,01	-	1	29,01
Talud	42,44	-	1	42,44
Talud	33,80	-	1	33,80
1e rechte deel	32,86	-	1	32,86
Bodem	35,32	0,28	1	35,60
Neergaande bocht	63,86	0,84	1	64,70
Bodem	43,98	-	1	43,98
Bodem	43,98	-	1	43,98
Bodem	63,20	-	1	63,20
Bodem	72,25	-	1	72,25
Talud	95,09	-	1	95,09
Kruin	100,60	-	1	100,60
Kruin	100,07	-	1	100,07
Talud	95,15	-	1	95,15
Teen	72,25	-	1	72,25
2e rechte deel	70,81	-	1	70,81
Bodem	65,97	-	1	65,97
Bodem	59,69	-	1	59,69
Bodem	59,69	-	1	59,69
Bodem	65,97	-	1	65,97
Talud	84,08	-	1	84,08
Kruin	100,56	-	1	100,56
Kruin	101,16	-	1	101,16
Talud	93,05	-	1	93,05
Insteek	87,06	-	1	87,06
Teen bodem	72,25	-	1	72,25
Bodem	69,58	-	1	69,58
Bodem	69,27	-	1	69,27
Bodem	72,25	-	1	72,25
Opgaande bocht	72,25	0,84	1	73,09
Bodem	74,26	0,84	1	75,10
3e rechte deel	72,80	-	1	72,80
Bodem	72,80	-	1	72,80
Insteek bodem	44,54	-	1	44,54
Kruin	55,89	-	1	55,89
Kruin	62,98	-	1	62,98
Kruin	28,66	-	1	28,66

Rechte delen: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$

Bochten: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$

Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = 0,8 \cdot Re = 0,8 \cdot 235 = 188,00$ N/mm²

7.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

Locatie	σ_{ax} [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	α_{σ} [-]	σ_x [N/mm ²]
Insteek talud	0,00	-	-	0,00
Teen talud	0,00	-	-	0,00
Talud	0,00	-	-	0,00
Talud	0,00	-	-	0,00
Talud	0,00	-	-	0,00
1e rechte deel	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	30,49	1	30,49
Neergaande bocht	0,00	30,49	1	30,49
Bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Talud	0,00	-	-	0,00
Kruin	0,00	-	-	0,00
Kruin	0,00	-	-	0,00
Talud	0,00	-	-	0,00
Teen	0,00	-	-	0,00
2e rechte deel	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Talud	0,00	-	-	0,00
Kruin	0,00	-	-	0,00
Kruin	0,00	-	-	0,00
Talud	0,00	-	-	0,00
Insteek	0,00	-	-	0,00
Teen bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Opgaande bocht	0,00	30,49	1	30,49
Bodem	0,00	30,49	1	30,49
3e rechte deel	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Insteek bodem	0,00	-	-	0,00
Kruin	0,00	-	-	0,00
Kruin	0,00	-	-	0,00
Kruin	0,00	-	-	0,00

Rechte delen: $\sigma_x = \sigma_{ax}$

Bochten: $\sigma_x = \sigma_{ax} + \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b$

Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = 0,8 \cdot Re = 0,8 \cdot 235 = 188,00$ N/mm²

7.3 Overzicht van de ideale spanningen in de leiding

Locatie	σ_{y2} [N/mm ²]	σ_x [N/mm ²]	σ_v [N/mm ²]
Insteek talud	24,50	0,00	24,50
Teen talud	19,61	0,00	19,61
Talud	29,01	0,00	29,01
Talud	42,44	0,00	42,44
Talud	33,80	0,00	33,80
1e rechte deel	32,86	0,00	32,86
Bodem	35,60	30,49	33,34
Neergaande bocht	64,70	30,49	56,06
Bodem	43,98	0,00	43,98
Bodem	43,98	0,00	43,98
Bodem	63,20	0,00	63,20
Bodem	72,25	0,00	72,25
Talud	95,09	0,00	95,09
Kruin	100,60	0,00	100,60
Kruin	100,07	0,00	100,07
Talud	95,15	0,00	95,15
Teen	72,25	0,00	72,25
2e rechte deel	70,81	0,00	70,81
Bodem	65,97	0,00	65,97
Bodem	59,69	0,00	59,69
Bodem	59,69	0,00	59,69
Bodem	65,97	0,00	65,97
Talud	84,08	0,00	84,08
Kruin	100,56	0,00	100,56
Kruin	101,16	0,00	101,16
Talud	93,05	0,00	93,05
Insteek	87,06	0,00	87,06
Teen bodem	72,25	0,00	72,25
Bodem	69,58	0,00	69,58
Bodem	69,27	0,00	69,27
Bodem	72,25	0,00	72,25
Opgaande bocht	73,09	30,49	63,59
Bodem	75,10	30,49	65,42
3e rechte deel	72,80	0,00	72,80
Bodem	72,80	0,00	72,80
Insteek bodem	44,54	0,00	44,54
Kruin	55,89	0,00	55,89
Kruin	62,98	0,00	62,98
Kruin	28,66	0,00	28,66

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_{y2}^2 + \sigma_x^2 - \sigma_{y2} \cdot \sigma_x}$$

Toelaatbare ideale spanning: Re = **235,00** N/mm²

8. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q _n [N/mm ¹]	Q _v [N/mm ¹]	Q _r [N/mm ²]	δ _γ [mm]	δ _γ /D _g [%]
Insteek talud	10,58	1,10	-	0,02	0,019
Teen talud	9,14	0,20	-	0,02	0,015
Talud	13,71	0,12	-	0,02	0,022
Talud	20,16	0,07	-	0,04	0,033
Talud	16,06	0,05	-	0,02	0,017
1e rechte deel	15,66	0,00	-	0,02	0,016
Bodem	16,84	0,00	0,0016	0,02	0,018
Neergaande bocht	30,44	0,00	0,0047	0,05	0,049
Bodem	20,96	0,00	-	0,04	0,034
Bodem	20,96	0,00	-	0,04	0,034
Bodem	30,13	0,00	-	0,05	0,049
Bodem	34,44	0,00	-	0,06	0,056
Talud	45,25	0,07	-	0,08	0,073
Kruin	47,88	0,07	-	0,08	0,077
Kruin	47,63	0,07	-	0,08	0,077
Talud	45,35	0,00	-	0,08	0,073
Teen	34,44	0,00	-	0,06	0,056
2e rechte deel	33,75	0,00	-	0,06	0,055
Bodem	31,44	0,00	-	0,05	0,051
Bodem	28,45	0,00	-	0,05	0,046
Bodem	28,45	0,00	-	0,05	0,046
Bodem	31,44	0,00	-	0,05	0,051
Talud	40,08	0,00	-	0,07	0,065
Kruin	47,86	0,07	-	0,08	0,077
Kruin	48,15	0,07	-	0,08	0,078
Talud	44,27	0,08	-	0,08	0,072
Insteek	41,48	0,02	-	0,07	0,067
Teen bodem	34,44	0,00	-	0,06	0,056
Bodem	33,17	0,00	-	0,06	0,054
Bodem	33,02	0,00	-	0,06	0,053
Bodem	34,44	0,00	-	0,06	0,056
Opgaande bocht	34,44	0,00	0,0047	0,06	0,056
Bodem	35,40	0,00	0,0047	0,06	0,057
3e rechte deel	34,70	0,00	-	0,06	0,056
Bodem	34,70	0,00	-	0,06	0,056
Insteek bodem	21,23	0,00	-	0,02	0,022
Kruin	26,52	0,12	-	0,03	0,028
Kruin	29,83	0,19	-	0,06	0,052
Kruin	13,00	0,65	-	0,03	0,023

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 54,00^3}{205.800 \cdot 20,84}$$

Toelaatbare deflectie = 15% · D_g = 0,15 · 108,00 = **16,20 mm**

9. Berekening van de boorspoeldrukken tijdens de trekfase

Locatie	H [m]	σ_{vert} [kN/m ²]	σ_{hor} [kN/m ²]	σ_o' [kN/m ²]	p_f [kN/m ²]	G [MN/m ²]
Insteek talud	5,28	72,55	36,27	54,41	81,61	11,54
Teen talud	5,51	58,27	29,14	43,70	65,56	11,54
Talud	8,56	86,00	43,00	64,50	96,75	11,54
Talud	12,87	125,18	62,59	93,89	140,83	11,54
Talud	15,00	91,82	64,21	78,01	103,38	0,71
1e rechte deel	15,75	85,91	60,08	72,99	104,48	0,71
Bodem	16,93	92,35	64,58	78,46	111,59	0,71
Neergaande bocht	20,33	184,82	92,41	138,61	207,92	11,54
Bodem	14,00	127,27	63,64	95,45	143,18	11,54
Bodem	14,00	127,27	63,64	95,45	143,18	11,54
Bodem	20,12	182,91	91,45	137,18	205,77	11,54
Bodem	23,00	209,09	104,55	156,82	235,23	11,54
Talud	29,15	279,73	139,86	209,80	314,69	11,54
Kruin	30,67	296,82	148,41	222,61	333,92	11,54
Kruin	30,50	295,27	147,64	221,45	332,18	11,54
Talud	29,04	281,18	140,59	210,89	316,33	11,54
Teen	23,00	209,09	104,55	156,82	235,23	11,54
2e rechte deel	22,54	204,91	102,45	153,68	230,52	11,54
Bodem	21,00	190,91	95,45	143,18	214,77	11,54
Bodem	19,00	172,73	86,36	129,55	194,32	11,54
Bodem	19,00	172,73	86,36	129,55	194,32	11,54
Bodem	21,00	190,91	95,45	143,18	214,77	11,54
Talud	26,17	246,09	123,05	184,57	276,85	11,54
Kruin	30,18	298,91	149,45	224,18	336,27	11,54
Kruin	30,37	300,64	150,32	225,48	338,22	11,54
Talud	28,02	276,00	138,00	207,00	310,50	11,54
Insteek	26,75	256,27	128,14	192,20	288,31	11,54
Teen bodem	23,00	209,09	104,55	156,82	235,23	11,54
Bodem	22,15	201,36	100,68	151,02	226,53	11,54
Bodem	22,05	200,45	100,23	150,34	225,51	11,54
Bodem	23,00	209,09	104,55	156,82	235,23	11,54
Opgaande bocht	23,00	209,09	104,55	156,82	235,23	11,54
Bodem	23,64	214,91	107,45	161,18	241,77	11,54
3e rechte deel	22,58	213,45	106,73	160,09	240,14	11,54
Bodem	22,58	213,45	106,73	160,09	240,14	11,54
Insteek bodem	20,20	120,18	84,04	102,11	134,73	0,71
Kruin	22,53	158,89	111,11	135,00	185,13	0,71
Kruin	17,66	191,64	88,67	140,15	215,46	13,46
Kruin	8,09	81,73	37,82	59,77	91,89	13,46

$$\sigma_{vert} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

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

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

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

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

Locatie	Q [-]	R _{p,max} [m]	u [N/mm ²]	p _{st} [N/mm ²]	Δ _p [N/mm ²]	p _{lim} [N/mm ²]
Insteek talud	0,0024	2,64	0,0228	0,02572	0,00	0,64
Teen talud	0,0019	2,76	0,0451	0,05088	0,00	0,57
Talud	0,0028	2,63	0,0756	0,08529	0,01	0,76
Talud	0,0041	2,18	0,1187	0,1339	0,01	1,00
Talud	0,036	7,50	0,1400	0,1579	0,01	0,37
1e rechte deel	0,044	7,88	0,1575	0,1777	0,01	0,41
Bodem	0,046	8,47	0,1893	0,2136	0,01	0,45
Neergaande bocht	0,0060	1,80	0,2533	0,2858	0,02	1,40
Bodem	0,0041	2,16	0,2500	0,2820	0,02	1,14
Bodem	0,0041	2,16	0,2500	0,2820	0,03	1,14
Bodem	0,0059	1,80	0,2512	0,2834	0,04	1,39
Bodem	0,0068	1,69	0,2470	0,2787	0,05	1,49
Talud	0,0091	1,46	0,2735	0,3085	0,05	1,78
Kruin	0,0096	1,42	0,2847	0,3212	0,05	1,85
Kruin	0,0096	1,42	0,2830	0,3193	0,05	1,85
Talud	0,0091	1,46	0,2694	0,3039	0,05	1,78
Teen	0,0068	1,69	0,2500	0,2820	0,05	1,49
2e rechte deel	0,0067	1,71	0,2484	0,2802	0,05	1,47
Bodem	0,0062	1,77	0,2500	0,2820	0,05	1,42
Bodem	0,0056	1,86	0,2470	0,2787	0,06	1,34
Bodem	0,0056	1,86	0,2500	0,2820	0,06	1,34
Bodem	0,0062	1,77	0,2500	0,2820	0,06	1,42
Talud	0,0080	1,56	0,2517	0,2840	0,06	1,64
Kruin	0,0097	1,41	0,2718	0,3066	0,07	1,85
Kruin	0,0098	1,41	0,2737	0,3088	0,07	1,86
Talud	0,0090	1,47	0,2542	0,2868	0,07	1,75
Insteek	0,0083	1,52	0,2515	0,2837	0,07	1,67
Teen bodem	0,0068	1,69	0,2520	0,2843	0,07	1,49
Bodem	0,0065	1,72	0,2515	0,2837	0,07	1,46
Bodem	0,0065	1,72	0,2485	0,2803	0,08	1,46
Bodem	0,0068	1,69	0,2520	0,2843	0,09	1,49
Opgaande bocht	0,0068	1,69	0,2500	0,2820	0,09	1,49
Bodem	0,0070	1,66	0,2464	0,2780	0,09	1,51
3e rechte deel	0,0069	1,67	0,2158	0,2435	0,10	1,47
Bodem	0,0069	1,67	0,2158	0,2435	0,10	1,47
Insteek bodem	0,046	10,10	0,1920	0,2166	0,10	0,47
Kruin	0,070	11,27	0,1893	0,2136	0,10	0,56
Kruin	0,0056	1,86	0,1386	0,1564	0,10	1,46
Kruin	0,0024	2,85	0,0709	0,07999	0,10	0,83

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

$$R_{p,max} = \frac{H}{2}; R_{p,max,zand} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot \varepsilon_{g,max}} \text{ of } \frac{H}{2}$$

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$p_{st} = \rho_m \cdot g \cdot h_z$$

$$\Delta p = 4 \cdot \frac{\gamma \cdot L}{D_g - D_b}$$

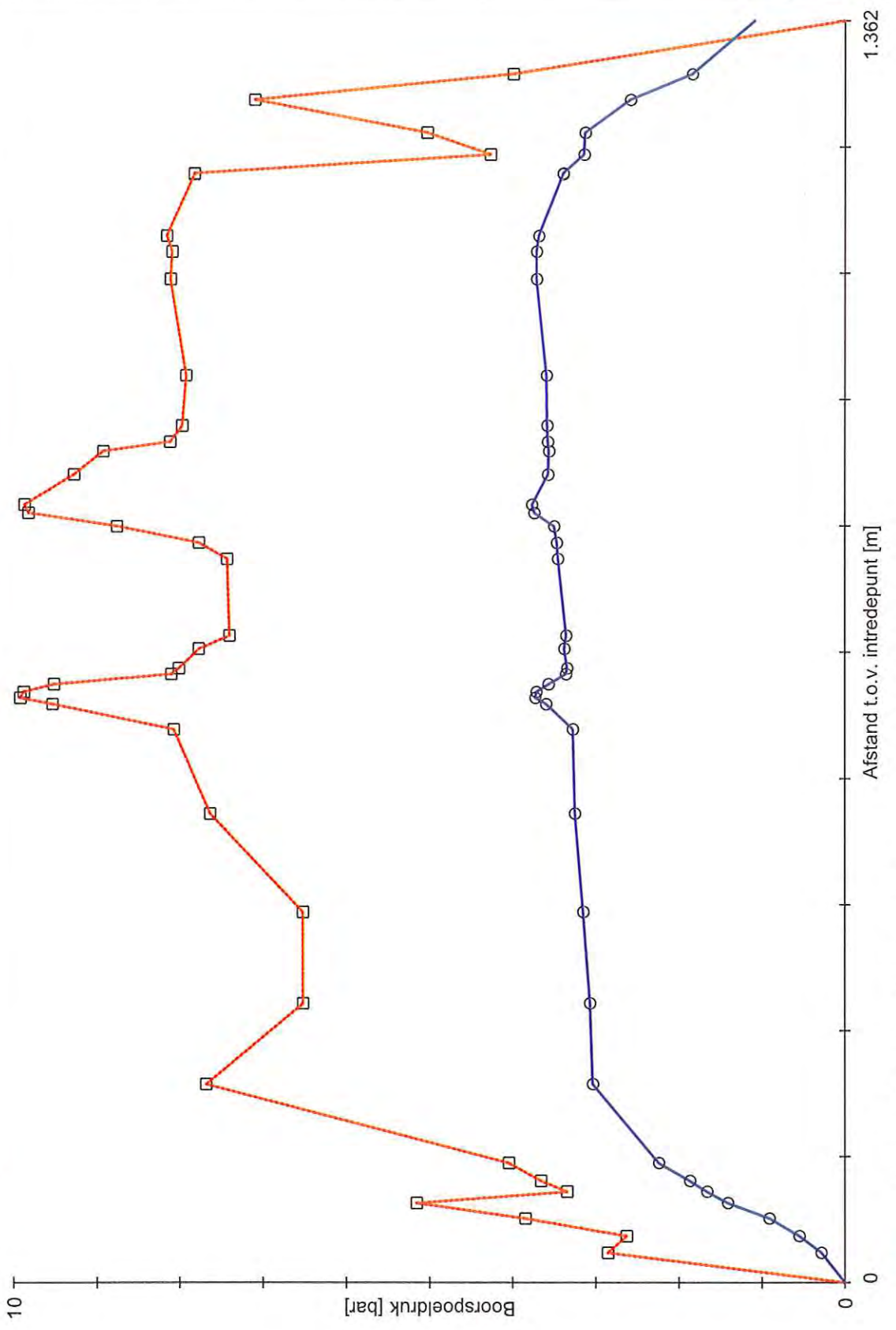
$$p_{lim} = (p'_t + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

24-08-2015 13:58:56

Locatie	p_{max} [N/mm ²]	90% p_{lim} [N/mm ²]	p_{min} [N/mm ²]	p_{max} [bar]	90% p_{lim} [bar]	p_{min} [bar]
Insteek talud	0,29	0,57	0,03	2,85	5,72	0,28
Teen talud	0,26	0,52	0,05	2,63	5,17	0,55
Talud	0,38	0,69	0,09	3,84	6,86	0,91
Talud	0,52	0,90	0,14	5,15	9,01	1,41
Talud	0,37	0,33	0,17	3,66	3,34	1,66
1e rechte deel	0,40	0,37	0,19	4,02	3,65	1,86
Bodem	0,45	0,40	0,22	4,45	4,04	2,24
Neergaande bocht	0,77	1,26	0,30	7,68	12,57	3,03
Bodem	0,65	1,03	0,31	6,51	10,28	3,06
Bodem	0,65	1,03	0,31	6,51	10,28	3,14
Bodem	0,76	1,25	0,32	7,62	12,48	3,24
Bodem	0,81	1,34	0,33	8,05	13,40	3,26
Talud	0,95	1,60	0,36	9,51	16,03	3,58
Kruin	0,99	1,67	0,37	9,90	16,68	3,71
Kruin	0,99	1,66	0,37	9,86	16,62	3,70
Talud	0,95	1,60	0,36	9,50	16,04	3,55
Teen	0,81	1,34	0,33	8,08	13,43	3,34
2e rechte deel	0,80	1,33	0,33	7,99	13,26	3,33
Bodem	0,78	1,28	0,34	7,76	12,77	3,36
Bodem	0,74	1,21	0,33	7,39	12,06	3,34
Bodem	0,74	1,21	0,34	7,42	12,09	3,44
Bodem	0,78	1,28	0,35	7,76	12,77	3,46
Talud	0,87	1,47	0,35	8,74	14,72	3,49
Kruin	0,98	1,66	0,37	9,80	16,63	3,73
Kruin	0,99	1,67	0,38	9,85	16,70	3,76
Talud	0,93	1,57	0,36	9,26	15,74	3,56
Insteek	0,89	1,51	0,36	8,91	15,06	3,55
Teen bodem	0,81	1,34	0,36	8,10	13,44	3,56
Bodem	0,80	1,32	0,36	7,96	13,16	3,57
Bodem	0,79	1,31	0,36	7,91	13,10	3,58
Bodem	0,81	1,34	0,37	8,10	13,44	3,70
Opgaande bocht	0,81	1,34	0,37	8,08	13,43	3,70
Bodem	0,82	1,36	0,37	8,15	13,60	3,68
3e rechte deel	0,78	1,33	0,34	7,82	13,27	3,39
Bodem	0,78	1,33	0,34	7,82	13,27	3,39
Insteek bodem	0,47	0,43	0,31	4,71	4,26	3,13
Kruin	0,56	0,50	0,31	5,56	5,03	3,12
Kruin	0,71	1,31	0,26	7,10	13,13	2,58
Kruin	0,40	0,75	0,18	3,99	7,46	1,84

$$p_{max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{R_o}{R_{p,max}} + Q \right)^{\frac{\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

$$p_{min} = p_{st} + \Delta p$$



3.0.10.0/12-2012/10-10383702

24-08-2015 13:58:57

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Windpark Fryslan			
Projectonderdeel : HDD boring Sluisweg tekening nr. 482.15.2.039-101 Boring B - 273ST			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	Staal		
Kwaliteit:	Din St-37.4		
Rekgrens van het materiaal bij 20°C	Re = 235	N/mm ²	
Elasticiteitsmodulus	E = 205800	N/mm ²	
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	$\alpha_g = 1,2 \cdot 10^{-5}$	mm/(mm·K)	
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	$\alpha_\sigma = 1$	-	
Soortelijk gewicht buis	$\rho_L = 78,5$	kN/m ³	
Toelaatbare deflectie	$\delta = 15$	%	
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	$D_e = 273,00$	mm	
Wanddikte	$d_n = 12,5$	mm	
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)	= Drukloos		
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet	= 100	%	
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_m = 11,5$	kN/m ³	
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_y = 15$	Pa	
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	$D_g = 880$	mm	
Diameter boorstang	$D_b = 125$	mm	
Totale lengte	L = 1.362,07	m	
Lengte 1e rechte deel	$L_1 = 109,96$	m	
Lengte neergaande bocht	$L_2 = 104,72$	m	
Lengte 2e rechte deel	$L_3 = 897,90$	m	
Lengte opgaande bocht	$L_4 = 83,78$	m	
Lengte 3e rechte deel	$L_5 = 165,71$	m	
Straal maaiveld/rollenbaan	$R_r = 600,00$	m	
Straal neergaande bocht	$R_1 = 600,00$	m	
Straal opgaande bocht	$R_2 = 600,00$	m	
Intrede-hoek (bij boorstelling)	$\alpha_1 = 10,00 / 17,63$	° / %	
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	$\alpha_2 = 8,00 / 14,05$	° / %	
Belastinghoek	$\alpha = 30$	°	
Ondersteuningshoek	$\beta = 30$	°	
Horizontale steundrukhoek	$\gamma = 120$	°	
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	$\gamma = 1,1$		
Totaalfactor bij boring met bundels	f = 1,8		
Belastingfactor	$f_{k,b} = 1,1$		
Belastingfactor	$f_{k,o} = 1,4$		
Wrijvingscoëff. zonder rollenbaan	$f_1 = 0,3$		
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	$f_2 = 0,00005$	N/mm ²	
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	$f_3 = 0,2$		
		24-08-2015 14:04:48	

Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting

Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m ³]	Wrijvings- hoek grond [°]
Insteek talud	32,14	5,28	3,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Teen talud	50,24	5,51	1,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Talud	69,26	8,56	1,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Talud	85,98	12,87	1,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Talud	98,20	15,00	1,00	Klei	17,00	17,00	17,50
1e rechte deel	109,96	15,75	0,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Bodem	129,29	16,93	-2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Neergaande bocht	214,68	20,33	-5,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	302,12	14,00	-11,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	400,80	14,00	-11,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	506,92	20,12	-5,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	597,72	23,00	-1,70	Zand	19,00	21,00	30,00
Talud	624,94	29,15	1,80	Zand	19,00	21,00	30,00
Kruin	631,71	30,67	2,20	Zand	19,00	21,00	30,00
Kruin	638,12	30,50	2,20	Zand	19,00	21,00	30,00
Talud	646,34	29,04	2,10	Zand	19,00	21,00	30,00
Teen	657,34	23,00	-2,00	Zand	19,00	21,00	30,00
2e rechte deel	663,63	22,54	-2,30	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	684,45	21,00	-4,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	698,74	19,00	-5,70	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	781,33	19,00	-6,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	798,66	21,00	-4,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Talud	816,50	26,17	1,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Kruin	830,83	30,18	3,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Kruin	839,70	30,37	3,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Talud	872,15	28,02	2,60	Zand	19,00	21,00	30,00
Insteek	897,35	26,75	1,60	Zand	19,00	21,00	30,00
Teen bodem	907,43	23,00	-2,20	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	924,88	22,15	-3,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	979,03	22,05	-2,80	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	1082,82	23,00	-2,20	Zand	19,00	21,00	30,00
Opgaande bocht	1112,58	23,00	-2,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	1129,49	23,64	-1,00	Zand	19,00	21,00	30,00
3e rechte deel	1196,36	22,58	1,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Bodem	1197,09	22,58	1,00	Zand	19,00	21,00	30,00
Insteek bodem	1217,38	20,20	1,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Kruin	1241,03	22,53	3,60	Klei	17,00	17,00	17,50
Kruin	1276,65	17,66	3,80	Zand	19,00	21,00	32,50
Kruin	1304,39	8,09	1,00	Zand	19,00	21,00	32,50

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingsconstante [N/mm ³]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
Insteek talud	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek I
Teen talud	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek ½ x II
Talud	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek ½ x II
Talud	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek ½ x II
Talud	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek ½ x II
1e rechte deel	Geen	-	10,00	2,00	Geen
Bodem	Geen	0,0050	10,00	2,00	Geen
Neergaande bocht	Geen	0,0450	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Talud	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek I
Kruin	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek I
Kruin	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek I
Talud	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Teen	Geen	-	0,00	30,00	Geen
2e rechte deel	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Talud	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Kruin	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek I
Kruin	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek I
Talud	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek I
Insteek	Geen	-	0,00	30,00	Grafiek ½ x II
Teen bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Opgaande bocht	Geen	0,0450	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	0,0450	0,00	30,00	Geen
3e rechte deel	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Bodem	Geen	-	0,00	30,00	Geen
Insteek bodem	Geen	-	2,00	2,00	Geen
Kruin	Geen	-	10,00	2,00	Grafiek I
Kruin	Geen	-	0,00	35,00	Grafiek I
Kruin	Geen	-	0,00	35,00	Grafiek I

* Niet op schaal

2. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 248,00	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 260,50	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 273,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 136,50	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 124,00	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 130,25	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 86.974.493,15	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 637.175,77	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 162,76	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 26,04	mm ³ /mm ¹
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 10.229,81	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,8030	N/mm ¹

3. Berekening van het gewicht van de leiding tijdens het intrekken van de leiding

	<i>Leiding op rollenbaan/maaveld</i>	<i>Leiding in boorgat</i>
Gewicht mediumleiding	$g = 0,8030 \text{ N/mm}^1$	$g = 0,8030 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,8030 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,8030 \text{ N/mm}^1$

4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds

4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaveld

Trekkraft T_1 tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_1 [N]
Starten met trekken	1.362,07	590.650
Na 1 ^e deel intrekken	1.196,36	518.792
Na 2 ^e deel intrekken	1.112,58	482.461
Na 3 ^e deel intrekken	214,68	93.094
Na 4 ^e deel intrekken	109,96	47.683

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,8030 \cdot 0,3$$

4.2 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten op rollenbaan/maaveld

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_1 [N]	σ_t [N/mm ²]
Starten met trekken	590.650	57,74
Na 1 ^e deel intrekken	518.792	50,71
Na 2 ^e deel intrekken	482.461	47,16
Na 3 ^e deel intrekken	93.094	9,10
Na 4 ^e deel intrekken	47.683	4,66

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{10.229,81}$$

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 205.800 \cdot \frac{86.974.493}{600.000} = 32.815.476,27 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{32.815.476,27}{637.176} = 51,50 \text{ N/mm}^2$$

4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	σ_t [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	57,74	109,24
Na 1 ^e deel intrekken	50,71	102,22
Na 2 ^e deel intrekken	47,16	98,66
Na 3 ^e deel intrekken	9,10	60,60
Na 4 ^e deel intrekken	4,66	56,16

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 1 \cdot 51,50 + \sigma_t$$

$$\text{Toelaatbare spanning: } \sigma_{kd} = 0,8 \cdot R_e = 0,8 \cdot 235 = 188,00 \text{ N/mm}^2$$

5. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat

5.1 Berekening van de vereiste trekkracht T_2 en T_{3a} in verband met wrijving tussen leiding en boorvloeistof/boorgangwand

Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof. 100% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet. Hieruit volgt: $D_{e,omtrek} = 857,65 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,803 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof: $g_{opw} = \rho_m \cdot D_o^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 273,00^2 \cdot \pi/4 = 0,673 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,130 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
1 ^e deel intrekken	165,71	20.540	-
2 ^e deel intrekken	249,49	-	30.924
3 ^e deel intrekken	1.147,39	142.218	-
4 ^e deel intrekken	1.252,11	-	155.197
Geheel ingetrokken	1.362,07	168.827	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (857,65 \cdot 0,00005 + 0,130 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (857,65 \cdot 0,00005 + 0,130 \cdot 0,2)$

5.3 Berekening van de vereiste trekkracht T_{3b} in verband met wrijving door grondreactie in de bochten

Locatie	λ [mm ⁻¹]	R [m]	Q_r [N/mm ²]	T_{3b} [N]
Bodem	0,0004	600	0,0054	8.971
Neergaande bocht	0,0006	600	0,016	15.538
Opgaande bocht	0,0006	600	0,016	15.538
Bodem	0,0006	600	0,016	15.538

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

$$Q_r = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot 0,9 \cdot R}$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 273,0 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2012 3.0 ©

 5.4 Berekening van de wrijving door bochtkracht T_{3c}

Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	T_{bocht} [N]
Neergaande bocht	482.461	30.924	15.538	-	528.923
Opgaande bocht	47.683	155.197	15.538	15.538	233.957

 Neergaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max}$

 Opgaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max} + T_{3a,op} + T_{3b,op,max}$

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N]
Neergaande bocht	5,00	528.923	33.191
Opgaande bocht	4,00	233.957	14.681

$$T_{3c} = f \cdot L_B \cdot g_t \cdot f_3$$

$$L_B = 2 \cdot R \cdot 2\pi \cdot \frac{\alpha}{360}$$

$$g_t = \frac{2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha)}{L_B}$$

$$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,8 \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$

5.5 Totalisatie van de trekkrachten in fase II

Trekkraft T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 / T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3c,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{3c,op}$ [N]	T_{tot} [N]
1 ^e deel intrekken	518.792	20.540	-	-	-	-	539.331
2 ^e deel intrekken	482.461	30.924	15.538	33.191	-	-	562.114
3 ^e deel intrekken	93.094	142.218	15.538	33.191	-	-	284.041
4 ^e deel intrekken	47.683	155.197	15.538	33.191	15.538	14.681	278.899
Geheel intrekken	0	168.827	15.538	33.191	15.538	14.681	244.845

$$T_{\text{tot}} = T_1 + T_2 + T_{3a} + T_{3b,neer,max} + T_{3c,neer} + T_{3b,op,max} + T_{3c,op}$$

5.6 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten in fase II

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]
1 ^e deel intrekken	539.331	52,72
2 ^e deel intrekken	562.114	54,95
3 ^e deel intrekken	284.041	27,77
4 ^e deel intrekken	278.899	27,26
Geheel intrekken	244.845	23,93

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{10.229,81}$$

24-08-2015 14:04:48

5.7 Optredende spanningen t.g.v. kromming van de leiding in het boorgat

5.7.1 Neergaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{l_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 205.800 \cdot \frac{86.974.493,15}{0,9 \cdot 600.000} = 46.405.724,01 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{46.405.724,01}{637.175,77} = \mathbf{72,83 \text{ N/mm}^2}$$

5.7.2 Opgaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{l_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 205.800 \cdot \frac{86.974.493,15}{0,9 \cdot 600.000} = 46.405.724,01 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{46.405.724,01}{637.175,77} = \mathbf{72,83 \text{ N/mm}^2}$$

5.8 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	539.331	52,72	-	52,72
Na 1 ^e deel intrekken	562.114	54,95	72,83	127,78
Na 2 ^e deel intrekken	284.041	27,77	-	27,77
Na 3 ^e deel intrekken	278.899	27,26	72,83	100,09
Na 4 ^e deel intrekken	244.845	23,93	-	23,93

Rechte delen: $\sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{10.229,81} = \sigma_t$

Gebogen delen: $\sigma_a = \alpha_\sigma \cdot \sigma_b + \sigma_t = 1 \cdot \sigma_b + \sigma_t$

Toelaatbare spanning: $\sigma_{kd} = 0,8 \cdot Re = 0,8 \cdot 235 = \mathbf{188,00 \text{ N/mm}^2}$

6. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase*6.1 Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pi} t.g.v. inwendige druk*

Leiding is drukloos:

$$\sigma_p = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

6.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

Leiding is drukloos:

$$f_{rr} = 1,00$$

6.3 Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	q_{droog} [kN/m ²]	q_{nat} [kN/m ²]	q_{totaal} [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]
Insteek talud	5,28	3,00	Zand	62,70	52,67	115,37	25,27
Teen talud	5,51	1,00	Zand	20,90	104,18	125,08	21,83
Talud	8,56	1,00	Zand	20,90	174,64	195,54	32,74
Talud	12,87	1,00	Zand	20,90	274,20	295,10	48,16
Talud	15,00	1,00	Klei	18,70	261,80	280,50	38,36
1e rechte deel	15,75	0,00	Klei	0,00	294,53	294,53	37,41
Bodem	16,93	-2,00	Klei	0,00	316,59	316,59	40,21
Neergaande bocht	20,33	-5,00	Zand	0,00	469,62	469,62	72,71
Bodem	14,00	-11,00	Zand	0,00	323,40	323,40	50,07
Bodem	14,00	-11,00	Zand	0,00	323,40	323,40	50,07
Bodem	20,12	-5,00	Zand	0,00	464,77	464,77	71,96
Bodem	23,00	-1,70	Zand	0,00	531,30	531,30	82,25
Talud	29,15	1,80	Zand	37,62	631,79	669,41	108,08
Kruin	30,67	2,20	Zand	45,98	657,66	703,64	114,37
Kruin	30,50	2,20	Zand	45,98	653,73	699,71	113,76
Talud	29,04	2,10	Zand	43,89	622,31	666,20	108,33
Teen	23,00	-2,00	Zand	0,00	531,30	531,30	82,25
2e rechte deel	22,54	-2,30	Zand	0,00	520,67	520,67	80,61
Bodem	21,00	-4,00	Zand	0,00	485,10	485,10	75,10
Bodem	19,00	-5,70	Zand	0,00	438,90	438,90	67,95
Bodem	19,00	-6,00	Zand	0,00	438,90	438,90	67,95
Bodem	21,00	-4,00	Zand	0,00	485,10	485,10	75,10
Talud	26,17	1,00	Zand	20,90	581,43	602,33	95,72
Kruin	30,18	3,00	Zand	62,70	627,86	690,56	114,32
Kruin	30,37	3,00	Zand	62,70	632,25	694,95	115,00
Talud	28,02	2,60	Zand	54,34	587,20	641,54	105,74
Insteek	26,75	1,60	Zand	33,44	580,97	614,41	99,07
Teen bodem	23,00	-2,20	Zand	0,00	531,30	531,30	82,25
Bodem	22,15	-3,00	Zand	0,00	511,67	511,67	79,22
Bodem	22,05	-2,80	Zand	0,00	509,36	509,36	78,86
Bodem	23,00	-2,20	Zand	0,00	531,30	531,30	82,25
Opgaande bocht	23,00	-2,00	Zand	0,00	531,30	531,30	82,25
Bodem	23,64	-1,00	Zand	0,00	546,08	546,08	84,54
3e rechte deel	22,58	1,00	Zand	20,90	498,50	519,40	82,88
Bodem	22,58	1,00	Zand	20,90	498,50	519,40	82,88
Insteek bodem	20,20	1,00	Klei	18,70	359,04	377,74	50,71
Kruin	22,53	3,60	Klei	67,32	353,99	421,31	63,34
Kruin	17,66	3,80	Zand	79,42	320,17	399,59	71,25
Kruin	8,09	1,00	Zand	20,90	163,78	184,68	31,06

$$Q_n = (\gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o$$

6.4 Berekening van de verkeersbelasting Q_v

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeers- belasting	q_v [kN/m ²]	Q_v [N/mm ¹]
Insteek talud	5,28	Grafiek I	9,61	2,62
Teen talud	5,51	Grafiek ½ x II	1,79	0,49
Talud	8,56	Grafiek ½ x II	1,03	0,28
Talud	12,87	Grafiek ½ x II	0,58	0,16
Talud	15,00	Grafiek ½ x II	0,46	0,13
1e rechte deel	15,75	Geen	0,00	0,00
Bodem	16,93	Geen	0,00	0,00
Neergaande bocht	20,33	Geen	0,00	0,00
Bodem	14,00	Geen	0,00	0,00
Bodem	14,00	Geen	0,00	0,00
Bodem	20,12	Geen	0,00	0,00
Bodem	23,00	Geen	0,00	0,00
Talud	29,15	Grafiek I	0,65	0,18
Kruin	30,67	Grafiek I	0,59	0,16
Kruin	30,50	Grafiek I	0,59	0,16
Talud	29,04	Geen	0,00	0,00
Teen	23,00	Geen	0,00	0,00
2e rechte deel	22,54	Geen	0,00	0,00
Bodem	21,00	Geen	0,00	0,00
Bodem	19,00	Geen	0,00	0,00
Bodem	19,00	Geen	0,00	0,00
Bodem	21,00	Geen	0,00	0,00
Talud	26,17	Geen	0,00	0,00
Kruin	30,18	Grafiek I	0,60	0,17
Kruin	30,37	Grafiek I	0,60	0,16
Talud	28,02	Grafiek I	0,70	0,19
Insteek	26,75	Grafiek ½ x II	0,17	0,05
Teen bodem	23,00	Geen	0,00	0,00
Bodem	22,15	Geen	0,00	0,00
Bodem	22,05	Geen	0,00	0,00
Bodem	23,00	Geen	0,00	0,00
Opgaande bocht	23,00	Geen	0,00	0,00
Bodem	23,64	Geen	0,00	0,00
3e rechte deel	22,58	Geen	0,00	0,00
Bodem	22,58	Geen	0,00	0,00
Insteek bodem	20,20	Geen	0,00	0,00
Kruin	22,53	Grafiek I	1,05	0,29
Kruin	17,66	Grafiek I	1,65	0,45
Kruin	8,09	Grafiek I	5,73	1,56

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 273,0$$

6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	Q _n [N/mm ¹]	Q _v [N/mm ¹]	Q _{boven} [N/mm ¹]	M _q [Nmm]	σ _q [N/mm ¹]
Insteek talud	25,27	2,62	27,90	933,77	35,86
Teen talud	21,83	0,49	22,32	747,22	28,69
Talud	32,74	0,28	33,02	1.105,44	42,45
Talud	48,16	0,16	48,32	1.617,33	62,11
Talud	38,36	0,13	38,48	1.288,16	49,47
1e rechte deel	37,41	0,00	37,41	1.252,20	48,08
Bodem	40,21	0,00	40,21	1.346,01	51,69
Neergaande bocht	72,71	0,00	72,71	2.433,78	93,46
Bodem	50,07	0,00	50,07	1.676,00	64,36
Bodem	50,07	0,00	50,07	1.676,00	64,36
Bodem	71,96	0,00	71,96	2.408,64	92,49
Bodem	82,25	0,00	82,25	2.753,42	105,73
Talud	108,08	0,18	108,26	3.623,87	139,16
Kruin	114,37	0,16	114,53	3.833,80	147,22
Kruin	113,76	0,16	113,92	3.813,51	146,44
Talud	108,33	0,00	108,33	3.626,18	139,25
Teen	82,25	0,00	82,25	2.753,42	105,73
2e rechte deel	80,61	0,00	80,61	2.698,35	103,62
Bodem	75,10	0,00	75,10	2.513,99	96,54
Bodem	67,95	0,00	67,95	2.274,57	87,34
Bodem	67,95	0,00	67,95	2.274,57	87,34
Bodem	75,10	0,00	75,10	2.513,99	96,54
Talud	95,72	0,00	95,72	3.204,19	123,04
Kruin	114,32	0,17	114,49	3.832,33	147,16
Kruin	115,00	0,16	115,16	3.855,01	148,03
Talud	105,74	0,19	105,93	3.546,09	136,17
Insteek	99,07	0,05	99,12	3.317,95	127,41
Teen bodem	82,25	0,00	82,25	2.753,42	105,73
Bodem	79,22	0,00	79,22	2.651,66	101,82
Bodem	78,86	0,00	78,86	2.639,69	101,36
Bodem	82,25	0,00	82,25	2.753,42	105,73
Opgaande bocht	82,25	0,00	82,25	2.753,42	105,73
Bodem	84,54	0,00	84,54	2.830,04	108,67
3e rechte deel	82,88	0,00	82,88	2.774,42	106,54
Bodem	82,88	0,00	82,88	2.774,42	106,54
Insteek bodem	50,71	0,00	50,71	1.697,38	65,18
Kruin	63,34	0,29	63,63	2.129,85	81,79
Kruin	71,25	0,45	71,70	2.400,05	92,16
Kruin	31,06	1,56	32,63	1.092,11	41,94

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 130,25$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{26,04}$$

6.6 Optredende spanning σ_{qr} tgv. grondreactie in de bochten

Locatie	R [m]	Q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
Bodem	600	0,0054	1,38
Neergaande bocht	600	0,016	4,15
Opgaande bocht	600	0,016	4,15
Bodem	600	0,016	4,15

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,179 \cdot Q_r \cdot 273,0 \cdot \frac{136,50}{26,04}$$

6.7 Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil

Leiding is drukloos

$$\sigma_{ax} = 0 \text{ N/mm}^2$$

7. Berekening van het totaal aan optredende spanningen
7.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

Locatie	σ_q [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_{y2} [N/mm ²]
Insteek talud	35,86	-	1	35,86
Teen talud	28,69	-	1	28,69
Talud	42,45	-	1	42,45
Talud	62,11	-	1	62,11
Talud	49,47	-	1	49,47
1e rechte deel	48,08	-	1	48,08
Bodem	51,69	1,38	1	53,07
Neergaande bocht	93,46	4,15	1	97,61
Bodem	64,36	-	1	64,36
Bodem	64,36	-	1	64,36
Bodem	92,49	-	1	92,49
Bodem	105,73	-	1	105,73
Talud	139,16	-	1	139,16
Kruin	147,22	-	1	147,22
Kruin	146,44	-	1	146,44
Talud	139,25	-	1	139,25
Teen	105,73	-	1	105,73
2e rechte deel	103,62	-	1	103,62
Bodem	96,54	-	1	96,54
Bodem	87,34	-	1	87,34
Bodem	87,34	-	1	87,34
Bodem	96,54	-	1	96,54
Talud	123,04	-	1	123,04
Kruin	147,16	-	1	147,16
Kruin	148,03	-	1	148,03
Talud	136,17	-	1	136,17
Insteek	127,41	-	1	127,41
Teen bodem	105,73	-	1	105,73
Bodem	101,82	-	1	101,82
Bodem	101,36	-	1	101,36
Bodem	105,73	-	1	105,73
Opgaande bocht	105,73	4,15	1	109,88
Bodem	108,67	4,15	1	112,82
3e rechte deel	106,54	-	1	106,54
Bodem	106,54	-	1	106,54
Insteek bodem	65,18	-	1	65,18
Kruin	81,79	-	1	81,79
Kruin	92,16	-	1	92,16
Kruin	41,94	-	1	41,94

 Rechte delen: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$

 Bochten: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$

 Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = 0,8 \cdot Re = 0,8 \cdot 235 = 188,00$ N/mm²

7.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

Locatie	σ_{ax} [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_x [N/mm ²]
Insteek talud	0,00	-	-	0,00
Teen talud	0,00	-	-	0,00
Talud	0,00	-	-	0,00
Talud	0,00	-	-	0,00
Talud	0,00	-	-	0,00
1e rechte deel	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	72,83	1	72,83
Neergaande bocht	0,00	72,83	1	72,83
Bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Talud	0,00	-	-	0,00
Kruin	0,00	-	-	0,00
Kruin	0,00	-	-	0,00
Talud	0,00	-	-	0,00
Teen	0,00	-	-	0,00
2e rechte deel	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Talud	0,00	-	-	0,00
Kruin	0,00	-	-	0,00
Kruin	0,00	-	-	0,00
Talud	0,00	-	-	0,00
Insteek	0,00	-	-	0,00
Teen bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Opgaande bocht	0,00	72,83	1	72,83
Bodem	0,00	72,83	1	72,83
3e rechte deel	0,00	-	-	0,00
Bodem	0,00	-	-	0,00
Insteek bodem	0,00	-	-	0,00
Kruin	0,00	-	-	0,00
Kruin	0,00	-	-	0,00
Kruin	0,00	-	-	0,00

 Rechte delen: $\sigma_x = \sigma_{ax}$

 Bochten: $\sigma_x = \sigma_{ax} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_b$

 Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = 0,8 \cdot Re = 0,8 \cdot 235 = 188,00$ N/mm²

7.3 Overzicht van de ideale spanningen in de leiding

Locatie	σ_{y2} [N/mm ²]	σ_x [N/mm ²]	σ_v [N/mm ²]
Insteek talud	35,86	0,00	35,86
Teen talud	28,69	0,00	28,69
Talud	42,45	0,00	42,45
Talud	62,11	0,00	62,11
Talud	49,47	0,00	49,47
1e rechte deel	48,08	0,00	48,08
Bodem	53,07	72,83	65,23
Neergaande bocht	97,61	72,83	87,88
Bodem	64,36	0,00	64,36
Bodem	64,36	0,00	64,36
Bodem	92,49	0,00	92,49
Bodem	105,73	0,00	105,73
Talud	139,16	0,00	139,16
Kruin	147,22	0,00	147,22
Kruin	146,44	0,00	146,44
Talud	139,25	0,00	139,25
Teen	105,73	0,00	105,73
2e rechte deel	103,62	0,00	103,62
Bodem	96,54	0,00	96,54
Bodem	87,34	0,00	87,34
Bodem	87,34	0,00	87,34
Bodem	96,54	0,00	96,54
Talud	123,04	0,00	123,04
Kruin	147,16	0,00	147,16
Kruin	148,03	0,00	148,03
Talud	136,17	0,00	136,17
Insteek	127,41	0,00	127,41
Teen bodem	105,73	0,00	105,73
Bodem	101,82	0,00	101,82
Bodem	101,36	0,00	101,36
Bodem	105,73	0,00	105,73
Opgaande bocht	109,88	72,83	96,83
Bodem	112,82	72,83	99,08
3e rechte deel	106,54	0,00	106,54
Bodem	106,54	0,00	106,54
Insteek bodem	65,18	0,00	65,18
Kruin	81,79	0,00	81,79
Kruin	92,16	0,00	92,16
Kruin	41,94	0,00	41,94

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_{y2}^2 + \sigma_x^2 - \sigma_{y2} \cdot \sigma_x}$$

Toelaatbare ideale spanning: Re = **235,00 N/mm²**

8. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q _n [N/mm ¹]	Q _v [N/mm ¹]	Q _r [N/mm ²]	δ _y [mm]	δ _y /D _g [%]
Insteek talud	25,27	2,62	-	0,09	0,034
Teen talud	21,83	0,49	-	0,07	0,027
Talud	32,74	0,28	-	0,10	0,040
Talud	48,16	0,16	-	0,15	0,058
Talud	38,36	0,13	-	0,08	0,030
1e rechte deel	37,41	0,00	-	0,08	0,029
Bodem	40,21	0,00	0,0054	0,08	0,032
Neergaande bocht	72,71	0,00	0,016	0,23	0,087
Bodem	50,07	0,00	-	0,16	0,060
Bodem	50,07	0,00	-	0,16	0,060
Bodem	71,96	0,00	-	0,23	0,087
Bodem	82,25	0,00	-	0,26	0,099
Talud	108,08	0,18	-	0,34	0,13
Kruin	114,37	0,16	-	0,36	0,14
Kruin	113,76	0,16	-	0,36	0,14
Talud	108,33	0,00	-	0,34	0,13
Teen	82,25	0,00	-	0,26	0,099
2e rechte deel	80,61	0,00	-	0,25	0,097
Bodem	75,10	0,00	-	0,24	0,090
Bodem	67,95	0,00	-	0,21	0,082
Bodem	67,95	0,00	-	0,21	0,082
Bodem	75,10	0,00	-	0,24	0,090
Talud	95,72	0,00	-	0,30	0,12
Kruin	114,32	0,17	-	0,36	0,14
Kruin	115,00	0,16	-	0,36	0,14
Talud	105,74	0,19	-	0,33	0,13
Insteek	99,07	0,05	-	0,31	0,12
Teen bodem	82,25	0,00	-	0,26	0,099
Bodem	79,22	0,00	-	0,25	0,095
Bodem	78,86	0,00	-	0,25	0,095
Bodem	82,25	0,00	-	0,26	0,099
Opgaande bocht	82,25	0,00	0,016	0,26	0,099
Bodem	84,54	0,00	0,016	0,26	0,10
3e rechte deel	82,88	0,00	-	0,26	0,100
Bodem	82,88	0,00	-	0,26	0,100
Insteek bodem	50,71	0,00	-	0,10	0,040
Kruin	63,34	0,29	-	0,13	0,050
Kruin	71,25	0,45	-	0,24	0,092
Kruin	31,06	1,56	-	0,11	0,042

$$\delta_y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 130,25^3}{205.800 \cdot 162,76}$$

Toelaatbare deflectie = 15% · D_g = 0,15 · 260,50 = **39,08 mm**

9. Berekening van de boorspoeldrukken tijdens de trekfase

Locatie	H [m]	σ_{vert} [kN/m ²]	σ_{hor} [kN/m ²]	σ_o' [kN/m ²]	p_f' [kN/m ²]	G [MN/m ²]
Insteek talud	5,28	72,55	36,27	54,41	81,61	11,54
Teen talud	5,51	58,27	29,14	43,70	65,56	11,54
Talud	8,56	86,00	43,00	64,50	96,75	11,54
Talud	12,87	125,18	62,59	93,89	140,83	11,54
Talud	15,00	91,82	64,21	78,01	103,38	0,71
1e rechte deel	15,75	85,91	60,08	72,99	104,48	0,71
Bodem	16,93	92,35	64,58	78,46	111,59	0,71
Neergaande bocht	20,33	184,82	92,41	138,61	207,92	11,54
Bodem	14,00	127,27	63,64	95,45	143,18	11,54
Bodem	14,00	127,27	63,64	95,45	143,18	11,54
Bodem	20,12	182,91	91,45	137,18	205,77	11,54
Bodem	23,00	209,09	104,55	156,82	235,23	11,54
Talud	29,15	279,73	139,86	209,80	314,69	11,54
Kruin	30,67	296,82	148,41	222,61	333,92	11,54
Kruin	30,50	295,27	147,64	221,45	332,18	11,54
Talud	29,04	281,18	140,59	210,89	316,33	11,54
Teen	23,00	209,09	104,55	156,82	235,23	11,54
2e rechte deel	22,54	204,91	102,45	153,68	230,52	11,54
Bodem	21,00	190,91	95,45	143,18	214,77	11,54
Bodem	19,00	172,73	86,36	129,55	194,32	11,54
Bodem	19,00	172,73	86,36	129,55	194,32	11,54
Bodem	21,00	190,91	95,45	143,18	214,77	11,54
Talud	26,17	246,09	123,05	184,57	276,85	11,54
Kruin	30,18	298,91	149,45	224,18	336,27	11,54
Kruin	30,37	300,64	150,32	225,48	338,22	11,54
Talud	28,02	276,00	138,00	207,00	310,50	11,54
Insteek	26,75	256,27	128,14	192,20	288,31	11,54
Teen bodem	23,00	209,09	104,55	156,82	235,23	11,54
Bodem	22,15	201,36	100,68	151,02	226,53	11,54
Bodem	22,05	200,45	100,23	150,34	225,51	11,54
Bodem	23,00	209,09	104,55	156,82	235,23	11,54
Opgaande bocht	23,00	209,09	104,55	156,82	235,23	11,54
Bodem	23,64	214,91	107,45	161,18	241,77	11,54
3e rechte deel	22,58	213,45	106,73	160,09	240,14	11,54
Bodem	22,58	213,45	106,73	160,09	240,14	11,54
Insteek bodem	20,20	120,18	84,04	102,11	134,73	0,71
Kruin	22,53	158,89	111,11	135,00	185,13	0,71
Kruin	17,66	191,64	88,67	140,15	215,46	13,46
Kruin	8,09	81,73	37,82	59,77	91,89	13,46

$$\sigma_{vert} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

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

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

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

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

Locatie	Q [-]	R _{p,max} [m]	u [N/mm ²]	p _{st} [N/mm ²]	Δ _p [N/mm ²]	p _{lim} [N/mm ²]
Insteek talud	0,0024	2,64	0,0228	0,02572	0,00	0,64
Teen talud	0,0019	2,76	0,0451	0,05088	0,00	0,57
Talud	0,0028	2,63	0,0756	0,08529	0,01	0,76
Talud	0,0041	2,18	0,1187	0,1339	0,01	1,00
Talud	0,036	7,50	0,1400	0,1579	0,01	0,37
1e rechte deel	0,044	7,88	0,1575	0,1777	0,01	0,41
Bodem	0,046	8,47	0,1893	0,2136	0,01	0,45
Neergaande bocht	0,0060	1,80	0,2533	0,2858	0,02	1,40
Bodem	0,0041	2,16	0,2500	0,2820	0,02	1,14
Bodem	0,0041	2,16	0,2500	0,2820	0,03	1,14
Bodem	0,0059	1,80	0,2512	0,2834	0,04	1,39
Bodem	0,0068	1,69	0,2470	0,2787	0,05	1,49
Talud	0,0091	1,46	0,2735	0,3085	0,05	1,78
Kruin	0,0096	1,42	0,2847	0,3212	0,05	1,85
Kruin	0,0096	1,42	0,2830	0,3193	0,05	1,85
Talud	0,0091	1,46	0,2694	0,3039	0,05	1,78
Teen	0,0068	1,69	0,2500	0,2820	0,05	1,49
2e rechte deel	0,0067	1,71	0,2484	0,2802	0,05	1,47
Bodem	0,0062	1,77	0,2500	0,2820	0,05	1,42
Bodem	0,0056	1,86	0,2470	0,2787	0,06	1,34
Bodem	0,0056	1,86	0,2500	0,2820	0,06	1,34
Bodem	0,0062	1,77	0,2500	0,2820	0,06	1,42
Talud	0,0080	1,56	0,2517	0,2840	0,06	1,64
Kruin	0,0097	1,41	0,2718	0,3066	0,07	1,85
Kruin	0,0098	1,41	0,2737	0,3088	0,07	1,86
Talud	0,0090	1,47	0,2542	0,2868	0,07	1,75
Insteek	0,0083	1,52	0,2515	0,2837	0,07	1,67
Teen bodem	0,0068	1,69	0,2520	0,2843	0,07	1,49
Bodem	0,0065	1,72	0,2515	0,2837	0,07	1,46
Bodem	0,0065	1,72	0,2485	0,2803	0,08	1,46
Bodem	0,0068	1,69	0,2520	0,2843	0,09	1,49
Opgaande bocht	0,0068	1,69	0,2500	0,2820	0,09	1,49
Bodem	0,0070	1,66	0,2464	0,2780	0,09	1,51
3e rechte deel	0,0069	1,67	0,2158	0,2435	0,10	1,47
Bodem	0,0069	1,67	0,2158	0,2435	0,10	1,47
Insteek bodem	0,046	10,10	0,1920	0,2166	0,10	0,47
Kruin	0,070	11,27	0,1893	0,2136	0,10	0,56
Kruin	0,0056	1,86	0,1386	0,1564	0,10	1,46
Kruin	0,0024	2,85	0,0709	0,07999	0,10	0,83

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

$$R_{p,max} = \frac{H}{2}; R_{p,max,zand} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot \varepsilon_{g,max}} \text{ of } \frac{H}{2}$$

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$p_{st} = \rho_m \cdot g \cdot h_z$$

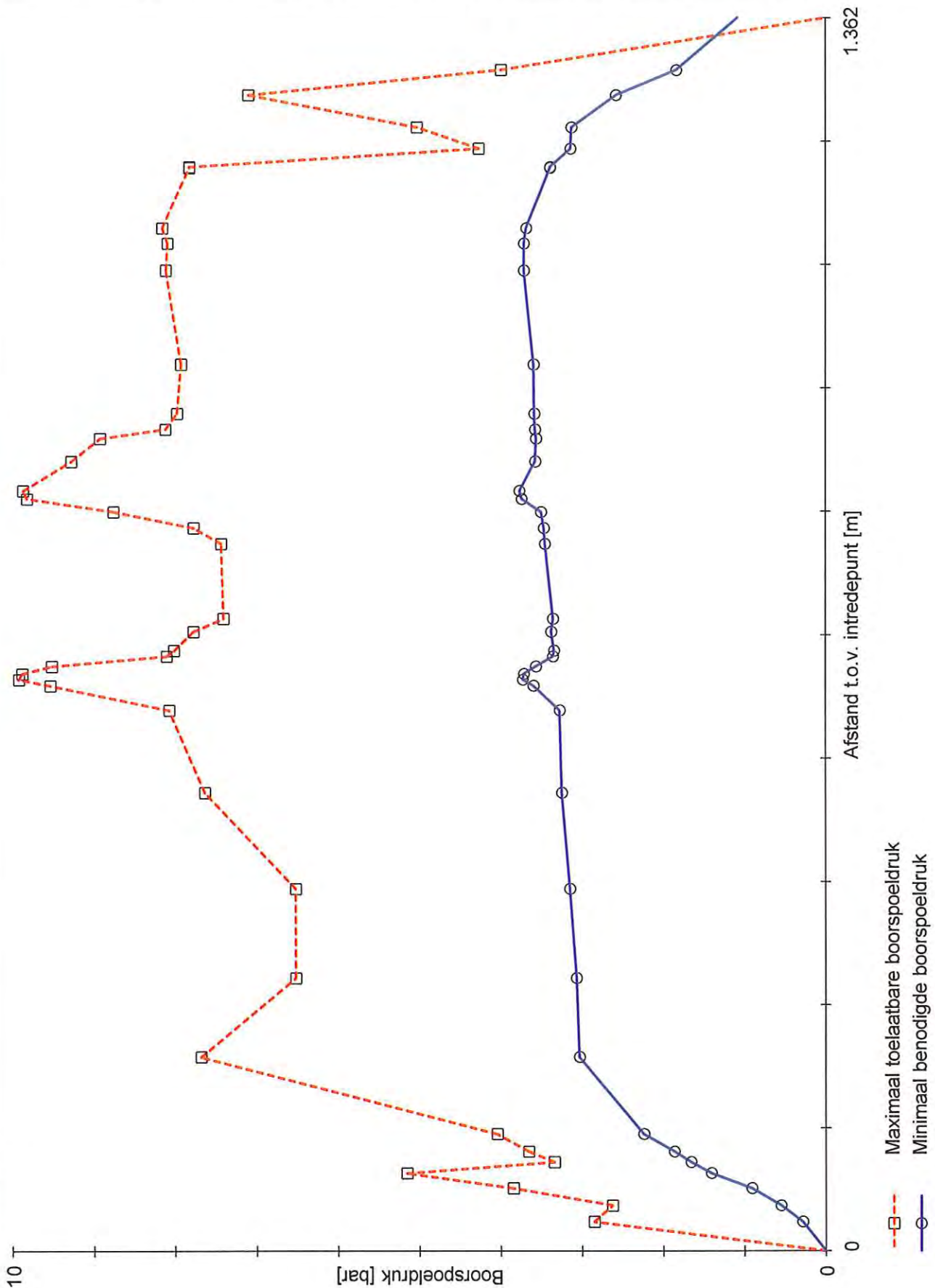
$$\Delta_p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$$

$$p_{lim} = (\rho'_r + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q \cdot \frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi} + c \cdot \cot(\varphi) + u$$

Locatie	p_{max} [N/mm ²]	90% p_{lim} [N/mm ²]	p_{min} [N/mm ²]	p_{max} [bar]	90% p_{lim} [bar]	p_{min} [bar]
Insteek talud	0,29	0,57	0,03	2,85	5,72	0,28
Teen talud	0,26	0,52	0,05	2,63	5,17	0,55
Talud	0,38	0,69	0,09	3,84	6,86	0,91
Talud	0,52	0,90	0,14	5,15	9,01	1,41
Talud	0,37	0,33	0,17	3,66	3,34	1,66
1e rechte deel	0,40	0,37	0,19	4,02	3,65	1,86
Bodem	0,45	0,40	0,22	4,45	4,04	2,24
Neergaande bocht	0,77	1,26	0,30	7,68	12,57	3,03
Bodem	0,65	1,03	0,31	6,51	10,28	3,06
Bodem	0,65	1,03	0,31	6,51	10,28	3,14
Bodem	0,76	1,25	0,32	7,62	12,48	3,24
Bodem	0,81	1,34	0,33	8,05	13,40	3,26
Talud	0,95	1,60	0,36	9,51	16,03	3,58
Kruin	0,99	1,67	0,37	9,90	16,68	3,71
Kruin	0,99	1,66	0,37	9,86	16,62	3,70
Talud	0,95	1,60	0,36	9,50	16,04	3,55
Teen	0,81	1,34	0,33	8,08	13,43	3,34
2e rechte deel	0,80	1,33	0,33	7,99	13,26	3,33
Bodem	0,78	1,28	0,34	7,76	12,77	3,36
Bodem	0,74	1,21	0,33	7,39	12,06	3,34
Bodem	0,74	1,21	0,34	7,42	12,09	3,44
Bodem	0,78	1,28	0,35	7,76	12,77	3,46
Talud	0,87	1,47	0,35	8,74	14,72	3,49
Kruin	0,98	1,66	0,37	9,80	16,63	3,73
Kruin	0,99	1,67	0,38	9,85	16,70	3,76
Talud	0,93	1,57	0,36	9,26	15,74	3,56
Insteek	0,89	1,51	0,36	8,91	15,06	3,55
Teen bodem	0,81	1,34	0,36	8,10	13,44	3,56
Bodem	0,80	1,32	0,36	7,96	13,16	3,57
Bodem	0,79	1,31	0,36	7,91	13,10	3,58
Bodem	0,81	1,34	0,37	8,10	13,44	3,70
Opgaande bocht	0,81	1,34	0,37	8,08	13,43	3,70
Bodem	0,82	1,36	0,37	8,15	13,60	3,68
3e rechte deel	0,78	1,33	0,34	7,82	13,27	3,39
Bodem	0,78	1,33	0,34	7,82	13,27	3,39
Insteek bodem	0,47	0,43	0,31	4,71	4,26	3,13
Kruin	0,56	0,50	0,31	5,56	5,03	3,12
Kruin	0,71	1,31	0,26	7,10	13,13	2,58
Kruin	0,40	0,75	0,18	3,99	7,46	1,84

$$p_{max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{R_o}{R_{p,max}} \right)^{\frac{2 \cdot \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} + Q - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

$$p_{min} = p_{st} + \Delta p$$



Berekening van de toelaatbare boorspoeldruk conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Windpark Fryslan			
Projectonderdeel : HDD boring Sluisweg tekening nr. 482.15.2.039-101 Boring B			
Grondmechanische gegevens			
Grondsoort		= Zand	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 19	kN/m ³
Volumiek gewicht natte grond	γ_n	= 21	kN/m ³
Volumiek gewicht water	γ_w	= 10	kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	φ	= 32,5	°
Effectieve cohesie	c'	= 0	kN/m ²
E-modulus ondergrond	E_{100}	= 35	MN/m ²
Aanleggegevens			
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 8,09	m
Gronddekking boven de grondwaterstand	H_d	= 1	m
Gronddekking onder de grondwaterstand	H_n	= 7,09	m
Afstand t.o.v. intredepunt	L	= 1300,0	m
Soortelijk gewicht boorvloeistof	ρ_m	= 11,5	kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	τ_y	= 15	Pa
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	D_g	= 880	mm
Diameter boorstang	D_b	= 125	mm
1. Maximaal toelaatbare boorspoeldruk (conform NEN 3650-serie)			
<i>1.1 Verticale terreinspanning</i>			
$\sigma_{vert} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$ $\sigma_{vert} = \frac{19}{1,1} \cdot 1 + \frac{21}{1,1} \cdot 7,09 - 10 \cdot 7,09 = 81,73 \text{ kN/m}^2$			
<i>1.2 Horizontale terreinspanning</i>			
$\sigma_{hor} = \sigma_{vert} \cdot (1 - \sin(\varphi))$ $\sigma_{hor} = 81,73 \cdot (1 - \sin(32,5)) = 37,82 \text{ kN/m}^2$			
<i>1.3 Gemiddelde terreinspanning</i>			
$\sigma_o' = \frac{\sigma_{vert} + \sigma_{hor}}{2}$ $\sigma_o' = \frac{81,73 + 37,82}{2} = 59,77 \text{ kN/m}^2$			
<i>1.4 Boorspoeldruk waarbij de eerste plastische vervormingen optreden</i>			
$p_f' = \sigma_o' \cdot (1 + \sin(\varphi)) + c \cdot \cos(\varphi)$ $p_f' = 59,77 \cdot (1 + \sin(32,5)) + 0 \cdot \cos(32,5) = 91,89 \text{ kN/m}^2$			
<i>1.5 Glijdingsmodulus</i>			
$G = \frac{E_{100}}{2 \cdot (1 + \nu)}$ $G = \frac{35}{2 \cdot (1 + 0,3)} = 13,46 \text{ MN/m}^2$			
			24-08-2015 14:11:26

Berekening van de toelaatbare boorspoeldruk conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2012 3.0 ©
<p>1.6 Bepaling van Q</p> $Q = \frac{\sigma_o' \cdot \sin(\varphi) + c \cdot \cos(\varphi)}{G}$ $Q = \frac{59,77 \cdot \sin(32,5) + 0 \cdot \cos(32,5)}{13,46 \cdot 10^3} = 0,002$	
<p>1.7 Bepaling initiële straal boorgang en max. toelaatbare plastische zone</p> $R_o = \frac{D_o}{2} = 440 \text{ mm}$ $R_{p,max} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot \epsilon_{g,max}}$ $R_{p,max} = \sqrt{\frac{440^2}{0,002} \cdot 2 \cdot 0,05} = 2.848,69 \text{ mm}$	
<p>1.8 Berekening van de aanwezige waterspanning</p> $u = \gamma_w \cdot H_n$ $u = (10 \cdot 7,09) \cdot 10^{-3} = 0,07 \text{ N/mm}^2$	
<p>1.9 Effectieve limietdruk</p> $p_{lim} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$ $p_{lim} = (91,89 + 0 \cdot \cot(32,5)) \cdot Q^{\frac{-\sin 32,5}{1 + \sin 32,5}} - c \cdot \cot(32,5) + 0,07 = 0,83 \text{ N/mm}^2$ $p_{lim,90\%} = 0,9 \cdot 0,83 = 0,75 \text{ N/mm}^2 = 7,46 \text{ bar} = 746,21 \text{ kPa}$	
<p>1.10 Maximaal toelaatbare boorspoeldruk</p> $p_{max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{R_o^2}{R_{p,max}} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$ $p_{max} = (91,89 + 32,5 \cdot \cot(0)) \cdot \left(\frac{440^2}{2.848,69} + 0,00 \right)^{\frac{-\sin 32,5}{1 + \sin 32,5}} - 0 \cdot \cot(32,5) + 0,07$ $p_{max} = 0,40 \text{ N/mm}^2 = 3,99 \text{ bar} = 398,86 \text{ kPa}$	
2. Minimaal benodigde boorspoeldruk	
<p>2.1 Statische druk</p> $p_{st} = \rho_m \cdot g \cdot h_z$ $p_{st} = (1.150,00 \cdot 9,81 \cdot 7,09) \cdot 10^{-6} = 0,08 \text{ N/mm}^2$	
<p>2.2 Drukverschil</p> $\Delta p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$ $\Delta p = 4 \cdot \frac{0,000015}{880 - 125} \cdot 1.300.000,00 = 0,10 \text{ N/mm}^2$	
<p>2.3 Minimaal benodigde boorspoeldruk</p> $p_{min} = p_{st} + \Delta p$ $p_{min} = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ N/mm}^2 = 1,83 \text{ bar} = 183,30 \text{ kPa}$	
3. Conclusie	
$p_{max} < p_{lim,90\%} \rightarrow p_{max} \text{ is maatgevend}$ $p_{max} > p_{min}$	
	24-08-2015 14:11:26

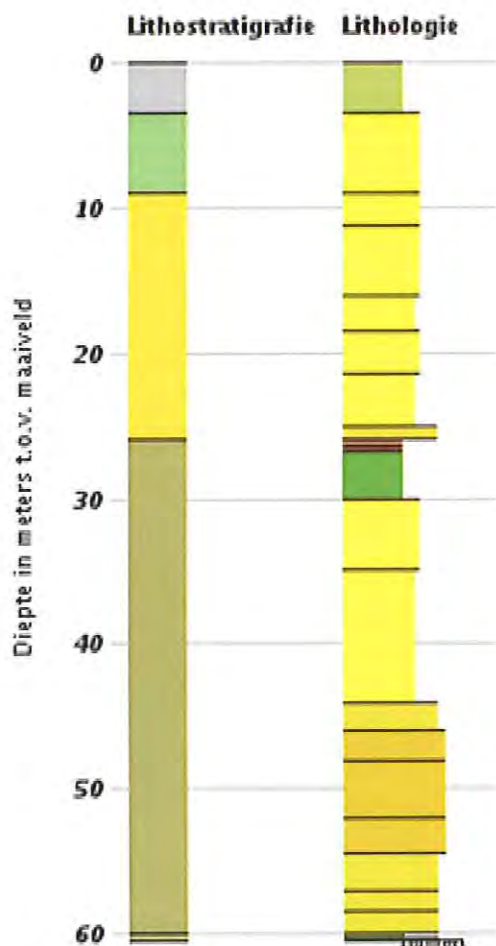
Boormonsterprofiel en interpretatie

Identificatie: B10B0009

Coördinaten: 151420, 565150

Maaiveld: 3,00 m t.o.v. NAP

Dieptetraject t.o.v. Maaiveld: 0,00 m - 60,50 m



Lithostratigrafie

- AAOP
- NA
- BX
- URTY
- URVE

Lithologie

- Leem
- Klei
- Zand fijne categorie
- Zand midden categorie
- Zand grove categorie
- Veen

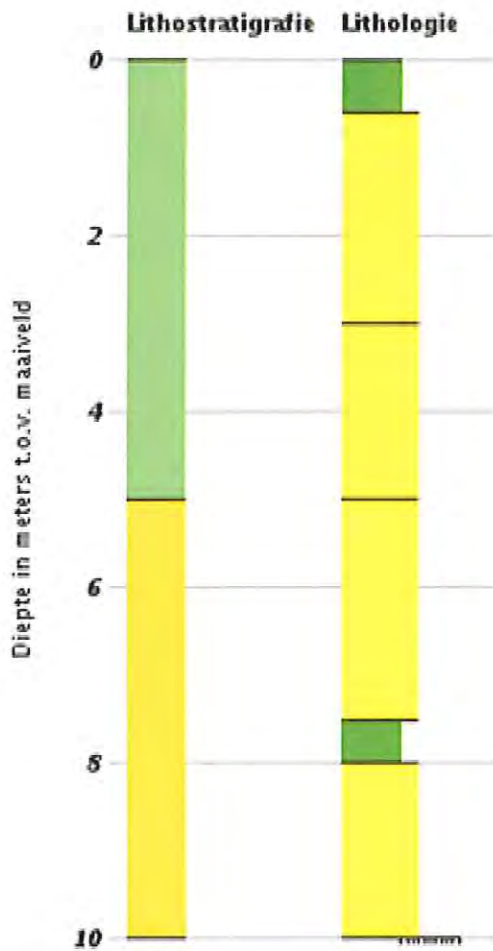
Boormonsterprofiel en interpretatie

Identificatie: B10B0235

Coördinaten: 152064, 565314

Maaiveld: -3,40 m t.o.v. NAP

Dieptetraject t.o.v. Maaiveld: 0,00 m - 10,00 m



Lithostratigrafie

NA
BX

Lithologie

Klei
Zand fijne categorie

Bijlage 4: Certificaten en productomschrijving

TUNNEL-GEL™ PLUS



THE *Original* DRILLING FLUIDS COMPANY.

Viscosifier/Gellant

- Beschrijving:** TUNNEL-GEL™ PLUS is speciaal geformuleerd voor gebruik in tunnelling en HDD. TUNNEL-GEL™ PLUS geeft de boorvloeistof viscositeit om het transport van boorgruis te bevorderen, maakt gemakkelijk verwijderen van de vaste delen d.m.v. scheidings-materieel, geeft stabiliteit aan het boorgat en levert een goed waterverlies (FL). Het is compatible met andere BAROID producten.
- Toepassing/Functies:**
- Geeft viscositeit aan de boorspoeling.
 - Heeft draagkracht voor het transport van boorgruis.
 - Reduceert waterpenetratie in de waterdoorlatende formatie.
 - Bevordert boorgat stabiliteit in moeilijke **consolidated** formaties.
- Voordelen:**
- Goed draagvermogen tijdens het boren.
 - Goede suspensie capaciteit tijdens stilstand.
 - Gemakkelijk te mengen en bereikt snel de maximale viscositeit.
 - Niet giftig en fermenteert niet.
- Typische eigenschappen:** Poeder, geel tot bruin
Gewicht 2,600 kg/cm³
pH in 3% oplossing 10,4
- Aanbevolen gebruik:** Meng langzaam door een hopper of strool het in de vortex d.m.v. hoge snelheids **peddels**.
In normale condities gebruik, voeg 25 – 35 kg/m³ aan leidingwater toe.
In moeilijke of grind condities, voeg 35 – 40 kg/m³ aan leidingwater toe.
Als het aanmaakwater een lage pH en/of een hoge hardheid heeft, voeg 0,7 kg SODA ASH per m³ aan het water toe, daarna TUNNEL-GEL™ PLUS
- Verpakking:** TUNNEL-GEL™ PLUS is verpakt in 25 kg meervoudige, special gecoatte zakken en in 1.000 kg big-bags.
- Verkrijgbaar:** TUNNEL-GEL™ PLUS wordt geleverd door onze distributeurs.

Voor zover wij kunnen beordelen, is bovengenoemde informatie correct. Wij kunnen u echter geen garanties geven over de resultaten die u hiermee zult bereiken. Deze beschrijving wordt u aangeboden op voorwaarde dat u zelf bepaalt in hoeverre zij geschikt is voor uw doeleinden.

Bijlage 5: Technische gegevens diverse rigs

Boorrig 4 ton, fabriikaat Vermeer D7x11 series II



Trekkkracht	4 ton
Drukkkracht	4 ton
Mechanisme	Tandheugel (R&P)
Afmetingen machine	4010 x 900 x 1780 mm (afstand intredepunt - achterzijde rig 6 mtr)
Gewicht machine	2,5 ton
Motor	Turbo diesel (35 kW = 50 PK)
Hellingshoek	10° - 18°
Boormotor koppel	2711 Nm
Cabine	Geen cabine
Lavette	Slaglengte 1.800 mm

Toebehoren

Boorstangen	Firesticks II, L = 180 cm Ø 40 mm
Swivel	7 ton
Barrelreamers / Flycutters	Vanaf Ø 60 mm t/m Ø 315 mm
Boorkoppen	Jet Bit 70 mm t.b.v. walk-over/draadmeetsysteem
Meng- en pompsysteem	Site-Tec 200 ltr/min mix- & pompinstallatie gebouwd in vrachtwagen
Transport	4x2 bakwagen

Boorrig 7 ton, fabrikaat Vermeer D16x20 series II



Trekkracht	7,2 ton
Drukkracht	7 ton
Mechanisme	Tandheugel (R&P)
Afmetingen machine	5100 x 1220 x 1920 mm (afstand intredepunt - achterzijde rig 6,5 mtr)
Gewicht machine	4,8 ton
Motor	Turbo diesel (47 kW = 65 PK)
Hellingshoek	10° - 18°
Boormotor koppel	2711 Nm
Cabine	Geen cabine
Lavette	Slaglengte 3.000 mm

Toebehoren

Boorstangen	Firesticks II, L = 300 cm Ø 48 mm
Swivel	10 ton
Barrelreamers / Flycutters	Vanaf Ø 60 mm t/m Ø 315 mm
Boorkoppen	Jet Bit 70 mm t.b.v. walk-over/draadmeetsysteem
Meng- en pompsysteem	Site-Tec 200 ltr/min mix- & pompinstallatie gebouwd in vrachtwagen
Transport	4x2 bakwagen

Boorrig 16 ton, fabrikaat Vermeer D36



Trekkkracht	16,5 ton
Drukkkracht	16 ton
Mechanisme	Tandheugel (R&P)
Afmetingen machine	6502 x 1905 x 2769 mm (afstand intredepunt - achterzijde rig 7 mtr)
Gewicht machine	9 ton
Rupsonderstel lxb	ca. 2200 x 400 mm Rubber (gronddruk 5 N/cm ²)
Motor	6 cylinder turbo diesel (104 kW = 140 PK)
Hellingshoek	10° - 18°
Boormotor koppel	6800 Nm
Cabine	Vaste cabine met transportstand
Lavette	Slaglengte 3.000 mm

Toebehoren

Boorstangen	Firesticks II, L = 300 cm Ø 60 mm
Swivel	20 ton
Barrelreamers / Flycutters	Vanaf Ø 125 mm t/m Ø 750 mm
Boorkoppen	Jet Bit 70 mm t.b.v. walk-over/draadmeetsysteem
Meng- en pompsysteem	Site-Tec 750 ltr/min mix- & pompinstallatie gebouwd op containersysteem
Transport	Transport op 6x6, rig op semi-dieplader

Boorrig 100 ton, fabrikaat Prime PD 100 / 50 RP

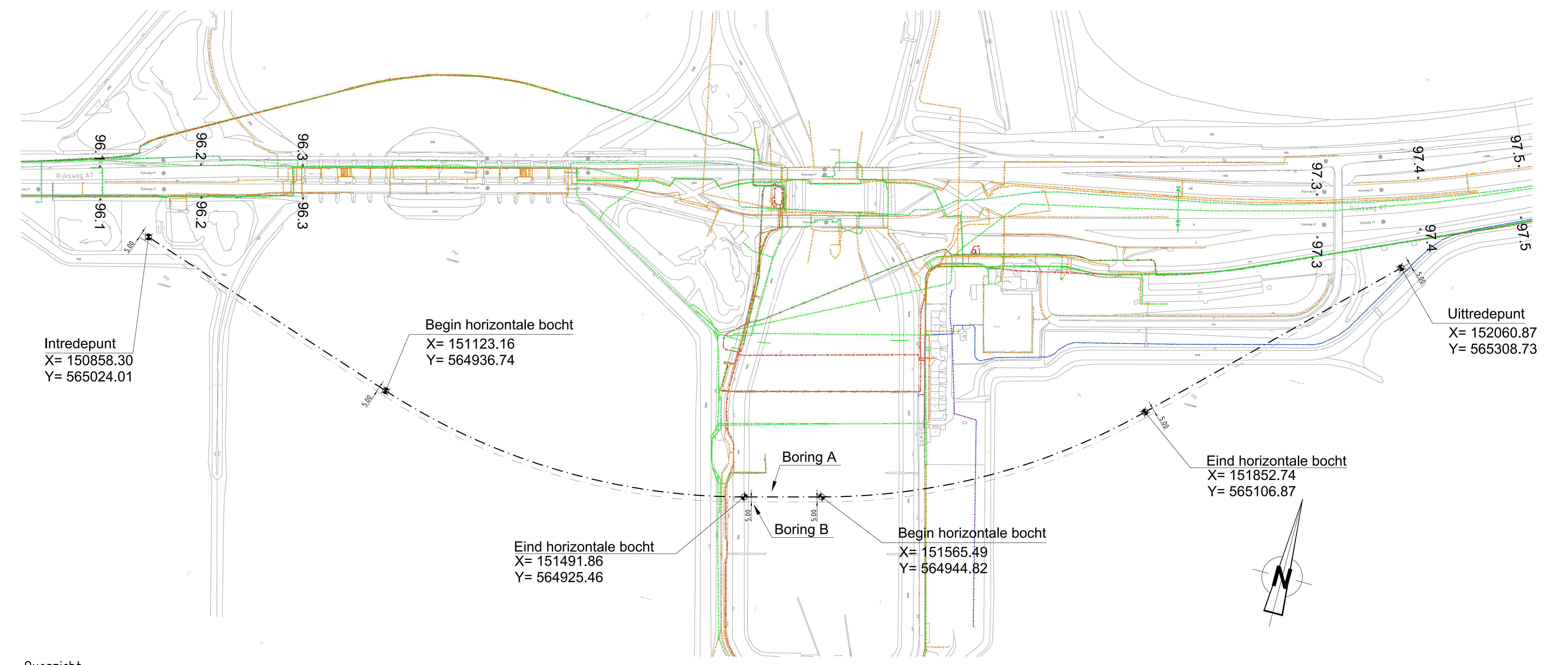
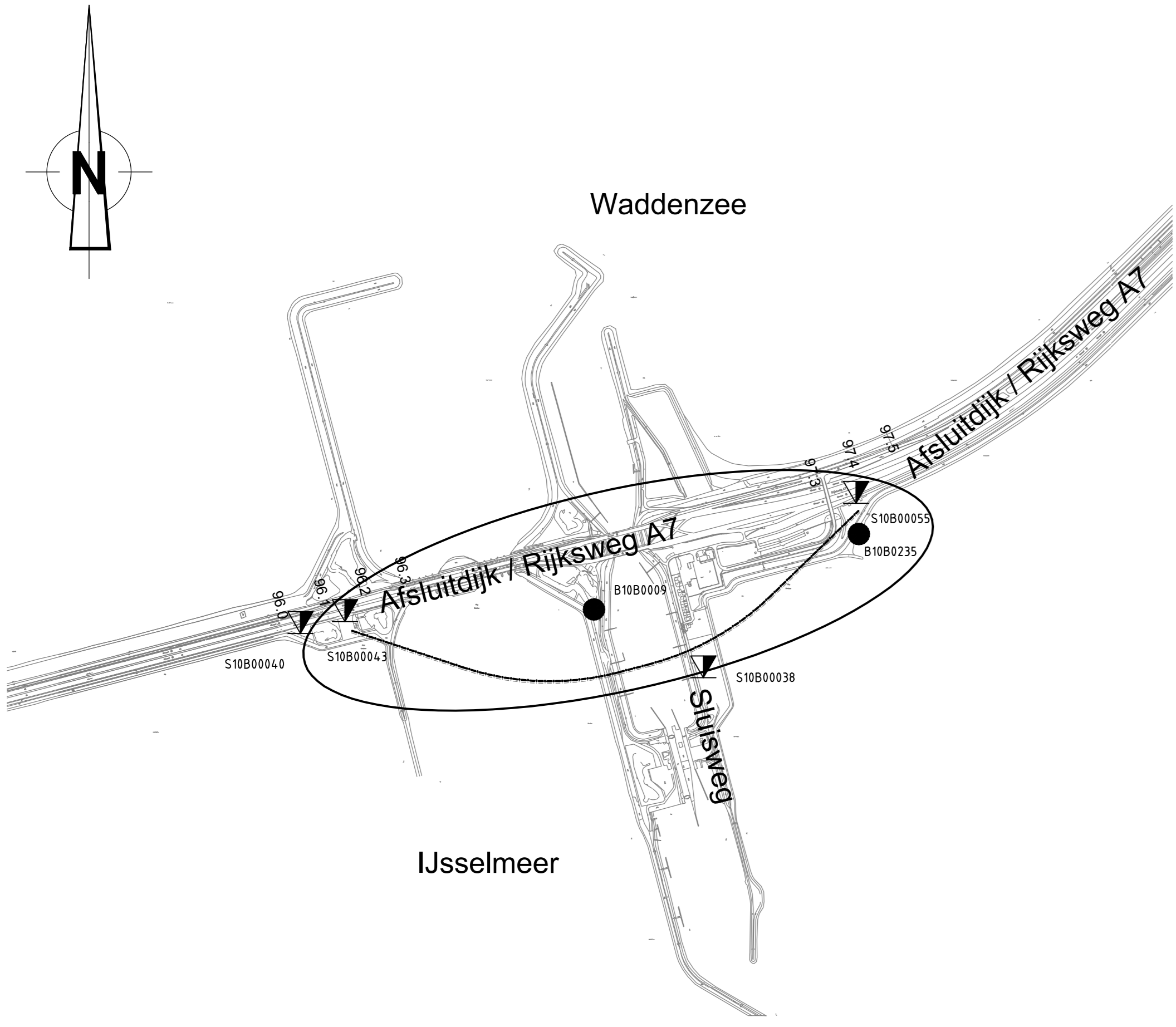


Trekkracht	100 ton
Drukkracht	50 ton
Mechanisme	Tandheugel (R&P)
Afmetingen machine LxBxH	11000 x 1220 x 1920 mm (afstand intredepunt - achterzijde rig 17-20 mtr)
Gewicht machine	25 ton
Rupsonderstel lxb	ca. 4400 x 800 mm (gronddruk 7 N/cm ²)
Motor	6 cylinder turbo diesel (104 kW = 140 PK)
Hellingshoek	8° - 17° (praktisch 10° - 15°)
Boormotor koppel	50.000 Nm
Cabine	Vaste cabine met transportstand
Lavette	Slaglengte t.b.v. boorstangen 6.000 mm

Toebehoren

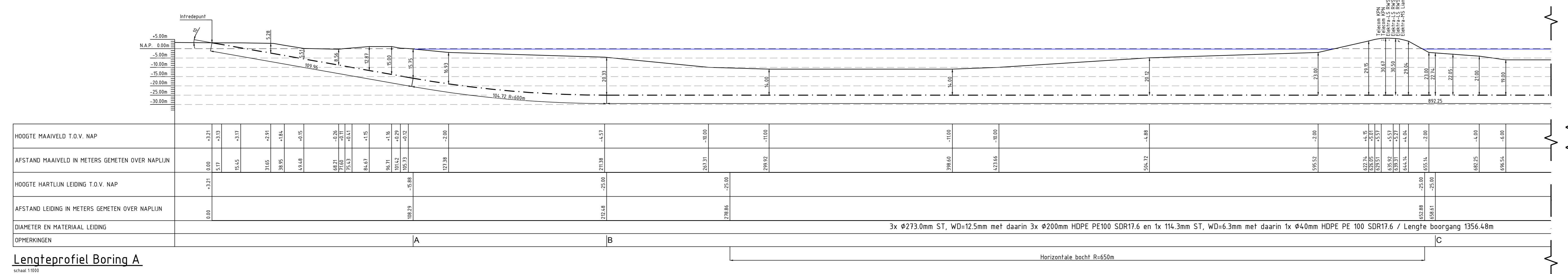
Boorstangen	5" met 4 1/2 IF tooljoint en 3,5" met 3 1/2 IF tooljoint
Swivel	100 ton, max. belasting 200 ton
Ruimers en Flycutters	Vanaf Ø 150 mm t/m Ø 1.350 mm
Boorkop	9-5/8" Toothbit + RVS bit
Mix- en recycling unit	1.600 ltr of 3.200 ltr / min, afhankelijk van de omvang van de boring. 1 of 2 st 20 ft containers.
Meng- en pompunit	2.500 ltr/min mix- & pompinstallatie gebouwd op containersysteem
Transport	Alles is gebouwd op 20 ft container met kabelsysteem. Eigen kraanauto (8x4).

Bijlage 6: Drill-sheet

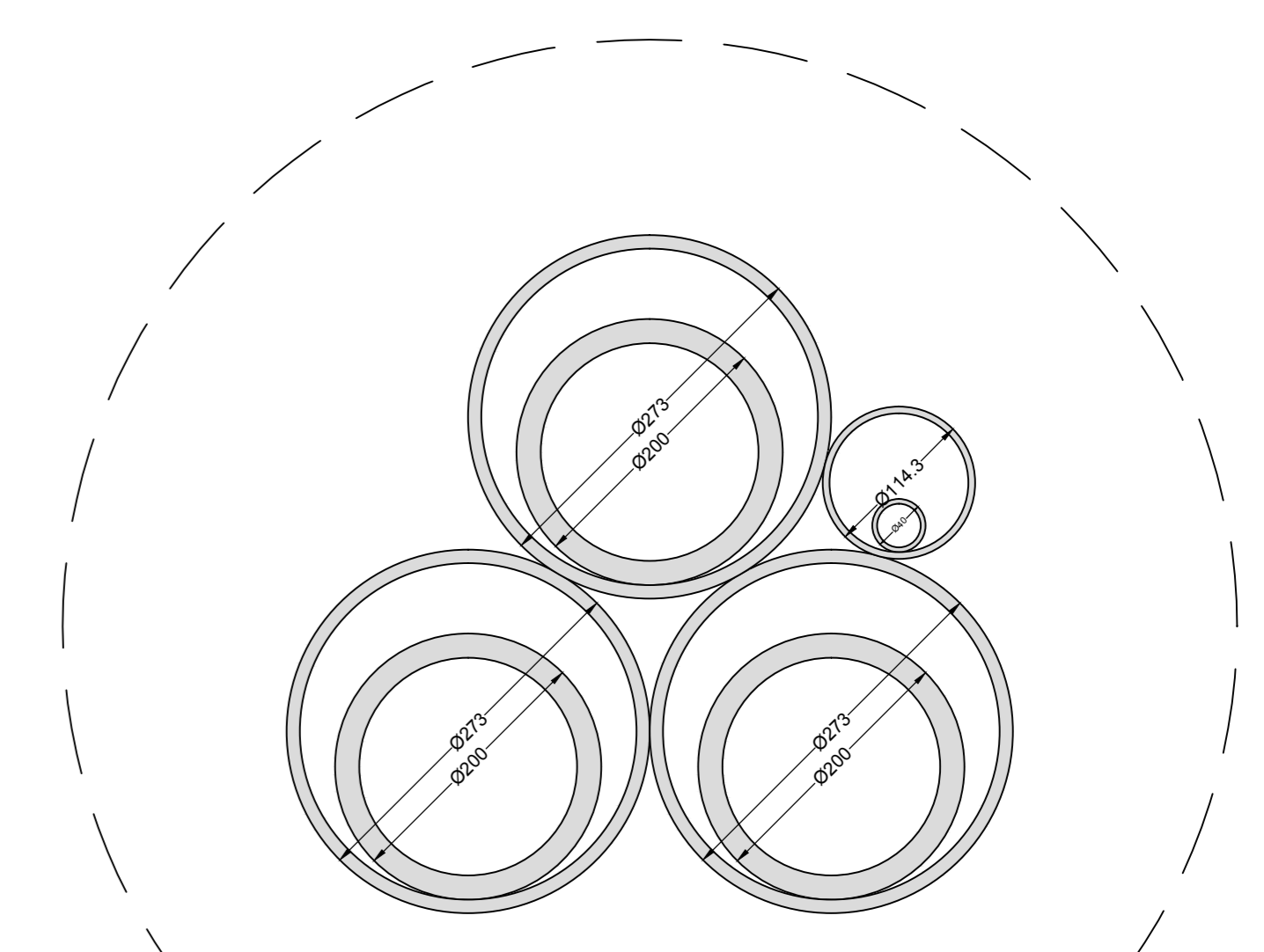


Overzicht
schaal 1:500

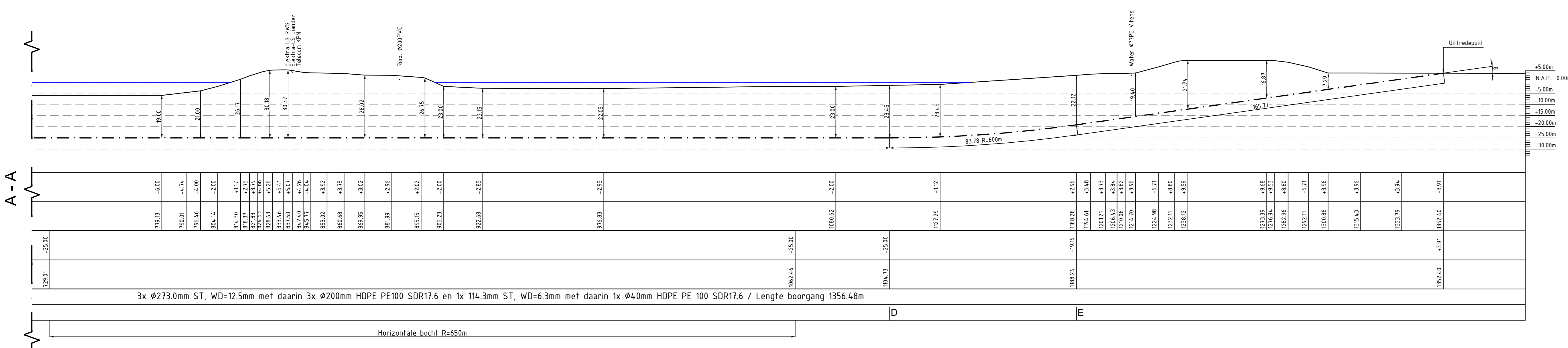
Overzicht
schaal 1:2000



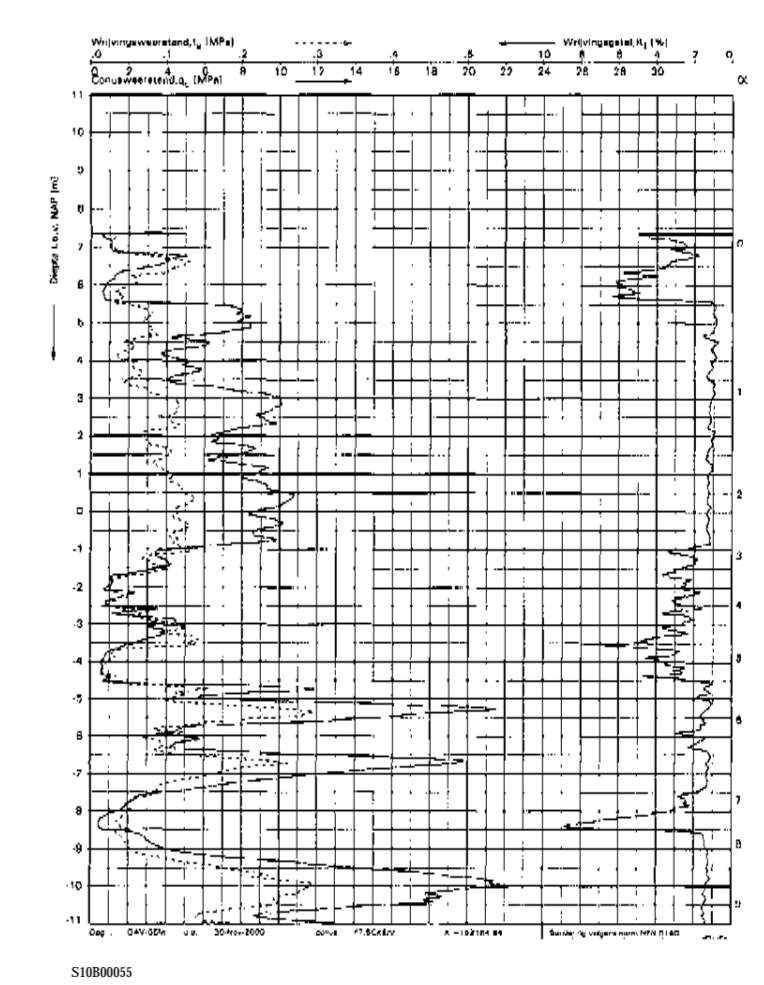
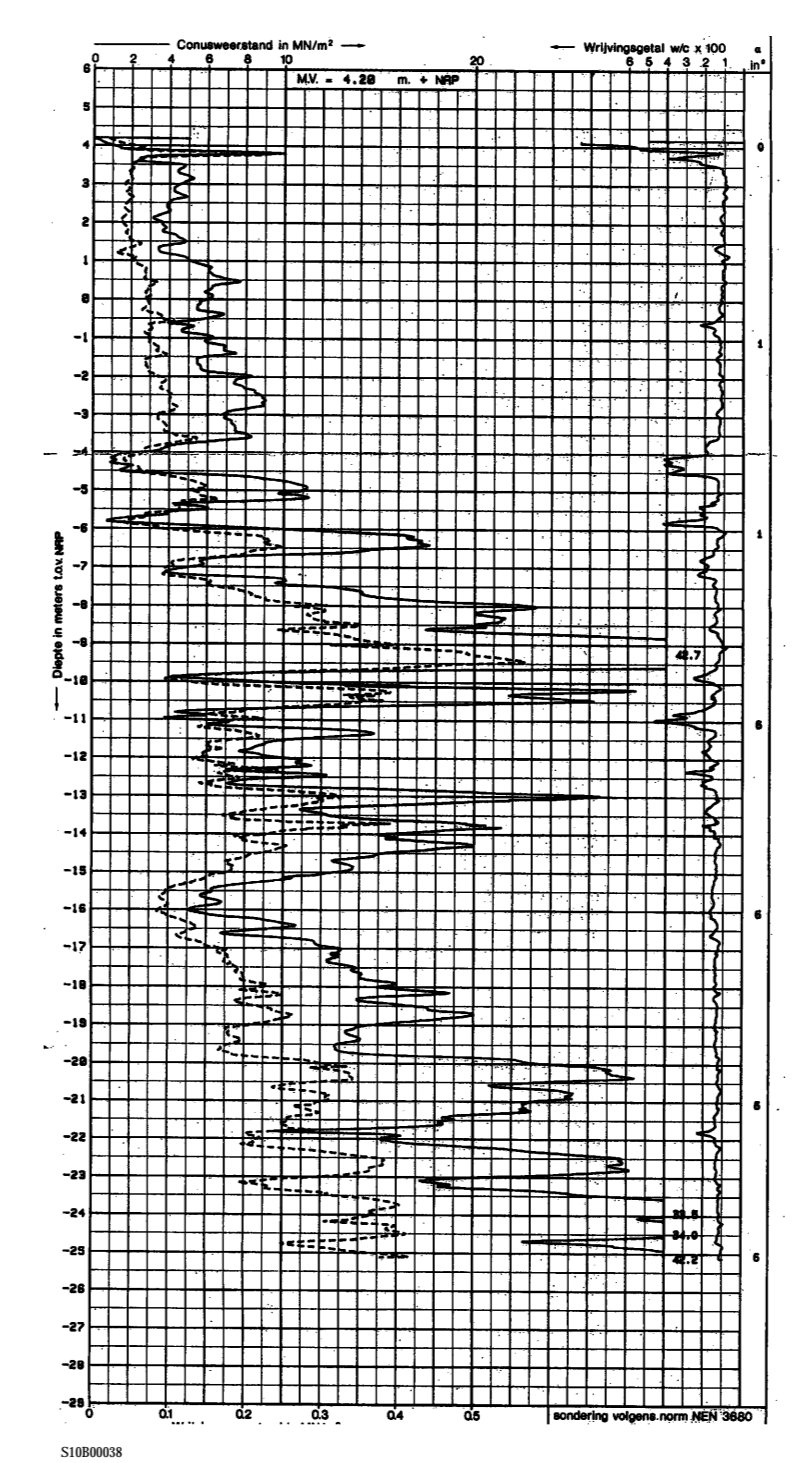
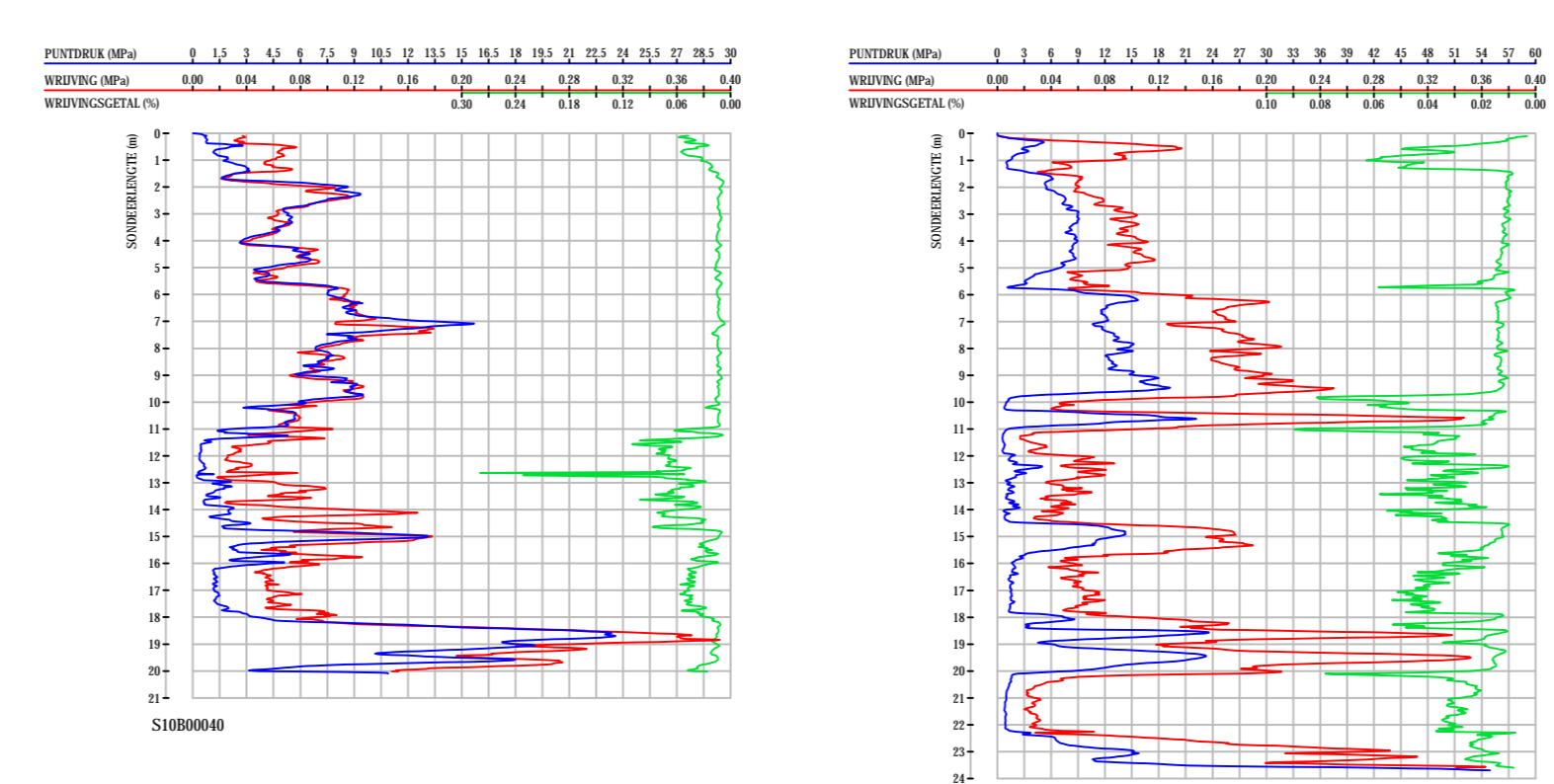
Lengteprofiel Boring A
schaal 1:500



Doorsnede bundel
schaal 1:5



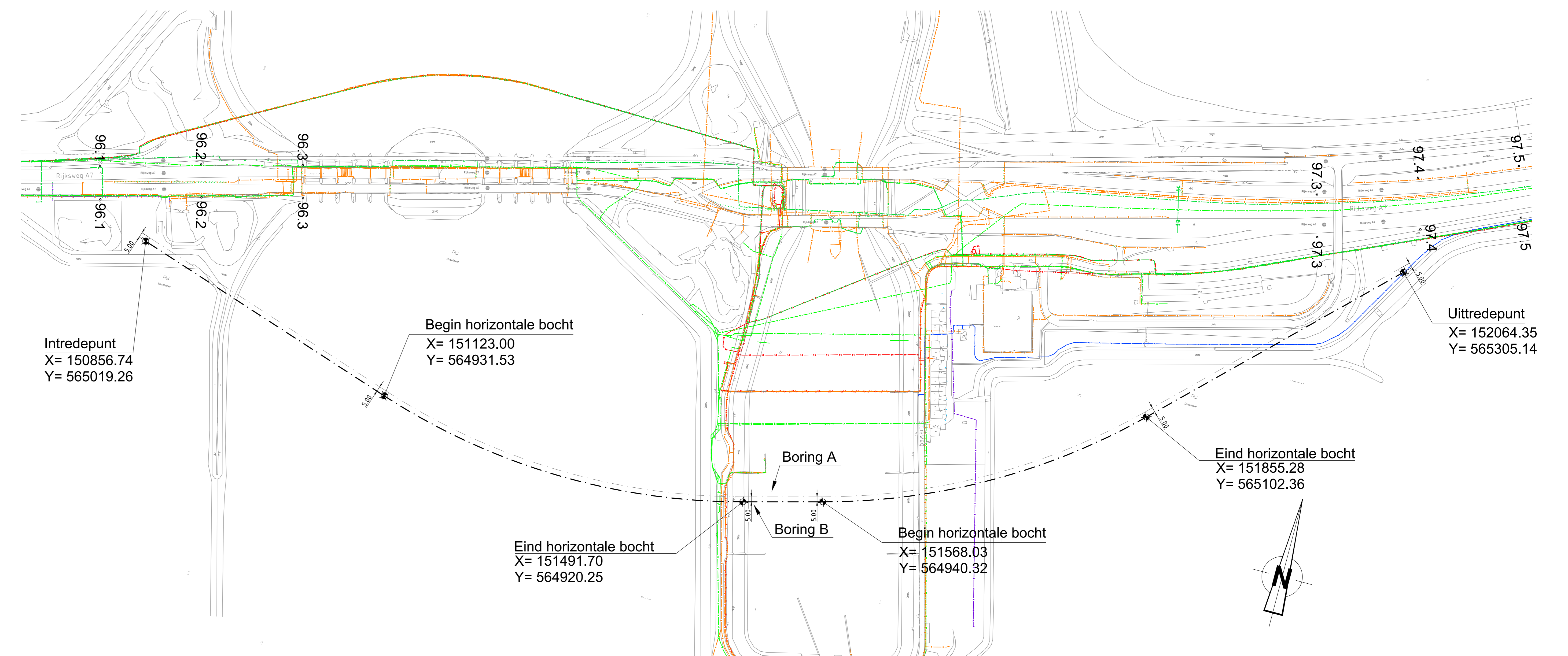
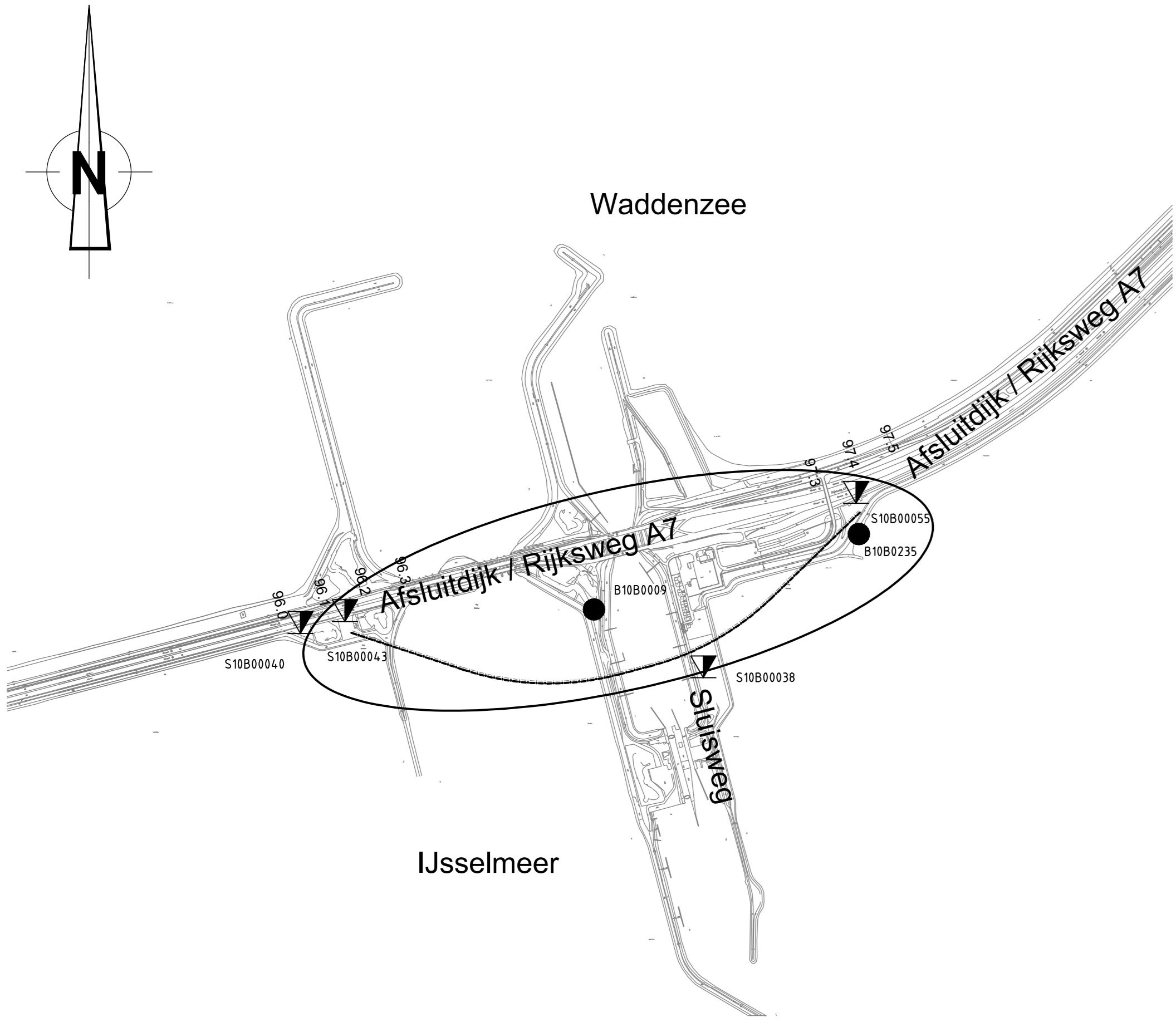
Lengteprofiel Boring A
schaal 1:500



Legenda bestaande K&L

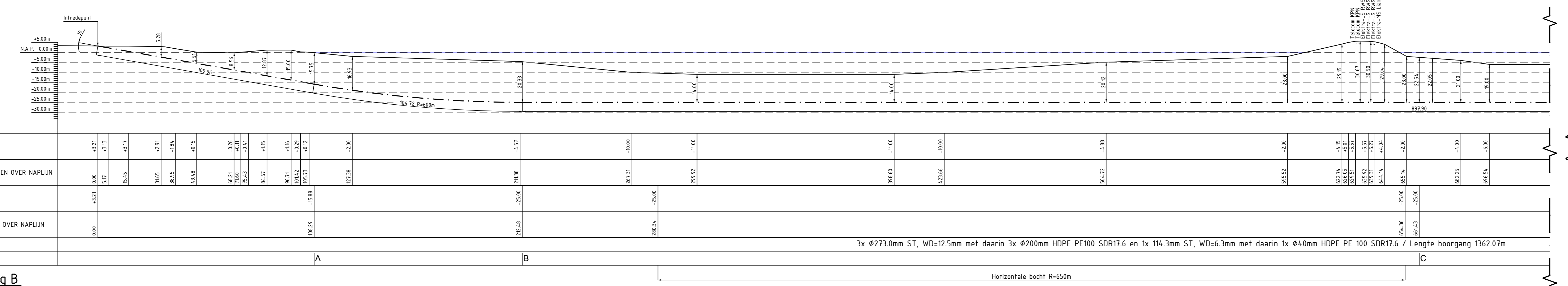
—	Ge
—	CO2 leiding
—	Electra LS
—	Electra MS
—	Electra HS
—	LD gasleiding
—	HD gasleiding
—	Gasruis leiding
—	Drainage
—	Ruis
—	Drainage
—	KPIS
—	Diverse Telecon (BPF, Eurofiber, Tele2, end)
—	Warmteleiding
—	Transport waterleiding
—	Wastele 5V
—	Sondering
●	Grondboring

Ø	Z1-08-2015	AL	RB	Voor vergoedingsaanvraag		
Rev.	Datum	Get.	Gez.	WJ/ZJGNG		
Ventolines						
ONTWERP :	R. Berger	GETEKEND :	A. Lanemsen	DATUM :	Z1-08-2015	
PROJ.EKT :	Windpark Fryslan	SCHAAL :	1:100000 / 1:20000 / 1:1000 / 1:5	FORMAAT :	A0	
ONDERWERP :	Afsluitdijk	Rijksweg A7 / Sluisweg km 96.148 - 97.378			TEKENING NR.:	482.15.2.039-100
Te maken gestuurde boring A						

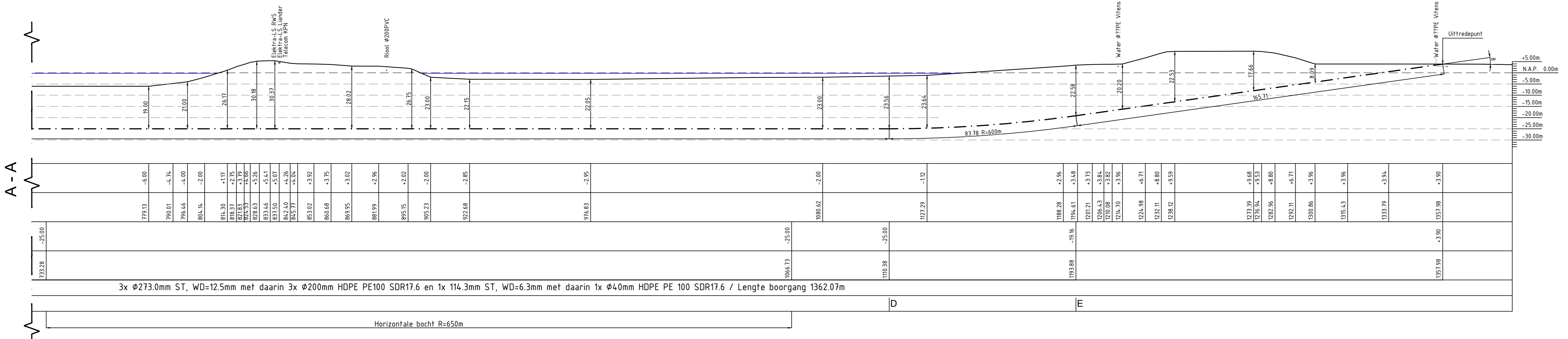


Overzicht
schaal 1:500

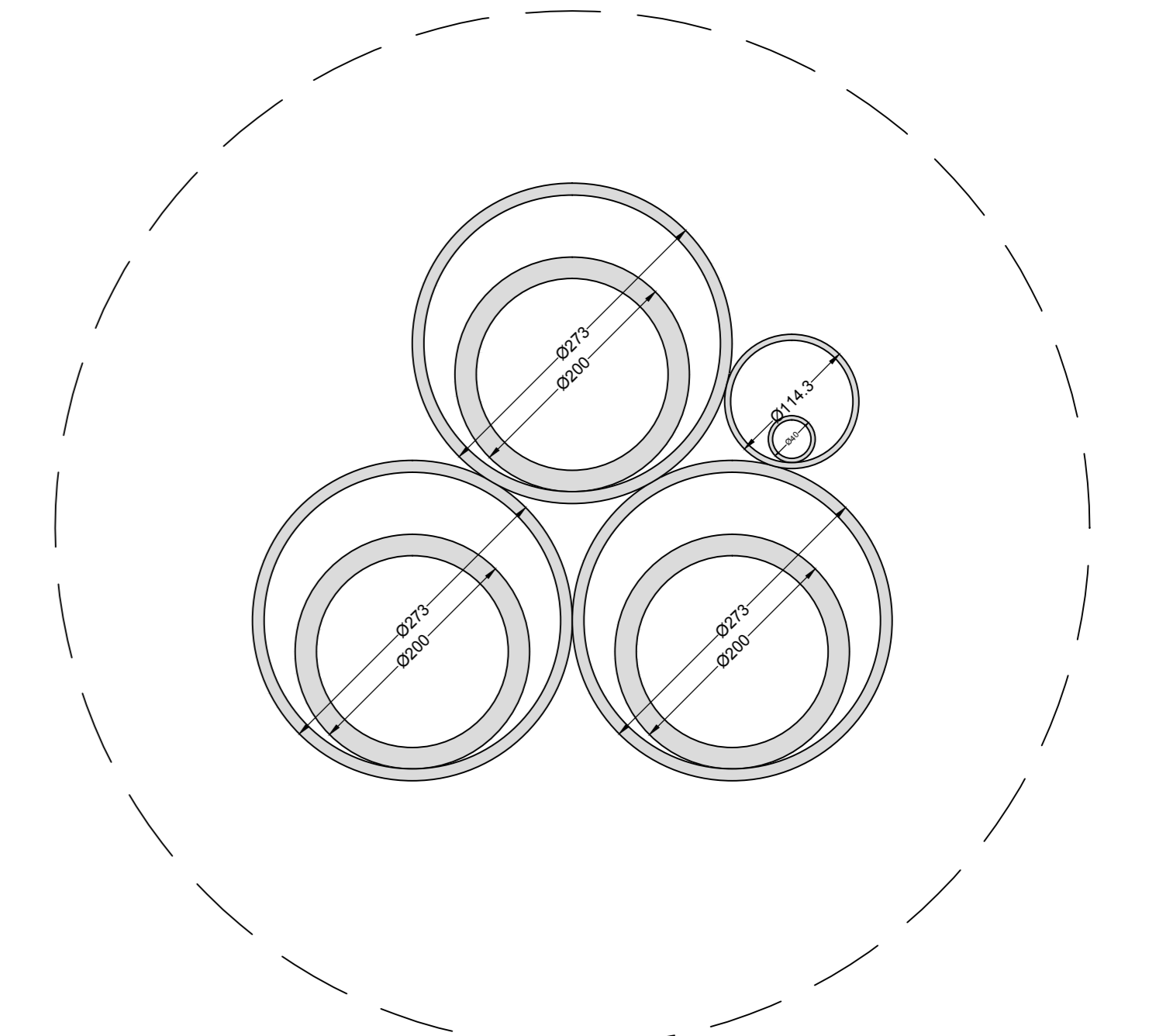
Overzicht
schaal 1:500



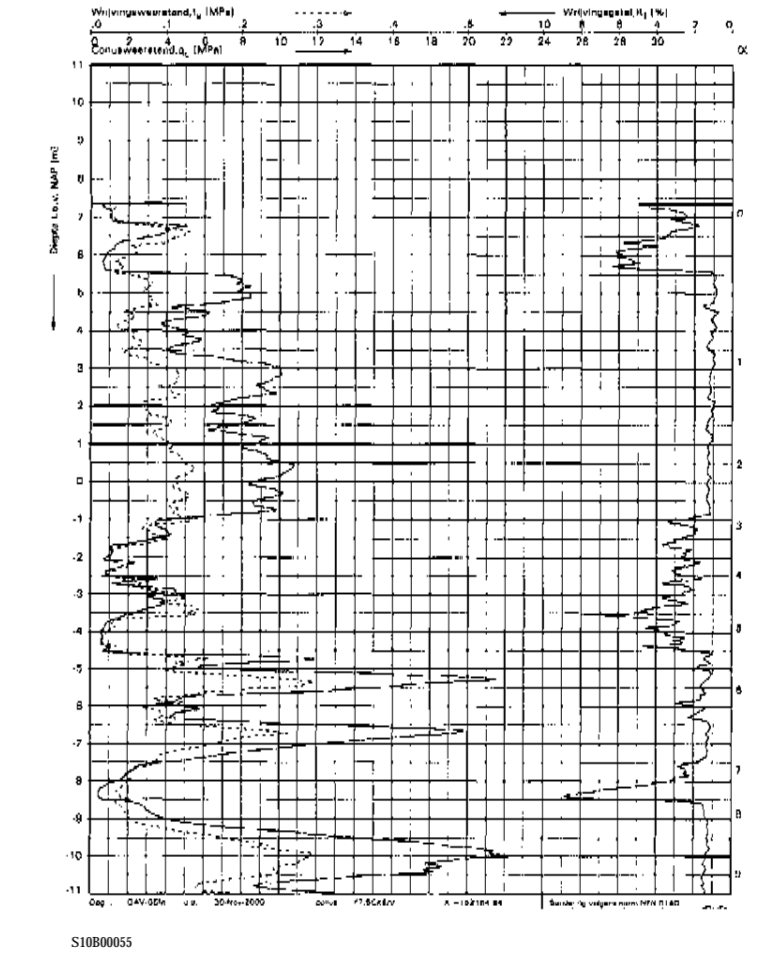
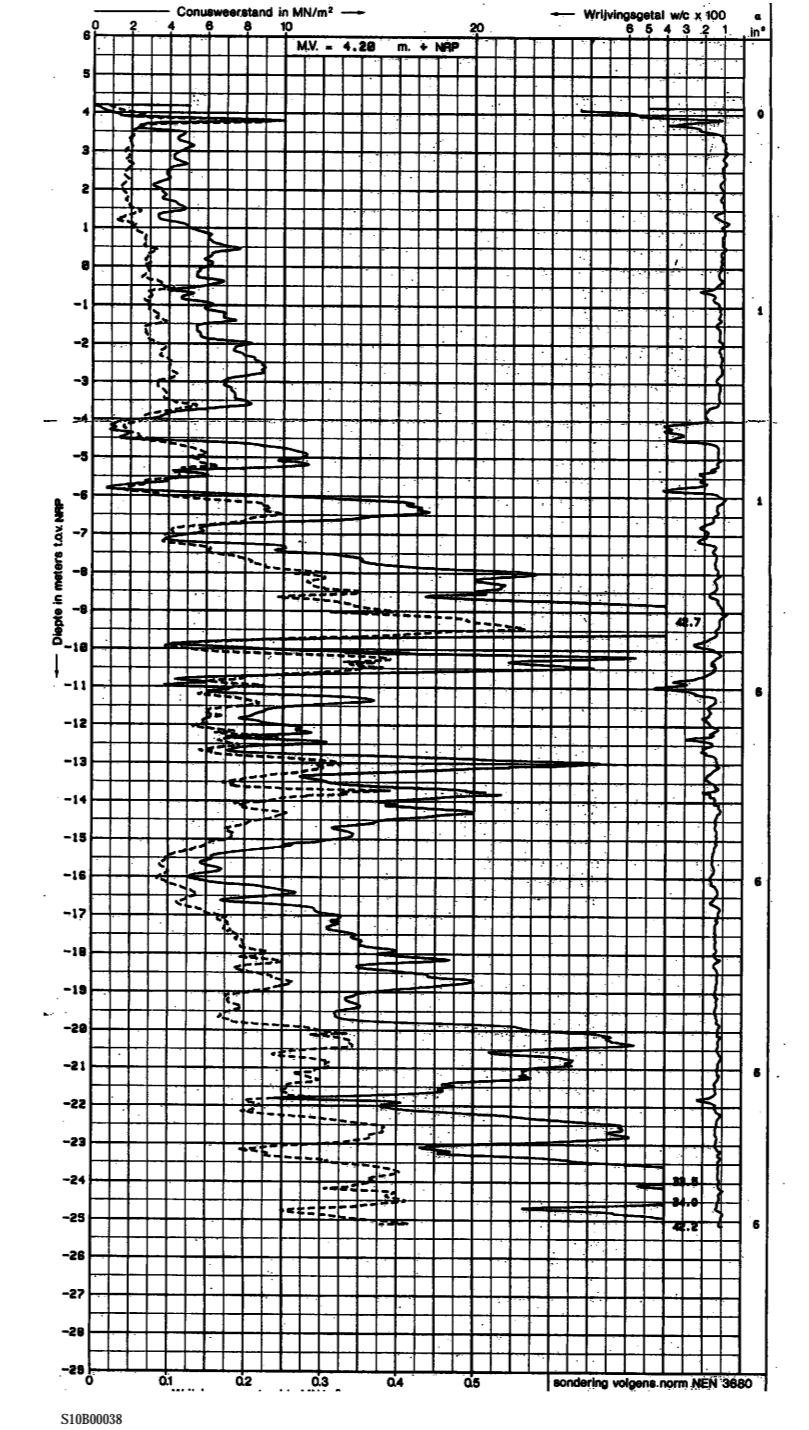
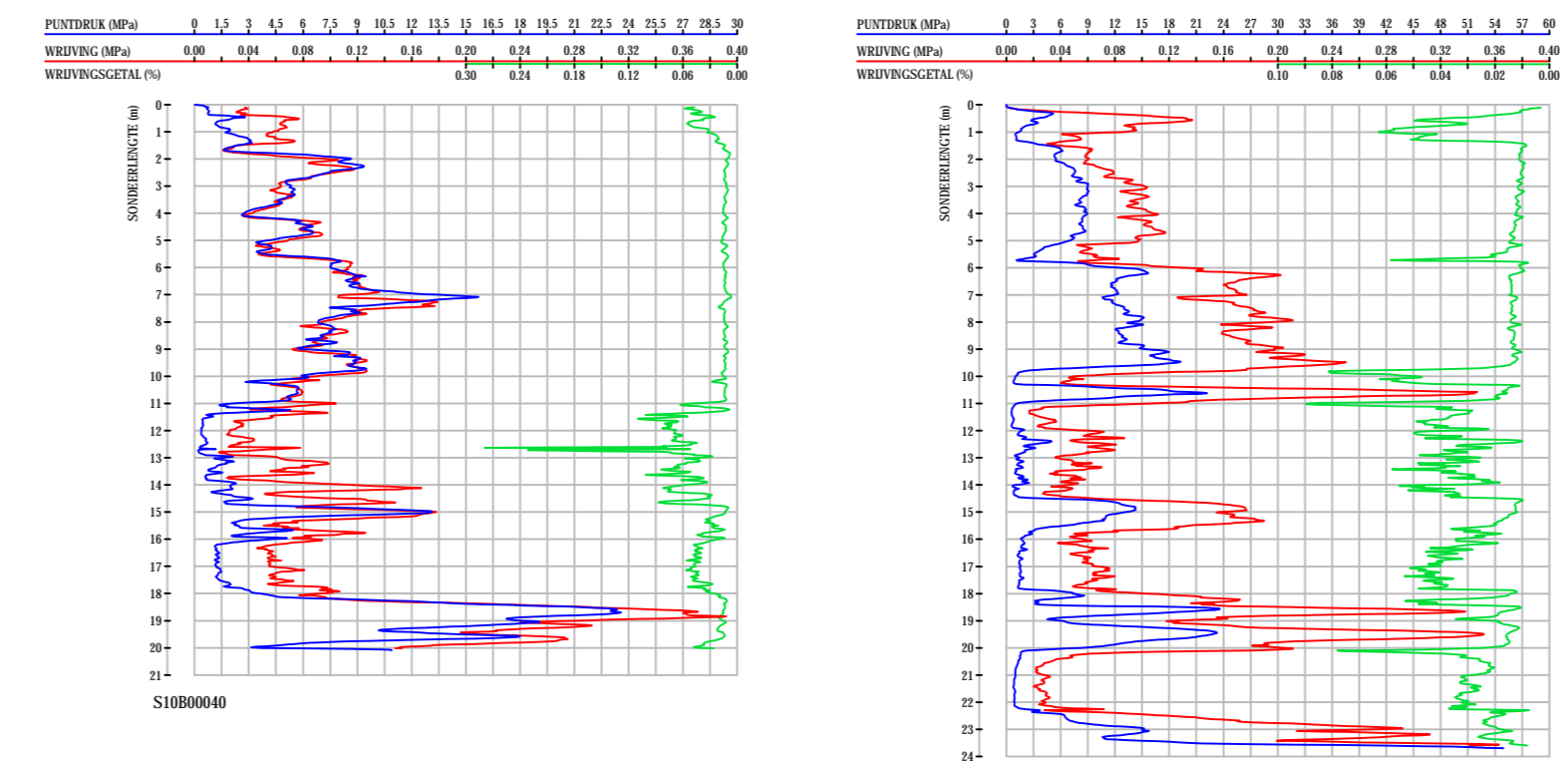
Lengteprofiel Boring B
schaal 1:500



Lengteprofiel Boring A
schaal 1:500



Doorsnede bundel
schaal 1:5



Legenda bestaande K&L

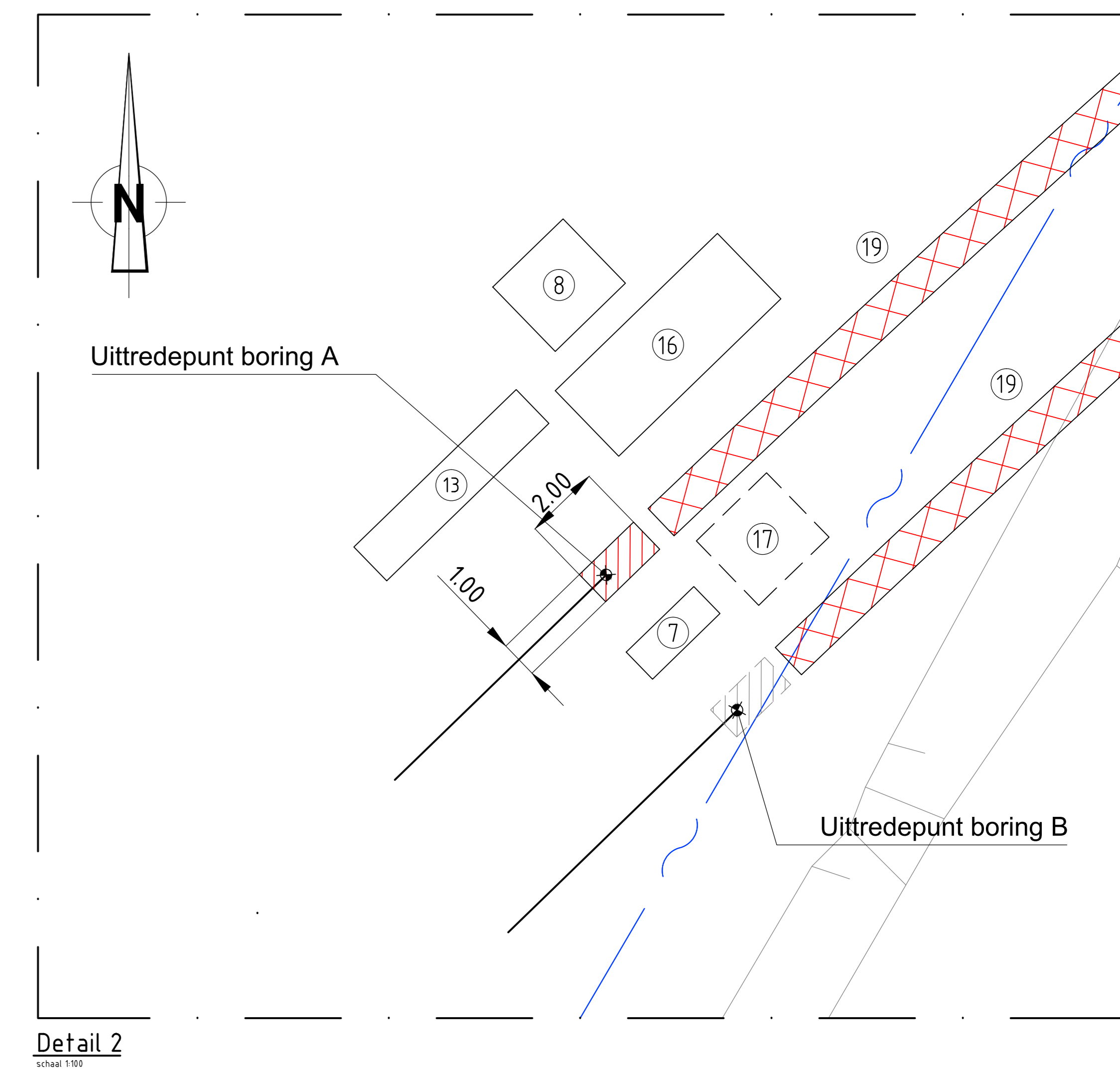
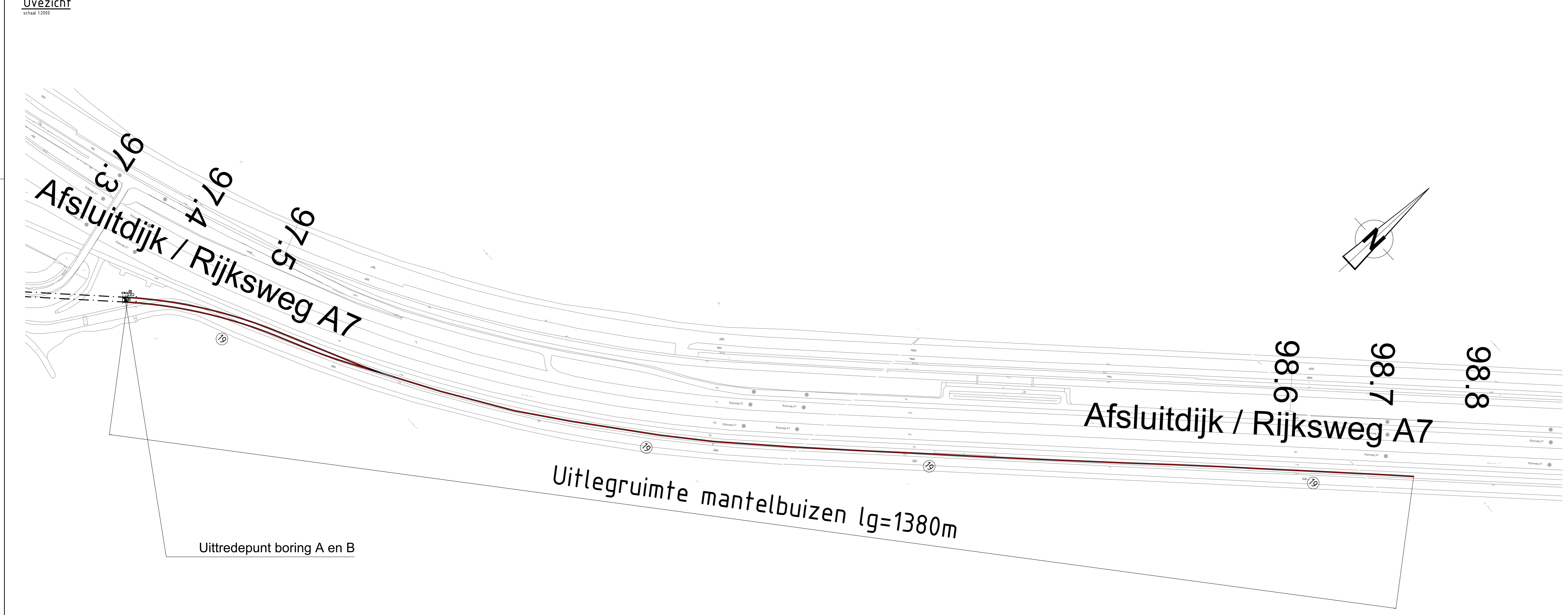
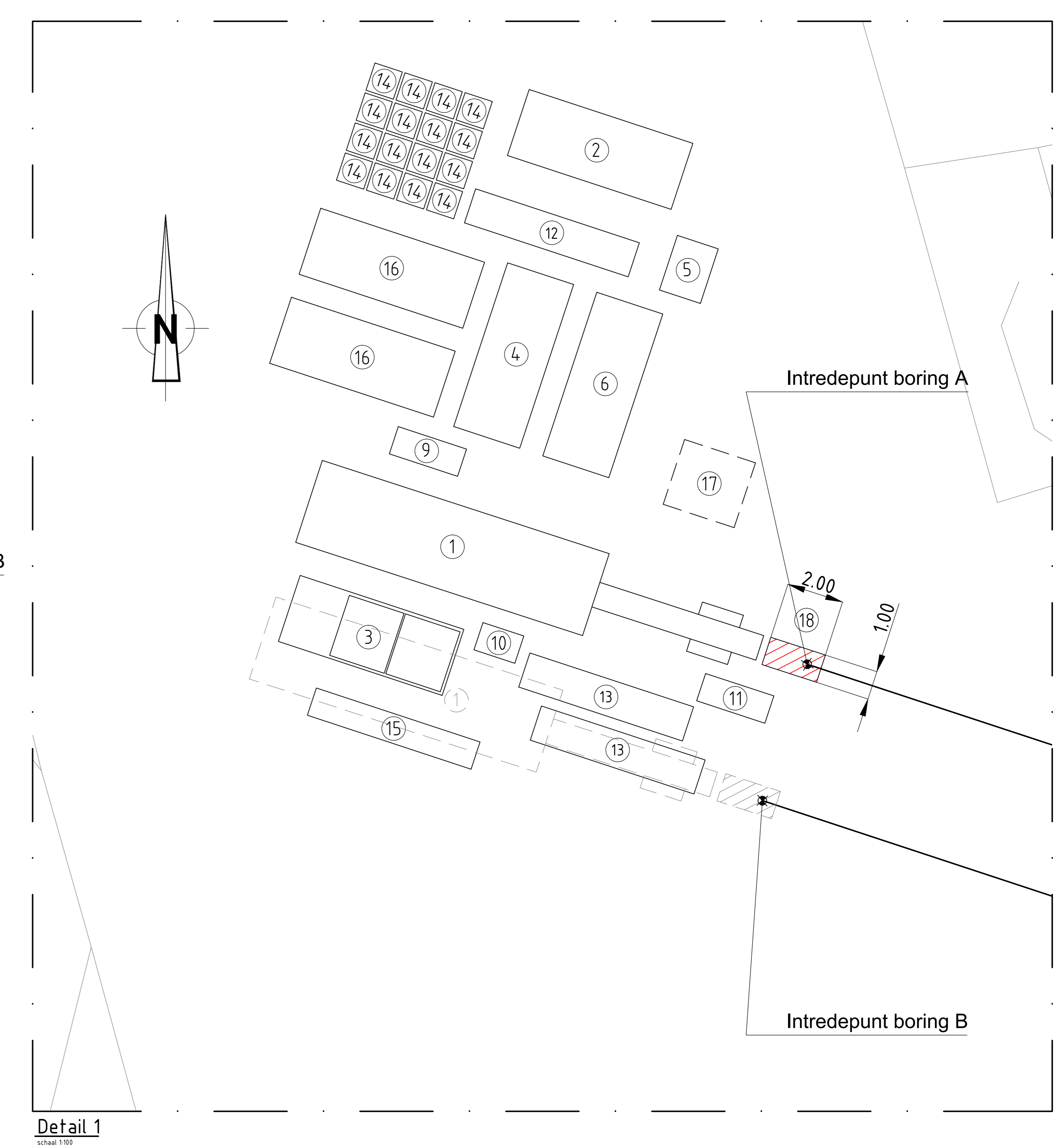
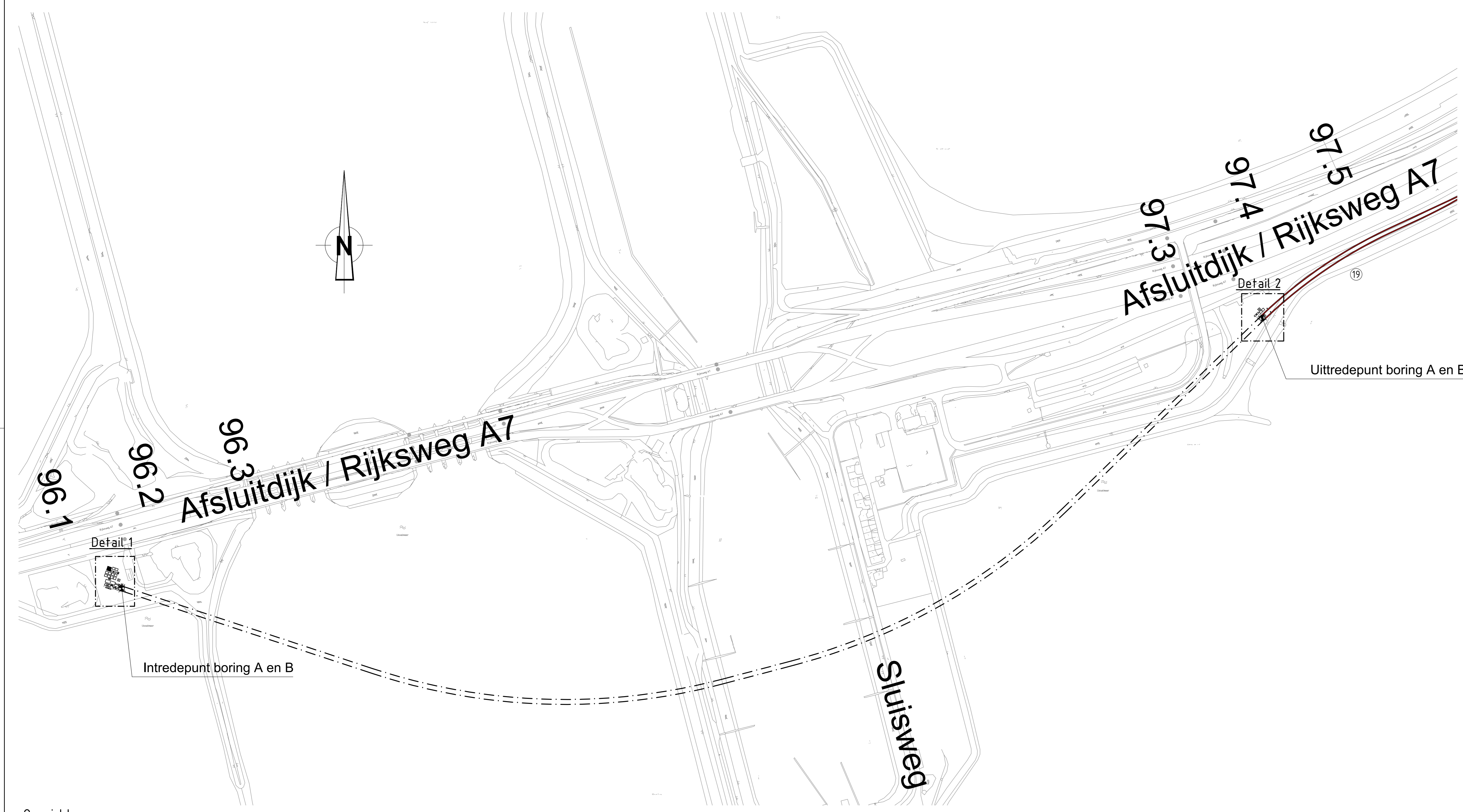
—	Ge
—	CO2 leiding
—	Electra LS
—	Electra MS
—	Electra HS
—	LD gasleiding
—	HD gasleiding
—	Gasruimte leiding
—	Drainage
—	Rand
—	Drainage
—	KPI
—	Diverse Telecon (VPE, Eurobar, Tele2, end)
—	Warmteleiding
—	Transport waterleiding
—	Wastele SV
—	Sondering
—	Grondbooring

0	21-08-2015	AL	RB	Voor vergoedingaanvraag
Rev.	Datum	Get.	Gez.	WUZ/GMG

Ventolines

ONTWERP : B. Berger GETEKEND : A. Lamerssen DATUM : 21-08-2015
 PROJECT : 482.15.2.039 SCHAAL : 1:10000 / 1:2000 / 1:1000 / 1:5 FORMAAT : A0
 PROJECT : Windpark Fryslân
 Afsluitdijk
 Rijksweg A7 / Sluisweg km 96.148 - 97.378
 ONDERWERP : Te maken gestuurde boring B

TEKENING NR.: 482.15.2.039-101



Overzicht
schaal 1:2000

Detail 1
schaal 1:100

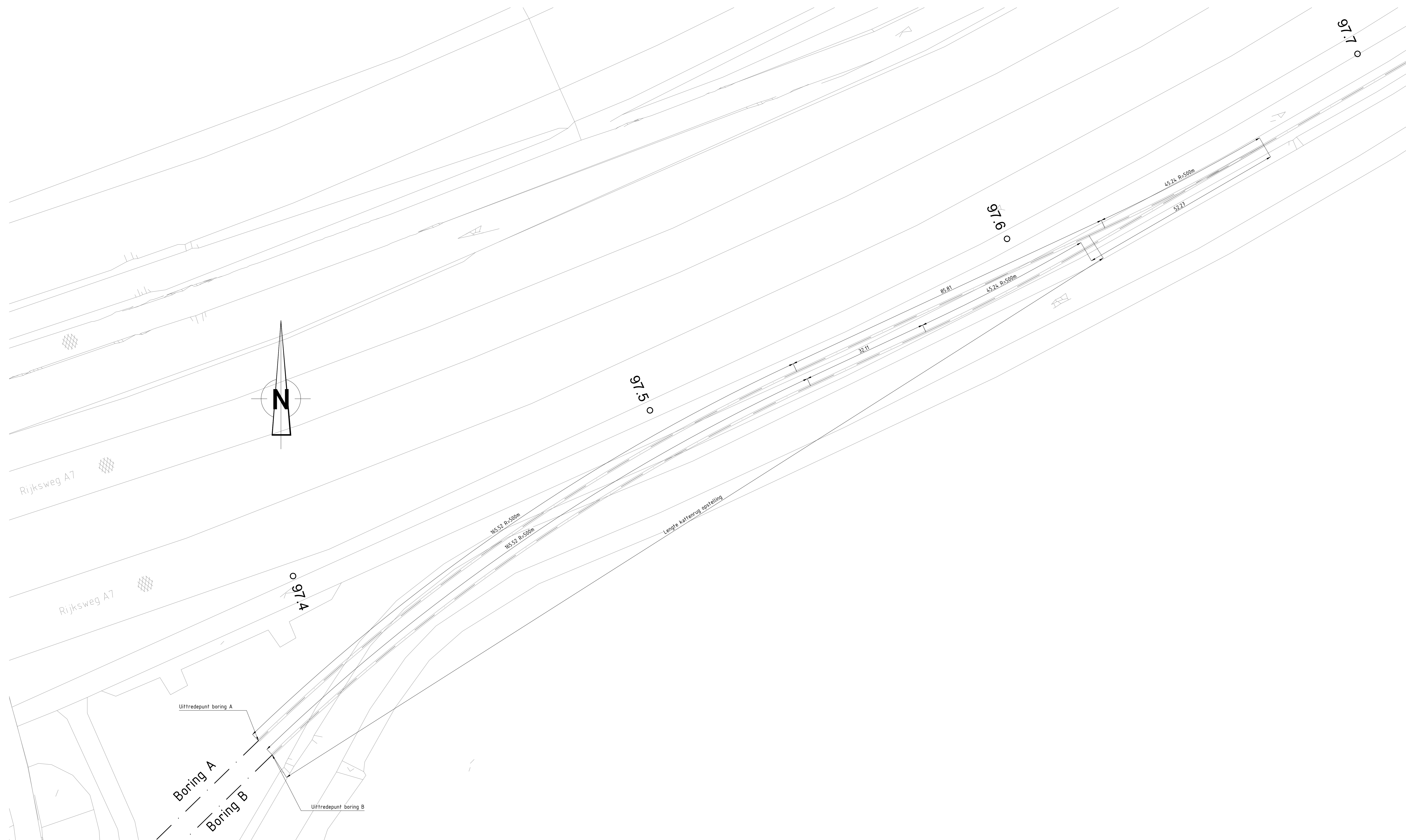
Detail 2
schaal 1:100

Overzicht uitlegruimte mantelbuizen
schaal 1:2000

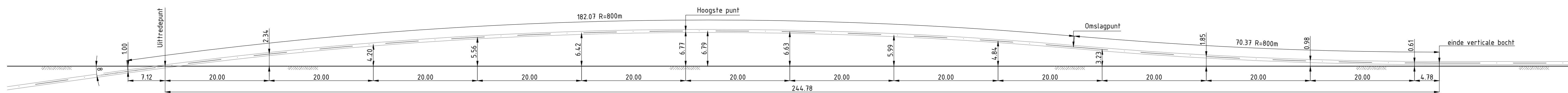
- 1. HANDELING 100 TON
- 2. SCHAFFENPLAATSCONTAINER
- 3. ONTZANINGSINSTALLATIE 12000 L/MIJN
- 4. BENTONIT MOBIELINSTALLATIE
- 5. VULLOKFAANER
- 6. HD-BENTONITPOMP 12500 L/MIJN
- 7. BENTONITPOMP
- 8. ONTZANINGSINSTALLATIE
- 9. AGGREGAAT 150 KW
- 10. AGGREGAAT 75 KW
- 11. POMP 500 TORQUE
- 12. GASOLETANK
- 13. BENTONIT
- 14. REX VOOR SLANEN+HOPPE BUZEN
- 15. BUISCONTAINER 18 V. BOORSPILING
- 16. MOBIEL KRAN
- 17. MOBIEL KRAN
- 18. WERKPLAAT 2.50m x 1.00m x 1.00m
- 19. Uitlegruimte voor mantelbuizen

ONTWERP : R. Berger	GETEKEND : A. Lanversen	DATE : 26-08-2015
PROJ. NR. : 482.15.2.039	SCHAAL : 1:2000 / 1:100	FORMAAT : A0
Windpark Fryslan Afsluitdijk Rijksweg A7 / Sluisweg km 96.148 - 98.715 Opstellingstekening bouwlocatie boring 100 (A) en 101 (B)		
TEKENING NR. : 482.15.2.039-200		

Project: 482.15.2.039-200, 2015-08-26, 14:28:25, Schaal: 1:2000, Formaat: A0



Ovezicht
schaal 1:500



Detail kattenrug
schaal 1:500

0	26-08-2015	AL	RB	Voor vergunningaanvraag
Rev	Datum	Get	Gez	WIJZIGING
Ventolines				
ONTWERP : R. Berger		GETEKEND : A. Lammersen		DATUM : 26-08-2015
PROJ.NR. : 482.15.2.039		SCHAAL : 1:500		FORMAAT : A0
PROJECT : Windpark Fryslan Afsluitdijk Rijksweg A7 / Sluisweg km 97.360 - 97.620				
ONDERWERP : Kattenrug boring 100 (A) en 101 (B)				TEKENING NR. : 482.15.2.039-201

Deze tekening is eigendom van a.h.k B.V. Zonder haar toestemming mag niet uit deze tekening worden gebaad, gekopieerd of aan derden te beschikking worden gesteld.

Bepaningsnaam: 482.15.2.039-201_20.dwg, Layout: 482.15.2.039-201, Plot: C:\d... 14-12-2015, Saved as: AardCAD.R2014

BIJLAGE 3B BOORPLAN PARKBEKABELING





BOORPLAN

Engineering HDD boring t.b.v. kabeltracé Winpark Friesland Afsluitdijk / Kornwerderzand

Oprachtgever : Windpark Fryslân BV
Project : Aanbrengen hoogspanningkabels Windpark Fryslân
Hoofdaannemer : Nader te bepalen
Aannemer H.D.D.-boringen : Nader te bepalen
Kenmerk : 482.15.2.039-02
Versie : 1

	Naam	Functie	Datum	Paraaf
Auteur	A. Lammersen	Engineer	21-08-2015	
Verificatie				
Autorisatie	M.H.H. Berger	Directeur	21-08-2015	

INHOUDSOPGAVE

1 Projectomschrijving 4

2 Werkmethode 6

3 OMSchrijving werkzaamheden 8

3.1 Tijdschema 8

3.2 Indicatieve personeelsbezetting boring 9

3.3 Kwaliteit en keuring van bouwmaterialen 10

3.3.1 Buizen 10

3.3.2 Boorvloeistof 10

3.3.3 Debieten 10

3.3.4 Samenstellen en intrekken van de HDPE leiding 11

3.4 In te zetten boormaterieel (voorbeeld) 12

3.5 Boortechnische wijze van uitvoering 13

3.5.1 Werkterrein 13

3.5.2 Werkwijze Gestuurde Boringen 14

3.5.3 Kwaliteitsregistratie 14

3.6 Bestaande kabels en leidingen 15

3.7 Overlegstructuur, procesbeheersing, procedures 15

4 Berekeningen voor de boringen 16

4.1 Uitgangspunten 16

Materiaal en buis gegevens 16

4.1.1 Grondgegevens 17

4.1.2 Belastingen 17

4.2 Berekeningen 18

4.2.1 De mantelbuis op rollenbaan 18

4.2.2 De mantelbuis het boorgat intrekken 18

4.2.3 De 'bedrijfstoestand' van de mantelbuis 18

4.2.4 Deflectie berekening 19

4.2.5 Boorspoel berekening 19

4.3 Conclusies 19

Bijlagen

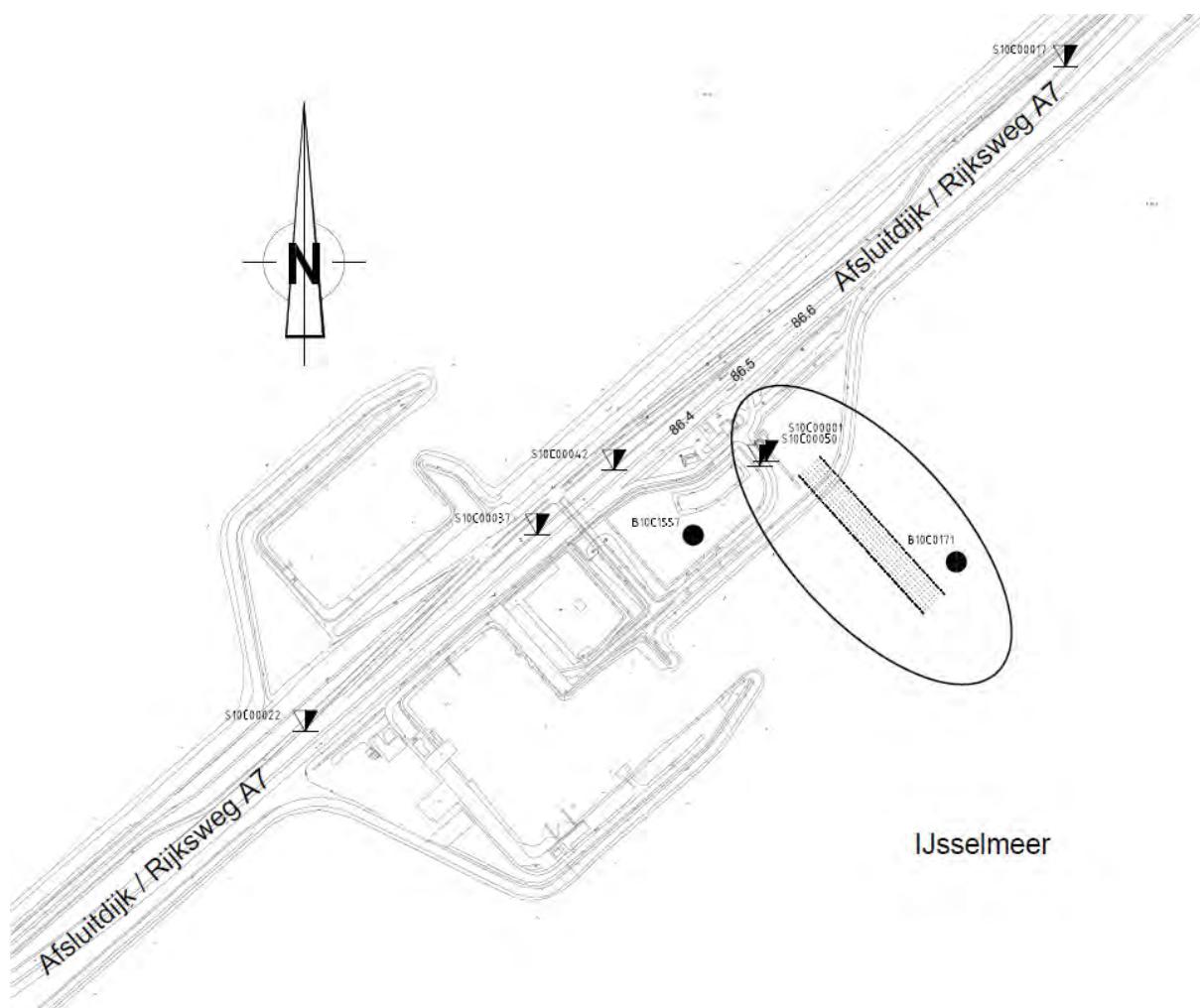
- Bijlage 1: Tekening
 - Bijlage 2: Luchtfoto
 - Bijlage 3: Grondonderzoek, sterkte- en muddrukberendingen
 - Bijlage 4: Certificaten en productomschrijving
 - Bijlage 5: Technische gegevens rig 4 ton t/m rig 100 ton
 - Bijlage 6: Drill-sheet
-

1 PROJECTOMSCHRIJVING

Om Windpark Fryslân op het openbare electriciteitsnet aan te sluiten is een kabeltracé voorzien dat loopt vanaf het substation op Breezanddijk naar de kop van de afsluitdijk. Het kabeltracé van Windpark Fryslân bestaat uit twee kabelcircuits van 3 1-fase kabels elk plus twee mantelbuizen voor glasvezelkabels. Het deel van het kabeltracé dat over de Afsluitdijk loopt, is gepland aan de noordkant van de snelweg, deels onder het bestaande fietspad. Daar waar aanleg middels openontgraving of niet mogelijk is, zijn horizontaalgestuurde boringen (HDD's) gepland.

Om de uitvoerbaarheid te toetsen zijn in dit document een boorplan opgesteld waarin in een van de mogelijke uitvoeringswijze omschreven is en zijn de berekeningen te vinden van een horizontaalgestuude boring die gepland is voor het aan land brengen van de park bekabeling. Dit document is geschreven ten behoeve van de vergunningsaanvraag en is niet bestemd voor de uitvoering. Definitieve werkplannen zullen 3 maanden en de definitieve boorplannen 3 weken voor de start van de uitvoering van de werkzaamheden worden ingediend bij de vergunningverlenende instanties.

Ten behoeve van de park bekabeling zullen 8 boringen met een onderlinge afstand van circa 5,0 m en een lengte van ca. 233 m gemaakt worden. In deze boringen worden 1 stuks 250 HPDE mantelbuizen ingetrokken. In deze mantelbuizen komen de kabels van windpark Fryslân te liggen.



De werkmethode is gebaseerd op de volgende documenten:

- Werkomschrijving voor het project
- Boorplan:
482.15.2.039-02
- Detailtekeningen:
482.15.2.039-102_R0
- Geotechnische informatie DINO loket
- NEN 3650/3651

2 WERKMETHODE

Voor de aanleg van ondergrondse netwerken bestaande uit kabels en leidingen kunnen horizontaal gestuurd boringen ingezet worden om wegen, watergangen en andere infrastructurele constructies te kruisen. Daar de werkzaamheden worden uitgevoerd met een sleufloze techniek wordt de hinder bovengronds tot een minimum beperkt.

Voorafgaand aan de uitvoering van een horizontaal gestuurd boring wordt geotechnisch grondonderzoek uitgevoerd. Afhankelijk van de van eisen van de vergunningverlenende instantie kan dit onderzoek bestaan uit sonderingen, handboring of andere geotechnisch grondonderzoeken. De gegevens hiervan dienen als input voor de sterkte- en muddrukberoeeningen en het boorplan. Van elke boring worden tekeningen gemaakt welke de boring volledig in kaart brengen. Deze documenten worden ingediend bij de vergunningverlenende instanties als onderdeel van het boorplan.

De geotechnische gegevens die gebruikt zijn voor het maken van de onderliggende berekeningen behorend bij deze boring zijn verkregen uit een bureaustudie. Voor deze berekeningen zijn de gebruikte gegevens conservatief geïnterpreteerd. Geotechnische grondonderzoeken ten behoeve van de uitvoering zullen ten behoeve van het definitieve boorplan worden uitgevoerd conform die hiervoor geldende normen.

Een horizontaal gestuurde boring is een techniek waarbij de werkzaamheden vanaf het maaiveld plaatsvinden. De uitvoering van een horizontaal gestuurde boring is opgebouwd uit drie fasen:

- Mobiliseren;
- Pilotboring;
- Ruimfase;
- Intrekken van leiding;
- Demobiliseren.

Het mobiliseren bestaat uit het gereed maken van het terrein. Indien nog wordt er op de opstelplaats van de boorinstallatie een baan van een zand pakket of rijplaten aangebracht. Hiernaast wordt alle benodigde materieel aangevoerd en opgesteld. Aan de uittrede kant van de boring wordt in deze fase de leiding uitgelegd en gelast.

Als eerst wordt vanaf het intredepunt een pilotboring uitgevoerd in het ontworpen tracé. Na de intrede wordt gestart met een rechtstand vervolgd door een neergaande bocht, een horizontaal gedeelte, na de opgaande bocht wordt het uittredepunt bereikt. Afhankelijk van de beschikbare ruimte en de buigstraal van de opgaande bocht kan na de opgaande bocht nog een rechtstand worden uitgevoerd. Tijdens de eerste fase worden de coördinaten van de pilotboring door middel van driedimensionale plaatsbepaling van de pilotboring verkregen. Bijvoorbeeld middels een gyroscoopmeetsysteem.

In de tweede fase, de ruimfase, wordt aan het uiteinde van de boorstreng een ruimer (of verdringer) geplaatst. Tijdens de ruimfase, welke uit meerder ruimgangen kan bestaan, wordt de gewenste diameter van de boorgang verkregen. De keuze van de soort ruimer is afhankelijk van de plaatselijke grondslag. Bij het aanbrengen van mantelbuizen / mediumvoerende buizen met een geringe diameter kan fase 2 (extra ruimgang) komen te vervallen en wordt de mantelbuis direct achter de ruimer ingetrokken (zoals omschreven in onderstaande "laatste" ruimgang).

De derde en laatste fase is het intrekken van de productleiding(-en). De gereedliggende leiding(-en) worden hierbij met behulp van een trekkop direct achter de ruimer bevestigd en terug getrokken door het boorgat. Om uitstroom van bentoniet in het IJsselmeer te voorkomen wordt gebruik gemaakt van een dämmerplug. Als de leiding is in getrokken wordt het materieel gedemobiliseerd en het terrein hersteld.

Tijdens alle fasen wordt gebruik gemaakt van zo geheten boorspoeling. Deze is bedoeld om de boorkop te koelen, de losgeboorde grond af te voeren en het stabiel houden van de tunnelwand. De boorspoeling wordt vanaf een hogedrukpomp via een hogedrukslang naar de boorinstallatie verpompt, door de holle boorstangen en door zijkanalen in de boorkop vervolgens de grond ingepompt. Tijdens iedere fase worden de doorspoeldrukken geregistreerd. Dit wordt gedaan om te controleren of er een constante return van de boorspoeling is. Tijdens de laatste fase, het intrekken van de leiding, kan er voor gekozen worden om drillgrout te gebruiken in plaats van bentoniet.

3 OMSCHRIJVING WERKZAAMHEDEN

Het volgende hoofdstuk bevat de werkomschrijving zoals de HDPE mantelbuizen door een nader te bepalen aannemer kunnen worden aangebracht.

3.1 Tijdschema

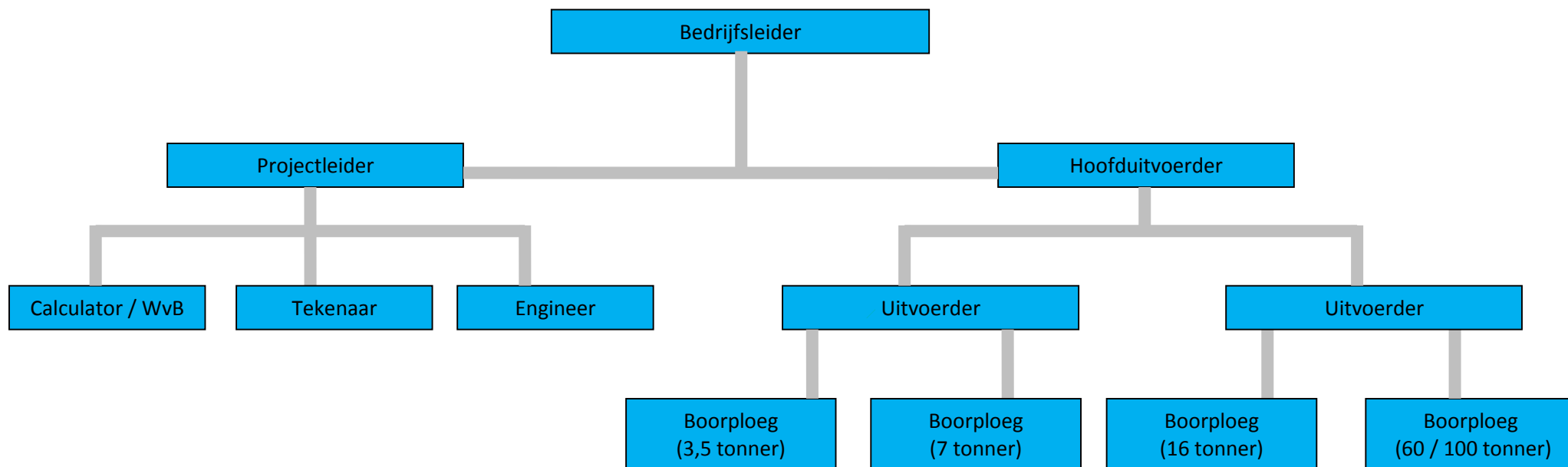
Hieronder wordt een globale planning van de HDD-boringen weergegeven.

Boring: HDD-boring nr. 1 t/m nr. 8

Inrichten werkterrein	
Aanvoer en mobilisatie	1,0 dag
Pilotboring - Boring nr.1	1,0 dag
Ruimen - Boring nr.1	1,0 dag
Intrekken - Boring nr.1	1,0 dag
Omzetten boorstelling	1,0 dag
Boring nr.2 t/m nr.8 (zie werkzaamheden boring nr. 1)	35,0 dag
Demobiliseren en afvoeren	1,0 dag
Opruimen en herstellen werkterrein	

De startdatum van de werkzaamheden wordt bepaald in overleg met de opdrachtgever. Mogelijk wordt het intrekken van de mantelbuis in één aaneengesloten fase uitgevoerd. Hierdoor kan het voorkomen dat er volcontinu geboord moet worden totdat de boring gereed is.

3.2 Indicatieve personeelsbezetting boring



Bezetting afhankelijk van bedrijfsprofiel opdrachtnemer

3.3 Kwaliteit en keuring van bouwmaterialen

Alle te gebruiken materialen en grondstoffen zullen minimaal voldoen aan de hiervoor in Nederland geldende kwaliteitsnormen.

3.3.1 Buizen

HDPE buis

De in te trekken HDPE buizen worden door de aannemer te beschikking gesteld en op het werk geleverd.

3.3.2 Boorvloeistof

De boorvloeistof kan samengesteld worden uit met water vermengde bentoniet. Indien nodig wordt bekeken of de samenstelling van de boorspoeling verder aangepast dient te worden aan de lokale bodemopbouw. Uitgangspunt daarbij is dat een boorspoeling wordt verkregen die voldoende steun geeft aan het boorgat in de plaatselijke ondergrond.

De gemiddelde samenstelling van de boorspoeling bedraagt 30-50 kg bentoniet per 1.000 liter water. Het soortelijke gewicht van de boorspoeling bedraagt circa 1.200 kg/m³ afhankelijk van de omstandigheden. Een certificaat van een mogelijk product is in bijlage 5 opgenomen.

3.3.3 Debieten

Op basis van de te verwachten samenstelling van de grondgesteldheid, zijn voor de verschillende boorfases de volgende debieten berekend:

Pilotfase: 10 à 30 l/min

Intrekken: 40 à 80 l/min

Om ongewenste muduitbraken te voorkomen dient de maximaal toelaatbare muddruk niet door de minimaal benodigde muddruk te worden overschreden. De volledige berekening van de muddruk is te vinden in bijlage 3.

In de meeste gevallen is de muddruk tijdens Pilotfase maatgevend omdat tijdens deze fase de afstroming van de vrijkomende boorspoeling slechts aan één zijde mogelijk is. Dit doet zich hoofdzakelijk voor bij het uittredepunt van de boring en in mindere mate aan het beging. Door bij het naderen van het uittredepunt de voortgangssnelheid, het debiet en de druk in dat gebied te verlagen is de kans op een zogenaamde Blow-Out nihil.

3.3.4 Samenstellen en intrekken van de HDPE leiding

Het samenstellen van de leiding gebeurt met hydraulische kranen en gekwalificeerd personeel. De in te trekken HDPE buis zal mogelijk uit verschillende lengten bestaan en zal vooraf door middel van spiegellassen samengesteld worden op een nader te bepalen locatie. Wanneer de gelaste buis de juiste lengte heeft zal deze door een boot naar het uittredepunt worden gesleept.

De spiegellasser en apparatuur zal RTD gekwalificeerd zijn.

Buizen tot de diameter \varnothing 200 kunnen worden geleverd uit één stuk (afhankelijk van de totaallengte van de mantelbuis). Er worden dus geen spiegellassen aangebracht en de buis kan rechtstreek vanaf de haspel worden ingetrokken.

3.4 In te zetten boormaterieel (voorbeeld)



Figuur 2: 100 tons boorinstallatie

(minimaal) In te zetten boorinstallatie m.b.t. tot de uit te voeren boring

De HDD boring, zoals beschreven in dit boorplan, zal worden uitgevoerd met behulp van een maxi rig met een trekkracht van minimaal 60 ton, zie bijlage 3 voor de volledige berekening van de trekkracht. De boring wordt bijvoorbeeld uitgevoerd met behulp van een gyroscoopmeetsysteem.

De op de afbeelding weergegeven boorinstallatie is ter indicatie. De aannemer bepaalt welk boormaterieel er ingezet wordt voor de uitvoering van deze boring. Voorbeelden van technische gegevens van mogelijk boormaterieel, zijn terug te vinden in bijlage 5.

3.5 Boortechnische wijze van uitvoering

3.5.1 Werkterrein

Indien nodig wordt er voordat het boormaterieel wordt aangevoerd een zandbaan en/of rijplatenbaan en werkterrein aangelegd.

Intredelocatie:

De intredelocatie van de boring is gelegen aan de IJsselmeerkant ter hoogte van Breezanddijk, zie Figuur 1. De locatie wordt, indien noodzakelijk, voorzien van een zandbaan en / of platenbaan. De benodigde oppervlakte bedraagt ca 600m².

Op de intredelocatie zal het volgende materieel worden ingezet.

- Boorrig 60 ton (incl. boorstangen en werkplaatscontainer);
- Bentonietpomp 2.500 ltr;
- Mixinstallatie 2.500 ltr;
- Recyclinginstallatie 3.200 ltr incl. voorraadtank
- 4 stuks Wavo pompen;
- Stroomaggregaat;
- Schaftkeet;
- graafmachine.

Plaatsing van apparatuur wordt aangepast aan de plaatselijke omstandigheden. De bovenstaande weergave is een voorbeeld. De booraannemer bepaalt de inzet van het benodigde materieel en materiaal. Hiernaast dient de aannemer zorg te dragen voor de benodigde verkeersvoorzieningen. Op tekening 482 15 2 039-202 is een indicatie van een mogelijke opstelling van het materieel te zien.

De maximale berekende trekkracht is circa 48 ton (47,874). De volledige berekening van de trekkracht is te vinden in bijlage 3. Het is aan booraannemer om zijn boorequipment hierop aan te passen.

Ter plaatse van het intredepunt wordt een put van circa 2 m² gegraven om de uitkomende boorspoeling op te vangen. Ter plaats van het intrede punt wordt ook de boorspoeling aangemaakt. Indien hier geen water voorhanden is wordt er voor het aanmaken van de boorspoeling water aangevoerd. De vrijkomende spoeling wordt gerecycled. Na het maken van beide boringen wordt de voerbodige boorspoeling afgevoerd door zuigwagens naar een geschikte stortplaats.

Uittredelocatie:

Het uittredpunt is gelegen in het IJsselmeer buiten de beschermingszone van de dijk. De mantelbuis wordt op een nader te bepalen locatie samengesteld en naar het uittredpunt gesleept. Tijdens het intrekken wordt de mantelbuis begeleid door een multicat.

3.5.2 Werkwijze Gestuurde Boringen

- Aan- en afvoer via normaal wegtransport, truck met dieplader voor boor rig (het een en ander afhankelijk van het in te zetten materieel).
- Inrichten in- en uittredezijde boring met rijplaten en eventueel bouwhekken;
- Lokaliseren ligging kabels en leidingen;
- Graven intrede- en uittredeput voor boring (ca. 2 m³);
- Mobilisatie boorinstallatie met toebehoren op rig-site;
- Mixen bentonietspoeling;
- Globale samenstelling 30 - 50 kg bentoniet / 1 m³ water;
- Mits dit nodig is, kunnen er eventueel polymeren toegepast worden;
- Water voor spoelingsamenstelling zal in de omgeving worden verkregen (of worden aangevoerd);
- Maken pilotboring;
- Ruimen van het boorgat;
- Intrekken mantelbuizen;
- Leegzuigen van de boorgaten d.m.v. vloeistofdichte zuigwagens;
- Demobilisatie van de boorinstallatie en afvoer van het materieel. Werkwijze omgekeerd identiek als bij aanvoer en opbouw;
- Opruimen en herstellen werkterrein rondom in- en uittredeput inclusief toegangsweg.

3.5.3 Kwaliteitsregistratie

Tijdens de pilotboringen, het ruimen van de boorgaten en het intrekken van de buizen worden een aantal gegevens zoals torque, mudflow, trekkracht door middel van meters op de rig weergegeven. De gegevens worden bijgehouden op een registratieformulier muddrukken. Eventueel vindt registratie van locatie en hoogteligging in RD – coördinaten t.o.v. NAP plaats.

Als er met een walkovermeetsysteem gewerkt wordt, worden de meetgegevens van de survey met de hand bijgehouden, als er met een gyroscoopmeetsysteem geboord wordt gebeurt dit automatisch. Aan de hand van deze gegevens en van de veldmetingen wordt de revisie gemaakt. De revisie zal worden ingetekend op het tracé en detail tekeningen van het omvattende werk welk wordt verzorgd door aannemer. Alle geregistreerde gegevens worden door de booraannemer gearhiveerd. Hiernaast zal er tijdens de aanleg toezicht zijn vanuit de opdrachtgever.

3.6 Bestaande kabels en leidingen

Voor uitvoering wordt door aannemer een KLIC melding gedaan, om de ligging van de bestaande ondergrondse infrastructuur in kaart te brengen. Tevens zal indien nodig met de betreffende leidingbeheerders contact worden opgenomen. Voor aanvang van de boring worden er proefsleuven gemaakt nabij het begin en einde van de boringen. Aan de hand van deze proefsleuven worden vervolgens de in- en uittredeputten gegraven.

In het dwarsprofiel van de boring, zoals weergegeven op tekeningen nrs. 482.15.2.039-102, zijn de bestaande kabels en leidingen weergegeven.

3.7 Overlegstructuur, procesbeheersing, procedures

Voor dit project wordt een V&G – (deel)plan opgesteld welke tijdens uitvoering op het werk aanwezig zal zijn. Het V&G plan wordt 3 maanden voorafgaand aan de uitvoering van de werkzaamheden ingediend.

4 BEREKENINGEN VOOR DE BORINGEN

Voor uitvoering van de boringen kunnen diverse berekeningen uitgevoerd worden met betrekking tot treksterkte van de buizen en de muddrukken. Deze berekeningen zijn uitgevoerd conform NEN 3650 / 3651.

4.1 Uitgangspunten

Materiaal en buis gegevens

Voor de horizontaal gestuurde boring zijn de volgende materiaal en mantelbuizen gehanteerd:

Boring nr. 1 – tekening nr. 482.15.2.039-102

Materiaal	:	HDPE PE 100 SDR-13,6
Aantal buizen	:	1 st
Uitwendige diameter	:	250 mm
Wanddikte	:	18,4 mm
Korte duur Elasticiteitsmodulus	:	975 N/mm ²
Lange duur Elasticiteitsmodulus	:	350 N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	:	16×10 ⁻⁵ (mm/mm) K ¹
Axiale verhouding zuivere trek/buigtrek	:	0,65 -
Tangentiele verhouding zuivere trek/buigtrek	:	0,65 -
Toelaatbare korte duur spanning	:	10,0 N/mm ²
Toelaatbare lange duur spanning	:	8,0 N/mm ²
Lengte boring	:	233,44 m
Diepte boring	:	circa 9,00 m - t.o.v. maaiveld
Intrede hoek boring	:	20 °
Uittredehoek boring	:	15 °
Bochtstraal neergaande bocht	:	150 m
Bochtstraal opgaande bocht	:	150 m
Kromtestraal op de rollenbaan/maaiveld	:	150 m

Boring nr. 8 – tekening nr. 482.15.2.039-102

Materiaal	:	HDPE PE 100 SDR-13,6
Aantal buizen	:	1 st
Uitwendige diameter	:	250 mm
Wanddikte	:	18,4 mm
Korte duur Elasticiteitsmodulus	:	975 N/mm ²
Lange duur Elasticiteitsmodulus	:	350 N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	:	16×10 ⁻⁵ (mm/mm) K ¹
Axiale verhouding zuivere trek/buigtrek	:	0,65 -
Tangentiele verhouding zuivere trek/buigtrek	:	0,65 -
Toelaatbare korte duur spanning	:	10,0 N/mm ²
Toelaatbare lange duur spanning	:	8,0 N/mm ²

Lengte boring	:	233,44	m
Diepte boring	:	circa 9,00 m	- t.o.v. maaiveld
Intrede hoek boring	:	20	°
Uittredehoek boring	:	15	°
Bochtstraal neergaande bocht	:	150	m
Bochtstraal opgaande bocht	:	150	m
Kromtestraal op de rollenbaan/maaiveld	:	150	m

4.1.1 Grondgegevens

Het onderzoek bestaat uit sondering inclusief elektrische kleef en grondgegevens conform NEN 5140. De resultaten van het onderzoek zijn opgenomen in Bijlage 3 van dit rapport en op de boortekening.

De onzekerheidsfactoren voor de grondmechanische parameters zijn in deze parameters nog niet verwerkt, deze worden separaat in de berekening meegenomen, overeenkomstig Tabel B.2 "Partiële onzekerheidsfactoren in verband met modelonzekerheidstabel" van de NEN 3650.

4.1.2 Belastingen

In de sterkteberekening zijn de volgende belastingen meegenomen.

Eigengewicht, excl. inhoud Q_{eg}

Het eigengewicht van de lege buis is in de berekening als gewichtsbelasting opgenomen, met inachtneming van de grondwaterstand.

Grondbelasting Q

De grondbelasting wordt berekend conform de formules zoals opgegeven in de NEN 3650.

Verkeersbelasting Q_v

Voor de buis is de verkeersbelasting overeenkomend, volgens de VOSB, aangehouden.

4.2 Berekeningen

Voor de sterkteberekening van de horizontaal gestuurde boring wordt onderscheid gemaakt in de volgende fases:

§ 4.2.1: De buis op rollenbaan

§ 4.2.2: De buis het boorgat intrekken

§ 4.2.3: De 'bedrijfstoestand' van de buis

In §4.2.4 en 4.2.5 is respectievelijk de berekening van de deflectie en de muddruk opgenomen.

4.2.1 De mantelbuis op rollenbaan

Voor de berekening van de spanningen in de mantelbuis, t.b.v. de windparkbekabeling, op de rollenbaan wordt verwezen naar pagina 5 van de sterkteberekeningen, opgenomen in Bijlage 3.

De omtreksspanning S_x is nihil en wordt bij het intrekken niet in ogenschouw genomen.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-102 boring nr. 1.

De maximaal berekende langsspanning S bedraagt $1,52 \text{ N/mm}^2$, deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de kromtestraal op de rollenbaan en de wrijving tussen de buis en het maaiveld.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-102 boring nr. 8.

De maximaal berekende langsspanning S bedraagt $1,52 \text{ N/mm}^2$, deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de kromtestraal op de rollenbaan en de wrijving tussen de buis en het maaiveld.

4.2.2 De mantelbuis het boorgat intrekken

Voor de berekening van de spanningen in de mantelbuis, t.b.v. de windparkbekabeling, tijdens het intrekken van deze buis in het boorgat wordt verwezen naar pagina 8 van de sterkteberekeningen, opgenomen in Bijlage 3.

De omtreksspanning S_x is nihil en wordt bij het intrekken niet in ogenschouw genomen.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-102 boring nr. 1.

De maximaal berekende langsspanning S_y bedraagt $4,18 \text{ N/mm}^2$, deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de combinatie van de trekkracht voor het intrekken en spanningen t.g.v. de kromtestralen in de boring.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-102 boring nr. 8.

De maximaal berekende langsspanning S_y bedraagt $4,18 \text{ N/mm}^2$, deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de combinatie van de trekkracht voor het intrekken en spanningen t.g.v. de kromtestralen in de boring.

4.2.3 De 'bedrijfstoestand' van de mantelbuis

In de 'bedrijfstoestand' van de mantelbuis, t.b.v. de windparkbekabeling, zijn op vijf maatgevende

doorsneden de spanningen in de buis berekend, zoals weergegeven op de tekening met de letters A t/m E.

Voor de berekeningen van de spanningen in de buis in bedrijfstoestand wordt verwezen naar pagina's 10 & 11 van de sterkteberekeningen, opgenomen in Bijlage 3.

4.2.4 Deflectie berekening

De deflectie van de buis is berekend op de vijf aangegeven doorsneden, zoals weer gegeven op tekening nr. 482.15.2.039-102 opgenomen in Bijlage 3.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-102 boring nr. 1.

De maximaal berekende deflectie van de mantelbuis, t.b.v. de windparkbekabeling, bedraagt 12,36 mm, zie pagina 12 van de sterkteberekening in Bijlage 3.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-102 boring nr. 8.

De maximaal berekende deflectie van de mantelbuis, t.b.v. de windparkbekabeling, bedraagt 14,52 mm, zie pagina 12 van de sterkteberekening in Bijlage 3.

4.2.5 Boorspoel berekening

Op de markante doorsneden A t/m E, zijn de boorspoeldruk berekeningen uitgevoerd. De resultaten zijn opgenomen in genoemd op pagina 13 en 14 van de berekeningen in Bijlage 3.

Tevens is een aanvullende boorspoeldrukberekening bijgevoegd in Bijlage 3.

4.3 Conclusies

Op basis van de tekening, het grondmechanisch onderzoek en de beschreven uitgangspunten in dit rapport zijn de horizontaal gestuurde boringen berekend overeenkomstig de NEN 3650 en NEN 3651.

- ***Boring tekening nr. 482.15.2.039-102 boring nr. 1.***
- De maximaal berekende omtreksspanning ($S_x = 5,43 \text{ N/mm}^2$) en de maximaal berekende langsspanning ($S_y = 0,82 \text{ N/mm}^2$) zijn kleiner dan de toelaatbare spanningen ($St = 8 \text{ N/mm}^2$).
- De maximaal berekende deflectie bedraagt 12,36 mm, deze is kleiner dan de toelaatbare 18,53 mm.

- ***Boring tekening nr. 482.15.2.039-102 boring nr. 8.***
- De maximaal berekende omtreksspanning ($S_x = 6,35 \text{ N/mm}^2$) en de maximaal berekende langsspanning ($S_y = 0,82 \text{ N/mm}^2$) zijn kleiner dan de toelaatbare spanningen ($St = 8 \text{ N/mm}^2$).
- De maximaal berekende deflectie bedraagt 14,52 mm, deze is kleiner dan de toelaatbare 18,53 mm.

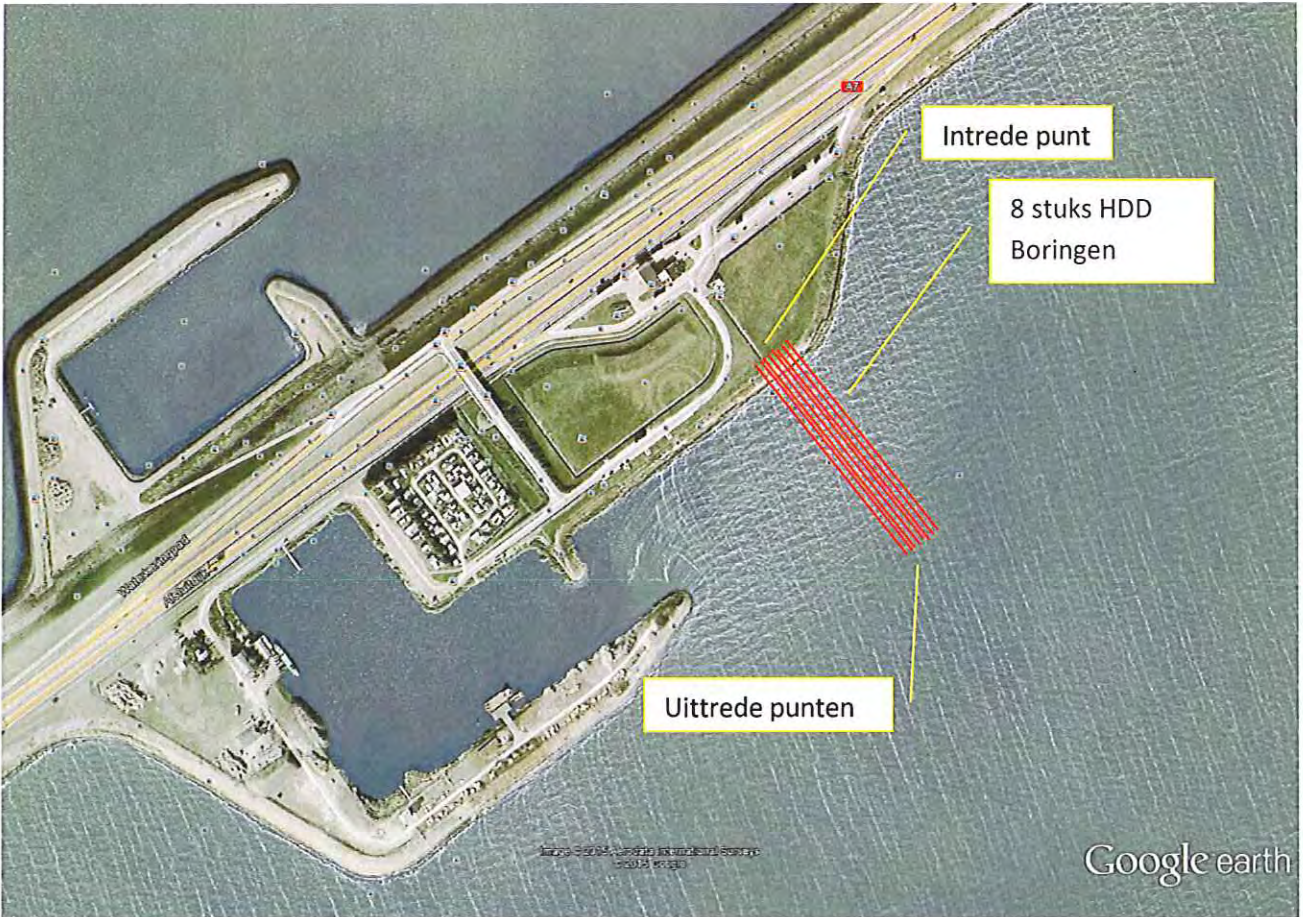
Uit de berekeningen volgt dat het ontwerp voldoet aan de gestelde eisen uit de betreffende normen.

Bijlage 1: Tekening

Bijlage 2: Luchtfoto

Bijlage 1: Tekening

Bijlage 2: Luchtfoto



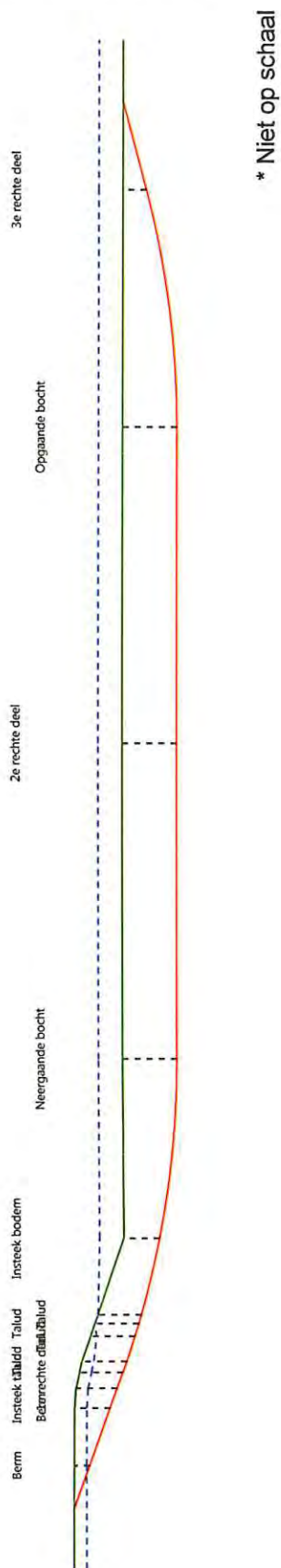
Bijlage 3: Grondonderzoek, sterkte- en muddrukberendingen

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Windpark Fryslan - boringen t.b.v. windparkbekabeling			
Projectonderdeel : HDD boring Breezanddijk - Afsluitdijk - tekening nr. 482.15.2.039-102 Boring 1 - 250 HDPE			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 13,6		
Lange-duur treksterkte	MRS = 10		N/mm ²
Materiaalfactor	$\gamma_M = 1,25$		-
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	$\alpha_g = 16,0 \cdot 10^{-5}$		mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	$\alpha_\sigma = 0,65$		-
Soortelijk gewicht buis	$\rho_L = 9,55$		kN/m ³
Toelaatbare deflectie	$\delta = 8$		%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	$D_e = 250,00$		mm
Wanddikte	$d_n = 18,4$		mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 100	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_m = 11,5$		kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_y = 15$		Pa
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	$D_g = 375$		mm
Diameter boorstang	$D_b = 101$		mm
Totale lengte	L = 233,41		m
Lengte 1e rechte deel	$L_1 = 23,62$		m
Lengte neergaande bocht	$L_2 = 52,36$		m
Lengte 2e rechte deel	$L_3 = 103,13$		m
Lengte opgaande bocht	$L_4 = 39,27$		m
Lengte 3e rechte deel	$L_5 = 15,03$		m
Straal maaiveld/rollenbaan	$R_r = 150,00$		m
Straal neergaande bocht	$R_1 = 150,00$		m
Straal opgaande bocht	$R_2 = 150,00$		m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	$\alpha_1 = 20,00 / 36,4$		° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	$\alpha_2 = 15,00 / 26,79$		° / %
Belastinghoek	$\alpha = 180$		°
Ondersteuningshoek	$\beta = 120$		°
Horizontale steundrukhoek	$\gamma = 120$		°
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	$\gamma = 1,1$		
Totaalfactor bij normale boring	f = 1,4		
Belastingfactor	$f_{k,b} = 1,1$		
Belastingfactor	$f_{k,o} = 1,4$		
Wrijvingscoëff. zonder rollenbaan	$f_1 = 0,3$		
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	$f_2 = 0,00005$		N/mm ²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	$f_3 = 0,2$		
		26-08-2015 10:51:45	

Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting

Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m ³]	Wrijvings- hoek grond [°]
Berm	7,37	2,48	2,00	Zand	17,00	19,00	30,00
Berm	17,43	5,85	2,00	Zand	17,00	19,00	30,00
Insteek talud	20,82	6,82	2,00	Zand	19,00	21,00	32,50
1e rechte deel	23,62	7,20	2,00	Zand	19,00	21,00	32,50
Talud	25,42	7,44	2,00	Zand	19,00	21,00	32,50
Talud	29,49	7,35	1,00	Zand	19,00	21,00	32,50
Talud	31,61	7,30	0,00	Zand	19,00	21,00	32,50
Talud	33,06	7,18	0,00	Zand	19,00	21,00	32,50
Insteek bodem	45,64	5,94	-4,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Neergaande bocht	75,98	9,00	-4,00	Klei	17,00	17,00	17,50
2e rechte deel	127,545	9,00	-4,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Opgaande bocht	179,11	9,00	-4,00	Klei	17,00	17,00	17,50
3e rechte deel	218,38	3,89	-4,00	Klei	17,00	17,00	17,50

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingsconstante [N/mm ³]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
Berm	Geen	-	0,00	15,00	Grafiek I
Berm	Geen	-	0,00	15,00	Grafiek I
Insteek talud	Geen	-	0,00	35,00	Grafiek I
1e rechte deel	Geen	-	0,00	35,00	Grafiek ½ x II
Talud	Geen	0,0660	0,00	35,00	Grafiek ½ x II
Talud	Geen	0,0660	0,00	35,00	Grafiek ½ x II
Talud	Geen	0,0660	0,00	35,00	Geen
Talud	Geen	0,0660	0,00	35,00	Geen
Insteek bodem	Geen	0,0130	2,00	2,00	Geen
Neergaande bocht	Geen	0,0130	2,00	2,00	Geen
2e rechte deel	Geen	-	2,00	2,00	Geen
Opgaande bocht	Geen	0,0130	2,00	2,00	Geen
3e rechte deel	Geen	-	2,00	2,00	Geen



* Niet op schaal

2. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 213,20	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 231,60	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	$r_i = D_i / 2$	= 106,60	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 115,80	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 90.328.744,19	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 722.629,95	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 519,13	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 56,43	mm ³ /mm ¹
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 13.387,71	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,1279	N/mm ¹

3. Berekening van het gewicht van de leiding tijdens het intrekken van de leiding

	<i>Leiding op rollenbaan/maaiveld</i>	<i>Leiding in boorgat</i>
Gewicht mediumleiding	$g = 0,1279 \text{ N/mm}^1$	$g = 0,1279 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,1279 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,1279 \text{ N/mm}^1$

4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds

4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld

Trekkracht T_1 tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_1 [N]
Starten met trekken	233,41	12.534
Na 1 ^e deel intrekken	218,38	11.727
Na 2 ^e deel intrekken	179,11	9.618
Na 3 ^e deel intrekken	75,98	4.080
Na 4 ^e deel intrekken	23,62	1.268

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,4 \cdot L \cdot 0,1279 \cdot 0,3$$

4.2 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_1 [N]	σ_t [N/mm ²]
Starten met trekken	12.534	0,94
Na 1 ^e deel intrekken	11.727	0,88
Na 2 ^e deel intrekken	9.618	0,72
Na 3 ^e deel intrekken	4.080	0,30
Na 4 ^e deel intrekken	1.268	0,09

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{13.387,71}$$

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{90.328.744}{150.000} = 645.850,52 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{645.850,52}{722.630} = \mathbf{0,89 \text{ N/mm}^2}$$

4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	σ_t [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	0,94	1,52
Na 1 ^e deel intrekken	0,88	1,46
Na 2 ^e deel intrekken	0,72	1,30
Na 3 ^e deel intrekken	0,30	0,89
Na 4 ^e deel intrekken	0,09	0,68

$$\sigma_a = \alpha_\sigma \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 0,89 + \sigma_t$$

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

5. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat

5.1 Berekening van de vereiste trekkracht T_2 en T_{3a} in verband met wrijving tussen leiding en boorvloeistof/boorgangwand

Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof. 100% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet. Hieruit volgt: $D_{e,omtrek} = 785,40 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,128 \text{ N/mm}^1$

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

Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,437 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
1 ^e deel intrekken	15,03	2.664	-
2 ^e deel intrekken	54,30	-	9.624
3 ^e deel intrekken	157,43	27.903	-
4 ^e deel intrekken	209,79	-	37.183
Geheel ingetrokken	233,41	41.370	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,4 \cdot L \cdot (785,40 \cdot 0,00005 + 0,437 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,4 \cdot L \cdot (785,40 \cdot 0,00005 + 0,437 \cdot 0,2)$

5.3 Berekening van de vereiste trekkracht T_{3b} in verband met wrijving door grondreactie in de bochten

Locatie	λ [mm ⁻¹]	R [m]	Q_r [N/mm ²]	T_{3b} [N]
Talud	0,0026	150	0,0058	967
Talud	0,0026	150	0,0058	967
Talud	0,0026	150	0,0058	967
Talud	0,0026	150	0,0058	967
Insteek bodem	0,0017	150	0,0026	644
Neergaande bocht	0,0017	150	0,0026	644
Opgaande bocht	0,0017	150	0,0026	644

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

$$Q_r = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot 0,9 \cdot R}$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,4 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 250 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

5.4 Berekening van de wrijving door bochtkracht T_{3c}

Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	T_{bocht} [N]
Neergaande bocht	9.618	9.624	967	-	20.209
Opgaande bocht	1.268	37.183	967	644	40.063

Neergaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max}$

Opgaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max} + T_{3a,op} + T_{3b,op,max}$

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N]
Neergaande bocht	10,00	20.209	1.965
Opgaande bocht	7,50	40.063	3.896

$$T_{3c} = f \cdot L_B \cdot g_t \cdot f_3$$

$$L_B = 2 \cdot R \cdot 2\pi \cdot \frac{\alpha}{360}$$

$$g_t = \frac{2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha)}{L_B}$$

$$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,4 \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$

5.5 Totalisatie van de trekkrachten in fase II

Trekkraft T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 / T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3c,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{3c,op}$ [N]	T_{tot} [N]
1 ^e deel intrekken	11.727	2.664	-	-	-	-	14.391
2 ^e deel intrekken	9.618	9.624	967	1.965	-	-	22.174
3 ^e deel intrekken	4.080	27.903	967	1.965	-	-	34.915
4 ^e deel intrekken	1.268	37.183	967	1.965	644	3.896	44.956
Geheel intrekken	0	41.370	967	1.965	644	3.896	47.874

$$T_{\text{tot}} = T_1 + T_2 + T_{3a} + T_{3b,neer,max} + T_{3c,neer} + T_{3b,op,max} + T_{3c,op}$$

5.6 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten in fase II

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]
1 ^e deel intrekken	14.391	1,07
2 ^e deel intrekken	22.174	1,66
3 ^e deel intrekken	34.915	2,61
4 ^e deel intrekken	44.956	3,36
Geheel intrekken	47.874	3,58

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{13.387,71}$$

5.7 Optredende spanningen t.g.v. kromming van de leiding in het boorgat

5.7.1 Neergaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{l_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{90.328.744,19}{0,9 \cdot 150.000} = 913.323,97 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{913.323,97}{722.629,95} = 1,26 \text{ N/mm}^2$$

5.7.2 Opgaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{l_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{90.328.744,19}{0,9 \cdot 150.000} = 913.323,97 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{913.323,97}{722.629,95} = 1,26 \text{ N/mm}^2$$

5.8 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	14.391	1,07	-	1,07
Na 1 ^e deel intrekken	22.174	1,66	1,26	2,48
Na 2 ^e deel intrekken	34.915	2,61	-	2,61
Na 3 ^e deel intrekken	44.956	3,36	1,26	4,18
Na 4 ^e deel intrekken	47.874	3,58	-	3,58

Rechte delen: $\sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{13.387,71} = \sigma_t$

Gebogen delen: $\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot \sigma_b + \sigma_t$

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

6. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase
6.1 Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pl} t.g.v. inwendige druk

Leiding is drukloos:

$$\sigma_p = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

6.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

Leiding is drukloos:

$$f_{rr} = 1,00$$

6.3 Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	q_{droog} [kN/m ²]	q_{nat} [kN/m ²]	q_{totaal} [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]
Berm	2,48	2,00	Zand	37,40	10,03	47,43	10,66
Berm	5,85	2,00	Zand	37,40	80,47	117,87	19,84
Insteek talud	6,82	2,00	Zand	41,80	111,34	153,14	26,24
1e rechte deel	7,20	2,00	Zand	41,80	120,12	161,92	27,48
Talud	7,44	2,00	Zand	41,80	125,66	167,46	28,27
Talud	7,35	1,00	Zand	20,90	146,69	167,59	26,02
Talud	7,30	0,00	Zand	0,00	168,63	168,63	23,91
Talud	7,18	0,00	Zand	0,00	165,86	165,86	23,51
Insteek bodem	5,94	-4,00	Klei	0,00	111,08	111,08	12,92
Neergaande bocht	9,00	-4,00	Klei	0,00	168,30	168,30	19,58
2e rechte deel	9,00	-4,00	Klei	0,00	168,30	168,30	19,58
Opgaande bocht	9,00	-4,00	Klei	0,00	168,30	168,30	19,58
3e rechte deel	3,89	-4,00	Klei	0,00	72,74	72,74	8,46

$$Q_n = (\gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o$$

6.4 Berekening van de verkeersbelasting Q_v

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeers- belasting	q_v [kN/m ²]	Q_v [N/mm ¹]
Berm	2,48	Grafiek I	20,37	5,09
Berm	5,85	Grafiek I	8,57	2,14
Insteek talud	6,82	Grafiek I	7,14	1,79
1e rechte deel	7,20	Grafiek 1/2 x II	1,28	0,32
Talud	7,44	Grafiek 1/2 x II	1,23	0,31
Talud	7,35	Grafiek 1/2 x II	1,25	0,31
Talud	7,30	Geen	0,00	0,00
Talud	7,18	Geen	0,00	0,00
Insteek bodem	5,94	Geen	0,00	0,00
Neergaande bocht	9,00	Geen	0,00	0,00
2e rechte deel	9,00	Geen	0,00	0,00
Opgaande bocht	9,00	Geen	0,00	0,00
3e rechte deel	3,89	Geen	0,00	0,00

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 250$$

6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_{boven} [N/mm ¹]	M_q [Nmm]	σ_q [N/mm ¹]
Berm	10,66	5,09	15,75	251,71	4,46
Berm	19,84	2,14	21,98	351,32	6,23
Insteek talud	26,24	1,79	28,02	447,79	7,94
1e rechte deel	27,48	0,32	27,80	444,27	7,87
Talud	28,27	0,31	28,57	456,62	8,09
Talud	26,02	0,31	26,33	420,83	7,46
Talud	23,91	0,00	23,91	382,05	6,77
Talud	23,51	0,00	23,51	375,77	6,66
Insteek bodem	12,92	0,00	12,92	206,46	3,66
Neergaande bocht	19,58	0,00	19,58	312,82	5,54
2e rechte deel	19,58	0,00	19,58	312,82	5,54
Opgaande bocht	19,58	0,00	19,58	312,82	5,54
3e rechte deel	8,46	0,00	8,46	135,21	2,40

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,138 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 115,80$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{56,43}$$

 6.6 Optredende spanning σ_{qr} tgv. grondreactie in de bochten

Locatie	R [m]	Q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
Talud	150	0,0058	0,26
Talud	150	0,0058	0,26
Talud	150	0,0058	0,26
Talud	150	0,0058	0,26
Insteek bodem	150	0,0026	0,12
Neergaande bocht	150	0,0026	0,12
Opgaande bocht	150	0,0026	0,12

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,083 \cdot Q_r \cdot 250 \cdot \frac{125,00}{56,43}$$

 6.7 Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil

Leiding is drukloos

$$\sigma_{ax} = 0 \text{ N/mm}^2$$

 7. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

$$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$$

$$S_N = 975 \cdot \frac{519,13}{231,6^3} = 0,04 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{40,74 \text{ kN/m}^2}$$

 Minimaal vereiste ringstijfheid = **0,5 kN/m²**

8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$

Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$

$$p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$$

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 519,13}{231,60^3} = 0,78 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 519,13}{231,60^3} = 0,14 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **13,93** m grondwater boven de leiding

9. Berekening van het totaal aan optredende spanningen

9.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

Locatie	σ_q [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_{y2} [N/mm ²]
Berm	4,46	-	0,65	2,90
Berm	6,23	-	0,65	4,05
Insteek talud	7,94	-	0,65	5,16
1e rechte deel	7,87	-	0,65	5,12
Talud	8,09	0,26	0,65	5,43
Talud	7,46	0,26	0,65	5,02
Talud	6,77	0,26	0,65	4,57
Talud	6,66	0,26	0,65	4,50
Insteek bodem	3,66	0,12	0,65	2,45
Neergaande bocht	5,54	0,12	0,65	3,68
2e rechte deel	5,54	-	0,65	3,60
Opgaande bocht	5,54	0,12	0,65	3,68
3e rechte deel	2,40	-	0,65	1,56

Rechte delen: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$

Bochten: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$

Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$

9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

Locatie	σ_{ax} [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	α_{σ} [-]	σ_x [N/mm ²]
Berm	0,00	-	-	0,00
Berm	0,00	-	-	0,00
Insteek talud	0,00	-	-	0,00
1e rechte deel	0,00	-	-	0,00
Talud	0,00	1,26	0,65	0,82
Talud	0,00	1,26	0,65	0,82
Talud	0,00	1,26	0,65	0,82
Talud	0,00	1,26	0,65	0,82
Insteek bodem	0,00	1,26	0,65	0,82
Neergaande bocht	0,00	1,26	0,65	0,82
2e rechte deel	0,00	-	-	0,00
Opgaande bocht	0,00	1,26	0,65	0,82
3e rechte deel	0,00	-	-	0,00

 Rechte delen: $\sigma_x = \sigma_{ax}$

 Bochten: $\sigma_x = \sigma_{ax} + \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b$

 Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = 8,00$ N/mm²
10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_r [N/mm ²]	δ_Y [mm]	δ_Y/D_g [%]
Berm	10,66	5,09	-	6,39	2,76
Berm	19,84	2,14	-	8,92	3,85
Insteek talud	26,24	1,79	-	12,12	5,23
1e rechte deel	27,48	0,32	-	12,02	5,19
Talud	28,27	0,31	0,0058	12,36	5,34
Talud	26,02	0,31	0,0058	11,39	4,92
Talud	23,91	0,00	0,0058	10,34	4,46
Talud	23,51	0,00	0,0058	10,17	4,39
Insteek bodem	12,92	0,00	0,0026	3,42	1,48
Neergaande bocht	19,58	0,00	0,0026	5,18	2,24
2e rechte deel	19,58	0,00	-	5,18	2,24
Opgaande bocht	19,58	0,00	0,0026	5,18	2,24
3e rechte deel	8,46	0,00	-	2,24	0,97

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 115,80^3}{350 \cdot 519,13}$$

Toelaatbare deflectie = 8% · D_g = 0,08 · 231,60 = **18,53** mm

11. Berekening van de boorspoeldrukken tijdens de trekfase

Locatie	H [m]	σ_{vert} [kN/m ²]	σ_{hor} [kN/m ²]	σ_o' [kN/m ²]	p'_f [kN/m ²]	G [MN/m ²]
Berm	2,48	34,40	17,20	25,80	38,70	5,77
Berm	5,85	58,91	29,45	44,18	66,27	5,77
Insteek talud	6,82	78,36	36,26	57,31	88,10	13,46
1e rechte deel	7,20	81,82	37,86	59,84	91,99	13,46
Talud	7,44	84,00	38,87	61,43	94,44	13,46
Talud	7,35	75,00	34,70	54,85	84,32	13,46
Talud	7,30	66,36	30,71	48,54	74,61	13,46
Talud	7,18	65,27	30,20	47,74	73,39	13,46
Insteek bodem	5,94	32,40	22,66	27,53	37,71	0,71
Neergaande bocht	9,00	49,09	34,33	41,71	56,16	0,71
2e rechte deel	9,00	49,09	34,33	41,71	56,16	0,71
Opgaande bocht	9,00	49,09	34,33	41,71	56,16	0,71
3e rechte deel	3,89	21,22	14,84	18,03	25,36	0,71

$$\sigma_{vert} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

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

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

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

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

Locatie	Q [-]	$R_{p,max}$ [m]	u [N/mm ²]	p_{st} [N/mm ²]	Δ_p [N/mm ²]	p_{lim} [N/mm ²]
Berm	0,0022	1,24	0,0048	0,005415	0,00	0,30
Berm	0,0038	0,96	0,0385	0,04343	0,00	0,46
Insteek talud	0,0023	1,24	0,0482	0,05438	0,00	0,79
1e rechte deel	0,0024	1,21	0,0520	0,05866	0,01	0,81
Talud	0,0025	1,20	0,0544	0,06137	0,01	0,83
Talud	0,0022	1,27	0,0635	0,07164	0,01	0,78
Talud	0,0019	1,35	0,0730	0,08235	0,01	0,74
Talud	0,0019	1,36	0,0718	0,08100	0,01	0,73
Insteek bodem	0,014	2,97	0,0994	0,1121	0,01	0,21
Neergaande bocht	0,020	4,50	0,1300	0,1467	0,02	0,28
2e rechte deel	0,020	4,50	0,1300	0,1467	0,03	0,28
Opgaande bocht	0,020	4,50	0,1300	0,1467	0,04	0,28
3e rechte deel	0,010	1,95	0,0789	0,08901	0,05	0,16

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

$$R_{p,max} = \frac{H}{2}; R_{p,max,zand} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot \varepsilon_{g,max}} \text{ of } \frac{H}{2}$$

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$p_{st} = \rho_m \cdot g \cdot h_z$$

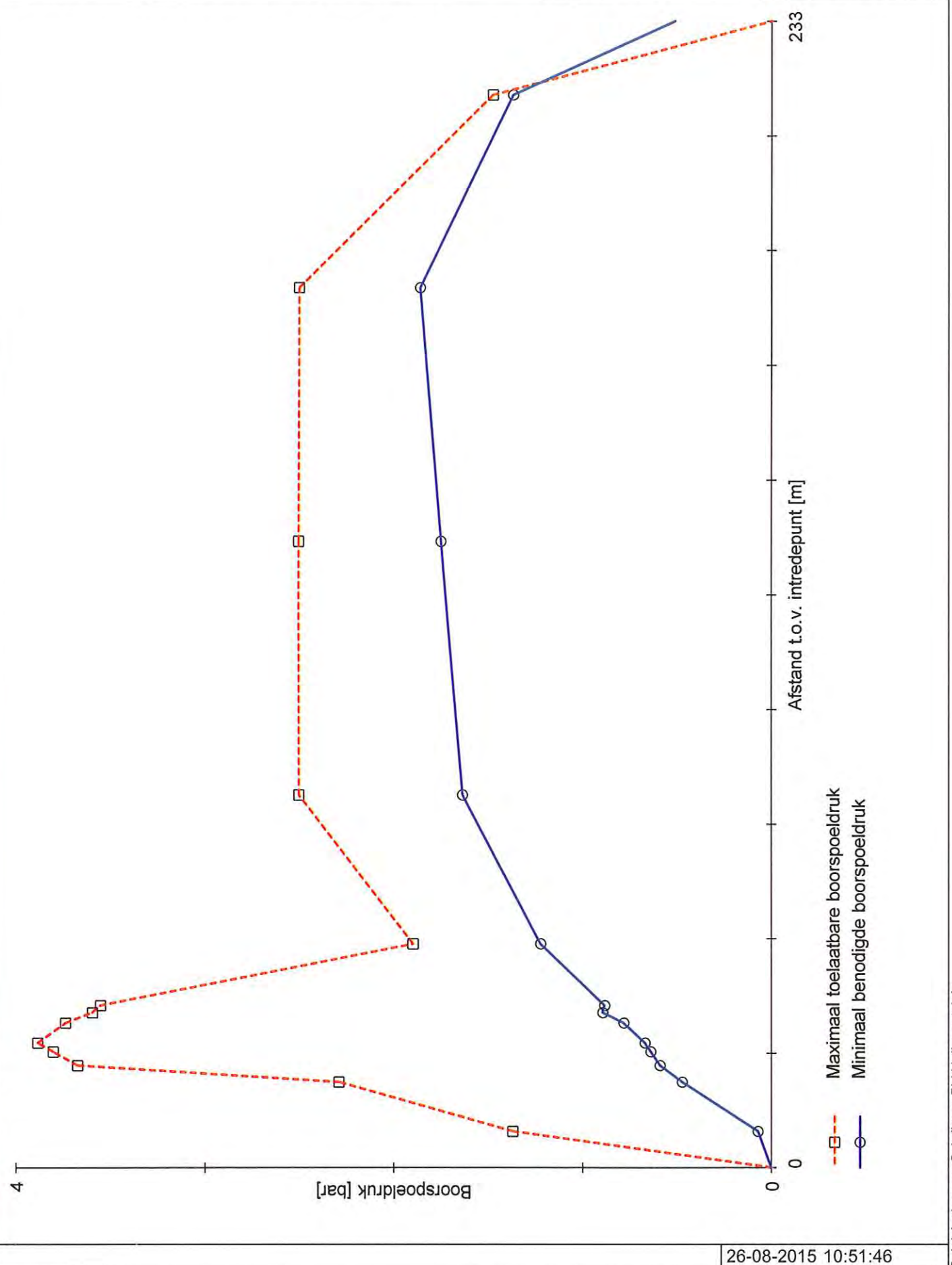
$$\Delta_p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$$

$$p_{lim} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q \cdot \frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

Locatie	p_{max} [N/mm ²]	90% p_{lim} [N/mm ²]	p_{min} [N/mm ²]	p_{max} [bar]	90% p_{lim} [bar]	p_{min} [bar]
Berm	0,14	0,27	0,01	1,37	2,71	0,07
Berm	0,23	0,42	0,05	2,29	4,16	0,47
Insteek talud	0,37	0,71	0,06	3,67	7,07	0,59
1e rechte deel	0,38	0,73	0,06	3,80	7,30	0,64
Talud	0,39	0,74	0,07	3,88	7,44	0,67
Talud	0,37	0,70	0,08	3,74	7,02	0,78
Talud	0,36	0,66	0,09	3,59	6,62	0,89
Talud	0,36	0,65	0,09	3,55	6,54	0,88
Insteek bodem	0,20	0,19	0,12	2,04	1,90	1,22
Neergaande bocht	0,27	0,25	0,16	2,75	2,50	1,63
2e rechte deel	0,27	0,25	0,17	2,75	2,50	1,75
Opgaande bocht	0,27	0,25	0,19	2,75	2,50	1,86
3e rechte deel	0,15	0,15	0,14	1,51	1,48	1,37

$$p_{max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{R_o^2}{R_{p,max}} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

$$p_{min} = p_{st} + \Delta p$$

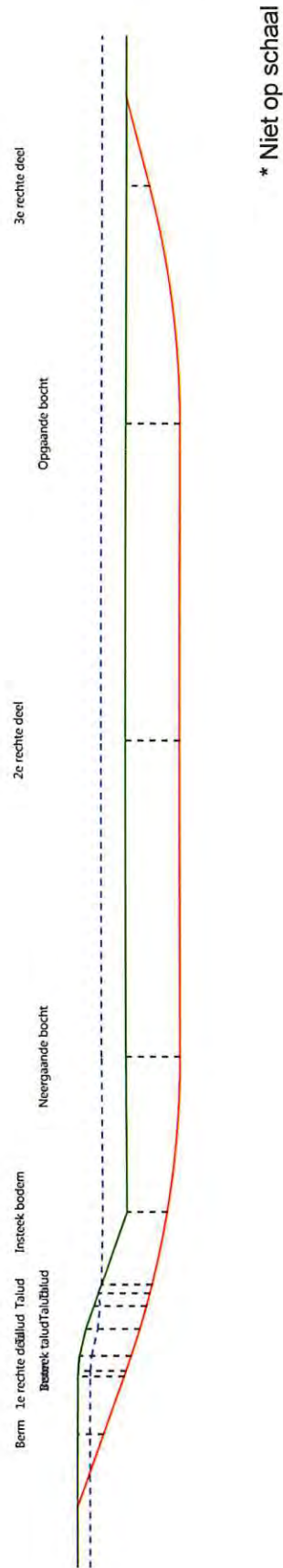


Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Windpark Fryslan - boringen t.b.v. windparkbekabeling			
Projectonderdeel : HDD boring Breezanddijk - Afsluitdijk - tekening nr. 482.15.2.039-102 Boring 8 - 250 HDPE			
Materiaalgegevens			
Materiaal soort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 13,6		
Lange-duur treksterkte	MRS = 10		N/mm ²
Materiaalfactor	$\gamma_M = 1,25$		-
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	$\alpha_g = 16,0 \cdot 10^{-5}$		mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	$\alpha_\sigma = 0,65$		-
Soortelijk gewicht buis	$\rho_L = 9,55$		kN/m ³
Toelaatbare deflectie	$\delta = 8$		%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	$D_e = 250,00$		mm
Wanddikte	$d_n = 18,4$		mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)	= Drukloos		
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uitreidehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 100	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_m = 11,5$		kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_y = 15$		Pa
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	$D_g = 375$		mm
Diameter boorstang	$D_b = 101$		mm
Totale lengte	L = 233,45		m
Lengte 1e rechte deel	$L_1 = 23,70$		m
Lengte neergaande bocht	$L_2 = 52,36$		m
Lengte 2e rechte deel	$L_3 = 103,09$		m
Lengte opgaande bocht	$L_4 = 39,27$		m
Lengte 3e rechte deel	$L_5 = 15,03$		m
Straal maaiveld/rollenbaan	$R_r = 150,00$		m
Straal neergaande bocht	$R_1 = 150,00$		m
Straal opgaande bocht	$R_2 = 150,00$		m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	$\alpha_1 = 20,00 / 36,4$		° / %
Uitrede-hoek (bij rollenbaan)	$\alpha_2 = 15,00 / 26,79$		° / %
Belastinghoek	$\alpha = 180$		°
Ondersteuningshoek	$\beta = 120$		°
Horizontale steundrukhoek	$\gamma = 120$		°
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	$\gamma = 1,1$		
Totaalfactor bij normale boring	f = 1,4		
Belastingfactor	$f_{k,b} = 1,1$		
Belastingfactor	$f_{k,o} = 1,4$		
Wrijvingscoëff. zonder rollenbaan	$f_1 = 0,3$		
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	$f_2 = 0,00005$		N/mm ²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	$f_3 = 0,2$		
			26-08-2015 11:00:27

Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting

Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m ³]	Wrijvings- hoek grond [°]
Berm	12,59	4,24	2,00	Zand	17,00	19,00	30,00
Berm	22,65	7,61	2,00	Zand	17,00	19,00	30,00
1e rechte deel	23,62	7,91	2,00	Zand	19,00	21,00	32,50
Insteek talud	26,02	8,56	2,00	Zand	19,00	21,00	32,50
Talud	30,41	8,99	2,00	Zand	19,00	21,00	32,50
Talud	34,28	8,72	1,00	Zand	19,00	21,00	32,50
Talud	36,29	8,58	0,00	Zand	19,00	21,00	32,50
Talud	37,68	8,40	0,00	Zand	19,00	21,00	32,50
Insteek bodem	49,74	6,70	-4,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Neergaande bocht	75,98	9,00	-4,00	Klei	17,00	17,00	17,50
2e rechte deel	127,545	9,00	-4,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Opgaande bocht	179,11	9,00	-4,00	Klei	17,00	17,00	17,50
3e rechte deel	218,38	3,89	-4,00	Klei	17,00	17,00	17,50

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingsconstante [N/mm ²]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
Berm	Geen	-	0,00	15,00	Grafiek I
Berm	Geen	-	0,00	15,00	Grafiek I
1e rechte deel	Geen	-	0,00	35,00	Grafiek ½ x II
Insteek talud	Geen	0,0620	0,00	35,00	Grafiek I
Talud	Geen	0,0660	0,00	35,00	Grafiek ½ x II
Talud	Geen	0,0660	0,00	35,00	Grafiek ½ x II
Talud	Geen	0,0660	0,00	35,00	Geen
Talud	Geen	0,0660	0,00	35,00	Geen
Insteek bodem	Geen	0,0130	2,00	2,00	Geen
Neergaande bocht	Geen	0,0130	2,00	2,00	Geen
2e rechte deel	Geen	-	2,00	2,00	Geen
Opgaande bocht	Geen	-	2,00	2,00	Geen
3e rechte deel	Geen	0,0130	2,00	2,00	Geen



* Niet op schaal

2. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 213,20	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 231,60	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	$r_i = D_i / 2$	= 106,60	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 115,80	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 90.328.744,19	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 722.629,95	mm ³
Wandraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 519,13	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 56,43	mm ³ /mm ¹
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 13.387,71	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,1279	N/mm ¹

3. Berekening van het gewicht van de leiding tijdens het intrekken van de leiding

	<i>Leiding op rollenbaan/maaveld</i>		<i>Leiding in boorgat</i>	
Gewicht mediumleiding	g	= 0,1279 N/mm ¹	g	= 0,1279 N/mm ¹
Gewicht vulling	g_{vul}	= N.v.t. +	g_{vul}	= N.v.t. +
Totaal gewicht	g_{rol}	= 0,1279 N/mm ¹	g_{gat}	= 0,1279 N/mm ¹

4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds

4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaveld

Trekkracht T_1 tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_1 [N]
Starten met trekken	233,45	12.536
Na 1 ^e deel intrekken	218,42	11.729
Na 2 ^e deel intrekken	179,15	9.620
Na 3 ^e deel intrekken	76,06	4.084
Na 4 ^e deel intrekken	23,70	1.273

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,4 \cdot L \cdot 0,1279 \cdot 0,3$$

4.2 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten op rollenbaan/maaveld

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_1 [N]	σ_t [N/mm ²]
Starten met trekken	12.536	0,94
Na 1 ^e deel intrekken	11.729	0,88
Na 2 ^e deel intrekken	9.620	0,72
Na 3 ^e deel intrekken	4.084	0,31
Na 4 ^e deel intrekken	1.273	0,10

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{13.387,71}$$

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{90.328.744}{150.000} = 645.850,52 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{645.850,52}{722.630} = \mathbf{0,89 \text{ N/mm}^2}$$

4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	σ_t [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	0,94	1,52
Na 1 ^e deel intrekken	0,88	1,46
Na 2 ^e deel intrekken	0,72	1,30
Na 3 ^e deel intrekken	0,31	0,89
Na 4 ^e deel intrekken	0,10	0,68

$$\sigma_a = \alpha_\sigma \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 0,89 + \sigma_t$$

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

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

Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof. 100% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet. Hieruit volgt: $D_{e,omtrek} = 785,40 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,128 \text{ N/mm}^1$

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

Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,437 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
1 ^e deel intrekken	15,03	2.664	-
2 ^e deel intrekken	54,30	-	9.624
3 ^e deel intrekken	157,39	27.896	-
4 ^e deel intrekken	209,75	-	37.176
Geheel ingetrokken	233,45	41.377	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,4 \cdot L \cdot (785,40 \cdot 0,00005 + 0,437 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,4 \cdot L \cdot (785,40 \cdot 0,00005 + 0,437 \cdot 0,2)$

5.3 Berekening van de vereiste trekkracht T_{3b} in verband met wrijving door grondreactie in de bochten

Locatie	λ [mm ⁻¹]	R [m]	Q_r [N/mm ²]	T_{3b} [N]
Insteek talud	0,0026	150	0,0056	952
Talud	0,0026	150	0,0058	967
Talud	0,0026	150	0,0058	967
Talud	0,0026	150	0,0058	967
Talud	0,0026	150	0,0058	967
Insteek bodem	0,0017	150	0,0026	644
Neergaande bocht	0,0017	150	0,0026	644
3e rechte deel	0,0017	150	0,0026	644

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

$$Q_r = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot 0,9 \cdot R}$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,4 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 250 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

5.4 Berekening van de wrijving door bochtcracht T_{3c}

Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	T_{bocht} [N]
Neergaande bocht	9.620	9.624	967	-	20.211
Opgaande bocht	1.273	37.176	967	644	40.060

 Neergaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max}$

 Opgaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max} + T_{3a,op} + T_{3b,op,max}$

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N]
Neergaande bocht	10,00	20.211	1.965
Opgaande bocht	7,50	40.060	3.896

$$T_{3c} = f \cdot L_B \cdot g_t \cdot f_3$$

$$L_B = 2 \cdot R \cdot 2\pi \cdot \frac{\alpha}{360}$$

$$g_t = \frac{2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha)}{L_B}$$

$$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,4 \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$

5.5 Totalisatie van de trekkrachten in fase II

Trekkraft T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 / T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3c,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{3c,op}$ [N]	T_{tot} [N]
1 ^e deel intrekken	11.729	2.664	-	-	-	-	14.393
2 ^e deel intrekken	9.620	9.624	967	1.965	-	-	22.176
3 ^e deel intrekken	4.084	27.896	967	1.965	-	-	34.912
4 ^e deel intrekken	1.273	37.176	967	1.965	644	3.896	44.953
Geheel intrekken	0	41.377	967	1.965	644	3.896	47.881

$$T_{\text{tot}} = T_1 + T_2 + T_{3a} + T_{3b,neer,max} + T_{3c,neer} + T_{3b,op,max} + T_{3c,op}$$

5.6 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten in fase II

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]
1 ^e deel intrekken	14.393	1,08
2 ^e deel intrekken	22.176	1,66
3 ^e deel intrekken	34.912	2,61
4 ^e deel intrekken	44.953	3,36
Geheel intrekken	47.881	3,58

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{13.387,71}$$

5.7 Optredende spanningen t.g.v. kromming van de leiding in het boorgat

5.7.1 Neergaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{90.328.744,19}{0,9 \cdot 150.000} = 913.323,97 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{913.323,97}{722.629,95} = 1,26 \text{ N/mm}^2$$

5.7.2 Opgaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{90.328.744,19}{0,9 \cdot 150.000} = 913.323,97 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{913.323,97}{722.629,95} = 1,26 \text{ N/mm}^2$$

5.8 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	14.393	1,08	-	1,08
Na 1 ^e deel intrekken	22.176	1,66	1,26	2,48
Na 2 ^e deel intrekken	34.912	2,61	-	2,61
Na 3 ^e deel intrekken	44.953	3,36	1,26	4,18
Na 4 ^e deel intrekken	47.881	3,58	-	3,58

Rechte delen: $\sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{13.387,71} = \sigma_t$

Gebogen delen: $\sigma_a = \alpha_\sigma \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot \sigma_b + \sigma_t$

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

6. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase
6.1 Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pi} t.g.v. inwendige druk

Leiding is drukloos:

$$\sigma_p = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

6.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

Leiding is drukloos:

$$f_{rr} = 1,00$$

6.3 Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	q_{droog} [kN/m ²]	q_{nat} [kN/m ²]	q_{totaal} [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]
Berm	4,24	2,00	Zand	37,40	46,82	84,22	15,45
Berm	7,61	2,00	Zand	37,40	117,25	154,65	24,64
1e rechte deel	7,91	2,00	Zand	41,80	136,52	178,32	29,81
Insteek talud	8,56	2,00	Zand	41,80	151,54	193,34	31,93
Talud	8,99	2,00	Zand	41,80	161,47	203,27	33,34
Talud	8,72	1,00	Zand	20,90	178,33	199,23	30,51
Talud	8,58	0,00	Zand	0,00	198,20	198,20	28,10
Talud	8,40	0,00	Zand	0,00	194,04	194,04	27,51
Insteek bodem	6,70	-4,00	Klei	0,00	125,29	125,29	14,57
Neergaande bocht	9,00	-4,00	Klei	0,00	168,30	168,30	19,58
2e rechte deel	9,00	-4,00	Klei	0,00	168,30	168,30	19,58
Opgaande bocht	9,00	-4,00	Klei	0,00	168,30	168,30	19,58
3e rechte deel	3,89	-4,00	Klei	0,00	72,74	72,74	8,46

$$Q_n = (\gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o$$

6.4 Berekening van de verkeersbelasting Q_v

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeers- belasting	q_v [kN/m ²]	Q_v [N/mm ¹]
Berm	4,24	Grafiek I	12,10	3,02
Berm	7,61	Grafiek I	6,21	1,55
1e rechte deel	7,91	Grafiek ½ x II	1,14	0,28
Insteek talud	8,56	Grafiek I	5,30	1,33
Talud	8,99	Grafiek ½ x II	0,97	0,24
Talud	8,72	Grafiek ½ x II	1,01	0,25
Talud	8,58	Geen	0,00	0,00
Talud	8,40	Geen	0,00	0,00
Insteek bodem	6,70	Geen	0,00	0,00
Neergaande bocht	9,00	Geen	0,00	0,00
2e rechte deel	9,00	Geen	0,00	0,00
Opgaande bocht	9,00	Geen	0,00	0,00
3e rechte deel	3,89	Geen	0,00	0,00

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 250$$

6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_{boven} [N/mm ¹]	M_q [Nmm]	σ_q [N/mm ¹]
Berm	15,45	3,02	18,48	295,29	5,23
Berm	24,64	1,55	26,19	418,54	7,42
1e rechte deel	29,81	0,28	30,09	480,85	8,52
Insteek talud	31,93	1,33	33,26	531,50	9,42
Talud	33,34	0,24	33,58	536,68	9,51
Talud	30,51	0,25	30,76	491,55	8,71
Talud	28,10	0,00	28,10	449,04	7,96
Talud	27,51	0,00	27,51	439,62	7,79
Insteek bodem	14,57	0,00	14,57	232,87	4,13
Neergaande bocht	19,58	0,00	19,58	312,82	5,54
2e rechte deel	19,58	0,00	19,58	312,82	5,54
Opgaande bocht	19,58	0,00	19,58	312,82	5,54
3e rechte deel	8,46	0,00	8,46	135,21	2,40

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,138 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 115,80$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{56,43}$$

6.6 Optredende spanning σ_{qr} tgv. grondreactie in de bochten

Locatie	R [m]	Q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
Insteek talud	150	0,0056	0,26
Talud	150	0,0058	0,26
Talud	150	0,0058	0,26
Talud	150	0,0058	0,26
Talud	150	0,0058	0,26
Insteek bodem	150	0,0026	0,12
Neergaande bocht	150	0,0026	0,12
3e rechte deel	150	0,0026	0,12

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,083 \cdot Q_r \cdot 250 \cdot \frac{125,00}{56,43}$$

6.7 Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil

Leiding is drukloos

$$\sigma_{ax} = 0 \text{ N/mm}^2$$

7. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

$$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$$

$$S_N = 975 \cdot \frac{519,13}{231,6^3} = 0,04 \text{ N/mm}^2 = 40,74 \text{ kN/m}^2$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = **0,5 kN/m²**

8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$

Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$

$$p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot l_w}{D_g^3}$$

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 519,13}{231,60^3} = 0,78 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 519,13}{231,60^3} = 0,14 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **13,93** m grondwater boven de leiding

9. Berekening van het totaal aan optredende spanningen

9.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

Locatie	σ_q [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_{y2} [N/mm ²]
Berm	5,23	-	0,65	3,40
Berm	7,42	-	0,65	4,82
1e rechte deel	8,52	-	0,65	5,54
Insteek talud	9,42	0,26	0,65	6,29
Talud	9,51	0,26	0,65	6,35
Talud	8,71	0,26	0,65	5,83
Talud	7,96	0,26	0,65	5,34
Talud	7,79	0,26	0,65	5,24
Insteek bodem	4,13	0,12	0,65	2,76
Neergaande bocht	5,54	0,12	0,65	3,68
2e rechte deel	5,54	-	0,65	3,60
Opgaande bocht	5,54	-	0,65	3,60
3e rechte deel	2,40	0,12	0,65	1,63

Rechte delen: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$

Bochten: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$

Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = 8,00 \text{ N/mm}^2$

9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

Locatie	σ_{ax} [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	α_{σ} [-]	σ_x [N/mm ²]
Berm	0,00	-	-	0,00
Berm	0,00	-	-	0,00
1e rechte deel	0,00	-	-	0,00
Insteek talud	0,00	1,26	0,65	0,82
Talud	0,00	1,26	0,65	0,82
Talud	0,00	1,26	0,65	0,82
Talud	0,00	1,26	0,65	0,82
Talud	0,00	1,26	0,65	0,82
Insteek bodem	0,00	1,26	0,65	0,82
Neergaande bocht	0,00	1,26	0,65	0,82
2e rechte deel	0,00	-	-	0,00
Opgaande bocht	0,00	-	-	0,00
3e rechte deel	0,00	1,26	0,65	0,82

 Rechte delen: $\sigma_x = \sigma_{ax}$

 Bochten: $\sigma_x = \sigma_{ax} + \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b$

 Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = 8,00$ N/mm²

10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_r [N/mm ²]	δ_Y [mm]	δ_Y/D_g [%]
Berm	15,45	3,02	-	7,50	3,24
Berm	24,64	1,55	-	10,63	4,59
1e rechte deel	29,81	0,28	-	13,01	5,62
Insteek talud	31,93	1,33	0,0056	14,38	6,21
Talud	33,34	0,24	0,0058	14,52	6,27
Talud	30,51	0,25	0,0058	13,30	5,74
Talud	28,10	0,00	0,0058	12,15	5,25
Talud	27,51	0,00	0,0058	11,90	5,14
Insteek bodem	14,57	0,00	0,0026	3,86	1,67
Neergaande bocht	19,58	0,00	0,0026	5,18	2,24
2e rechte deel	19,58	0,00	-	5,18	2,24
Opgaande bocht	19,58	0,00	-	5,18	2,24
3e rechte deel	8,46	0,00	0,0026	2,24	0,97

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 115,80^3}{350 \cdot 519,13}$$

 Toelaatbare deflectie = 8% · D_g = 0,08 · 231,60 = **18,53** mm

11. Berekening van de boorspoeldrukken tijdens de trekfase

Locatie	H [m]	σ_{vert} [kN/m ²]	σ_{hor} [kN/m ²]	σ_o' [kN/m ²]	p'_f [kN/m ²]	G [MN/m ²]
Berm	4,24	47,20	23,60	35,40	53,10	5,77
Berm	7,61	71,71	35,85	53,78	80,67	5,77
1e rechte deel	7,91	88,27	40,84	64,56	99,25	13,46
Insteek talud	8,56	94,18	43,58	68,88	105,89	13,46
Talud	8,99	98,09	45,39	71,74	110,28	13,46
Talud	8,72	87,45	40,47	63,96	98,33	13,46
Talud	8,58	78,00	36,09	57,05	87,70	13,46
Talud	8,40	76,36	35,33	55,85	85,86	13,46
Insteek bodem	6,70	36,55	25,56	31,05	42,30	0,71
Neergaande bocht	9,00	49,09	34,33	41,71	56,16	0,71
2e rechte deel	9,00	49,09	34,33	41,71	56,16	0,71
Opgaande bocht	9,00	49,09	34,33	41,71	56,16	0,71
3e rechte deel	3,89	21,22	14,84	18,03	25,36	0,71

$$\sigma_{vert} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

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

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

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

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

Locatie	Q [-]	$R_{p,max}$ [m]	u [N/mm ²]	p_{st} [N/mm ²]	Δ_p [N/mm ²]	p_{lim} [N/mm ²]
Berm	0,0031	1,07	0,0224	0,02527	0,00	0,39
Berm	0,0047	0,87	0,0561	0,06329	0,00	0,54
1e rechte deel	0,0026	1,17	0,0591	0,06667	0,01	0,86
Insteek talud	0,0027	1,13	0,0656	0,07401	0,01	0,90
Talud	0,0029	1,11	0,0699	0,07886	0,01	0,92
Talud	0,0026	1,17	0,0772	0,08709	0,01	0,87
Talud	0,0023	1,24	0,0858	0,09680	0,01	0,82
Talud	0,0022	1,26	0,0840	0,09476	0,01	0,81
Insteek bodem	0,016	3,35	0,1070	0,1207	0,01	0,23
Neergaande bocht	0,020	4,50	0,1300	0,1467	0,02	0,28
2e rechte deel	0,020	4,50	0,1300	0,1467	0,03	0,28
Opgaande bocht	0,020	4,50	0,1300	0,1467	0,04	0,28
3e rechte deel	0,010	1,95	0,0789	0,08901	0,05	0,16

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

$$R_{p,max} = \frac{H}{2}; R_{p,max,zand} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot \varepsilon_{g,max}} \text{ of } \frac{H}{2}$$

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$p_{st} = \rho_m \cdot g \cdot h_z$$

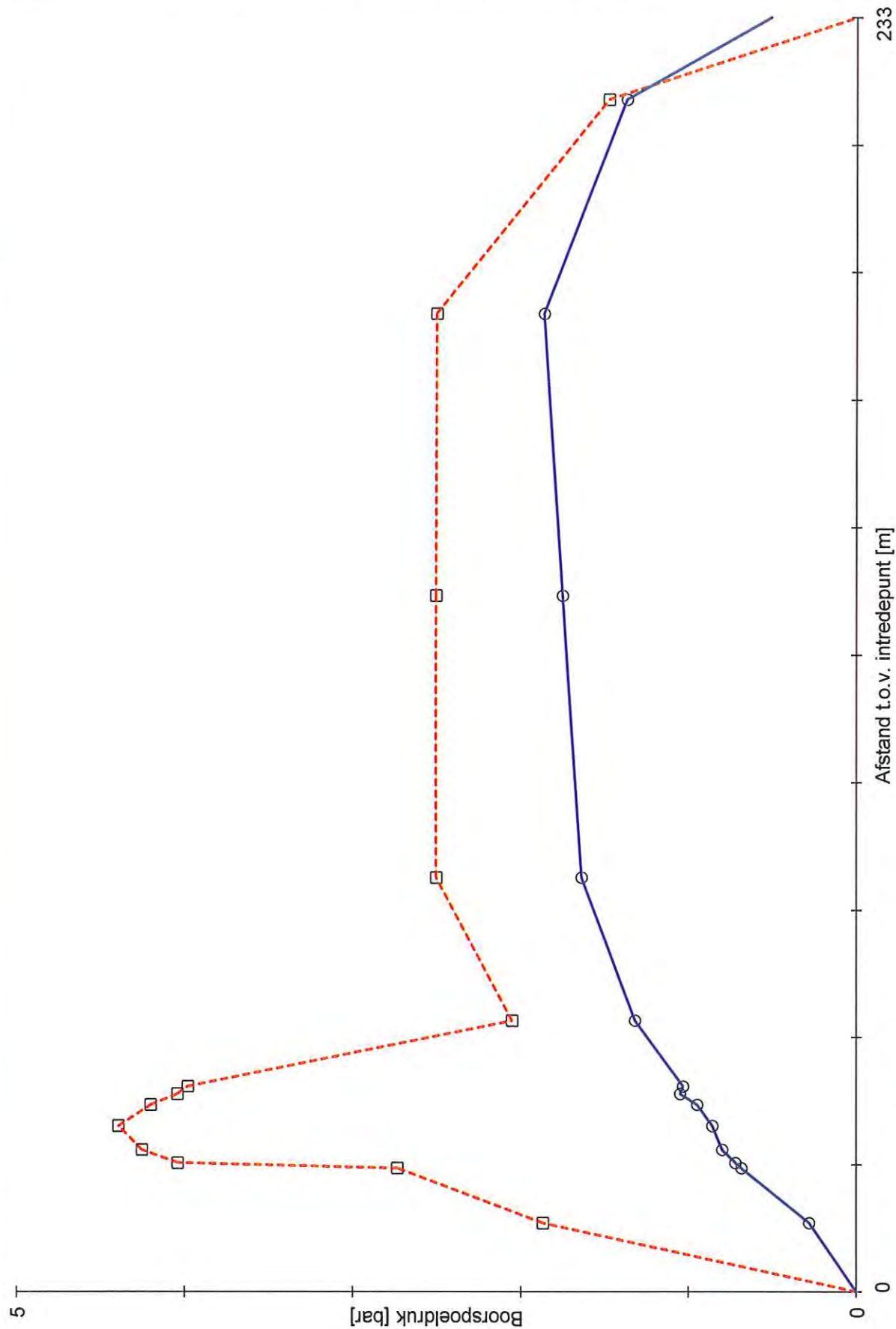
$$\Delta_p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$$

$$p_{lim} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q \cdot \frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

Locatie	p_{max} [N/mm ²]	90% p_{lim} [N/mm ²]	p_{min} [N/mm ²]	p_{max} [bar]	90% p_{lim} [bar]	p_{min} [bar]
Berm	0,19	0,35	0,03	1,87	3,49	0,28
Berm	0,27	0,49	0,07	2,73	4,85	0,68
1e rechte deel	0,40	0,77	0,07	4,04	7,71	0,72
Insteek talud	0,43	0,81	0,08	4,25	8,07	0,80
Talud	0,44	0,83	0,09	4,39	8,31	0,86
Talud	0,42	0,78	0,09	4,20	7,83	0,95
Talud	0,40	0,74	0,10	4,04	7,39	1,05
Talud	0,40	0,73	0,10	3,98	7,29	1,03
Insteek bodem	0,22	0,20	0,13	2,22	2,05	1,32
Neergaande bocht	0,27	0,25	0,16	2,75	2,50	1,63
2e rechte deel	0,27	0,25	0,17	2,75	2,50	1,75
Opgaande bocht	0,27	0,25	0,19	2,75	2,50	1,86
3e rechte deel	0,15	0,15	0,14	1,51	1,48	1,37

$$p_{max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{R_o^2}{R_{p,max}} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

$$p_{min} = p_{st} + \Delta p$$



Maximaal toelaatbare boorspoeldruk
 Minimaal benodigde boorspoeldruk

3.0.10.0/12-2012/10-10383702

26-08-2015 11:00:27

Algemene gegevens

 Naam van het project : Windpark Fryslan - boringen t.b.v. windparkbekabeling
 Projectonderdeel : HDD boring Breezanddijk - Afsluitdijk - tekening nr. 482.15.2.039-102 Boring 1 - 250 HDPE

Grondmechanische gegevens

Grondsoort		= Klei	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 17	kN/m ³
Volumiek gewicht natte grond	γ_n	= 17	kN/m ³
Volumiek gewicht water	γ_w	= 10	kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	φ	= 17,5	°
Effectieve cohesie	c'	= 2	kN/m ²
E-modulus ondergrond	E_{100}	= 2	MN/m ²

Aanleggegevens

Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 8	m
G.W.S. t.o.v. maaiveld		= -4	m
Afstand t.o.v. intredepunt	L	= 190	m
Soortelijk gewicht boorvloeistof	ρ_m	= 11,5	kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	τ_y	= 15	Pa
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	D_g	= 375	mm
Diameter boorstang	D_b	= 101	mm

1. Maximaal toelaatbare boorspoeldruk (conform NEN 3650-serie)
1.1 Verticale terreinspanning

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H - \gamma_w \cdot H$$

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{17}{1,1} \cdot 8 - 10 \cdot 8 = 43,64 \text{ kN/m}^2$$

1.2 Horizontale terreinspanning

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

$$\sigma_{\text{hor}} = 43,64 \cdot (1 - \sin(17,5)) = 30,51 \text{ kN/m}^2$$

1.3 Gemiddelde terreinspanning

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

$$\sigma_o' = \frac{43,64 + 30,51}{2} = 37,08 \text{ kN/m}^2$$

1.4 Boorspoeldruk waarbij de eerste plastische vervormingen optreden

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

$$p_f' = 37,08 \cdot (1 + \sin(17,5)) + 2 \cdot \cos(17,5) = 50,13 \text{ kN/m}^2$$

1.5 Glijdingsmodulus

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

$$G = \frac{2}{2 \cdot (1 + 0,4)} = 0,71 \text{ MN/m}^2$$

Berekening van de toelaatbare boorspoeldruk conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2012 3.0 ©
<p>1.6 Bepaling van Q</p> $Q = \frac{\sigma_o' \cdot \sin(\varphi) + c \cdot \cos(\varphi)}{G}$ $Q = \frac{37,08 \cdot \sin(17,5) + 2 \cdot \cos(17,5)}{0,71 \cdot 10^3} = 0,018$	
<p>1.7 Bepaling initiële straal boorgang en max. toelaatbare plastische zone</p> $R_o = \frac{D_o}{2} = 187,5 \text{ mm}$ $R_{p,max} = \frac{H}{2}$ $R_{p,max} = \frac{8000}{2} = 4.000,00 \text{ mm}$	
<p>1.8 Berekening van de aanwezige waterspanning</p> $u = \gamma_w \cdot H_n$ $u = (10 \cdot 12) \cdot 10^{-3} = 0,12 \text{ N/mm}^2$	
<p>1.9 Effectieve limietdruk</p> $p_{lim} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$ $p_{lim} = (50,13 + 2 \cdot \cot(17,5)) \cdot Q^{\frac{-\sin 17,5}{1 + \sin 17,5}} - c \cdot \cot(17,5) + 0,12 = 0,26 \text{ N/mm}^2$ $p_{lim,90\%} = 0,9 \cdot 0,26 = 0,23 \text{ N/mm}^2 = 2,30 \text{ bar} = 230,50 \text{ kPa}$	
<p>1.10 Maximaal toelaatbare boorspoeldruk</p> $p_{max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{R_o^2}{R_{p,max}^2} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$ $p_{max} = (50,13 + 17,5 \cdot \cot(2)) \cdot \left(\frac{187,5^2}{4.000,00} + 0,02 \right)^{\frac{-\sin 17,5}{1 + \sin 17,5}} - 2 \cdot \cot(17,5) + 0,12$ $p_{max} = 0,25 \text{ N/mm}^2 = 2,52 \text{ bar} = 252,42 \text{ kPa}$	
<p>2. Minimaal benodigde boorspoeldruk</p>	
<p>2.1 Statische druk</p> $p_{st} = \rho_m \cdot g \cdot h_z$ $p_{st} = (1.150,00 \cdot 9,81 \cdot 12,00) \cdot 10^{-6} = 0,14 \text{ N/mm}^2$	
<p>2.2 Drukverschil</p> $\Delta p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$ $\Delta p = 4 \cdot \frac{0,000015}{375 - 101} \cdot 190.000,00 = 0,04 \text{ N/mm}^2$	
<p>2.3 Minimaal benodigde boorspoeldruk</p> $p_{min} = p_{st} + \Delta p$ $p_{min} = 0,14 + 0,04 = 0,18 \text{ N/mm}^2 = 1,77 \text{ bar} = 176,98 \text{ kPa}$	
<p>3. Conclusie</p> <p>$p_{lim,90\%} < p_{max} \rightarrow p_{lim,90\%}$ is maatgevend</p> <p>$p_{lim,90\%} > p_{min}$</p>	
	26-08-2015 12:28:14

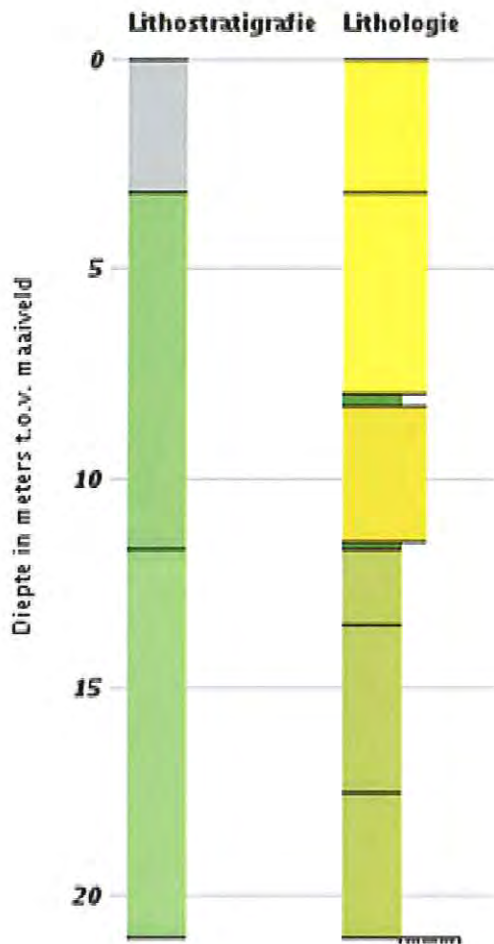
Boormonsterprofiel en interpretatie

Identificatie: B10C1157

Coördinaten: 143003, 559302

Maaiveld: 4,00 m t.o.v. NAP

Dieptetraject t.o.v. Maaiveld: 0,00 m - 21,00 m



Lithostratigrafie

- AAOP
- NA
- EE

Lithologie

- Leem
- Klei
- Zand fijne categorie
- Zand midden categorie

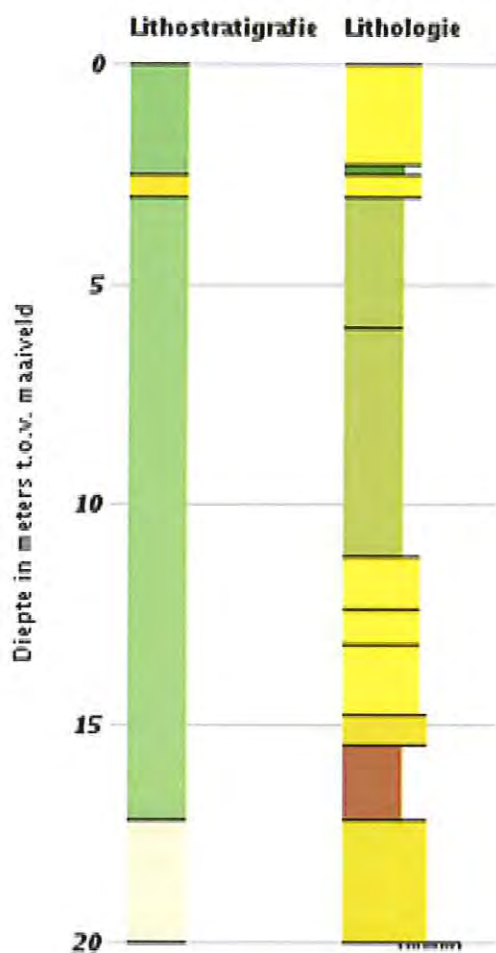
Boormonsterprofiel en interpretatie

Identificatie: B10C0171

Coördinaten: 143653, 559082

Maaiveld: -3,65 m t.o.v. NAP

Dieptetraject t.o.v. Maaiveld: 0,00 m - 20,00 m



Lithostratigrafie

- NA
- BX
- EE
- DN

Lithologie

- Leem
- Klei
- Zand fijne categorie
- Zand midden categorie
- Veen

Bijlage 4: Certificaten en productomschrijving

TUNNEL-GEL™ PLUS



THE *Original* DRILLING FLUIDS COMPANY.

Viscosifier/Gellant

- Beschrijving:** TUNNEL-GEL™ PLUS is speciaal geformuleerd voor gebruik in tunnelling en HDD. TUNNEL-GEL™ PLUS geeft de boorvloeistof viscositeit om het transport van boorgruis te bevorderen, maakt gemakkelijk verwijderen van de vaste delen d.m.v. scheidings-materieel, geeft stabiliteit aan het boorgat en levert een goed waterverlies (FL). Het is compatible met andere BAROID producten.
- Toepassing/Functies:**
- Geeft viscositeit aan de boorspoeling.
 - Heeft draagkracht voor het transport van boorgruis.
 - Reduceert waterpenetratie in de waterdoorlatende formatie.
 - Bevordert boorgat stabiliteit in moeilijke **consolidated** formaties.
- Voordelen:**
- Goed draagvermogen tijdens het boren.
 - Goede suspensie capaciteit tijdens stilstand.
 - Gemakkelijk te mengen en bereikt snel de maximale viscositeit.
 - Niet giftig en fermenteert niet.
- Typische eigenschappen:** Poeder, geel tot bruin
Gewicht 2,600 kg/cm³
pH in 3% oplossing 10,4
- Aanbevolen gebruik:** Meng langzaam door een hopper of strooi het in de vortex d.m.v. hoge snelheids **peddels**.
In normale condities gebruik, voeg 25 – 35 kg/m³ aan leidingwater toe.
In moeilijke of grind condities, voeg 35 – 40 kg/m³ aan leidingwater toe.
Als het aanmaakwater een lage pH en/of een hoge hardheid heeft, voeg 0,7 kg SODA ASH per m³ aan het water toe, daarna TUNNEL-GEL™ PLUS
- Verpakking:** TUNNEL-GEL™ PLUS is verpakt in 25 kg meervoudige, special gecoatte zakken en in 1.000 kg big-bags.
- Verkrijgbaar:** TUNNEL-GEL™ PLUS wordt geleverd door onze distributeurs.

Voor zover wij kunnen beoordelen, is bovengenoemde informatie correct. Wij kunnen u echter geen garanties geven over de resultaten die u hiermee zult bereiken. Deze beschrijving wordt u aangeboden op voorwaarde dat u zelf bepaalt in hoeverre zij geschikt is voor uw doeleinden.

Bijlage 5: Technische gegevens diverse rigs

Boorrig 4 ton, fabrikaat Vermeer D7x11 series II



Trekkracht	4 ton
Drukkracht	4 ton
Mechanisme	Tandheugel (R&P)
Afmetingen machine	4010 x 900 x 1780 mm (afstand intredepunt - achterzijde rig 6 mtr)
Gewicht machine	2,5 ton
Motor	Turbo diesel (35 kW = 50 PK)
Hellingshoek	10° - 18°
Boormotor koppel	2711 Nm
Cabine	Geen cabine
Lavette	Slaglengte 1.800 mm

Toebehoren

Boorstangen	Firesticks II, L = 180 cm Ø 40 mm
Swivel	7 ton
Barrelreamers / Flycutters	Vanaf Ø 60 mm t/m Ø 315 mm
Boorkoppen	Jet Bit 70 mm t.b.v. walk-over/draadmeetsysteem
Meng- en pompsysteem	Site-Tec 200 ltr/min mix- & pompinstallatie gebouwd in vrachtwagen
Transport	4x2 bakwagen

Boorrig 7 ton, fabrikaat Vermeer D16x20 series II



Trekkracht	7,2 ton
Drukkracht	7 ton
Mechanisme	Tandheugel (R&P)
Afmetingen machine	5100 x 1220 x 1920 mm (afstand intredepunt - achterzijde rig 6,5 mtr)
Gewicht machine	4,8 ton
Motor	Turbo diesel (47 kW = 65 PK)
Hellingshoek	10° - 18°
Boormotor koppel	2711 Nm
Cabine	Geen cabine
Lavette	Slaglengte 3.000 mm

Toebehoren

Boorstangen	Firesticks II, L = 300 cm Ø 48 mm
Swivel	10 ton
Barrelreamers / Flycutters	Vanaf Ø 60 mm t/m Ø 315 mm
Boorkoppen	Jet Bit 70 mm t.b.v. walk-over/draadmeetsysteem
Meng- en pompsysteem	Site-Tec 200 ltr/min mix- & pompinstallatie gebouwd in vrachtwagen
Transport	4x2 bakwagen

Boorrig 16 ton, fabriikaat Vermeer D36



Trekkracht	16,5 ton
Drukkracht	16 ton
Mechanisme	Tandheugel (R&P)
Afmetingen machine	6502 x 1905 x 2769 mm (afstand intredepunt - achterzijde rig 7 mtr)
Gewicht machine	9 ton
Rupsonderstel lxb	ca. 2200 x 400 mm Rubber (gronddruk 5 N/cm ²)
Motor	6 cylinder turbo diesel (104 kW = 140 PK)
Hellingshoek	10° - 18°
Boormotor koppel	6800 Nm
Cabine	Vaste cabine met transportstand
Lavette	Slaglengte 3.000 mm

Toebehoren

Boorstangen	Firesticks II, L = 300 cm Ø 60 mm
Swivel	20 ton
Barrelreamers / Flycutters	Vanaf Ø 125 mm t/m Ø 750 mm
Boorkoppen	Jet Bit 70 mm t.b.v. walk-over/draadmeetsysteem
Meng- en pompsysteem	Site-Tec 750 ltr/min mix- & pompinstallatie gebouwd op containersysteem
Transport	Transport op 6x6, rig op semi-dieplader

Boorrig 100 ton, fabrikaat Prime PD 100 / 50 RP

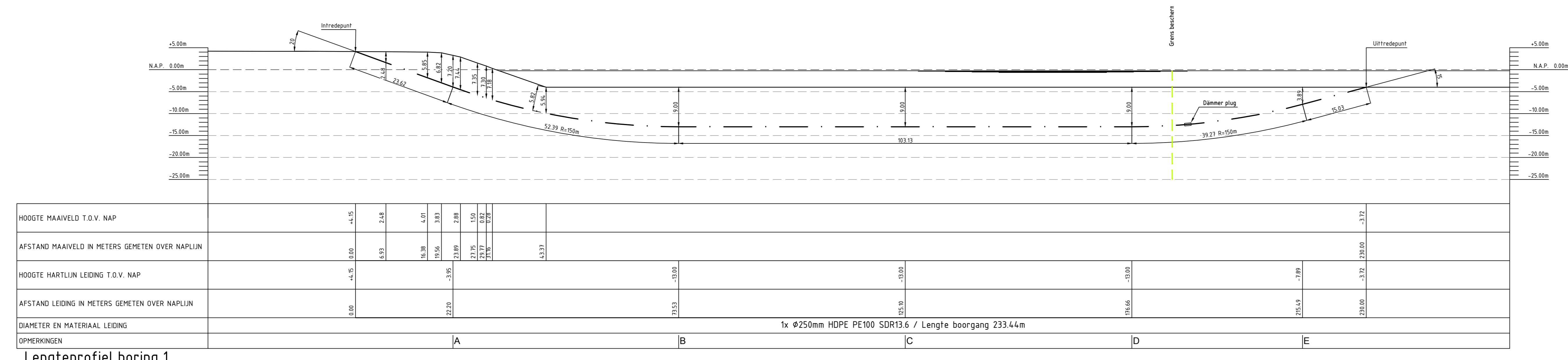
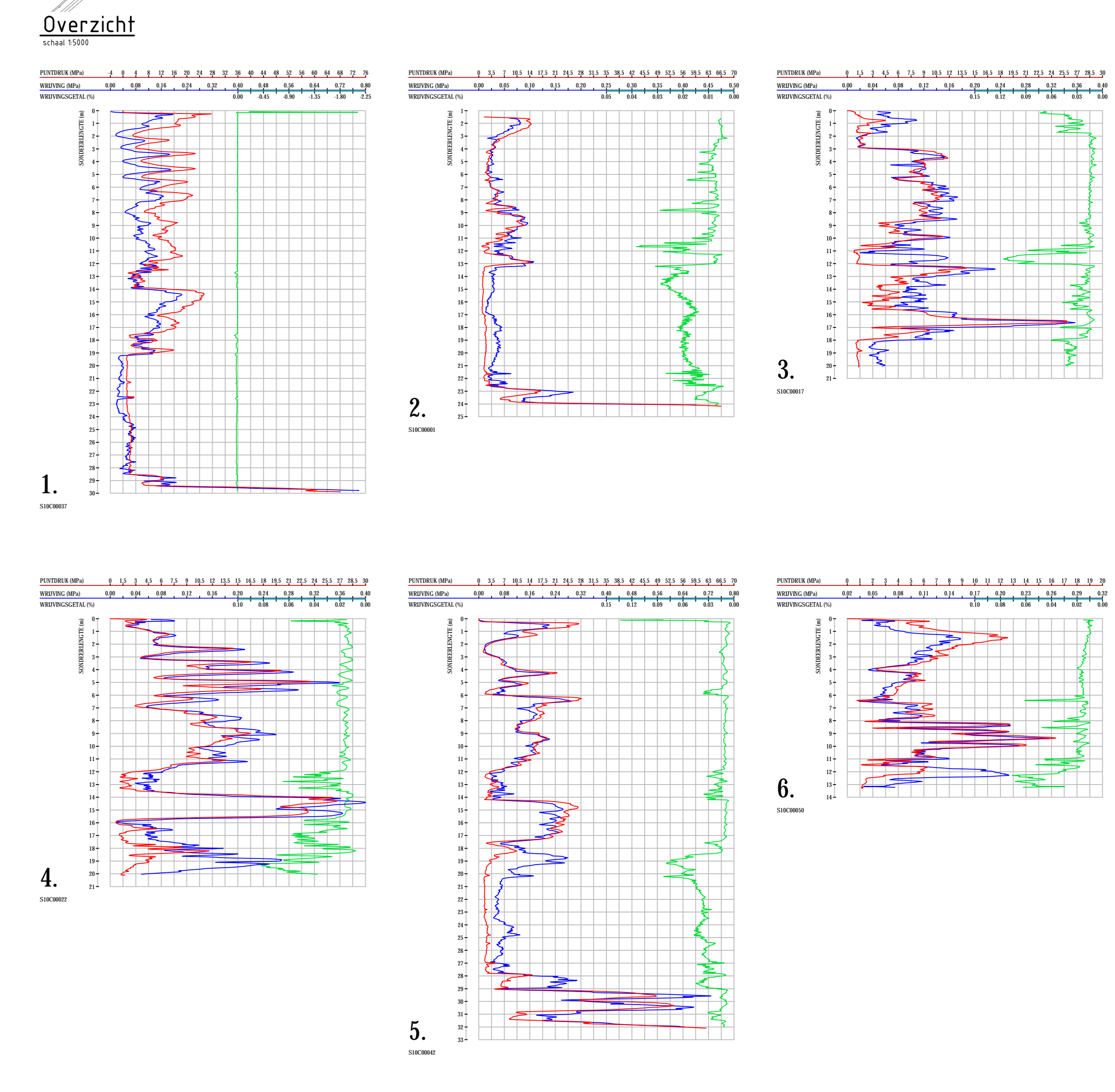
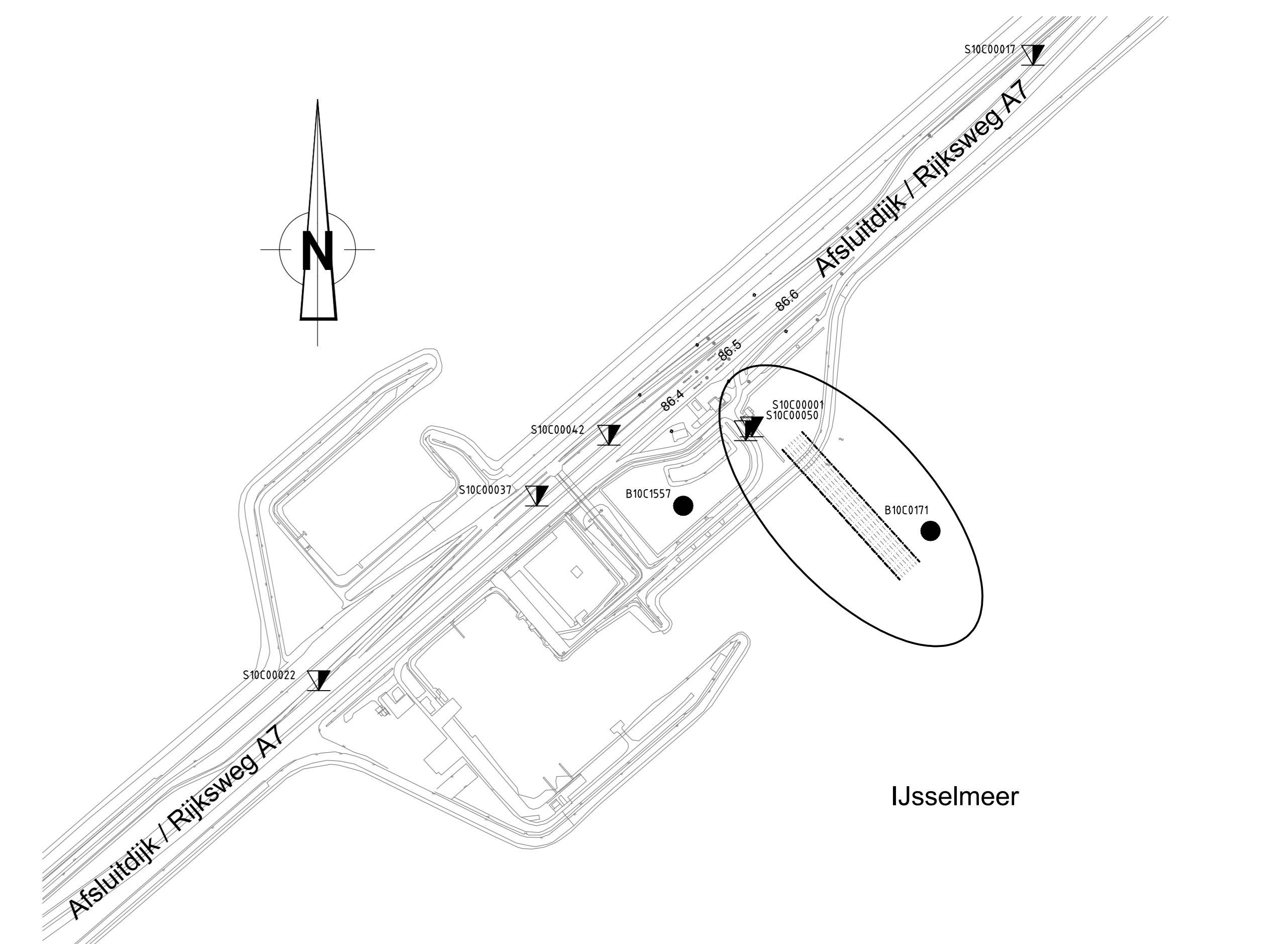
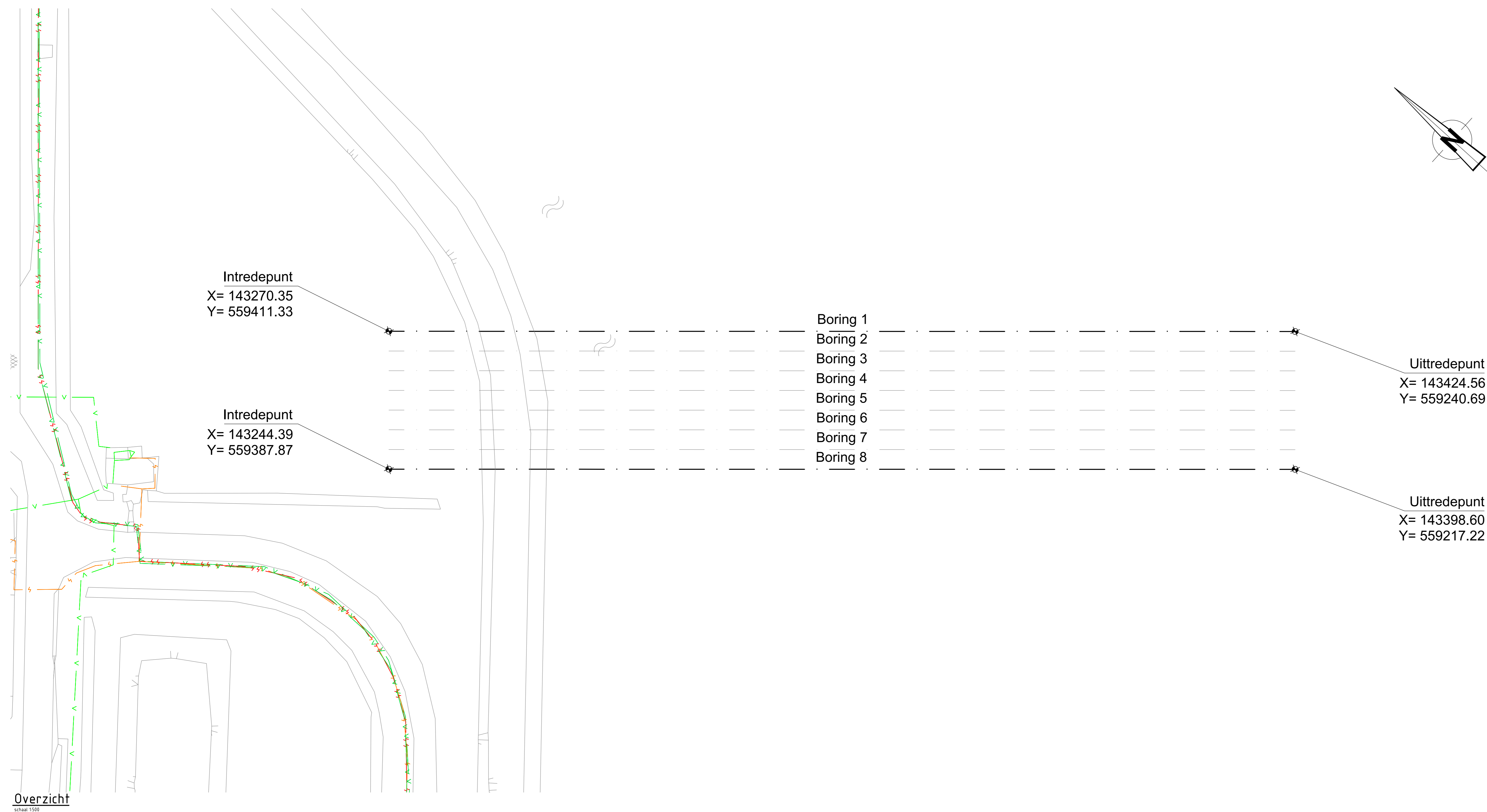


Trekkracht	100 ton
Drukkkracht	50 ton
Mechanisme	Tandheugel (R&P)
Afmetingen machine LxBxH	11000 x 1220 x 1920 mm (afstand intredepunt - achterzijde rig 17-20 mtr)
Gewicht machine	25 ton
Rupsonderstel lxb	ca. 4400 x 800 mm (gronddruk 7 N/cm ²)
Motor	6 cylinder turbo diesel (104 kW = 140 PK)
Hellingshoek	8° - 17° (praktisch 10° - 15°)
Boormotor koppel	50.000 Nm
Cabine	Vaste cabine met transportstand
Lavette	Slaglengte t.b.v. boorstangen 6.000 mm

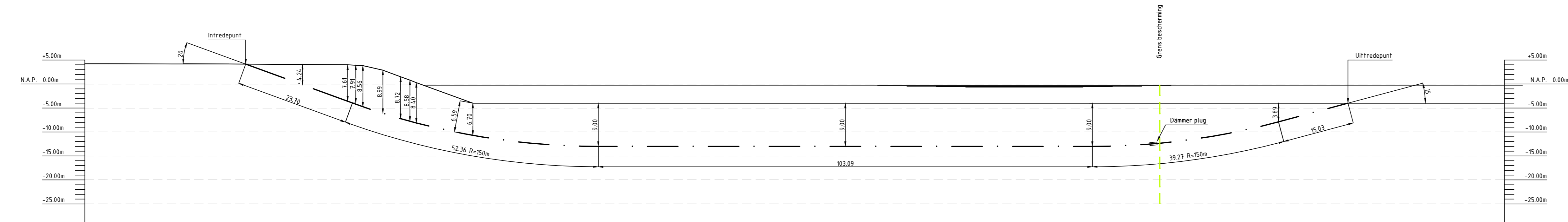
Toebehoren

Boorstangen	5" met 4 1/2 IF tooljoint en 3,5" met 3 1/2 IF tooljoint
Swivel	100 ton, max. belasting 200 ton
Ruimers en Flycutters	Vanaf Ø 150 mm t/m Ø 1.350 mm
Boorkop	9-5/8" Toothbit + RVS bit
Mix- en recycling unit	1.600 ltr of 3.200 ltr / min, afhankelijk van de omvang van de boring. 1 of 2 st 20 ft containers.
Meng- en pompunit	2.500 ltr/min mix- & pompinstallatie gebouwd op containersysteem
Transport	Alles is gebouwd op 20 ft container met kabelsysteem. Eigen kraanauto (8x4).

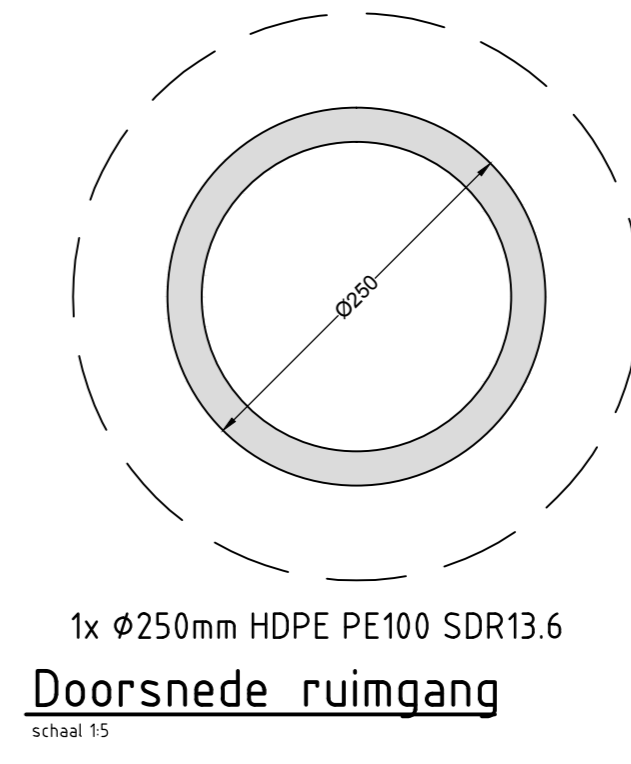
Bijlage 6: Drill-sheet



Lengteprofiel boring 1
schaal 1:500



Lengteprofiel boring 8
schaal 1:500



	Coördinaten intrredepunt		Coördinaten uitredepunt	
	X	Y	X	Y
Boring 2	143266.64	559407.98	143420.85	559237.34
Boring 3	143262.93	559404.63	143417.14	559233.98
Boring 4	143259.22	559401.27	143413.44	559230.63
Boring 5	143255.51	559397.92	143409.73	559227.28
Boring 6	143251.80	559394.57	143406.02	559223.93
Boring 7	143248.10	559391.22	143402.31	559220.58

Coördinaten boring 2 t/m 7

Legenda bestaande K&L

- 040 — 040 — Co
- 040 — 040 — CO2 leiding
- 11 — 11 — Electrica IS
- 11 — 11 — Electrica HS
- 11 — 11 — L3 gasleiding
- 00 — 00 — H2 gasleiding
- 00 — 00 — Gasolie leiding
- 00 — 00 — Drukwater
- 00 — 00 — Diversa Telencom (GPE, Eurofiber, Telaz, encl)
- 00 — 00 — Waterleiding
- 00 — 00 — Transport waterleiding
- 00 — 00 — Warmte SV
- 00 — 00 — Sanderling
- Grondbooring

0 21-08-2015 PB RB Voor vergoedingaanvraag

Rec. Datum Get. Gez. WUZIGING

Ventolines

ONTWERP : R. Berger GETEKEND : P. Buissonen DATUM : 21-08-2015
 PROJ.NR. : 482.15.2.039 SCHAAL : 15000 / 1500 / 15 FORMAAT : A0
 PROJECT : Windpark Fryslan Locatie Breezandijk Boring 1 t/m 8
 ONDERWERP : Te maken gestuurde boringen t.b.v. windparkbekabeling 482.15.2.039-102

TEKENING NR. : 482.15.2.039-102



BOORPLAN



Engineering HDD boring t.b.v. kabeltracé Winpark Friesland Afsluitdijk / Kornwerderzand

Opdrachtgever : Windpark Fryslân BV
Project : Aanbrengen hoogspanningkabels Windpark Fryslân
Hoofdaannemer : Nader te bepalen
Aannemer H.D.D.-boringen : Nader te bepalen
Kenmerk : 482.15.2.039-03
Versie : 1

	Naam	Functie	Datum	Paraaf
Auteur	A. Lammersen	Engineer	21-08-2015	
Verificatie				
Autorisatie	M.H.H. Berger	Directeur	21-08-2015	

INHOUDSOPGAVE

- 1 Projectomschrijving 4**
- 2 Werkmethode 6**
- 3 OMSchrijving werkzaamheden 8**
 - 3.1 *Tijdschema 8*
 - 3.2 *Indicatieve personeelsbezetting boring 9*
 - 3.3 *Kwaliteit en keuring van bouwmaterialen 10*
 - 3.3.1 *Buizen 10*
 - 3.3.2 *Boorvloeistof 10*
 - 3.3.3 *Debietten 10*
 - 3.3.4 *Samenstellen en intrekken van de HDPE leiding 11*
 - 3.4 *In te zetten boormaterieel (voorbeeld) 12*
 - 3.5 *Boortechnische wijze van uitvoering 13*
 - 3.5.1 *Werkterrein 13*
 - 3.5.2 *Werkwijze Gestuurde Boringen 14*
 - 3.5.3 *Kwaliteitsregistratie 14*
 - 3.6 *Bestaande kabels en leidingen 15*
 - 3.7 *Overlegstructuur, procesbeheersing, procedures 15*
- 4 Berekeningen voor de boringen 16**
 - 4.1 *Uitgangspunten 16*

Materiaal en buis gegevens 16

 - 4.1.1 *Grondgegevens 17*
 - 4.1.2 *Belastingen 17*
 - 4.2 *Berekeningen 18*
 - 4.2.1 *De mantelbuis op rollenbaan 18*
 - 4.2.2 *De mantelbuis het boorgat intrekken 18*
 - 4.2.3 *De 'bedrijfstoestand' van de mantelbuis 19*
 - 4.2.4 *Deflectie berekening 19*
 - 4.2.5 *Boorspoel berekening 19*
 - 4.3 *Conclusies 19*

Bijlagen

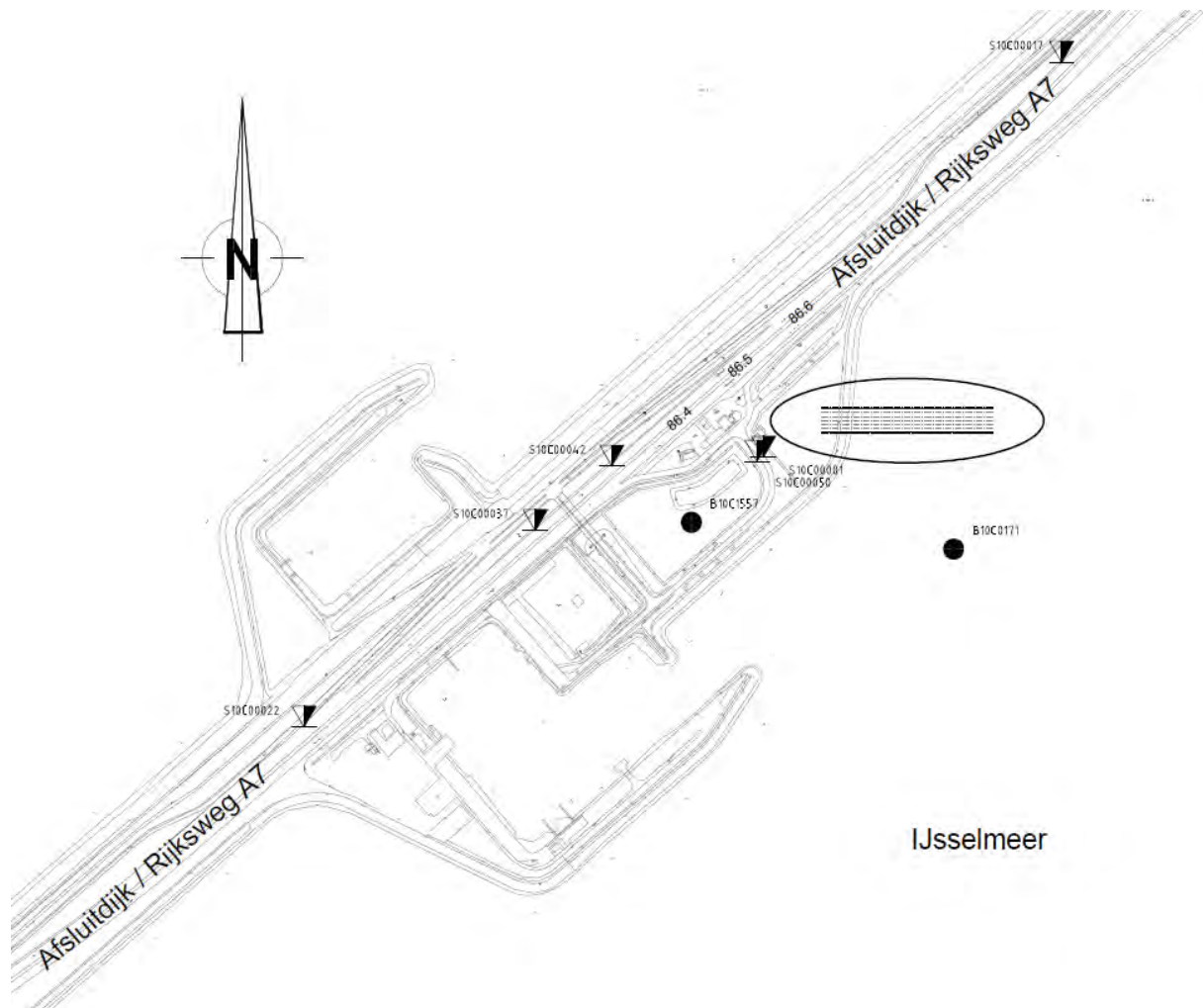
- Bijlage 1: Tekening
 - Bijlage 2: Luchtfoto
 - Bijlage 3: Grondonderzoek, sterkte- en muddrukberekeningen
 - Bijlage 4: Certificaten en productomschrijving
 - Bijlage 5: Technische gegevens rig 4 ton t/m rig 100 ton
 - Bijlage 6: Drill-sheet
-

1 PROJECTOMSCHRIJVING

Om Windpark Fryslân op het openbare electriciteitsnet aan te sluiten is een kabeltracé voorzien dat loopt vanaf het substation op Breezanddijk naar de kop van de afsluitdijk. Het kabeltracé van Windpark Fryslân bestaat uit twee kabelcircuits van 3 1-fase kabels elk plus twee mantelbuizen voor glasvezelkabels. Het deel van het kabeltracé dat over de Afsluitdijk loopt, is gepland aan de noordkant van de snelweg, deels onder het bestaande fietspad. Daar waar aanleg middels openontgraving of niet mogelijk is, zijn horizontaalgestuurde boringen (HDD's) gepland.

Om de uitvoerbaarheid te toetsen zijn in dit document een boorplan opgesteld waarin in een van de mogelijke uitvoeringswijze omschreven is en zijn de berekeningen te vinden van een horizontaalgestuude boring die gepland is voor het aan land brengen van de parkbekabeling. Dit document is geschreven ten behoeve van de vergunningsaanvraag en is niet bestemd voor de uitvoering. Definitieve werkplannen zullen 3 maanden en de definitieve boorplannen 3 weken voor de start van de uitvoering van de werkzaamheden worden ingediend bij de vergunningverlenende instanties.

Ten behoeve van de park bekabeling zullen 8 boringen met een onderlinge afstand van circa 5,0 m en een lengte van ca. 233 m gemaakt worden. In deze boringen worden 1 stuks 250 HPDE mantelbuizen ingetrokken. In deze mantelbuizen komen de kabels van windpark Fryslân te liggen.



De werkmethode is gebaseerd op de volgende documenten:

- Werkomschrijving voor het project
- Boorplan:
482.15.2.039-03
- Detailtekeningen:
482.15.2.039-104_R0
- Geotechnische informatie DINO loket
- NEN 3650/3651

2 WERKMETHODE

Voor de aanleg van ondergrondse netwerken bestaande uit kabels en leidingen kunnen horizontaal gestuurd boringen ingezet worden om wegen, watergangen en andere infrastructurele constructies te kruisen. Daar de werkzaamheden worden uitgevoerd met een sleufloze techniek wordt de hinder bovengronds tot een minimum beperkt.

Voorafgaand aan de uitvoering van een horizontaal gestuurd boring wordt geotechnisch grondonderzoek uitgevoerd. Afhankelijk van de van eisen van de vergunningverlenende instantie kan dit onderzoek bestaan uit sonderingen, handboring of andere geotechnisch grondonderzoeken. De gegevens hiervan dienen als input voor de sterkte- en muddrukberoeeningen en het boorplan. Van elke boring worden tekeningen gemaakt welke de boring volledig in kaart brengen. Deze documenten worden ingediend bij de vergunningverlenende instanties als onderdeel van het boorplan.

De geotechnische gegevens die gebruikt zijn voor het maken van de onderliggende berekeningen behorend bij deze boring zijn verkregen uit een bureaustudie. Voor deze berekeningen zijn de gebruikte gegevens conservatief geïnterpreteerd. Geotechnische grondonderzoeken ten behoeve van de uitvoering zullen ten behoeve van het definitieve boorplan worden uitgevoerd conform die hiervoor geldende normen.

Een horizontaal gestuurde boring is een techniek waarbij de werkzaamheden vanaf het maaiveld plaatsvinden. De uitvoering van een horizontaal gestuurde boring is opgebouwd uit drie fasen:

- Mobiliseren;
- Pilotboring;
- Ruimfase;
- Intrekken van leiding;
- Demobiliseren.

Het mobiliseren bestaat uit het gereed maken van het terrein. Indien nog wordt er op de opstelplaats van de boorinstallatie een baan van een zand pakket of rijplaten aangebracht. Hiernaast wordt alle benodigde materieel aangevoerd en opgesteld. Aan de uittrede kant van de boring wordt in deze fase de leiding uitgelegd en gelast.

Als eerst wordt vanaf het intredepunt een pilotboring uitgevoerd in het ontworpen tracé. Na de intrede wordt gestart met een rechtstand vervolgd door een neergaande bocht, een horizontaal gedeelte, na de opgaande bocht wordt het uittredepunt bereikt. Afhankelijk van de beschikbare ruimte en de buigstraal van de opgaande bocht kan na de opgaande bocht nog een rechtstand worden uitgevoerd. Tijdens de eerste fase worden de coördinaten van de pilotboring door middel van driedimensionale plaatsbepaling van de pilotboring verkregen. Bijvoorbeeld middels een gyroscoopmeetsysteem.

In de tweede fase, de ruimfase, wordt aan het uiteinde van de boorstreng een ruimer (of verdringer) geplaatst. Tijdens de ruimfase, welke uit meerder ruimgangen kan bestaan, wordt de gewenste diameter van de boorgang verkregen. De keuze van de soort ruimer is afhankelijk van de plaatselijke

grondslag. Bij het aanbrengen van mantelbuizen / mediumvoerende buizen met een geringe diameter kan fase 2 (extra ruimgang) komen te vervallen en wordt de mantelbuis direct achter de ruimer ingetrokken (zoals omschreven in onderstaande “laatste” ruimgang).

De derde en laatste fase is het intrekken van de productleiding(-en). De gereedliggende leiding(-en) worden hierbij met behulp van een trekkop direct achter de ruimer bevestigd en terug getrokken door het boorgat. Om uitstroom van bentoniet in het IJsselmeer te voorkomen wordt gebruik gemaakt van een dämmerplug.

Als de leiding is in getrokken wordt het materieel gedemobiliseerd en het terrein hersteld.

Tijdens alle fasen wordt gebruik gemaakt van zo geheten boorspoeling. Deze is bedoeld om de boorkop te koelen, de losgeboorde grond af te voeren en het stabiel houden van de tunnelwand. De boorspoeling wordt vanaf een hogedrukpomp via een hogedrukslang naar de boorinstallatie verpompt, door de holle boorstangen en door zijkanalen in de boorkop vervolgens de grond ingepompt. Tijdens iedere fase worden de doorspoeldrukken geregistreerd. Dit wordt gedaan om te controleren of er een constante return van de boorspoeling is. Tijdens de laatste fase, het intrekken van de leiding, kan er voor gekozen worden om drillgrout te gebruiken in plaats van bentoniet.

3 OMSCHRIJVING WERKZAAMHEDEN

Het volgende hoofdstuk bevat de werkschrijving zoals de HDPE mantelbuizen door een nader te bepalen aannemer kunnen worden aangebracht.

3.1 Tijdschema

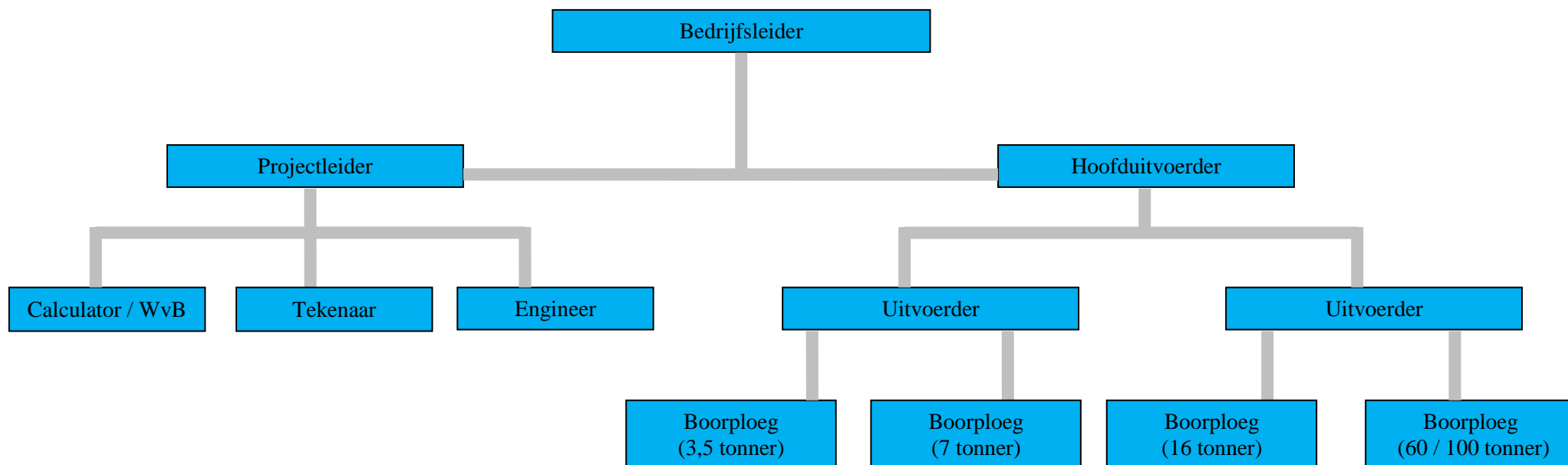
Hieronder wordt een globale planning van de HDD-boringen weergegeven.

Boring: HDD-boring nr. 9 t/m nr. 15

Inrichten werfterrein	
Aanvoer en mobilisatie	1,0 dag
Pilotboring - Boring nr.9	1,0 dag
Ruimen- Boring nr.9	1,0 dag
Intrekken - Boring nr.9	1,0 dag
Omzetten boorstelling	1,0 dag
Boring nr.10 t/m nr.15 (zie werkzaamheden boring nr. 9)	30,0 dag
Demobiliseren en afvoeren	1,0 dag
Opruimen en herstellen werfterrein	

De startdatum van de werkzaamheden wordt bepaald in overleg met de opdrachtgever. Mogelijk wordt het intrekken van de mantelbuis in één aaneengesloten fase uitgevoerd. Hierdoor kan het voorkomen dat er volcontinu geboord moet worden totdat de boring gereed is.

3.2 Indicatieve personeelsbezetting boring



Bezetting afhankelijk van bedrijfsprofiel opdrachtnemer

3.3 Kwaliteit en keuring van bouwmaterialen

Alle te gebruiken materialen en grondstoffen zullen minimaal voldoen aan de hiervoor in Nederland geldende kwaliteitsnormen.

3.3.1 Buizen

HDPE buis

De in te trekken HDPE buizen worden door de aannemer te beschikking gesteld en op het werk geleverd.

3.3.2 Boorvloeistof

De boorvloeistof kan samengesteld worden uit met water vermengde bentoniet. Indien nodig wordt bekeken of de samenstelling van de boorspoeling verder aangepast dient te worden aan de lokale bodemopbouw. Uitgangspunt daarbij is dat een boorspoeling wordt verkregen die voldoende steun geeft aan het boorgat in de plaatselijke ondergrond.

De gemiddelde samenstelling van de boorspoeling bedraagt 30-50 kg bentoniet per 1.000 liter water. Het soortelijke gewicht van de boorspoeling bedraagt circa 1.200 kg/m³ afhankelijk van de omstandigheden. Een certificaat van een mogelijk product is in bijlage 5 opgenomen.

3.3.3 Debieten

Op basis van de te verwachten samenstelling van de grondgesteldheid, zijn voor de verschillende boorfases de volgende debieten berekend:

Pilotfase:	10 à 30 l/min
Intrekken:	40 à 80 l/min

Om ongewenste muduitbraken te voorkomen dient de maximaal toelaatbare muddruk niet door de minimaal benodigde muddruk te worden overschreden. De volledige berekening van de muddruk is te vinden in bijlage 3.

In de meeste gevallen is de muddruk tijdens Pilotfase maatgevend omdat tijdens deze fase de afstroming van de vrijkomende boorspoeling slechts aan één zijde mogelijk is. Dit doet zich hoofdzakelijk voor bij het uittredepunt van de boring en in mindere mate aan het beging. Door bij het naderen van het uittredepunt de voortgangssnelheid, het debiet en de druk in dat gebied te verlagen is de kans op een zogenaamde Blow-Out nihil.

3.3.4 Samenstellen en intrekken van de HDPE leiding

Het samenstellen van de leiding gebeurt met hydraulische kranen en gekwalificeerd personeel. De in te trekken HDPE buis zal mogelijk uit verschillende lengten bestaan en zal vooraf door middel van spiegellassen samengesteld worden op een nader te bepalen locatie. Wanneer de gelaste buis de juiste lengte heeft zal deze door een boot naar het uittredepunt worden gesleept. De spiegellasser en apparatuur zal RTD gekwalificeerd zijn.

Buizen tot de diameter \varnothing 200 kunnen worden geleverd uit één stuk (afhankelijk van de totaallengte van de mantelbuis). Er worden dus geen spiegellassen aangebracht en de buis kan rechtstreek vanaf de haspel worden ingetrokken.

3.4 In te zetten boormaterieel (voorbeeld)



Figuur 2: 100 tons boorinstallatie

(minimaal) In te zetten boorinstallatie m.b.t. tot de uit te voeren boring

De HDD boring, zoals beschreven in dit boorplan, zal worden uitgevoerd met behulp van een maxi rig met een trekkracht van minimaal 60 ton, zie bijlage 3 voor de volledige berekening van de trekkracht. De boring wordt bijvoorbeeld uitgevoerd met behulp van een gyroscoopmeetsysteem.

De op de afbeelding weergegeven boorinstallatie is ter indicatie. De aannemer bepaalt welk boormaterieel er ingezet wordt voor de uitvoering van deze boring. Voorbeelden van technische gegevens van mogelijk boormaterieel, zijn terug te vinden in bijlage 5.

3.5 Boortechnische wijze van uitvoering

3.5.1 Werkterrein

Indien nodig wordt er voordat het boormaterieel wordt aangevoerd een zandbaan en/of rijplatenbaan en werkterrein aangelegd.

Intredelocatie:

De intredelocatie van de boring is gelegen aan de IJsselmeerkant ter hoogte van Breezanddijk, zie Figuur 1. De locatie wordt, indien noodzakelijk, voorzien van een zandbaan en / of platenbaan. De benodigde oppervlakte bedraagt ca 600m².

Op de intredelocatie zal het volgende materieel worden ingezet.

- Boorrig 300 ton (incl. boorstangen en werkplaatscontainer);
- Bentonietpomp 2.500 ltr;
- Mixinstallatie 2.500 ltr;
- Recyclinginstallatie 3.200 ltr incl. voorraadtank
- 4 stuks Wavo pompen;
- Stroomaggregaat;
- Schaftkeet;
- graafmachine.

Plaatsing van apparatuur wordt aangepast aan de plaatselijke omstandigheden. De bovenstaande weergave is een voorbeeld. De booraannemer bepaalt de inzet van het benodigde materieel en materiaal. Hiernaast dient de aannemer zorg te dragen voor de benodigde verkeersvoorzieningen. Op tekening 482 15 2 039-202 is een indicatie van een mogelijke opstelling van het materieel te zien.

De maximale berekende trekkracht is circa 45 ton (45.146). De volledige berekening van de trekkracht is te vinden in bijlage 3. Het is aan booraannemer om zijn boorequipment hierop aan te passen.

Ter plaatse van het intredepunt wordt een put van circa 2 m² gegraven om de uitkomende boorspoeling op te vangen. Ter plaats van het intrede punt wordt ook de boorspoeling aangemaakt. Indien hier geen water voorhanden is wordt er voor het aanmaken van de boorspoeling water aangevoerd. De vrijkomende spoeling wordt gerecycled. Na het maken van beide boringen wordt de voerbodige boorspoeling afgevoerd door zuigwagens naar een geschikte stortplaats.

Uittredelocatie:

Het uittredepunt is gelegen in het IJsselmeer buiten de beschermzone van de dijk. De mantelbuis wordt op een nader te bepalen locatie samengesteld en naar het uittredepunt gesleept. Tijdens het intrekken wordt de mantelbuis begeleid door een multicat.

3.5.2 Werkwijze Gestuurde Boringen

- Aan- en afvoer via normaal wegtransport, truck met dieplader voor boor rig (het een en ander afhankelijk van het in te zetten materieel).
- Inrichten in- en uittredezijde boring met rijplaten en eventueel bouwhekken;
- Lokaliseren ligging kabels en leidingen;
- Graven intrede- en uittredeput voor boring (ca. 2 m³);
- Mobilisatie boorinstallatie met toebehoren op rig-site;
- Mixen bentonietspoeling;
- Globale samenstelling 30 - 50 kg bentoniet / 1 m³ water;
- Mits dit nodig is, kunnen er eventueel polymeren toegepast worden;
- Water voor spoelingsamenstelling zal in de omgeving worden verkregen (of worden aangevoerd);
- Maken pilotboring;
- Ruimen van het boorgat;
- Intrekken mantelbuizen;
- Leegzuigen van de boorgaten d.m.v. vloeistofdichte zuigwagens;
- Demobilisatie van de boorinstallatie en afvoer van het materieel. Werkwijze omgekeerd identiek als bij aanvoer en opbouw;
- Opruimen en herstellen werkterrein rondom in- en uittredepunt inclusief toegangsweg.

3.5.3 Kwaliteitsregistratie

Tijdens de pilotboringen, het ruimen van de boorgaten en het intrekken van de buizen worden een aantal gegevens zoals torque, mudflow, trekkracht door middel van meters op de rig weergegeven. De gegevens worden bijgehouden op een registratieformulier muddrukken. Eventueel vindt registratie van locatie en hoogteligging in RD – coördinaten t.o.v. NAP plaats.

Als er met een walkovermeetsysteem gewerkt wordt, worden de meetgegevens van de survey met de hand bijgehouden, als er met een gyroscoopmeetsysteem geboord wordt gebeurt dit automatisch. Aan de hand van deze gegevens en van de veldmetingen wordt de revisie gemaakt. De revisie zal worden ingetekend op het tracé en detail tekeningen van het omvattende werk welk wordt verzorgd door aannemer. Alle geregistreerde gegevens worden door de booraannemer gearchiveerd. Hiernaast zal er tijdens de aanleg toezicht zijn vanuit de opdrachtgever.

3.6 Bestaande kabels en leidingen

Voor uitvoering wordt door aannemer een KLIC melding gedaan, om de ligging van de bestaande ondergrondse infrastructuur in kaart te brengen. Tevens zal indien nodig met de betreffende leidingbeheerders contact worden opgenomen. Voor aanvang van de boring worden er proefsleuven gemaakt nabij het begin en einde van de boringen. Aan de hand van deze proefsleuven worden vervolgens de in- en uittredeputten gegraven.

In het dwarsprofiel van de boring, zoals weergegeven op tekeningen nrs. 482.15.2.039-104, zijn de bestaande kabels en leidingen weergegeven. De KLIC melding zal tijdens de uitvoering op het werkaanwezig zijn.

3.7 Overlegstructuur, procesbeheersing, procedures

Voor dit project wordt een V&G – (deel)plan opgesteld welke tijdens uitvoering op het werk aanwezig zal zijn. Het V&G plan wordt 3 maanden voorafgaand aan de uitvoering van de werkzaamheden ingediend.

4 BEREKENINGEN VOOR DE BORINGEN

Voor uitvoering van de boringen kunnen diverse berekeningen uitgevoerd worden met betrekking tot treksterkte van de buizen en de muddrukken. Deze berekeningen zijn uitgevoerd conform NEN 3650 / 3651.

4.1 Uitgangspunten

Materiaal en buis gegevens

Voor de horizontaal gestuurde boring zijn de volgende materiaal en mantelbuizen gehanteerd:

Boring nr. 9 – tekening nr. 482.15.2.039-104

Materiaal	:	HDPE PE 100 SDR-13,6
Aantal buizen	:	1st
Uitwendige diameter	:	250 mm
Wanddikte	:	18,4 mm
Korte duur Elasticiteitsmodulus	:	975 N/mm ²
Lange duur Elasticiteitsmodulus	:	350 N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	:	16×10 ⁻⁵ (mm/mm) K ¹
Axiale verhouding zuivere trek/buigtrek	:	0,65 -
Tangentiele verhouding zuivere trek/buigtrek	:	0,65 -
Toelaatbare korte duur spanning	:	10,0 N/mm ²
Toelaatbare lange duur spanning	:	8,0 N/mm ²
Lengte boring	:	219,45 m
Diepte boring	:	circa 9,00 m - t.o.v. maaiveld
Intrede hoek boring	:	20 °
Uittredehoek boring	:	15 °
Bochtstraal neergaande bocht	:	150 m
Bochtstraal opgaande bocht	:	150 m
Kromtestraal op de rollenbaan/maaiveld	:	150 m

Boring nr. 15 – tekening nr. 482.15.2.039-104

Materiaal	:	HDPE PE 100 SDR-13,6
Aantal buizen	:	1st
Uitwendige diameter	:	250 mm
Wanddikte	:	18,4 mm
Korte duur Elasticiteitsmodulus	:	975 N/mm ²
Lange duur Elasticiteitsmodulus	:	350 N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	:	16×10 ⁻⁵ (mm/mm) K ¹
Axiale verhouding zuivere trek/buigtrek	:	0,65 -
Tangentiele verhouding zuivere trek/buigtrek	:	0,65 -
Toelaatbare korte duur spanning	:	10,0 N/mm ²
Toelaatbare lange duur spanning	:	8,0 N/mm ²

Lengte boring	:	219,45	m
Diepte boring	:	circa 9,00	m - t.o.v. maaiveld
Intrede hoek boring	:	20	°
Uittredehoek boring	:	15	°
Bochtstraal neergaande bocht	:	150	m
Bochtstraal opgaande bocht	:	150	m
Kromtestraal op de rollenbaan/maaiveld	:	150	m

4.1.1 Grondgegevens

Het onderzoek bestaat uit sondering inclusief elektrische kleef en grondgegevens conform NEN 5140. De resultaten van het onderzoek zijn opgenomen in Bijlage 3 van dit rapport en op de boortekening.

De onzekerheidsfactoren voor de grondmechanische parameters zijn in deze parameters nog niet verwerkt, deze worden separaat in de berekening meegenomen, overeenkomstig Tabel B.2 "Partiële onzekerheidsfactoren in verband met modelonzekerheidtabel" van de NEN 3650.

4.1.2 Belastingen

In de sterkteberekening zijn de volgende belastingen meegenomen.

Eigengewicht, excl. inhoud Q_{eg}

Het eigengewicht van de lege buis is in de berekening als gewichtsbelasting opgenomen, met inachtneming van de grondwaterstand.

Grondbelasting Q

De grondbelasting wordt berekend conform de formules zoals opgegeven in de NEN 3650.

Verkeersbelasting Q_v

Voor de buis is de verkeersbelasting overeenkomend, volgens de VOSB, aangehouden.

4.2 Berekeningen

Voor de sterkteberekening van de horizontaal gestuurde boring wordt onderscheid gemaakt in de volgende fases:

§ 4.2.1: De buis op rollenbaan

§ 4.2.2: De buis het boorgat intrekken

§ 4.2.3: De 'bedrijfstoestand' van de buis

In §4.2.4 en 4.2.5 is respectievelijk de berekening van de deflectie en de muddruk opgenomen.

4.2.1 De mantelbuis op rollenbaan

Voor de berekening van de spanningen in de mantelbuis, t.b.v. de windparkbekabeling, op de rollenbaan wordt verwezen naar pagina 5 van de sterkteberekeningen, opgenomen in Bijlage 3.

De omtreksspanning S_x is nihil en wordt bij het intrekken niet in ogenschouw genomen.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-104 boring nr. 9.

De maximaal berekende langsspanning S bedraagt $1,46 \text{ N/mm}^2$, deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de kromtestraal op de rollenbaan en de wrijving tussen de buis en het maaiveld.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-104 boring nr. 15.

De maximaal berekende langsspanning S bedraagt $1,46 \text{ N/mm}^2$, deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de kromtestraal op de rollenbaan en de wrijving tussen de buis en het maaiveld.

4.2.2 De mantelbuis het boorgat intrekken

Voor de berekening van de spanningen in de mantelbuis, t.b.v. de windparkbekabeling, tijdens het intrekken van deze buis in het boorgat wordt verwezen naar pagina 8 van de sterkteberekeningen, opgenomen in Bijlage 3.

De omtreksspanning S_x is nihil en wordt bij het intrekken niet in ogenschouw genomen.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-104 boring nr. 9.

De maximaal berekende langsspanning S_y bedraagt $3,98 \text{ N/mm}^2$, deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de combinatie van de trekkracht voor het intrekken en spanningen t.g.v. de kromtestralen in de boring.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-104 boring nr. 15.

De maximaal berekende langsspanning S_y bedraagt $3,98 \text{ N/mm}^2$, deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de combinatie van de trekkracht voor het intrekken en spanningen t.g.v. de kromtestralen in de boring.

4.2.3 De 'bedrijfstoestand' van de mantelbuis

In de 'bedrijfstoestand' van de mantelbuis, t.b.v. de windparkbekabeling, zijn op vijf maatgevende doorsneden de spanningen in de buis berekend, zoals weergegeven op de tekening met de letters A t/m E.

Voor de berekeningen van de spanningen in de buis in bedrijfstoestand wordt verwezen naar pagina's 10 & 11 van de sterkteberekeningen, opgenomen in Bijlage 3.

4.2.4 Deflectie berekening

De deflectie van de buis is berekend op de vijf aangegeven doorsneden, zoals weer gegeven op tekening nr. 482.15.2.039-104 opgenomen in Bijlage 3.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-104 boring nr. 9.

De maximaal berekende deflectie van de mantelbuis, t.b.v. de windparkbekabeling, bedraagt 13,17 mm, zie pagina 12 van de sterkteberekening in Bijlage 3.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-104 boring nr. 15.

De maximaal berekende deflectie van de mantelbuis, t.b.v. de windparkbekabeling, bedraagt 11,98 mm, zie pagina 12 van de sterkteberekening in Bijlage 3.

4.2.5 Boorspoel berekening

Op de markante doorsneden A t/m E, zijn de boorspoeldruk berekeningen uitgevoerd. De resultaten zijn opgenomen in genoemd op pagina 13 en 14 van de berekeningen in Bijlage 3.

Tevens is een aanvullende boorspoeldrukberekening bijgevoegd in Bijlage 3.

4.3 Conclusies

Op basis van de tekening, het grondmechanisch onderzoek en de beschreven uitgangspunten in dit rapport zijn de horizontaal gestuurde boringen berekend overeenkomstig de NEN 3650 en NEN 3651.

- **Boring tekening nr. 482.15.2.039-104 boring nr. 9.**
- De maximaal berekende omtreksspanning ($S_x = 5,78 \text{ N/mm}^2$) en de maximaal berekende langsspanning ($S_y = 0,82 \text{ N/mm}^2$) zijn kleiner dan de toelaatbare spanningen ($St = 8 \text{ N/mm}^2$).
- De maximaal berekende deflectie bedraagt 13,17 mm, deze is kleiner dan de toelaatbare 18,53 mm.
- **Boring tekening nr. 482.15.2.039-104 boring nr. 15.**
- De maximaal berekende omtreksspanning ($S_x = 5,27 \text{ N/mm}^2$) en de maximaal berekende langsspanning ($S_y = 0,82 \text{ N/mm}^2$) zijn kleiner dan de toelaatbare spanningen ($St = 8 \text{ N/mm}^2$).
- De maximaal berekende deflectie bedraagt 11,98 mm, deze is kleiner dan de toelaatbare 18,53 mm.

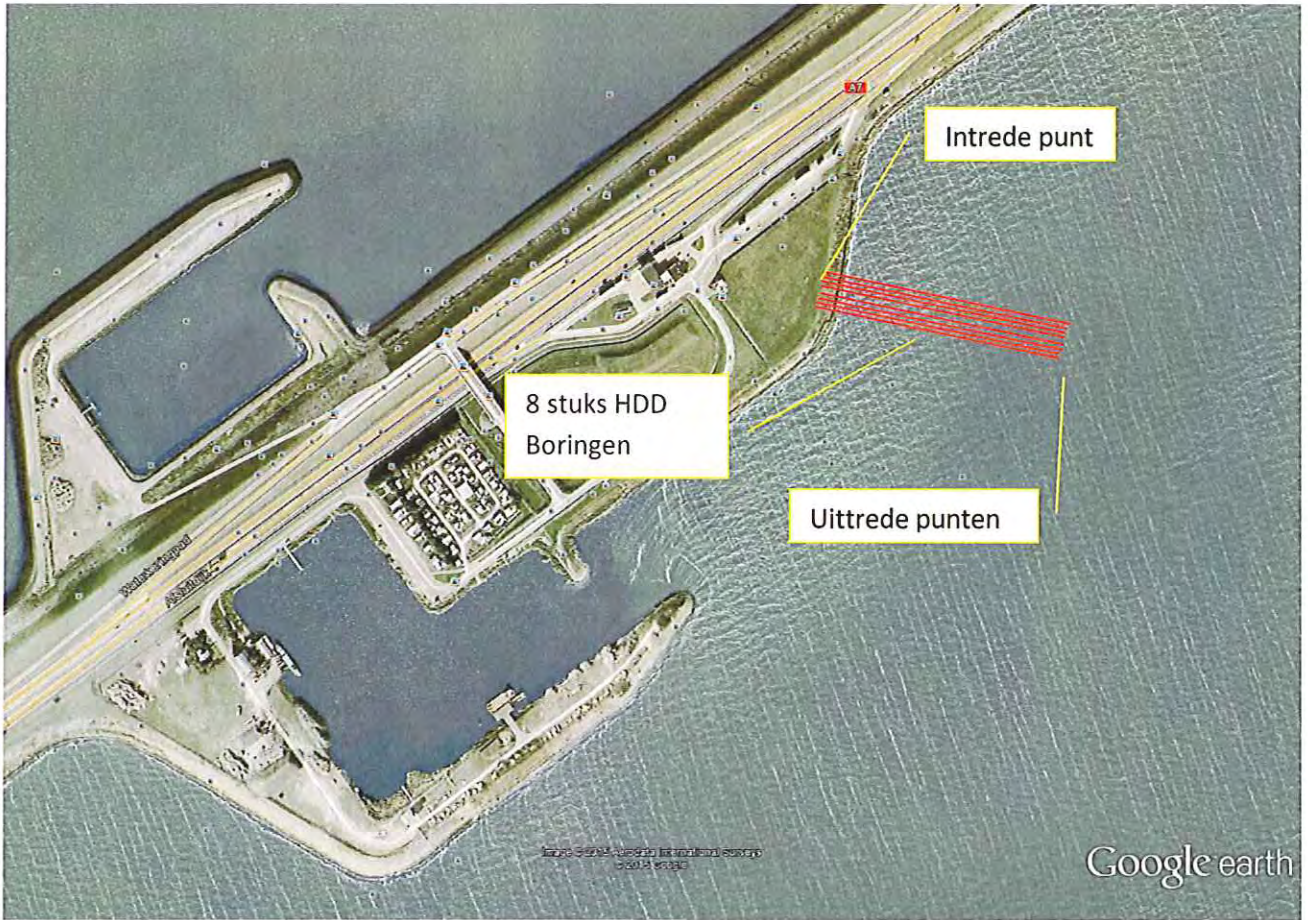
Uit de berekeningen volgt dat het ontwerp voldoet aan de gestelde eisen uit de betreffende normen.

Bijlage 1: Tekening

Bijlage 2: Luchtfoto

Bijlage 1: Tekening

Bijlage 2: Luchtfoto



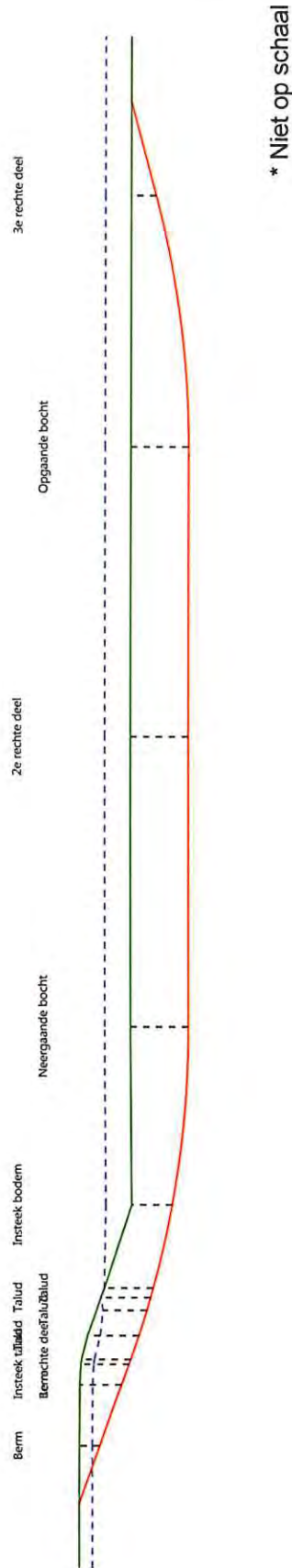
Bijlage 3: Grondonderzoek, sterkte- en muddrukberekeningen

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Windpark Fryslan - boringen t.b.v. windparkbekabeling			
Projectonderdeel : HDD boring Breezanddijk - Afsluitdijk - tekening nr. 482.15.2.039-104 Boring 9 - 250 HDPE			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 13,6		
Lange-duur treksterkte	MRS = 10		N/mm ²
Materiaalfactor	$\gamma_M = 1,25$		-
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	$\alpha_g = 16,0 \cdot 10^{-5}$		mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	$\alpha_\sigma = 0,65$		-
Soortelijk gewicht buis	$\rho_L = 9,55$		kN/m ³
Toelaatbare deflectie	$\delta = 8$		%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	$D_e = 250,00$		mm
Wanddikte	$d_n = 18,4$		mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 100	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_m = 11,5$		kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_y = 15$		Pa
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	$D_g = 375$		mm
Diameter boorstang	$D_b = 101$		mm
Totale lengte	L = 219,45		m
Lengte 1e rechte deel	$L_1 = 23,66$		m
Lengte neergaande bocht	$L_2 = 52,36$		m
Lengte 2e rechte deel	$L_3 = 89,13$		m
Lengte opgaande bocht	$L_4 = 39,27$		m
Lengte 3e rechte deel	$L_5 = 15,03$		m
Straal maaiveld/rollenbaan	$R_r = 150,00$		m
Straal neergaande bocht	$R_1 = 150,00$		m
Straal opgaande bocht	$R_2 = 150,00$		m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	$\alpha_1 = 20,00 / 36,4$		° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	$\alpha_2 = 15,00 / 26,79$		° / %
Belastinghoek	$\alpha = 180$		°
Ondersteuningshoek	$\beta = 120$		°
Horizontale steundrukhoek	$\gamma = 120$		°
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	$\gamma = 1,1$		
Totaalfactor bij normale boring	f = 1,4		
Belastingfactor	$f_{k,b} = 1,1$		
Belastingfactor	$f_{k,o} = 1,4$		
Wrijvingscoëff. zonder rollenbaan	$f_1 = 0,3$		
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	$f_2 = 0,00005$		N/mm ²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	$f_3 = 0,2$		
		26-08-2015 13:28:04	

Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting

Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m ³]	Wrijvings- hoek grond [°]
Berm	9,38	3,15	2,00	Zand	17,00	19,00	30,00
Berm	19,43	6,52	2,00	Zand	17,00	19,00	30,00
Insteek talud	22,81	7,49	2,00	Zand	19,00	21,00	32,50
1e rechte deel	23,62	7,69	2,00	Zand	19,00	21,00	32,50
Talud	27,25	8,02	2,00	Zand	19,00	21,00	32,50
Talud	31,15	7,84	1,00	Zand	19,00	21,00	32,50
Talud	33,17	7,74	0,00	Zand	19,00	21,00	32,50
Talud	34,57	7,59	0,00	Zand	19,00	21,00	32,50
Insteek bodem	47,59	6,32	-4,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Neergaande bocht	76,02	9,00	-4,00	Klei	17,00	17,00	17,50
2e rechte deel	120,59	9,00	-4,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Opgaande bocht	165,15	9,00	-4,00	Klei	17,00	17,00	17,50
3e rechte deel	204,43	3,89	-4,00	Klei	17,00	17,00	17,50

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingsconstante [N/mm ²]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
Berm	Geen	-	0,00	15,00	Grafiek I
Berm	Geen	-	0,00	15,00	Grafiek I
Insteek talud	Geen	-	0,00	35,00	Grafiek I
1e rechte deel	Geen	-	0,00	35,00	Grafiek ½ x II
Talud	Geen	0,0660	0,00	35,00	Grafiek ½ x II
Talud	Geen	0,0660	0,00	35,00	Grafiek ½ x II
Talud	Geen	0,0660	0,00	35,00	Geen
Talud	Geen	0,0660	0,00	35,00	Geen
Insteek bodem	Geen	0,0130	2,00	2,00	Geen
Neergaande bocht	Geen	0,0130	2,00	2,00	Geen
2e rechte deel	Geen	-	2,00	2,00	Geen
Opgaande bocht	Geen	0,0130	2,00	2,00	Geen
3e rechte deel	Geen	-	2,00	2,00	Geen



* Niet op schaal

2. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 213,20	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 231,60	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	$r_i = D_i / 2$	= 106,60	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 115,80	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 90.328.744,19	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 722.629,95	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 519,13	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 56,43	mm ³ /mm ¹
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 13.387,71	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,1279	N/mm ¹

3. Berekening van het gewicht van de leiding tijdens het intrekken van de leiding

	<i>Leiding op rollenbaan/maaveld</i>	<i>Leiding in boorgat</i>
Gewicht mediumleiding	$g = 0,1279 \text{ N/mm}^1$	$g = 0,1279 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,1279 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,1279 \text{ N/mm}^1$

4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds

4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaveld

Trekkracht T_1 tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_1 [N]
Starten met trekken	219,45	11.784
Na 1 ^e deel intrekken	204,42	10.977
Na 2 ^e deel intrekken	165,15	8.868
Na 3 ^e deel intrekken	76,02	4.082
Na 4 ^e deel intrekken	23,66	1.270

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,4 \cdot L \cdot 0,1279 \cdot 0,3$$

4.2 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten op rollenbaan/maaveld

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_1 [N]	σ_t [N/mm ²]
Starten met trekken	11.784	0,88
Na 1 ^e deel intrekken	10.977	0,82
Na 2 ^e deel intrekken	8.868	0,66
Na 3 ^e deel intrekken	4.082	0,30
Na 4 ^e deel intrekken	1.270	0,09

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{13.387,71}$$

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{90.328.744}{150.000} = 645.850,52 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{645.850,52}{722.630} = 0,89 \text{ N/mm}^2$$

4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	σ_t [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	0,88	1,46
Na 1 ^e deel intrekken	0,82	1,40
Na 2 ^e deel intrekken	0,66	1,24
Na 3 ^e deel intrekken	0,30	0,89
Na 4 ^e deel intrekken	0,09	0,68

$$\sigma_a = \alpha_\sigma \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 0,89 + \sigma_t$$

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

5. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat

5.1 Berekening van de vereiste trekkracht T_2 en T_{3a} in verband met wrijving tussen leiding en boorvloeistof/boorgangwand

Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof. 100% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet. Hieruit volgt: $D_{e,omtrek} = 785,40 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,128 \text{ N/mm}^1$

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

Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,437 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
1 ^e deel intrekken	15,03	2.664	-
2 ^e deel intrekken	54,30	-	9.624
3 ^e deel intrekken	143,43	25.422	-
4 ^e deel intrekken	195,79	-	34.702
Geheel ingetrokken	219,45	38.895	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,4 \cdot L \cdot (785,40 \cdot 0,00005 + 0,437 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,4 \cdot L \cdot (785,40 \cdot 0,00005 + 0,437 \cdot 0,2)$

5.3 Berekening van de vereiste trekkracht T_{3b} in verband met wrijving door grondreactie in de bochten

Locatie	λ [mm ⁻¹]	R [m]	Q_r [N/mm ²]	T_{3b} [N]
Talud	0,0026	150	0,0058	967
Talud	0,0026	150	0,0058	967
Talud	0,0026	150	0,0058	967
Talud	0,0026	150	0,0058	967
Insteek bodem	0,0017	150	0,0026	644
Neergaande bocht	0,0017	150	0,0026	644
Opgaande bocht	0,0017	150	0,0026	644

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

$$Q_r = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot 0,9 \cdot R}$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,4 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 250 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

5.4 Berekening van de wrijving door bochtkracht T_{3c}

Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	T_{bocht} [N]
Neergaande bocht	8.868	9.624	967	-	19.459
Opgaande bocht	1.270	34.702	967	644	37.583

Neergaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max}$

Opgaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max} + T_{3a,op} + T_{3b,op,max}$

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N]
Neergaande bocht	10,00	19.459	1.892
Opgaande bocht	7,50	37.583	3.655

$$T_{3c} = f \cdot L_B \cdot g_t \cdot f_3$$

$$L_B = 2 \cdot R \cdot 2\pi \cdot \frac{\alpha}{360}$$

$$g_t = \frac{2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha)}{L_B}$$

$$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,4 \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$

5.5 Totalisatie van de trekkraften in fase II

Trekkraft T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 / T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3c,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{3c,op}$ [N]	T_{tot} [N]
1 ^e deel intrekken	10.977	2.664	-	-	-	-	13.641
2 ^e deel intrekken	8.868	9.624	967	1.892	-	-	21.351
3 ^e deel intrekken	4.082	25.422	967	1.892	-	-	32.363
4 ^e deel intrekken	1.270	34.702	967	1.892	644	3.655	42.223
Geheel intrekken	0	38.895	967	1.892	644	3.655	45.146

$$T_{\text{tot}} = T_1 + T_2 + T_{3a} + T_{3b,neer,max} + T_{3c,neer} + T_{3b,op,max} + T_{3c,op}$$

5.6 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkraften in fase II

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]
1 ^e deel intrekken	13.641	1,02
2 ^e deel intrekken	21.351	1,59
3 ^e deel intrekken	32.363	2,42
4 ^e deel intrekken	42.223	3,15
Geheel intrekken	45.146	3,37

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{13.387,71}$$

5.7 Optredende spanningen t.g.v. kromming van de leiding in het boorgat

5.7.1 Neergaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{l_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{90.328.744,19}{0,9 \cdot 150.000} = 913.323,97 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{913.323,97}{722.629,95} = 1,26 \text{ N/mm}^2$$

5.7.2 Opgaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{l_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{90.328.744,19}{0,9 \cdot 150.000} = 913.323,97 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{913.323,97}{722.629,95} = 1,26 \text{ N/mm}^2$$

5.8 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	13.641	1,02	-	1,02
Na 1 ^e deel intrekken	21.351	1,59	1,26	2,42
Na 2 ^e deel intrekken	32.363	2,42	-	2,42
Na 3 ^e deel intrekken	42.223	3,15	1,26	3,98
Na 4 ^e deel intrekken	45.146	3,37	-	3,37

Rechte delen: $\sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{13.387,71} = \sigma_t$

Gebogen delen: $\sigma_a = \alpha_\sigma \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot \sigma_b + \sigma_t$

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

6. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase

6.1 Berekening van de spanningen σ_p en σ_{cl} t.g.v. inwendige druk

Leiding is drukloos:

$$\sigma_p = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

6.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

Leiding is drukloos:

$$f_{rr} = 1,00$$

6.3 Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	q_{droog} [kN/m ²]	q_{nat} [kN/m ²]	q_{totaal} [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]
Berm	3,15	2,00	Zand	37,40	24,04	61,44	12,48
Berm	6,52	2,00	Zand	37,40	94,47	131,87	21,67
Insteek talud	7,49	2,00	Zand	41,80	126,82	168,62	28,43
1e rechte deel	7,69	2,00	Zand	41,80	131,44	173,24	29,08
Talud	8,02	2,00	Zand	41,80	139,06	180,86	30,17
Talud	7,84	1,00	Zand	20,90	158,00	178,90	27,63
Talud	7,74	0,00	Zand	0,00	178,79	178,79	25,35
Talud	7,59	0,00	Zand	0,00	175,33	175,33	24,86
Insteek bodem	6,32	-4,00	Klei	0,00	118,18	118,18	13,75
Neergaande bocht	9,00	-4,00	Klei	0,00	168,30	168,30	19,58
2e rechte deel	9,00	-4,00	Klei	0,00	168,30	168,30	19,58
Opgaande bocht	9,00	-4,00	Klei	0,00	168,30	168,30	19,58
3e rechte deel	3,89	-4,00	Klei	0,00	72,74	72,74	8,46

$$Q_n = (\gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o$$

6.4 Berekening van de verkeersbelasting Q_v

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeers- belasting	q_v [kN/m ²]	Q_v [N/mm ¹]
Berm	3,15	Grafiek I	16,21	4,05
Berm	6,52	Grafiek I	7,55	1,89
Insteek talud	7,49	Grafiek I	6,34	1,59
1e rechte deel	7,69	Grafiek ½ x II	1,18	0,30
Talud	8,02	Grafiek ½ x II	1,12	0,28
Talud	7,84	Grafiek ½ x II	1,15	0,29
Talud	7,74	Geen	0,00	0,00
Talud	7,59	Geen	0,00	0,00
Insteek bodem	6,32	Geen	0,00	0,00
Neergaande bocht	9,00	Geen	0,00	0,00
2e rechte deel	9,00	Geen	0,00	0,00
Opgaande bocht	9,00	Geen	0,00	0,00
3e rechte deel	3,89	Geen	0,00	0,00

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 250$$

6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_{boven} [N/mm ¹]	M_q [Nmm]	σ_q [N/mm ¹]
Berm	12,48	4,05	16,54	264,24	4,68
Berm	21,67	1,89	23,55	376,40	6,67
Insteek talud	28,43	1,59	30,02	479,66	8,50
1e rechte deel	29,08	0,30	29,38	469,51	8,32
Talud	30,17	0,28	30,45	486,53	8,62
Talud	27,63	0,29	27,91	446,08	7,91
Talud	25,35	0,00	25,35	405,08	7,18
Talud	24,86	0,00	24,86	397,23	7,04
Insteek bodem	13,75	0,00	13,75	219,67	3,89
Neergaande bocht	19,58	0,00	19,58	312,82	5,54
2e rechte deel	19,58	0,00	19,58	312,82	5,54
Opgaande bocht	19,58	0,00	19,58	312,82	5,54
3e rechte deel	8,46	0,00	8,46	135,21	2,40

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,138 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 115,80$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{56,43}$$

6.6 Optredende spanning σ_{qr} t.g.v. grondreactie in de bochten

Locatie	R [m]	Q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
Talud	150	0,0058	0,26
Talud	150	0,0058	0,26
Talud	150	0,0058	0,26
Talud	150	0,0058	0,26
Insteek bodem	150	0,0026	0,12
Neergaande bocht	150	0,0026	0,12
Opgaande bocht	150	0,0026	0,12

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,083 \cdot Q_r \cdot 250 \cdot \frac{125,00}{56,43}$$

6.7 Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil

Leiding is drukloos

$$\sigma_{ax} = 0 \text{ N/mm}^2$$

7. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

$$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$$

$$S_N = 975 \cdot \frac{519,13}{231,6^3} = 0,04 \text{ N/mm}^2 = 40,74 \text{ kN/m}^2$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = **0,5 kN/m²**

8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$

Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$

$$p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$$

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 519,13}{231,60^3} = 0,78 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 519,13}{231,60^3} = 0,14 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **13,93 m** grondwater boven de leiding

9. Berekening van het totaal aan optredende spanningen

9.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

Locatie	σ_q [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_{y2} [N/mm ²]
Berm	4,68	-	0,65	3,04
Berm	6,67	-	0,65	4,34
Insteek talud	8,50	-	0,65	5,53
1e rechte deel	8,32	-	0,65	5,41
Talud	8,62	0,26	0,65	5,78
Talud	7,91	0,26	0,65	5,31
Talud	7,18	0,26	0,65	4,84
Talud	7,04	0,26	0,65	4,75
Insteek bodem	3,89	0,12	0,65	2,61
Neergaande bocht	5,54	0,12	0,65	3,68
2e rechte deel	5,54	-	0,65	3,60
Opgaande bocht	5,54	0,12	0,65	3,68
3e rechte deel	2,40	-	0,65	1,56

Rechte delen: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$

Bochten: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$

Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$

9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

Locatie	σ_{ax} [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_x [N/mm ²]
Berm	0,00	-	-	0,00
Berm	0,00	-	-	0,00
Insteek talud	0,00	-	-	0,00
1e rechte deel	0,00	-	-	0,00
Talud	0,00	1,26	0,65	0,82
Talud	0,00	1,26	0,65	0,82
Talud	0,00	1,26	0,65	0,82
Talud	0,00	1,26	0,65	0,82
Insteek bodem	0,00	1,26	0,65	0,82
Neergaande bocht	0,00	1,26	0,65	0,82
2e rechte deel	0,00	-	-	0,00
Opgaande bocht	0,00	1,26	0,65	0,82
3e rechte deel	0,00	-	-	0,00

 Rechte delen: $\sigma_x = \sigma_{ax}$

 Bochten: $\sigma_x = \sigma_{ax} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_b$

 Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = \sigma_t = 8,00$ N/mm²

10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_r [N/mm ²]	δ_Y [mm]	δ_Y/D_g [%]
Berm	12,48	4,05	-	6,71	2,90
Berm	21,67	1,89	-	9,56	4,13
Insteek talud	28,43	1,59	-	12,98	5,60
1e rechte deel	29,08	0,30	-	12,70	5,49
Talud	30,17	0,28	0,0058	13,17	5,69
Talud	27,63	0,29	0,0058	12,07	5,21
Talud	25,35	0,00	0,0058	10,96	4,73
Talud	24,86	0,00	0,0058	10,75	4,64
Insteek bodem	13,75	0,00	0,0026	3,64	1,57
Neergaande bocht	19,58	0,00	0,0026	5,18	2,24
2e rechte deel	19,58	0,00	-	5,18	2,24
Opgaande bocht	19,58	0,00	0,0026	5,18	2,24
3e rechte deel	8,46	0,00	-	2,24	0,97

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 115,80^3}{350 \cdot 519,13}$$

 Toelaatbare deflectie = 8% · D_g = 0,08 · 231,60 = **18,53** mm

11. Berekening van de boorspoeldrukken tijdens de trekfase

Locatie	H [m]	σ_{vert} [kN/m ²]	σ_{hor} [kN/m ²]	σ_o' [kN/m ²]	p_f' [kN/m ²]	G [MN/m ²]
Berm	3,15	39,27	19,64	29,45	44,18	5,77
Berm	6,52	63,78	31,89	47,84	71,75	5,77
Insteek talud	7,49	84,45	39,08	61,77	94,95	13,46
1e rechte deel	7,69	86,27	39,92	63,10	97,00	13,46
Talud	8,02	89,27	41,31	65,29	100,37	13,46
Talud	7,84	79,45	36,76	58,11	89,33	13,46
Talud	7,74	70,36	32,56	51,46	79,11	13,46
Talud	7,59	69,00	31,93	50,46	77,58	13,46
Insteek bodem	6,32	34,47	24,11	29,29	40,00	0,71
Neergaande bocht	9,00	49,09	34,33	41,71	56,16	0,71
2e rechte deel	9,00	49,09	34,33	41,71	56,16	0,71
Opgaande bocht	9,00	49,09	34,33	41,71	56,16	0,71
3e rechte deel	3,89	21,22	14,84	18,03	25,36	0,71

$$\sigma_{vert} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

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

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

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

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

Locatie	Q [-]	$R_{p,max}$ [m]	u [N/mm ²]	p_{st} [N/mm ²]	Δ_p [N/mm ²]	p_{lim} [N/mm ²]
Berm	0,0026	1,17	0,0115	0,01297	0,00	0,33
Berm	0,0041	0,92	0,0452	0,05099	0,00	0,49
Insteek talud	0,0025	1,19	0,0549	0,06194	0,00	0,83
1e rechte deel	0,0025	1,18	0,0569	0,06419	0,01	0,84
Talud	0,0026	1,16	0,0602	0,06791	0,01	0,86
Talud	0,0023	1,23	0,0684	0,07717	0,01	0,81
Talud	0,0021	1,31	0,0774	0,08732	0,01	0,77
Talud	0,0020	1,32	0,0759	0,08563	0,01	0,76
Insteek bodem	0,015	3,16	0,1032	0,1164	0,01	0,22
Neergaande bocht	0,020	4,50	0,1300	0,1467	0,02	0,28
2e rechte deel	0,020	4,50	0,1300	0,1467	0,03	0,28
Opgaande bocht	0,020	4,50	0,1300	0,1467	0,04	0,28
3e rechte deel	0,010	1,95	0,0789	0,08901	0,04	0,16

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

$$R_{p,max} = \frac{H}{2}; R_{p,max,zand} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot \varepsilon_{g,max}} \text{ of } \frac{H}{2}$$

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$p_{st} = \rho_m \cdot g \cdot h_z$$

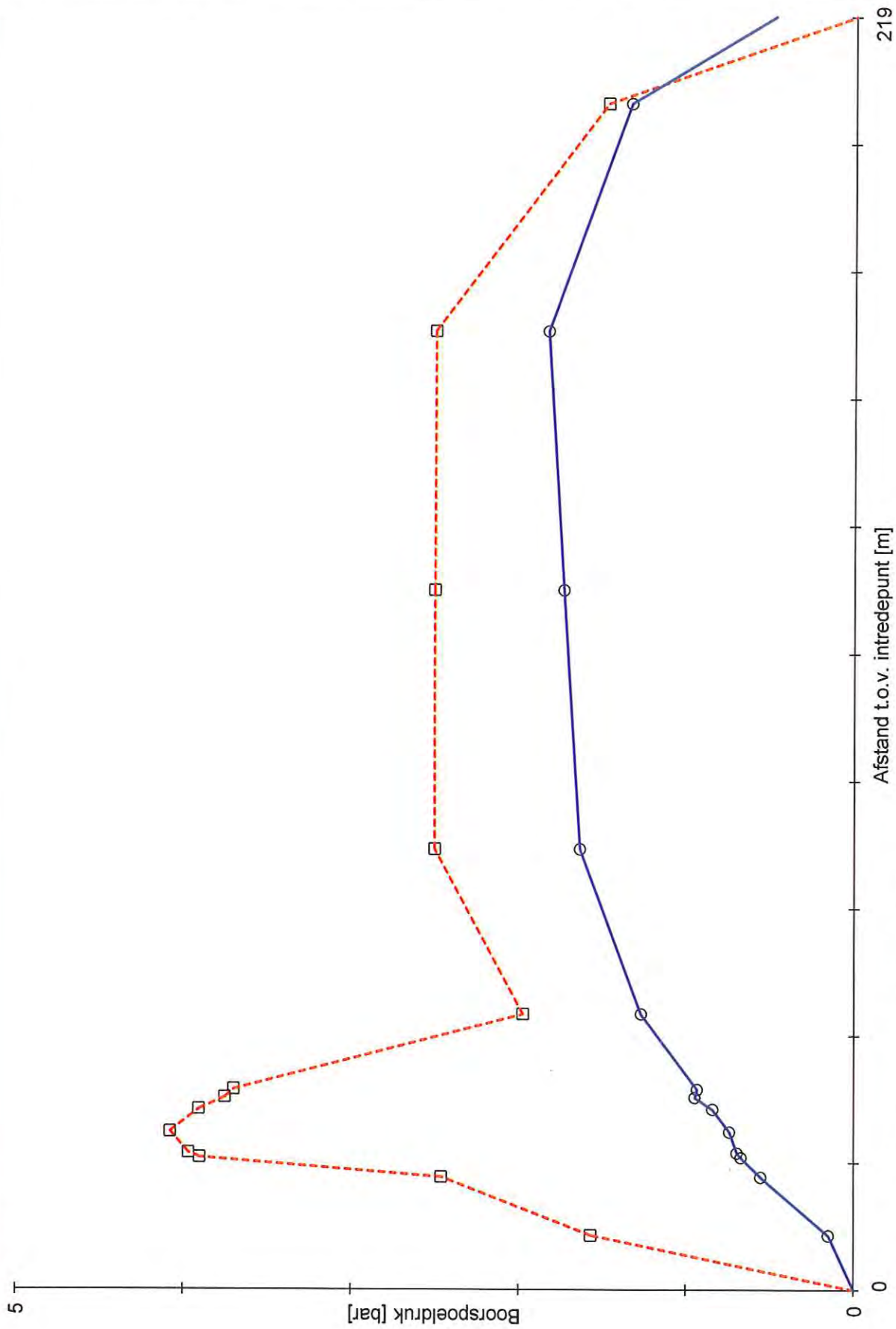
$$\Delta_p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$$

$$p_{lim} = (p_f' + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q \cdot \frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

Locatie	p_{\max} [N/mm ²]	90% p_{lim} [N/mm ²]	p_{min} [N/mm ²]	p_{\max} [bar]	90% p_{lim} [bar]	p_{min} [bar]
Berm	0,16	0,30	0,02	1,57	3,01	0,15
Berm	0,25	0,44	0,06	2,46	4,43	0,55
Insteek talud	0,39	0,75	0,07	3,90	7,47	0,67
1e rechte deel	0,40	0,76	0,07	3,97	7,58	0,69
Talud	0,41	0,78	0,07	4,08	7,77	0,74
Talud	0,39	0,73	0,08	3,90	7,32	0,84
Talud	0,37	0,69	0,09	3,75	6,89	0,95
Talud	0,37	0,68	0,09	3,70	6,80	0,93
Insteek bodem	0,21	0,20	0,13	2,13	1,97	1,27
Neergaande bocht	0,27	0,25	0,16	2,75	2,50	1,63
2e rechte deel	0,27	0,25	0,17	2,75	2,50	1,73
Opgaande bocht	0,27	0,25	0,18	2,75	2,50	1,83
3e rechte deel	0,15	0,15	0,13	1,51	1,48	1,34

$$p_{\max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{R_o^2}{R_{p,\max}} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

$$p_{min} = p_{st} + \Delta p$$



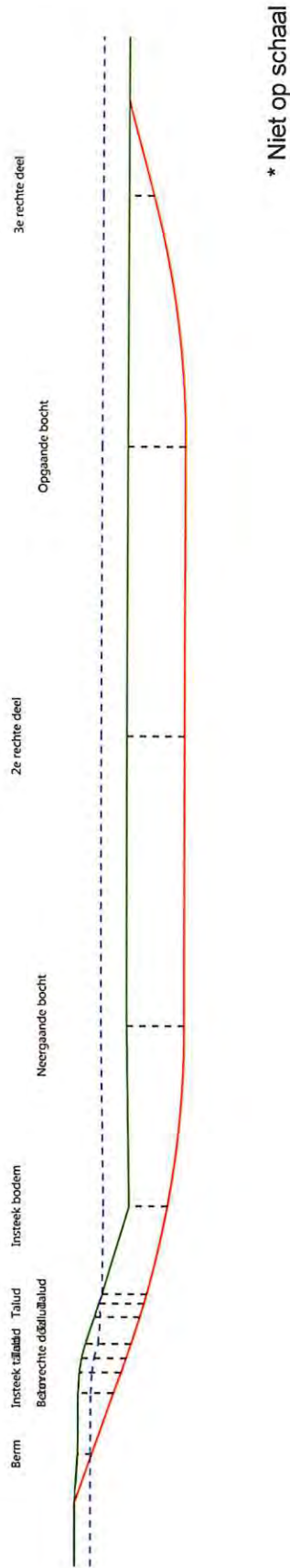
Maximaal toelaatbare boorspoeldruk
Minimaal benodigde boorspoeldruk

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project	: Windpark Fryslan - boringen t.b.v. windparkbekabeling		
Projectonderdeel	: HDD boring Breezanddijk - Afsluitdijk - tekening nr. 482.15.2.039-104 Boring 15 - 250 HDPE		
Materiaalgegevens			
Materiaal soort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 13,6		
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	-
Soortelijk gewicht buis	ρ_L	= 9,55	kN/m ³
Toelaatbare deflectie	δ	= 8	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D_e	= 250,00	mm
Wanddikte	d_n	= 18,4	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)	= Drukloos		
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 100	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	ρ_m	= 11,5	kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	τ_y	= 15	Pa
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	D_g	= 375	mm
Diameter boorstang	D_b	= 101	mm
Totale lengte	L	= 219,45	m
Lengte 1e rechte deel	L_1	= 23,61	m
Lengte neergaande bocht	L_2	= 52,36	m
Lengte 2e rechte deel	L_3	= 89,18	m
Lengte opgaande bocht	L_4	= 39,27	m
Lengte 3e rechte deel	L_5	= 15,03	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R_r	= 150,00	m
Straal neergaande bocht	R_1	= 150,00	m
Straal opgaande bocht	R_2	= 150,00	m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	α_1	= 20,00 / 36,4	° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	α_2	= 15,00 / 26,79	° / %
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 120	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	
Totaalfactor bij normale boring	f	= 1,4	
Belastingfactor	$f_{k,b}$	= 1,1	
Belastingfactor	$f_{k,o}$	= 1,4	
Wrijvingscoëff. zonder rollenbaan	f_1	= 0,3	
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	f_2	= 0,00005	N/mm ²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	f_3	= 0,2	
		26-08-2015 13:35:23	

Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting

Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m ³]	Wrijvings- hoek grond [°]
Berm	7,74	2,18	2,00	Zand	17,00	19,00	30,00
Berm	17,78	5,55	2,00	Zand	17,00	19,00	30,00
Insteek talud	21,16	6,53	2,00	Zand	19,00	21,00	32,50
1e rechte deel	23,62	7,03	2,00	Zand	19,00	21,00	32,50
Talud	25,81	7,17	2,00	Zand	19,00	21,00	32,50
Talud	29,92	7,12	1,00	Zand	19,00	21,00	32,50
Talud	32,06	7,09	0,00	Zand	19,00	21,00	32,50
Talud	33,53	6,97	0,00	Zand	19,00	21,00	32,50
Insteek bodem	47,19	6,02	-4,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Neergaande bocht	75,97	9,00	-4,00	Klei	17,00	17,00	17,50
2e rechte deel	120,55	9,00	-4,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Opgaande bocht	165,15	9,00	-4,00	Klei	17,00	17,00	17,50
3e rechte deel	204,43	3,89	-4,00	Klei	17,00	17,00	17,50

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingsconstante [N/mm ²]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
Berm	Geen	-	0,00	15,00	Grafiek I
Berm	Geen	-	0,00	15,00	Grafiek I
Insteek talud	Geen	-	0,00	35,00	Grafiek I
1e rechte deel	Geen	0,0660	0,00	35,00	Grafiek 1/2 x II
Talud	Geen	0,0660	0,00	35,00	Grafiek 1/2 x II
Talud	Geen	0,0660	0,00	35,00	Grafiek 1/2 x II
Talud	Geen	0,0660	0,00	35,00	Geen
Talud	Geen	0,0660	0,00	35,00	Geen
Insteek bodem	Geen	0,0130	2,00	2,00	Geen
Neergaande bocht	Geen	0,0130	2,00	2,00	Geen
2e rechte deel	Geen	-	2,00	2,00	Geen
Opgaande bocht	Geen	0,0130	2,00	2,00	Geen
3e rechte deel	Geen	-	2,00	2,00	Geen



* Niet op schaal

2. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 213,20	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 231,60	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	$r_i = D_i / 2$	= 106,60	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 115,80	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 90.328.744,19	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 722.629,95	mm ³
Wandraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 519,13	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 56,43	mm ³ /mm ¹
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 13.387,71	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,1279	N/mm ¹

3. Berekening van het gewicht van de leiding tijdens het intrekken van de leiding

	<i>Leiding op rollenbaan/maaveld</i>	<i>Leiding in boorgat</i>
Gewicht mediumleiding	$g = 0,1279 \text{ N/mm}^1$	$g = 0,1279 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,1279 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,1279 \text{ N/mm}^1$

4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds

4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaveld

Trekkracht T_1 tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_1 [N]
Starten met trekken	219,45	11.784
Na 1 ^e deel intrekken	204,42	10.977
Na 2 ^e deel intrekken	165,15	8.868
Na 3 ^e deel intrekken	75,97	4.079
Na 4 ^e deel intrekken	23,61	1.268

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,4 \cdot L \cdot 0,1279 \cdot 0,3$$

4.2 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten op rollenbaan/maaveld

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_1 [N]	σ_t [N/mm ²]
Starten met trekken	11.784	0,88
Na 1 ^e deel intrekken	10.977	0,82
Na 2 ^e deel intrekken	8.868	0,66
Na 3 ^e deel intrekken	4.079	0,30
Na 4 ^e deel intrekken	1.268	0,09

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{13.387,71}$$

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{90.328.744}{150.000} = 645.850,52 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{645.850,52}{722.630} = \mathbf{0,89 \text{ N/mm}^2}$$

4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	σ_t [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	0,88	1,46
Na 1 ^e deel intrekken	0,82	1,40
Na 2 ^e deel intrekken	0,66	1,24
Na 3 ^e deel intrekken	0,30	0,89
Na 4 ^e deel intrekken	0,09	0,68

$$\sigma_a = \alpha_\sigma \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 0,89 + \sigma_t$$

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

5. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat

5.1 Berekening van de vereiste trekkkracht T_2 en T_{3a} in verband met wrijving tussen leiding en boorvloeistof/boorgangwand

Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof. 100% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet. Hieruit volgt: $D_{e,omtrek} = 785,40 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,128 \text{ N/mm}^1$

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

Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,437 \text{ N/mm}^1$

Trekkkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
1 ^e deel intrekken	15,03	2.664	-
2 ^e deel intrekken	54,30	-	9.624
3 ^e deel intrekken	143,48	25.430	-
4 ^e deel intrekken	195,84	-	34.711
Geheel ingetrokken	219,45	38.895	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,4 \cdot L \cdot (785,40 \cdot 0,00005 + 0,437 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,4 \cdot L \cdot (785,40 \cdot 0,00005 + 0,437 \cdot 0,2)$

5.3 Berekening van de vereiste trekkkracht T_{3b} in verband met wrijving door grondreactie in de bochten

Locatie	λ [mm ⁻¹]	R [m]	Q_r [N/mm ²]	T_{3b} [N]
1e rechte deel	0,0026	150	0,0058	967
Talud	0,0026	150	0,0058	967
Talud	0,0026	150	0,0058	967
Talud	0,0026	150	0,0058	967
Talud	0,0026	150	0,0058	967
Insteek bodem	0,0017	150	0,0026	644
Neergaande bocht	0,0017	150	0,0026	644
Opgaande bocht	0,0017	150	0,0026	644

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

$$Q_r = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot 0,9 \cdot R}$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,4 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 250 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

5.4 Berekening van de wrijving door bochtkracht T_{3c}

Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	T_{bocht} [N]
Neergaande bocht	8.868	9.624	967	-	19.459
Opgaande bocht	1.268	34.711	967	644	37.589

Neergaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max}$

Opgaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max} + T_{3a,op} + T_{3b,op,max}$

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N]
Neergaande bocht	10,00	19.459	1.892
Opgaande bocht	7,50	37.589	3.655

$T_{3c} = f \cdot L_B \cdot g_t \cdot f_3$

$L_B = 2 \cdot R \cdot 2\pi \cdot \frac{\alpha}{360}$

$g_t = \frac{2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha)}{L_B}$

$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,4 \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$

5.5 Totalisatie van de trekkrachten in fase II

Trekkraft T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 / T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3c,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{3c,op}$ [N]	T_{tot} [N]
1 ^e deel intrekken	10.977	2.664	-	-	-	-	13.641
2 ^e deel intrekken	8.868	9.624	967	1.892	-	-	21.351
3 ^e deel intrekken	4.079	25.430	967	1.892	-	-	32.369
4 ^e deel intrekken	1.268	34.711	967	1.892	644	3.655	42.229
Geheel intrekken	0	38.895	967	1.892	644	3.655	45.146

$T_{\text{tot}} = T_1 + T_2 + T_{3a} + T_{3b,neer,max} + T_{3c,neer} + T_{3b,op,max} + T_{3c,op}$

5.6 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten in fase II

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]
1 ^e deel intrekken	13.641	1,02
2 ^e deel intrekken	21.351	1,59
3 ^e deel intrekken	32.369	2,42
4 ^e deel intrekken	42.229	3,15
Geheel intrekken	45.146	3,37

$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{13.387,71}$

5.7 *Optredende spanningen t.g.v. kromming van de leiding in het boorgat*

5.7.1 *Neergaande bocht*

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{l_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{90.328.744,19}{0,9 \cdot 150.000} = 913.323,97 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{913.323,97}{722.629,95} = 1,26 \text{ N/mm}^2$$

5.7.2 *Opgaande bocht*

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{l_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{90.328.744,19}{0,9 \cdot 150.000} = 913.323,97 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{913.323,97}{722.629,95} = 1,26 \text{ N/mm}^2$$

5.8 *Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie*

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	13.641	1,02	-	1,02
Na 1 ^e deel intrekken	21.351	1,59	1,26	2,42
Na 2 ^e deel intrekken	32.369	2,42	-	2,42
Na 3 ^e deel intrekken	42.229	3,15	1,26	3,98
Na 4 ^e deel intrekken	45.146	3,37	-	3,37

Rechte delen: $\sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{13.387,71} = \sigma_t$

Gebogen delen: $\sigma_a = \alpha_\sigma \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot \sigma_b + \sigma_t$

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

6. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase

6.1 Berekening van de spanningen σ_p en σ_d t.g.v. inwendige druk

Leiding is drukloos:

$$\sigma_p = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

6.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

Leiding is drukloos:

$$f_{rr} = 1,00$$

6.3 Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	q_{droog} [kN/m ²]	q_{nat} [kN/m ²]	q_{totaal} [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]
Berm	2,18	2,00	Zand	37,40	3,76	41,16	9,84
Berm	5,55	2,00	Zand	37,40	74,20	111,60	19,02
Insteek talud	6,53	2,00	Zand	41,80	104,64	146,44	25,29
1e rechte deel	7,03	2,00	Zand	41,80	116,19	157,99	26,92
Talud	7,17	2,00	Zand	41,80	119,43	161,23	27,38
Talud	7,12	1,00	Zand	20,90	141,37	162,27	25,27
Talud	7,09	0,00	Zand	0,00	163,78	163,78	23,22
Talud	6,97	0,00	Zand	0,00	161,01	161,01	22,83
Insteek bodem	6,02	-4,00	Klei	0,00	112,57	112,57	13,09
Neergaande bocht	9,00	-4,00	Klei	0,00	168,30	168,30	19,58
2e rechte deel	9,00	-4,00	Klei	0,00	168,30	168,30	19,58
Opgaande bocht	9,00	-4,00	Klei	0,00	168,30	168,30	19,58
3e rechte deel	3,89	-4,00	Klei	0,00	72,74	72,74	8,46

$$Q_n = (\gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o$$

6.4 Berekening van de verkeersbelasting Q_v

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeers- belasting	q_v [kN/m ²]	Q_v [N/mm ¹]
Berm	2,18	Grafiek I	23,04	5,76
Berm	5,55	Grafiek I	9,10	2,27
Insteek talud	6,53	Grafiek I	7,53	1,88
1e rechte deel	7,03	Grafiek ½ x II	1,32	0,33
Talud	7,17	Grafiek ½ x II	1,29	0,32
Talud	7,12	Grafiek ½ x II	1,30	0,33
Talud	7,09	Geen	0,00	0,00
Talud	6,97	Geen	0,00	0,00
Insteek bodem	6,02	Geen	0,00	0,00
Neergaande bocht	9,00	Geen	0,00	0,00
2e rechte deel	9,00	Geen	0,00	0,00
Opgaande bocht	9,00	Geen	0,00	0,00
3e rechte deel	3,89	Geen	0,00	0,00

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 250$$

6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	Q _n [N/mm ¹]	Q _v [N/mm ¹]	Q _{boven} [N/mm ¹]	M _q [Nmm]	σ _q [N/mm ¹]
Berm	9,84	5,76	15,60	249,30	4,42
Berm	19,02	2,27	21,30	340,35	6,03
Insteek talud	25,29	1,88	27,17	434,17	7,69
1e rechte deel	26,92	0,33	27,25	435,53	7,72
Talud	27,38	0,32	27,70	442,73	7,85
Talud	25,27	0,33	25,59	408,99	7,25
Talud	23,22	0,00	23,22	371,06	6,58
Talud	22,83	0,00	22,83	364,78	6,46
Insteek bodem	13,09	0,00	13,09	209,24	3,71
Neergaande bocht	19,58	0,00	19,58	312,82	5,54
2e rechte deel	19,58	0,00	19,58	312,82	5,54
Opgaande bocht	19,58	0,00	19,58	312,82	5,54
3e rechte deel	8,46	0,00	8,46	135,21	2,40

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,138 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 115,80$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{56,43}$$

6.6 Optredende spanning σ_{qr} tgv. grondreactie in de bochten

Locatie	R [m]	Q _r [N/mm ²]	σ _{qr} [N/mm ²]
1e rechte deel	150	0,0058	0,26
Talud	150	0,0058	0,26
Talud	150	0,0058	0,26
Talud	150	0,0058	0,26
Talud	150	0,0058	0,26
Insteek bodem	150	0,0026	0,12
Neergaande bocht	150	0,0026	0,12
Opgaande bocht	150	0,0026	0,12

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,083 \cdot Q_r \cdot 250 \cdot \frac{125,00}{56,43}$$

6.7 Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil

Leiding is drukloos

$$\sigma_{ax} = 0 \text{ N/mm}^2$$

7. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

$$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$$

$$S_N = 975 \cdot \frac{519,13}{231,6^3} = 0,04 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{40,74 \text{ kN/m}^2}$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = **0,5 kN/m²**

8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$

Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$

$$p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$$

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 519,13}{231,60^3} = 0,78 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 519,13}{231,60^3} = 0,14 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **13,93 m** grondwater boven de leiding

9. Berekening van het totaal aan optredende spanningen

9.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

Locatie	σ_q [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_{y2} [N/mm ²]
Berm	4,42	-	0,65	2,87
Berm	6,03	-	0,65	3,92
Insteek talud	7,69	-	0,65	5,00
1e rechte deel	7,72	0,26	0,65	5,19
Talud	7,85	0,26	0,65	5,27
Talud	7,25	0,26	0,65	4,88
Talud	6,58	0,26	0,65	4,45
Talud	6,46	0,26	0,65	4,37
Insteek bodem	3,71	0,12	0,65	2,49
Neergaande bocht	5,54	0,12	0,65	3,68
2e rechte deel	5,54	-	0,65	3,60
Opgaande bocht	5,54	0,12	0,65	3,68
3e rechte deel	2,40	-	0,65	1,56

Rechte delen: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$

Bochten: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$

Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$

9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

Locatie	σ_{ax} [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_x [N/mm ²]
Berm	0,00	-	-	0,00
Berm	0,00	-	-	0,00
Insteek talud	0,00	-	-	0,00
1e rechte deel	0,00	1,26	0,65	0,82
Talud	0,00	1,26	0,65	0,82
Talud	0,00	1,26	0,65	0,82
Talud	0,00	1,26	0,65	0,82
Talud	0,00	1,26	0,65	0,82
Insteek bodem	0,00	1,26	0,65	0,82
Neergaande bocht	0,00	1,26	0,65	0,82
2e rechte deel	0,00	-	-	0,00
Opgaande bocht	0,00	1,26	0,65	0,82
3e rechte deel	0,00	-	-	0,00

 Rechte delen: $\sigma_x = \sigma_{ax}$

 Bochten: $\sigma_x = \sigma_{ax} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_b$

 Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = 8,00$ N/mm²

10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_r [N/mm ²]	δ_Y [mm]	δ_Y/D_g [%]
Berm	9,84	5,76	-	6,33	2,73
Berm	19,02	2,27	-	8,65	3,73
Insteek talud	25,29	1,88	-	11,75	5,07
1e rechte deel	26,92	0,33	0,0058	11,79	5,09
Talud	27,38	0,32	0,0058	11,98	5,17
Talud	25,27	0,33	0,0058	11,07	4,78
Talud	23,22	0,00	0,0058	10,04	4,34
Talud	22,83	0,00	0,0058	9,87	4,26
Insteek bodem	13,09	0,00	0,0026	3,47	1,50
Neergaande bocht	19,58	0,00	0,0026	5,18	2,24
2e rechte deel	19,58	0,00	-	5,18	2,24
Opgaande bocht	19,58	0,00	0,0026	5,18	2,24
3e rechte deel	8,46	0,00	-	2,24	0,97

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 115,80^3}{350 \cdot 519,13}$$

 Toelaatbare deflectie = 8% · D_g = 0,08 · 231,60 = **18,53** mm

11. Berekening van de boorspoeldrukken tijdens de trekfase

Locatie	H [m]	σ_{vert} [kN/m ²]	σ_{hor} [kN/m ²]	σ_o' [kN/m ²]	p'_f [kN/m ²]	G [MN/m ²]
Berm	2,18	32,22	16,11	24,16	36,25	5,77
Berm	5,55	56,73	28,36	42,55	63,82	5,77
Insteek talud	6,53	75,73	35,04	55,38	85,14	13,46
1e rechte deel	7,03	80,27	37,14	58,71	90,25	13,46
Talud	7,17	81,55	37,73	59,64	91,68	13,46
Talud	7,12	72,91	33,74	53,32	81,97	13,46
Talud	7,09	64,45	29,82	47,14	72,47	13,46
Talud	6,97	63,36	29,32	46,34	71,24	13,46
Insteek bodem	6,02	32,84	22,96	27,90	38,20	0,71
Neergaande bocht	9,00	49,09	34,33	41,71	56,16	0,71
2e rechte deel	9,00	49,09	34,33	41,71	56,16	0,71
Opgaande bocht	9,00	49,09	34,33	41,71	56,16	0,71
3e rechte deel	3,89	21,22	14,84	18,03	25,36	0,71

$$\sigma_{vert} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

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

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

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

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

Locatie	Q [-]	$R_{p,max}$ [m]	u [N/mm ²]	p_{st} [N/mm ²]	Δ_p [N/mm ²]	p_{lim} [N/mm ²]
Berm	0,0021	1,09	0,0018	0,002031	0,00	0,29
Berm	0,0037	0,98	0,0355	0,04005	0,00	0,45
Insteek talud	0,0022	1,26	0,0453	0,05111	0,00	0,77
1e rechte deel	0,0023	1,22	0,0503	0,05675	0,01	0,80
Talud	0,0024	1,22	0,0517	0,05833	0,01	0,81
Talud	0,0021	1,29	0,0612	0,06904	0,01	0,77
Talud	0,0019	1,37	0,0709	0,07999	0,01	0,72
Talud	0,0018	1,38	0,0697	0,07863	0,01	0,71
Insteek bodem	0,014	3,01	0,1002	0,1130	0,01	0,21
Neergaande bocht	0,020	4,50	0,1300	0,1467	0,02	0,28
2e rechte deel	0,020	4,50	0,1300	0,1467	0,03	0,28
Opgaande bocht	0,020	4,50	0,1300	0,1467	0,04	0,28
3e rechte deel	0,010	1,95	0,0789	0,08901	0,04	0,16

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

$$R_{p,max} = \frac{H}{2}; R_{p,max,zand} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot \epsilon_{g,max}} \text{ of } \frac{H}{2}$$

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$p_{st} = \rho_m \cdot g \cdot h_z$$

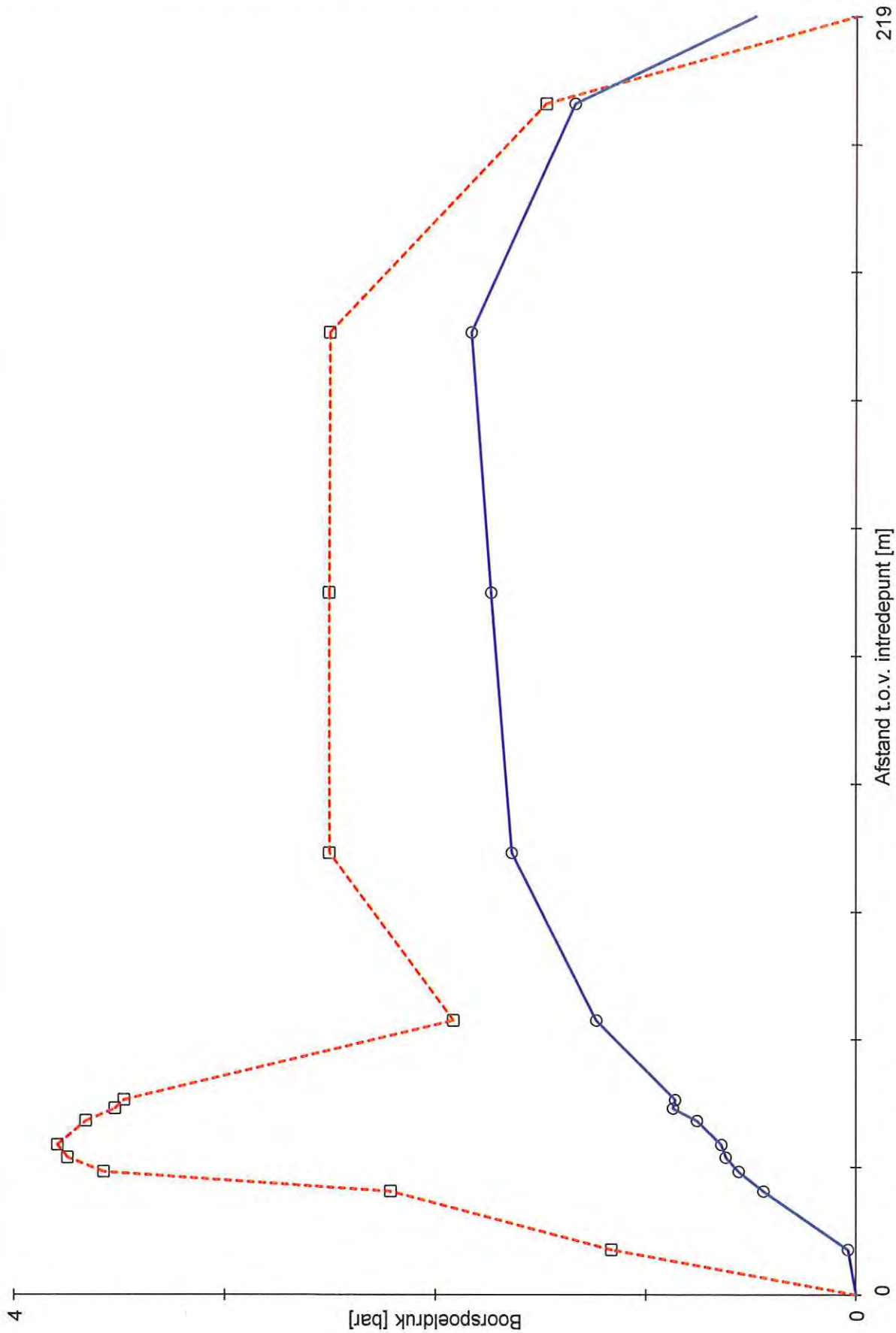
$$\Delta_p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$$

$$p_{lim} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q \cdot \frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

Locatie	p_{max} [N/mm ²]	90% p_{lim} [N/mm ²]	p_{min} [N/mm ²]	p_{max} [bar]	90% p_{lim} [bar]	p_{min} [bar]
Berm	0,12	0,26	0,00	1,16	2,57	0,04
Berm	0,22	0,40	0,04	2,21	4,04	0,44
Insteek talud	0,36	0,69	0,06	3,57	6,90	0,56
1e rechte deel	0,37	0,72	0,06	3,74	7,20	0,62
Talud	0,38	0,73	0,06	3,79	7,28	0,64
Talud	0,37	0,69	0,08	3,66	6,89	0,76
Talud	0,35	0,65	0,09	3,52	6,49	0,87
Talud	0,35	0,64	0,09	3,48	6,41	0,86
Insteek bodem	0,21	0,19	0,12	2,06	1,91	1,23
Neergaande bocht	0,27	0,25	0,16	2,75	2,50	1,63
2e rechte deel	0,27	0,25	0,17	2,75	2,50	1,73
Opgaande bocht	0,27	0,25	0,18	2,75	2,50	1,83
3e rechte deel	0,15	0,15	0,13	1,51	1,48	1,34

$$p_{max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{R_o^2}{R_{p,max}} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

$$p_{min} = p_{st} + \Delta p$$



Algemene gegevens

Naam van het project : Windpark Fryslan - boringen t.b.v. windparkbekabeling
Projectonderdeel : HDD boring Breezanddijk - Afsluitdijk - tekening nr. 482.15.2.039-104 Boring 15 - 250 HDPE

Grondmechanische gegevens

Grondsoort		= Klei	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 17	kN/m ³
Volumiek gewicht natte grond	γ_n	= 17	kN/m ³
Volumiek gewicht water	γ_w	= 10	kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	φ	= 17,5	°
Effectieve cohesie	c'	= 2	kN/m ²
E-modulus ondergrond	E_{100}	= 2	MN/m ²

Aanleggegevens

Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 8,4	m
G.W.S. t.o.v. maaiveld		= -4	m
Afstand t.o.v. intredepunt	L	= 180	m
Soortelijk gewicht boorvloeistof	ρ_m	= 11,5	kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	τ_y	= 15	Pa
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	D_g	= 375	mm
Diameter boorstang	D_b	= 101	mm

1. Maximaal toelaatbare boorspoeldruk (conform NEN 3650-serie)

1.1 Verticale terreinspanning

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H - \gamma_w \cdot H$$

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{17}{1,1} \cdot 8,4 - 10 \cdot 8,4 = 45,82 \text{ kN/m}^2$$

1.2 Horizontale terreinspanning

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

$$\sigma_{\text{hor}} = 45,82 \cdot (1 - \sin(17,5)) = 32,04 \text{ kN/m}^2$$

1.3 Gemiddelde terreinspanning

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

$$\sigma_o' = \frac{45,82 + 32,04}{2} = 38,93 \text{ kN/m}^2$$

1.4 Boorspoeldruk waarbij de eerste plastische vervormingen optreden

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

$$p_f' = 38,93 \cdot (1 + \sin(17,5)) + 2 \cdot \cos(17,5) = 52,54 \text{ kN/m}^2$$

1.5 Glijdingsmodulus

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

$$G = \frac{2}{2 \cdot (1 + 0,4)} = 0,71 \text{ MN/m}^2$$

1.6 Bepaling van Q

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

$$Q = \frac{38,93 \cdot \sin(17,5) + 2 \cdot \cos(17,5)}{0,71 \cdot 10^3} = 0,019$$

1.7 Bepaling initiële straal boorgang en max. toelaatbare plastische zone

$$R_o = \frac{D_o}{2} = 187,5 \text{ mm}$$

$$R_{p,max} = \frac{H}{2}$$

$$R_{p,max} = \frac{8400,0}{2} = 4.200,00 \text{ mm}$$

1.8 Berekening van de aanwezige water spanning

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$u = (10 \cdot 12,4) \cdot 10^{-3} = 0,12 \text{ N/mm}^2$$

1.9 Effectieve limietdruk

$$p_{lim} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

$$p_{lim} = (52,54 + 2 \cdot \cot(17,5)) \cdot Q^{\frac{-\sin 17,5}{1 + \sin 17,5}} - c \cdot \cot(17,5) + 0,12 = 0,26 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{lim,90\%} = 0,9 \cdot 0,26 = \mathbf{0,24 \text{ N/mm}^2} = \mathbf{2,38 \text{ bar}} = \mathbf{238,29 \text{ kPa}}$$

1.10 Maximaal toelaatbare boorspoeldruk

$$p_{max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{R_o^2}{R_{p,max}^2} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

$$p_{max} = (52,54 + 17,5 \cdot \cot(2)) \cdot \left(\frac{187,5^2}{4.200,00^2} + 0,02 \right)^{\frac{-\sin 17,5}{1 + \sin 17,5}} - 2 \cdot \cot(17,5) + 0,12$$

$$p_{max} = \mathbf{0,26 \text{ N/mm}^2} = \mathbf{2,61 \text{ bar}} = \mathbf{261,42 \text{ kPa}}$$

2. Minimaal benodigde boorspoeldruk

2.1 Statische druk

$$p_{st} = \rho_m \cdot g \cdot h_z$$

$$p_{st} = (1.150,00 \cdot 9,81 \cdot 12,40) \cdot 10^{-6} = 0,14 \text{ N/mm}^2$$

2.2 Drukverschil

$$\Delta p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$$

$$\Delta p = 4 \cdot \frac{0,000015}{375 - 101} \cdot 180.000,00 = 0,04 \text{ N/mm}^2$$

2.3 Minimaal benodigde boorspoeldruk

$$p_{min} = p_{st} + \Delta p$$

$$p_{min} = 0,14 + 0,04 = \mathbf{0,18 \text{ N/mm}^2} = \mathbf{1,79 \text{ bar}} = \mathbf{179,31 \text{ kPa}}$$

3. Conclusie

$$p_{lim,90\%} < p_{max} \rightarrow p_{lim,90\%} \text{ is maatgevend}$$

$$p_{lim,90\%} > p_{min}$$

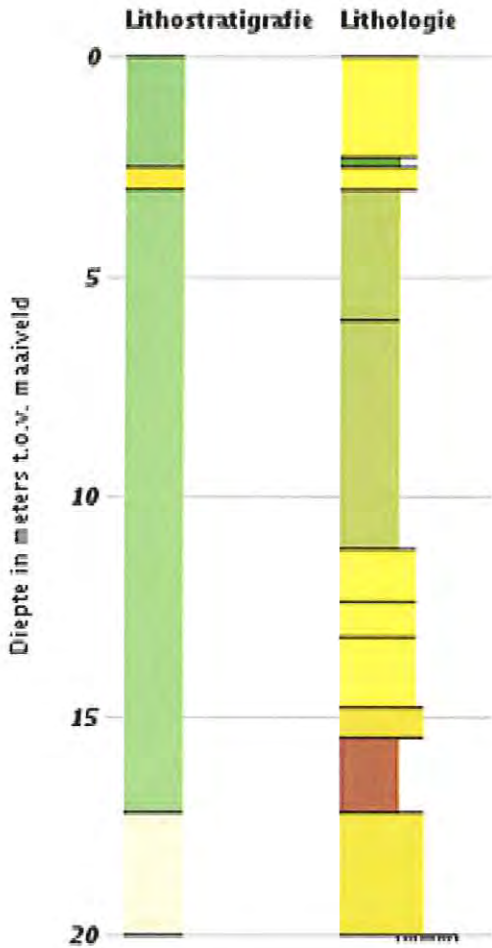
Boormonsterprofiel en interpretatie

Identificatie: B10C0171

Coördinaten: 143653, 559082

Maaiveld: -3,65 m t.o.v. NAP

Dieptetraject t.o.v. Maaiveld: 0,00 m - 20,00 m



Lithostratigrafie

- NA
- BX
- EE
- DN

Lithologie

- Leem
- Klei
- Zand fijne categorie
- Zand midden categorie
- Veen

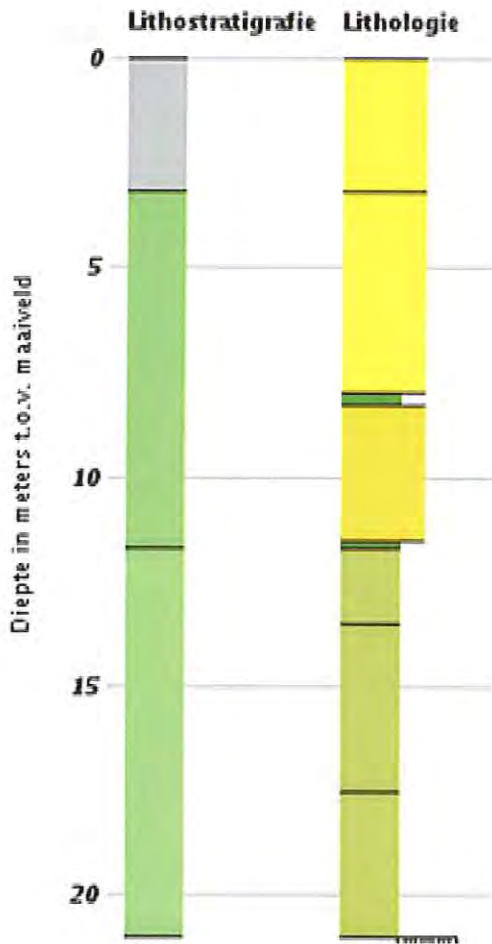
Boormonsterprofiel en interpretatie

Identificatie: B10C1157

Coördinaten: 143003, 559302

Maaiveld: 4,00 m t.o.v. NAP

Dieptetraject t.o.v. Maaiveld: 0,00 m - 21,00 m



Lithostratigrafie

- AAOP
- NA
- EE

Lithologie

- Leem
- Klei
- Zand fijne categorie
- Zand midden categorie

Bijlage 4: Certificaten en productomschrijving

TUNNEL-GEL™ PLUS



THE *Original* DRILLING FLUIDS COMPANY.

Viscosifier/Gellant

- Beschrijving:** TUNNEL-GEL™ PLUS is speciaal geformuleerd voor gebruik in tunnelling en HDD. TUNNEL-GEL™ PLUS geeft de boorvloeistof viscositeit om het transport van boorgruis te bevorderen, maakt gemakkelijk verwijderen van de vaste delen d.m.v. scheidings-materieel, geeft stabiliteit aan het boorgat en levert een goed waterverlies (FL). Het is compatible met andere BAROID producten.
- Toepassing/Functies:**
- Geeft viscositeit aan de boorspoeling.
 - Heeft draagkracht voor het transport van boorgruis.
 - Reduceert waterpenetratie in de waterdoorlatende formatie.
 - Bevordert boorgat stabiliteit in moeilijke **consolidated** formaties.
- Voordelen:**
- Goed draagvermogen tijdens het boren.
 - Goede suspensie capaciteit tijdens stilstand.
 - Gemakkelijk te mengen en bereikt snel de maximale viscositeit.
 - Niet giftig en fermenteert niet.
- Typische eigenschappen:** Poeder, geel tot bruin
Gewicht 2,600 kg/cm³
pH in 3% oplossing 10,4
- Aanbevolen gebruik:** Meng langzaam door een hopper of strooi het in de vortex d.m.v. hoge snelheids **peddels**.
In normale condities gebruik, voeg 25 – 35 kg/m³ aan leidingwater toe.
In moeilijke of grind condities, voeg 35 – 40 kg/m³ aan leidingwater toe.
Als het aanmaakwater een lage pH en/of een hoge hardheid heeft, voeg 0,7 kg SODA ASH per m³ aan het water toe, daarna TUNNEL-GEL™ PLUS
- Verpakking:** TUNNEL-GEL™ PLUS is verpakt in 25 kg meervoudige, special gecoatte zakken en in 1.000 kg big-bags.
- Verkrijgbaar:** TUNNEL-GEL™ PLUS wordt geleverd door onze distributeurs.

Voor zover wij kunnen beoordelen, is bovengenoemde informatie correct. Wij kunnen u echter geen garanties geven over de resultaten die u hiermee zult bereiken. Deze beschrijving wordt u aangeboden op voorwaarde dat u zelf bepaalt in hoeverre zij geschikt is voor uw doeleinden.

Bijlage 5: Technische gegevens diverse rigs

Boorrig 4 ton, fabrikaat Vermeer D7x11 series II



Trekkkracht	4 ton
Drukkkracht	4 ton
Mechanisme	Tandheugel (R&P)
Afmetingen machine	4010 x 900 x 1780 mm (afstand intredepunt - achterzijde rig 6 mtr)
Gewicht machine	2,5 ton
Motor	Turbo diesel (35 kW = 50 PK)
Hellingshoek	10° - 18°
Boormotor koppel	2711 Nm
Cabine	Geen cabine
Lavette	Slaglengte 1.800 mm

Toebehoren

Boorstangen	Firesticks II, L = 180 cm Ø 40 mm
Swivel	7 ton
Barrelreamers / Flycutters	Vanaf Ø 60 mm t/m Ø 315 mm
Boorkoppen	Jet Bit 70 mm t.b.v. walk-over/draadmeetsysteem
Meng- en pompsysteem	Site-Tec 200 ltr/min mix- & pompinstallatie gebouwd in vrachtwagen
Transport	4x2 bakwagen

Boorrig 7 ton, fabrikaat Vermeer D16x20 series II



Trekkkracht	7,2 ton
Drukkkracht	7 ton
Mechanisme	Tandheugel (R&P)
Afmetingen machine	5100 x 1220 x 1920 mm (afstand intredepunt - achterzijde rig 6,5 mtr)
Gewicht machine	4,8 ton
Motor	Turbo diesel (47 kW = 65 PK)
Hellingshoek	10° - 18°
Boormotor koppel	2711 Nm
Cabine	Geen cabine
Lavette	Slaglengte 3.000 mm

Toebehoren

Boorstangen	Firesticks II, L = 300 cm Ø 48 mm
Swivel	10 ton
Barrelreamers / Flycutters	Vanaf Ø 60 mm t/m Ø 315 mm
Boorkoppen	Jet Bit 70 mm t.b.v. walk-over/draadmeetsysteem
Meng- en pompsysteem	Site-Tec 200 ltr/min mix- & pompinstallatie gebouwd in vrachtwagen
Transport	4x2 bakwagen

Boorrig 16 ton, fabrikaat Vermeer D36



Trekkkracht	16,5 ton
Drukkkracht	16 ton
Mechanisme	Tandheugel (R&P)
Afmetingen machine	6502 x 1905 x 2769 mm (afstand intredepunt - achterzijde rig 7 mtr)
Gewicht machine	9 ton
Rupsonderstel lxb	ca. 2200 x 400 mm Rubber (grondruk 5 N/cm ²)
Motor	6 cylinder turbo diesel (104 kW = 140 PK)
Hellingshoek	10° - 18°
Boormotor koppel	6800 Nm
Cabine	Vaste cabine met transportstand
Lavette	Slaglengte 3.000 mm

Toebehoren

Boorstangen	Firesticks II, L = 300 cm Ø 60 mm
Swivel	20 ton
Barrelreamers / Flycutters	Vanaf Ø 125 mm t/m Ø 750 mm
Boorkoppen	Jet Bit 70 mm t.b.v. walk-over/draadmeetsysteem
Meng- en pompsysteem	Site-Tec 750 ltr/min mix- & pompinstallatie gebouwd op containersysteem
Transport	Transport op 6x6, rig op semi-dieplader

Boorrig 100 ton, fabrikaat Prime PD 100 / 50 RP



Trekkracht	100 ton
Drukkracht	50 ton
Mechanisme	Tandheugel (R&P)
Afmetingen machine LxBxH	11000 x 1220 x 1920 mm (afstand intredepunt - achterzijde rig 17-20 mtr)
Gewicht machine	25 ton
Rupsonderstel lxb	ca. 4400 x 800 mm (gronddruk 7 N/cm ²)
Motor	6 cylinder turbo diesel (104 kW = 140 PK)
Hellingshoek	8° - 17° (praktisch 10° - 15°)
Boormotor koppel	50.000 Nm
Cabine	Vaste cabine met transportstand
Lavette	Slaglengte t.b.v. boorstangen 6.000 mm

Toebehoren

Boorstangen	5" met 4 1/2 IF tooljoint en 3,5" met 3 1/2 IF tooljoint
Swivel	100 ton, max. belasting 200 ton
Ruimers en Flycutters	Vanaf Ø 150 mm t/m Ø 1.350 mm
Boorkop	9-5/8" Toothbit + RVS bit
Mix- en recycling unit	1.600 ltr of 3.200 ltr / min, afhankelijk van de omvang van de boring. 1 of 2 st 20 ft containers.
Meng- en pompunit	2.500 ltr/min mix- & pompinstallatie gebouwd op containersysteem
Transport	Alles is gebouwd op 20 ft container met kabelsysteem. Eigen kraanauto (8x4).

Bijlage 6: Drill-sheet

**BIJLAGE 3C BOORPLAN SNELWEG
BREEZANDDIJK**



BOORPLAN

Engineering HDD boring t.b.v. kabeltracé Winpark Friesland Afsluitdijk / Kornwerderzand

Oprachtgever : Windpark Fryslân BV
Project : Aanbrengen hoogspanningkabels Windpark Fryslân
Hoofdaannemer : Nader te bepalen
Aannemer H.D.D.-boringen : Nader te bepalen
Kenmerk : 482.15.2.039-06
Versie : 1

	Naam	Functie	Datum	Paraaf
Auteur	A. Lammersen	Engineer	21-08-2015	
Verificatie				
Autorisatie	M.H.H. Berger	Directeur	21-08-2015	

INHOUDSOPGAVE

- 1 Projectomschrijving 4**
- 2 Werkmethode 6**
- 3 OMSchrijving werkzaamheden 8**
 - 3.1 *Tijdschema 8*
 - 3.2 *Indicatieve personeelsbezetting boring 9*
 - 3.3 *Kwaliteit en keuring van bouwmaterialen 10*
 - 3.3.1 Buizen 10
 - 3.3.2 Boorvloeistof 10
 - 3.3.3 Debieten 10
 - 3.3.4 Samenstellen en intrekken van de HDPE leiding 11
 - 3.4 *In te zetten boormaterieel (voorbeeld) 12*
 - 3.5 *Boortechnische wijze van uitvoering 13*
 - 3.5.1 Werkterrein 13
 - 3.5.2 Werkwijze Gestuurde Boringen 14
 - 3.5.3 Kwaliteitsregistratie 14
 - 3.6 *Bestaande kabels en leidingen 15*
 - 3.7 *Overlegstructuur, procesbeheersing, procedures 15*
- 4 Berekeningen voor de boringen 16**
 - 4.1 *Uitgangspunten 16*

Materiaal en buis gegevens 16

 - 4.1.1 Grondgegevens 18
 - 4.1.2 Belastingen 18
 - 4.2 *Berekeningen 19*
 - 4.2.1 De mantelbuis op rollenbaan 19
 - 4.2.2 De mantelbuis het boorgat intrekken 19
 - 4.2.3 De 'bedrijfstoestand' van de mantelbuis 20
 - 4.2.4 Deflectie berekening 20
 - 4.2.5 Boorspoel berekening 21
 - 4.3 *Conclusies 21*

Bijlagen

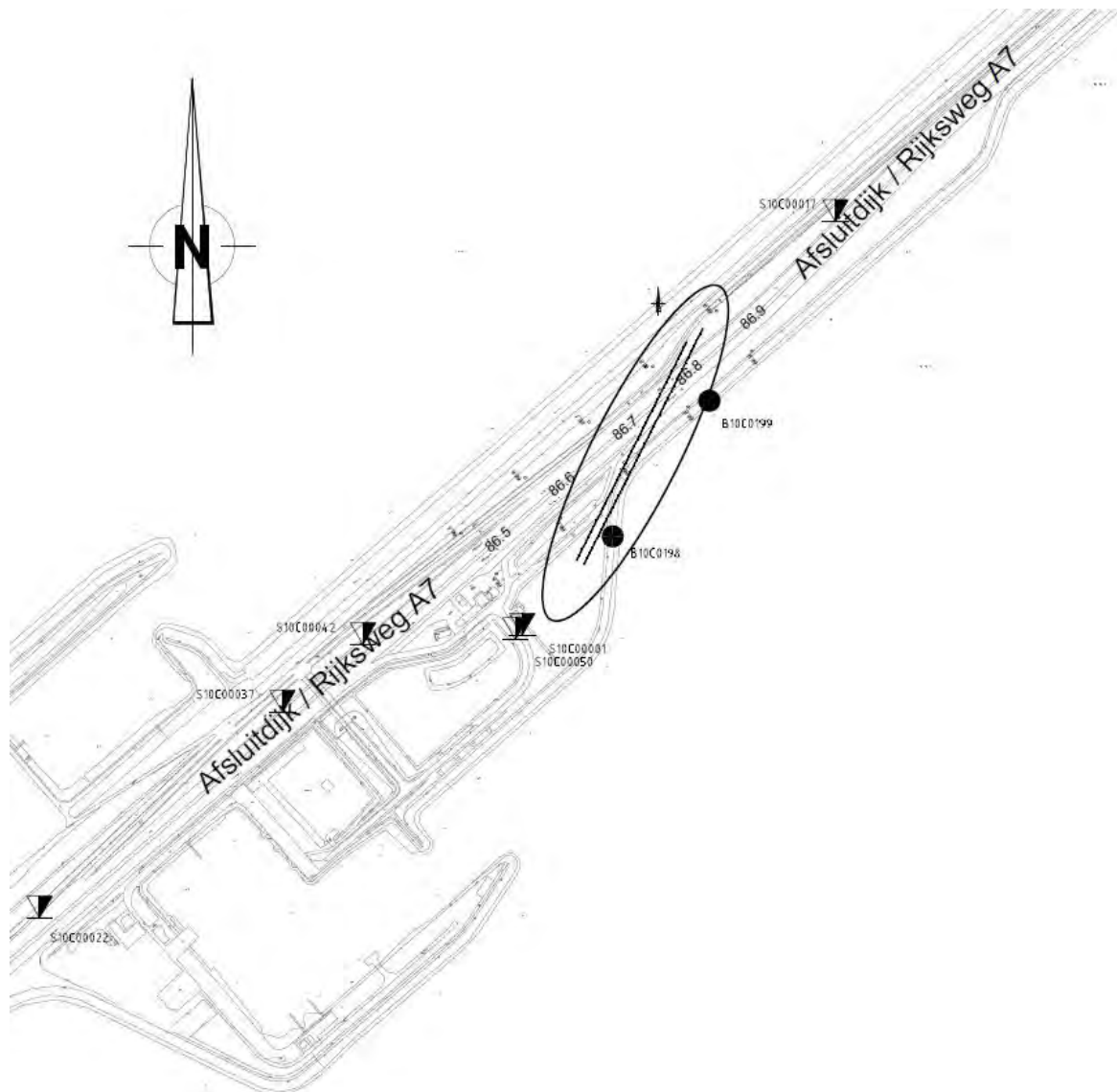
- Bijlage 1: Tekening
- Bijlage 2: Luchtfoto
- Bijlage 3: Grondonderzoek, sterkte- en muddrukberendingen
- Bijlage 4: Certificaten en productomschrijving
- Bijlage 5: Technische gegevens rig 4 ton t/m rig 100 ton
- Bijlage 6: Drill-sheet

1 PROJECTOMSCHRIJVING

Om Windpark Fryslân op het openbare electriciteitsnet aan te sluiten is een kabeltracé voorzien dat loopt vanaf het substation op Breezanddijk naar de kop van de afsluitdijk. Het kabeltracé van Windpark Fryslân bestaat uit twee kabelcircuits van 3 1-fase kabels elk plus twee mantelbuizen voor glasvezelkabels. Het deel van het kabeltracé dat over de Afsluitdijk loopt, is gepland aan de noordkant van de snelweg, deels onder het bestaande fietspad. Daar waar aanleg middels openontgraving of niet mogelijk is, zijn horizontaalgestuurde boringen (HDD's) gepland.

Om de uitvoerbaarheid te toetsen zijn in dit document een boorplan opgesteld waarin in een van de mogelijke uitvoeringswijze omschreven is en zijn de berekeningen te vinden van een horizontaalgestuude boring die gepland is voor het kruisen van de Rijksweg A7 ten hoogte van KM 86.7 nabij Breezanddijk. Dit document is geschreven ten behoeve van de vergunningsaanvraag en is niet bestemd voor de uitvoering. Definitieve werkplannen zullen 3 maanden en de definitieve boorplannen 3 weken voor de start van de uitvoering van de werkzaamheden worden ingediend bij de vergunningverlenende instanties.

De passage bij de A7 zal gemaakt worden middels een tweetal boringen met een onderlinge afstand van circa 5,0 m. De lengte van de boringen is ca. 315 meter (zie tekening nr. 482.15.2.039-106 – boring nr. A en 482.15.2.039-106 – boring nr. B. Per boring wordt een bundel mantelbuizen aangebracht, te weten 3 stuks 250 HDPE en 1 stuks 110 HDPE. In deze mantelbuizen komen de kabels van windpark Fryslân te liggen.



De werkmethode is gebaseerd op de volgende documenten:

- Werkomschrijving voor het project
- Boorplan:
 - 482.15.2.039-06
- Detailtekeningen:
 - 482.15.2.039-106_R0
- Geotechnische informatie DINO loket
- NEN 3650/3651

2 WERKMETHODE

Voor de aanleg van ondergrondse netwerken bestaande uit kabels en leidingen kunnen horizontaal gestuurd boringen ingezet worden om wegen, watergangen en andere infrastructurele constructies te kruisen. Daar de werkzaamheden worden uitgevoerd met een sleufloze techniek wordt de hinder bovengronds tot een minimum beperkt.

Voorafgaand aan de uitvoering van een horizontaal gestuurd boring wordt geotechnisch grondonderzoek uitgevoerd. Afhankelijk van de van eisen van de vergunningverlenende instantie kan dit onderzoek bestaan uit sonderingen, handboring of andere geotechnisch grondonderzoeken. De gegevens hiervan dienen als input voor de sterkte- en muddrukberoeeningen en het boorplan. Van elke boring worden tekeningen gemaakt welke de boring volledig in kaart brengen. Deze documenten worden ingediend bij de vergunningverlenende instanties als onderdeel van het boorplan.

De geotechnische gegevens die gebruikt zijn voor het maken van de onderliggende berekeningen behorend bij deze boring zijn verkregen uit een bureaustudie. Voor deze berekeningen zijn de gebruikte gegevens conservatief geïnterpreteerd. Geotechnische grondonderzoeken ten behoeve van de uitvoering zullen ten behoeve van het definitieve boorplan worden uitgevoerd conform die hiervoor geldende normen.

Een horizontaal gestuurde boring is een techniek waarbij de werkzaamheden vanaf het maaiveld plaatsvinden. De uitvoering van een horizontaal gestuurde boring is opgebouwd uit drie fasen:

- Mobiliseren;
- Pilotboring;
- Ruimfase;
- Intrekken van leiding;
- Demobiliseren.

Het mobiliseren bestaat uit het gereed maken van het terrein. Indien nog wordt er op de opstelplaats van de boorinstallatie een baan van een zand pakket of rijplaten aangebracht. Hiernaast wordt alle benodigde materieel aangevoerd en opgesteld. Aan de uittrede kant van de boring wordt in deze fase de leiding uitgelegd en gelast.

Als eerst wordt vanaf het intredepunt een pilotboring uitgevoerd in het ontworpen tracé. Na de intrede wordt gestart met een rechtstand vervolgd door een neergaande bocht, een horizontaal gedeelte, na de opgaande bocht wordt het uittredepunt bereikt. Afhankelijk van de beschikbare ruimte en de buigstraal van de opgaande bocht kan na de opgaande bocht nog een rechtstand worden uitgevoerd. Tijdens de eerste fase worden de coördinaten van de pilotboring door middel van driedimensionale plaatsbepaling van de pilotboring verkregen. Bijvoorbeeld middels een gyroscoopmeetsysteem.

In de tweede fase, de ruimfase, wordt aan het uiteinde van de boorstreng een ruimer (of verdringer) geplaatst. Tijdens de ruimfase, welke uit meerder ruimgangen kan bestaan, wordt de gewenste diameter van de boorgang verkregen. De keuze van de soort ruimer is afhankelijk van de plaatselijke grondslag. Bij het aanbrengen van mantelbuizen / mediumvoerende buizen met een geringe diameter kan fase 2 (extra ruimgang) komen te vervallen en wordt de mantelbuis direct achter de

ruimer ingetrokken (zoals omschreven in onderstaande “laatste” ruimgang).

De derde en laatste fase is het intrekken van de productleiding(-en). De gereedliggende leiding(-en) worden hierbij met behulp van een trekkop direct achter de ruimer bevestigd en terug getrokken door het boorgat.

Als de leiding is in getrokken wordt het materieel gedemobiliseerd en het terrein hersteld.

Tijdens alle fasen wordt gebruik gemaakt van zo geheten boorspoeling. Deze is bedoeld om de boorkop te koelen, de losgeboorde grond af te voeren en het stabiel houden van de tunnelwand. De boorspoeling wordt vanaf een hogedrukpomp via een hogedrukslang naar de boorinstallatie verpompt, door de holle boorstangen en door zijkanalen in de boorkop vervolgens de grond ingepompt. Tijdens iedere fase worden de doorspoeldrukken geregistreerd. Dit wordt gedaan om te controleren of er een constante return van de boorspoeling is. Tijdens de laatste fase, het intrekken van de leiding, kan er voor gekozen worden om drillgrout te gebruiken in plaats van bentoniet.

3 OMSCHRIJVING WERKZAAMHEDEN

Het volgende hoofdstuk bevat de werkomschrijving zoals de HDPE mantelbuizen door een nader te bepalen aannemer kunnen worden aangebracht.

3.1 Tijdschema

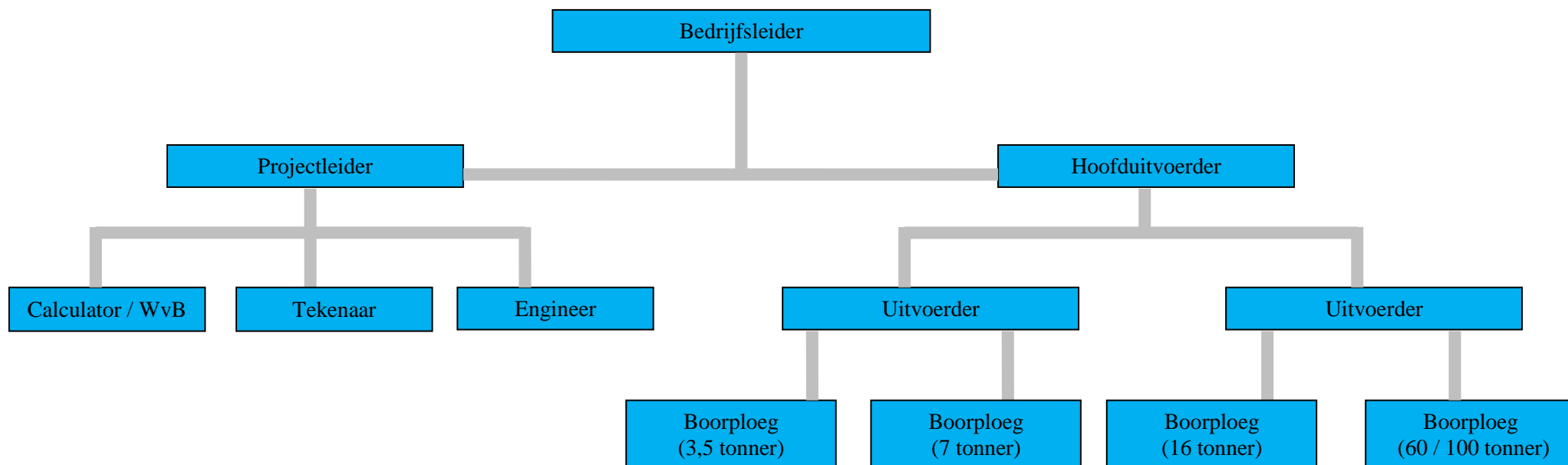
Hieronder wordt een globale planning van de HDD-boringen weergegeven.

Boring: HDD-boring nr. A en boring nr. B.

Inrichten werfterrein	
Aanvoer en mobilisatie	1,0 dag
Pilotboring - Boring nr. A	1,0 dag
Ruimen- Boring nr. A	1,0 dag
Intrekken - Boring nr. A	1,0 dag
Omzetten boorstelling	1,0 dag
Pilotboring - Boring nr. B	1,0 dag
Ruimen- Boring nr. B	1,0 dag
Intrekken - Boring nr. B	1,0 dag
Demobiliseren en afvoeren	1,0 dag
Opruimen en herstellen werfterrein	

De startdatum van de werkzaamheden wordt bepaald in overleg met de opdrachtgever. Mogelijk wordt het intrekken van de mantelbuis in één aaneengesloten fase uitgevoerd. Hierdoor kan het voorkomen dat er volcontinu geboord moet worden totdat de boring gereed is.

3.2 Indicatieve personeelsbezetting boring



Bezetting afhankelijk van bedrijfsprofiel opdrachtnemer

3.3 Kwaliteit en keuring van bouwmaterialen

Alle te gebruiken materialen en grondstoffen zullen minimaal voldoen aan de hiervoor in Nederland geldende kwaliteitsnormen.

3.3.1 Buizen

HDPE buis

De in te trekken HDPE buizen worden door de aannemer te beschikking gesteld en op het werk geleverd.

3.3.2 Boorvloeistof

De boorvloeistof kan samengesteld worden uit met water vermengde bentoniet. Indien nodig wordt bekeken of de samenstelling van de boorspoeling verder aangepast dient te worden aan de lokale bodemopbouw. Uitgangspunt daarbij is dat een boorspoeling wordt verkregen die voldoende steun geeft aan het boorgat in de plaatselijke ondergrond.

De gemiddelde samenstelling van de boorspoeling bedraagt 30-50 kg bentoniet per 1.000 liter water. Het soortelijke gewicht van de boorspoeling bedraagt circa 1.200 kg/m³ afhankelijk van de omstandigheden. Een certificaat van een mogelijk product is in bijlage 5 opgenomen. Tijdens de laatste fase, het intrekken van de leiding, kan er voor gekozen worden om drillgrout te gebruiken in plaats van bentoniet.

3.3.3 Debieten

Op basis van de te verwachten samenstelling van de grondgesteldheid, zijn voor de verschillende boorfases de volgende debieten berekend:

Pilotfase: 10 à 30 l/min

Intrekken: 40 à 80 l/min

Om ongewenste muduitbraken te voorkomen dient de maximaal toelaatbare muddruk niet door de minimaal benodigde muddruk te worden overschreden. De volledige berekening van de muddruk is te vinden in bijlage 3.

In de meeste gevallen is de muddruk tijdens Pilotfase maatgevend omdat tijdens deze fase de afstroming van de vrijkomende boorspoeling slechts aan één zijde mogelijk is. Dit doet zich hoofdzakelijk voor bij het uittredepunt van de boring en in mindere mate aan het beging. Door bij het naderen van het uittredepunt de voortgangssnelheid, het debiet en de druk in dat gebied te verlagen is de kans op een zogenaamde Blow-Out nihil.

3.3.4 Samenstellen en intrekken van de HDPE leiding

Het samenstellen van de leiding gebeurt met hydraulische kranen en gekwalificeerd personeel. Het samenstellen van de mantelbuizen zal geschieden op het land. De exacte locatie wordt nader bepaald. De HDPE leiding zal vanaf het maaiveld worden ingetrokken. De in te trekken HDPE buis zal mogelijk uit verschillende lengten bestaan en zal vooraf door middel van spiegellassen samengesteld worden aan uittrede kant. De lasser en apparatuur zal RTD gekwalificeerd zijn.

Buizen tot de diameter \emptyset 200 kunnen worden geleverd uit één stuk (afhankelijk van de totaallengte van de mantelbuis). Er worden dus geen spiegellassen aangebracht en de buis kan rechtstreek vanaf de haspel worden ingetrokken.

3.4 In te zetten boormaterieel (voorbeeld)



Figuur 2: 100 tons boorinstallatie

(minimaal) In te zetten boorinstallatie m.b.t. tot de uit te voeren boring

De HDD boring, zoals beschreven in dit boorplan, zal worden uitgevoerd met behulp van een maxi rig met een trekkracht van minimaal 100 ton, zie bijlage 3 voor de volledige berekening van de trekkracht. De boring wordt bijvoorbeeld uitgevoerd met behulp van een gyroscoopmeetsysteem.

De op de afbeelding weergegeven boorinstallatie is ter indicatie. De aannemer bepaalt welk boormaterieel er ingezet wordt voor de uitvoering van deze boring. Voorbeelden van technische gegevens van mogelijk boormaterieel, zijn terug te vinden in bijlage 5.

3.5 Boortechnische wijze van uitvoering

3.5.1 Werkterrein

Indien nodig wordt er voordat het boormaterieel wordt aangevoerd een zandbaan en/of rijplatenbaan en werkterrein aangelegd.

Intredelocatie:

De intredelocatie van de boring is gelegen aan de IJsselmeerkant ter hoogte van Breezanddijk, zie Figuur 1. De locatie wordt, indien noodzakelijk, voorzien van een zandbaan en / of platenbaan. De benodigde oppervlakte bedraagt ca 600m².

Op de intredelocatie zal het volgende materieel worden ingezet.

- Boorrig 300 ton (incl. boorstangen en werkplaatscontainer);
- Bentonietpomp 2.500 ltr;
- Mixinstallatie 2.500 ltr;
- Recyclinginstallatie 3.200 ltr incl. voorraadtank
- 4 stuks Wavo pompen;
- Stroomaggregaat;
- Schaftkeet;
- graafmachine.

Plaatsing van apparatuur wordt aangepast aan de plaatselijke omstandigheden. De bovenstaande weergave is een voorbeeld. De booraannemer bepaalt de inzet van het benodigde materieel en materiaal. Hiernaast dient de aannemer zorg te dragen voor de benodigde verkeersvoorzieningen. Op tekening 482 15 2 039-202 is een indicatie van een mogelijke opstelling van het materieel te zien.

De maximale berekende trekkracht is circa 80 ton (80,623). De volledige berekening van de trekkracht is te vinden in bijlage 3. Het is aan booraannemer om zijn boorequipment hierop aan te passen.

Ter plaatse van het intredpunt wordt een put van circa 2 m² gegraven om de uitkomende boorspoeling op te vangen. Ter plaats van het intrede punt wordt ook de boorspoeling aangemaakt. Indien hier geen water voorhanden is wordt er voor het aanmaken van de boorspoeling water aangevoerd. De vrijkomende spoeling wordt gerecycled. Na het maken van beide boringen wordt de voerbodige boorspoeling afgevoerd door zuigwagens naar een geschikte stortplaats.

Uittredelocatie:

Bij het uittredpunt, welke is gelegen ten noorden van de Rijksweg A7 (nabij km 86,9), zie Figuur 1, kan worden volstaan met een werkterrein van ca. 100 m². Dit is exclusief de benodigde werkstrook voor het uitleggen en samenstellen van de in te brengen boorstreng. De uittredelocatie wordt ingericht met onder andere boorpijpen en eventueel een graafmachine. Ook hier kunnen de werkterreinen waar nodig worden voorzien van een zand- en platenbaan.

3.5.2 Werkwijze Gestuurde Boringen

- Aan- en afvoer via normaal wegtransport, truck met dieplader voor boor rig (het een en ander afhankelijk van het in te zetten materieel).
- Inrichten in- en uittredezijde boring met rijplaten en eventueel bouwhekken;
- Lokaliseren ligging kabels en leidingen;
- Graven intrede- en uittredeput voor boring (ca. 2 m³);
- Mobilisatie boorinstallatie met toebehoren op rig-site;
- Mixen bentonietspoeling;
- Globale samenstelling 30 - 50 kg bentoniet / 1 m³ water;
- Mits dit nodig is, kunnen er eventueel polymeren toegepast worden;
- Water voor spoelingsamenstelling zal in de omgeving worden verkregen (of worden aangevoerd);
- Maken pilotboring;
- Ruimen van het boorgat;
- Intrekken mantelbuizen;
- Leegzuigen van de boorgaten d.m.v. vloeistofdichte zuigwagens;
- Demobilisatie van de boorinstallatie en afvoer van het materieel. Werkwijze omgekeerd identiek als bij aanvoer en opbouw;
- Opruimen en herstellen werkterrein rondom in- en uittredepunt inclusief toegangsweg.

3.5.3 Kwaliteitsregistratie

Tijdens de pilotboringen, het ruimen van de boorgaten en het intrekken van de buizen worden een aantal gegevens zoals torque, mudflow, trekkracht door middel van meters op de rig weergegeven. De gegevens worden bijgehouden op een registratieformulier muddrukken. Eventueel vindt registratie van locatie en hoogteligging in RD – coördinaten t.o.v. NAP plaats.

Als er met een walkovermeetsysteem gewerkt wordt, worden de meetgegevens van de survey met de hand bijgehouden, als er met een gyroscoopmeetsysteem geboord wordt gebeurt dit automatisch. Aan de hand van deze gegevens en van de veldmetingen wordt de revisie gemaakt. De revisie zal worden ingetekend op het tracé en detail tekeningen van het omvattende werk welk wordt verzorgd door aannemer. Alle geregistreerde gegevens worden door de booraannemer gearchiveerd. Hiernaast zal er tijdens de aanleg toezicht zijn vanuit de opdrachtgever.

3.6 Bestaande kabels en leidingen

Voor uitvoering wordt door aannemer een KLIC melding gedaan, om de ligging van de bestaande ondergrondse infrastructuur in kaart te brengen. Tevens zal indien nodig met de betreffende leidingbeheerders contact worden opgenomen. Voor aanvang van de boring worden er proefsleuven gemaakt nabij het begin en einde van de boringen. Aan de hand van deze proefsleuven worden vervolgens de in- en uittredeputten gegraven.

In het dwarsprofiel van de boring, zoals weergegeven op tekeningen nr. 482.15.2.039-105 zijn de bestaande kabels en leidingen weergegeven. De KLIC melding zal tijdens de uitvoering op het werkaanwezig zijn.

3.7 Overlegstructuur, procesbeheersing, procedures

Voor dit project wordt een V&G – (deel)plan opgesteld welke tijdens uitvoering op het werk aanwezig zal zijn. Het V&G plan wordt 3 maanden voorafgaand aan de uitvoering van de werkzaamheden ingediend.

4 BEREKENINGEN VOOR DE BORINGEN

Voor uitvoering van de boringen kunnen diverse berekeningen uitgevoerd worden met betrekking tot treksterkte van de buizen en de muddrukken. Deze berekeningen zijn uitgevoerd conform NEN 3650 / 3651.

4.1 Uitgangspunten

Materiaal en buis gegevens

Voor de horizontaal gestuurde boring zijn de volgende materiaal en mantelbuizen gehanteerd:

Boring nr. A 250 (HDPE) – tekening nr. 482.15.2.039-106

Materiaal	:	HDPE PE 100 SDR-11
Aantal buizen	:	3 st
Uitwendige diameter	:	250 mm
Wanddikte	:	22,8 mm
Korte duur Elasticiteitsmodulus	:	975 N/mm ²
Lange duur Elasticiteitsmodulus	:	350 N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	:	16×10 ⁻⁵ (mm/mm) K ¹
Axiale verhouding zuivere trek/buigtrek	:	0,65 -
Tangentiele verhouding zuivere trek/buigtrek	:	0,65 -
Toelaatbare korte duur spanning	:	10,0 N/mm ²
Toelaatbare lange duur spanning	:	8,0 N/mm ²
Lengte boring	:	291,72 m
Diepte boring	:	circa 11,39 m - t.o.v. maaiveld
Intrede hoek boring	:	14 °
Uittredehoek boring	:	15 °
Bochtstraal neergaande bocht	:	150 m
Bochtstraal opgaande bocht	:	150 m
Kromtestraal op de rollenbaan/maaiveld	:	150 m

Boring nr. A (110 HDPE) – tekening nr. 482.15.2.039-106

Materiaal	:	HDPE PE 100 SDR-11
Aantal buizen	:	1 st
Uitwendige diameter	:	110 mm
Wanddikte	:	10,0 mm
Korte duur Elasticiteitsmodulus	:	975 N/mm ²
Lange duur Elasticiteitsmodulus	:	350 N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	:	16×10 ⁻⁵ (mm/mm) K ¹
Axiale verhouding zuivere trek/buigtrek	:	0,65 -
Tangentiele verhouding zuivere trek/buigtrek	:	0,65 -
Toelaatbare korte duur spanning	:	10,0 N/mm ²
Toelaatbare lange duur spanning	:	8,0 N/mm ²

Lengte boring	:	291,72	m
Diepte boring	:	circa 11,39	m - t.o.v. maaiveld
Intrede hoek boring	:	14	°
Uittredehoek boring	:	15	°
Bochtstraal neergaande bocht	:	150	m
Bochtstraal opgaande bocht	:	150	m
Kromtestraal op de rollenbaan/maaiveld	:	150	m

Boring nr. B (250 HDPE) – tekening nr. 482.15.2.039-106

Materiaal	:	HDPE PE 100 SDR-11
Aantal buizen	:	3st
Uitwendige diameter	:	250 mm
Wanddikte	:	22,8 mm
Korte duur Elasticiteitsmodulus	:	975 N/mm ²
Lange duur Elasticiteitsmodulus	:	350 N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	:	16×10 ⁻⁵ (mm/mm) K ¹
Axiale verhouding zuivere trek/buigtrek	:	0,65 -
Tangentiele verhouding zuivere trek/buigtrek	:	0,65 -
Toelaatbare korte duur spanning	:	10,0 N/mm ²
Toelaatbare lange duur spanning	:	8,0 N/mm ²

Lengte boring	:	314,66	m
Diepte boring	:	circa 11,39	m - t.o.v. maaiveld
Intrede hoek boring	:	15	°
Uittredehoek boring	:	15	°
Bochtstraal neergaande bocht	:	150	m
Bochtstraal opgaande bocht	:	150	m
Kromtestraal op de rollenbaan/maaiveld	:	150	m

Boring nr. B (110 HDPE) – tekening nr. 482.15.2.039-106

Materiaal	:	HDPE PE 100 SDR-11
Aantal buizen	:	1st
Uitwendige diameter	:	110 mm
Wanddikte	:	10,0 mm
Korte duur Elasticiteitsmodulus	:	975 N/mm ²
Lange duur Elasticiteitsmodulus	:	350 N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	:	16×10 ⁻⁵ (mm/mm) K ¹
Axiale verhouding zuivere trek/buigtrek	:	0,65 -
Tangentiele verhouding zuivere trek/buigtrek	:	0,65 -
Toelaatbare korte duur spanning	:	10,0 N/mm ²
Toelaatbare lange duur spanning	:	8,0 N/mm ²

Lengte boring	:	314,66	m
Diepte boring	:	circa 11,39	m - t.o.v. maaiveld
Intrede hoek boring	:	15	°
Uittredehoek boring	:	15	°
Bochtstraal neergaande bocht	:	150	m
Bochtstraal opgaande bocht	:	150	m

Kromtestraal op de rollenbaan/maaiveld : 150 m

4.1.1 Grondgegevens

Het onderzoek bestaat uit sondering inclusief elektrische kleef en grondgegevens conform NEN 5140. De resultaten van het onderzoek zijn opgenomen in Bijlage 3 van dit rapport en op de boortekening.

De onzekerheidsfactoren voor de grondmechanische parameters zijn in deze parameters nog niet verwerkt, deze worden separaat in de berekening meegenomen, overeenkomstig Tabel B.2 "Partiële onzekerheidsfactoren in verband met modelonzekerheidtabel" van de NEN 3650.

4.1.2 Belastingen

In de sterkteberekening zijn de volgende belastingen meegenomen.

Eigengewicht, excl. inhoud Q_{eg}

Het eigengewicht van de lege buis is in de berekening als gewichtsbelasting opgenomen, met inachtneming van de grondwaterstand.

Grondbelasting Q

De grondbelasting wordt berekend conform de formules zoals opgegeven in de NEN 3650.

Verkeersbelasting Q_v

Voor de buis is de verkeersbelasting overeenkomend, volgens de VOSB, aangehouden.

4.2 Berekeningen

Voor de sterkteberekening van de horizontaal gestuurde boring wordt onderscheid gemaakt in de volgende fases:

§ 4.2.1: De buis op rollenbaan

§ 4.2.2: De buis het boorgat intrekken

§ 4.2.3: De 'bedrijfstoestand' van de buis

In §4.2.4 en 4.2.5 is respectievelijk de berekening van de deflectie en de muddruk opgenomen.

4.2.1 De mantelbuis op rollenbaan

Voor de berekening van de spanningen in de mantelbuis, t.b.v. de windparkbekabeling, op de rollenbaan wordt verwezen naar pagina 5 van de sterkteberekeningen, opgenomen in Bijlage 3.

De omtrekspanning S_x is nihil en wordt bij het intrekken niet in oenschouw genomen.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-106 boring nr. A – 110 HDPE.

De maximaal berekende langsspanning S bedraagt $1,75 \text{ N/mm}^2$, deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de kromtestraal op de rollenbaan en de wrijving tussen de buis en het maaiveld.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-106 boring nr. A – 250 HDPE.

De maximaal berekende langsspanning S bedraagt $2,07 \text{ N/mm}^2$, deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de kromtestraal op de rollenbaan en de wrijving tussen de buis en het maaiveld.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-106 boring nr. B – 110 HDPE.

De maximaal berekende langsspanning S bedraagt $1,88 \text{ N/mm}^2$, deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de kromtestraal op de rollenbaan en de wrijving tussen de buis en het maaiveld.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-106 boring nr. B – 250 HDPE.

De maximaal berekende langsspanning S bedraagt $2,20 \text{ N/mm}^2$, deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de kromtestraal op de rollenbaan en de wrijving tussen de buis en het maaiveld.

4.2.2 De mantelbuis het boorgat intrekken

Voor de berekening van de spanningen in de mantelbuis, t.b.v. de windparkbekabeling, tijdens het intrekken van deze buis in het boorgat wordt verwezen naar pagina 8 van de sterkteberekeningen, opgenomen in Bijlage 3.

De omtrekspanning S_x is nihil en wordt bij het intrekken niet in oenschouw genomen.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-106 boring nr. A – 110 HDPE.

De maximaal berekende langsspanning S_y bedraagt $6,28 \text{ N/mm}^2$, deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de combinatie van de trekkracht voor het intrekken en spanningen t.g.v. de kromtestralen in de boring.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-106 boring nr. A – 250 HDPE.

De maximaal berekende langsspanning S_y bedraagt 5,19 N/mm², deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de combinatie van de trekkracht voor het intrekken en spanningen t.g.v. de kromtestralen in de boring.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-106 boring nr. B – 110 HDPE.

De maximaal berekende langsspanning S_y bedraagt 6,83 N/mm², deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de combinatie van de trekkracht voor het intrekken en spanningen t.g.v. de kromtestralen in de boring.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-106 boring nr. B – 250 HDPE.

De maximaal berekende langsspanning S_y bedraagt 5,58 N/mm², deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de combinatie van de trekkracht voor het intrekken en spanningen t.g.v. de kromtestralen in de boring.

4.2.3 De 'bedrijfstoestand' van de mantelbuis

In de 'bedrijfstoestand' van de mantelbuis, t.b.v. de windparkbekabeling, zijn op vijf maatgevende doorsneden de spanningen in de buis berekend, zoals weergegeven op de tekening met de letters A t/m E.

Voor de berekeningen van de spanningen in de buis in bedrijfstoestand wordt verwezen naar pagina's 10 & 11 van de sterkteberekeningen, opgenomen in Bijlage 3.

4.2.4 Deflectie berekening

De deflectie van de buis is berekend op de vijf aangegeven doorsneden, zoals weer gegeven op tekening nr. 482.15.2.039-106 opgenomen in Bijlage 3.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-106 boring nr. A – 110 HDPE.

De maximaal berekende deflectie van de mantelbuis, t.b.v. de windparkbekabeling, bedraagt 3,26 mm, zie pagina 13 van de sterkteberekening in Bijlage 3.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-106 boring nr. A – 250 HDPE.

De maximaal berekende deflectie van de mantelbuis, t.b.v. de windparkbekabeling, bedraagt 7,33 mm, zie pagina 13 van de sterkteberekening in Bijlage 3.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-106 boring nr. B – 110 HDPE.

De maximaal berekende deflectie van de mantelbuis, t.b.v. de windparkbekabeling, bedraagt 2,29 mm, zie pagina 13 van de sterkteberekening in Bijlage 3.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-106 boring nr. B – 250 HDPE.

De maximaal berekende deflectie van de mantelbuis, t.b.v. de windparkbekabeling, bedraagt 5,15 mm, zie pagina 13 van de sterkteberekening in Bijlage 3.

4.2.5 Boorspoel berekening

Op de markante doorsneden A t/m E, zijn de boorspoeldruk berekeningen uitgevoerd. De resultaten zijn opgenomen in genoemd op pagina 13 en 14 van de berekeningen in Bijlage 3.

Tevens is een aanvullende boorspoeldrukberekening bijgevoegd in Bijlage 3.

4.3 Conclusies

Op basis van de tekening, het grondmechanisch onderzoek en de beschreven uitgangspunten in dit rapport zijn de horizontaal gestuurde boringen berekend overeenkomstig de NEN 3650 en NEN 3651.

- **Boring tekening nr. 482.14.2.039-106 boring nr. A – 110 HDPE.**
- De maximaal berekende omtreksspanning ($S_x = 7,61 \text{ N/mm}^2$) en de maximaal berekende langsspanning ($S_y = 0,36 \text{ N/mm}^2$) zijn kleiner dan de toelaatbare spanningen ($St = 8 \text{ N/mm}^2$).
- De maximaal berekende deflectie bedraagt 3,26 mm, deze is kleiner dan de toelaatbare 8,00 mm.

- **Boring tekening nr. 482.14.2.039-106 boring nr. A – 250 HDPE.**
- De maximaal berekende omtreksspanning ($S_x = 7,74 \text{ N/mm}^2$) en de maximaal berekende langsspanning ($S_y = 0,82 \text{ N/mm}^2$) zijn kleiner dan de toelaatbare spanningen ($St = 8 \text{ N/mm}^2$).
- De maximaal berekende deflectie bedraagt 7,33 mm, deze is kleiner dan de toelaatbare 18,18 mm.

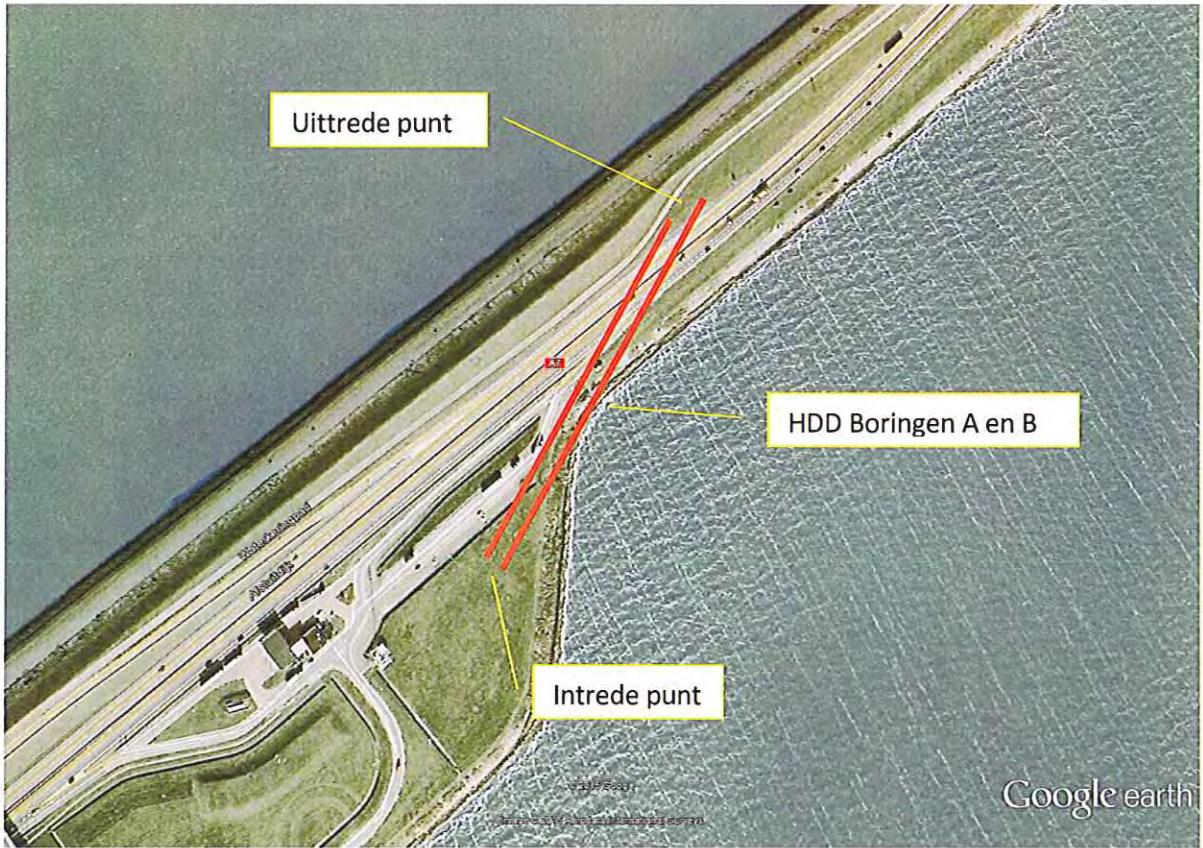
- **Boring tekening nr. 482.14.2.039-106 boring nr. B – 110 HDPE.**
- De maximaal berekende omtreksspanning ($S_x = 6,76 \text{ N/mm}^2$) en de maximaal berekende langsspanning ($S_y = 0,36 \text{ N/mm}^2$) zijn kleiner dan de toelaatbare spanningen ($St = 8 \text{ N/mm}^2$).
- De maximaal berekende deflectie bedraagt 2,29 mm, deze is kleiner dan de toelaatbare 8,00 mm.

- **Boring tekening nr. 482.14.2.039-106 boring nr. B – 250 HDPE.**
- De maximaal berekende omtreksspanning ($S_x = 6,78 \text{ N/mm}^2$) en de maximaal berekende langsspanning ($S_y = 0,82 \text{ N/mm}^2$) zijn kleiner dan de toelaatbare spanningen ($St = 8 \text{ N/mm}^2$).
- De maximaal berekende deflectie bedraagt 5,15 mm, deze is kleiner dan de toelaatbare 18,18 mm.

Uit de berekeningen volgt dat het ontwerp voldoet aan de gestelde eisen uit de betreffende normen.

Bijlage 1: Tekening

Bijlage 2: Luchtfoto



Bijlage 3: Grondonderzoek, sterkte- en muddrukberkeningen

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012 | Sigma 2012 3.0 ©

Algemene gegevens

 Naam van het project : Windpark Fryslan
 Projectonderdeel : HDD boring Breezanddijk - Afsluitdijk - tekening nr. 482.15.2.039-106 Boring A - 110 HDPE

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	-
Soortelijk gewicht buis	ρ_L	= 9,55	kN/m ³
Toelaatbare deflectie	δ	= 8	%

Leidinggegevens

Uitwendige middellijn	D_e	= 110,00	mm
Wanddikte	d_n	= 10	mm

Procesgegevens

Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos) = Drukloos

Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uitredeshoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren

Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 100	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	ρ_m	= 11,5	kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	τ_y	= 15	Pa
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	D_g	= 760	mm
Diameter boorstang	D_b	= 101	mm

Totale lengte	L	= 289,10	m
Lengte 1e rechte deel	L_1	= 23,09	m
Lengte neergaande bocht	L_2	= 36,65	m
Lengte 2e rechte deel	L_3	= 166,39	m
Lengte opgaande bocht	L_4	= 39,27	m
Lengte 3e rechte deel	L_5	= 23,70	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R_r	= 150,00	m
Straal neergaande bocht	R_1	= 150,00	m
Straal opgaande bocht	R_2	= 150,00	m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	α_1	= 14,00 / 24,93	° / %
Uitrede-hoek (bij rollenbaan)	α_2	= 15,00 / 26,79	° / %
Belastinghoek	α	= 30	°
Ondersteuningshoek	β	= 30	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	

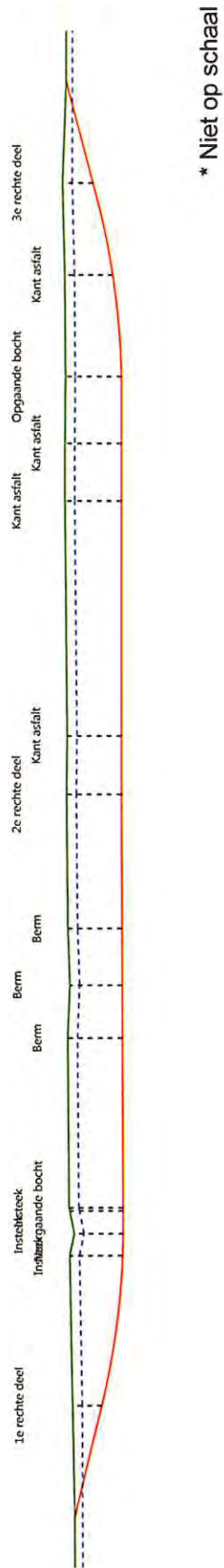
Totaalfactor bij boring met bundels	f	= 1,8	
Belastingfactor	$f_{k,b}$	= 1,1	
Belastingfactor	$f_{k,o}$	= 1,4	
Wrijvingscoëff. zonder rollenbaan	f_1	= 0,3	
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	f_2	= 0,00005	N/mm ²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	f_3	= 0,2	

27-08-2015 11:43:37

Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting

Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m ³]	Wrijvings- hoek grond [°]
1e rechte deel	23,09	5,95	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Insteek	53,30	10,72	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Insteek	57,73	9,89	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Neergaande bocht	62,36	10,80	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Insteek	63,01	10,95	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Berm	96,98	11,07	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Berm	107,58	10,60	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Berm	118,78	10,94	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
2e rechte deel	145,555	11,11	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Kant asfalt	157,22	10,94	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Kant asfalt	203,99	11,39	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Kant asfalt	215,49	11,40	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Opgaande bocht	228,75	11,29	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Kant asfalt	249,22	9,72	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
3e rechte deel	268,02	6,18	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingsconstante [N/mm ²]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
1e rechte deel	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
Insteek	Geen	0,0130	2,00	2,00	Grafiek I
Insteek	Geen	0,0130	2,00	2,00	Grafiek I
Neergaande bocht	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
Insteek	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
Berm	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
Berm	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
Berm	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
2e rechte deel	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
Opgaande bocht	Geen	0,0130	2,00	2,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	0,0620	0,00	75,00	Grafiek I
3e rechte deel	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I



* Niet op schaal

2. 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
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 3.141,59	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,0300	N/mm ¹

3. Berekening van het gewicht van de leiding tijdens het intrekken van de leiding

	<i>Leiding op rollenbaan/maaiveld</i>	<i>Leiding in boorgat</i>
Gewicht mediumleiding	$g = 0,0300 \text{ N/mm}^1$	$g = 0,0300 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$

4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds

4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld

Trekkracht T_1 tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_1 [N]
Starten met trekken	289,10	4.684
Na 1 ^e deel intrekken	265,40	4.300
Na 2 ^e deel intrekken	226,13	3.664
Na 3 ^e deel intrekken	59,74	968
Na 4 ^e deel intrekken	23,09	374

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,0300 \cdot 0,3$$

4.2 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_1 [N]	σ_t [N/mm ²]
Starten met trekken	4.684	1,49
Na 1 ^e deel intrekken	4.300	1,37
Na 2 ^e deel intrekken	3.664	1,17
Na 3 ^e deel intrekken	968	0,31
Na 4 ^e deel intrekken	374	0,12

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{3.141,59}$$

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.261}{150.000} = 28.358,76 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{28.358,76}{72.114} = 0,39 \text{ N/mm}^2$$

4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	σ_t [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	1,49	1,75
Na 1 ^e deel intrekken	1,37	1,62
Na 2 ^e deel intrekken	1,17	1,42
Na 3 ^e deel intrekken	0,31	0,56
Na 4 ^e deel intrekken	0,12	0,37

$$\sigma_a = \alpha_\sigma \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 0,39 + \sigma_t$$

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

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

Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof. 100% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet. Hieruit volgt: $D_{e,omtrek} = 345,58 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof: $g_{opw} = \rho_m \cdot D_o^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 110,00^2 \cdot \pi/4 = 0,109 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,0793 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
1 ^e deel intrekken	23,70	1.414	-
2 ^e deel intrekken	62,97	-	3.756
3 ^e deel intrekken	229,36	13.680	-
4 ^e deel intrekken	266,01	-	15.866
Geheel ingetrokken	289,10	17.243	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (345,58 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (345,58 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

5.3 Berekening van de vereiste trekkracht T_{3b} in verband met wrijving door grondreactie in de bochten

Locatie	λ [mm ⁻¹]	R [m]	Q_r [N/mm ²]	T_{3b} [N]
Insteek	0,0031	150	0,00081	65
Insteek	0,0031	150	0,00081	65
Opgaande bocht	0,0031	150	0,00081	65
Kant asfalt	0,0046	150	0,0018	96

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

$$Q_r = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot 0,9 \cdot R}$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 110 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

5.4 Berekening van de wrijving door bochtkracht T_{3c}

Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	T_{bocht} [N]
Neergaande bocht	3.664	3.756	65	-	7.484
Opgaande bocht	374	15.866	65	96	16.400

Neergaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max}$

Opgaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max} + T_{3a,op} + T_{3b,op,max}$

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N]
Neergaande bocht	7,00	7.484	657
Opgaande bocht	7,50	16.400	1.439

$$T_{3c} = f \cdot L_B \cdot g_t \cdot f_3$$

$$L_B = 2 \cdot R \cdot 2\pi \cdot \frac{\alpha}{360}$$

$$g_t = \frac{2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha)}{L_B}$$

$$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,8 \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$

5.5 Totalisatie van de trekkrachten in fase II

Trekkraft T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 / T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3c,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{3c,op}$ [N]	T_{tot} [N]
1 ^e deel intrekken	4.300	1.414	-	-	-	-	5.713
2 ^e deel intrekken	3.664	3.756	65	657	-	-	8.141
3 ^e deel intrekken	968	13.680	65	657	-	-	15.369
4 ^e deel intrekken	374	15.866	65	657	96	1.439	18.598
Geheel intrekken	0	17.243	65	657	96	1.439	19.602

$$T_{\text{tot}} = T_1 + T_2 + T_{3a} + T_{3b,neer,max} + T_{3c,neer} + T_{3b,op,max} + T_{3c,op}$$

5.6 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten in fase II

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]
1 ^e deel intrekken	5.713	1,82
2 ^e deel intrekken	8.141	2,59
3 ^e deel intrekken	15.369	4,89
4 ^e deel intrekken	18.598	5,92
Geheel intrekken	19.602	6,24

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{3.141,59}$$

5.7 *Optredende spanningen t.g.v. kromming van de leiding in het boorgat*

5.7.1 *Neergaande bocht*

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 150.000} = 40.103,30 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{40.103,30}{72.113,83} = \mathbf{0,56 \text{ N/mm}^2}$$

5.7.2 *Opgaande bocht*

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 150.000} = 40.103,30 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{40.103,30}{72.113,83} = \mathbf{0,56 \text{ N/mm}^2}$$

5.8 *Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie*

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	5.713	1,82	-	1,82
Na 1 ^e deel intrekken	8.141	2,59	0,56	2,95
Na 2 ^e deel intrekken	15.369	4,89	-	4,89
Na 3 ^e deel intrekken	18.598	5,92	0,56	6,28
Na 4 ^e deel intrekken	19.602	6,24	-	6,24

Rechte delen: $\sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{3.141,59} = \sigma_t$

Gebogen delen: $\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot \sigma_b + \sigma_t$

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

6. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase
6.1 Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pl} t.g.v. inwendige druk

Leiding is drukloos:

$$\sigma_p = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

6.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

Leiding is drukloos:

$$f_{rr} = 1,00$$

6.3 Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	Q_{droog} [kN/m ²]	Q_{nat} [kN/m ²]	Q_{totaal} [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]
1e rechte deel	5,95	2,00	Klei	37,40	73,87	111,27	7,89
Insteek	10,72	2,00	Klei	37,40	163,06	200,46	12,46
Insteek	9,89	2,00	Klei	37,40	147,54	184,94	11,66
Neergaande bocht	10,80	2,00	Klei	37,40	164,56	201,96	12,54
Insteek	10,95	2,00	Klei	37,40	167,37	204,77	12,68
Berm	11,07	2,00	Klei	37,40	169,61	207,01	12,79
Berm	10,60	2,00	Klei	37,40	160,82	198,22	12,34
Berm	10,94	2,00	Klei	37,40	167,18	204,58	12,67
2e rechte deel	11,11	2,00	Klei	37,40	170,36	207,76	12,83
Kant asfalt	10,94	2,00	Klei	37,40	167,18	204,58	12,67
Kant asfalt	11,39	2,00	Klei	37,40	175,59	212,99	13,10
Kant asfalt	11,40	2,00	Klei	37,40	175,78	213,18	13,11
Opgaande bocht	11,29	2,00	Klei	37,40	173,72	211,12	13,00
Kant asfalt	9,72	2,00	Zand	39,60	169,84	209,44	14,55
3e rechte deel	6,18	2,00	Zand	39,60	91,96	131,56	9,87

$$Q_n = (\gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o$$

6.4 Berekening van de verkeersbelasting Q_v

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeers- belasting	q_v [kN/m ²]	Q_v [N/mm ¹]
1e rechte deel	5,95	Grafiek I	8,41	0,92
Insteek	10,72	Grafiek I	3,81	0,42
Insteek	9,89	Grafiek I	4,30	0,47
Neergaande bocht	10,80	Grafiek I	3,77	0,41
Insteek	10,95	Grafiek I	3,69	0,41
Berm	11,07	Grafiek I	3,62	0,40
Berm	10,60	Grafiek I	3,88	0,43
Berm	10,94	Grafiek I	3,69	0,41
2e rechte deel	11,11	Grafiek I	3,60	0,40
Kant asfalt	10,94	Grafiek I	3,69	0,41
Kant asfalt	11,39	Grafiek I	3,46	0,38
Kant asfalt	11,40	Grafiek I	3,46	0,38
Opgaande bocht	11,29	Grafiek I	3,51	0,39
Kant asfalt	9,72	Grafiek I	4,42	0,49
3e rechte deel	6,18	Grafiek I	8,04	0,88

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 110$$

6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_{boven} [N/mm ¹]	M_q [Nmm]	σ_q [N/mm ¹]
1e rechte deel	7,89	0,92	8,82	113,32	6,80
Insteek	12,46	0,42	12,88	165,48	9,93
Insteek	11,66	0,47	12,14	155,98	9,36
Neergaande bocht	12,54	0,41	12,95	166,41	9,98
Insteek	12,68	0,41	13,08	168,14	10,09
Berm	12,79	0,40	13,19	169,52	10,17
Berm	12,34	0,43	12,77	164,10	9,85
Berm	12,67	0,41	13,08	168,02	10,08
2e rechte deel	12,83	0,40	13,23	169,99	10,20
Kant asfalt	12,67	0,41	13,08	168,02	10,08
Kant asfalt	13,10	0,38	13,48	173,24	10,39
Kant asfalt	13,11	0,38	13,49	173,35	10,40
Opgaande bocht	13,00	0,39	13,39	172,07	10,32
Kant asfalt	14,55	0,49	15,03	193,16	11,59
3e rechte deel	9,87	0,88	10,76	138,25	8,29

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 50,00$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{16,67}$$

6.6 Optredende spanning σ_{qr} tgv. grondreactie in de bochten

Locatie	R [m]	Q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
Insteek	150	0,00081	0,052
Insteek	150	0,00081	0,052
Opgaande bocht	150	0,00081	0,052
Kant asfalt	150	0,0018	0,11

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,179 \cdot Q_r \cdot 110 \cdot \frac{55,00}{16,67}$$

6.7 Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil

Leiding is drukloos

$$\sigma_{ax} = 0 \text{ N/mm}^2$$

7. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

$$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$$

$$S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100^3} = 0,08 \text{ N/mm}^2 = 81,25 \text{ kN/m}^2$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = 0,5 kN/m²

8. 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

9. Berekening van het totaal aan optredende spanningen

9.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

Locatie	σ_q [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_{y2} [N/mm ²]
1e rechte deel	6,80	-	0,65	4,42
Insteek	9,93	0,052	0,65	6,49
Insteek	9,36	0,052	0,65	6,12
Neergaande bocht	9,98	-	0,65	6,49
Insteek	10,09	-	0,65	6,56
Berm	10,17	-	0,65	6,61
Berm	9,85	-	0,65	6,40
Berm	10,08	-	0,65	6,55
2e rechte deel	10,20	-	0,65	6,63
Kant asfalt	10,08	-	0,65	6,55
Kant asfalt	10,39	-	0,65	6,76
Kant asfalt	10,40	-	0,65	6,76
Opgaande bocht	10,32	0,052	0,65	6,74
Kant asfalt	11,59	0,11	0,65	7,61
3e rechte deel	8,29	-	0,65	5,39

Rechte delen: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$

Bochten: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$

Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = 8,00$ N/mm²

9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

Locatie	σ_{ax} [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_x [N/mm ²]
1e rechte deel	0,00	-	-	0,00
Insteek	0,00	0,56	0,65	0,36
Insteek	0,00	0,56	0,65	0,36
Neergaande bocht	0,00	-	-	0,00
Insteek	0,00	-	-	0,00
Berm	0,00	-	-	0,00
Berm	0,00	-	-	0,00
Berm	0,00	-	-	0,00
2e rechte deel	0,00	-	-	0,00
Kant asfalt	0,00	-	-	0,00
Kant asfalt	0,00	-	-	0,00
Kant asfalt	0,00	-	-	0,00
Opgaande bocht	0,00	0,56	0,65	0,36
Kant asfalt	0,00	0,56	0,65	0,36
3e rechte deel	0,00	-	-	0,00

Rechte delen: $\sigma_x = \sigma_{ax}$

Bochten: $\sigma_x = \sigma_{ax} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_b$

Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = 8,00$ N/mm²

10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q _n [N/mm ¹]	Q _v [N/mm ¹]	Q _r [N/mm ²]	δ _y [mm]	δ _y /D _g [%]
1e rechte deel	7,89	0,92	-	1,17	1,17
Insteek	12,46	0,42	0,00081	1,71	1,71
Insteek	11,66	0,47	0,00081	1,61	1,61
Neergaande bocht	12,54	0,41	-	1,72	1,72
Insteek	12,68	0,41	-	1,74	1,74
Berm	12,79	0,40	-	1,75	1,75
Berm	12,34	0,43	-	1,69	1,69
Berm	12,67	0,41	-	1,73	1,73
2e rechte deel	12,83	0,40	-	1,76	1,76
Kant asfalt	12,67	0,41	-	1,73	1,73
Kant asfalt	13,10	0,38	-	1,79	1,79
Kant asfalt	13,11	0,38	-	1,79	1,79
Opgaande bocht	13,00	0,39	0,00081	1,78	1,78
Kant asfalt	14,55	0,49	0,0018	3,26	3,26
3e rechte deel	9,87	0,88	-	2,33	2,33

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33}$$

Toelaatbare deflectie = 8% · D_g = 0,08 · 100,00 = **8,00 mm**

11. Berekening van de boorspoeldrukken tijdens de trekfase

Locatie	H [m]	σ_{vert} [kN/m ²]	σ_{hor} [kN/m ²]	σ_o' [kN/m ²]	p'_f [kN/m ²]	G [MN/m ²]
1e rechte deel	5,95	52,45	36,68	44,57	59,88	0,71
Insteek	10,72	78,47	54,88	66,67	88,63	0,71
Insteek	9,89	73,95	51,71	62,83	83,63	0,71
Neergaande bocht	10,80	78,91	55,18	67,04	89,11	0,71
Insteek	10,95	79,73	55,75	67,74	90,02	0,71
Berm	11,07	80,38	56,21	68,30	90,74	0,71
Berm	10,60	77,82	54,42	66,12	87,91	0,71
Berm	10,94	79,67	55,71	67,69	89,96	0,71
2e rechte deel	11,11	80,60	56,36	68,48	90,98	0,71
Kant asfalt	10,94	79,67	55,71	67,69	89,96	0,71
Kant asfalt	11,39	82,13	57,43	69,78	92,67	0,71
Kant asfalt	11,40	82,18	57,47	69,83	92,73	0,71
Opgaande bocht	11,29	81,58	57,05	69,32	92,07	0,71
Kant asfalt	9,72	95,89	44,37	70,13	107,81	28,85
3e rechte deel	6,18	66,93	30,97	48,95	75,25	28,85

$$\sigma_{vert} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

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

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

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

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

Locatie	Q [-]	R _{p,max} [m]	u [N/mm ²]	p _{st} [N/mm ²]	Δ _p [N/mm ²]	p _{lim} [N/mm ²]
1e rechte deel	0,021	2,98	0,0395	0,04456	0,00	0,19
Insteek	0,031	5,36	0,0872	0,09837	0,00	0,29
Insteek	0,029	4,95	0,0789	0,08901	0,01	0,28
Neergaande bocht	0,031	5,40	0,0880	0,09928	0,01	0,29
Insteek	0,031	5,48	0,0895	0,1010	0,01	0,30
Berm	0,031	5,54	0,0907	0,1023	0,01	0,30
Berm	0,031	5,30	0,0860	0,09702	0,01	0,29
Berm	0,031	5,47	0,0894	0,1009	0,01	0,30
2e rechte deel	0,032	5,56	0,0911	0,1028	0,01	0,30
Kant asfalt	0,031	5,47	0,0894	0,1009	0,01	0,30
Kant asfalt	0,032	5,70	0,0939	0,1059	0,02	0,31
Kant asfalt	0,032	5,70	0,0940	0,1060	0,02	0,31
Opgaande bocht	0,032	5,65	0,0929	0,1048	0,02	0,30
Kant asfalt	0,0013	3,32	0,0772	0,08709	0,02	1,18
3e rechte deel	0,00091	3,09	0,0418	0,04716	0,02	0,91

$$Q = \frac{\sigma'_0 \cdot \sin(\varphi) + c \cdot \cos(\varphi)}{G}$$

$$R_{p,max} = \frac{H}{2}; R_{p,max,zand} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot \epsilon_{g,max}} \text{ of } \frac{H}{2}$$

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$p_{st} = \rho_m \cdot g \cdot h_z$$

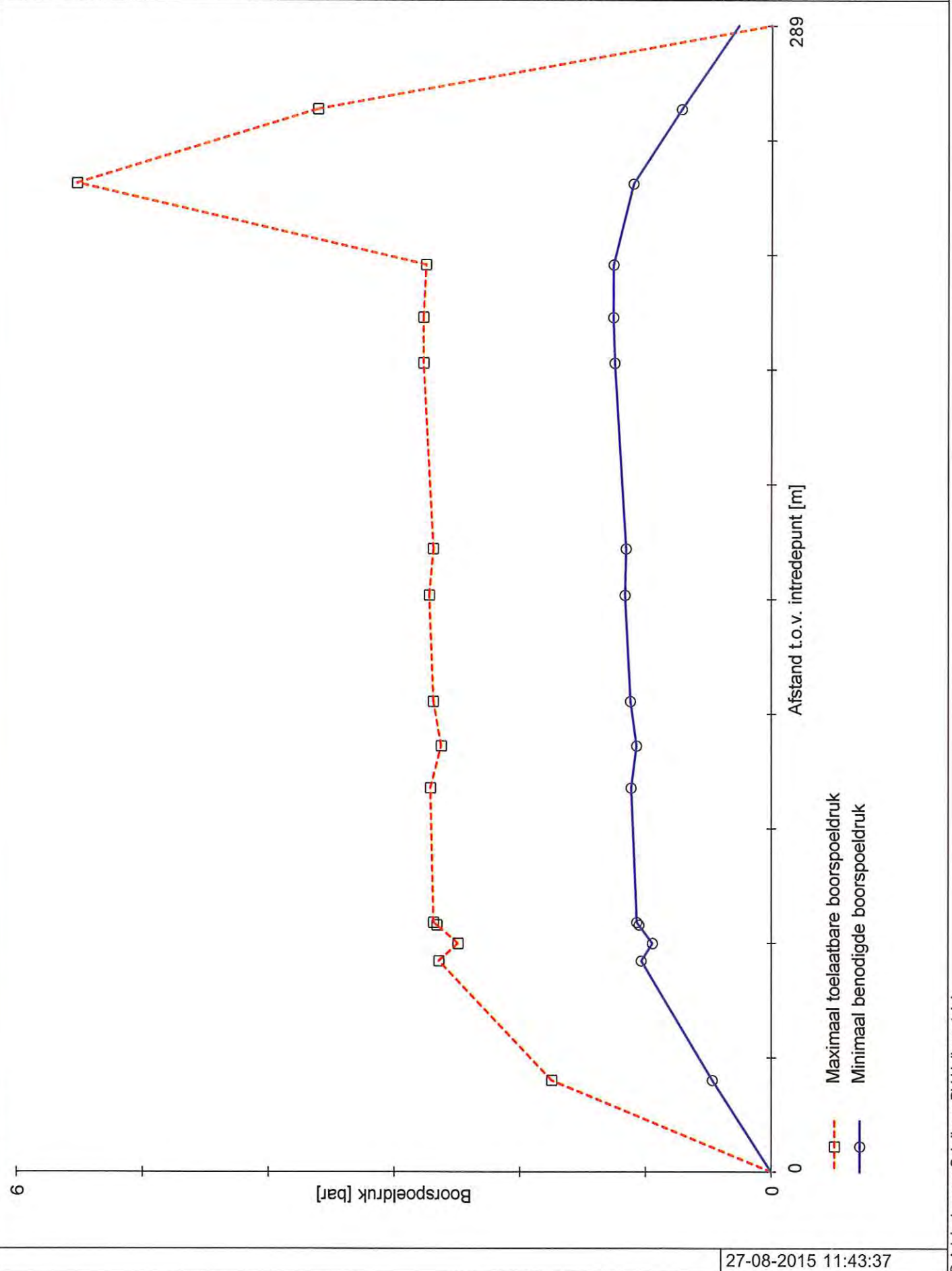
$$\Delta_p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$$

$$p_{lim} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q \cdot \frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

Locatie	p _{max} [N/mm ²]	90% p _{lim} [N/mm ²]	p _{min} [N/mm ²]	p _{max} [bar]	90% p _{lim} [bar]	p _{min} [bar]
1e rechte deel	0,17	0,17	0,05	1,74	1,75	0,47
Insteek	0,29	0,26	0,10	2,86	2,64	1,03
Insteek	0,27	0,25	0,09	2,68	2,49	0,94
Neergaande bocht	0,29	0,27	0,10	2,88	2,65	1,05
Insteek	0,29	0,27	0,11	2,91	2,68	1,07
Berm	0,29	0,27	0,11	2,94	2,70	1,11
Berm	0,28	0,26	0,11	2,83	2,62	1,07
Berm	0,29	0,27	0,11	2,91	2,68	1,12
2e rechte deel	0,29	0,27	0,12	2,94	2,71	1,16
Kant asfalt	0,29	0,27	0,12	2,91	2,68	1,15
Kant asfalt	0,30	0,28	0,12	3,00	2,76	1,25
Kant asfalt	0,30	0,28	0,13	3,01	2,76	1,26
Opgaande bocht	0,30	0,27	0,13	2,98	2,74	1,26
Kant asfalt	0,55	1,06	0,11	5,52	10,58	1,10
3e rechte deel	0,36	0,82	0,07	3,61	8,20	0,72

$$p_{max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{R_o^2}{R_{p,max}} + Q \right) \cdot \frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

$$p_{min} = p_{st} + \Delta_p$$

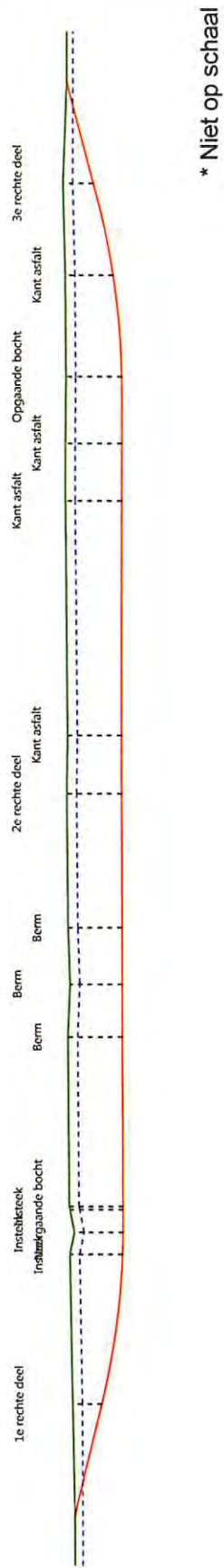


Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Windpark Fryslan			
Projectonderdeel : HDD boring Breezanddijk - Afsluitdijk - tekening nr. 482.15.2.039-106 Boring A - 250 HDPE			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS = 10		N/mm ²
Materiaalfactor	$\gamma_M = 1,25$		-
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	$\alpha_g = 16,0 \cdot 10^{-5}$		mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	$\alpha_\sigma = 0,65$		-
Soortelijk gewicht buis	$\rho_L = 9,55$		kN/m ³
Toelaatbare deflectie	$\delta = 8$		%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	$D_e = 250,00$		mm
Wanddikte	$d_n = 22,8$		mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)	= Drukloos		
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 100	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_m = 11,5$		kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_y = 15$		Pa
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	$D_g = 760$		mm
Diameter boorstang	$D_b = 101$		mm
Totale lengte	L = 289,10		m
Lengte 1e rechte deel	$L_1 = 23,09$		m
Lengte neergaande bocht	$L_2 = 36,65$		m
Lengte 2e rechte deel	$L_3 = 166,39$		m
Lengte opgaande bocht	$L_4 = 39,27$		m
Lengte 3e rechte deel	$L_5 = 23,70$		m
Straal maaiveld/rollenbaan	$R_r = 150,00$		m
Straal neergaande bocht	$R_1 = 150,00$		m
Straal opgaande bocht	$R_2 = 150,00$		m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	$\alpha_1 = 14,00 / 24,93$		° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	$\alpha_2 = 15,00 / 26,79$		° / %
Belastinghoek	$\alpha = 30$		°
Ondersteuningshoek	$\beta = 30$		°
Horizontale steundrukhoek	$\gamma = 120$		°
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	$\gamma = 1,1$		
Totaalfactor bij boring met bundels	f = 1,8		
Belastingfactor	$f_{k,b} = 1,1$		
Belastingfactor	$f_{k,o} = 1,4$		
Wrijvingscoëff. zonder rollenbaan	$f_1 = 0,3$		
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	$f_2 = 0,00005$		N/mm ²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	$f_3 = 0,2$		
		27-08-2015 11:44:24	

Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting

Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m ³]	Wrijvings- hoek grond [°]
1e rechte deel	23,09	5,95	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Insteek	53,30	10,72	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Insteek	57,73	9,89	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Neergaande bocht	62,36	10,80	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Insteek	63,01	10,95	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Berm	96,98	11,07	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Berm	107,58	10,60	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Berm	118,78	10,94	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
2e rechte deel	145,555	11,11	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Kant asfalt	157,22	10,94	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Kant asfalt	203,99	11,39	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Kant asfalt	215,49	11,40	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Opgaande bocht	228,75	11,29	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Kant asfalt	249,22	9,72	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
3e rechte deel	268,02	6,18	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingsconstante [N/mm ²]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
1e rechte deel	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
Insteek	Geen	0,0130	2,00	2,00	Grafiek I
Insteek	Geen	0,0130	2,00	2,00	Grafiek I
Neergaande bocht	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
Insteek	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
Berm	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
Berm	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
Berm	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
2e rechte deel	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
Opgaande bocht	Geen	0,0130	2,00	2,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	0,0620	0,00	75,00	Grafiek I
3e rechte deel	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I



2. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 204,40	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 227,20	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 250,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 125,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 102,20	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 113,60	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 106.064.835,12	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 848.518,68	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 987,70	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 86,64	mm ³ /mm ¹
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 16.273,95	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,1554	N/mm ¹

3. Berekening van het gewicht van de leiding tijdens het intrekken van de leiding

	Leiding op rollenbaar/maaiveld	Leiding in boorgat
Gewicht mediumleiding	$g = 0,1554 \text{ N/mm}^1$	$g = 0,1554 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,1554 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,1554 \text{ N/mm}^1$

4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds

4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaar/maaiveld

Trekkracht T_1 tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_1 [N]
Starten met trekken	289,10	24.263
Na 1 ^e deel intrekken	265,40	22.274
Na 2 ^e deel intrekken	226,13	18.978
Na 3 ^e deel intrekken	59,74	5.014
Na 4 ^e deel intrekken	23,09	1.938

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,1554 \cdot 0,3$$

4.2 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten op rollenbaar/maaiveld

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_1 [N]	σ_t [N/mm ²]
Starten met trekken	24.263	1,49
Na 1 ^e deel intrekken	22.274	1,37
Na 2 ^e deel intrekken	18.978	1,17
Na 3 ^e deel intrekken	5.014	0,31
Na 4 ^e deel intrekken	1.938	0,12

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{16.273,95}$$

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{106.064.835}{150.000} = 758.363,57 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{758.363,57}{848.519} = \mathbf{0,89 \text{ N/mm}^2}$$

4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	σ_t [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	1,49	2,07
Na 1 ^e deel intrekken	1,37	1,95
Na 2 ^e deel intrekken	1,17	1,75
Na 3 ^e deel intrekken	0,31	0,89
Na 4 ^e deel intrekken	0,12	0,70

$$\sigma_a = \alpha_\sigma \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 0,89 + \sigma_t$$

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

5. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat

5.1 Berekening van de vereiste trekkracht T_2 en T_{3a} in verband met wrijving tussen leiding en boorvloeistof/boorgangwand

Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof. 100% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet. Hieruit volgt: $D_{e,omtrek} = 785,40 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,155 \text{ N/mm}^1$

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

Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,409 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
1 ^e deel intrekken	23,70	5.166	-
2 ^e deel intrekken	62,97	-	13.725
3 ^e deel intrekken	229,36	49.991	-
4 ^e deel intrekken	266,01	-	57.979
Geheel ingetrokken	289,10	63.012	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (785,40 \cdot 0,00005 + 0,409 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (785,40 \cdot 0,00005 + 0,409 \cdot 0,2)$

5.3 Berekening van de vereiste trekkracht T_{3b} in verband met wrijving door grondreactie in de bochten

Locatie	λ [mm ⁻¹]	R [m]	Q_r [N/mm ²]	T_{3b} [N]
Insteek	0,0017	150	0,0028	934
Insteek	0,0017	150	0,0028	934
Opgaande bocht	0,0017	150	0,0028	934
Kant asfalt	0,0025	150	0,0060	1.380

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

$$Q_r = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot 0,9 \cdot R}$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 250,0 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

5.4 Berekening van de wrijving door bochtkracht T_{3c}

Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	T_{bocht} [N]
Neergaande bocht	18.978	13.725	934	-	33.637
Opgaande bocht	1.938	57.979	934	1.380	62.231

 Neergaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max}$

 Opgaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max} + T_{3a,op} + T_{3b,op,max}$

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N]
Neergaande bocht	7,00	33.637	2.951
Opgaande bocht	7,50	62.231	5.461

$$T_{3c} = f \cdot L_B \cdot g_t \cdot f_3$$

$$L_B = 2 \cdot R \cdot 2\pi \cdot \frac{\alpha}{360}$$

$$g_t = \frac{2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha)}{L_B}$$

$$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,8 \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$

5.5 Totalisatie van de trekkrachten in fase II

Trekkraft T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 / T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3c,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{3c,op}$ [N]	T_{tot} [N]
1 ^e deel intrekken	22.274	5.166	-	-	-	-	27.439
2 ^e deel intrekken	18.978	13.725	934	2.951	-	-	36.588
3 ^e deel intrekken	5.014	49.991	934	2.951	-	-	58.890
4 ^e deel intrekken	1.938	57.979	934	2.951	1.380	5.461	71.031
Geheel intrekken	0	63.012	934	2.951	1.380	5.461	74.126

$$T_{\text{tot}} = T_1 + T_2 + T_{3a} + T_{3b,neer,max} + T_{3c,neer} + T_{3b,op,max} + T_{3c,op}$$

5.6 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten in fase II

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]
1 ^e deel intrekken	27.439	1,69
2 ^e deel intrekken	36.588	2,25
3 ^e deel intrekken	58.890	3,62
4 ^e deel intrekken	71.031	4,36
Geheel intrekken	74.126	4,55

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{16.273,95}$$

5.7 *Optredende spanningen t.g.v. kromming van de leiding in het boorgat*

5.7.1 *Neergaande bocht*

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{l_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{106.064.835,12}{0,9 \cdot 150.000} = 1.072.433,33 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{1.072.433,33}{848.518,68} = 1,26 \text{ N/mm}^2$$

5.7.2 *Opgaande bocht*

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{l_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{106.064.835,12}{0,9 \cdot 150.000} = 1.072.433,33 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{1.072.433,33}{848.518,68} = 1,26 \text{ N/mm}^2$$

5.8 *Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie*

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	27.439	1,69	-	1,69
Na 1 ^e deel intrekken	36.588	2,25	1,26	3,07
Na 2 ^e deel intrekken	58.890	3,62	-	3,62
Na 3 ^e deel intrekken	71.031	4,36	1,26	5,19
Na 4 ^e deel intrekken	74.126	4,55	-	4,55

Rechte delen: $\sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{16.273,95} = \sigma_t$

Gebogen delen: $\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot \sigma_b + \sigma_t$

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

6. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase

6.1 Berekening van de spanningen σ_p en σ_d t.g.v. inwendige druk

Leiding is drukloos:

$$\sigma_p = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

6.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

Leiding is drukloos:

$$f_{rr} = 1,00$$

6.3 Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	Q_{droog} [kN/m ²]	Q_{nat} [kN/m ²]	Q_{totaal} [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]
1e rechte deel	5,95	2,00	Klei	37,40	73,87	111,27	17,94
Insteek	10,72	2,00	Klei	37,40	163,06	200,46	28,32
Insteek	9,89	2,00	Klei	37,40	147,54	184,94	26,51
Neergaande bocht	10,80	2,00	Klei	37,40	164,56	201,96	28,49
Insteek	10,95	2,00	Klei	37,40	167,37	204,77	28,82
Berm	11,07	2,00	Klei	37,40	169,61	207,01	29,08
Berm	10,60	2,00	Klei	37,40	160,82	198,22	28,06
Berm	10,94	2,00	Klei	37,40	167,18	204,58	28,79
2e rechte deel	11,11	2,00	Klei	37,40	170,36	207,76	29,16
Kant asfalt	10,94	2,00	Klei	37,40	167,18	204,58	28,79
Kant asfalt	11,39	2,00	Klei	37,40	175,59	212,99	29,77
Kant asfalt	11,40	2,00	Klei	37,40	175,78	213,18	29,80
Opgaande bocht	11,29	2,00	Klei	37,40	173,72	211,12	29,56
Kant asfalt	9,72	2,00	Zand	39,60	169,84	209,44	33,06
3e rechte deel	6,18	2,00	Zand	39,60	91,96	131,56	22,44

$$Q_n = (\gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o$$

6.4 Berekening van de verkeersbelasting Q_v

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeers- belasting	q_v [kN/m ²]	Q_v [N/mm ¹]
1e rechte deel	5,95	Grafiek I	8,41	2,10
Insteek	10,72	Grafiek I	3,81	0,95
Insteek	9,89	Grafiek I	4,30	1,08
Neergaande bocht	10,80	Grafiek I	3,77	0,94
Insteek	10,95	Grafiek I	3,69	0,92
Berm	11,07	Grafiek I	3,62	0,91
Berm	10,60	Grafiek I	3,88	0,97
Berm	10,94	Grafiek I	3,69	0,92
2e rechte deel	11,11	Grafiek I	3,60	0,90
Kant asfalt	10,94	Grafiek I	3,69	0,92
Kant asfalt	11,39	Grafiek I	3,46	0,87
Kant asfalt	11,40	Grafiek I	3,46	0,86
Opgaande bocht	11,29	Grafiek I	3,51	0,88
Kant asfalt	9,72	Grafiek I	4,42	1,10
3e rechte deel	6,18	Grafiek I	8,04	2,01

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 250,0$$

6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_{boven} [N/mm ¹]	M_q [Nmm]	σ_q [N/mm ¹]
1e rechte deel	17,94	2,10	20,04	585,16	6,75
Insteek	28,32	0,95	29,27	854,49	9,86
Insteek	26,51	1,08	27,59	805,41	9,30
Neergaande bocht	28,49	0,94	29,43	859,26	9,92
Insteek	28,82	0,92	29,74	868,20	10,02
Berm	29,08	0,91	29,98	875,36	10,10
Berm	28,06	0,97	29,02	847,36	9,78
Berm	28,79	0,92	29,72	867,60	10,01
2e rechte deel	29,16	0,90	30,07	877,76	10,13
Kant asfalt	28,79	0,92	29,72	867,60	10,01
Kant asfalt	29,77	0,87	30,64	894,52	10,32
Kant asfalt	29,80	0,86	30,66	895,12	10,33
Opgaande bocht	29,56	0,88	30,43	888,53	10,26
Kant asfalt	33,06	1,10	34,16	997,43	11,51
3e rechte deel	22,44	2,01	24,45	713,85	8,24

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 113,60$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{86,64}$$

6.6 Optredende spanning σ_{qr} tgv. grondreactie in de bochten

Locatie	R [m]	Q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
Insteek	150	0,0028	0,18
Insteek	150	0,0028	0,18
Opgaande bocht	150	0,0028	0,18
Kant asfalt	150	0,0060	0,39

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,179 \cdot Q_r \cdot 250,0 \cdot \frac{125,00}{86,64}$$

6.7 Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil

Leiding is drukloos

$$\sigma_{ax} = 0 \text{ N/mm}^2$$

7. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

$$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$$

$$S_N = 975 \cdot \frac{987,70}{227,2^3} = 0,08 \text{ N/mm}^2 = 82,11 \text{ kN/m}^2$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = 0,5 kN/m²

8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$

Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$

$$p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$$

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 987,70}{227,20^3} = 1,56 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 987,70}{227,20^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij 28,07 m grondwater boven de leiding

9. Berekening van het totaal aan optredende spanningen
9.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

Locatie	σ_q [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_{y2} [N/mm ²]
1e rechte deel	6,75	-	0,65	4,39
Insteek	9,86	0,18	0,65	6,53
Insteek	9,30	0,18	0,65	6,16
Neergaande bocht	9,92	-	0,65	6,45
Insteek	10,02	-	0,65	6,51
Berm	10,10	-	0,65	6,57
Berm	9,78	-	0,65	6,36
Berm	10,01	-	0,65	6,51
2e rechte deel	10,13	-	0,65	6,59
Kant asfalt	10,01	-	0,65	6,51
Kant asfalt	10,32	-	0,65	6,71
Kant asfalt	10,33	-	0,65	6,72
Opgaande bocht	10,26	0,18	0,65	6,78
Kant asfalt	11,51	0,39	0,65	7,74
3e rechte deel	8,24	-	0,65	5,36

 Rechte delen: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$

 Bochten: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$

 Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = 8,00$ N/mm²
9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

Locatie	σ_{ax} [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_x [N/mm ²]
1e rechte deel	0,00	-	-	0,00
Insteek	0,00	1,26	0,65	0,82
Insteek	0,00	1,26	0,65	0,82
Neergaande bocht	0,00	-	-	0,00
Insteek	0,00	-	-	0,00
Berm	0,00	-	-	0,00
Berm	0,00	-	-	0,00
Berm	0,00	-	-	0,00
2e rechte deel	0,00	-	-	0,00
Kant asfalt	0,00	-	-	0,00
Kant asfalt	0,00	-	-	0,00
Kant asfalt	0,00	-	-	0,00
Opgaande bocht	0,00	1,26	0,65	0,82
Kant asfalt	0,00	1,26	0,65	0,82
3e rechte deel	0,00	-	-	0,00

 Rechte delen: $\sigma_x = \sigma_{ax}$

 Bochten: $\sigma_x = \sigma_{ax} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_b$

 Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = 8,00$ N/mm²

10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q _n [N/mm ¹]	Q _v [N/mm ¹]	Q _r [N/mm ²]	δ _Y [mm]	δ _Y /D _g [%]
1e rechte deel	17,94	2,10	-	2,63	1,16
Insteek	28,32	0,95	0,0028	3,84	1,69
Insteek	26,51	1,08	0,0028	3,62	1,59
Neergaande bocht	28,49	0,94	-	3,86	1,70
Insteek	28,82	0,92	-	3,90	1,72
Berm	29,08	0,91	-	3,94	1,73
Berm	28,06	0,97	-	3,81	1,68
Berm	28,79	0,92	-	3,90	1,72
2e rechte deel	29,16	0,90	-	3,95	1,74
Kant asfalt	28,79	0,92	-	3,90	1,72
Kant asfalt	29,77	0,87	-	4,02	1,77
Kant asfalt	29,80	0,86	-	4,03	1,77
Opgaande bocht	29,56	0,88	0,0028	4,00	1,76
Kant asfalt	33,06	1,10	0,0060	7,33	3,23
3e rechte deel	22,44	2,01	-	5,25	2,31

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 113,60^3}{350 \cdot 987,70}$$

Toelaatbare deflectie = 8% · D_g = 0,08 · 227,20 = **18,18 mm**

11. Berekening van de boorspoeldrukken tijdens de trekfase

Locatie	H [m]	σ_{vert} [kN/m ²]	σ_{hor} [kN/m ²]	σ_o' [kN/m ²]	p'_f [kN/m ²]	G [MN/m ²]
1e rechte deel	5,95	52,45	36,68	44,57	59,88	0,71
Insteek	10,72	78,47	54,88	66,67	88,63	0,71
Insteek	9,89	73,95	51,71	62,83	83,63	0,71
Neergaande bocht	10,80	78,91	55,18	67,04	89,11	0,71
Insteek	10,95	79,73	55,75	67,74	90,02	0,71
Berm	11,07	80,38	56,21	68,30	90,74	0,71
Berm	10,60	77,82	54,42	66,12	87,91	0,71
Berm	10,94	79,67	55,71	67,69	89,96	0,71
2e rechte deel	11,11	80,60	56,36	68,48	90,98	0,71
Kant asfalt	10,94	79,67	55,71	67,69	89,96	0,71
Kant asfalt	11,39	82,13	57,43	69,78	92,67	0,71
Kant asfalt	11,40	82,18	57,47	69,83	92,73	0,71
Opgaande bocht	11,29	81,58	57,05	69,32	92,07	0,71
Kant asfalt	9,72	95,89	44,37	70,13	107,81	28,85
3e rechte deel	6,18	66,93	30,97	48,95	75,25	28,85

$$\sigma_{vert} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

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

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

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

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

Locatie	Q [-]	R _{p,max} [m]	u [N/mm ²]	p _{st} [N/mm ²]	Δ _p [N/mm ²]	p _{lim} [N/mm ²]
1e rechte deel	0,021	2,98	0,0395	0,04456	0,00	0,19
Insteek	0,031	5,36	0,0872	0,09837	0,00	0,29
Insteek	0,029	4,95	0,0789	0,08901	0,01	0,28
Neergaande bocht	0,031	5,40	0,0880	0,09928	0,01	0,29
Insteek	0,031	5,48	0,0895	0,1010	0,01	0,30
Berm	0,031	5,54	0,0907	0,1023	0,01	0,30
Berm	0,031	5,30	0,0860	0,09702	0,01	0,29
Berm	0,031	5,47	0,0894	0,1009	0,01	0,30
2e rechte deel	0,032	5,56	0,0911	0,1028	0,01	0,30
Kant asfalt	0,031	5,47	0,0894	0,1009	0,01	0,30
Kant asfalt	0,032	5,70	0,0939	0,1059	0,02	0,31
Kant asfalt	0,032	5,70	0,0940	0,1060	0,02	0,31
Opgaande bocht	0,032	5,65	0,0929	0,1048	0,02	0,30
Kant asfalt	0,0013	3,32	0,0772	0,08709	0,02	1,18
3e rechte deel	0,00091	3,09	0,0418	0,04716	0,02	0,91

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

$$R_{p,max} = \frac{H}{2}, R_{p,max,zand} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot \varepsilon_{g,max}} \text{ of } \frac{H}{2}$$

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$p_{st} = \rho_m \cdot g \cdot h_z$$

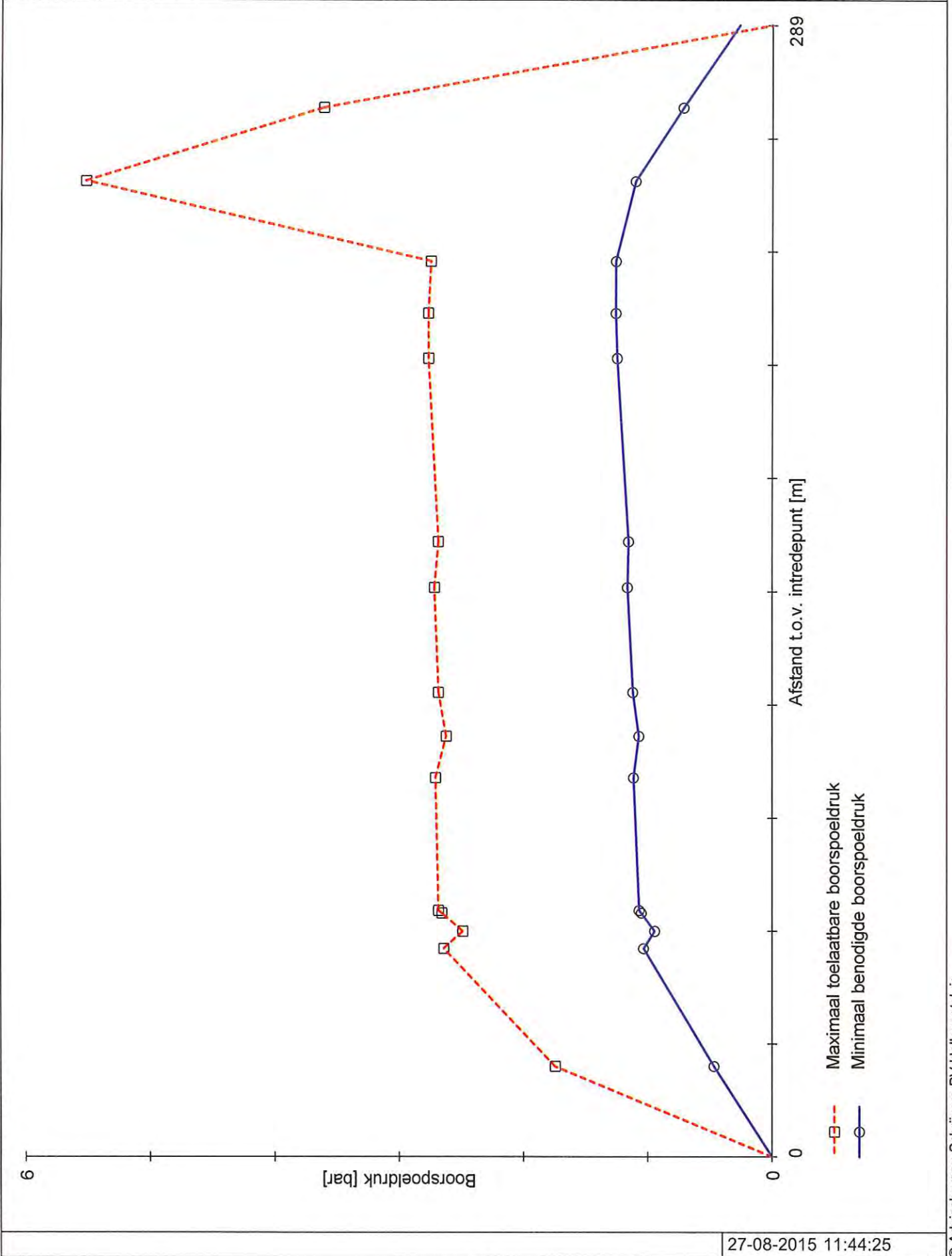
$$\Delta_p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$$

$$p_{lim} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q \cdot \frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

Locatie	p _{max} [N/mm ²]	90% p _{lim} [N/mm ²]	p _{min} [N/mm ²]	p _{max} [bar]	90% p _{lim} [bar]	p _{min} [bar]
1e rechte deel	0,17	0,17	0,05	1,74	1,75	0,47
Insteek	0,29	0,26	0,10	2,86	2,64	1,03
Insteek	0,27	0,25	0,09	2,68	2,49	0,94
Neergaande bocht	0,29	0,27	0,10	2,88	2,65	1,05
Insteek	0,29	0,27	0,11	2,91	2,68	1,07
Berm	0,29	0,27	0,11	2,94	2,70	1,11
Berm	0,28	0,26	0,11	2,83	2,62	1,07
Berm	0,29	0,27	0,11	2,91	2,68	1,12
2e rechte deel	0,29	0,27	0,12	2,94	2,71	1,16
Kant asfalt	0,29	0,27	0,12	2,91	2,68	1,15
Kant asfalt	0,30	0,28	0,12	3,00	2,76	1,25
Kant asfalt	0,30	0,28	0,13	3,01	2,76	1,26
Opgaande bocht	0,30	0,27	0,13	2,98	2,74	1,26
Kant asfalt	0,55	1,06	0,11	5,52	10,58	1,10
3e rechte deel	0,36	0,82	0,07	3,61	8,20	0,72

$$p_{max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{R_o^2}{R_{p,max}} + Q \right) \cdot \frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

$$p_{min} = p_{st} + \Delta_p$$



Algemene gegevens

Naam van het project : Windpark Fryslan
Projectonderdeel : Boorspoeldruk HDD boring Breezanddijk - Afsluitdijk - tekening nr. 482.15.2.039-106 Boring A

Grondmechanische gegevens

Grondsoort		= Klei	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 17	kN/m ³
Volumiek gewicht natte grond	γ_n	= 17	kN/m ³
Volumiek gewicht water	γ_w	= 10	kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	φ	= 17,5	°
Effectieve cohesie	c'	= 2	kN/m ²
E-modulus ondergrond	E_{100}	= 2	MN/m ²

Aanleggegevens

Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 9,72	m
Gronddekking boven de grondwaterstand	H_d	= 1	m
Gronddekking onder de grondwaterstand	H_n	= 8,72	m
Afstand t.o.v. intredepunt	L	= 227,51	m
Soortelijk gewicht boorvloeistof	ρ_m	= 11,5	kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	τ_y	= 15	Pa
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	D_g	= 760	mm
Diameter boorstang	D_b	= 101	mm

1. Maximaal toelaatbare boorspoeldruk (conform NEN 3650-serie)

1.1 Verticale terreinspanning

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{17}{1,1} \cdot 1 + \frac{17}{1,1} \cdot 8,72 - 10 \cdot 8,72 = 63,02 \text{ kN/m}^2$$

1.2 Horizontale terreinspanning

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

$$\sigma_{\text{hor}} = 63,02 \cdot (1 - \sin(17,5)) = 44,07 \text{ kN/m}^2$$

1.3 Gemiddelde terreinspanning

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

$$\sigma_o' = \frac{63,02 + 44,07}{2} = 53,54 \text{ kN/m}^2$$

1.4 Boorspoeldruk waarbij de eerste plastische vervormingen optreden

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

$$p_f' = 53,54 \cdot (1 + \sin(17,5)) + 2 \cdot \cos(17,5) = 71,55 \text{ kN/m}^2$$

1.5 Glijdingsmodulus

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

$$G = \frac{2}{2 \cdot (1 + 0,4)} = 0,71 \text{ MN/m}^2$$

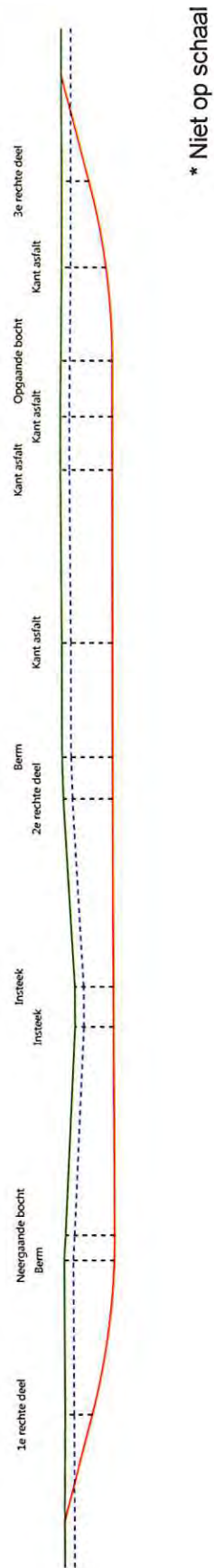
Berekening van de toelaatbare boorspoeldruk conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2012 3.0 ©
<p>1.6 Bepaling van Q</p> $Q = \frac{\sigma_o' \cdot \sin(\varphi) + c \cdot \cos(\varphi)}{G}$ $Q = \frac{53,54 \cdot \sin(17,5) + 2 \cdot \cos(17,5)}{0,71 \cdot 10^3} = 0,025$	
<p>1.7 Bepaling initiële straal boorgang en max. toelaatbare plastische zone</p> $R_o = \frac{D_o}{2} = 380 \text{ mm}$ $R_{p,max} = \frac{H}{2}$ $R_{p,max} = \frac{9720,00}{2} = 4.860,00 \text{ mm}$	
<p>1.8 Berekening van de aanwezige waterspanning</p> $u = \gamma_w \cdot H_n$ $u = (10 \cdot 8,72) \cdot 10^{-3} = 0,09 \text{ N/mm}^2$	
<p>1.9 Effectieve limietdruk</p> $p_{lim} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$ $p_{lim} = (71,55 + 2 \cdot \cot(17,5)) \cdot Q^{\frac{-\sin 17,5}{1 + \sin 17,5}} - c \cdot \cot(17,5) + 0,09 = 0,26 \text{ N/mm}^2$ $p_{lim,90\%} = 0,9 \cdot 0,26 = \mathbf{0,24 \text{ N/mm}^2} = \mathbf{2,37 \text{ bar}} = \mathbf{236,94 \text{ kPa}}$	
<p>1.10 Maximaal toelaatbare boorspoeldruk</p> $p_{max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{R_o^2}{R_{p,max}} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$ $p_{max} = (71,55 + 17,5 \cdot \cot(2)) \cdot \left(\frac{380^2}{4.860,00} + 0,03 \right)^{\frac{-\sin 17,5}{1 + \sin 17,5}} - 2 \cdot \cot(17,5) + 0,09$ $p_{max} = \mathbf{0,25 \text{ N/mm}^2} = \mathbf{2,54 \text{ bar}} = \mathbf{254,33 \text{ kPa}}$	
<p>2. Minimaal benodigde boorspoeldruk</p>	
<p>2.1 Statische druk</p> $p_{st} = \rho_m \cdot g \cdot h_z$ $p_{st} = (1.150,00 \cdot 9,81 \cdot 8,72) \cdot 10^{-6} = 0,10 \text{ N/mm}^2$	
<p>2.2 Drukverschil</p> $\Delta p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$ $\Delta p = 4 \cdot \frac{0,000015}{760 - 101} \cdot 227.510,00 = 0,02 \text{ N/mm}^2$	
<p>2.3 Minimaal benodigde boorspoeldruk</p> $p_{min} = p_{st} + \Delta p$ $p_{min} = 0,10 + 0,02 = \mathbf{0,12 \text{ N/mm}^2} = \mathbf{1,19 \text{ bar}} = \mathbf{119,09 \text{ kPa}}$	
<p>3. Conclusie</p> <p>$p_{lim,90\%} < p_{max} \rightarrow p_{lim,90\%}$ is maatgevend</p> <p>$p_{lim,90\%} > p_{min}$</p>	
	27-08-2015 12:00:58

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Windpark Fryslan			
Projectonderdeel : HDD boring Breezanddijk - Afsluitdijk - tekening nr. 482.15.2.039-106 Boring B - 110 HDPE			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS = 10		N/mm ²
Materiaalfactor	$\gamma_M = 1,25$		-
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	$\alpha_g = 16,0 \cdot 10^{-5}$		mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	$\alpha_\sigma = 0,65$		-
Soortelijk gewicht buis	$\rho_L = 9,55$		kN/m ³
Toelaatbare deflectie	$\delta = 8$		%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	$D_e = 110,00$		mm
Wanddikte	$d_n = 10$		mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)	= Drukloos		
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uitredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 100	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_m = 11,5$		kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_y = 15$		Pa
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	$D_g = 760$		mm
Diameter boorstang	$D_b = 101$		mm
Totale lengte	L = 314,66		m
Lengte 1e rechte deel	$L_1 = 23,82$		m
Lengte neergaande bocht	$L_2 = 39,27$		m
Lengte 2e rechte deel	$L_3 = 188,60$		m
Lengte opgaande bocht	$L_4 = 39,27$		m
Lengte 3e rechte deel	$L_5 = 23,70$		m
Straal maaiveld/rollenbaan	$R_r = 150,00$		m
Straal neergaande bocht	$R_1 = 150,00$		m
Straal opgaande bocht	$R_2 = 150,00$		m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	$\alpha_1 = 15,00 / 26,79$		° / %
Uitrede-hoek (bij rollenbaan)	$\alpha_2 = 15,00 / 26,79$		° / %
Belastinghoek	$\alpha = 30$		°
Ondersteuningshoek	$\beta = 30$		°
Horizontale steundrukhoek	$\gamma = 120$		°
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	$\gamma = 1,1$		
Totaalfactor bij boring met bundels	f = 1,8		
Belastingfactor	$f_{k,b} = 1,1$		
Belastingfactor	$f_{k,o} = 1,4$		
Wrijvingscoëff. zonder rollenbaan	$f_1 = 0,3$		
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	$f_2 = 0,00005$		N/mm ²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	$f_3 = 0,2$		
		27-08-2015 11:40:25	

Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting

Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m ³]	Wrijvings- hoek grond [°]
1e rechte deel	23,83	5,97	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Berm	57,60	10,98	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Neergaande bocht	63,09	10,75	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Insteek	108,15	8,44	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Insteek	116,87	8,44	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
2e rechte deel	157,40	10,77	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Berm	166,33	11,05	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Kant asfalt	191,00	11,09	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Kant asfalt	228,21	11,39	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Kant asfalt	239,66	11,40	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Opgaande bocht	251,70	11,29	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Kant asfalt	272,08	9,73	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
3e rechte deel	290,97	6,00	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingsconstante [N/mm ²]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
1e rechte deel	Geen	0,0130	2,00	2,00	Grafiek I
Berm	Geen	0,0130	2,00	2,00	Grafiek I
Neergaande bocht	Geen	0,0130	2,00	2,00	Grafiek I
Insteek	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
Insteek	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
2e rechte deel	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
Berm	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
Opgaande bocht	Geen	0,0130	2,00	2,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	0,0620	2,00	2,00	Grafiek I
3e rechte deel	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I



2. 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
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 3.141,59	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,0300	N/mm ¹

3. Berekening van het gewicht van de leiding tijdens het intrekken van de leiding

	<i>Leiding op rollenbaar/maaiveld</i>		<i>Leiding in boorgat</i>	
Gewicht mediumleiding	g	= 0,0300 N/mm ¹	g	= 0,0300 N/mm ¹
Gewicht vulling	g_{vul}	= N.v.t. +	g_{vul}	= N.v.t. +
Totaal gewicht	g_{rol}	= 0,0300 N/mm ¹	g_{gat}	= 0,0300 N/mm ¹

4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds

4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaar/maaiveld

Trekkracht T_1 tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_1 [N]
Starten met trekken	314,66	5.098
Na 1 ^e deel intrekken	290,96	4.714
Na 2 ^e deel intrekken	251,69	4.078
Na 3 ^e deel intrekken	63,09	1.022
Na 4 ^e deel intrekken	23,82	386

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,0300 \cdot 0,3$$

4.2 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten op rollenbaar/maaiveld

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_1 [N]	σ_t [N/mm ²]
Starten met trekken	5.098	1,62
Na 1 ^e deel intrekken	4.714	1,50
Na 2 ^e deel intrekken	4.078	1,30
Na 3 ^e deel intrekken	1.022	0,33
Na 4 ^e deel intrekken	386	0,12

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{3.141,59}$$

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.261}{150.000} = 28.358,76 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{28.358,76}{72.114} = 0,39 \text{ N/mm}^2$$

4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	σ_t [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	1,62	1,88
Na 1 ^e deel intrekken	1,50	1,76
Na 2 ^e deel intrekken	1,30	1,55
Na 3 ^e deel intrekken	0,33	0,58
Na 4 ^e deel intrekken	0,12	0,38

$$\sigma_a = \alpha_\sigma \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 0,39 + \sigma_t$$

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

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

Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof. 100% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet. Hieruit volgt: $D_{e,omtrek} = 345,58 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof: $g_{opw} = \rho_m \cdot D_o^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 110,00^2 \cdot \pi/4 = 0,109 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,0793 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
1 ^e deel intrekken	23,70	1.414	-
2 ^e deel intrekken	62,97	-	3.756
3 ^e deel intrekken	251,57	15.005	-
4 ^e deel intrekken	290,84	-	17.347
Geheel ingetrokken	314,66	18.768	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (345,58 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (345,58 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

5.3 Berekening van de vereiste trekkracht T_{3b} in verband met wrijving door grondreactie in de bochten

Locatie	λ [mm ⁻¹]	R [m]	Q_r [N/mm ²]	T_{3b} [N]
1e rechte deel	0,0031	150	0,00081	65
Berm	0,0031	150	0,00081	65
Neergaande bocht	0,0031	150	0,00081	65
Opgaande bocht	0,0031	150	0,00081	65
Kant asfalt	0,0046	150	0,0018	96

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

$$Q_r = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot 0,9 \cdot R}$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 110 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

5.4 Berekening van de wrijving door bochtkracht T_{3c}

Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	T_{bocht} [N]
Neergaande bocht	4.078	3.756	65	-	7.898
Opgaande bocht	386	17.347	65	96	17.893

 Neergaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max}$

 Opgaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max} + T_{3a,op} + T_{3b,op,max}$

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N]
Neergaande bocht	7,50	7.898	742
Opgaande bocht	7,50	17.893	1.682

$$T_{3c} = f \cdot L_B \cdot g_t \cdot f_3$$

$$L_B = 2 \cdot R \cdot 2\pi \cdot \frac{\alpha}{360}$$

$$g_t = \frac{2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha)}{L_B}$$

$$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,8 \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$

5.5 Totalisatie van de trekkrachten in fase II

Trekkraft T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 / T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3c,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{3c,op}$ [N]	T_{tot} [N]
1 ^e deel intrekken	4.714	1.414	-	-	-	-	6.127
2 ^e deel intrekken	4.078	3.756	65	742	-	-	8.640
3 ^e deel intrekken	1.022	15.005	65	742	-	-	16.834
4 ^e deel intrekken	386	17.347	65	742	96	1.682	20.317
Geheel intrekken	0	18.768	65	742	96	1.682	21.352

$$T_{\text{tot}} = T_1 + T_2 + T_{3a} + T_{3b,neer,max} + T_{3c,neer} + T_{3b,op,max} + T_{3c,op}$$

5.6 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten in fase II

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]
1 ^e deel intrekken	6.127	1,95
2 ^e deel intrekken	8.640	2,75
3 ^e deel intrekken	16.834	5,36
4 ^e deel intrekken	20.317	6,47
Geheel intrekken	21.352	6,80

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{3.141,59}$$

5.7 Optredende spanningen t.g.v. kromming van de leiding in het boorgat

5.7.1 Neergaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{l_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 150.000} = 40.103,30 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{40.103,30}{72.113,83} = 0,56 \text{ N/mm}^2$$

5.7.2 Opgaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{l_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 150.000} = 40.103,30 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{40.103,30}{72.113,83} = 0,56 \text{ N/mm}^2$$

5.8 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	6.127	1,95	-	1,95
Na 1 ^e deel intrekken	8.640	2,75	0,56	3,11
Na 2 ^e deel intrekken	16.834	5,36	-	5,36
Na 3 ^e deel intrekken	20.317	6,47	0,56	6,83
Na 4 ^e deel intrekken	21.352	6,80	-	6,80

Rechte delen: $\sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{3.141,59} = \sigma_t$

Gebogen delen: $\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot \sigma_b + \sigma_t$

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

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2012 3.0 ©

6. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase
6.1 Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pl} t.g.v. inwendige druk

Leiding is drukloos:

$$\sigma_p = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

6.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

Leiding is drukloos:

$$f_{rr} = 1,00$$

6.3 Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	q_{droog} [kN/m ²]	q_{nat} [kN/m ²]	q_{totaal} [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]
1e rechte deel	5,97	2,00	Klei	37,40	74,24	111,64	7,91
Berm	10,98	2,00	Klei	37,40	167,93	205,33	12,71
Neergaande bocht	10,75	2,00	Klei	37,40	163,63	201,03	12,49
Insteek	8,44	2,00	Klei	37,40	120,43	157,83	10,28
Insteek	8,44	2,00	Klei	37,40	120,43	157,83	10,28
2e rechte deel	10,77	2,00	Klei	37,40	164,00	201,40	12,51
Berm	11,05	2,00	Klei	37,40	169,24	206,64	12,77
Kant asfalt	11,09	2,00	Klei	37,40	169,98	207,38	12,81
Kant asfalt	11,39	2,00	Klei	37,40	175,59	212,99	13,10
Kant asfalt	11,40	2,00	Klei	37,40	175,78	213,18	13,11
Opgaande bocht	11,29	2,00	Klei	37,40	173,72	211,12	13,00
Kant asfalt	9,73	2,00	Klei	37,40	144,55	181,95	11,51
3e rechte deel	6,00	2,00	Zand	39,60	88,00	127,60	9,64

$$Q_n = (\gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o$$

6.4 Berekening van de verkeersbelasting Q_v

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeers- belasting	q_v [kN/m ²]	Q_v [N/mm ¹]
1e rechte deel	5,97	Grafiek I	8,38	0,92
Berm	10,98	Grafiek I	3,67	0,40
Neergaande bocht	10,75	Grafiek I	3,79	0,42
Insteek	8,44	Grafiek I	5,41	0,59
Insteek	8,44	Grafiek I	5,41	0,59
2e rechte deel	10,77	Grafiek I	3,78	0,42
Berm	11,05	Grafiek I	3,63	0,40
Kant asfalt	11,09	Grafiek I	3,61	0,40
Kant asfalt	11,39	Grafiek I	3,46	0,38
Kant asfalt	11,40	Grafiek I	3,46	0,38
Opgaande bocht	11,29	Grafiek I	3,51	0,39
Kant asfalt	9,73	Grafiek I	4,41	0,49
3e rechte deel	6,00	Grafiek I	8,33	0,92

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 110$$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2012 3.0 ©

6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_{boven} [N/mm ¹]	M_q [Nmm]	σ_q [N/mm ¹]
1e rechte deel	7,91	0,92	8,83	113,52	6,81
Berm	12,71	0,40	13,11	168,48	10,11
Neergaande bocht	12,49	0,42	12,90	165,83	9,95
Insteek	10,28	0,59	10,87	139,70	8,38
Insteek	10,28	0,59	10,87	139,70	8,38
2e rechte deel	12,51	0,42	12,92	166,06	9,96
Berm	12,77	0,40	13,17	169,29	10,16
Kant asfalt	12,81	0,40	13,21	169,76	10,19
Kant asfalt	13,10	0,38	13,48	173,24	10,39
Kant asfalt	13,11	0,38	13,49	173,35	10,40
Opgaande bocht	13,00	0,39	13,39	172,07	10,32
Kant asfalt	11,51	0,49	12,00	154,16	9,25
3e rechte deel	9,64	0,92	10,55	135,59	8,14

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 50,00$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{16,67}$$

6.6 Optredende spanning σ_{qr} tgv. grondreactie in de bochten

Locatie	R [m]	Q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
1e rechte deel	150	0,00081	0,052
Berm	150	0,00081	0,052
Neergaande bocht	150	0,00081	0,052
Opgaande bocht	150	0,00081	0,052
Kant asfalt	150	0,0018	0,11

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,179 \cdot Q_r \cdot 110 \cdot \frac{55,00}{16,67}$$

6.7 Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil

Leiding is drukloos

$$\sigma_{ax} = 0 \text{ N/mm}^2$$

7. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

$$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$$

$$S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100^3} = 0,08 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,25 \text{ kN/m}^2}$$

 Minimaal vereiste ringstijfheid = **0,5 kN/m²**

8. 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

9. Berekening van het totaal aan optredende spanningen
9.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

Locatie	σ_q [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_{y2} [N/mm ²]
1e rechte deel	6,81	0,052	0,65	4,46
Berm	10,11	0,052	0,65	6,60
Neergaande bocht	9,95	0,052	0,65	6,50
Insteek	8,38	-	0,65	5,45
Insteek	8,38	-	0,65	5,45
2e rechte deel	9,96	-	0,65	6,48
Berm	10,16	-	0,65	6,60
Kant asfalt	10,19	-	0,65	6,62
Kant asfalt	10,39	-	0,65	6,76
Kant asfalt	10,40	-	0,65	6,76
Opgaande bocht	10,32	0,052	0,65	6,74
Kant asfalt	9,25	0,11	0,65	6,09
3e rechte deel	8,14	-	0,65	5,29

 Rechte delen: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$

 Bochten: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$

 Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = 8,00 \text{ N/mm}^2$

9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

Locatie	σ_{ax} [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_x [N/mm ²]
1e rechte deel	0,00	0,56	0,65	0,36
Berm	0,00	0,56	0,65	0,36
Neergaande bocht	0,00	0,56	0,65	0,36
Insteek	0,00	-	-	0,00
Insteek	0,00	-	-	0,00
2e rechte deel	0,00	-	-	0,00
Berm	0,00	-	-	0,00
Kant asfalt	0,00	-	-	0,00
Kant asfalt	0,00	-	-	0,00
Kant asfalt	0,00	-	-	0,00
Opgaande bocht	0,00	0,56	0,65	0,36
Kant asfalt	0,00	0,56	0,65	0,36
3e rechte deel	0,00	-	-	0,00

 Rechte delen: $\sigma_x = \sigma_{ax}$

 Bochten: $\sigma_x = \sigma_{ax} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_b$

 Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = 8,00$ N/mm²

10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_r [N/mm ²]	δ_Y [mm]	δ_Y/D_g [%]
1e rechte deel	7,91	0,92	0,00081	1,17	1,17
Berm	12,71	0,40	0,00081	1,74	1,74
Neergaande bocht	12,49	0,42	0,00081	1,71	1,71
Insteek	10,28	0,59	-	1,44	1,44
Insteek	10,28	0,59	-	1,44	1,44
2e rechte deel	12,51	0,42	-	1,71	1,71
Berm	12,77	0,40	-	1,75	1,75
Kant asfalt	12,81	0,40	-	1,75	1,75
Kant asfalt	13,10	0,38	-	1,79	1,79
Kant asfalt	13,11	0,38	-	1,79	1,79
Opgaande bocht	13,00	0,39	0,00081	1,78	1,78
Kant asfalt	11,51	0,49	0,0018	1,59	1,59
3e rechte deel	9,64	0,92	-	2,29	2,29

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33}$$

 Toelaatbare deflectie = $8\% \cdot D_g = 0,08 \cdot 100,00 = 8,00$ mm

11. Berekening van de boorspoeldrukken tijdens de trekfase

Locatie	H [m]	σ_{vert} [kN/m ²]	σ_{hor} [kN/m ²]	σ_o' [kN/m ²]	p_f' [kN/m ²]	G [MN/m ²]
1e rechte deel	5,97	52,56	36,76	44,66	60,00	0,71
Berm	10,98	79,89	55,87	67,88	90,20	0,71
Neergaande bocht	10,75	78,64	54,99	66,81	88,81	0,71
Insteek	8,44	66,04	46,18	56,11	74,89	0,71
Insteek	8,44	66,04	46,18	56,11	74,89	0,71
2e rechte deel	10,77	78,75	55,07	66,91	88,93	0,71
Berm	11,05	80,27	56,13	68,20	90,62	0,71
Kant asfalt	11,09	80,49	56,29	68,39	90,86	0,71
Kant asfalt	11,39	82,13	57,43	69,78	92,67	0,71
Kant asfalt	11,40	82,18	57,47	69,83	92,73	0,71
Opgaande bocht	11,29	81,58	57,05	69,32	92,07	0,71
Kant asfalt	9,73	73,07	51,10	62,09	82,66	0,71
3e rechte deel	6,00	65,45	30,29	47,87	73,59	28,85

$$\sigma_{vert} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

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

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

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

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

Locatie	Q [-]	$R_{p,max}$ [m]	u [N/mm ²]	p_{st} [N/mm ²]	Δ_p [N/mm ²]	p_{lim} [N/mm ²]
1e rechte deel	0,021	2,99	0,0397	0,04479	0,00	0,19
Berm	0,031	5,49	0,0898	0,1013	0,01	0,30
Neergaande bocht	0,031	5,38	0,0875	0,09871	0,01	0,29
Insteek	0,026	4,22	0,0644	0,07265	0,01	0,25
Insteek	0,026	4,22	0,0644	0,07265	0,01	0,25
2e rechte deel	0,031	5,39	0,0877	0,09894	0,01	0,29
Berm	0,031	5,53	0,0905	0,1021	0,02	0,30
Kant asfalt	0,031	5,55	0,0909	0,1025	0,02	0,30
Kant asfalt	0,032	5,70	0,0939	0,1059	0,02	0,31
Kant asfalt	0,032	5,70	0,0940	0,1060	0,02	0,31
Opgaande bocht	0,032	5,65	0,0929	0,1048	0,02	0,30
Kant asfalt	0,029	4,87	0,0773	0,08721	0,02	0,27
3e rechte deel	0,00089	3,00	0,0400	0,04513	0,03	0,90

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

$$R_{p,max} = \frac{H}{2}; R_{p,max,zand} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot \epsilon_{g,max}} \text{ of } \frac{H}{2}$$

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$p_{st} = \rho_m \cdot g \cdot h_z$$

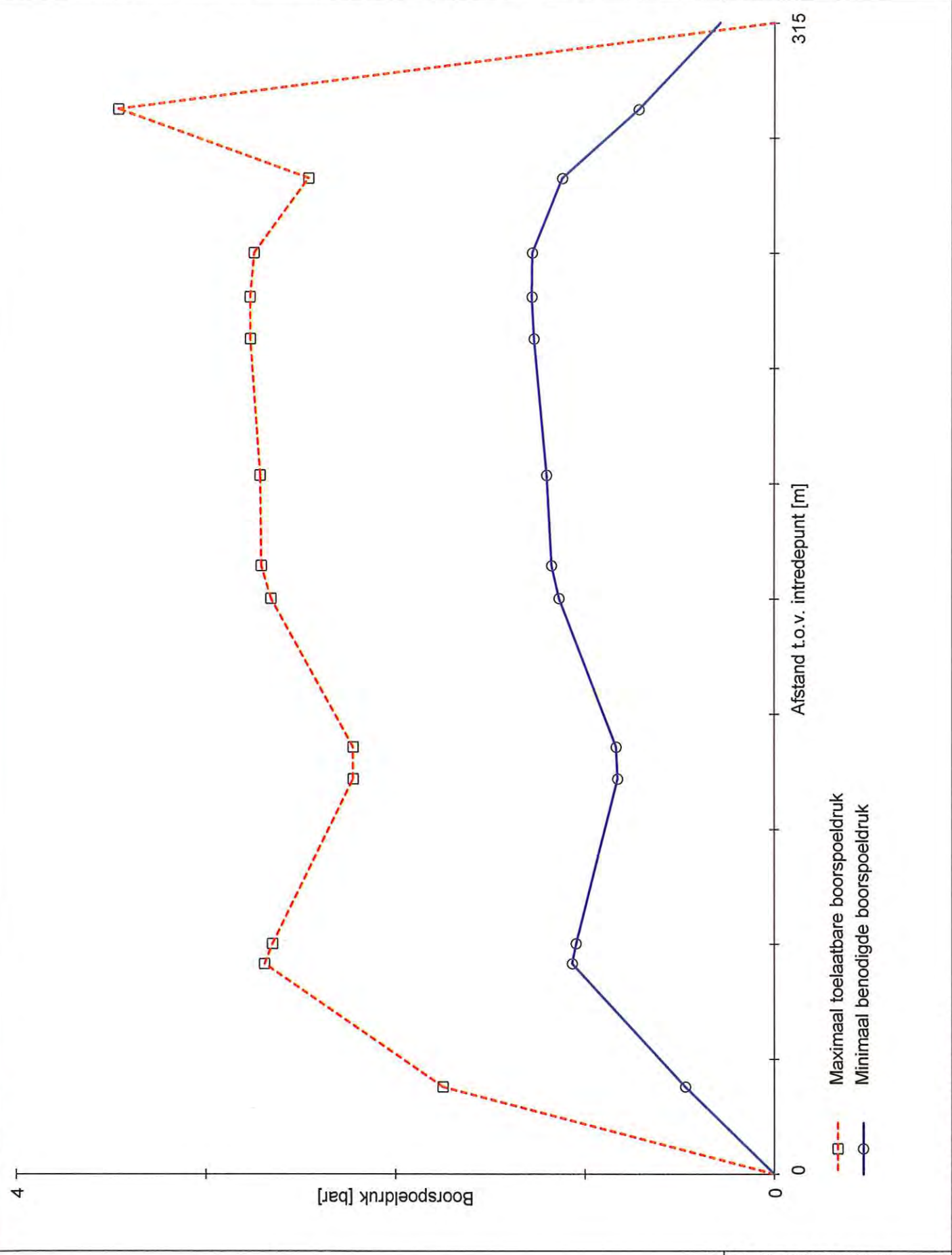
$$\Delta_p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$$

$$p_{lim} = (p_f' + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q \cdot \frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

Locatie	p_{max} [N/mm ²]	90% p_{lim} [N/mm ²]	p_{min} [N/mm ²]	p_{max} [bar]	90% p_{lim} [bar]	p_{min} [bar]
1e rechte deel	0,17	0,18	0,05	1,75	1,75	0,47
Berm	0,29	0,27	0,11	2,92	2,69	1,07
Neergaande bocht	0,29	0,26	0,10	2,87	2,65	1,04
Insteek	0,24	0,22	0,08	2,35	2,22	0,82
Insteek	0,24	0,22	0,08	2,35	2,22	0,83
2e rechte deel	0,29	0,26	0,11	2,87	2,65	1,13
Berm	0,29	0,27	0,12	2,93	2,70	1,17
Kant asfalt	0,29	0,27	0,12	2,94	2,71	1,20
Kant asfalt	0,30	0,28	0,13	3,00	2,76	1,27
Kant asfalt	0,30	0,28	0,13	3,01	2,76	1,28
Opgaande bocht	0,30	0,27	0,13	2,98	2,74	1,28
Kant asfalt	0,26	0,25	0,11	2,64	2,46	1,12
3e rechte deel	0,35	0,81	0,07	3,46	8,07	0,72

$$p_{max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{R_o}{R_{p,max}} \right)^2 + Q - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

$$p_{min} = p_{st} + \Delta p$$



3.0.10.0/12-2012/10-10383702

27-08-2015 11:40:26

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Windpark Fryslan			
Projectonderdeel : HDD boring Breezanddijk - Afsluitdijk - tekening nr. 482.15.2.039-106 Boring B - 250 HDPE			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS = 10		N/mm ²
Materiaalfactor	$\gamma_M = 1,25$		-
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	$\alpha_g = 16,0 \cdot 10^{-5}$		mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	$\alpha_\sigma = 0,65$		-
Soortelijk gewicht buis	$\rho_L = 9,55$		kN/m ³
Toelaatbare deflectie	$\delta = 8$		%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	$D_e = 250,00$		mm
Wanddikte	$d_n = 22,8$		mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uitreidehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 100	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_m = 11,5$		kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_y = 15$		Pa
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	$D_g = 760$		mm
Diameter boorstang	$D_b = 101$		mm
Totale lengte	L = 314,66		m
Lengte 1e rechte deel	$L_1 = 23,82$		m
Lengte neergaande bocht	$L_2 = 39,27$		m
Lengte 2e rechte deel	$L_3 = 188,60$		m
Lengte opgaande bocht	$L_4 = 39,27$		m
Lengte 3e rechte deel	$L_5 = 23,70$		m
Straal maaiveld/rollenbaan	$R_r = 150,00$		m
Straal neergaande bocht	$R_1 = 150,00$		m
Straal opgaande bocht	$R_2 = 150,00$		m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	$\alpha_1 = 15,00 / 26,79$		° / %
Uitrede-hoek (bij rollenbaan)	$\alpha_2 = 15,00 / 26,79$		° / %
Belastinghoek	$\alpha = 30$		°
Ondersteuningshoek	$\beta = 30$		°
Horizontale steundrukhoek	$\gamma = 120$		°
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd			
Totaalfactor bij boring met bundels	f = 1,8		
Belastingfactor	$f_{k,b} = 1,1$		
Belastingfactor	$f_{k,o} = 1,4$		
Wrijvingscoëff. zonder rollenbaan	$f_1 = 0,3$		
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	$f_2 = 0,00005$		N/mm ²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	$f_3 = 0,2$		
		27-08-2015 11:38:47	

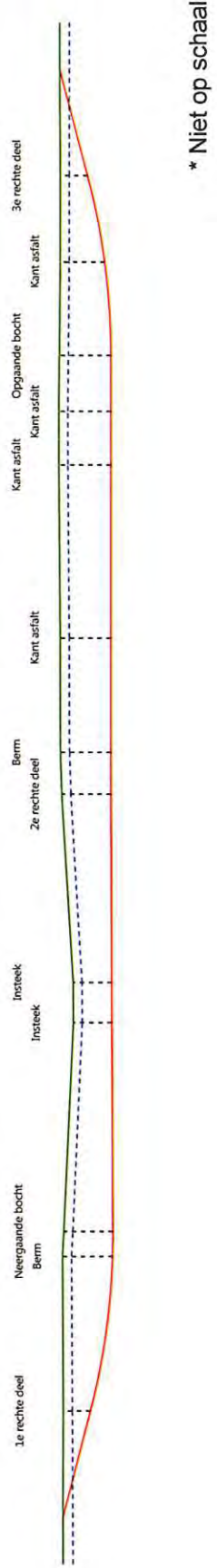
Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2012 3.0 ©

Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting

Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m ³]	Wrijvings- hoek grond [°]
1e rechte deel	23,83	5,97	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Berm	57,60	10,98	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Neergaande bocht	63,09	10,75	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Insteek	108,15	8,44	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Insteek	116,87	8,44	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
2e rechte deel	157,40	10,77	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Berm	166,33	11,05	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Kant asfalt	191,00	11,09	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Kant asfalt	228,21	11,39	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Kant asfalt	239,66	11,40	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Opgaande bocht	251,70	11,29	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Kant asfalt	272,08	9,73	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
3e rechte deel	290,97	6,00	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingsconstante [N/mm ²]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
1e rechte deel	Geen	0,0130	2,00	2,00	Grafiek I
Berm	Geen	0,0130	2,00	2,00	Grafiek I
Neergaande bocht	Geen	0,0130	2,00	2,00	Grafiek I
Insteek	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
Insteek	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
2e rechte deel	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
Berm	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
Opgaande bocht	Geen	0,0130	2,00	2,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	0,0620	2,00	2,00	Grafiek I
3e rechte deel	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I



* Niet op schaal

2. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 204,40	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 227,20	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 250,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 125,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 102,20	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 113,60	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 106.064.835,12	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 848.518,68	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 987,70	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 86,64	mm ³ /mm ¹
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 16.273,95	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,1554	N/mm ¹

3. Berekening van het gewicht van de leiding tijdens het intrekken van de leiding

	<i>Leiding op rollenbaan/maaiveld</i>	<i>Leiding in boorgat</i>
Gewicht mediumleiding	$g = 0,1554 \text{ N/mm}^1$	$g = 0,1554 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,1554 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,1554 \text{ N/mm}^1$

4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds

4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld

Trekkracht T_1 tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_1 [N]
Starten met trekken	314,66	26.408
Na 1 ^e deel intrekken	290,96	24.419
Na 2 ^e deel intrekken	251,69	21.123
Na 3 ^e deel intrekken	63,09	5.295
Na 4 ^e deel intrekken	23,82	1.999

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,1554 \cdot 0,3$$

4.2 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_1 [N]	σ_t [N/mm ²]
Starten met trekken	26.408	1,62
Na 1 ^e deel intrekken	24.419	1,50
Na 2 ^e deel intrekken	21.123	1,30
Na 3 ^e deel intrekken	5.295	0,33
Na 4 ^e deel intrekken	1.999	0,12

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{16.273,95}$$

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{106.064.835}{150.000} = 758.363,57 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{758.363,57}{848.519} = \mathbf{0,89 \text{ N/mm}^2}$$

4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	σ_t [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	1,62	2,20
Na 1 ^e deel intrekken	1,50	2,08
Na 2 ^e deel intrekken	1,30	1,88
Na 3 ^e deel intrekken	0,33	0,91
Na 4 ^e deel intrekken	0,12	0,70

$$\sigma_a = \alpha_\sigma \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 0,89 + \sigma_t$$

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

5. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat

5.1 Berekening van de vereiste trekkracht T_2 en T_{3a} in verband met wrijving tussen leiding en boorvloeistof/boorgangwand

Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof. 100% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet. Hieruit volgt: $D_{e,omtrek} = 785,40 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,155 \text{ N/mm}^1$

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

Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,409 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
1 ^e deel intrekken	23,70	5.166	-
2 ^e deel intrekken	62,97	-	13.725
3 ^e deel intrekken	251,57	54.832	-
4 ^e deel intrekken	290,84	-	63.391
Geheel ingetrokken	314,66	68.583	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (785,40 \cdot 0,00005 + 0,409 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (785,40 \cdot 0,00005 + 0,409 \cdot 0,2)$

5.3 Berekening van de vereiste trekkracht T_{3b} in verband met wrijving door grondreactie in de bochten

Locatie	λ [mm ⁻¹]	R [m]	Q_r [N/mm ²]	T_{3b} [N]
1e rechte deel	0,0017	150	0,0028	934
Berm	0,0017	150	0,0028	934
Neergaande bocht	0,0017	150	0,0028	934
Opgaande bocht	0,0017	150	0,0028	934
Kant asfalt	0,0025	150	0,0060	1.380

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

$$Q_r = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot 0,9 \cdot R}$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 250 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

5.4 Berekening van de wrijving door bochtkracht T_{3c}

Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	T_{bocht} [N]
Neergaande bocht	21.123	13.725	934	-	35.782
Opgaande bocht	1.999	63.391	934	1.380	67.704

 Neergaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max}$

 Opgaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max} + T_{3a,op} + T_{3b,op,max}$

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N]
Neergaande bocht	7,50	35.782	3.363
Opgaande bocht	7,50	67.704	6.363

$$T_{3c} = f \cdot L_B \cdot g_t \cdot f_3$$

$$L_B = 2 \cdot R \cdot 2\pi \cdot \frac{\alpha}{360}$$

$$g_t = \frac{2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha)}{L_B}$$

$$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,8 \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$

5.5 Totalisatie van de trekkraften in fase II

Trekkraft T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 / T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3c,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{3c,op}$ [N]	T_{tot} [N]
1 ^e deel intrekken	24.419	5.166	-	-	-	-	29.584
2 ^e deel intrekken	21.123	13.725	934	3.363	-	-	39.145
3 ^e deel intrekken	5.295	54.832	934	3.363	-	-	64.423
4 ^e deel intrekken	1.999	63.391	934	3.363	1.380	6.363	77.430
Geheel intrekken	0	68.583	934	3.363	1.380	6.363	80.623

$$T_{\text{tot}} = T_1 + T_2 + T_{3a} + T_{3b,neer,max} + T_{3c,neer} + T_{3b,op,max} + T_{3c,op}$$

5.6 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkraften in fase II

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]
1 ^e deel intrekken	29.584	1,82
2 ^e deel intrekken	39.145	2,41
3 ^e deel intrekken	64.423	3,96
4 ^e deel intrekken	77.430	4,76
Geheel intrekken	80.623	4,95

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{16.273,95}$$

5.7 *Optredende spanningen t.g.v. kromming van de leiding in het boorgat*

5.7.1 *Neergaande bocht*

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{106.064.835,12}{0,9 \cdot 150.000} = 1.072.433,33 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{1.072.433,33}{848.518,68} = 1,26 \text{ N/mm}^2$$

5.7.2 *Opgaande bocht*

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{106.064.835,12}{0,9 \cdot 150.000} = 1.072.433,33 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{1.072.433,33}{848.518,68} = 1,26 \text{ N/mm}^2$$

5.8 *Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie*

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	29.584	1,82	-	1,82
Na 1 ^e deel intrekken	39.145	2,41	1,26	3,23
Na 2 ^e deel intrekken	64.423	3,96	-	3,96
Na 3 ^e deel intrekken	77.430	4,76	1,26	5,58
Na 4 ^e deel intrekken	80.623	4,95	-	4,95

Rechte delen: $\sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{16.273,95} = \sigma_t$

Gebogen delen: $\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot \sigma_b + \sigma_t$

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

6. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase
6.1 Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pl} t.g.v. inwendige druk

Leiding is drukloos:

$$\sigma_p = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

6.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

Leiding is drukloos:

$$f_{rr} = 1,00$$

6.3 Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	q_{droog} [kN/m ²]	q_{nat} [kN/m ²]	q_{totaal} [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]
1e rechte deel	5,97	2,00	Klei	37,40	74,24	111,64	17,98
Berm	10,98	2,00	Klei	37,40	167,93	205,33	28,88
Neergaande bocht	10,75	2,00	Klei	37,40	163,63	201,03	28,38
Insteek	8,44	2,00	Klei	37,40	120,43	157,83	23,36
Insteek	8,44	2,00	Klei	37,40	120,43	157,83	23,36
2e rechte deel	10,77	2,00	Klei	37,40	164,00	201,40	28,42
Berm	11,05	2,00	Klei	37,40	169,24	206,64	29,03
Kant asfalt	11,09	2,00	Klei	37,40	169,98	207,38	29,12
Kant asfalt	11,39	2,00	Klei	37,40	175,59	212,99	29,77
Kant asfalt	11,40	2,00	Klei	37,40	175,78	213,18	29,80
Opgaande bocht	11,29	2,00	Klei	37,40	173,72	211,12	29,56
Kant asfalt	9,73	2,00	Klei	37,40	144,55	181,95	26,16
3e rechte deel	6,00	2,00	Zand	39,60	88,00	127,60	21,90

$$Q_n = (\gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o$$

6.4 Berekening van de verkeersbelasting Q_v

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeers- belasting	q_v [kN/m ²]	Q_v [N/mm ¹]
1e rechte deel	5,97	Grafiek I	8,37	2,09
Berm	10,98	Grafiek I	3,67	0,92
Neergaande bocht	10,75	Grafiek I	3,79	0,95
Insteek	8,44	Grafiek I	5,41	1,35
Insteek	8,44	Grafiek I	5,41	1,35
2e rechte deel	10,77	Grafiek I	3,78	0,95
Berm	11,05	Grafiek I	3,63	0,91
Kant asfalt	11,09	Grafiek I	3,61	0,90
Kant asfalt	11,39	Grafiek I	3,46	0,87
Kant asfalt	11,40	Grafiek I	3,46	0,86
Opgaande bocht	11,29	Grafiek I	3,51	0,88
Kant asfalt	9,73	Grafiek I	4,41	1,10
3e rechte deel	6,00	Grafiek I	8,33	2,08

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 250$$

6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_{boven} [N/mm ¹]	M_q [Nmm]	σ_q [N/mm ¹]
1e rechte deel	17,98	2,09	20,08	586,19	6,77
Berm	28,88	0,92	29,80	869,99	10,04
Neergaande bocht	28,38	0,95	29,33	856,28	9,88
Insteek	23,36	1,35	24,71	721,37	8,33
Insteek	23,36	1,35	24,71	721,37	8,33
2e rechte deel	28,42	0,95	29,37	857,47	9,90
Berm	29,03	0,91	29,94	874,17	10,09
Kant asfalt	29,12	0,90	30,02	876,56	10,12
Kant asfalt	29,77	0,87	30,64	894,52	10,32
Kant asfalt	29,80	0,86	30,66	895,12	10,33
Opgaande bocht	29,56	0,88	30,43	888,53	10,26
Kant asfalt	26,16	1,10	27,27	796,02	9,19
3e rechte deel	21,90	2,08	23,98	700,15	8,08

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 113,60$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{86,64}$$

6.6 Optredende spanning σ_{qr} t.g.v. grondreactie in de bochten

Locatie	R [m]	Q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
1e rechte deel	150	0,0028	0,18
Berm	150	0,0028	0,18
Neergaande bocht	150	0,0028	0,18
Opgaande bocht	150	0,0028	0,18
Kant asfalt	150	0,0060	0,39

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,179 \cdot Q_r \cdot 250 \cdot \frac{125,00}{86,64}$$

6.7 Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil

Leiding is drukloos

$$\sigma_{ax} = 0 \text{ N/mm}^2$$

7. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

$$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$$

$$S_N = 975 \cdot \frac{987,70}{227,2^3} = 0,08 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{82,11 \text{ kN/m}^2}$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = **0,5 kN/m²**

8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$

Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$

$$P_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$$

$$P_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 987,70}{227,20^3} = 1,56 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 987,70}{227,20^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **28,07** m grondwater boven de leiding

9. Berekening van het totaal aan optredende spanningen

9.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

Locatie	σ_q [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_{y2} [N/mm ²]
1e rechte deel	6,77	0,18	0,65	4,51
Berm	10,04	0,18	0,65	6,64
Neergaande bocht	9,88	0,18	0,65	6,54
Insteek	8,33	-	0,65	5,41
Insteek	8,33	-	0,65	5,41
2e rechte deel	9,90	-	0,65	6,43
Berm	10,09	-	0,65	6,56
Kant asfalt	10,12	-	0,65	6,58
Kant asfalt	10,32	-	0,65	6,71
Kant asfalt	10,33	-	0,65	6,72
Opgaande bocht	10,26	0,18	0,65	6,78
Kant asfalt	9,19	0,39	0,65	6,23
3e rechte deel	8,08	-	0,65	5,25

Rechte delen: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$

Bochten: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$

Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = 8,00 \text{ N/mm}^2$

9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

Locatie	σ_{ax} [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_x [N/mm ²]
1e rechte deel	0,00	1,26	0,65	0,82
Berm	0,00	1,26	0,65	0,82
Neergaande bocht	0,00	1,26	0,65	0,82
Insteek	0,00	-	-	0,00
Insteek	0,00	-	-	0,00
2e rechte deel	0,00	-	-	0,00
Berm	0,00	-	-	0,00
Kant asfalt	0,00	-	-	0,00
Kant asfalt	0,00	-	-	0,00
Kant asfalt	0,00	-	-	0,00
Opgaande bocht	0,00	1,26	0,65	0,82
Kant asfalt	0,00	1,26	0,65	0,82
3e rechte deel	0,00	-	-	0,00

 Rechte delen: $\sigma_x = \sigma_{ax}$

 Bochten: $\sigma_x = \sigma_{ax} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_b$

 Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = 8,00$ N/mm²
10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_r [N/mm ²]	δ_Y [mm]	δ_Y/D_g [%]
1e rechte deel	17,98	2,09	0,0028	2,64	1,16
Berm	28,88	0,92	0,0028	3,91	1,72
Neergaande bocht	28,38	0,95	0,0028	3,85	1,70
Insteek	23,36	1,35	-	3,24	1,43
Insteek	23,36	1,35	-	3,24	1,43
2e rechte deel	28,42	0,95	-	3,86	1,70
Berm	29,03	0,91	-	3,93	1,73
Kant asfalt	29,12	0,90	-	3,94	1,73
Kant asfalt	29,77	0,87	-	4,02	1,77
Kant asfalt	29,80	0,86	-	4,03	1,77
Opgaande bocht	29,56	0,88	0,0028	4,00	1,76
Kant asfalt	26,16	1,10	0,0060	3,58	1,58
3e rechte deel	21,90	2,08	-	5,15	2,26

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_0^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 113,60^3}{350 \cdot 987,70}$$

 Toelaatbare deflectie = $8\% \cdot D_g = 0,08 \cdot 227,20 = 18,18$ mm

11. Berekening van de boorspoeldrukken tijdens de trekfase

Locatie	H [m]	σ_{vert} [kN/m ²]	σ_{hor} [kN/m ²]	σ_o' [kN/m ²]	p'_f [kN/m ²]	G [MN/m ²]
1e rechte deel	5,97	52,56	36,76	44,66	60,00	0,71
Berm	10,98	79,89	55,87	67,88	90,20	0,71
Neergaande bocht	10,75	78,64	54,99	66,81	88,81	0,71
Insteek	8,44	66,04	46,18	56,11	74,89	0,71
Insteek	8,44	66,04	46,18	56,11	74,89	0,71
2e rechte deel	10,77	78,75	55,07	66,91	88,93	0,71
Berm	11,05	80,27	56,13	68,20	90,62	0,71
Kant asfalt	11,09	80,49	56,29	68,39	90,86	0,71
Kant asfalt	11,39	82,13	57,43	69,78	92,67	0,71
Kant asfalt	11,40	82,18	57,47	69,83	92,73	0,71
Opgaande bocht	11,29	81,58	57,05	69,32	92,07	0,71
Kant asfalt	9,73	73,07	51,10	62,09	82,66	0,71
3e rechte deel	6,00	65,45	30,29	47,87	73,59	28,85

$$\sigma_{vert} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

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

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

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

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

Locatie	Q [-]	$R_{p,max}$ [m]	u [N/mm ²]	p_{st} [N/mm ²]	Δ_p [N/mm ²]	p_{lim} [N/mm ²]
1e rechte deel	0,021	2,99	0,0397	0,04479	0,00	0,19
Berm	0,031	5,49	0,0898	0,1013	0,01	0,30
Neergaande bocht	0,031	5,38	0,0875	0,09871	0,01	0,29
Insteek	0,026	4,22	0,0644	0,07265	0,01	0,25
Insteek	0,026	4,22	0,0644	0,07265	0,01	0,25
2e rechte deel	0,031	5,39	0,0877	0,09894	0,01	0,29
Berm	0,031	5,53	0,0905	0,1021	0,02	0,30
Kant asfalt	0,031	5,55	0,0909	0,1025	0,02	0,30
Kant asfalt	0,032	5,70	0,0939	0,1059	0,02	0,31
Kant asfalt	0,032	5,70	0,0940	0,1060	0,02	0,31
Opgaande bocht	0,032	5,65	0,0929	0,1048	0,02	0,30
Kant asfalt	0,029	4,87	0,0773	0,08721	0,02	0,27
3e rechte deel	0,00089	3,00	0,0400	0,04513	0,03	0,90

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

$$R_{p,max} = \frac{H}{2}; R_{p,max,zand} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot \epsilon_{g,max}} \text{ of } \frac{H}{2}$$

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$p_{st} = \rho_m \cdot g \cdot h_z$$

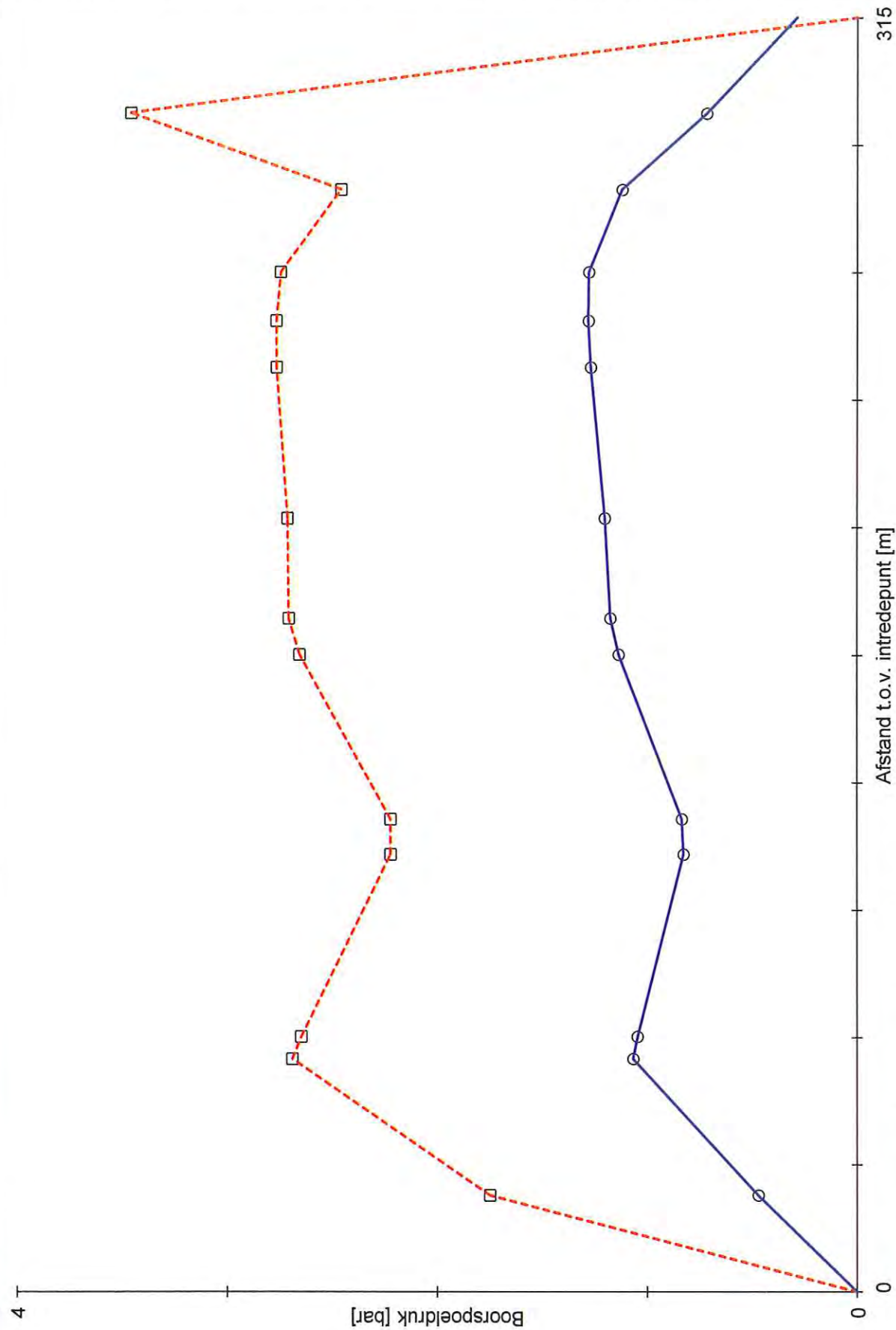
$$\Delta_p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$$

$$p_{lim} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q \cdot \frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

Locatie	p_{\max} [N/mm ²]	90% p_{lim} [N/mm ²]	p_{\min} [N/mm ²]	p_{\max} [bar]	90% p_{lim} [bar]	p_{\min} [bar]
1e rechte deel	0,17	0,18	0,05	1,75	1,75	0,47
Berm	0,29	0,27	0,11	2,92	2,69	1,07
Neergaande bocht	0,29	0,26	0,10	2,87	2,65	1,04
Insteek	0,24	0,22	0,08	2,35	2,22	0,82
Insteek	0,24	0,22	0,08	2,35	2,22	0,83
2e rechte deel	0,29	0,26	0,11	2,87	2,65	1,13
Berm	0,29	0,27	0,12	2,93	2,70	1,17
Kant asfalt	0,29	0,27	0,12	2,94	2,71	1,20
Kant asfalt	0,30	0,28	0,13	3,00	2,76	1,27
Kant asfalt	0,30	0,28	0,13	3,01	2,76	1,28
Opgaande bocht	0,30	0,27	0,13	2,98	2,74	1,28
Kant asfalt	0,26	0,25	0,11	2,64	2,46	1,12
3e rechte deel	0,35	0,81	0,07	3,46	8,07	0,72

$$p_{\max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{R_o^2}{R_{p,\max}} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

$$p_{\min} = p_{st} + \Delta p$$



Algemene gegevens

Naam van het project : Windpark Fryslan
Projectonderdeel : Boorspoeldruk HDD boring Breezanddijk - Afsluitdijk - tekening nr. 482.15.2.039-106 Boring B

Grondmechanische gegevens

Grondsoort		= Klei	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 17	kN/m ³
Volumiek gewicht natte grond	γ_n	= 17	kN/m ³
Volumiek gewicht water	γ_w	= 10	kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	φ	= 17,5	°
Effectieve cohesie	c'	= 2	kN/m ²
E-modulus ondergrond	E_{100}	= 2	MN/m ²

Aanleggegevens

Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 9,72	m
Gronddekking boven de grondwaterstand	H_d	= 1	m
Gronddekking onder de grondwaterstand	H_n	= 8,72	m
Afstand t.o.v. intredepunt	L	= 270,76	m
Soortelijk gewicht boorvloeistof	ρ_m	= 11,5	kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	τ_y	= 15	Pa
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	D_g	= 760	mm
Diameter boorstang	D_b	= 101	mm

1. Maximaal toelaatbare boorspoeldruk (conform NEN 3650-serie)

1.1 Verticale terreinspanning

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{17}{1,1} \cdot 1 + \frac{17}{1,1} \cdot 8,72 - 10 \cdot 8,72 = 63,02 \text{ kN/m}^2$$

1.2 Horizontale terreinspanning

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

$$\sigma_{\text{hor}} = 63,02 \cdot (1 - \sin(17,5)) = 44,07 \text{ kN/m}^2$$

1.3 Gemiddelde terreinspanning

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

$$\sigma_o' = \frac{63,02 + 44,07}{2} = 53,54 \text{ kN/m}^2$$

1.4 Boorspoeldruk waarbij de eerste plastische vervormingen optreden

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

$$p_f' = 53,54 \cdot (1 + \sin(17,5)) + 2 \cdot \cos(17,5) = 71,55 \text{ kN/m}^2$$

1.5 Glijdingsmodulus

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

$$G = \frac{2}{2 \cdot (1 + 0,4)} = 0,71 \text{ MN/m}^2$$

Berekening van de toelaatbare boorspoeldruk conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2012 3.0 ©
<p>1.6 Bepaling van Q</p> $Q = \frac{\sigma_o' \cdot \sin(\varphi) + c \cdot \cos(\varphi)}{G}$ $Q = \frac{53,54 \cdot \sin(17,5) + 2 \cdot \cos(17,5)}{0,71 \cdot 10^3} = 0,025$	
<p>1.7 Bepaling initiële straal boorgang en max. toelaatbare plastische zone</p> $R_o = \frac{D_o}{2} = 380 \text{ mm}$ $R_{p,max} = \frac{H}{2}$ $R_{p,max} = \frac{9720,00}{2} = 4.860,00 \text{ mm}$	
<p>1.8 Berekening van de aanwezige waterspanning</p> $u = \gamma_w \cdot H_n$ $u = (10 \cdot 8,72) \cdot 10^{-3} = 0,09 \text{ N/mm}^2$	
<p>1.9 Effectieve limietdruk</p> $p_{lim} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$ $p_{lim} = (71,55 + 2 \cdot \cot(17,5)) \cdot Q^{\frac{-\sin 17,5}{1 + \sin 17,5}} - c \cdot \cot(17,5) + 0,09 = 0,26 \text{ N/mm}^2$ $p_{lim,90\%} = 0,9 \cdot 0,26 = \mathbf{0,24 \text{ N/mm}^2} = \mathbf{2,37 \text{ bar}} = \mathbf{236,94 \text{ kPa}}$	
<p>1.10 Maximaal toelaatbare boorspoeldruk</p> $p_{max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{R_o^2}{R_{p,max}} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$ $p_{max} = (71,55 + 17,5 \cdot \cot(2)) \cdot \left(\frac{380^2}{4.860,00} + 0,03 \right)^{\frac{-\sin 17,5}{1 + \sin 17,5}} - 2 \cdot \cot(17,5) + 0,09$ $p_{max} = \mathbf{0,25 \text{ N/mm}^2} = \mathbf{2,54 \text{ bar}} = \mathbf{254,33 \text{ kPa}}$	
<p>2. Minimaal benodigde boorspoeldruk</p>	
<p>2.1 Statische druk</p> $p_{st} = \rho_m \cdot g \cdot h_z$ $p_{st} = (1.150,00 \cdot 9,81 \cdot 8,72) \cdot 10^{-6} = 0,10 \text{ N/mm}^2$	
<p>2.2 Drukverschil</p> $\Delta p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$ $\Delta p = 4 \cdot \frac{0,000015}{760 - 101} \cdot 270.760,00 = 0,02 \text{ N/mm}^2$	
<p>2.3 Minimaal benodigde boorspoeldruk</p> $p_{min} = p_{st} + \Delta p$ $p_{min} = 0,10 + 0,02 = \mathbf{0,12 \text{ N/mm}^2} = \mathbf{1,23 \text{ bar}} = \mathbf{123,03 \text{ kPa}}$	
<p>3. Conclusie</p> $p_{lim,90\%} < p_{max} \rightarrow p_{lim,90\%} \text{ is maatgevend}$ $p_{lim,90\%} > p_{min}$	
27-08-2015 12:02:40	

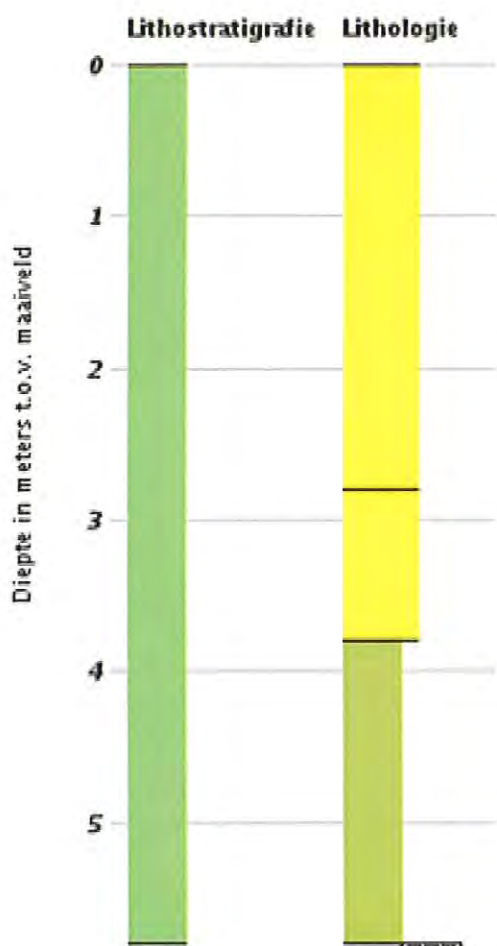
Boormonsterprofiel en interpretatie

Identificatie: B10C0198

Coördinaten: 143200, 559500

Maaiveld: -4,10 m t.o.v. NAP

Dieptetraject t.o.v. Maaiveld: 0,00 m - 5,80 m



Lithostratigrafie

NA

Lithologie

Leem

Zand fijne categorie

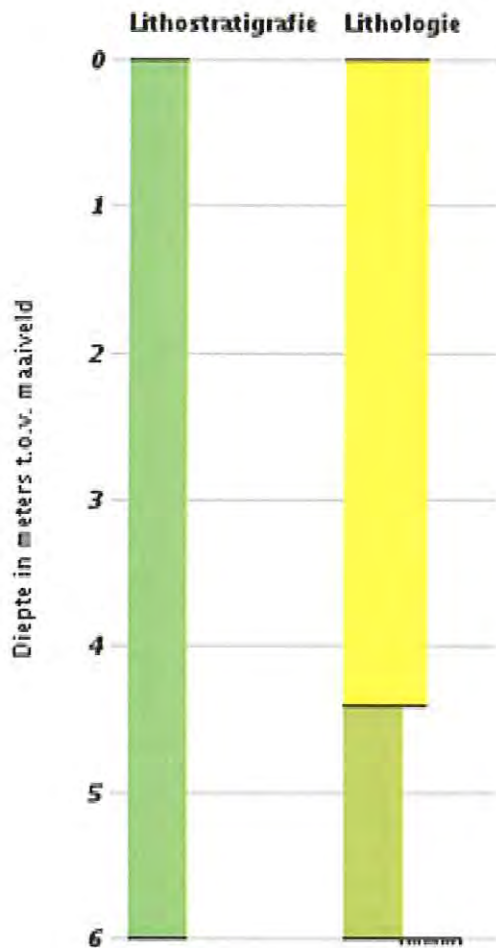
Boormonsterprofiel en interpretatie

Identificatie: B10C0199

Coördinaten: 143350, 559630

Maaiveld: -3,05 m t.o.v. NAP

Dieptetraject t.o.v. Maaiveld: 0,00 m - 6,00 m



Lithostratigrafie

NA

Lithologie

Leem

Zand fijne categorie

Bijlage 4: Certificaten en productomschrijving

TUNNEL-GEL™ PLUS



THE *Original* DRILLING FLUIDS COMPANY.

Viscosifier/Gellant

- Beschrijving:** TUNNEL-GEL™ PLUS is speciaal geformuleerd voor gebruik in tunnelling en HDD. TUNNEL-GEL™ PLUS geeft de boorvloeistof viscositeit om het transport van boorgruis te bevorderen, maakt gemakkelijk verwijderen van de vaste delen d.m.v. scheidings-materieel, geeft stabiliteit aan het boorgat en levert een goed waterverlies (FL). Het is compatible met andere BAROID producten.
- Toepassing/Functies:**
- Geeft viscositeit aan de boorspoeling.
 - Heeft draagkracht voor het transport van boorgruis.
 - Reduceert waterpenetratie in de waterdoorlatende formatie.
 - Bevordert boorgat stabiliteit in moeilijke **consolidated** formaties.
- Voordelen:**
- Goed draagvermogen tijdens het boren.
 - Goede suspensie capaciteit tijdens stilstand.
 - Gemakkelijk te mengen en bereikt snel de maximale viscositeit.
 - Niet giftig en fermenteert niet.
- Typische eigenschappen:** Poeder, geel tot bruin
Gewicht 2,600 kg/cm³
pH in 3% oplossing 10,4
- Aanbevolen gebruik:** Meng langzaam door een hopper of strooi het in de vortex d.m.v. hoge snelheids **peddels**.
In normale condities gebruik, voeg 25 – 35 kg/m³ aan leidingwater toe.
In moeilijke of grind condities, voeg 35 – 40 kg/m³ aan leidingwater toe.
Als het aanmaakwater een lage pH en/of een hoge hardheid heeft, voeg 0,7 kg SODA ASH per m³ aan het water toe, daarna TUNNEL-GEL™ PLUS
- Verpakking:** TUNNEL-GEL™ PLUS is verpakt in 25 kg meervoudige, special gecoatte zakken en in 1.000 kg big-bags.
- Verkrijgbaar:** TUNNEL-GEL™ PLUS wordt geleverd door onze distributeurs.

Voor zover wij kunnen beoordelen, is bovengenoemde informatie correct. Wij kunnen u echter geen garanties geven over de resultaten die u hiermee zult bereiken. Deze beschrijving wordt u aangeboden op voorwaarde dat u zelf bepaalt in hoeverre zij geschikt is voor uw doeleinden.

Bijlage 5: Technische gegevens diverse rigs

Boorrig 4 ton, fabrikaat Vermeer D7x11 series II



Trekkracht	4 ton
Drukkracht	4 ton
Mechanisme	Tandheugel (R&P)
Afmetingen machine	4010 x 900 x 1780 mm (afstand intredepunt - achterzijde rig 6 mtr)
Gewicht machine	2,5 ton
Motor	Turbo diesel (35 kW = 50 PK)
Hellingshoek	10° - 18°
Boormotor koppel	2711 Nm
Cabine	Geen cabine
Lavette	Slaglengte 1.800 mm

Toebehoren

Boorstangen	Firesticks II, L = 180 cm Ø 40 mm
Swivel	7 ton
Barrelreamers / Flycutters	Vanaf Ø 60 mm t/m Ø 315 mm
Boorkoppen	Jet Bit 70 mm t.b.v. walk-over/draadmeetsysteem
Meng- en pompsysteem	Site-Tec 200 ltr/min mix- & pompinstallatie gebouwd in vrachtwagen
Transport	4x2 bakwagen

Boorrig 7 ton, fabrikaat Vermeer D16x20 series II



Trekkracht	7,2 ton
Drukkracht	7 ton
Mechanisme	Tandheugel (R&P)
Afmetingen machine	5100 x 1220 x 1920 mm (afstand intredepunt - achterzijde rig 6,5 mtr)
Gewicht machine	4,8 ton
Motor	Turbo diesel (47 kW = 65 PK)
Hellingshoek	10° - 18°
Boormotor koppel	2711 Nm
Cabine	Geen cabine
Lavette	Slaglengte 3.000 mm

Toebehoren

Boorstangen	Firesticks II, L = 300 cm Ø 48 mm
Swivel	10 ton
Barrelreamers / Flycutters	Vanaf Ø 60 mm t/m Ø 315 mm
Boorkoppen	Jet Bit 70 mm t.b.v. walk-over/draadmeetsysteem
Meng- en pompsysteem	Site-Tec 200 ltr/min mix- & pompinstallatie gebouwd in vrachtwagen
Transport	4x2 bakwagen

Boorrig 16 ton, fabrikaat Vermeer D36



Trekkracht	16,5 ton
Drukkracht	16 ton
Mechanisme	Tandheugel (R&P)
Afmetingen machine	6502 x 1905 x 2769 mm (afstand intredepunt - achterzijde rig 7 mtr)
Gewicht machine	9 ton
Rupsonderstel lxb	ca. 2200 x 400 mm Rubber (gronddruk 5 N/cm ²)
Motor	6 cylinder turbo diesel (104 kW = 140 PK)
Hellingshoek	10° - 18°
Boormotor koppel	6800 Nm
Cabine	Vaste cabine met transportstand
Lavette	Slaglengte 3.000 mm

Toebehoren

Boorstangen	Firesticks II, L = 300 cm Ø 60 mm
Swivel	20 ton
Barrelreamers / Flycutters	Vanaf Ø 125 mm t/m Ø 750 mm
Boorkoppen	Jet Bit 70 mm t.b.v. walk-over/draadmeetsysteem
Meng- en pompsysteem	Site-Tec 750 ltr/min mix- & pompinstallatie gebouwd op containersysteem
Transport	Transport op 6x6, rig op semi-dieplader

Boorrig 100 ton, fabrikaat Prime PD 100 / 50 RP

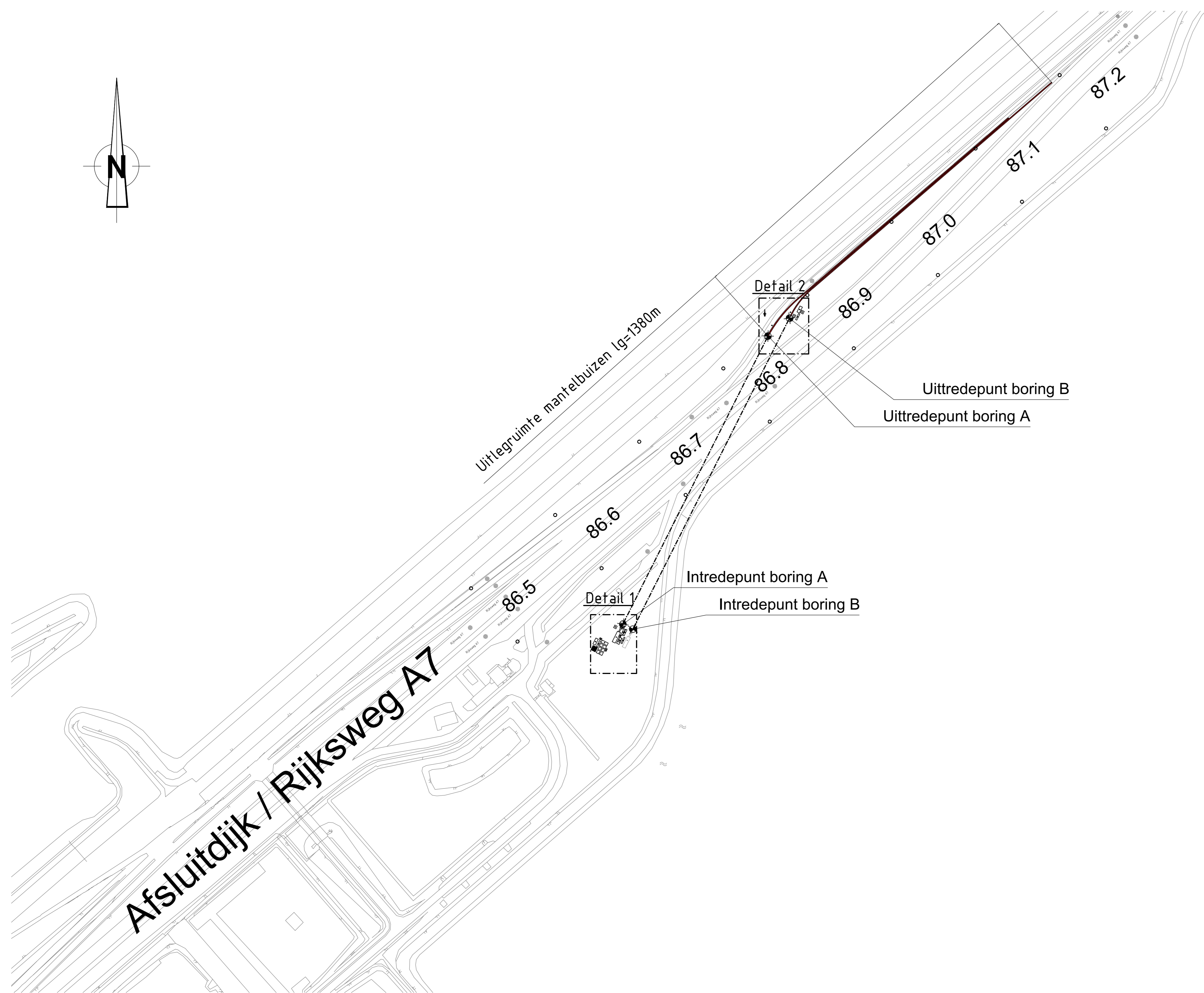
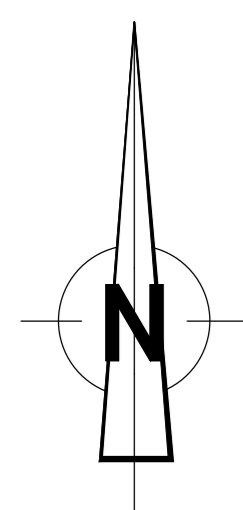


Trekkracht	100 ton
Drukkracht	50 ton
Mechanisme	Tandheugel (R&P)
Afmetingen machine LxBxH	11000 x 1220 x 1920 mm (afstand intredepunt - achterzijde rig 17-20 mtr)
Gewicht machine	25 ton
Rupsonderstel lxb	ca. 4400 x 800 mm (gronddruk 7 N/cm ²)
Motor	6 cylinder turbo diesel (104 kW = 140 PK)
Hellingshoek	8° - 17° (praktisch 10° - 15°)
Boormotor koppel	50.000 Nm
Cabine	Vaste cabine met transportstand
Lavette	Slaglengte t.b.v. boorstangen 6.000 mm

Toebehoren

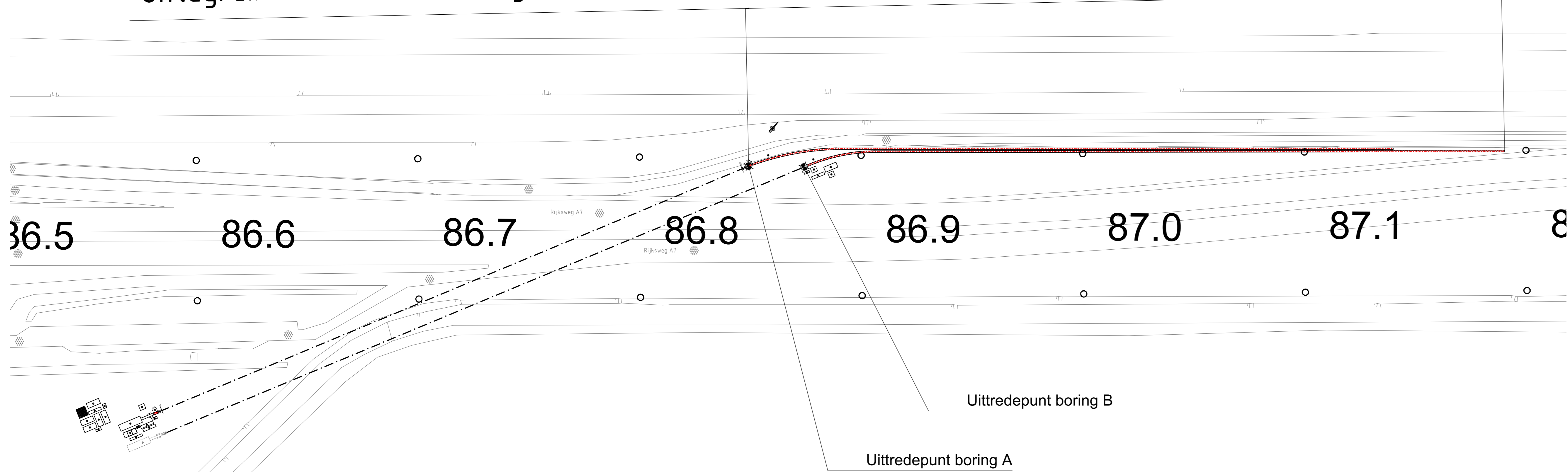
Boorstangen	5" met 4 1/2 IF tooljoint en 3,5" met 3 1/2 IF tooljoint
Swivel	100 ton, max. belasting 200 ton
Ruimers en Flycutters	Vanaf Ø 150 mm t/m Ø 1.350 mm
Boorkop	9-5/8" Toothbit + RVS bit
Mix- en recycling unit	1.600 ltr of 3.200 ltr / min, afhankelijk van de omvang van de boring. 1 of 2 st 20 ft containers.
Meng- en pompunit	2.500 ltr/min mix- & pompinstallatie gebouwd op containersysteem
Transport	Alles is gebouwd op 20 ft container met kabelsysteem. Eigen kraanauto (8x4).

Bijlage 6: Drill-sheet

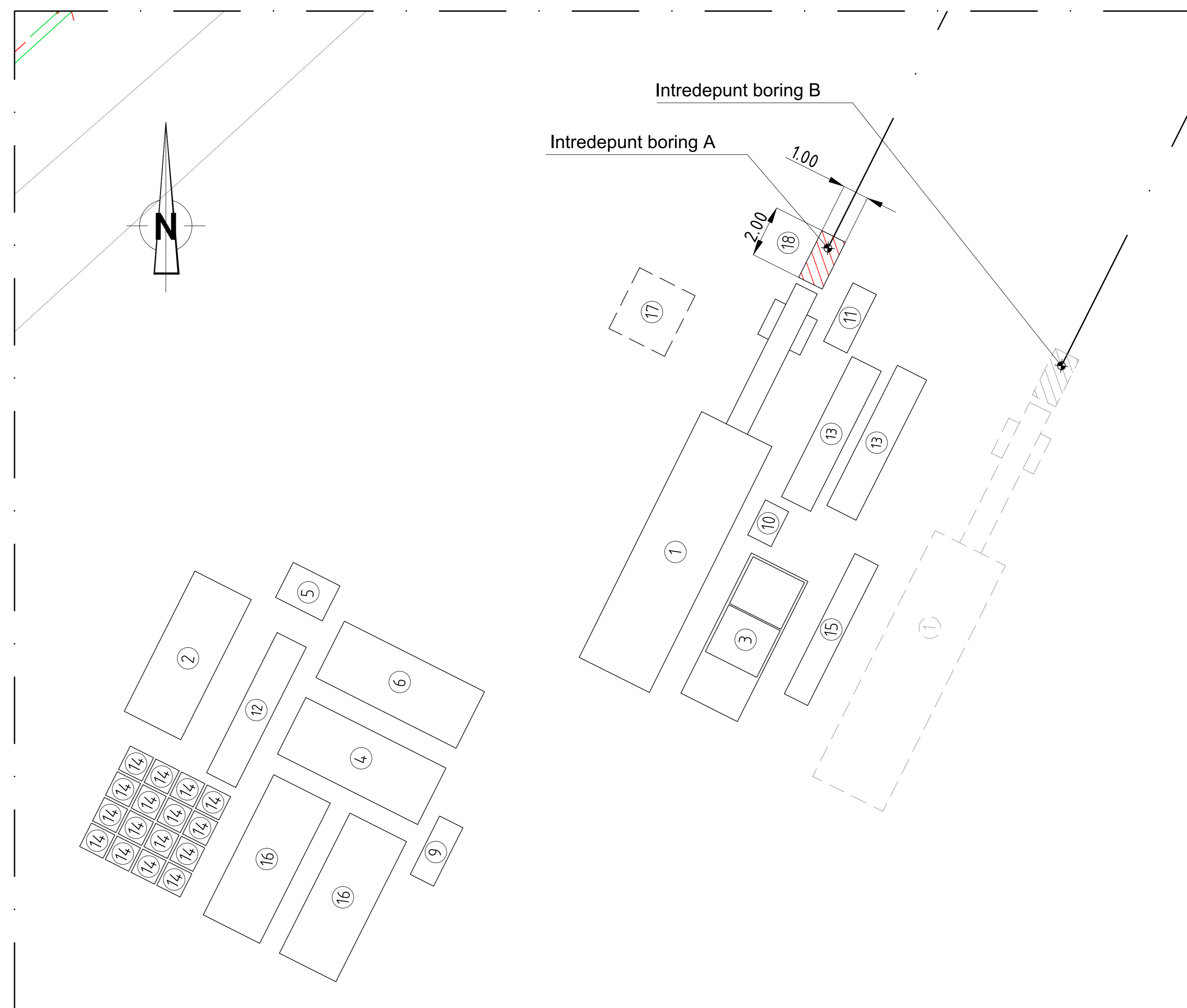


Ovezicht

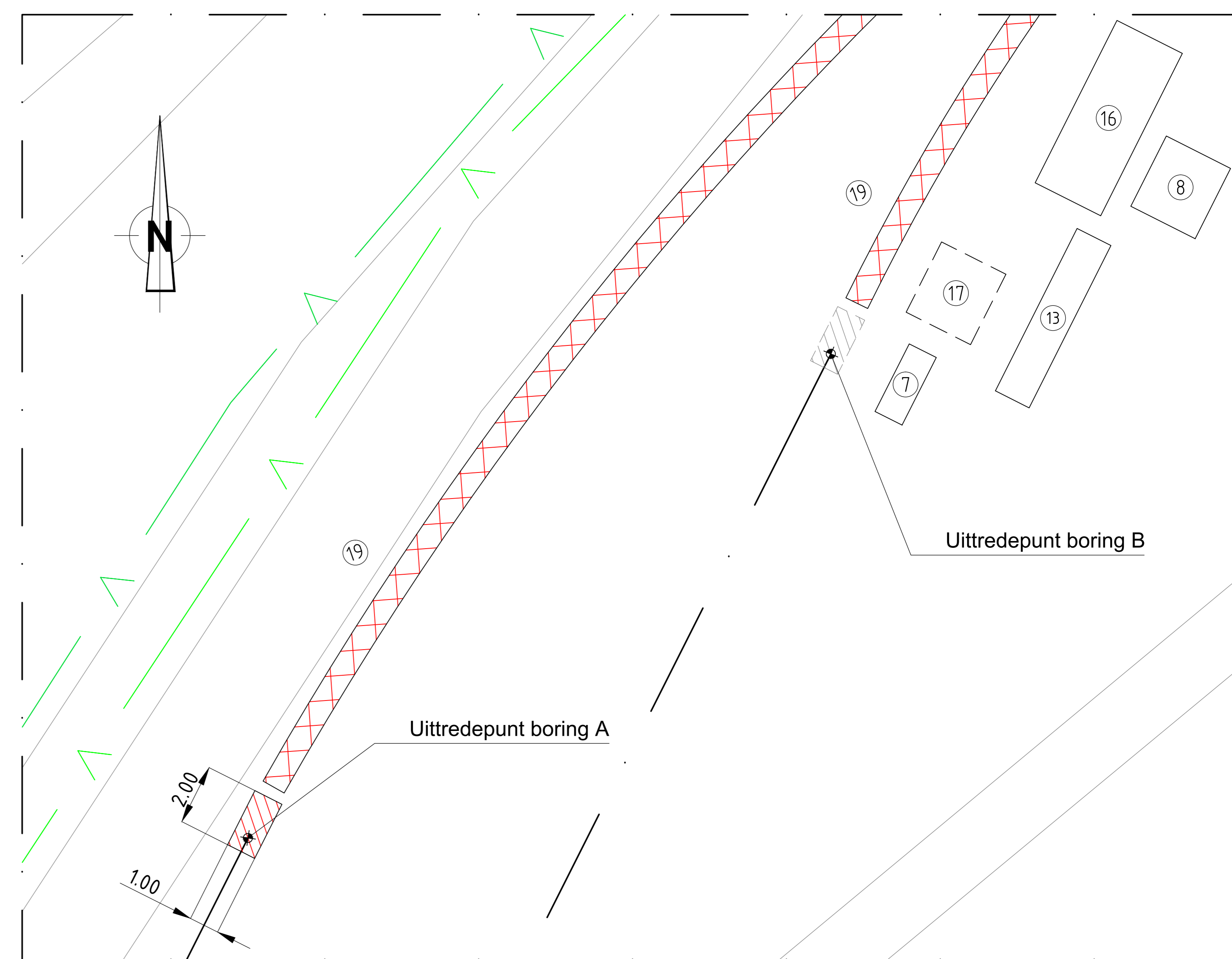
Uitlegruimte mantelbuizen lg=1380m



Ovezicht uitlegruimte mantelbuizen



Detail 1



Detail 2

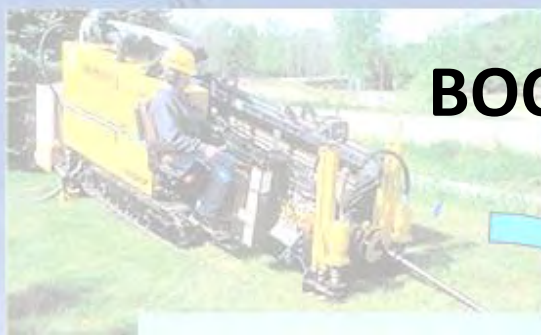
1. HANDELING 100 TON
2. SCHAFTWERKPLAATSCONTAINER
3. ONTZEKINGSINSTALLATIE 12000 L/MIN
4. BENTONIT MOBIELINSTALLATIE
5. VULLOFTANIER
6. HD-BENTONITPOMP 12500 L/MIN
7. BENTONITPOMP
8. ONTZEKINGSINSTALLATIE
9. AGGREGAAT 150 KW
10. AGGREGAAT 75 KW
11. POMP 500 TORQUE
12. GASOLETANK
13. BENTONIT
14. REX VOOR SLANDEWAFERBUZEN
15. BUISCONTAINER 18 V. BOORSPILING
16. MOBIEL KRAN
17. WERKPLAAT 2.50m x 1.00m x 1.00m
18. Uitlegruimte voor mantelbuizen

ONTWERP : R. Berger	GETEKEND : P. Buskiesen	DATUM : 27-08-2015
PROJ.NR. : 482.15.2.039	SCHAAL : 1:2000 / 1:1000 / 1:100	FORMAAT : A0
Ventolines		
Windpark Fryslan Breezandijk Rijksweg A7 / Sluisweg km 86.581 - 87.091		
Opstellingstekening bouwlocatie boring 106 (A) en 106 (B)		
TEKENING NR. : 482.15.2.039-202		

Breedtebeeld: 482.15.2.039-202_A0.dwg - Layer: 482.15.2.039-202_Plot - 482.15.2.039-202_Scherm en A0.dwg 2015/08/27 10:00:00

**BIJLAGE 3D BOORPLAN OOSTEN
KORNWERDERZAND**





BOORPLAN

Engineering HDD boring t.b.v. kabeltracé Winpark Friesland Afsluitdijk / Kornwerderzand

Opdrachtgever : Windpark Fryslân BV
 Project : Aanbrengen hoogspanningkabels Windpark Fryslân
 Hoofdaannemer : Nader te bepalen
 Aannemer H.D.D.-boringen : Nader te bepalen
 Kenmerk : 482.15.2.039-05
 Versie : 1

	Naam	Functie	Datum	Paraaf
Auteur	A. Lammersen	Engineer	21-08-2015	
Verificatie				
Autorisatie	M.H.H. Berger	Directeur	21-08-2015	

INHOUDSOPGAVE

- 1 Projectomschrijving 4**
- 2 Werkmethode 6**
- 3 OMSchrijving werkzaamheden 8**
 - 3.1 *Tijdschema 8*
 - 3.2 *Indicatieve personeelsbezetting boring 9*
 - 3.3 *Kwaliteit en keuring van bouwmaterialen 10*
 - 3.3.1 *Buizen 10*
 - 3.3.2 *Boorvloeistof 10*
 - 3.3.3 *Debietten 10*
 - 3.3.4 *Samenstellen en intrekken van de HDPE leiding 11*
 - 3.4 *In te zetten boormaterieel (voorbeeld) 12*
 - 3.5 *Boortechnische wijze van uitvoering 13*
 - 3.5.1 *Werkterrein 13*
 - 3.5.2 *Werkwijze Gestuurde Boringen 14*
 - 3.5.3 *Kwaliteitsregistratie 14*
 - 3.6 *Bestaande kabels en leidingen 15*
 - 3.7 *Overlegstructuur, procesbeheersing, procedures 15*
- 4 Berekeningen voor de boringen 16**
 - 4.1 *Uitgangspunten 16*
 - Materiaal en buis gegevens 16*
 - 4.1.1 *Grondgegevens 18*
 - 4.1.2 *Belastingen 18*
 - 4.2 *Berekeningen 19*
 - 4.2.1 *De mantelbuis op rollenbaan 19*
 - 4.2.2 *De mantelbuis het boorgat intrekken 19*
 - 4.2.3 *De 'bedrijfstoestand' van de mantelbuis 20*
 - 4.2.4 *Deflectie berekening 20*
 - 4.2.5 *Boorspoel berekening 21*
 - 4.3 *Conclusies 21*

Bijlagen

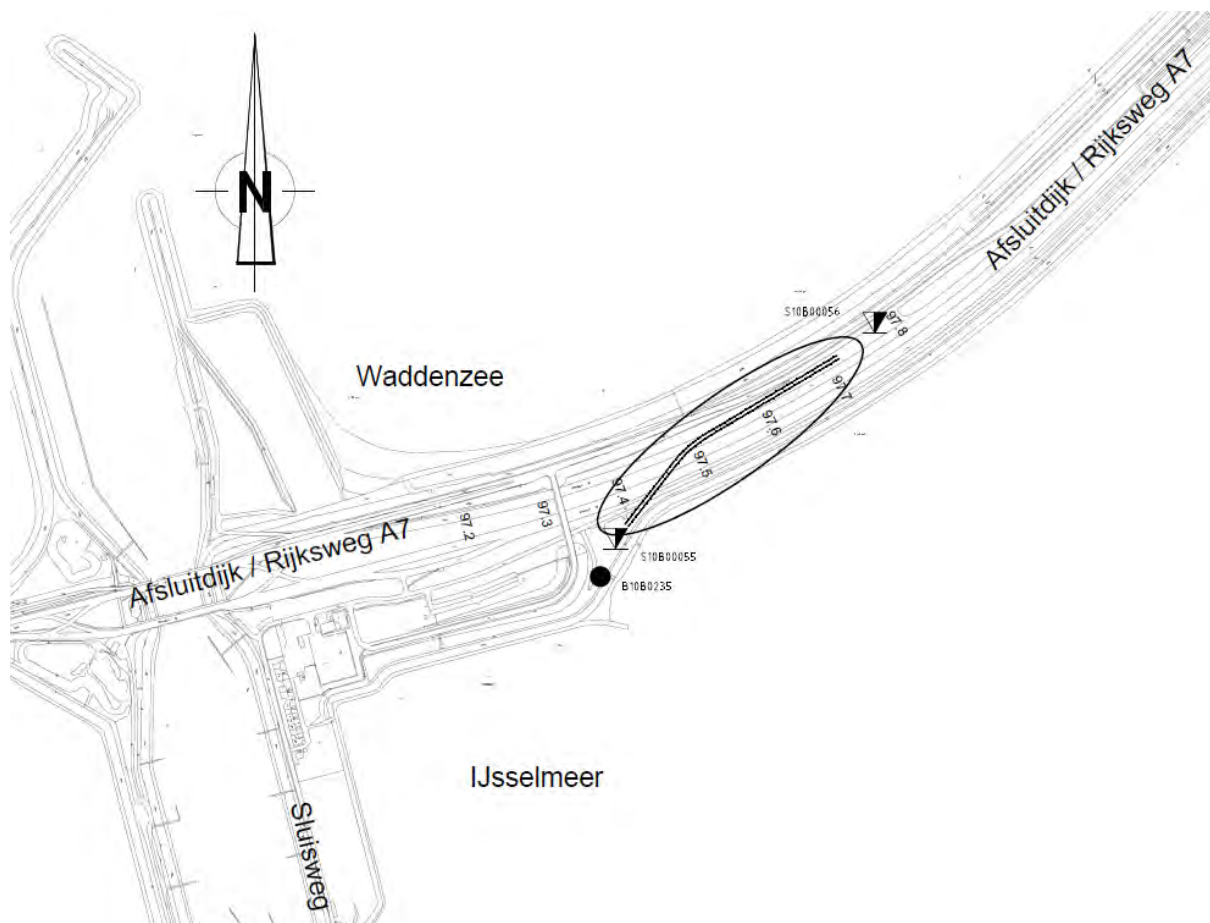
- Bijlage 1: Tekening
- Bijlage 2: Luchtfoto
- Bijlage 3: Grondonderzoek, sterkte- en muddrukberkeningen
- Bijlage 4: Certificaten en productomschrijving
- Bijlage 5: Technische gegevens rig 4 ton t/m rig 100 ton
- Bijlage 6: Drill-sheet

1 PROJECTOMSCHRIJVING

Om Windpark Fryslân op het openbare electriciteitsnet aan te sluiten is een kabeltracé voorzien dat loopt vanaf het substation op Breezanddijk naar de kop van de afsluitdijk. Het kabeltracé van Windpark Fryslân bestaat uit twee kabelcircuits van 3 1-fase kabels elk plus twee mantelbuizen voor glasvezelkabels. Het deel van het kabeltracé dat over de Afsluitdijk loopt, is gepland aan de noordkant van de snelweg, deels onder het bestaande fietspad. Daar waar aanleg middels openontgraving of niet mogelijk is, zijn horizontaalgestuurde boringen (HDD's) gepland.

Om de uitvoerbaarheid te toetsen zijn in dit document een boorplan opgesteld waarin in een van de mogelijke uitvoeringswijze omschreven is en zijn de berekeningen te vinden van een horizontaalgestuude boring die gepland is voor het passeren van de Rijksweg A7 ten oosten van Kornwerderzand ter hoogte van KM 97.5. Dit document is geschreven ten behoeve van de vergunningsaanvraag en is niet bestemd voor de uitvoering. Definitieve werkplannen zullen 3 maanden en de definitieve boorplannen 3 weken voor de start van de uitvoering van de werkzaamheden worden. Tijdens de laatste fase, het intrekken van de leiding, kan er voor gekozen worden om drillgrout te gebruiken in plaats van bentoniet. ingediend bij de vergunningverlenende instanties.

De passage bij de Kornwerder sluisen zal gemaakt worden middels een tweetal boringen met een onderlinge afstand van circa 5,0 m. De lengte van de boringen is ca. 346 meter zie tekening nr. 482.15.2.039-105 – boring nr. A) en ca. 346 meter (zie tekening nr. 482.15.2.039-105 – boring nr. B). Per boring wordt een bundel mantelbuizen aangebracht, te weten 3 stuks 250 HDPE en 1 stuks 110 HDPE. In deze mantelbuizen komen de kabels van windpark Fryslân te liggen.



De werkmethode is gebaseerd op de volgende documenten:

- Werkomschrijving voor het project
- Boorplan:
482.15.2.039-05
- Detailtekeningen:
482.15.2.039-105_R0
- Geotechnische informatie DINO loket
- NEN 3650/3651

2 WERKMETHODE

Voor de aanleg van ondergrondse netwerken bestaande uit kabels en leidingen kunnen horizontaal gestuurd boringen ingezet worden om wegen, watergangen en andere infrastructurele constructies te kruisen. Daar de werkzaamheden worden uitgevoerd met een sleufloze techniek wordt de hinder bovengronds tot een minimum beperkt.

Voorafgaand aan de uitvoering van een horizontaal gestuurd boring wordt geotechnisch grondonderzoek uitgevoerd. Afhankelijk van de van eisen van de vergunningverlenende instantie kan dit onderzoek bestaan uit sonderingen, handboring of andere geotechnisch grondonderzoeken. De gegevens hiervan dienen als input voor de sterkte- en muddrukberoeeningen en het boorplan. Van elke boring worden tekeningen gemaakt welke de boring volledig in kaart brengen. Deze documenten worden ingediend bij de vergunningverlenende instanties als onderdeel van het boorplan.

De geotechnische gegevens die gebruikt zijn voor het maken van de onderliggende berekeningen behorend bij deze boring zijn verkregen uit een bureaustudie. Voor deze berekeningen zijn de gebruikte gegevens conservatief geïnterpreteerd. Geotechnische grondonderzoeken ten behoeve van de uitvoering zullen ten behoeve van het definitieve boorplan worden uitgevoerd conform die hiervoor geldende normen.

Een horizontaal gestuurde boring is een techniek waarbij de werkzaamheden vanaf het maaiveld plaatsvinden. De uitvoering van een horizontaal gestuurde boring is opgebouwd uit drie fasen:

- Mobiliseren;
- Pilotboring;
- Ruimfase;
- Intrekken van leiding;
- Demobiliseren.

Het mobiliseren bestaat uit het gereed maken van het terrein. Indien nog wordt er op de opstelplaats van de boorinstallatie een baan van een zand pakket of rijplaten aangebracht. Hiernaast wordt alle benodigde materieel aangevoerd en opgesteld. Aan de uittrede kant van de boring wordt in deze fase de leiding uitgelegd en gelast.

Als eerst wordt vanaf het intredepunt een pilotboring uitgevoerd in het ontworpen tracé. Na de intrede wordt gestart met een rechtstand vervolgd door een neergaande bocht, een horizontaal gedeelte, na de opgaande bocht wordt het uittredepunt bereikt. Afhankelijk van de beschikbare ruimte en de buigstraal van de opgaande bocht kan na de opgaande bocht nog een rechtstand worden uitgevoerd. Tijdens de eerste fase worden de coördinaten van de pilotboring door middel van driedimensionale plaatsbepaling van de pilotboring verkregen. Bijvoorbeeld middels een gyroscoopmeetsysteem.

In de tweede fase, de ruimfase, wordt aan het uiteinde van de boorstreng een ruimer (of verdringer) geplaatst. Tijdens de ruimfase, welke uit meerder ruimgangen kan bestaan, wordt de gewenste diameter van de boorgang verkregen. De keuze van de soort ruimer is afhankelijk van de plaatselijke grondslag. Bij het aanbrengen van mantelbuizen / mediumvoerende buizen met een geringe diameter kan fase 2 (extra ruimgang) komen te vervallen en wordt de mantelbuis direct achter de

ruimer ingetrokken (zoals omschreven in onderstaande “laatste” ruimgang).

De derde en laatste fase is het intrekken van de productleiding(-en). De gereedliggende leiding(-en) worden hierbij met behulp van een trekkop direct achter de ruimer bevestigd en terug getrokken door het boorgat.

Als de leiding is in getrokken wordt het materieel gedemobiliseerd en het terrein hersteld.

Tijdens alle fasen wordt gebruik gemaakt van zo-gehete boorspoeling. Deze is bedoeld om de boorkop te koelen, de losgeboorde grond af te voeren en het stabiel houden van de tunnelwand. De boorspoeling wordt vanaf een hogedrukpomp via een hogedrukslang naar de boorinstallatie verpompt, door de holle boorstangen en door zijkanalen in de boorkop vervolgens de grond ingepompt. Tijdens iedere fase worden de doorspoeldrukken geregistreerd. Dit wordt gedaan om te controleren of er een constante return van de boorspoeling is. Tijdens de laatste fase, het intrekken van de leiding, kan er voor gekozen worden om drillgrout te gebruiken in plaats van bentoniet.

3 OMSCHRIJVING WERKZAAMHEDEN

Het volgende hoofdstuk bevat de werkomschrijving zoals de HDPE mantelbuizen door een nader te bepalen aannemer kunnen worden aangebracht.

3.1 Tijdschema

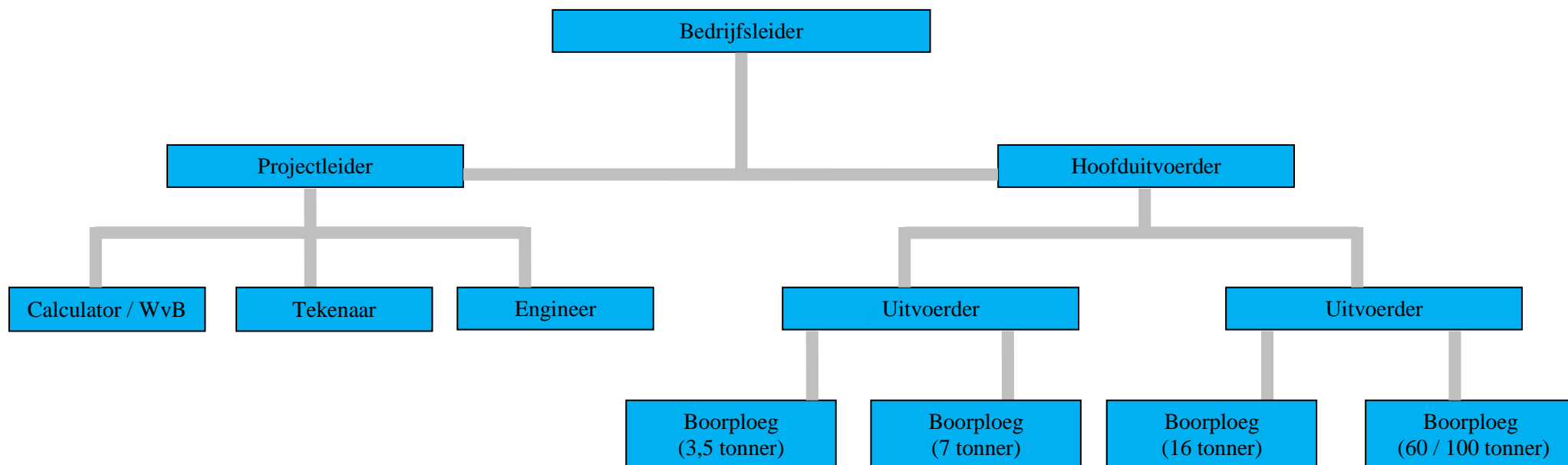
Hieronder wordt een globale planning van de HDD-boringen weergegeven.

Boring: HDD-boring nr. A en boring nr. B.

Inrichten werfterrein	
Aanvoer en mobilisatie	1,0 dag
Pilotboring - Boring nr. A	1,0 dag
Ruimen- Boring nr. A	1,0 dag
Intrekken - Boring nr. A	1,0 dag
Omzetten boorstelling	1,0 dag
Pilotboring - Boring nr. B	1,0 dag
Ruimen- Boring nr. B	1,0 dag
Intrekken - Boring nr. B	1,0 dag
Demobiliseren en afvoeren	1,0 dag
Opruimen en herstellen werfterrein	

De startdatum van de werkzaamheden wordt bepaald in overleg met de opdrachtgever. Mogelijk wordt het intrekken van de mantelbuis in één aaneengesloten fase uitgevoerd. Hierdoor kan het voorkomen dat er volcontinu geboord moet worden totdat de boring gereed is.

3.2 Indicatieve personeelsbezetting boring



Bezetting afhankelijk van bedrijfsprofiel opdrachtnemer

3.3 Kwaliteit en keuring van bouwmaterialen

Alle te gebruiken materialen en grondstoffen zullen minimaal voldoen aan de hiervoor in Nederland geldende kwaliteitsnormen.

3.3.1 Buizen

HDPE buis

De in te trekken HDPE buizen worden door de aannemer te beschikking gesteld en op het werk geleverd.

3.3.2 Boorvloeistof

De boorvloeistof kan samengesteld worden uit met water vermengde bentoniet. Indien nodig wordt bekeken of de samenstelling van de boorspoeling verder aangepast dient te worden aan de lokale bodemopbouw. Uitgangspunt daarbij is dat een boorspoeling wordt verkregen die voldoende steun geeft aan het boorgat in de plaatselijke ondergrond.

De gemiddelde samenstelling van de boorspoeling bedraagt 30-50 kg bentoniet per 1.000 liter water. Het soortelijke gewicht van de boorspoeling bedraagt circa 1.200 kg/m³ afhankelijk van de omstandigheden. Een certificaat van een mogelijk product is in bijlage 5 opgenomen.

3.3.3 Debieten

Op basis van de te verwachten samenstelling van de grondgesteldheid, zijn voor de verschillende boorfases de volgende debieten berekend:

Pilotfase:	10 à 30 l/min
Intrekken:	40 à 80 l/min

Om ongewenste muduitbraken te voorkomen dient de maximaal toelaatbare muddruk niet door de minimaal benodigde muddruk te worden overschreden. De volledige berekening van de muddruk is te vinden in bijlage 3.

In de meeste gevallen is de muddruk tijdens Pilotfase maatgevend omdat tijdens deze fase de afstroming van de vrijkomende boorspoeling slechts aan één zijde mogelijk is. Dit doet zich hoofdzakelijk voor bij het uittredepunt van de boring en in mindere mate aan het beging. Door bij het naderen van het uittredepunt de voortgangssnelheid, het debiet en de druk in dat gebied te verlagen is de kans op een zogenaamde Blow-Out nihil.

3.3.4 Samenstellen en intrekken van de HDPE leiding

Het samenstellen van de leiding gebeurt met hydraulische kranen en gekwalificeerd personeel. Het samenstellen van de mantelbuizen zal geschieden op het land. De exacte locatie wordt nader bepaald. De HDPE leiding zal vanaf het maaiveld worden ingetrokken. De in te trekken HDPE buis zal mogelijk uit verschillende lengten bestaan en zal vooraf door middel van spiegellassen samengesteld worden aan uittrede kant. De lasser en apparatuur zal RTD gekwalificeerd zijn.

Buizen tot de diameter \emptyset 200 kunnen worden geleverd uit één stuk (afhankelijk van de totaallengte van de mantelbuis). Er worden dus geen spiegellassen aangebracht en de buis kan rechtstreek vanaf de haspel worden ingetrokken.

3.4 In te zetten boormaterieel (voorbeeld)



Figuur 2: 100 tons boorinstallatie

(minimaal) In te zetten boorinstallatie m.b.t. tot de uit te voeren boring

De HDD boring, zoals beschreven in dit boorplan, zal worden uitgevoerd met behulp van een maxi rig met een trekkracht van minimaal 100 ton, zie bijlage 3 voor de volledige berekening van de trekkracht. De boring wordt bijvoorbeeld uitgevoerd met behulp van een gyroscoopmeetsysteem.

De op de afbeelding weergegeven boorinstallatie is ter indicatie. De aannemer bepaalt welk boormaterieel er ingezet wordt voor de uitvoering van deze boring. Voorbeelden van technische gegevens van mogelijk boormaterieel, zijn terug te vinden in bijlage 5.

3.5 Boortechnische wijze van uitvoering

3.5.1 Werkterrein

Indien nodig wordt er voordat het boormaterieel wordt aangevoerd een zandbaan en/of rijplatenbaan en werkterrein aangelegd.

Intredelocatie:

De intredelocatie van de boring is gelegen aan de IJsselmeerkant ten oosten van de Kornwerder sluizen, zie Figuur 1. De locatie wordt, indien noodzakelijk, voorzien van een zandbaan en / of platenbaan. De benodigde oppervlakte bedraagt ca 600m².

Op de intredelocatie zal het volgende materieel worden ingezet.

- Boorrig 300 ton (incl. boorstangen en werkplaatscontainer);
- Bentonietpomp 2.500 ltr;
- Mixinstallatie 2.500 ltr;
- Recyclinginstallatie 3.200 ltr incl. voorraadtank
- 4 stuks Wavo pompen;
- Stroomaggregaat;
- Schaftkeet;
- graafmachine.

Plaatsing van apparatuur wordt aangepast aan de plaatselijke omstandigheden. De bovenstaande weergave is een voorbeeld. De booraannemer bepaalt de inzet van het benodigde materieel en materiaal. Hiernaast dient de aannemer zorg te dragen voor de benodigde verkeersvoorzieningen.

De maximale berekende trekkracht is circa 90 ton (89,926). De volledige berekening van de trekkracht is te vinden in bijlage 3. Het is aan booraannemer om zijn boorequipment hierop aan te passen.

Ter plaatse van het intredepunt wordt een put van circa 2 m² gegraven om de uitkomende boorspoeling op te vangen. Ter plaats van het intrede punt wordt ook de boorspoeling aangemaakt. Indien hier geen water voorhanden is wordt er voor het aanmaken van de boorspoeling water aangevoerd. De vrijkomende spoeling wordt gerecycled. Na het maken van beide boringen wordt de verbodige boorspoeling afgevoerd door zuigwagens naar een geschikte stortplaats.

Uittredelocatie:

Bij het uittredepunt, welke is gelegen ten noorden van de Rijksweg A7 (nabij km 97,7), zie Figuur 1, kan worden volstaan met een werkterrein van ca. 100 m². Dit is exclusief de benodigde werkstrook voor het uitleggen en samenstellen van de in te brengen boorstreng. De uittredelocatie wordt ingericht met onder andere boorpijpen en eventueel een graafmachine. Ook hier kunnen de werkterreinen waar nodig worden voorzien van een zand- en platenbaan.

3.5.2 Werkwijze Gestuurde Boringen

- Aan- en afvoer via normaal wegtransport, truck met dieplader voor boor rig (het een en ander afhankelijk van het in te zetten materieel).
- Inrichten in- en uittredezijde boring met rijplaten en eventueel bouwhekken;
- Lokaliseren ligging kabels en leidingen;
- Graven intrede- en uittredeput voor boring (ca. 2 m³);
- Mobilisatie boorinstallatie met toebehoren op rig-site;
- Mixen bentonietspoeling;
- Globale samenstelling 30 - 50 kg bentoniet / 1 m³ water;
- Mits dit nodig is, kunnen er eventueel polymeren toegepast worden;
- Water voor spoelingsamenstelling zal in de omgeving worden verkregen (of worden aangevoerd);
- Maken pilotboring;
- Ruimen van het boorgat;
- Intrekken mantelbuizen;
- Leegzuigen van de boorgaten d.m.v. vloeistofdichte zuigwagens;
- Demobilisatie van de boorinstallatie en afvoer van het materieel. Werkwijze omgekeerd identiek als bij aanvoer en opbouw;
- Opruimen en herstellen werkterrein rondom in- en uittredepunt inclusief toegangsweg.

3.5.3 Kwaliteitsregistratie

Tijdens de pilotboringen, het ruimen van de boorgaten en het intrekken van de buizen worden een aantal gegevens zoals torque, mudflow, trekkracht door middel van meters op de rig weergegeven. De gegevens worden bijgehouden op een registratieformulier muddrukken. Eventueel vindt registratie van locatie en hoogteligging in RD – coördinaten t.o.v. NAP plaats.

Als er met een walkovermeetsysteem gewerkt wordt, worden de meetgegevens van de survey met de hand bijgehouden, als er met een gyroscoopmeetsysteem geboord wordt gebeurt dit automatisch. Aan de hand van deze gegevens en van de veldmetingen wordt de revisie gemaakt. De revisie zal worden ingetekend op het tracé en detail tekeningen van het omvattende werk welk wordt verzorgd door aannemer. Alle geregistreerde gegevens worden door de booraannemer gearchiveerd. Hiernaast zal er tijdens de aanleg toezicht zijn vanuit de opdrachtgever.

3.6 Bestaande kabels en leidingen

Voor uitvoering wordt door aannemer een KLIC melding gedaan, om de ligging van de bestaande ondergrondse infrastructuur in kaart te brengen. Tevens zal indien nodig met de betreffende leidingbeheerders contact worden opgenomen. Voor aanvang van de boring worden er proefsleuven gemaakt nabij het begin en einde van de boringen. Aan de hand van deze proefsleuven worden vervolgens de in- en uittredeputten gegraven.

In het dwarsprofiel van de boring, zoals weergegeven op tekeningen nr. 482.15.2.039-105, zijn de bestaande kabels en leidingen weergegeven. De KLIC melding zal tijdens de uitvoering op het werkaanwezig zijn.

3.7 Overlegstructuur, procesbeheersing, procedures

Voor dit project wordt een V&G – (deel)plan opgesteld welke tijdens uitvoering op het werk aanwezig zal zijn. Het V&G plan wordt 3 maanden voorafgaand aan de uitvoering van de werkzaamheden ingediend.

4 BEREKENINGEN VOOR DE BORINGEN

Voor uitvoering van de boringen kunnen diverse berekeningen uitgevoerd worden met betrekking tot treksterkte van de buizen en de muddrukken. Deze berekeningen zijn uitgevoerd conform NEN 3650 / 3651.

4.1 Uitgangspunten

Materiaal en buis gegevens

Voor de horizontaal gestuurde boring zijn de volgende materiaal en mantelbuizen gehanteerd:

Boring nr. A 250 (HDPE) – tekening nr. 482.15.2.039-105

Materiaal	:	HDPE PE 100 SDR-11
Aantal buizen	:	3 st
Uitwendige diameter	:	250 mm
Wanddikte	:	22,8 mm
Korte duur Elasticiteitsmodulus	:	975 N/mm ²
Lange duur Elasticiteitsmodulus	:	350 N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	:	16×10 ⁻⁵ (mm/mm) K ¹
Axiale verhouding zuivere trek/buigtrek	:	0,65 -
Tangentiele verhouding zuivere trek/buigtrek	:	0,65 -
Toelaatbare korte duur spanning	:	10,0 N/mm ²
Toelaatbare lange duur spanning	:	8,0 N/mm ²
Lengte boring	:	348,03 m
Diepte boring	:	circa 9,21 m - t.o.v. maaiveld
Intrede hoek boring	:	15 °
Uittredehoek boring	:	16 °
Bochtstraal neergaande bocht	:	150 m
Bochtstraal opgaande bocht	:	150 m
Kromtestraal op de rollenbaan/maaiveld	:	150 m

Boring nr. A (110 HDPE) – tekening nr. 482.15.2.039-105

Materiaal	:	HDPE PE 100 SDR-11
Aantal buizen	:	1 st
Uitwendige diameter	:	110 mm
Wanddikte	:	10,0 mm
Korte duur Elasticiteitsmodulus	:	975 N/mm ²
Lange duur Elasticiteitsmodulus	:	350 N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	:	16×10 ⁻⁵ (mm/mm) K ¹
Axiale verhouding zuivere trek/buigtrek	:	0,65 -
Tangentiele verhouding zuivere trek/buigtrek	:	0,65 -
Toelaatbare korte duur spanning	:	10,0 N/mm ²
Toelaatbare lange duur spanning	:	8,0 N/mm ²

Lengte boring	:	348,03	m
Diepte boring	:	circa 9,21 m	- t.o.v. maaiveld
Intrede hoek boring	:	15	°
Uittredehoek boring	:	16	°
Bochtstraal neergaande bocht	:	150	m
Bochtstraal opgaande bocht	:	150	m
Kromtestraal op de rollenbaan/maaiveld	:	150	m

Boring nr. B (250 HDPE) – tekening nr. 482.15.2.039-105

Materiaal	:	HDPE PE 100 SDR-11
Aantal buizen	:	3 st
Uitwendige diameter	:	250 mm
Wanddikte	:	22,8 mm
Korte duur Elasticiteitsmodulus	:	975 N/mm ²
Lange duur Elasticiteitsmodulus	:	350 N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	:	16×10 ⁻⁵ (mm/mm) K ¹
Axiale verhouding zuivere trek/buigtrek	:	0,65 -
Tangentiele verhouding zuivere trek/buigtrek	:	0,65 -
Toelaatbare korte duur spanning	:	10,0 N/mm ²
Toelaatbare lange duur spanning	:	8,0 N/mm ²

Lengte boring	:	346,15	m
Diepte boring	:	circa 9,21 m	- t.o.v. maaiveld
Intrede hoek boring	:	15	°
Uittredehoek boring	:	16	°
Bochtstraal neergaande bocht	:	150	m
Bochtstraal opgaande bocht	:	150	m
Kromtestraal op de rollenbaan/maaiveld	:	150	m

Boring nr. B (110 HDPE) – tekening nr. 482.15.2.039-105

Materiaal	:	HDPE PE 100 SDR-11
Aantal buizen	:	1 st
Uitwendige diameter	:	110 mm
Wanddikte	:	10,0 mm
Korte duur Elasticiteitsmodulus	:	975 N/mm ²
Lange duur Elasticiteitsmodulus	:	350 N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	:	16×10 ⁻⁵ (mm/mm) K ¹
Axiale verhouding zuivere trek/buigtrek	:	0,65 -
Tangentiele verhouding zuivere trek/buigtrek	:	0,65 -
Toelaatbare korte duur spanning	:	10,0 N/mm ²
Toelaatbare lange duur spanning	:	8,0 N/mm ²

Lengte boring	:	346,15	m
Diepte boring	:	circa 9,21 m	- t.o.v. maaiveld
Intrede hoek boring	:	15	°
Uittredehoek boring	:	16	°
Bochtstraal neergaande bocht	:	150	m
Bochtstraal opgaande bocht	:	150	m

Kromtestraal op de rollenbaan/maaiveld : 150 m

4.1.1 Grondgegevens

Het onderzoek bestaat uit sondering inclusief elektrische kleef en grondgegevens conform NEN 5140. De resultaten van het onderzoek zijn opgenomen in Bijlage 3 van dit rapport en op de boortekening.

De onzekerheidsfactoren voor de grondmechanische parameters zijn in deze parameters nog niet verwerkt, deze worden separaat in de berekening meegenomen, overeenkomstig Tabel B.2 "Partiële onzekerheidsfactoren in verband met modelonzekerheidtabel" van de NEN 3650.

4.1.2 Belastingen

In de sterkteberekening zijn de volgende belastingen meegenomen.

Eigengewicht, excl. inhoud Q_{eg}

Het eigengewicht van de lege buis is in de berekening als gewichtsbelasting opgenomen, met inachtneming van de grondwaterstand.

Grondbelasting Q

De grondbelasting wordt berekend conform de formules zoals opgegeven in de NEN 3650.

Verkeersbelasting Q_v

Voor de buis is de verkeersbelasting overeenkomend, volgens de VOSB, aangehouden.

4.2 Berekeningen

Voor de sterkteberekening van de horizontaal gestuurde boring wordt onderscheid gemaakt in de volgende fases:

§ 4.2.1: De buis op rollenbaan

§ 4.2.2: De buis het boorgat intrekken

§ 4.2.3: De 'bedrijfsstoestand' van de buis

In §4.2.4 en 4.2.5 is respectievelijk de berekening van de deflectie en de muddruk opgenomen.

4.2.1 De mantelbuis op rollenbaan

Voor de berekening van de spanningen in de mantelbuis, t.b.v. de windparkbekabeling, op de rollenbaan wordt verwezen naar pagina 5 van de sterkteberekeningen, opgenomen in Bijlage 3.

De omtrekspanning S_x is nihil en wordt bij het intrekken niet in oenschouw genomen.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-105 boring nr. A – 110 HDPE.

De maximaal berekende langsspanning S bedraagt 2,05 N/mm², deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de kromtestraal op de rollenbaan en de wrijving tussen de buis en het maaiveld.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-105 boring nr. A – 250 HDPE.

De maximaal berekende langsspanning S bedraagt 2,38 N/mm², deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de kromtestraal op de rollenbaan en de wrijving tussen de buis en het maaiveld.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-105 boring nr. B – 110 HDPE.

De maximaal berekende langsspanning S bedraagt 2,04 N/mm², deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de kromtestraal op de rollenbaan en de wrijving tussen de buis en het maaiveld.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-105 boring nr. B – 250 HDPE.

De maximaal berekende langsspanning S bedraagt 2,37 N/mm², deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de kromtestraal op de rollenbaan en de wrijving tussen de buis en het maaiveld.

4.2.2 De mantelbuis het boorgat intrekken

Voor de berekening van de spanningen in de mantelbuis, t.b.v. de windparkbekabeling, tijdens het intrekken van deze buis in het boorgat wordt verwezen naar pagina 8 van de sterkteberekeningen, opgenomen in Bijlage 3.

De omtrekspanning S_x is nihil en wordt bij het intrekken niet in oenschouw genomen.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-105 boring nr. A – 110 HDPE.

De maximaal berekende langsspanning S_y bedraagt 7,71 N/mm², deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de combinatie van de trekkracht voor het intrekken en spanningen t.g.v. de kromtestralen in de boring.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-105 boring nr. A – 250 HDPE.

De maximaal berekende langsspanning S_y bedraagt $6,22 \text{ N/mm}^2$, deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de combinatie van de trekkracht voor het intrekken en spanningen t.g.v. de kromtestralen in de boring.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-105 boring nr. B – 110 HDPE.

De maximaal berekende langsspanning S_y bedraagt $7,67 \text{ N/mm}^2$, deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de combinatie van de trekkracht voor het intrekken en spanningen t.g.v. de kromtestralen in de boring.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-105 boring nr. B – 250 HDPE.

De maximaal berekende langsspanning S_y bedraagt $6,19 \text{ N/mm}^2$, deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de combinatie van de trekkracht voor het intrekken en spanningen t.g.v. de kromtestralen in de boring.

4.2.3 De 'bedrijfstoestand' van de mantelbuis

In de 'bedrijfstoestand' van de mantelbuis, t.b.v. de windparkbekabeling, zijn op vijf maatgevende doorsneden de spanningen in de buis berekend, zoals weergegeven op de tekening met de letters A t/m E.

Voor de berekeningen van de spanningen in de buis in bedrijfstoestand wordt verwezen naar pagina's 10 & 11 van de sterkteberekeningen, opgenomen in Bijlage 3.

4.2.4 Deflectie berekening

De deflectie van de buis is berekend op de vijf aangegeven doorsneden, zoals weer gegeven op tekening nr. 482.15.2.039-105 opgenomen in Bijlage 3.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-105 boring nr. A – 110 HDPE.

De maximaal berekende deflectie van de mantelbuis, t.b.v. de windparkbekabeling, bedraagt $3,12 \text{ mm}$, zie pagina 12 van de sterkteberekening in Bijlage 3.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-105 boring nr. A – 250 HDPE.

De maximaal berekende deflectie van de mantelbuis, t.b.v. de windparkbekabeling, bedraagt $7,02 \text{ mm}$, zie pagina 12 van de sterkteberekening in Bijlage 3.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-105 boring nr. B – 110 HDPE.

De maximaal berekende deflectie van de mantelbuis, t.b.v. de windparkbekabeling, bedraagt $3,12 \text{ mm}$, zie pagina 12 van de sterkteberekening in Bijlage 3.

Boring tekening nr. 482.14.2.039-105 boring nr. B – 250 HDPE.

De maximaal berekende deflectie van de mantelbuis, t.b.v. de windparkbekabeling, bedraagt $7,02 \text{ mm}$, zie pagina 12 van de sterkteberekening in Bijlage 3.

4.2.5 Boorspoel berekening

Op de markante doorsneden A t/m E, zijn de boorspoeldruk berekeningen uitgevoerd. De resultaten zijn opgenomen in genoemd op pagina 13 en 14 van de berekeningen in Bijlage 3.

Tevens is een aanvullende boorspoeldrukberekening bijgevoegd in Bijlage 3.

4.3 Conclusies

Op basis van de tekening, het grondmechanisch onderzoek en de beschreven uitgangspunten in dit rapport zijn de horizontaal gestuurde boringen berekend overeenkomstig de NEN 3650 en NEN 3651.

- **Boring tekening nr. 482.14.2.039-105 boring nr. A – 110 HDPE.**
- De maximaal berekende omtreksspanning ($S_x = 7,24 \text{ N/mm}^2$) en de maximaal berekende langsspanning ($S_y = 0,36 \text{ N/mm}^2$) zijn kleiner dan de toelaatbare spanningen ($St = 8 \text{ N/mm}^2$).
- De maximaal berekende deflectie bedraagt 3,12 mm, deze is kleiner dan de toelaatbare 8,00 mm.

- **Boring tekening nr. 482.14.2.039-105 boring nr. A – 250 HDPE.**
- De maximaal berekende omtreksspanning ($S_x = 7,38 \text{ N/mm}^2$) en de maximaal berekende langsspanning ($S_y = 0,82 \text{ N/mm}^2$) zijn kleiner dan de toelaatbare spanningen ($St = 8 \text{ N/mm}^2$).
- De maximaal berekende deflectie bedraagt 7,02 mm, deze is kleiner dan de toelaatbare 18,18 mm.

- **Boring tekening nr. 482.14.2.039-105 boring nr. B – 110 HDPE.**
- De maximaal berekende omtreksspanning ($S_x = 7,25 \text{ N/mm}^2$) en de maximaal berekende langsspanning ($S_y = 0,36 \text{ N/mm}^2$) zijn kleiner dan de toelaatbare spanningen ($St = 8 \text{ N/mm}^2$).
- De maximaal berekende deflectie bedraagt 3,12 mm, deze is kleiner dan de toelaatbare 8,00 mm.

- **Boring tekening nr. 482.14.2.039-105 boring nr. B – 250 HDPE.**
- De maximaal berekende omtreksspanning ($S_x = 7,39 \text{ N/mm}^2$) en de maximaal berekende langsspanning ($S_y = 0,82 \text{ N/mm}^2$) zijn kleiner dan de toelaatbare spanningen ($St = 8 \text{ N/mm}^2$).
- De maximaal berekende deflectie bedraagt 7,02 mm, deze is kleiner dan de toelaatbare 18,18 mm.

Uit de berekeningen volgt dat het ontwerp voldoet aan de gestelde eisen uit de betreffende normen.

Bijlage 1: Tekening

Bijlage 2: Luchtfoto



Bijlage 3: Grondonderzoek, sterkte- en muddrukberekeningen

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Windpark Fryslan			
Projectonderdeel : HDD boring Kornwerderzand - Afsluitdijk - tekening nr. 482.15.2.039-105 Boring A - 110 HDPE			
Materiaalgegevens			
Materiaal soort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS = 10		N/mm ²
Materiaalfactor	$\gamma_M = 1,25$		-
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	$\alpha_g = 16,0 \cdot 10^{-5}$		mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	$\alpha_\sigma = 0,65$		-
Soortelijk gewicht buis	$\rho_L = 9,55$		kN/m ³
Toelaatbare deflectie	$\delta = 8$		%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e = 110,00		mm
Wanddikte	d _n = 10		mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)	= Drukloos		
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 100	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_m = 11,5$		kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_y = 15$		Pa
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	D _g = 760		mm
Diameter boorstang	D _b = 101		mm
Totale lengte	L = 348,04		m
Lengte 1e rechte deel	L ₁ = 15,31		m
Lengte neergaande bocht	L ₂ = 39,27		m
Lengte 2e rechte deel	L ₃ = 240,83		m
Lengte opgaande bocht	L ₄ = 41,89		m
Lengte 3e rechte deel	L ₅ = 10,74		m
Straal maaiveld/rollenbaan	R _r = 150,00		m
Straal neergaande bocht	R ₁ = 150,00		m
Straal opgaande bocht	R ₂ = 150,00		m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	$\alpha_1 = 15,00 / 26,79$		° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	$\alpha_2 = 16,00 / 28,67$		° / %
Belastinghoek	$\alpha = 30$		°
Ondersteuningshoek	$\beta = 30$		°
Horizontale steundrukhoek	$\gamma = 120$		°
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	$\gamma = 1,1$		
Totaalfactor bij boring met bundels	f = 1,8		
Belastingfactor	f _{k,b} = 1,1		
Belastingfactor	f _{k,o} = 1,4		
Wrijvingscoëff. zonder rollenbaan	f ₁ = 0,3		
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	f ₂ = 0,00005		N/mm ²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	f ₃ = 0,2		
		26-08-2015 18:22:22	

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2012 3.0 ©

Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting

Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond-soort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m ³]	Wrijvings-hoek grond [°]
1e rechte deel	15,24	3,98	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Neergaande bocht	54,30	9,12	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Berm	143,83	9,21	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
2e rechte deel	174,99	9,07	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Kant asfalt	196,16	9,05	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Kant asfalt	234,74	9,01	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Kant asfalt	268,40	8,98	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Opgaande bocht	295,40	8,95	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Kant asfalt	296,40	8,95	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
3e rechte deel	337,29	3,03	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingsconstante [N/mm ²]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
1e rechte deel	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Neergaande bocht	Geen	0,0700	0,00	75,00	Grafiek I
Berm	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
2e rechte deel	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Opgaande bocht	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	0,0700	0,00	75,00	Grafiek I
3e rechte deel	Geen	0,0580	0,00	75,00	Grafiek I



* Niet op schaal

2. 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
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 3.141,59	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,0300	N/mm ¹

3. Berekening van het gewicht van de leiding tijdens het intrekken van de leiding

	<i>Leiding op rollenbaan/maaveld</i>	<i>Leiding in boorgat</i>
Gewicht mediumleiding	$g = 0,0300 \text{ N/mm}^1$	$g = 0,0300 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$

4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds

4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaveld

Trekkracht T_1 tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_1 [N]
Starten met trekken	348,04	5.639
Na 1 ^e deel intrekken	337,30	5.465
Na 2 ^e deel intrekken	295,41	4.786
Na 3 ^e deel intrekken	54,58	884
Na 4 ^e deel intrekken	15,31	248

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,0300 \cdot 0,3$$

4.2 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten op rollenbaan/maaveld

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_1 [N]	σ_t [N/mm ²]
Starten met trekken	5.639	1,79
Na 1 ^e deel intrekken	5.465	1,74
Na 2 ^e deel intrekken	4.786	1,52
Na 3 ^e deel intrekken	884	0,28
Na 4 ^e deel intrekken	248	0,08

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{3.141,59}$$

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.261}{150.000} = 28.358,76 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{28.358,76}{72.114} = \mathbf{0,39 \text{ N/mm}^2}$$

4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	σ_t [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	1,79	2,05
Na 1 ^e deel intrekken	1,74	2,00
Na 2 ^e deel intrekken	1,52	1,78
Na 3 ^e deel intrekken	0,28	0,54
Na 4 ^e deel intrekken	0,08	0,33

$$\sigma_a = \alpha_\sigma \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 0,39 + \sigma_t$$

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

5. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat

5.1 Berekening van de vereiste trekkracht T_2 en T_{3a} in verband met wrijving tussen leiding en boorvloeistof/boorgangwand

Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof. 100% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet. Hieruit volgt: $D_{e,omtrek} = 345,58 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof: $g_{opw} = \rho_m \cdot D_o^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 110,00^2 \cdot \pi/4 = 0,109 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,0793 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
1 ^e deel intrekken	10,74	641	-
2 ^e deel intrekken	52,63	-	3.139
3 ^e deel intrekken	293,46	17.503	-
4 ^e deel intrekken	332,73	-	19.846
Geheel ingetrokken	348,04	20.759	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (345,58 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (345,58 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

5.3 Berekening van de vereiste trekkracht T_{3b} in verband met wrijving door grondreactie in de bochten

Locatie	λ [mm ⁻¹]	R [m]	Q_r [N/mm ²]	T_{3b} [N]
Neergaande bocht	0,0047	150	0,0019	99
Kant asfalt	0,0047	150	0,0019	99
3e rechte deel	0,0045	150	0,0017	94

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

$$Q_r = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot 0,9 \cdot R}$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 110 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

5.4 Berekening van de wrijving door bochtcracht T_{3c}

Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	T_{bocht} [N]
Neergaande bocht	4.786	3.139	99	-	8.024
Opgaande bocht	248	19.846	99	99	20.291

 Neergaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max}$

 Opgaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max} + T_{3a,op} + T_{3b,op,max}$

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N]
Neergaande bocht	7,50	8.024	754
Opgaande bocht	8,00	20.291	1.907

$$T_{3c} = f \cdot L_B \cdot g_t \cdot f_3$$

$$L_B = 2 \cdot R \cdot 2\pi \cdot \frac{\alpha}{360}$$

$$g_t = \frac{2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha)}{L_B}$$

$$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,8 \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$

5.5 Totalisatie van de trekkraften in fase II

Trekkraft T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 / T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3c,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{3c,op}$ [N]	T_{tot} [N]
1 ^e deel intrekken	5.465	641	-	-	-	-	6.105
2 ^e deel intrekken	4.786	3.139	99	754	-	-	8.778
3 ^e deel intrekken	884	17.503	99	754	-	-	19.240
4 ^e deel intrekken	248	19.846	99	754	99	1.907	23.078
Geheel intrekken	0	20.759	99	754	99	1.907	23.743

$$T_{\text{tot}} = T_1 + T_2 + T_{3a} + T_{3b,neer,max} + T_{3c,neer} + T_{3b,op,max} + T_{3c,op}$$

5.6 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkraften in fase II

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]
1 ^e deel intrekken	6.105	1,94
2 ^e deel intrekken	8.778	2,79
3 ^e deel intrekken	19.240	6,12
4 ^e deel intrekken	23.078	7,35
Geheel intrekken	23.743	7,56

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{3.141,59}$$

5.7 Optredende spanningen t.g.v. kromming van de leiding in het boorgat

5.7.1 Neergaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{l_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 150.000} = 40.103,30 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{40.103,30}{72.113,83} = 0,56 \text{ N/mm}^2$$

5.7.2 Opgaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{l_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 150.000} = 40.103,30 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{40.103,30}{72.113,83} = 0,56 \text{ N/mm}^2$$

5.8 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	6.105	1,94	-	1,94
Na 1 ^e deel intrekken	8.778	2,79	0,56	3,16
Na 2 ^e deel intrekken	19.240	6,12	-	6,12
Na 3 ^e deel intrekken	23.078	7,35	0,56	7,71
Na 4 ^e deel intrekken	23.743	7,56	-	7,56

Rechte delen: $\sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{3.141,59} = \sigma_t$

Gebogen delen: $\sigma_a = \alpha_\sigma \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot \sigma_b + \sigma_t$

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

6. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase

6.1 Berekening van de spanningen σ_p en σ_n t.g.v. inwendige druk

Leiding is drukloos:

$$\sigma_p = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

6.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

Leiding is drukloos:

$$f_{rr} = 1,00$$

6.3 Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	q_{droog} [kN/m ²]	q_{nat} [kN/m ²]	q_{totaal} [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]
1e rechte deel	3,98	2,00	Zand	39,60	43,56	83,16	6,97
Neergaande bocht	9,12	2,00	Zand	39,60	156,64	196,24	13,75
Berm	9,21	2,00	Zand	39,60	158,62	198,22	13,87
2e rechte deel	9,07	2,00	Zand	39,60	155,54	195,14	13,69
Kant asfalt	9,05	2,00	Zand	39,60	155,10	194,70	13,66
Kant asfalt	9,01	2,00	Zand	39,60	154,22	193,82	13,61
Kant asfalt	8,98	2,00	Zand	39,60	153,56	193,16	13,57
Opgaande bocht	8,95	2,00	Zand	39,60	152,90	192,50	13,53
Kant asfalt	8,95	2,00	Zand	39,60	152,90	192,50	13,53
3e rechte deel	3,03	2,00	Zand	39,60	22,66	62,26	5,72

$$Q_n = (\gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o$$

6.4 Berekening van de verkeersbelasting Q_v

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeers- belasting	q_v [kN/m ²]	Q_v [N/mm ¹]
1e rechte deel	3,98	Grafiek I	12,89	1,42
Neergaande bocht	9,12	Grafiek I	4,85	0,53
Berm	9,21	Grafiek I	4,78	0,53
2e rechte deel	9,07	Grafiek I	4,89	0,54
Kant asfalt	9,05	Grafiek I	4,90	0,54
Kant asfalt	9,01	Grafiek I	4,93	0,54
Kant asfalt	8,98	Grafiek I	4,96	0,55
Opgaande bocht	8,95	Grafiek I	4,98	0,55
Kant asfalt	8,95	Grafiek I	4,98	0,55
3e rechte deel	3,03	Grafiek I	16,83	1,85

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 110$$

6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_{boven} [N/mm ¹]	M_q [Nmm]	σ_q [N/mm ¹]
1e rechte deel	6,97	1,42	8,39	107,78	6,47
Neergaande bocht	13,75	0,53	14,29	183,60	11,02
Berm	13,87	0,53	14,40	185,03	11,10
2e rechte deel	13,69	0,54	14,23	182,80	10,97
Kant asfalt	13,66	0,54	14,20	182,48	10,95
Kant asfalt	13,61	0,54	14,15	181,85	10,91
Kant asfalt	13,57	0,55	14,11	181,37	10,88
Opgaande bocht	13,53	0,55	14,08	180,90	10,85
Kant asfalt	13,53	0,55	14,08	180,90	10,85
3e rechte deel	5,72	1,85	7,57	97,24	5,83

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 50,00$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{16,67}$$

6.6 Optredende spanning σ_{qr} tgv. grondreactie in de bochten

Locatie	R [m]	Q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
Neergaande bocht	150	0,0019	0,12
Kant asfalt	150	0,0019	0,12
3e rechte deel	150	0,0017	0,11

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,179 \cdot Q_r \cdot 110 \cdot \frac{55,00}{16,67}$$

6.7 Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil

Leiding is drukloos

$$\sigma_{ax} = 0 \text{ N/mm}^2$$

7. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

$$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$$

$$S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100^3} = 0,08 \text{ N/mm}^2 = 81,25 \text{ kN/m}^2$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = 0,5 kN/m²

8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$

Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$

$$p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot l_w}{D_g^3}$$

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **27,78** m grondwater boven de leiding

9. Berekening van het totaal aan optredende spanningen

9.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

Locatie	σ_q [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_{y2} [N/mm ²]
1e rechte deel	6,47	-	0,65	4,20
Neergaande bocht	11,02	0,12	0,65	7,24
Berm	11,10	-	0,65	7,22
2e rechte deel	10,97	-	0,65	7,13
Kant asfalt	10,95	-	0,65	7,12
Kant asfalt	10,91	-	0,65	7,09
Kant asfalt	10,88	-	0,65	7,07
Opgaande bocht	10,85	-	0,65	7,06
Kant asfalt	10,85	0,12	0,65	7,13
3e rechte deel	5,83	0,11	0,65	3,86

Rechte delen: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$

Bochten: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$

Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$

9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

Locatie	σ_{ax} [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_x [N/mm ²]
1e rechte deel	0,00	-	-	0,00
Neergaande bocht	0,00	0,56	0,65	0,36
Berm	0,00	-	-	0,00
2e rechte deel	0,00	-	-	0,00
Kant asfalt	0,00	-	-	0,00
Kant asfalt	0,00	-	-	0,00
Kant asfalt	0,00	-	-	0,00
Opgaande bocht	0,00	-	-	0,00
Kant asfalt	0,00	0,56	0,65	0,36
3e rechte deel	0,00	0,56	0,65	0,36

Rechte delen: $\sigma_x = \sigma_{ax}$

Bochten: $\sigma_x = \sigma_{ax} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_b$

Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$

10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_r [N/mm ²]	δ_Y [mm]	δ_Y/D_g [%]
1e rechte deel	6,97	1,42	-	1,82	1,82
Neergaande bocht	13,75	0,53	0,0019	3,10	3,10
Berm	13,87	0,53	-	3,12	3,12
2e rechte deel	13,69	0,54	-	3,08	3,08
Kant asfalt	13,66	0,54	-	3,08	3,08
Kant asfalt	13,61	0,54	-	3,07	3,07
Kant asfalt	13,57	0,55	-	3,06	3,06
Opgaande bocht	13,53	0,55	-	3,05	3,05
Kant asfalt	13,53	0,55	0,0019	3,05	3,05
3e rechte deel	5,72	1,85	0,0017	1,64	1,64

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33}$$

$$\text{Toelaatbare deflectie} = 8\% \cdot D_g = 0,08 \cdot 100,00 = \mathbf{8,00 \text{ mm}}$$

11. Berekening van de boorspoeldrukken tijdens de trekfase

Locatie	H [m]	σ_{vert} [kN/m ²]	σ_{hor} [kN/m ²]	σ_o' [kN/m ²]	p_f' [kN/m ²]	G [MN/m ²]
1e rechte deel	3,98	48,93	22,64	35,78	55,01	28,85
Neergaande bocht	9,12	90,98	42,10	66,54	102,29	28,85
Berm	9,21	91,72	42,44	67,08	103,12	28,85
2e rechte deel	9,07	90,57	41,91	66,24	101,83	28,85
Kant asfalt	9,05	90,41	41,83	66,12	101,65	28,85
Kant asfalt	9,01	90,08	41,68	65,88	101,28	28,85
Kant asfalt	8,98	89,84	41,57	65,70	101,00	28,85
Opgaande bocht	8,95	89,59	41,45	65,52	100,73	28,85
Kant asfalt	8,95	89,59	41,45	65,52	100,73	28,85
3e rechte deel	3,03	41,15	19,04	30,10	46,27	28,85

$$\sigma_{vert} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

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

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

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

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

Locatie	Q [-]	$R_{p,max}$ [m]	u [N/mm ²]	p_{st} [N/mm ²]	Δ_p [N/mm ²]	p_{lim} [N/mm ²]
1e rechte deel	0,00067	1,99	0,0198	0,02234	0,00	0,73
Neergaande bocht	0,0012	3,41	0,0712	0,08032	0,00	1,13
Berm	0,0012	3,40	0,0721	0,08134	0,01	1,14
2e rechte deel	0,0012	3,42	0,0707	0,07976	0,02	1,13
Kant asfalt	0,0012	3,42	0,0705	0,07953	0,02	1,13
Kant asfalt	0,0012	3,43	0,0701	0,07908	0,02	1,12
Kant asfalt	0,0012	3,44	0,0698	0,07874	0,02	1,12
Opgaande bocht	0,0012	3,44	0,0695	0,07841	0,03	1,12
Kant asfalt	0,0012	3,44	0,0695	0,07841	0,03	1,12
3e rechte deel	0,00056	1,52	0,0103	0,01162	0,03	0,64

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

$$R_{p,max} = \frac{H}{2}; R_{p,max,zand} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot \varepsilon_{g,max}} \text{ of } \frac{H}{2}$$

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$p_{st} = \rho_m \cdot g \cdot h_z$$

$$\Delta_p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$$

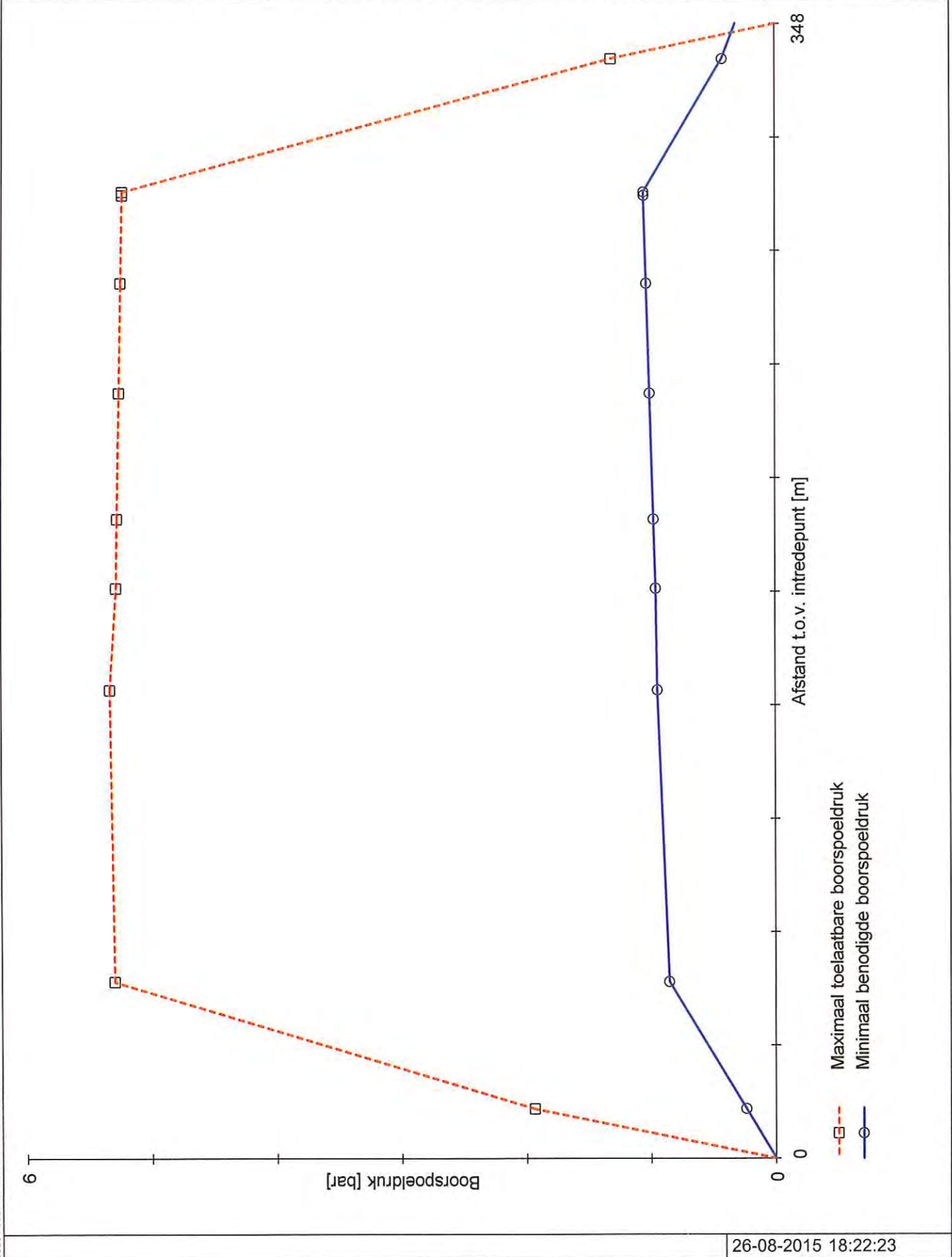
$$p_{lim} = (p_f' + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q \cdot \frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

Locatie	p_{max} [N/mm ²]	90% p_{lim} [N/mm ²]	p_{min} [N/mm ²]	p_{max} [bar]	90% p_{lim} [bar]	p_{min} [bar]
1e rechte deel	0,19	0,66	0,02	1,94	6,56	0,24
Neergaande bocht	0,53	1,02	0,09	5,30	10,19	0,85
Berm	0,53	1,02	0,09	5,34	10,25	0,94
2e rechte deel	0,53	1,02	0,10	5,28	10,16	0,96
Kant asfalt	0,53	1,01	0,10	5,28	10,15	0,97
Kant asfalt	0,53	1,01	0,10	5,26	10,12	1,00
Kant asfalt	0,53	1,01	0,10	5,25	10,10	1,03
Opgaande bocht	0,52	1,01	0,11	5,24	10,08	1,05
Kant asfalt	0,52	1,01	0,11	5,24	10,08	1,05
3e rechte deel	0,13	0,58	0,04	1,32	5,79	0,42

$$p_{max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{R_o^2}{R_{p,max}} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

$$p_{min} = p_{st} + \Delta p$$

3.0.10.0/12-2012/10-10383702



26-08-2015 18:22:23

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Windpark Fryslan			
Projectonderdeel : HDD boring Kornwerderzand - Afsluitdijk - tekening nr. 482.15.2.039-105 Boring A - 250 HDPE			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS = 10		N/mm ²
Materiaalfactor	$\gamma_M = 1,25$		-
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	$\alpha_g = 16,0 \cdot 10^{-5}$		mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	$\alpha_\sigma = 0,65$		-
Soortelijk gewicht buis	$\rho_L = 9,55$		kN/m ³
Toelaatbare deflectie	$\delta = 8$		%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	$D_e = 250,00$		mm
Wanddikte	$d_n = 22,8$		mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 100	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_m = 11,5$		kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_y = 15$		Pa
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	$D_g = 760$		mm
Diameter boorstang	$D_b = 101$		mm
Totale lengte	L = 348,04		m
Lengte 1e rechte deel	$L_1 = 15,31$		m
Lengte neergaande bocht	$L_2 = 39,27$		m
Lengte 2e rechte deel	$L_3 = 240,83$		m
Lengte opgaande bocht	$L_4 = 41,89$		m
Lengte 3e rechte deel	$L_5 = 10,74$		m
Straal maaiveld/rollenbaan	$R_r = 150,00$		m
Straal neergaande bocht	$R_1 = 150,00$		m
Straal opgaande bocht	$R_2 = 150,00$		m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	$\alpha_1 = 15,00 / 26,79$		° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	$\alpha_2 = 16,00 / 28,67$		° / %
Belastinghoek	$\alpha = 30$		°
Ondersteuningshoek	$\beta = 30$		°
Horizontale steundrukhoek	$\gamma = 120$		°
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	$\gamma = 1,1$		
Totaalfactor bij boring met bundels	f = 1,8		
Belastingfactor	$f_{k,b} = 1,1$		
Belastingfactor	$f_{k,o} = 1,4$		
Wrijvingscoëff. zonder rollenbaan	$f_1 = 0,3$		
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	$f_2 = 0,00005$		N/mm ²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	$f_3 = 0,2$		
		26-08-2015 18:24:41	

Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting

Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m ³]	Wrijvings- hoek grond [°]
1e rechte deel	15,24	3,98	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Neergaande bocht	54,30	9,12	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Berm	143,83	9,21	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
2e rechte deel	174,99	9,07	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Kant asfalt	196,16	9,05	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Kant asfalt	234,74	9,01	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Kant asfalt	268,40	8,98	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Opgaande bocht	295,40	8,95	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Kant asfalt	296,40	8,95	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
3e rechte deel	337,29	3,03	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingsconstante [N/mm ²]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
1e rechte deel	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Neergaande bocht	Geen	0,0700	0,00	75,00	Grafiek I
Berm	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
2e rechte deel	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Opgaande bocht	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	0,0700	0,00	75,00	Grafiek I
3e rechte deel	Geen	0,0580	0,00	75,00	Grafiek I



* Niet op schaal

2. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 204,40	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 227,20	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 250,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 125,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 102,20	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 113,60	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 106.064.835,12	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 848.518,68	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 987,70	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 86,64	mm ³ /mm ¹
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 16.273,95	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,1554	N/mm ¹

3. Berekening van het gewicht van de leiding tijdens het intrekken van de leiding

	<i>Leiding op rollenbaan/maaiveld</i>	<i>Leiding in boorgat</i>
Gewicht mediumleiding	$g = 0,1554 \text{ N/mm}^1$	$g = 0,1554 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,1554 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,1554 \text{ N/mm}^1$

4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds

4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld

Trekkracht T_1 tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_1 [N]
Starten met trekken	348,04	29.209
Na 1 ^e deel intrekken	337,30	28.308
Na 2 ^e deel intrekken	295,41	24.792
Na 3 ^e deel intrekken	54,58	4.581
Na 4 ^e deel intrekken	15,31	1.285

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,1554 \cdot 0,3$$

4.2 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_1 [N]	σ_t [N/mm ²]
Starten met trekken	29.209	1,79
Na 1 ^e deel intrekken	28.308	1,74
Na 2 ^e deel intrekken	24.792	1,52
Na 3 ^e deel intrekken	4.581	0,28
Na 4 ^e deel intrekken	1.285	0,08

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{16.273,95}$$

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{106.064.835}{150.000} = 758.363,57 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{758.363,57}{848.519} = \mathbf{0,89 \text{ N/mm}^2}$$

4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	σ_t [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	1,79	2,38
Na 1 ^e deel intrekken	1,74	2,32
Na 2 ^e deel intrekken	1,52	2,10
Na 3 ^e deel intrekken	0,28	0,86
Na 4 ^e deel intrekken	0,08	0,66

$$\sigma_a = \alpha_\sigma \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 0,89 + \sigma_t$$

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

5. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat

5.1 Berekening van de vereiste trekkracht T_2 en T_{3a} in verband met wrijving tussen leiding en boorvloeistof/boorgangwand

Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof. 100% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet. Hieruit volgt: $D_{e,omtrek} = 785,40 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,155 \text{ N/mm}^1$

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

Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,409 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
1 ^e deel intrekken	10,74	2.341	-
2 ^e deel intrekken	52,63	-	11.471
3 ^e deel intrekken	293,46	63.962	-
4 ^e deel intrekken	332,73	-	72.521
Geheel ingetrokken	348,04	75.858	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (785,40 \cdot 0,00005 + 0,409 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (785,40 \cdot 0,00005 + 0,409 \cdot 0,2)$

5.3 Berekening van de vereiste trekkracht T_{3b} in verband met wrijving door grondreactie in de bochten

Locatie	λ [mm ⁻¹]	R [m]	Q_r [N/mm ²]	T_{3b} [N]
Neergaande bocht	0,0026	150	0,0064	1.423
Kant asfalt	0,0026	150	0,0064	1.423
3e rechte deel	0,0024	150	0,0058	1.358

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

$$Q_r = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot 0,9 \cdot R}$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 250 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

5.4 Berekening van de wrijving door bochtcracht T_{3c}

Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	T_{bocht} [N]
Neergaande bocht	24.792	11.471	1.423	-	37.686
Opgaande bocht	1.285	72.521	1.423	1.423	76.652

 Neergaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max}$

 Opgaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max} + T_{3a,op} + T_{3b,op,max}$

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N]
Neergaande bocht	7,50	37.686	3.542
Opgaande bocht	8,00	76.652	7.204

$$T_{3c} = f \cdot L_B \cdot g_t \cdot f_3$$

$$L_B = 2 \cdot R \cdot 2\pi \cdot \frac{\alpha}{360}$$

$$g_t = \frac{2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha)}{L_B}$$

$$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,8 \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$

5.5 Totalisatie van de trekkraften in fase II

Trekkraft T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 / T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3c,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{3c,op}$ [N]	T_{tot} [N]
1 ^e deel intrekken	28.308	2.341	-	-	-	-	30.649
2 ^e deel intrekken	24.792	11.471	1.423	3.542	-	-	41.228
3 ^e deel intrekken	4.581	63.962	1.423	3.542	-	-	73.507
4 ^e deel intrekken	1.285	72.521	1.423	3.542	1.423	7.204	87.874
Geheel intrekken	0	75.858	1.423	3.542	1.423	7.204	89.926

$$T_{\text{tot}} = T_1 + T_2 + T_{3a} + T_{3b,neer,max} + T_{3c,neer} + T_{3b,op,max} + T_{3c,op}$$

5.6 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkraften in fase II

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]
1 ^e deel intrekken	30.649	1,88
2 ^e deel intrekken	41.228	2,53
3 ^e deel intrekken	73.507	4,52
4 ^e deel intrekken	87.874	5,40
Geheel intrekken	89.926	5,53

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{16.273,95}$$

5.7 Optredende spanningen t.g.v. kromming van de leiding in het boorgat

5.7.1 Neergaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{l_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{106.064.835,12}{0,9 \cdot 150.000} = 1.072.433,33 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{1.072.433,33}{848.518,68} = 1,26 \text{ N/mm}^2$$

5.7.2 Opgaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{l_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{106.064.835,12}{0,9 \cdot 150.000} = 1.072.433,33 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{1.072.433,33}{848.518,68} = 1,26 \text{ N/mm}^2$$

5.8 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	30.649	1,88	-	1,88
Na 1 ^e deel intrekken	41.228	2,53	1,26	3,35
Na 2 ^e deel intrekken	73.507	4,52	-	4,52
Na 3 ^e deel intrekken	87.874	5,40	1,26	6,22
Na 4 ^e deel intrekken	89.926	5,53	-	5,53

Rechte delen: $\sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{16.273,95} = \sigma_t$

Gebogen delen: $\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot \sigma_b + \sigma_t$

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

6. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase
6.1 Berekening van de spanningen σ_p en σ_n t.g.v. inwendige druk

Leiding is drukloos:

$$\sigma_p = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

6.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

Leiding is drukloos:

$$f_{rr} = 1,00$$

6.3 Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	q_{droog} [kN/m ²]	q_{nat} [kN/m ²]	q_{totaal} [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]
1e rechte deel	3,98	2,00	Zand	39,60	43,56	83,16	15,84
Neergaande bocht	9,12	2,00	Zand	39,60	156,64	196,24	31,26
Berm	9,21	2,00	Zand	39,60	158,62	198,22	31,53
2e rechte deel	9,07	2,00	Zand	39,60	155,54	195,14	31,11
Kant asfalt	9,05	2,00	Zand	39,60	155,10	194,70	31,05
Kant asfalt	9,01	2,00	Zand	39,60	154,22	193,82	30,93
Kant asfalt	8,98	2,00	Zand	39,60	153,56	193,16	30,84
Opgaande bocht	8,95	2,00	Zand	39,60	152,90	192,50	30,75
Kant asfalt	8,95	2,00	Zand	39,60	152,90	192,50	30,75
3e rechte deel	3,03	2,00	Zand	39,60	22,66	62,26	12,99

$$Q_n = (\gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o$$

6.4 Berekening van de verkeersbelasting Q_v

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeers- belasting	q_v [kN/m ²]	Q_v [N/mm ¹]
1e rechte deel	3,98	Grafiek I	12,89	3,22
Neergaande bocht	9,12	Grafiek I	4,85	1,21
Berm	9,21	Grafiek I	4,78	1,19
2e rechte deel	9,07	Grafiek I	4,89	1,22
Kant asfalt	9,05	Grafiek I	4,90	1,23
Kant asfalt	9,01	Grafiek I	4,93	1,23
Kant asfalt	8,98	Grafiek I	4,96	1,24
Opgaande bocht	8,95	Grafiek I	4,98	1,24
Kant asfalt	8,95	Grafiek I	4,98	1,24
3e rechte deel	3,03	Grafiek I	16,82	4,21

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 250$$

6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_{boven} [N/mm ¹]	M_q [Nmm]	σ_q [N/mm ¹]
1e rechte deel	15,84	3,22	19,06	556,54	6,42
Neergaande bocht	31,26	1,21	32,47	948,02	10,94
Berm	31,53	1,19	32,72	955,40	11,03
2e rechte deel	31,11	1,22	32,33	943,92	10,89
Kant asfalt	31,05	1,23	32,28	942,28	10,88
Kant asfalt	30,93	1,23	32,16	939,00	10,84
Kant asfalt	30,84	1,24	32,08	936,55	10,81
Opgaande bocht	30,75	1,24	31,99	934,09	10,78
Kant asfalt	30,75	1,24	31,99	934,09	10,78
3e rechte deel	12,99	4,21	17,20	502,04	5,79

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 113,60$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{86,64}$$

 6.6 Optredende spanning σ_{qr} tgv. grondreactie in de bochten

Locatie	R [m]	Q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
Neergaande bocht	150	0,0064	0,41
Kant asfalt	150	0,0064	0,41
3e rechte deel	150	0,0058	0,38

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,179 \cdot Q_r \cdot 250 \cdot \frac{125,00}{86,64}$$

 6.7 Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil

Leiding is drukloos

$$\sigma_{ax} = 0 \text{ N/mm}^2$$

 7. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

$$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$$

$$S_N = 975 \cdot \frac{987,70}{227,2^3} = 0,08 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{82,11 \text{ kN/m}^2}$$

 Minimaal vereiste ringstijfheid = **0,5 kN/m²**

8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

 Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$

 Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$

$$p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot l_w}{D_g^3}$$

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 987,70}{227,20^3} = 1,56 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 987,70}{227,20^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

 Conclusie: Kans op implosie bij **28,07** m grondwater boven de leiding

9. Berekening van het totaal aan optredende spanningen
9.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

Locatie	σ_q [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_{y2} [N/mm ²]
1e rechte deel	6,42	-	0,65	4,18
Neergaande bocht	10,94	0,41	0,65	7,38
Berm	11,03	-	0,65	7,17
2e rechte deel	10,89	-	0,65	7,08
Kant asfalt	10,88	-	0,65	7,07
Kant asfalt	10,84	-	0,65	7,04
Kant asfalt	10,81	-	0,65	7,03
Opgaande bocht	10,78	-	0,65	7,01
Kant asfalt	10,78	0,41	0,65	7,28
3e rechte deel	5,79	0,38	0,65	4,01

 Rechte delen: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$

 Bochten: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$

 Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = 8,00 \text{ N/mm}^2$
9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

Locatie	σ_{ax} [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_x [N/mm ²]
1e rechte deel	0,00	-	-	0,00
Neergaande bocht	0,00	1,26	0,65	0,82
Berm	0,00	-	-	0,00
2e rechte deel	0,00	-	-	0,00
Kant asfalt	0,00	-	-	0,00
Kant asfalt	0,00	-	-	0,00
Kant asfalt	0,00	-	-	0,00
Opgaande bocht	0,00	-	-	0,00
Kant asfalt	0,00	1,26	0,65	0,82
3e rechte deel	0,00	1,26	0,65	0,82

 Rechte delen: $\sigma_x = \sigma_{ax}$

 Bochten: $\sigma_x = \sigma_{ax} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_b$

 Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = 8,00 \text{ N/mm}^2$

10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_r [N/mm ²]	δ_Y [mm]	δ_Y/D_g [%]
1e rechte deel	15,84	3,22	-	4,09	1,80
Neergaande bocht	31,26	1,21	0,0064	6,97	3,07
Berm	31,53	1,19	-	7,02	3,09
2e rechte deel	31,11	1,22	-	6,94	3,05
Kant asfalt	31,05	1,23	-	6,93	3,05
Kant asfalt	30,93	1,23	-	6,90	3,04
Kant asfalt	30,84	1,24	-	6,88	3,03
Opgaande bocht	30,75	1,24	-	6,86	3,02
Kant asfalt	30,75	1,24	0,0064	6,87	3,02
3e rechte deel	12,99	4,21	0,0058	3,69	1,62

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 113,60^3}{350 \cdot 987,70}$$

$$\text{Toelaatbare deflectie} = 8\% \cdot D_g = 0,08 \cdot 227,20 = \mathbf{18,18 \text{ mm}}$$

11. Berekening van de boorspoeldrukken tijdens de trekfase

Locatie	H [m]	σ_{vert} [kN/m ²]	σ_{hor} [kN/m ²]	σ_o' [kN/m ²]	p_f' [kN/m ²]	G [MN/m ²]
1e rechte deel	3,98	48,93	22,64	35,78	55,01	28,85
Neergaande bocht	9,12	90,98	42,10	66,54	102,29	28,85
Berm	9,21	91,72	42,44	67,08	103,12	28,85
2e rechte deel	9,07	90,57	41,91	66,24	101,83	28,85
Kant asfalt	9,05	90,41	41,83	66,12	101,65	28,85
Kant asfalt	9,01	90,08	41,68	65,88	101,28	28,85
Kant asfalt	8,98	89,84	41,57	65,70	101,00	28,85
Opgaande bocht	8,95	89,59	41,45	65,52	100,73	28,85
Kant asfalt	8,95	89,59	41,45	65,52	100,73	28,85
3e rechte deel	3,03	41,15	19,04	30,10	46,27	28,85

$$\sigma_{vert} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

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

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

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

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

Locatie	Q [-]	$R_{p,max}$ [m]	u [N/mm ²]	p_{st} [N/mm ²]	Δ_p [N/mm ²]	p_{lim} [N/mm ²]
1e rechte deel	0,00067	1,99	0,0198	0,02234	0,00	0,73
Neergaande bocht	0,0012	3,41	0,0712	0,08032	0,00	1,13
Berm	0,0012	3,40	0,0721	0,08134	0,01	1,14
2e rechte deel	0,0012	3,42	0,0707	0,07976	0,02	1,13
Kant asfalt	0,0012	3,42	0,0705	0,07953	0,02	1,13
Kant asfalt	0,0012	3,43	0,0701	0,07908	0,02	1,12
Kant asfalt	0,0012	3,44	0,0698	0,07874	0,02	1,12
Opgaande bocht	0,0012	3,44	0,0695	0,07841	0,03	1,12
Kant asfalt	0,0012	3,44	0,0695	0,07841	0,03	1,12
3e rechte deel	0,00056	1,52	0,0103	0,01162	0,03	0,64

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

$$R_{p,max} = \frac{H}{2}; R_{p,max,zand} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot \varepsilon_{g,max}} \text{ of } \frac{H}{2}$$

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$p_{st} = \rho_m \cdot g \cdot h_z$$

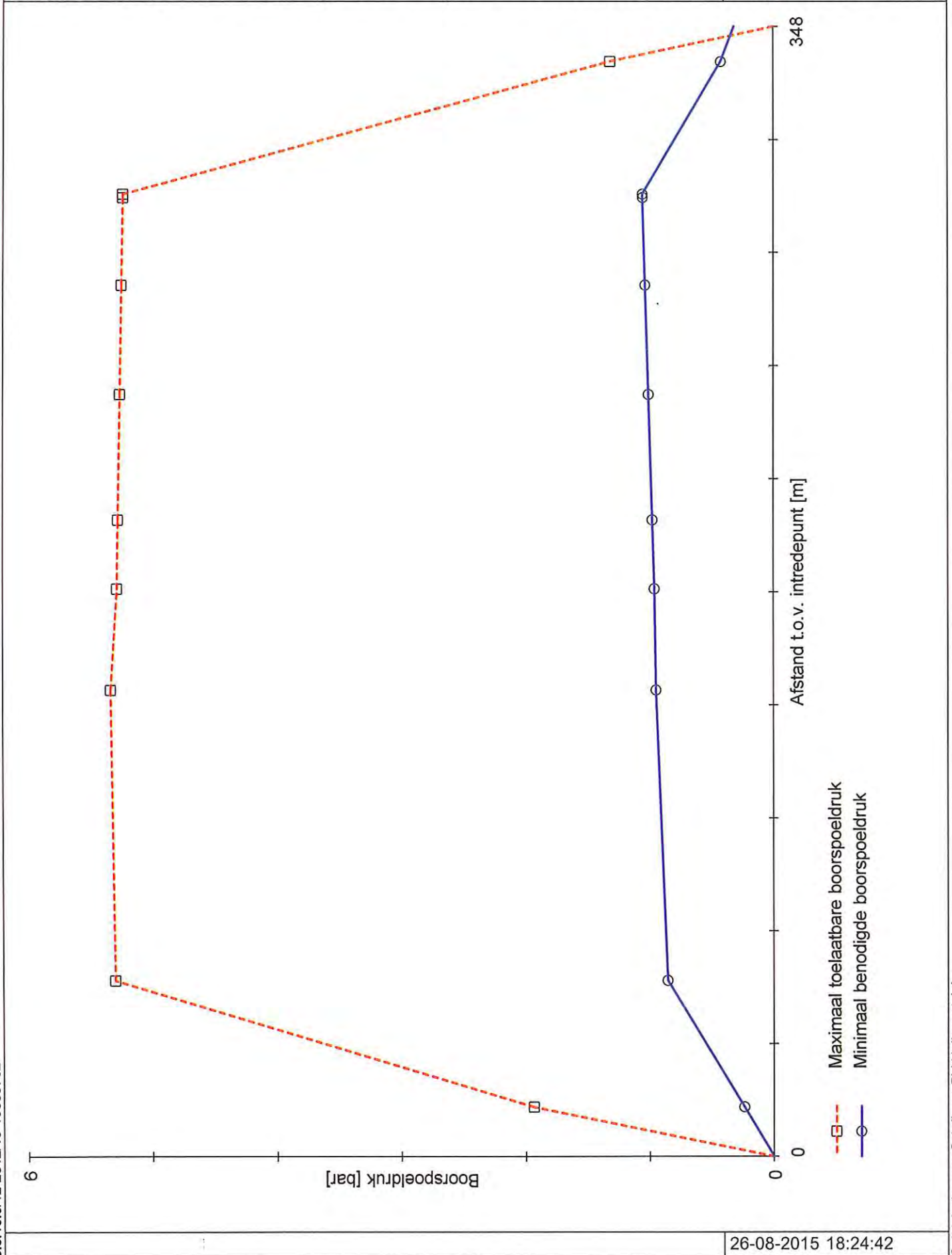
$$\Delta_p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$$

$$p_{lim} = (p_f' + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q \cdot \frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

Locatie	p_{max} [N/mm ²]	90% p_{lim} [N/mm ²]	p_{min} [N/mm ²]	p_{max} [bar]	90% p_{lim} [bar]	p_{min} [bar]
1e rechte deel	0,19	0,66	0,02	1,94	6,56	0,24
Neergaande bocht	0,53	1,02	0,09	5,30	10,19	0,85
Berm	0,53	1,02	0,09	5,34	10,25	0,94
2e rechte deel	0,53	1,02	0,10	5,28	10,16	0,96
Kant asfalt	0,53	1,01	0,10	5,28	10,15	0,97
Kant asfalt	0,53	1,01	0,10	5,26	10,12	1,00
Kant asfalt	0,53	1,01	0,10	5,25	10,10	1,03
Opgaande bocht	0,52	1,01	0,11	5,24	10,08	1,05
Kant asfalt	0,52	1,01	0,11	5,24	10,08	1,05
3e rechte deel	0,13	0,58	0,04	1,32	5,79	0,42

$$p_{max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{R_o^2}{R_{p,max}} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

$$p_{min} = p_{st} + \Delta p$$



Berekening van de toelaatbare boorspoeldruk conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Windpark Fryslan			
Projectonderdeel : Boorspoeldruk HDD boring Kornwerderzand - Afsluitdijk - tekening nr. 482.15.2.039-105 Boring A			
Grondmechanische gegevens			
Grondsoort		= Zand	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 18	kN/m ³
Volumiek gewicht natte grond	γ_n	= 20	kN/m ³
Volumiek gewicht water	γ_w	= 10	kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	φ	= 32,5	°
Effectieve cohesie	c'	= 0	kN/m ²
E-modulus ondergrond	E_{100}	= 75	MN/m ²
Aanleggegevens			
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 8,95	m
Gronddekking boven de grondwaterstand	H_d	= 1	m
Gronddekking onder de grondwaterstand	H_n	= 7,95	m
Afstand t.o.v. intredepunt	L	= 294,43	m
Soortelijk gewicht boorvloeistof	ρ_m	= 11,5	kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	τ_y	= 15	Pa
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	D_g	= 760	mm
Diameter boorstang	D_b	= 101	mm
1. Maximaal toelaatbare boorspoeldruk (conform NEN 3650-serie)			
<i>1.1 Verticale terreinspanning</i>			
$\sigma_{vert} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$ $\sigma_{vert} = \frac{18}{1,1} \cdot 1 + \frac{20}{1,1} \cdot 7,95 - 10 \cdot 7,95 = 81,41 \text{ kN/m}^2$			
<i>1.2 Horizontale terreinspanning</i>			
$\sigma_{hor} = \sigma_{vert} \cdot (1 - \sin(\varphi))$ $\sigma_{hor} = 81,41 \cdot (1 - \sin(32,5)) = 37,67 \text{ kN/m}^2$			
<i>1.3 Gemiddelde terreinspanning</i>			
$\sigma_o' = \frac{\sigma_{vert} + \sigma_{hor}}{2}$ $\sigma_o' = \frac{81,41 + 37,67}{2} = 59,54 \text{ kN/m}^2$			
<i>1.4 Boorspoeldruk waarbij de eerste plastische vervormingen optreden</i>			
$p_f' = \sigma_o' \cdot (1 + \sin(\varphi)) + c \cdot \cos(\varphi)$ $p_f' = 59,54 \cdot (1 + \sin(32,5)) + 0 \cdot \cos(32,5) = 91,53 \text{ kN/m}^2$			
<i>1.5 Glijdingsmodulus</i>			
$G = \frac{E_{100}}{2 \cdot (1 + \nu)}$ $G = \frac{75}{2 \cdot (1 + 0,3)} = 28,85 \text{ MN/m}^2$			
			26-08-2015 18:35:26

Berekening van de toelaatbare boorspoeldruk conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2012 3.0 ©
<p>1.6 Bepaling van Q</p> $Q = \frac{\sigma_o' \cdot \sin(\varphi) + c \cdot \cos(\varphi)}{G}$ $Q = \frac{59,54 \cdot \sin(32,5) + 0 \cdot \cos(32,5)}{28,85 \cdot 10^3} = 0,001$	
<p>1.7 Bepaling initiële straal boorgang en max. toelaatbare plastische zone</p> $R_o = \frac{D_o}{2} = 380 \text{ mm}$ $R_{p,max} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot \varepsilon_{g,max}}$ $R_{p,max} = \sqrt{\frac{380^2}{0,001} \cdot 2 \cdot 0,05} = 3.608,45 \text{ mm}$	
<p>1.8 Berekening van de aanwezige waterspanning</p> $u = \gamma_w \cdot H_n$ $u = (10 \cdot 7,95) \cdot 10^{-3} = 0,08 \text{ N/mm}^2$	
<p>1.9 Effectieve limietdruk</p> $p_{lim} = (p_f' + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$ $p_{lim} = (91,53 + 0 \cdot \cot(32,5)) \cdot Q^{\frac{-\sin 32,5}{1 + \sin 32,5}} - c \cdot \cot(32,5) + 0,08 = 1,07 \text{ N/mm}^2$ $p_{lim,90\%} = 0,9 \cdot 1,07 = 0,96 \text{ N/mm}^2 = 9,60 \text{ bar} = 959,98 \text{ kPa}$	
<p>1.10 Maximaal toelaatbare boorspoeldruk</p> $p_{max} = (p_f' + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{R_o^2}{R_{p,max}^2} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$ $p_{max} = (91,53 + 32,5 \cdot \cot(0)) \cdot \left(\frac{380^2}{3.608,45^2} + 0,001 \right)^{\frac{-\sin 32,5}{1 + \sin 32,5}} - 0 \cdot \cot(32,5) + 0,08$ $p_{max} = 0,51 \text{ N/mm}^2 = 5,06 \text{ bar} = 506,48 \text{ kPa}$	
<p>2. Minimaal benodigde boorspoeldruk</p>	
<p>2.1 Statische druk</p> $p_{st} = \rho_m \cdot g \cdot h_z$ $p_{st} = (1.150,00 \cdot 9,81 \cdot 7,95) \cdot 10^{-6} = 0,09 \text{ N/mm}^2$	
<p>2.2 Drukverschil</p> $\Delta p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$ $\Delta p = 4 \cdot \frac{0,000015}{760 - 101} \cdot 294.430,00 = 0,03 \text{ N/mm}^2$	
<p>2.3 Minimaal benodigde boorspoeldruk</p> $p_{min} = p_{st} + \Delta p$ $p_{min} = 0,09 + 0,03 = 0,12 \text{ N/mm}^2 = 1,16 \text{ bar} = 116,49 \text{ kPa}$	
<p>3. Conclusie</p> $p_{max} < p_{lim,90\%} \rightarrow p_{max} \text{ is maatgevend}$ $p_{max} > p_{min}$	
	26-08-2015 18:35:26

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Windpark Fryslan			
Projectonderdeel : HDD boring Kornwerderzand - Afsluitdijk - tekening nr. 482.15.2.039-105 Boring B - 110 HDPE			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS = 10		N/mm ²
Materiaalfactor	$\gamma_M = 1,25$		-
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	$\alpha_g = 16,0 \cdot 10^{-5}$		mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	$\alpha_\sigma = 0,65$		-
Soortelijk gewicht buis	$\rho_L = 9,55$		kN/m ³
Toelaatbare deflectie	$\delta = 8$		%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	$D_e = 110,00$		mm
Wanddikte	$d_n = 10$		mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)	= Drukloos		
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 100	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_m = 11,5$		kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_y = 15$		Pa
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	$D_g = 760$		mm
Diameter boorstang	$D_b = 101$		mm
Totale lengte	L = 346,15		m
Lengte 1e rechte deel	$L_1 = 15,32$		m
Lengte neergaande bocht	$L_2 = 39,27$		m
Lengte 2e rechte deel	$L_3 = 238,93$		m
Lengte opgaande bocht	$L_4 = 41,89$		m
Lengte 3e rechte deel	$L_5 = 10,74$		m
Straal maaiveld/rollenbaan	$R_r = 150,00$		m
Straal neergaande bocht	$R_1 = 150,00$		m
Straal opgaande bocht	$R_2 = 150,00$		m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	$\alpha_1 = 15,00 / 26,79$		° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	$\alpha_2 = 16,00 / 28,67$		° / %
Belastinghoek	$\alpha = 30$		°
Ondersteuningshoek	$\beta = 30$		°
Horizontale steundrukhoek	$\gamma = 120$		°
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	$\gamma = 1,1$		
Totaalfactor bij boring met bundels	f = 1,8		
Belastingfactor	$f_{k,b} = 1,1$		
Belastingfactor	$f_{k,o} = 1,4$		
Wrijvingscoëff. zonder rollenbaan	$f_1 = 0,3$		
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	$f_2 = 0,00005$		N/mm ²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	$f_3 = 0,2$		
		26-08-2015 18:30:37	

Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting

Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond-soort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m ³]	Wrijvings-hoek grond [°]
1e rechte deel	15,32	3,98	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Neergaande bocht	54,59	9,13	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Kant asfalt	141,95	9,21	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
2e rechte deel	174,06	9,07	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Kant asfalt	220,78	9,02	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Kant asfalt	258,10	8,98	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Kant asfalt	284,77	8,95	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Opgaande bocht	293,53	8,99	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Kant asfalt	304,82	8,58	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
3e rechte deel	335,41	3,03	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingsconstante [N/mm ²]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
1e rechte deel	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Neergaande bocht	Geen	0,0700	0,00	75,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
2e rechte deel	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Opgaande bocht	Geen	0,0700	0,00	75,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	0,0700	0,00	75,00	Grafiek I
3e rechte deel	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I



* Niet op schaal

2. 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
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 3.141,59	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,0300	N/mm ¹

3. Berekening van het gewicht van de leiding tijdens het intrekken van de leiding

	<i>Leiding op rollenbaan/maaiveld</i>	<i>Leiding in boorgat</i>
Gewicht mediumleiding	$g = 0,0300 \text{ N/mm}^1$	$g = 0,0300 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$

4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds

4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld

Trekkracht T_1 tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_1 [N]
Starten met trekken	346,15	5.608
Na 1 ^e deel intrekken	335,41	5.434
Na 2 ^e deel intrekken	293,52	4.755
Na 3 ^e deel intrekken	54,59	884
Na 4 ^e deel intrekken	15,32	248

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,0300 \cdot 0,3$$

4.2 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_1 [N]	σ_t [N/mm ²]
Starten met trekken	5.608	1,79
Na 1 ^e deel intrekken	5.434	1,73
Na 2 ^e deel intrekken	4.755	1,51
Na 3 ^e deel intrekken	884	0,28
Na 4 ^e deel intrekken	248	0,08

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{3.141,59}$$

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.261}{150.000} = 28.358,76 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{28.358,76}{72.114} = \mathbf{0,39 \text{ N/mm}^2}$$

4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaar/maaiveld

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	σ_t [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	1,79	2,04
Na 1 ^e deel intrekken	1,73	1,99
Na 2 ^e deel intrekken	1,51	1,77
Na 3 ^e deel intrekken	0,28	0,54
Na 4 ^e deel intrekken	0,08	0,33

$$\sigma_a = \alpha_\sigma \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 0,39 + \sigma_t$$

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

5. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat

5.1 Berekening van de vereiste trekkracht T_2 en T_{3a} in verband met wrijving tussen leiding en boorvloeistof/boorgangwand

Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof. 100% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet. Hieruit volgt: $D_{e,omtrek} = 345,58 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof: $g_{opw} = \rho_m \cdot D_o^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 110,00^2 \cdot \pi/4 = 0,109 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,0793 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
1 ^e deel intrekken	10,74	641	-
2 ^e deel intrekken	52,63	-	3.139
3 ^e deel intrekken	291,56	17.390	-
4 ^e deel intrekken	330,83	-	19.732
Geheel ingetrokken	346,15	20.646	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (345,58 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (345,58 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

5.3 Berekening van de vereiste trekkracht T_{3b} in verband met wrijving door grondreactie in de bochten

Locatie	λ [mm ⁻¹]	R [m]	Q_r [N/mm ²]	T_{3b} [N]
Neergaande bocht	0,0047	150	0,0019	99
Opgaande bocht	0,0047	150	0,0019	99
Kant asfalt	0,0047	150	0,0019	99

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

$$Q_r = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot 0,9 \cdot R}$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 110 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

5.4 Berekening van de wrijving door bochtkracht T_{3c}

Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	T_{bocht} [N]
Neergaande bocht	4.755	3.139	99	-	7.993
Opgaande bocht	248	19.732	99	99	20.178

Neergaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max}$

Opgaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max} + T_{3a,op} + T_{3b,op,max}$

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N]
Neergaande bocht	7,50	7.993	751
Opgaande bocht	8,00	20.178	1.896

$$T_{3c} = f \cdot L_B \cdot g_t \cdot f_3$$

$$L_B = 2 \cdot R \cdot 2\pi \cdot \frac{\alpha}{360}$$

$$g_t = \frac{2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha)}{L_B}$$

$$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,8 \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$

5.5 Totalisatie van de trekkraften in fase II

Trekkraft T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 / T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3c,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{3c,op}$ [N]	T_{tot} [N]
1 ^e deel intrekken	5.434	641	-	-	-	-	6.075
2 ^e deel intrekken	4.755	3.139	99	751	-	-	8.744
3 ^e deel intrekken	884	17.390	99	751	-	-	19.124
4 ^e deel intrekken	248	19.732	99	751	99	1.896	22.951
Geheel intrekken	0	20.646	99	751	99	1.896	23.616

$$T_{\text{tot}} = T_1 + T_2 + T_{3a} + T_{3b,neer,max} + T_{3c,neer} + T_{3b,op,max} + T_{3c,op}$$

5.6 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkraften in fase II

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]
1 ^e deel intrekken	6.075	1,93
2 ^e deel intrekken	8.744	2,78
3 ^e deel intrekken	19.124	6,09
4 ^e deel intrekken	22.951	7,31
Geheel intrekken	23.616	7,52

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{3.141,59}$$

5.7 Optredende spanningen t.g.v. kromming van de leiding in het boorgat

5.7.1 Neergaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{l_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 150.000} = 40.103,30 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{40.103,30}{72.113,83} = 0,56 \text{ N/mm}^2$$

5.7.2 Opgaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{l_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 150.000} = 40.103,30 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{40.103,30}{72.113,83} = 0,56 \text{ N/mm}^2$$

5.8 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	6.075	1,93	-	1,93
Na 1 ^e deel intrekken	8.744	2,78	0,56	3,14
Na 2 ^e deel intrekken	19.124	6,09	-	6,09
Na 3 ^e deel intrekken	22.951	7,31	0,56	7,67
Na 4 ^e deel intrekken	23.616	7,52	-	7,52

Rechte delen: $\sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{3.141,59} = \sigma_t$

Gebogen delen: $\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot \sigma_b + \sigma_t$

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

6. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase

6.1 Berekening van de spanningen σ_p en σ_{ϕ} t.g.v. inwendige druk

Leiding is drukloos:

$$\sigma_p = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

6.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

Leiding is drukloos:

$$f_{rr} = 1,00$$

6.3 Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	q_{droog} [kN/m ²]	q_{nat} [kN/m ²]	q_{totaal} [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]
1e rechte deel	3,98	2,00	Zand	39,60	43,56	83,16	6,97
Neergaande bocht	9,13	2,00	Zand	39,60	156,86	196,46	13,77
Kant asfalt	9,21	2,00	Zand	39,60	158,62	198,22	13,87
2e rechte deel	9,07	2,00	Zand	39,60	155,54	195,14	13,69
Kant asfalt	9,02	2,00	Zand	39,60	154,44	194,04	13,62
Kant asfalt	8,98	2,00	Zand	39,60	153,56	193,16	13,57
Kant asfalt	8,95	2,00	Zand	39,60	152,90	192,50	13,53
Opgaande bocht	8,99	2,00	Zand	39,60	153,78	193,38	13,58
Kant asfalt	8,58	2,00	Zand	39,60	144,76	184,36	13,04
3e rechte deel	3,03	2,00	Zand	39,60	22,66	62,26	5,72

$$Q_n = (\gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o$$

6.4 Berekening van de verkeersbelasting Q_v

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeers- belasting	q_v [kN/m ²]	Q_v [N/mm ¹]
1e rechte deel	3,98	Grafiek I	12,89	1,42
Neergaande bocht	9,13	Grafiek I	4,84	0,53
Kant asfalt	9,21	Grafiek I	4,78	0,53
2e rechte deel	9,07	Grafiek I	4,89	0,54
Kant asfalt	9,02	Grafiek I	4,92	0,54
Kant asfalt	8,98	Grafiek I	4,96	0,55
Kant asfalt	8,95	Grafiek I	4,98	0,55
Opgaande bocht	8,99	Grafiek I	4,95	0,54
Kant asfalt	8,58	Grafiek I	5,28	0,58
3e rechte deel	3,03	Grafiek I	16,83	1,85

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 110$$

6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_{boven} [N/mm ¹]	M_q [Nmm]	σ_q [N/mm ¹]
1e rechte deel	6,97	1,42	8,39	107,78	6,47
Neergaande bocht	13,77	0,53	14,30	183,75	11,03
Kant asfalt	13,87	0,53	14,40	185,03	11,10
2e rechte deel	13,69	0,54	14,23	182,80	10,97
Kant asfalt	13,62	0,54	14,16	182,01	10,92
Kant asfalt	13,57	0,55	14,11	181,37	10,88
Kant asfalt	13,53	0,55	14,08	180,90	10,85
Opgaande bocht	13,58	0,54	14,13	181,53	10,89
Kant asfalt	13,04	0,58	13,62	175,05	10,50
3e rechte deel	5,72	1,85	7,57	97,24	5,83

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 50,00$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{16,67}$$

6.6 Optredende spanning σ_{qr} tgv. grondreactie in de bochten

Locatie	R [m]	Q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
Neergaande bocht	150	0,0019	0,12
Opgaande bocht	150	0,0019	0,12
Kant asfalt	150	0,0019	0,12

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,179 \cdot Q_r \cdot 110 \cdot \frac{55,00}{16,67}$$

6.7 Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil

Leiding is drukloos

$$\sigma_{ax} = 0 \text{ N/mm}^2$$

7. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

$$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$$

$$S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100^3} = 0,08 \text{ N/mm}^2 = 81,25 \text{ kN/m}^2$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = **0,5 kN/m²**

8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$

Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$

$$p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot l_w}{D_g^3}$$

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **27,78 m** grondwater boven de leiding

9. Berekening van het totaal aan optredende spanningen

9.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

Locatie	σ_q [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_{y2} [N/mm ²]
1e rechte deel	6,47	-	0,65	4,20
Neergaande bocht	11,03	0,12	0,65	7,25
Kant asfalt	11,10	-	0,65	7,22
2e rechte deel	10,97	-	0,65	7,13
Kant asfalt	10,92	-	0,65	7,10
Kant asfalt	10,88	-	0,65	7,07
Kant asfalt	10,85	-	0,65	7,06
Opgaande bocht	10,89	0,12	0,65	7,16
Kant asfalt	10,50	0,12	0,65	6,91
3e rechte deel	5,83	-	0,65	3,79

Rechte delen: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$

Bochten: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$

Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$

9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

Locatie	σ_{ax} [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_x [N/mm ²]
1e rechte deel	0,00	-	-	0,00
Neergaande bocht	0,00	0,56	0,65	0,36
Kant asfalt	0,00	-	-	0,00
2e rechte deel	0,00	-	-	0,00
Kant asfalt	0,00	-	-	0,00
Kant asfalt	0,00	-	-	0,00
Kant asfalt	0,00	-	-	0,00
Opgaande bocht	0,00	0,56	0,65	0,36
Kant asfalt	0,00	0,56	0,65	0,36
3e rechte deel	0,00	-	-	0,00

Rechte delen: $\sigma_x = \sigma_{ax}$

Bochten: $\sigma_x = \sigma_{ax} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_b$

Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$

10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_r [N/mm ²]	δ_Y [mm]	δ_Y/D_g [%]
1e rechte deel	6,97	1,42	-	1,82	1,82
Neergaande bocht	13,77	0,53	0,0019	3,10	3,10
Kant asfalt	13,87	0,53	-	3,12	3,12
2e rechte deel	13,69	0,54	-	3,08	3,08
Kant asfalt	13,62	0,54	-	3,07	3,07
Kant asfalt	13,57	0,55	-	3,06	3,06
Kant asfalt	13,53	0,55	-	3,05	3,05
Opgaande bocht	13,58	0,54	0,0019	3,06	3,06
Kant asfalt	13,04	0,58	0,0019	2,95	2,95
3e rechte deel	5,72	1,85	-	1,64	1,64

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33}$$

Toelaatbare deflectie = 8% · D_g = 0,08 · 100,00 = **8,00 mm**

11. Berekening van de boorspoeldrukken tijdens de trekfase

Locatie	H [m]	σ_{vert} [kN/m ²]	σ_{hor} [kN/m ²]	σ_o' [kN/m ²]	p_f' [kN/m ²]	G [MN/m ²]
1e rechte deel	3,98	48,93	22,64	35,78	55,01	28,85
Neergaande bocht	9,13	91,06	42,14	66,60	102,38	28,85
Kant asfalt	9,21	91,72	42,44	67,08	103,12	28,85
2e rechte deel	9,07	90,57	41,91	66,24	101,83	28,85
Kant asfalt	9,02	90,16	41,72	65,94	101,37	28,85
Kant asfalt	8,98	89,84	41,57	65,70	101,00	28,85
Kant asfalt	8,95	89,59	41,45	65,52	100,73	28,85
Opgaande bocht	8,99	89,92	41,61	65,76	101,10	28,85
Kant asfalt	8,58	86,56	40,05	63,31	97,32	28,85
3e rechte deel	3,03	41,15	19,04	30,10	46,27	28,85

$$\sigma_{vert} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

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

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

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

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

Locatie	Q [-]	$R_{p,max}$ [m]	u [N/mm ²]	p_{st} [N/mm ²]	Δ_p [N/mm ²]	p_{lim} [N/mm ²]
1e rechte deel	0,00067	1,99	0,0198	0,02234	0,00	0,73
Neergaande bocht	0,0012	3,41	0,0713	0,08044	0,00	1,13
Kant asfalt	0,0012	3,40	0,0721	0,08134	0,01	1,14
2e rechte deel	0,0012	3,42	0,0707	0,07976	0,02	1,13
Kant asfalt	0,0012	3,43	0,0702	0,07920	0,02	1,13
Kant asfalt	0,0012	3,44	0,0698	0,07874	0,02	1,12
Kant asfalt	0,0012	3,44	0,0695	0,07841	0,03	1,12
Opgaande bocht	0,0012	3,43	0,0699	0,07886	0,03	1,12
Kant asfalt	0,0012	3,50	0,0658	0,07423	0,03	1,09
3e rechte deel	0,00056	1,52	0,0103	0,01162	0,03	0,64

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

$$R_{p,max} = \frac{H}{2}; R_{p,max,zand} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot \varepsilon_{g,max}} \text{ of } \frac{H}{2}$$

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$p_{st} = \rho_m \cdot g \cdot h_z$$

$$\Delta_p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$$

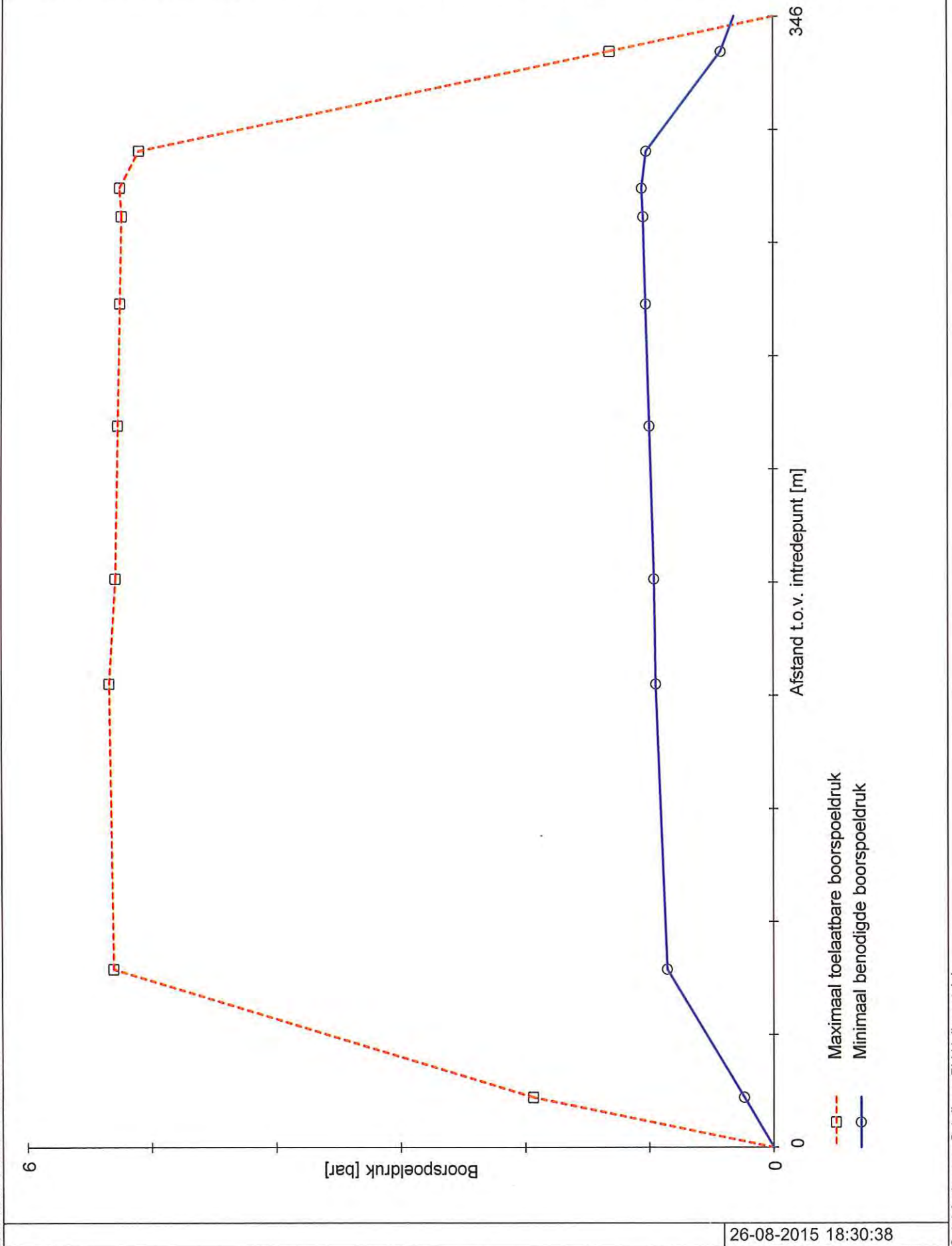
$$p_{lim} = (p_f' + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q \cdot \frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

Locatie	p_{max} [N/mm ²]	90% p_{lim} [N/mm ²]	p_{min} [N/mm ²]	p_{max} [bar]	90% p_{lim} [bar]	p_{min} [bar]
1e rechte deel	0,19	0,66	0,02	1,94	6,56	0,24
Neergaande bocht	0,53	1,02	0,09	5,31	10,20	0,85
Kant asfalt	0,53	1,02	0,09	5,34	10,25	0,94
2e rechte deel	0,53	1,02	0,10	5,28	10,16	0,96
Kant asfalt	0,53	1,01	0,10	5,27	10,13	0,99
Kant asfalt	0,53	1,01	0,10	5,25	10,10	1,02
Kant asfalt	0,52	1,01	0,10	5,24	10,08	1,04
Opgaande bocht	0,53	1,01	0,11	5,25	10,11	1,06
Kant asfalt	0,51	0,98	0,10	5,10	9,84	1,02
3e rechte deel	0,13	0,58	0,04	1,32	5,79	0,42

$$p_{max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{R_o^2}{R_{p,max}} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

$$p_{min} = p_{st} + \Delta p$$

3.0.10.0/12-2012/10-10383702



26-08-2015 18:30:38

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Windpark Fryslan			
Projectonderdeel : HDD boring Kornwerderzand - Afsluitdijk - tekening nr. 482.15.2.039-105 Boring B - 250 HDPE			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS = 10		N/mm ²
Materiaalfactor	$\gamma_M = 1,25$		-
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	$\alpha_g = 16,0 \cdot 10^{-5}$		mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	$\alpha_\sigma = 0,65$		-
Soortelijk gewicht buis	$\rho_L = 9,55$		kN/m ³
Toelaatbare deflectie	$\delta = 8$		%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	$D_e = 250,00$		mm
Wanddikte	$d_n = 22,8$		mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)			= Drukloos
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 100	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_m = 11,5$		kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_y = 15$		Pa
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	$D_g = 760$		mm
Diameter boorstang	$D_b = 101$		mm
Totale lengte	L = 346,15		m
Lengte 1e rechte deel	$L_1 = 15,32$		m
Lengte neergaande bocht	$L_2 = 39,27$		m
Lengte 2e rechte deel	$L_3 = 238,93$		m
Lengte opgaande bocht	$L_4 = 41,89$		m
Lengte 3e rechte deel	$L_5 = 10,74$		m
Straal maaiveld/rollenbaan	$R_r = 150,00$		m
Straal neergaande bocht	$R_1 = 150,00$		m
Straal opgaande bocht	$R_2 = 150,00$		m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	$\alpha_1 = 15,00 / 26,79$		° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	$\alpha_2 = 16,00 / 28,67$		° / %
Belastinghoek	$\alpha = 30$		°
Ondersteuningshoek	$\beta = 30$		°
Horizontale steundrukhoek	$\gamma = 120$		°
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	$\gamma = 1,1$		
Totaalfactor bij boring met bundels	f = 1,8		
Belastingfactor	$f_{k,b} = 1,1$		
Belastingfactor	$f_{k,o} = 1,4$		
Wrijvingscoëff. zonder rollenbaan	$f_1 = 0,3$		
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	$f_2 = 0,00005$		N/mm ²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	$f_3 = 0,2$		
		26-08-2015 18:31:32	

Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting

Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m ³]	Wrijvings- hoek grond [°]
1e rechte deel	15,32	3,98	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Neergaande bocht	54,59	9,13	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Kant asfalt	141,95	9,21	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
2e rechte deel	174,06	9,07	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Kant asfalt	220,78	9,02	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Kant asfalt	258,10	8,98	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Kant asfalt	284,77	8,95	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Opgaande bocht	293,53	8,99	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Kant asfalt	304,82	8,58	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
3e rechte deel	335,41	3,03	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingsconstante [N/mm ²]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
1e rechte deel	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Neergaande bocht	Geen	0,0700	0,00	75,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
2e rechte deel	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Opgaande bocht	Geen	0,0700	0,00	75,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	0,0700	0,00	75,00	Grafiek I
3e rechte deel	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I



* Niet op schaal

2. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 204,40	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 227,20	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 250,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 125,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 102,20	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 113,60	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 106.064.835,12	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 848.518,68	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 987,70	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 86,64	mm ³ /mm ¹
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 16.273,95	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,1554	N/mm ¹

3. Berekening van het gewicht van de leiding tijdens het intrekken van de leiding

	<i>Leiding op rollenbaan/maaiveld</i>	<i>Leiding in boorgat</i>
Gewicht mediumleiding	$g = 0,1554 \text{ N/mm}^1$	$g = 0,1554 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,1554 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,1554 \text{ N/mm}^1$

4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds

4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld

Trekkraft T_1 tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_1 [N]
Starten met trekken	346,15	29.051
Na 1 ^e deel intrekken	335,41	28.149
Na 2 ^e deel intrekken	293,52	24.634
Na 3 ^e deel intrekken	54,59	4.581
Na 4 ^e deel intrekken	15,32	1.286

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,1554 \cdot 0,3$$

4.2 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_1 [N]	σ_t [N/mm ²]
Starten met trekken	29.051	1,79
Na 1 ^e deel intrekken	28.149	1,73
Na 2 ^e deel intrekken	24.634	1,51
Na 3 ^e deel intrekken	4.581	0,28
Na 4 ^e deel intrekken	1.286	0,08

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{16.273,95}$$

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{106.064.835}{150.000} = 758.363,57 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{758.363,57}{848.519} = 0,89 \text{ N/mm}^2$$

4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	σ_t [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	1,79	2,37
Na 1 ^e deel intrekken	1,73	2,31
Na 2 ^e deel intrekken	1,51	2,09
Na 3 ^e deel intrekken	0,28	0,86
Na 4 ^e deel intrekken	0,08	0,66

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 0,89 + \sigma_t$$

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

5. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat

5.1 Berekening van de vereiste trekkkracht T_2 en T_{3a} in verband met wrijving tussen leiding en boorvloeistof/boorgangwand

Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof. 100% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet. Hieruit volgt: $D_{e,omtrek} = 785,40 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,155 \text{ N/mm}^1$

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

Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,409 \text{ N/mm}^1$

Trekkkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
1 ^e deel intrekken	10,74	2.341	-
2 ^e deel intrekken	52,63	-	11.471
3 ^e deel intrekken	291,56	63.548	-
4 ^e deel intrekken	330,83	-	72.107
Geheel ingetrokken	346,15	75.446	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (785,40 \cdot 0,00005 + 0,409 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (785,40 \cdot 0,00005 + 0,409 \cdot 0,2)$

5.3 Berekening van de vereiste trekkkracht T_{3b} in verband met wrijving door grondreactie in de bochten

Locatie	λ [mm ⁻¹]	R [m]	Q_r [N/mm ²]	T_{3b} [N]
Neergaande bocht	0,0026	150	0,0064	1.423
Opgaande bocht	0,0026	150	0,0064	1.423
Kant asfalt	0,0026	150	0,0064	1.423

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

$$Q_r = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot 0,9 \cdot R}$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 250 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

5.4 Berekening van de wrijving door bochtkracht T_{3c}

Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	T_{bocht} [N]
Neergaande bocht	24.634	11.471	1.423	-	37.528
Opgaande bocht	1.286	72.107	1.423	1.423	76.239

Neergaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max}$

Opgaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max} + T_{3a,op} + T_{3b,op,max}$

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N]
Neergaande bocht	7,50	37.528	3.527
Opgaande bocht	8,00	76.239	7.165

$$T_{3c} = f \cdot L_B \cdot g_t \cdot f_3$$

$$L_B = 2 \cdot R \cdot 2\pi \cdot \frac{\alpha}{360}$$

$$g_t = \frac{2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha)}{L_B}$$

$$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,8 \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$

5.5 Totalisatie van de trekkrachten in fase II

Trekkraft T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 / T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3c,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{3c,op}$ [N]	T_{tot} [N]
1 ^e deel intrekken	28.149	2.341	-	-	-	-	30.490
2 ^e deel intrekken	24.634	11.471	1.423	3.527	-	-	41.054
3 ^e deel intrekken	4.581	63.548	1.423	3.527	-	-	73.079
4 ^e deel intrekken	1.286	72.107	1.423	3.527	1.423	7.165	87.405
Geheel intrekken	0	75.446	1.423	3.527	1.423	7.165	89.458

$$T_{\text{tot}} = T_1 + T_2 + T_{3a} + T_{3b,neer,max} + T_{3c,neer} + T_{3b,op,max} + T_{3c,op}$$

5.6 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten in fase II

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]
1 ^e deel intrekken	30.490	1,87
2 ^e deel intrekken	41.054	2,52
3 ^e deel intrekken	73.079	4,49
4 ^e deel intrekken	87.405	5,37
Geheel intrekken	89.458	5,50

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{16.273,95}$$

5.7 Optredende spanningen t.g.v. kromming van de leiding in het boorgat

5.7.1 Neergaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{106.064.835,12}{0,9 \cdot 150.000} = 1.072.433,33 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{1.072.433,33}{848.518,68} = 1,26 \text{ N/mm}^2$$

5.7.2 Opgaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{106.064.835,12}{0,9 \cdot 150.000} = 1.072.433,33 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{1.072.433,33}{848.518,68} = 1,26 \text{ N/mm}^2$$

5.8 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	30.490	1,87	-	1,87
Na 1 ^e deel intrekken	41.054	2,52	1,26	3,34
Na 2 ^e deel intrekken	73.079	4,49	-	4,49
Na 3 ^e deel intrekken	87.405	5,37	1,26	6,19
Na 4 ^e deel intrekken	89.458	5,50	-	5,50

Rechte delen: $\sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{16.273,95} = \sigma_t$

Gebogen delen: $\sigma_a = \alpha_\sigma \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot \sigma_b + \sigma_t$

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

6. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase
6.1 Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pi} t.g.v. inwendige druk

Leiding is drukloos:

$$\sigma_p = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

6.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

Leiding is drukloos:

$$f_{rr} = 1,00$$

6.3 Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	q_{droog} [kN/m ²]	q_{nat} [kN/m ²]	q_{totaal} [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]
1e rechte deel	3,98	2,00	Zand	39,60	43,56	83,16	15,84
Neergaande bocht	9,13	2,00	Zand	39,60	156,86	196,46	31,29
Kant asfalt	9,21	2,00	Zand	39,60	158,62	198,22	31,53
2e rechte deel	9,07	2,00	Zand	39,60	155,54	195,14	31,11
Kant asfalt	9,02	2,00	Zand	39,60	154,44	194,04	30,96
Kant asfalt	8,98	2,00	Zand	39,60	153,56	193,16	30,84
Kant asfalt	8,95	2,00	Zand	39,60	152,90	192,50	30,75
Opgaande bocht	8,99	2,00	Zand	39,60	153,78	193,38	30,87
Kant asfalt	8,58	2,00	Zand	39,60	144,76	184,36	29,64
3e rechte deel	3,03	2,00	Zand	39,60	22,66	62,26	12,99

$$Q_n = (\gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o$$

6.4 Berekening van de verkeersbelasting Q_v

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeers- belasting	q_v [kN/m ²]	Q_v [N/mm ¹]
1e rechte deel	3,98	Grafiek I	12,89	3,22
Neergaande bocht	9,13	Grafiek I	4,84	1,21
Kant asfalt	9,21	Grafiek I	4,78	1,19
2e rechte deel	9,07	Grafiek I	4,89	1,22
Kant asfalt	9,02	Grafiek I	4,92	1,23
Kant asfalt	8,98	Grafiek I	4,96	1,24
Kant asfalt	8,95	Grafiek I	4,98	1,24
Opgaande bocht	8,99	Grafiek I	4,95	1,24
Kant asfalt	8,58	Grafiek I	5,28	1,32
3e rechte deel	3,03	Grafiek I	16,82	4,21

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 250$$

6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_{boven} [N/mm ¹]	M_q [Nmm]	σ_q [N/mm ¹]
1e rechte deel	15,84	3,22	19,06	556,54	6,42
Neergaande bocht	31,29	1,21	32,50	948,84	10,95
Kant asfalt	31,53	1,19	32,72	955,40	11,03
2e rechte deel	31,11	1,22	32,33	943,92	10,89
Kant asfalt	30,96	1,23	32,19	939,82	10,85
Kant asfalt	30,84	1,24	32,08	936,55	10,81
Kant asfalt	30,75	1,24	31,99	934,09	10,78
Opgaande bocht	30,87	1,24	32,11	937,37	10,82
Kant asfalt	29,64	1,32	30,96	903,91	10,43
3e rechte deel	12,99	4,21	17,20	502,04	5,79

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 113,60$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{86,64}$$

6.6 Optredende spanning σ_{qr} tgv. grondreactie in de bochten

Locatie	R [m]	Q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
Neergaande bocht	150	0,0064	0,41
Opgaande bocht	150	0,0064	0,41
Kant asfalt	150	0,0064	0,41

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,179 \cdot Q_r \cdot 250 \cdot \frac{125,00}{86,64}$$

6.7 Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil

Leiding is drukloos

$$\sigma_{ax} = 0 \text{ N/mm}^2$$

7. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

$$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$$

$$S_N = 975 \cdot \frac{987,70}{227,2^3} = 0,08 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{82,11 \text{ kN/m}^2}$$

 Minimaal vereiste ringstijfheid = **0,5 kN/m²**

8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

 Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$

 Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$

$$p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$$

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 987,70}{227,20^3} = 1,56 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 987,70}{227,20^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

 Conclusie: Kans op implosie bij **28,07** m grondwater boven de leiding

9. Berekening van het totaal aan optredende spanningen
9.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

Locatie	σ_q [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_{y2} [N/mm ²]
1e rechte deel	6,42	-	0,65	4,18
Neergaande bocht	10,95	0,41	0,65	7,39
Kant asfalt	11,03	-	0,65	7,17
2e rechte deel	10,89	-	0,65	7,08
Kant asfalt	10,85	-	0,65	7,05
Kant asfalt	10,81	-	0,65	7,03
Kant asfalt	10,78	-	0,65	7,01
Opgaande bocht	10,82	0,41	0,65	7,30
Kant asfalt	10,43	0,41	0,65	7,05
3e rechte deel	5,79	-	0,65	3,77

 Rechte delen: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$

 Bochten: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$

 Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = 8,00 \text{ N/mm}^2$
9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

Locatie	σ_{ax} [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_x [N/mm ²]
1e rechte deel	0,00	-	-	0,00
Neergaande bocht	0,00	1,26	0,65	0,82
Kant asfalt	0,00	-	-	0,00
2e rechte deel	0,00	-	-	0,00
Kant asfalt	0,00	-	-	0,00
Kant asfalt	0,00	-	-	0,00
Kant asfalt	0,00	-	-	0,00
Opgaande bocht	0,00	1,26	0,65	0,82
Kant asfalt	0,00	1,26	0,65	0,82
3e rechte deel	0,00	-	-	0,00

 Rechte delen: $\sigma_x = \sigma_{ax}$

 Bochten: $\sigma_x = \sigma_{ax} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_b$

 Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = 8,00 \text{ N/mm}^2$

10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_r [N/mm ²]	δ_Y [mm]	δ_Y/D_g [%]
1e rechte deel	15,84	3,22	-	4,09	1,80
Neergaande bocht	31,29	1,21	0,0064	6,97	3,07
Kant asfalt	31,53	1,19	-	7,02	3,09
2e rechte deel	31,11	1,22	-	6,94	3,05
Kant asfalt	30,96	1,23	-	6,91	3,04
Kant asfalt	30,84	1,24	-	6,88	3,03
Kant asfalt	30,75	1,24	-	6,86	3,02
Opgaande bocht	30,87	1,24	0,0064	6,89	3,03
Kant asfalt	29,64	1,32	0,0064	6,64	2,92
3e rechte deel	12,99	4,21	-	3,69	1,62

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 113,60^3}{350 \cdot 987,70}$$

$$\text{Toelaatbare deflectie} = 8\% \cdot D_g = 0,08 \cdot 227,20 = \mathbf{18,18 \text{ mm}}$$

11. Berekening van de boorspoeldrukken tijdens de trekfase

Locatie	H [m]	σ_{vert} [kN/m ²]	σ_{hor} [kN/m ²]	σ_o' [kN/m ²]	p_f' [kN/m ²]	G [MN/m ²]
1e rechte deel	3,98	48,93	22,64	35,78	55,01	28,85
Neergaande bocht	9,13	91,06	42,14	66,60	102,38	28,85
Kant asfalt	9,21	91,72	42,44	67,08	103,12	28,85
2e rechte deel	9,07	90,57	41,91	66,24	101,83	28,85
Kant asfalt	9,02	90,16	41,72	65,94	101,37	28,85
Kant asfalt	8,98	89,84	41,57	65,70	101,00	28,85
Kant asfalt	8,95	89,59	41,45	65,52	100,73	28,85
Opgaande bocht	8,99	89,92	41,61	65,76	101,10	28,85
Kant asfalt	8,58	86,56	40,05	63,31	97,32	28,85
3e rechte deel	3,03	41,15	19,04	30,10	46,27	28,85

$$\sigma_{vert} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

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

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

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

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

Locatie	Q [-]	$R_{p,max}$ [m]	u [N/mm ²]	p_{st} [N/mm ²]	Δ_p [N/mm ²]	p_{lim} [N/mm ²]
1e rechte deel	0,00067	1,99	0,0198	0,02234	0,00	0,73
Neergaande bocht	0,0012	3,41	0,0713	0,08044	0,00	1,13
Kant asfalt	0,0012	3,40	0,0721	0,08134	0,01	1,14
2e rechte deel	0,0012	3,42	0,0707	0,07976	0,02	1,13
Kant asfalt	0,0012	3,43	0,0702	0,07920	0,02	1,13
Kant asfalt	0,0012	3,44	0,0698	0,07874	0,02	1,12
Kant asfalt	0,0012	3,44	0,0695	0,07841	0,03	1,12
Opgaande bocht	0,0012	3,43	0,0699	0,07886	0,03	1,12
Kant asfalt	0,0012	3,50	0,0658	0,07423	0,03	1,09
3e rechte deel	0,00056	1,52	0,0103	0,01162	0,03	0,64

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

$$R_{p,max} = \frac{H}{2}; R_{p,max,zand} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot \varepsilon_{g,max}} \text{ of } \frac{H}{2}$$

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$p_{st} = \rho_m \cdot g \cdot h_z$$

$$\Delta_p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$$

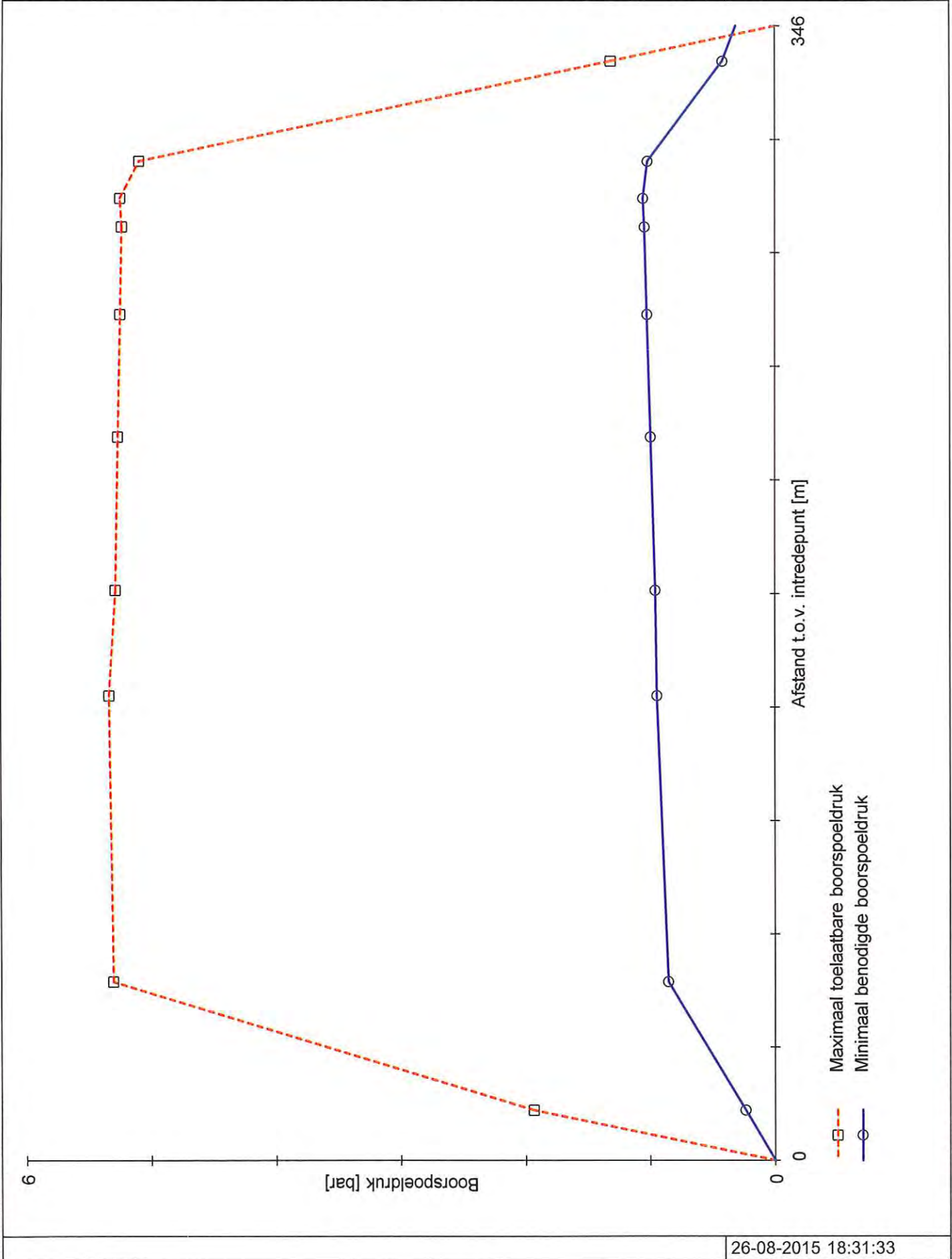
$$p_{lim} = (p_f' + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q \cdot \frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

Locatie	p_{\max} [N/mm ²]	90% p_{lim} [N/mm ²]	p_{\min} [N/mm ²]	p_{\max} [bar]	90% p_{lim} [bar]	p_{\min} [bar]
1e rechte deel	0,19	0,66	0,02	1,94	6,56	0,24
Neergaande bocht	0,53	1,02	0,09	5,31	10,20	0,85
Kant asfalt	0,53	1,02	0,09	5,34	10,25	0,94
2e rechte deel	0,53	1,02	0,10	5,28	10,16	0,96
Kant asfalt	0,53	1,01	0,10	5,27	10,13	0,99
Kant asfalt	0,53	1,01	0,10	5,25	10,10	1,02
Kant asfalt	0,52	1,01	0,10	5,24	10,08	1,04
Opgaande bocht	0,53	1,01	0,11	5,25	10,11	1,06
Kant asfalt	0,51	0,98	0,10	5,10	9,84	1,02
3e rechte deel	0,13	0,58	0,04	1,32	5,79	0,42

$$p_{\max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{R_o^2}{R_{p,\max}} + Q \right)^{\frac{\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

$$p_{\min} = p_{\text{st}} + \Delta p$$

3.0.10.0/12-2012/10-10383702



26-08-2015 18:31:33

Berekening van de toelaatbare boorspoeldruk conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Windpark Fryslan			
Projectonderdeel : Boorspoeldruk HDD boring Kornwerderzand - Afsluitdijk - tekening nr. 482.15.2.039-105 Boring B			
Grondmechanische gegevens			
Grondsoort		= Zand	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 18	kN/m ³
Volumiek gewicht natte grond	γ_n	= 20	kN/m ³
Volumiek gewicht water	γ_w	= 10	kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	φ	= 32,5	°
Effectieve cohesie	c'	= 0	kN/m ²
E-modulus ondergrond	E_{100}	= 75	MN/m ²
Aanleggegevens			
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 8,95	m
Gronddekking boven de grondwaterstand	H_d	= 1	m
Gronddekking onder de grondwaterstand	H_n	= 7,95	m
Afstand t.o.v. intredepunt	L	= 283,80	m
Soortelijk gewicht boorvloeistof	ρ_m	= 11,5	kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	τ_y	= 15	Pa
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	D_g	= 760	mm
Diameter boorstang	D_b	= 101	mm
1. Maximaal toelaatbare boorspoeldruk (conform NEN 3650-serie)			
<i>1.1 Verticale terreinspanning</i>			
$\sigma_{vert} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$ $\sigma_{vert} = \frac{18}{1,1} \cdot 1 + \frac{20}{1,1} \cdot 7,95 - 10 \cdot 7,95 = 81,41 \text{ kN/m}^2$			
<i>1.2 Horizontale terreinspanning</i>			
$\sigma_{hor} = \sigma_{vert} \cdot (1 - \sin(\varphi))$ $\sigma_{hor} = 81,41 \cdot (1 - \sin(32,5)) = 37,67 \text{ kN/m}^2$			
<i>1.3 Gemiddelde terreinspanning</i>			
$\sigma_o' = \frac{\sigma_{vert} + \sigma_{hor}}{2}$ $\sigma_o' = \frac{81,41 + 37,67}{2} = 59,54 \text{ kN/m}^2$			
<i>1.4 Boorspoeldruk waarbij de eerste plastische vervormingen optreden</i>			
$p_f' = \sigma_o' \cdot (1 + \sin(\varphi)) + c \cdot \cos(\varphi)$ $p_f' = 59,54 \cdot (1 + \sin(32,5)) + 0 \cdot \cos(32,5) = 91,53 \text{ kN/m}^2$			
<i>1.5 Glijdingsmodulus</i>			
$G = \frac{E_{100}}{2 \cdot (1 + \nu)}$ $G = \frac{75}{2 \cdot (1 + 0,3)} = 28,85 \text{ MN/m}^2$			
			26-08-2015 18:36:17

Berekening van de toelaatbare boorspoeldruk conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2012 3.0 ©
1.6 Bepaling van Q	
$Q = \frac{\sigma_o' \cdot \sin(\varphi) + c \cdot \cos(\varphi)}{G}$	
$Q = \frac{59,54 \cdot \sin(32,5) + 0 \cdot \cos(32,5)}{28,85 \cdot 10^3} = 0,001$	
1.7 Bepaling initiële straal boorgang en max. toelaatbare plastische zone	
$R_o = \frac{D_o}{2} = 380 \text{ mm}$	
$R_{p,max} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot \epsilon_{g,max}}$	
$R_{p,max} = \sqrt{\frac{380^2}{0,001} \cdot 2 \cdot 0,05} = 3.608,45 \text{ mm}$	
1.8 Berekening van de aanwezige water spanning	
$u = \gamma_w \cdot H_n$	
$u = (10 \cdot 7,95) \cdot 10^{-3} = 0,08 \text{ N/mm}^2$	
1.9 Effectieve limietdruk	
$p_{lim} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$	
$p_{lim} = (91,53 + 0 \cdot \cot(32,5)) \cdot Q^{\frac{-\sin 32,5}{1 + \sin 32,5}} - c \cdot \cot(32,5) + 0,08 = 1,07 \text{ N/mm}^2$	
$p_{lim,90\%} = 0,9 \cdot 1,07 = 0,96 \text{ N/mm}^2 = 9,60 \text{ bar} = 959,98 \text{ kPa}$	
1.10 Maximaal toelaatbare boorspoeldruk	
$p_{max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{R_o^2}{R_{p,max}^2} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$	
$p_{max} = (91,53 + 32,5 \cdot \cot(0)) \cdot \left(\frac{380^2}{3.608,45^2} + 0,00 \right)^{\frac{-\sin 32,5}{1 + \sin 32,5}} - 0 \cdot \cot(32,5) + 0,08$	
$p_{max} = 0,51 \text{ N/mm}^2 = 5,06 \text{ bar} = 506,48 \text{ kPa}$	
2. Minimaal benodigde boorspoeldruk	
2.1 Statische druk	
$p_{st} = \rho_m \cdot g \cdot h_z$	
$p_{st} = (1.150,00 \cdot 9,81 \cdot 7,95) \cdot 10^{-6} = 0,09 \text{ N/mm}^2$	
2.2 Drukverschil	
$\Delta p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$	
$\Delta p = 4 \cdot \frac{0,000015}{760 - 101} \cdot 283.800,00 = 0,03 \text{ N/mm}^2$	
2.3 Minimaal benodigde boorspoeldruk	
$p_{min} = p_{st} + \Delta p$	
$p_{min} = 0,09 + 0,03 = 0,12 \text{ N/mm}^2 = 1,16 \text{ bar} = 115,53 \text{ kPa}$	
3. Conclusie	
$p_{max} < p_{lim,90\%} \rightarrow p_{max} \text{ is maatgevend}$	
$p_{max} > p_{min}$	
	26-08-2015 18:36:17

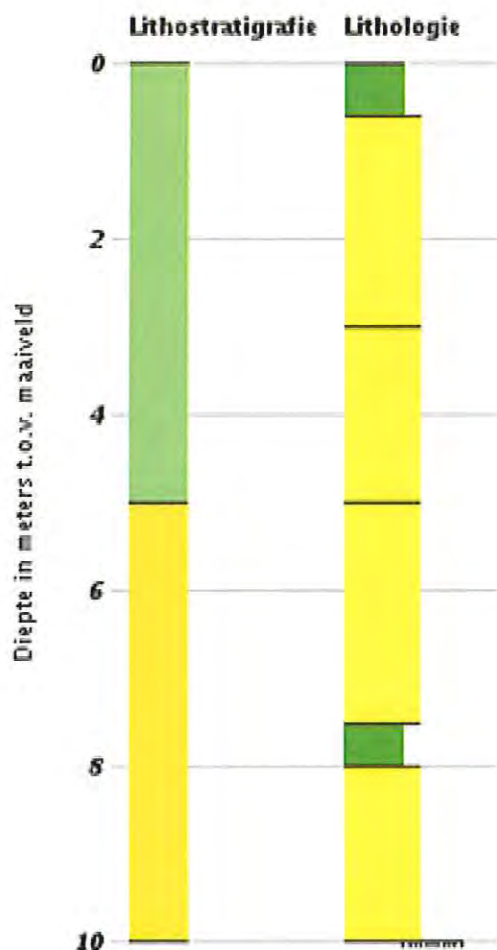
Boormonsterprofiel en interpretatie

Identificatie: B10B0235

Coördinaten: 152064, 565314

Maaiveld: -3,40 m t.o.v. NAP

Dieptetraject t.o.v. Maaiveld: 0,00 m - 10,00 m



Lithostratigrafie

NA
BX

Lithologie

Klei
Zand fijne categorie

Bijlage 4: Certificaten en productomschrijving

TUNNEL-GEL™ PLUS



THE *Original* DRILLING FLUIDS COMPANY.

Viscosifier/Gellant

- Beschrijving:** TUNNEL-GEL™ PLUS is speciaal geformuleerd voor gebruik in tunnelling en HDD. TUNNEL-GEL™ PLUS geeft de boorvloeistof viscositeit om het transport van boorgruis te bevorderen, maakt gemakkelijk verwijderen van de vaste delen d.m.v. scheidings-materieel, geeft stabiliteit aan het boorgat en levert een goed waterverlies (FL). Het is compatible met andere BAROID producten.
- Toepassing/Functies:**
- Geeft viscositeit aan de boorspoeling.
 - Heeft draagkracht voor het transport van boorgruis.
 - Reduceert waterpenetratie in de waterdoorlatende formatie.
 - Bevordert boorgat stabiliteit in moeilijke **consolidated** formaties.
- Voordelen:**
- Goed draagvermogen tijdens het boren.
 - Goede suspensie capaciteit tijdens stilstand.
 - Gemakkelijk te mengen en bereikt snel de maximale viscositeit.
 - Niet giftig en fermenteert niet.
- Typische eigenschappen:** Poeder, geel tot bruin
Gewicht 2,600 kg/cm³
pH in 3% oplossing 10,4
- Aanbevolen gebruik:** Meng langzaam door een hopper of strooi het in de vortex d.m.v. hoge snelheids **peddels**.
In normale condities gebruik, voeg 25 – 35 kg/m³ aan leidingwater toe.
In moeilijke of grind condities, voeg 35 – 40 kg/m³ aan leidingwater toe.
Als het aanmaakwater een lage pH en/of een hoge hardheid heeft, voeg 0,7 kg SODA ASH per m³ aan het water toe, daarna TUNNEL-GEL™ PLUS
- Verpakking:** TUNNEL-GEL™ PLUS is verpakt in 25 kg meervoudige, special gecoate zakken en in 1.000 kg big-bags.
- Verkrijgbaar:** TUNNEL-GEL™ PLUS wordt geleverd door onze distributeurs.

Voor zover wij kunnen beoordelen, is bovengenoemde informatie correct. Wij kunnen u echter geen garanties geven over de resultaten die u hiermee zult bereiken. Deze beschrijving wordt u aangeboden op voorwaarde dat u zelf bepaalt in hoeverre zij geschikt is voor uw doeleinden.

Bijlage 5: Technische gegevens diverse rigs

Boorrig 4 ton, fabrikaat Vermeer D7x11 series II



Trekkkracht	4 ton
Drukkkracht	4 ton
Mechanisme	Tandheugel (R&P)
Afmetingen machine	4010 x 900 x 1780 mm (afstand intredepunt - achterzijde rig 6 mtr)
Gewicht machine	2,5 ton
Motor	Turbo diesel (35 kW = 50 PK)
Hellingshoek	10° - 18°
Boormotor koppel	2711 Nm
Cabine	Geen cabine
Lavette	Slaglengte 1.800 mm

Toebehoren

Boorstangen	Firesticks II, L = 180 cm Ø 40 mm
Swivel	7 ton
Barrelreamers / Flycutters	Vanaf Ø 60 mm t/m Ø 315 mm
Boorkoppen	Jet Bit 70 mm t.b.v. walk-over/draadmeetsysteem
Meng- en pompsysteem	Site-Tec 200 ltr/min mix- & pompinstallatie gebouwd in vrachtwagen
Transport	4x2 bakwagen

Boorrig 7 ton, fabrikaat Vermeer D16x20 series II



Trekkracht	7,2 ton
Drukkracht	7 ton
Mechanisme	Tandheugel (R&P)
Afmetingen machine	5100 x 1220 x 1920 mm (afstand intredepunt - achterzijde rig 6,5 mtr)
Gewicht machine	4,8 ton
Motor	Turbo diesel (47 kW = 65 PK)
Hellingshoek	10° - 18°
Boormotor koppel	2711 Nm
Cabine	Geen cabine
Lavette	Slaglengte 3.000 mm

Toebehoren

Boorstangen	Firesticks II, L = 300 cm Ø 48 mm
Swivel	10 ton
Barrelreamers / Flycutters	Vanaf Ø 60 mm t/m Ø 315 mm
Boorkoppen	Jet Bit 70 mm t.b.v. walk-over/draadmeetsysteem
Meng- en pompsysteem	Site-Tec 200 ltr/min mix- & pompinstallatie gebouwd in vrachtwagen
Transport	4x2 bakwagen

Boorrig 16 ton, fabriikaat Vermeer D36



Trekkracht	16,5 ton
Drukkkracht	16 ton
Mechanisme	Tandheugel (R&P)
Afmetingen machine	6502 x 1905 x 2769 mm (afstand intredepunt - achterzijde rig 7 mtr)
Gewicht machine	9 ton
Rupsonderstel lxb	ca. 2200 x 400 mm Rubber (grondruk 5 N/cm ²)
Motor	6 cylinder turbo diesel (104 kW = 140 PK)
Hellingshoek	10° - 18°
Boormotor koppel	6800 Nm
Cabine	Vaste cabine met transportstand
Lavette	Slaglengte 3.000 mm

Toebehoren

Boorstangen	Firesticks II, L = 300 cm Ø 60 mm
Swivel	20 ton
Barrelreamers / Flycutters	Vanaf Ø 125 mm t/m Ø 750 mm
Boorkoppen	Jet Bit 70 mm t.b.v. walk-over/draadmeetsysteem
Meng- en pompsysteem	Site-Tec 750 ltr/min mix- & pompinstallatie gebouwd op containersysteem
Transport	Transport op 6x6, rig op semi-dieplader

Boorrig 100 ton, fabrikaat Prime PD 100 / 50 RP

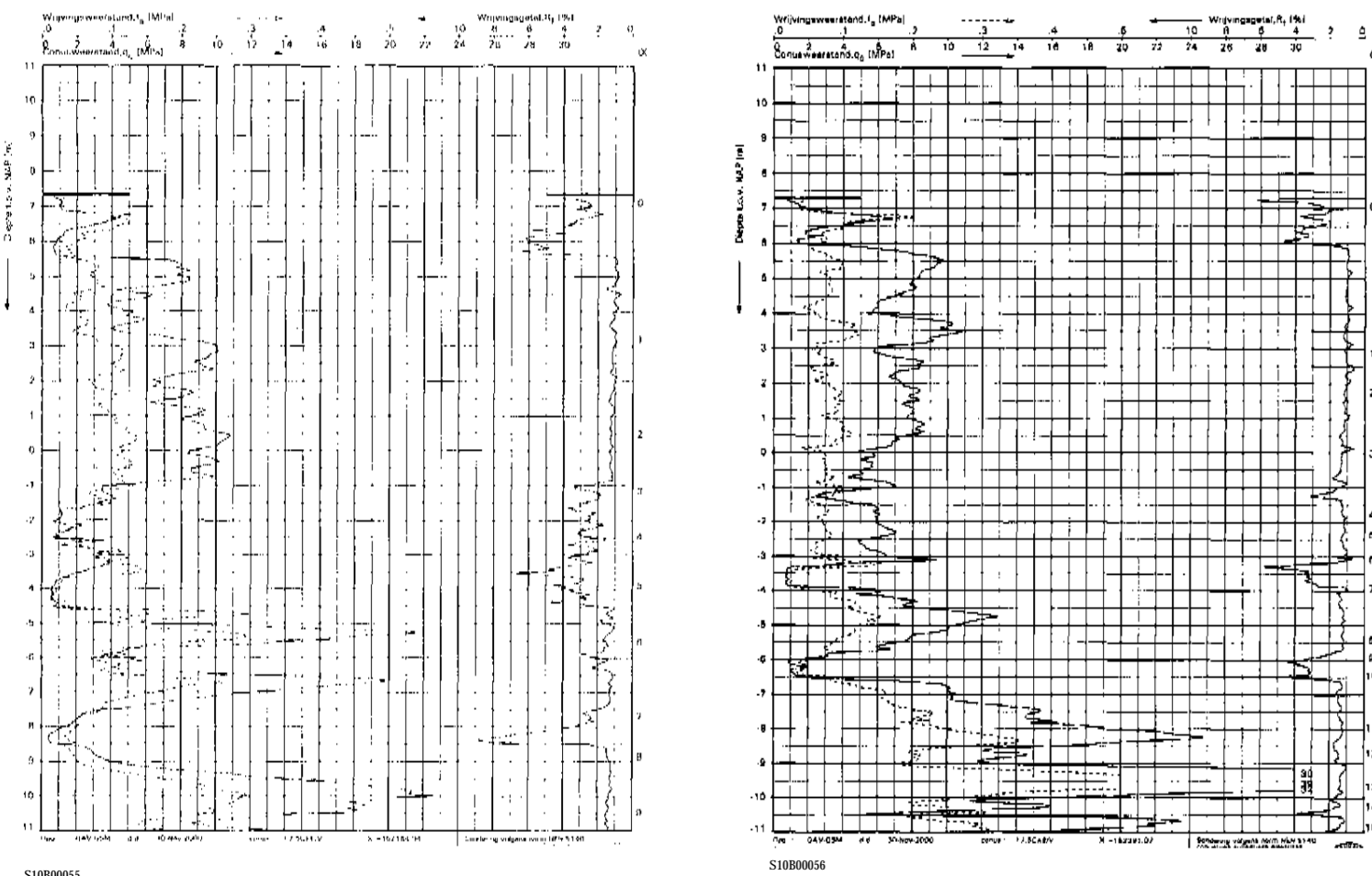
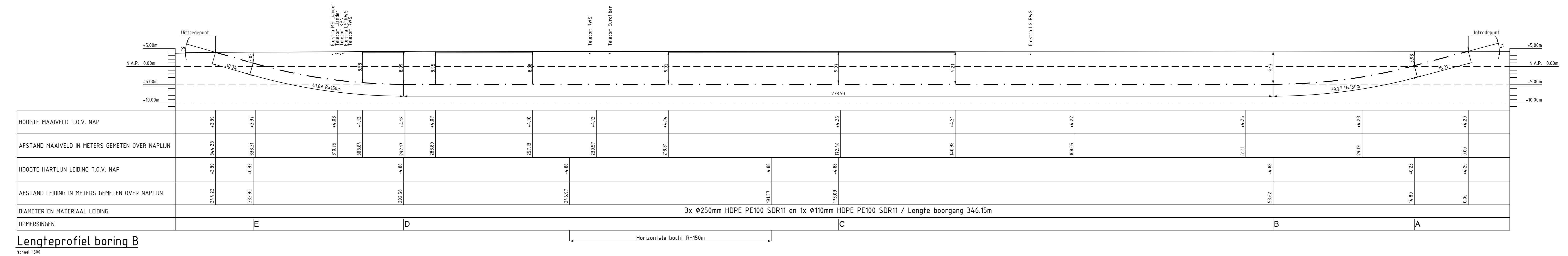
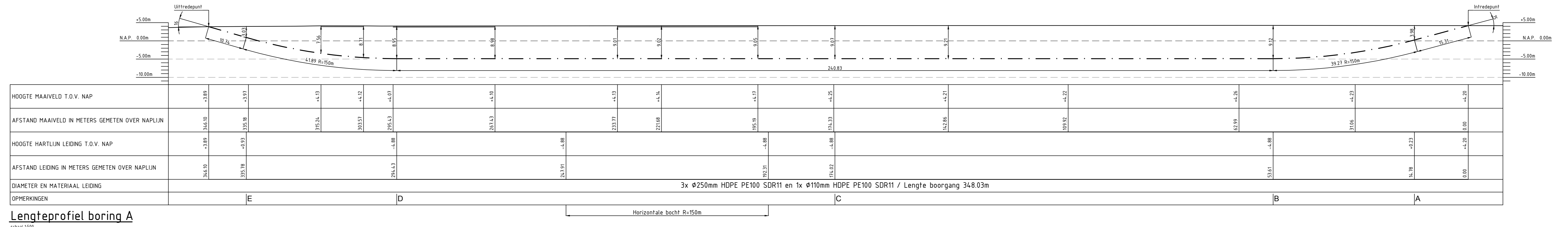
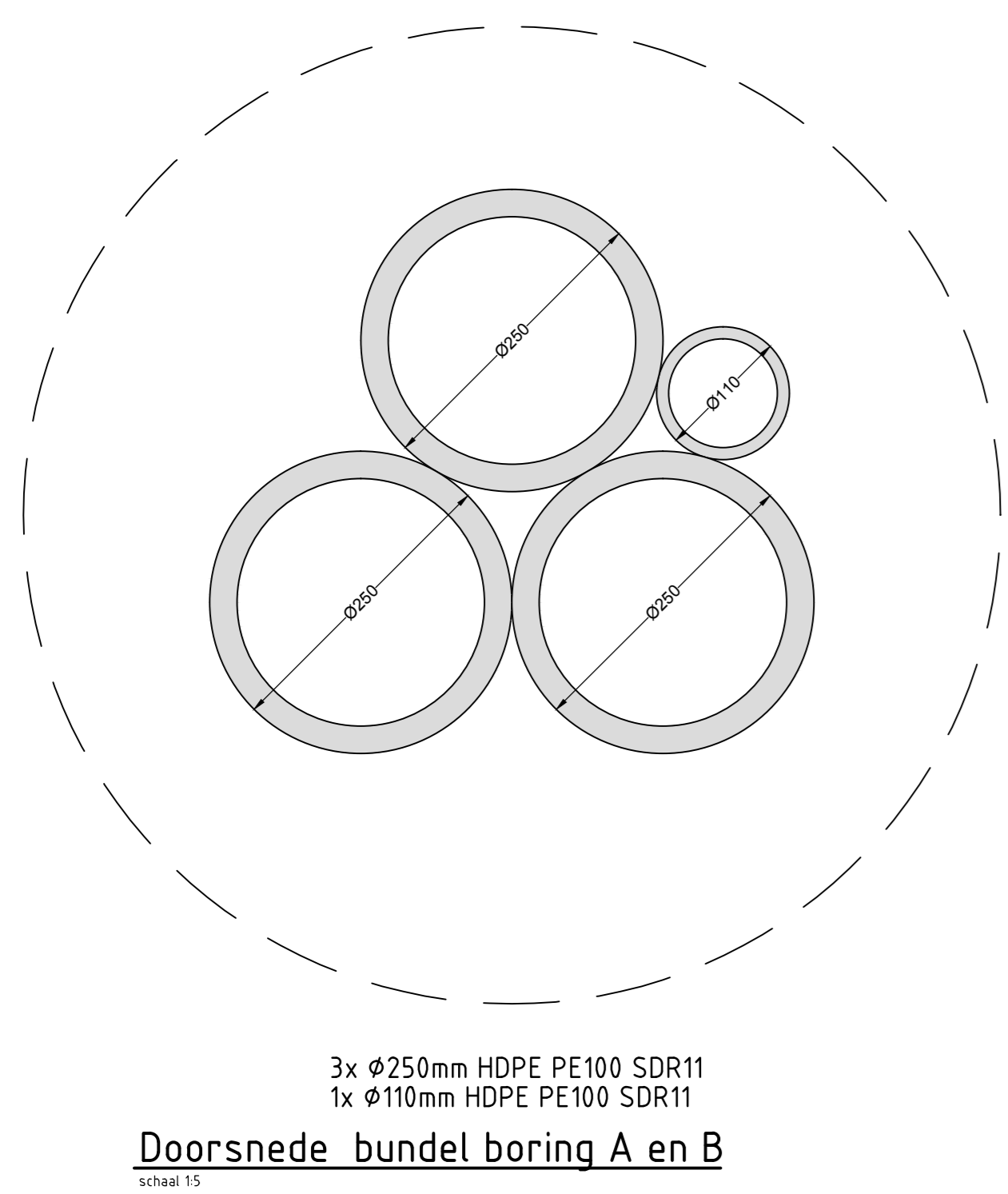
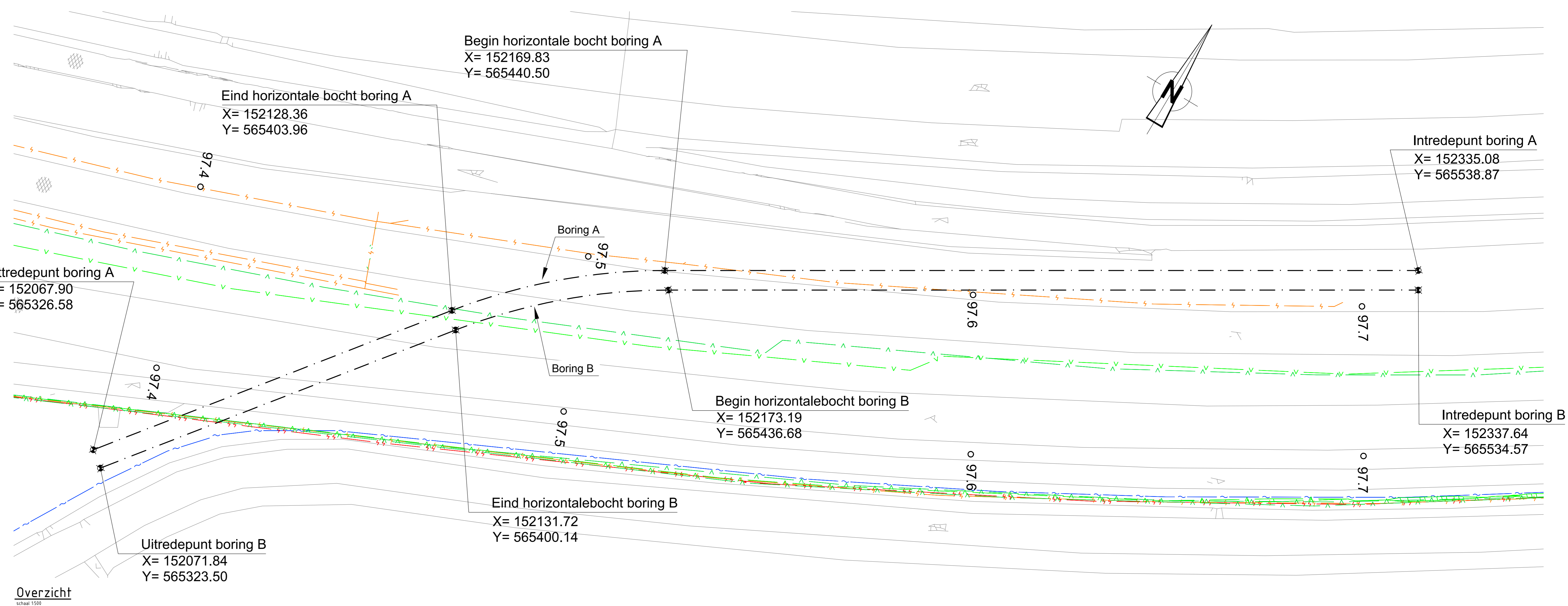
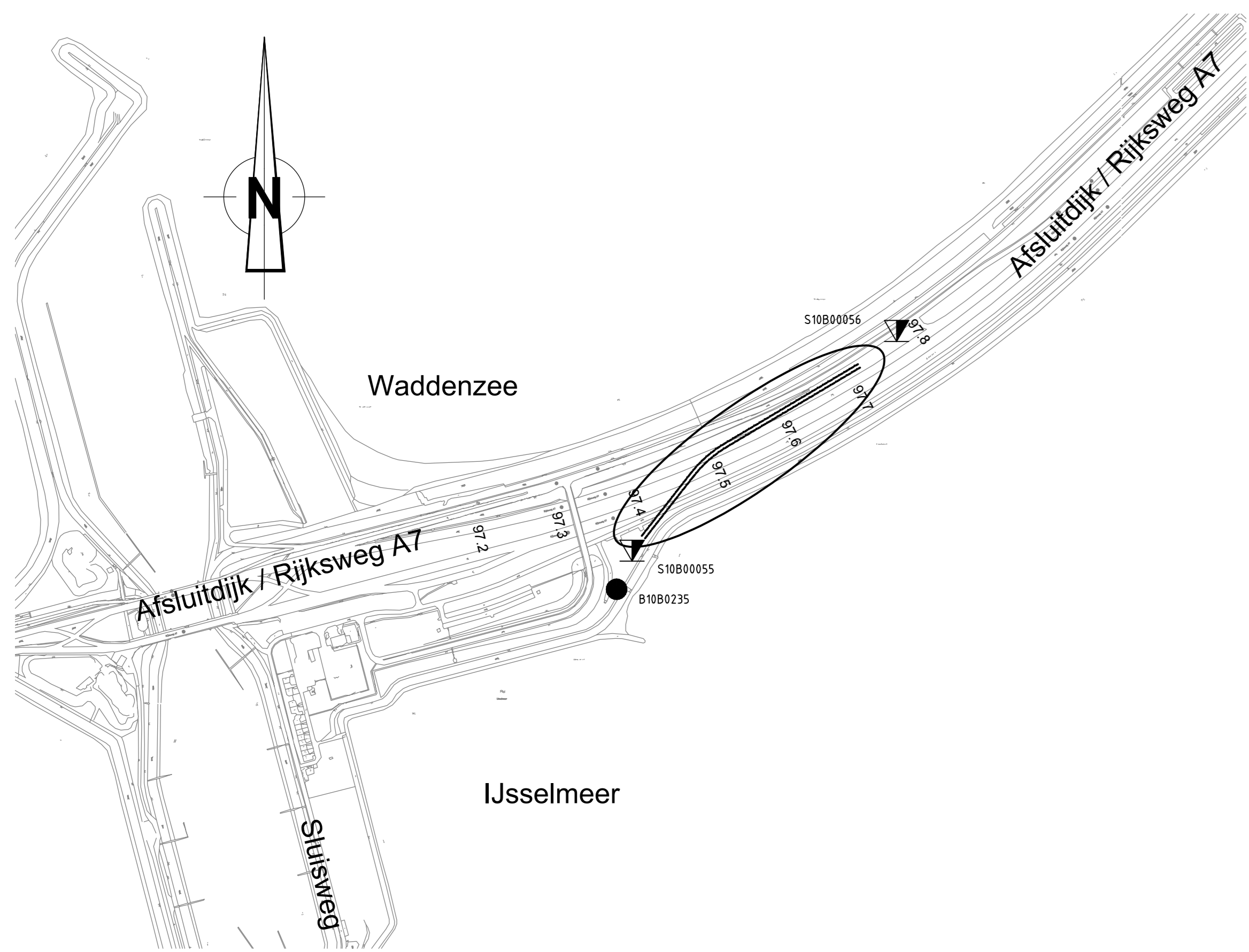


Trekkracht	100 ton
Drukkracht	50 ton
Mechanisme	Tandheugel (R&P)
Afmetingen machine LxBxH	11000 x 1220 x 1920 mm (afstand intredepunt - achterzijde rig 17-20 mtr)
Gewicht machine	25 ton
Rupsonderstel lxb	ca. 4400 x 800 mm (gronddruk 7 N/cm ²)
Motor	6 cylinder turbo diesel (104 kW = 140 PK)
Hellingshoek	8° - 17° (praktisch 10° - 15°)
Boormotor koppel	50.000 Nm
Cabine	Vaste cabine met transportstand
Lavette	Slaglengte t.b.v. boorstangen 6.000 mm

Toebehoren

Boorstangen	5" met 4 1/2 IF tooljoint en 3,5" met 3 1/2 IF tooljoint
Swivel	100 ton, max. belasting 200 ton
Ruimers en Flycutters	Vanaf Ø 150 mm t/m Ø 1.350 mm
Boorkop	9-5/8" Toothbit + RVS bit
Mix- en recycling unit	1.600 ltr of 3.200 ltr / min, afhankelijk van de omvang van de boring. 1 of 2 st 20 ft containers.
Meng- en pompunit	2.500 ltr/min mix- & pompinstallatie gebouwd op containersysteem
Transport	Alles is gebouwd op 20 ft container met kabelsysteem. Eigen kraanauto (8x4).

Bijlage 6: Drill-sheet



Legenda bestaande K&L

—	CO2 leiding
—	Electra LS
—	Electra MS
—	Electra HS
—	IG gasleiding
—	HD gasleiding
—	Dimensie leiding
—	Overstroom
—	Rook
—	Stroom
—	KPN
—	Overstroom DPC, Eurofiber, Tele2, encl
—	Waterleiding
—	Transport waterleiding
—	Warmte SV
—	Sondering
—	Grondbooring

Revisie	26-08-2015	AL	RB	Voor vergoedingsaanvraag		
Revisie		Get	Gez	WIJZIGING		
ONTWERP	: R. Berger		GETEKEND	: A. Lenzen	DATUM	: 26-08-2015
PROJ.NR.	: 482.15.2.039		SCHAAL	: 15000 / 3250 / 15	FORMAAT	: A1
PROJ.EIT	: Windpark Fryslan					
	: Afsluitdijk					
	: Rijksweg A7 km 97.390 - km 97.715					
ONDERWERP	: Te maken gestuurde boring					
					TEKENING NR.	: 482.15.2.039-105