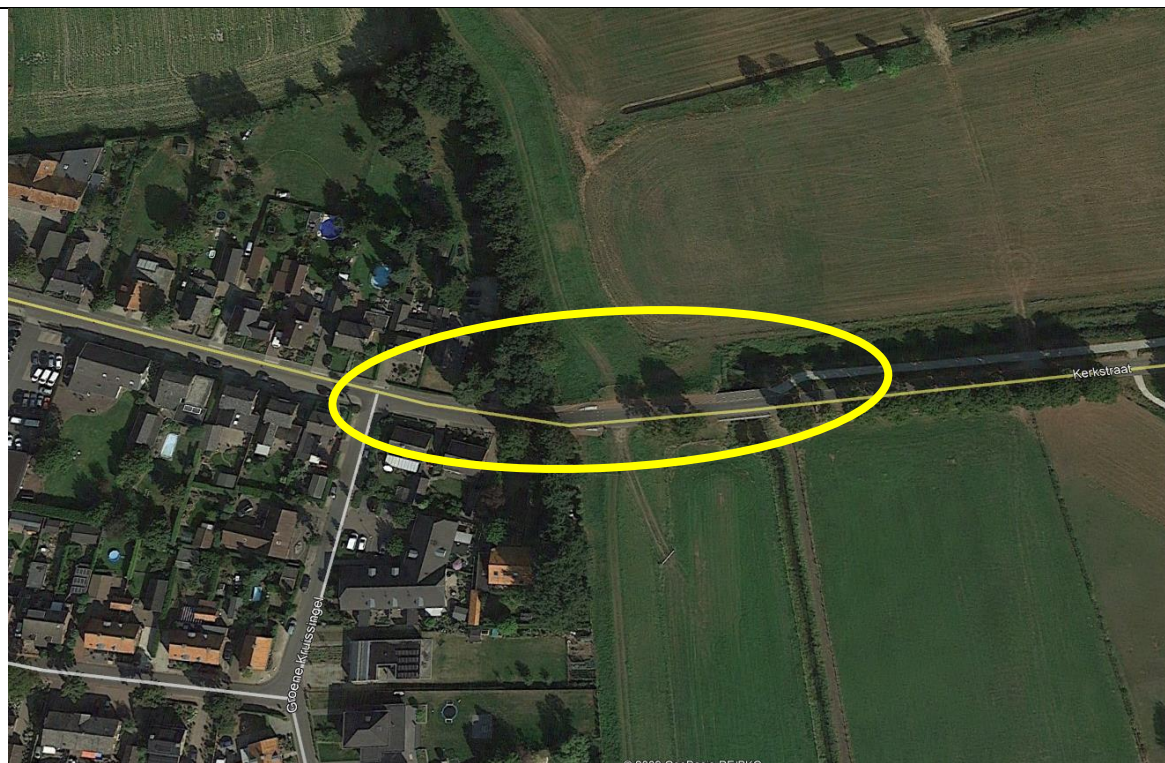


Dijkverzwaring 'Eiland van Bergen'

Boorplan HDD4 Kerkstraat te Bergen Ontwerpfase



Opgesteld door: VHW Engineering BV
Helftheuvelweg 11
5222 AV 's-Hertogenbosch

Datum	09-04-2018
Opdrachtgever	Enexis De heer F. Cruijsberg / De heer G. van Oijen
Projectnummer	2018-001
Documentnummer	2018-001-RAP-KL-06
Status	Definitief
Versie	1.0
Auteur	M. Tubée
Verificatie	H. Van Wijlen
Autorisatie	H. van Helvoirt

Inhoudsopgave

1. INLEIDING	3
2. WERKOMSCHRIJVING	4
2.1 Algemeen	4
2.2 Locatie, omvang en indeling werkterrein	6
2.3 Geotechnisch onderzoek	7
2.4 Stappenplan uitvoering	7
2.5 Bestaande kabels en leidingen	7
2.6 Tijdschema	8
2.7 Personeelsbezetting	8
2.8 In te zetten boormaterieel	8
2.9 Kwaliteit en keuring bouwmaterialen	9
3. BOORTECHNISCHE WIJZE VAN UITVOEREN	9
3.1 Werkwijze van uitvoeren	9
3.2 Kwaliteitsregistratie van de boring	10
4. CONCLUSIE OP BEREKENINGEN	11
4.1 Samenvatting sterkte- en muddrukberekeningen	11
BIJLAGE 1: BOORTEKENING	12
BIJLAGE 2: LUCHTFOTO'S	13
BIJLAGE 3: GRONDMECHANISCH ONDERZOEK	14
BIJLAGE 4: ORIËNTATIEMELDING WION	15
BIJLAGE 5: VEILIGHEIDSZONE- STERKTE- EN MUDDRUKBEREKENINGEN	16
BIJLAGE 6: VOORBEELD TYPE BOORRIG	20
BIJLAGE 7: V&G-GEVAREN VOORTVLOEIEND UIT DE OMGEVING VAN DE BOUWLOCATIE	21
V&G-GEVAREN VOORTVLOEIEND UIT HET ONTWERP	21
BIJLAGE 8: DRILL-SHEET	22

1. Inleiding

Waterschap Limburg zorgt in Provincie Limburg o.a. voor veilige dijken, schoon water en voldoende water. Waterschap Limburg werkt sinds 2012 aan het versterken en aanleggen van dijken langs De Maas, van het noordelijk puntje Mook tot aan de meest zuidelijke plaats Eijsden. In totaal gaat het om 30 dijkversterkingsprojecten; 15 projecten vanuit het Hoogwaterbeschermingsprogramma en 15 projecten vanuit Dijkversterkingen Maaswerken.

Het project “Realiseren Prioritaire Dijkversterkingen Perceel 1” bestaat uit 3 separate dijkringen, zijnde Dijkkring 54 Mook, Dijkkring 56 Afferden en Dijkkring 59 Bergen.

Voordat de daadwerkelijke dijkversterking van start kan gaan, dienen de Kabels en Leidingen (K&L) die conflicteren met het nieuwe ontwerp verlegd, verwijderd of beschermd te worden.

Enexis heeft van het Waterschap Limburg een verzoek tot aanpassing ontvangen voor het aanpassen en verleggen van haar kabels en leidingen welke een raakvlak hebben met de dijkversterking.

Het boorplan is gebaseerd op de volgende informatie:

- Boortekening 2018-001-TEK-KL-HDD4-v1.0, d.d. 05-04-2018;
- Oriëntatie graafmelding WION met nummer 18O025612, 05-04-2018;
- Sonderingen en boringen Dinoloket.
 - Sondering CPT000000070876 (nr.17)
 - B46D1604
 - B46G0353
 - B46G0387
- Voor de berekening is gebruik gemaakt van de volgende normeringen en richtlijnen:
 - NEN 6740; Geotechniek: Basiseisen en belastingen
 - NEN 3650-3; Eisen voor buisleiding systemen: kunststof
 - NEN 3651; Aanvullende eisen voor leidingen in kruisingen met belangrijke waterstaatswerken

2. Werkomschrijving

2.1 Algemeen

Bij het aanleggen van ondergrondse netwerken, die bestaan uit kabels en leidingen, kunnen horizontaal gestuurde boringen worden toegepast om onder andere wegen, watergangen en andere bovengrondse- en ondergrondse infrastructurele constructies te kruisen. Door het toepassen van deze sleufloze techniek wordt de overlast voor de omgeving tot een minimum beperkt.

Een gestuurde boring bestaat uit 3 fasen, te weten:

- Fase 1, pilotboring;
- Fase 2, ruimen;
- Fase 3, intrekken mantelbuizen.

Tijdens fase 1 en 2 wordt er gebruik gemaakt van 'normale' boorspoeling (OCMA). De boorspoeling is een water bentonietmengsel waar eventueel toeslagstoffen / additieven aan toegevoegd kunnen worden om gewenste eigenschappen te verkrijgen. De samenstelling van de boorspoeling is met name afhankelijk van het in te zetten materieel, de grondsoort en de kwaliteit van het grondwater. Fase 3, het intrekken van de mantelbuis dient te uitgevoerd te worden met een uithardende boorvloeistof die de annulaire ruimte opvult.

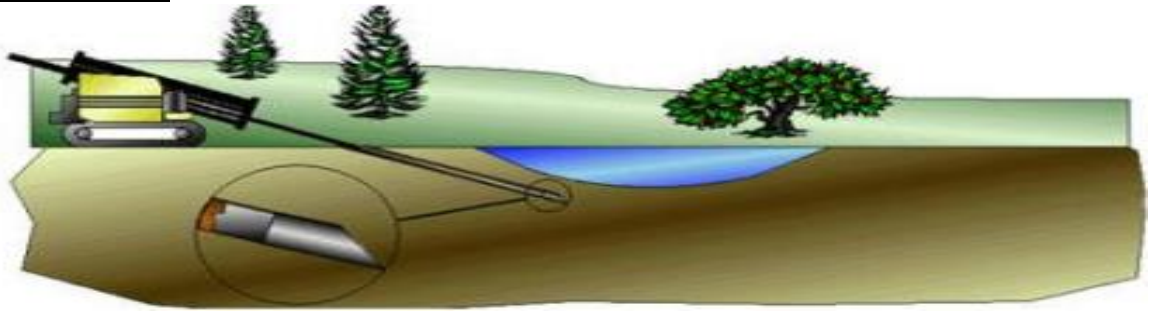
De voornaamste functies van de boorspoeling zijn:

- Medium voor lossputten van grond via nozzles in de boorkop of ruimer;
- Afvoeren / transporteren losgespoten grond;
- In stand houden boorgat;
- Afpleisteren van de tunnelwand (filtercake);
- Smering van de boorstreng en de in te trekken mantelbuizen;
- Koeling van de boorkop / boorbit en aandrijven mudmotor.

De boorspoeling wordt door middel van een hogedrukpomp door de boorstangen naar de boorkop of ruimer gepompt. Vervolgens zal de boorspoeling onder hoge druk via diverse nozzles in de boorkop of ruimer de grond of tunnel in worden gepompt.

Bij een gestuurde boring worden de werkzaamheden vanaf het maaiveld uitgevoerd. Een gestuurde boring bestaat doorgaans uit twee werkterreinen. Een rig-site, (intredepunt) waar onder andere de boorrig opgesteld is, en een pipe-site (uittredepunt) waar de in te trekken mantelbuizen samengesteld en klaargelegd worden.

Fase 1: De pilotboring



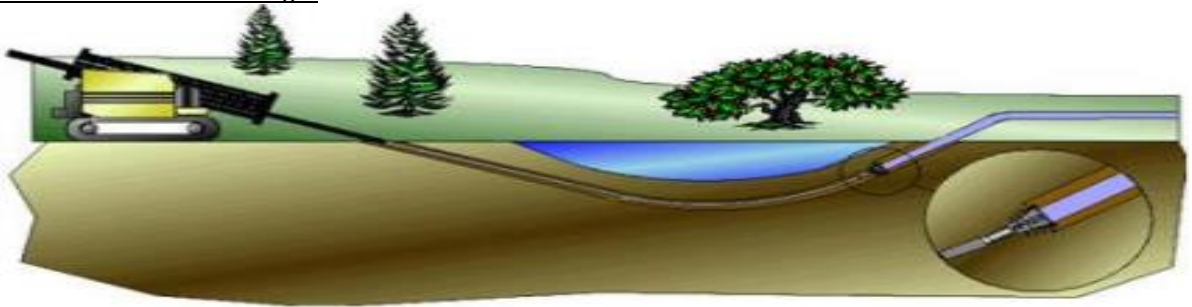
Aan de voorkant van de boorstreng is een boorkop aangebracht. De boorspoeling wordt via de boorstreng naar de boorkop gepompt en wordt samen met de losgewoelde grond langs de buitenzijde van de boorstreng door de boortunnel afgevoerd. Over het eerste gedeelte van de boorstreng kan eventueel een casing / beschermhuis worden aangebracht in de volgende gevallen:

- indien de boorgatstabiliteit in gevaar komt;
- indien gevaar bestaat voor een blow-out op een kwetsbare plek;
- indien gevaar bestaat voor knikken van de boorstang.

Het eerste deel van een gestuurde boring bestaat uit een rechtstand onder een vooraf bepaalde intredehoek. Deze rechtstand gaat over in een neergaande verticale of gecombineerde bocht. Gevolgd door een horizontale rechtstand (eventueel met een horizontale bocht) hierna volgt er een opgaande verticale of gecombineerde bocht met aan het einde een rechtstand tot het uittredepunt, eveneens onder een vooraf bepaalde uittredehoek.

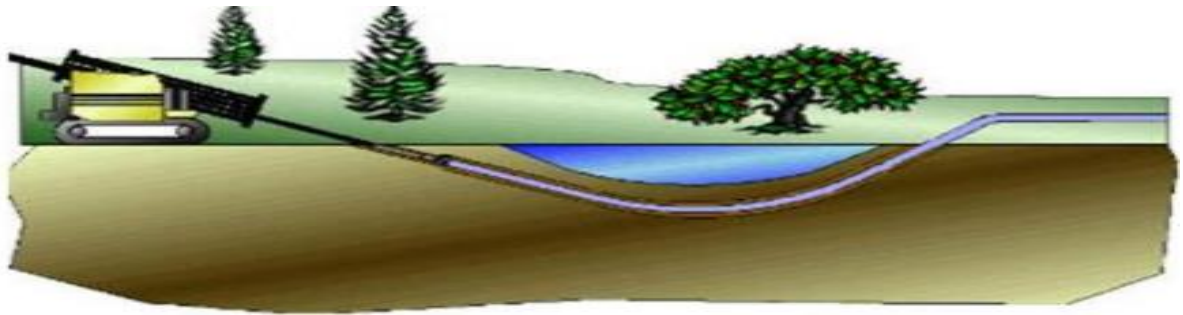
De driedimensionale plaatsbepaling van de boring wordt tijdens deze eerste fase verkregen door de geregistreerde coördinaten tijdens de pilotboring. De locatie van de boring, de eisen van de opdrachtgever, de eisen en wensen van de vergunningverlener, het te kruisen obstakel, storende externe invloeden en de diepte zijn bepalend voor het toe te passen meetsysteem.

Fase 2: Ruimen van het boorgat



Nadat de boorstreng bij het uittredepunt boven de grond is gekomen, wordt de boorkop verwijderd en wordt op het uiteinde van de boorstreng een ruimer gemonteerd. Vervolgens wordt de boorstreng met ruimer teruggetrokken richting intredepunt. De ruimer wordt met een draaiende beweging door het voorgeboorde pilotboorgat teruggetrokken. Op de ruimer zijn behalve nozzles, waardoor de boorspoeling naar buiten gespoten wordt, soms ook messen, kammen of tanden aangebracht (afhankelijk van de grondslag waarin geboord wordt). De losgewoelde grond wordt langs de buitenzijde van de boorstreng door het geruimde boorgat in de retourstroom van de boorspoeling afgevoerd naar het maaiveld. Achter de ruimer worden opnieuw boorstangen gekoppeld, zodat de verbinding tussen in- en uittredepunt behouden blijft. Afhankelijk van de grondslag, het pompvermogen en de vereiste boorgatdiameter kunnen meerdere ruimeroperaties achter elkaar worden uitgevoerd.

Fase 3: Intrekken mantelbuis:



Tijdens de laatste fase van het boorproces wordt de productleiding of mantelbuis (eventueel meerdere productleidingen of mantelbuizen in een bundel) samen met een trekkop achter een ruimer gekoppeld en in het geruimde boorgat getrokken. Het boorgat blijft tijdens de intrekoperatie geheel gevuld met de boorspoeling. De boorgatdiameter dient tussen de 30% en 50% groter te zijn dan de diameter van de productleiding of mantelbuis (eventueel gebundeld). Ten behoeve van het inbrengen van de productleiding of mantelbuis wordt tussen de ruimer en de productleiding een swivel (wartellager) gemonteerd zodat geen rotatie van de productleiding of mantelbuis kan optreden. Nadat de productleiding(en) of mantelbuis /- buizen in zijn geheel door de boortunnel is getrokken en, indien nodig succesvol is beproefd / getest, is de boring voltooid.

Tijdens de verschillende fasen worden de boorspoeldrukken gecontroleerd en geregistreerd. Bij alle fasen dient de gehele boortunnel gevuld te blijven met boorspoeling zodat er continu druk in de boortunnel blijft staan, dit is belangrijk om achterblijvende holle ruimten in de grond en instorten van de boortunnel te voorkomen.

2.2 Locatie, omvang en indeling werkterrein

De aannemer die de boring uit zal voeren dient in zijn plan van aanpak / werkplan aan te geven wat de minimaal benodigde omvang is van het werkterrein. Onderstaand wordt de informatie verstrekt om te komen tot een juiste en acceptabele indeling van het werkterrein (rig-site en pipe-site):

- De locatie van de boring is weergegeven in boortekening 2018-001-TEK-KL-HDD4-v1.0, d.d. 05-04-2018, zie hiervoor bijlage 1 en de luchtfoto's in bijlage 2;
- De aannemer kan eventueel samen met de opdrachtgever of andere belanghebbenden een bezoek brengen aan de locatie;
- In overleg met de opdrachtgever wordt bepaald of een nul-situatie onderzoek van de locatie wenselijk is;
- De omvang van het werkterrein hangt nauw samen met de lokaal beschikbare ruimte, de grootte van de uit te voeren boring en het in te zetten materieel;
- De indeling van het werkterrein zal worden aangepast aan de plaatselijke omstandigheden;
- Afhankelijk van eventueel gestelde eisen en het in te zetten materieel, de staat en functie van het maaiveld dient een werkweg aangelegd te worden voor transport van het boorequipement en de benodigde materialen.

2.3 Geotechnisch onderzoek

Voorafgaand aan de uitvoering van de gestuurde boring dient er lokale geotechnische informatie te worden verzameld. Hiertoe is de databank van Dinoloket geraadpleegd. Uit deze databank zijn 2 sonderingen en zijn twee grondboringen geselecteerd. De locaties van de grondonderzoeken inclusief de sondeergrafieken en boorstaten zijn opgenomen in bijlage 3. De sondeergrafieken en -locaties zijn ook aangegeven op de boortekening.

De gegevens verkregen van de grondboringen geven een consistent beeld van de bodemopbouw aan weerszijden van de waterkering. Derhalve is geen aanvullend grondonderzoek uitgevoerd.

De geotechnische informatie wordt als input gebruikt in de sterkte- en/of muddrukberoeeningen. Zonder goedkeuring van deze berekeningen, door opdrachtgever en/of vergunningverlenende instantie, mag niet gestart worden met de werkzaamheden.

2.4 Stappenplan uitvoering

Onderstaand worden de handelingen aangegeven om te komen tot een goede uitvoering:

- De aannemer bestudeert voor aanvang van de werkzaamheden het boorplan, inclusief het ontwerp, de reeds aanwezige informatie over bestaande kabels en leidingen, de bodemgesteldheid en de eventuele vergunningen / toestemmingen;
Let op! De aannemer die de boringen uit zal voeren is verplicht een graafmelding te doen en deze te analyseren (zie ook § 2.5);
- De aannemer overlegt aan de hand van de hiervoor genoemde informatie met betrokken instanties en/of kabel en leidingeigenaren over zijn plan van aanpak / werkplan;
- De werkzaamheden worden uitgevoerd conform het afgestemde plan van aanpak / werkplan;
- Tijdens en na de werkzaamheden worden de bevindingen en/of wijzigingen schriftelijk vastgelegd door de aannemer;
- De aannemer verwerkt de bevindingen en/of wijzigingen op tekening aan de hand van revisiegegevens afkomstig van de surveyor;
- De opdrachtgever en de betrokken instanties worden door de aannemer op de hoogte gehouden van eventuele bevindingen en/of wijzigingen;

2.5 Bestaande kabels en leidingen

Voor uitvoering wordt door de aannemer een graafmelding gedaan om de ligging van de ondergrondse infrastructuur in kaart te brengen. Ook zal er voor aanvang van de werkzaamheden met de belanghebbende kabel en leidingeigenaren contact worden opgenomen. Indien noodzakelijk kunnen voor aanvang van de gestuurde boring proefsleuven gegraven worden.

De graafmelding moet tijdens de uitvoering op het werk aanwezig zijn.

2.6 Tijdschema

De tijdsduur van de werkzaamheden is sterk afhankelijk van het in te zetten boormaterieel. De aannemer die de boorwerkzaamheden uit zal voeren dient in zijn plan van aanpak / werkplan aan te geven hoe zijn tijdschema eruit ziet.

De startdatum wordt bepaald in overleg met de opdrachtgever. Hierbij dient rekening gehouden te worden met eventuele vergunningen en toestemmingen. De boorwerkzaamheden mogen pas aanvangen na het verkrijgen van alle goedkeuringen / toestemmingen op het boorplan.

De werktijden worden aangepast aan de werkzaamheden die technisch achtereenvolgens uitgevoerd dienen te worden. Werktijden dienen vooraf door de aannemer aangegeven te worden in zijn plan van aanpak / werkplan. Bepaling van werktijden zal altijd in goed overleg met alle betrokkenen plaatsvinden.

2.7 Personeelsbezetting

Het boormaterieel zal bediend worden door gekwalificeerd personeel dat tenminste bestaat uit een boormeester, een surveyor en een boorassistent. Afhankelijk van de omvang van de boring kan het noodzakelijk zijn meer medewerkers in te zetten. De aannemer die de boorwerkzaamheden uit zal voeren dient in zijn plan van aanpak / werkplan aan te geven hoe zijn personeelsbezetting eruit ziet.

2.8 In te zetten boormaterieel

In bijlage 6 is een representatief boorstelling en de daarbij behorende technische specificaties opgenomen. De aannemer die de boringen uit zal voeren dient in zijn plan van aanpak / werkplan aan te geven van welk type machine hij gebruik zal maken met de daarbij behorende specificaties. De berekeningen en het boorontwerp dienen door de aannemer gecontroleerd te worden. Indien nodig wordt het in te zetten materieel aangepast op de berekeningen en het boorontwerp of worden de berekeningen en het boorontwerp aangepast op het in te zetten materieel.

- Walk-over meetsysteem

Een 'Walk-over' meetsysteem maakt gebruik van sondes die vanuit de boorkop een signaal uitzenden. Deze signalen bevatten gegevens over de richting, de diepte en de hellingshoek van de boorkop. Om het signaal van de boorkop te kunnen ontvangen moet de ontvanger loodrecht boven de boorkop geplaatst zijn. De signalen van de sonde kunnen beïnvloed worden door omgevingsfactoren zoals damwanden, (tram)rails en andere kabels en leidingen in de nabijheid van de boring.

Naast het 'Walk-over' meetsysteem zal gebruik gemaakt worden van een draadmeetsysteem om nauwkeurig de boorlijn te kunnen volgen en registreren.

2.9 Kwaliteit en keuring bouwmaterialen

Buizen

De in te trekken (mantel)buizen (HDPE100 ø125 sdr11 S.L.A., HDPE100 ø160 sdr11 en 2x HDPE100 ø110 sdr11) worden door de opdrachtgever of opdrachtnemer besteld en op het werk geleverd.

De buis wordt in lengtes en/of op haspel geleverd, indien noodzakelijk dienen er enkele lengtes aan vast gelast te worden door middel van spiegellassen. Het aan elkaar verbinden van de buizen dient te gebeuren met gekwalificeerd personeel en gecertificeerd materiaal. De inwendige rillen dienen verwijderd te worden.

Boorvloeistof

De boorvloeistof zal samengesteld worden uit met water vermengde bentoniet. Indien noodzakelijk kan de samenstelling hiervan verder aangepast worden aan de lokale bodemopbouw. Uitgangspunt hierbij is dat er een boorspoeling wordt verkregen die voldoende steun geeft aan het boorgat in de plaatselijke grond. Indien toeslagstoffen toegepast worden dient dit tijdig aan de opdrachtgever gemeld te worden.

De aannemer die de boorwerkzaamheden uit zal voeren dient de mantelbuis in te trekken met drillgrout of vergelijkbaar product. Dit is een (zware) boorspoeling welke uithard en dus voor goede afdichting zorgt van de boortunnel teneinde kwel of piping te voorkomen.

3. Boortechnische wijze van uitvoeren

3.1 Werkwijze van uitvoeren

Onderstaand is een opsomming van activiteiten die zullen plaatsvinden, deze zijn:

- Bestuderen projectgegevens zoals: tekeningen, berekeningen, V&G-plan, vergunningen en voorschriften;
- Indien noodzakelijk of vereist wordt er verkeersmaatregelen geplaatst volgens de CROW richtlijnen;
- Aanvoer materieel;
- Kick-off meeting (bespreken van o.a. de veiligheidsaspecten en risico's);
- Inrichten werkterrein (rig-site en pipe-site) en mobilisatie boorequipment;
- Eventueel lokaliseren bestaande kabels en leidingen en ontgraven intrede- en uittredepunt;
- Graafwerkzaamheden uitvoeren conform CROW-500;
- Eventueel aanbrengen/toepassen van beschermende maatregelen (ter beoordeling uitvoerende partij);
- Uitvoeren pilotboring;
- Gereed leggen/ opstellen van de in te trekken mantelbuis. De werkzaamheden voor het samenstellen van de buizen worden tijdens of voorafgaand aan de boorwerkzaamheden uitgevoerd;
- Intrekken mantelbuis van de vanaf maaiveld en/of haspel. Bij intrekken mantelbuizen dient gebruik gemaakt te worden van Drillgrout of een vergelijkbaar product;
- Aanbrengen kleikist en kwelscherm conform NEN3650/3651.
- Demobilisatie boorequipment en afvoer van materieel, op gelijke wijze als de aanvoer;
- Opruimen werkterrein.

Gedurende de boorwerkzaamheden worden onderstaande handelingen voortdurend verricht, te weten:

- Aflezing van de boorparameters zoals, trekkracht en torque door de analoge meters op de rig;
- Registratie van de meetgegevens op een drillsheet (of vergelijkbaar document, zie bijlage 8);
- Mixen van de boorspoeling met water van voldoende kwaliteit;
- Opvang uitkomende boorspoeling bij intrede- en uittredepunt in de in- en uittredeputten, eventueel kunnen vloeiëtdichte bakken geplaatst worden voor opvang en / of buffering van de boorspoeling. De aannemer die de werkzaamheden uit zal voeren dient dit aan te geven in zijn werkplan / plan van aanpak;
- Leegzuigen van de boorgaten en / of vloeiëtdichte bakken met vloeiëtdichte zuigwagens;
- Afvoeren overgebleven / overtollige boorspoeling naar een erkend verwerker.

V&G plan

De werkzaamheden met betrekking tot het uitvoeren van de horizontaal gestuurde boring zullen worden uitgevoerd volgens de richtlijnen van de aannemer. De veiligheids- en gezondheidsgevaaren voortvloeiend uit de omgeving van de bouwlocatie en de veiligheids- en gezondheidsgevaaren voortvloeiend uit het ontwerp zijn opgenomen in bijlage 7. De uiteindelijke project specifieke risico's , maatregelen en voorzieningen dienen door de uitvoerende partij aangegeven te worden.

De V&G coördinator is verantwoordelijk voor de naleving van de regels vastgesteld in het kwaliteits-, arbo- en milieu (KAM) zorgsysteem. De V&G coördinator binnen het project is verantwoordelijk voor het vaststellen van de specifieke KAM maatregelen voor dit project en het beschikbaar stellen van de vereiste beschermingsmiddelen.

De aannemer die de boorwerkzaamheden uit zal voeren is verantwoordelijk voor een juiste uitvoering en toezicht op de voorgeschreven V&G maatregelen op de werklocatie. Tevens is hij verplicht afwijkingen en gevaarlijke situaties te melden bij de V&G coördinator en in overleg passende maatregelen te nemen en deze te registreren.

3.2 Kwaliteitsregistratie van de boring

Tijdens het ruimen van het boorgat en het intrekken van de mantelbuis worden de volgende gegevens geregistreerd:

- trekkracht aan de boorinstallatie (ton);
- druk boorvloeiëtdof aan de pomp (bar);
- debiet vloeiëtdof (ltr/min);
- eventueel vindt registratie van de locatie en de hoogteligging (RD coördinaten t.o.v NAP) plaats.

Deze meetgegevens worden opgenomen in een "drill-sheet" (of vergelijkbaar document) en door het boorbedrijf gearchiveerd. Een voorbeeld van een drill-sheet is opgenomen in bijlage 8. De meetgegevens van de survey (overzicht van meetinformatie) worden samen met de veldmetingen verwerkt tot de vereiste revisie gegevens.

4. Conclusie op berekeningen

De bijgevoegde berekeningen voor de veiligheidszone van het dijklichaam en de sterkte- en muddrukberkeningen zijn uitgevoerd op basis van de NEN3650 en de NEN3651 m.b.v. programmatuur Sigma versie 2018 – 1.0. De resultaten van de berekeningen voor de veiligheidszone en de sterkte- en muddrukberkeningen zijn opgenomen in bijlage 5.

(Aangezien de muddrukken van de pilotboring als maatgevend kunnen worden beschouwd voor deze boring is een muddrukberkening voor de pilotfase uitgevoerd. Deze berekening eveneens opgenomen in de bijlagen.)

De HDD boring is berekend in overeenstemming met de NEN 3650 en NEN 3651.

De resultaten van de sterkte- en muddrukberkeningen alsmede de hiervoor gebruikte grondgegevens dienen door de uitvoerende partij gecontroleerd te worden. De keuze voor het in te zetten materieel is ter beoordeling van- en de verantwoordelijkheid van de uitvoerende partij.

HDD-BORING (HDPE100 Ø125 sdr11, HDPE100 Ø160 sdr11 en 2x HDPE100 Ø110 sdr11)

4.1 Samenvatting sterkte- en muddrukberkeningen

Spanningen in omtreksrichting van de leiding

	Toegestane spanning	Maximaal optredende spanning
HDPE100 Ø125 sdr11	8,00 N/mm ²	0,32 N/mm ²
HDPE100 Ø160 sdr11	8,00 N/mm ²	0,81 N/mm ²
HDPE100 Ø110 sdr11	8,00 N/mm ²	0,79 N/mm ²

Spanningen in langsrichting van de leiding

	Toegestane spanning	Maximaal optredende spanning
HDPE100 Ø125 sdr11	8,00 N/mm ²	4,29 N/mm ²
HDPE100 Ø160 sdr11	8,00 N/mm ²	5,42 N/mm ²
HDPE100 Ø110 sdr11	8,00 N/mm ²	1,55 N/mm ²

Deflectie

	Toegestane deflectie	Maximaal optredende deflectie
HDPE100 Ø125 sdr11	8,54 mm	0,12 mm
HDPE100 Ø160 sdr11	11,63 mm	0,72 mm
HDPE100 Ø110 sdr11	8,00 mm	0,52 mm

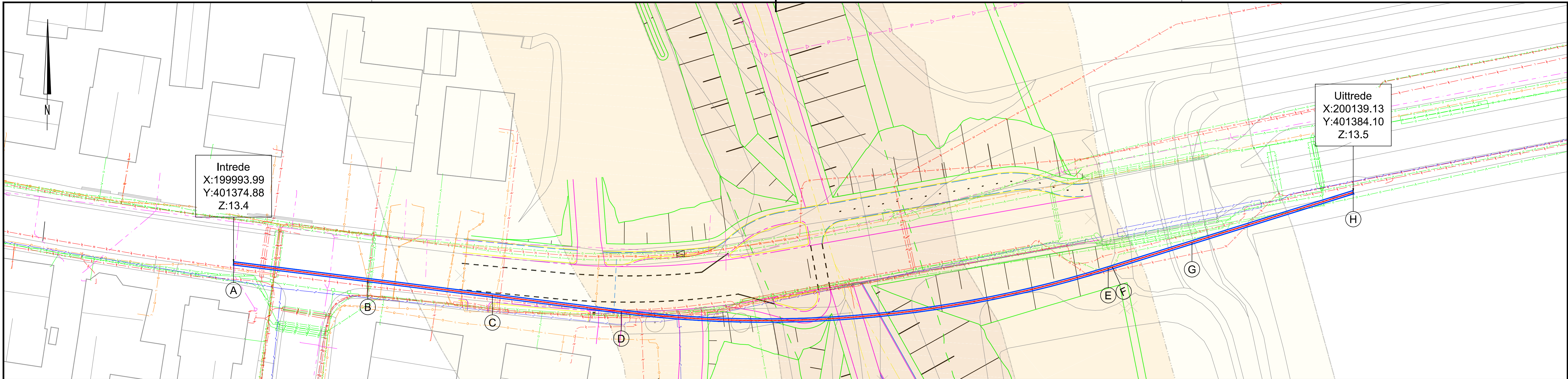
Benodigde trekkracht op de mantelbuis

	Toegestane trekkracht*	Maximale berekende trekkracht
HDPE100 Ø125 sdr11	48,80 kN	13,00 kN
HDPE100 Ø160 sdr11	79,87 kN	20,89 kN
HDPE100 Ø110 sdr11	37,73 kN	11,36 kN

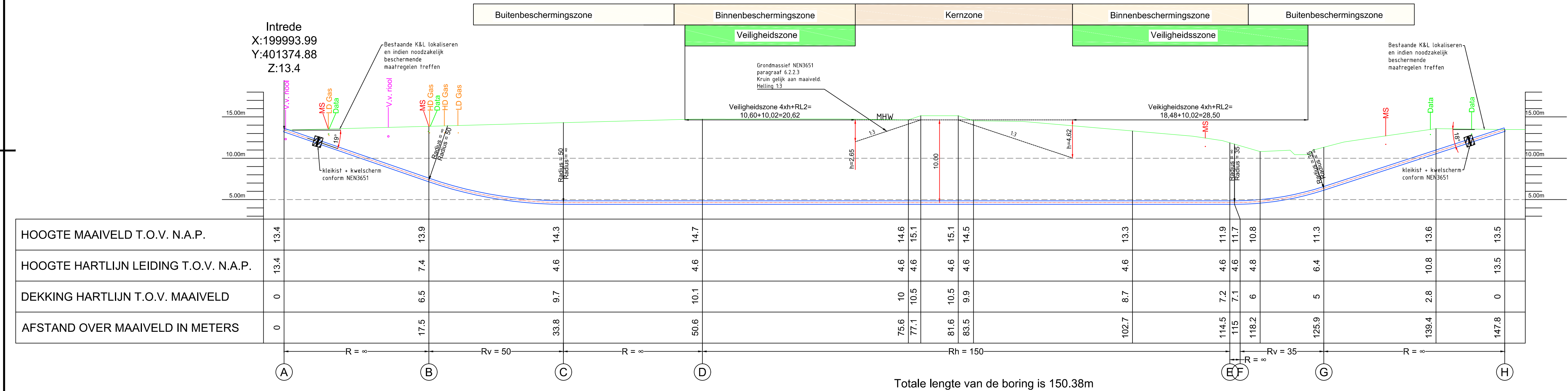
*Toegestane trekkrachten volgens technische documentatie PipeLife.

Bijlage 1: Boortekening

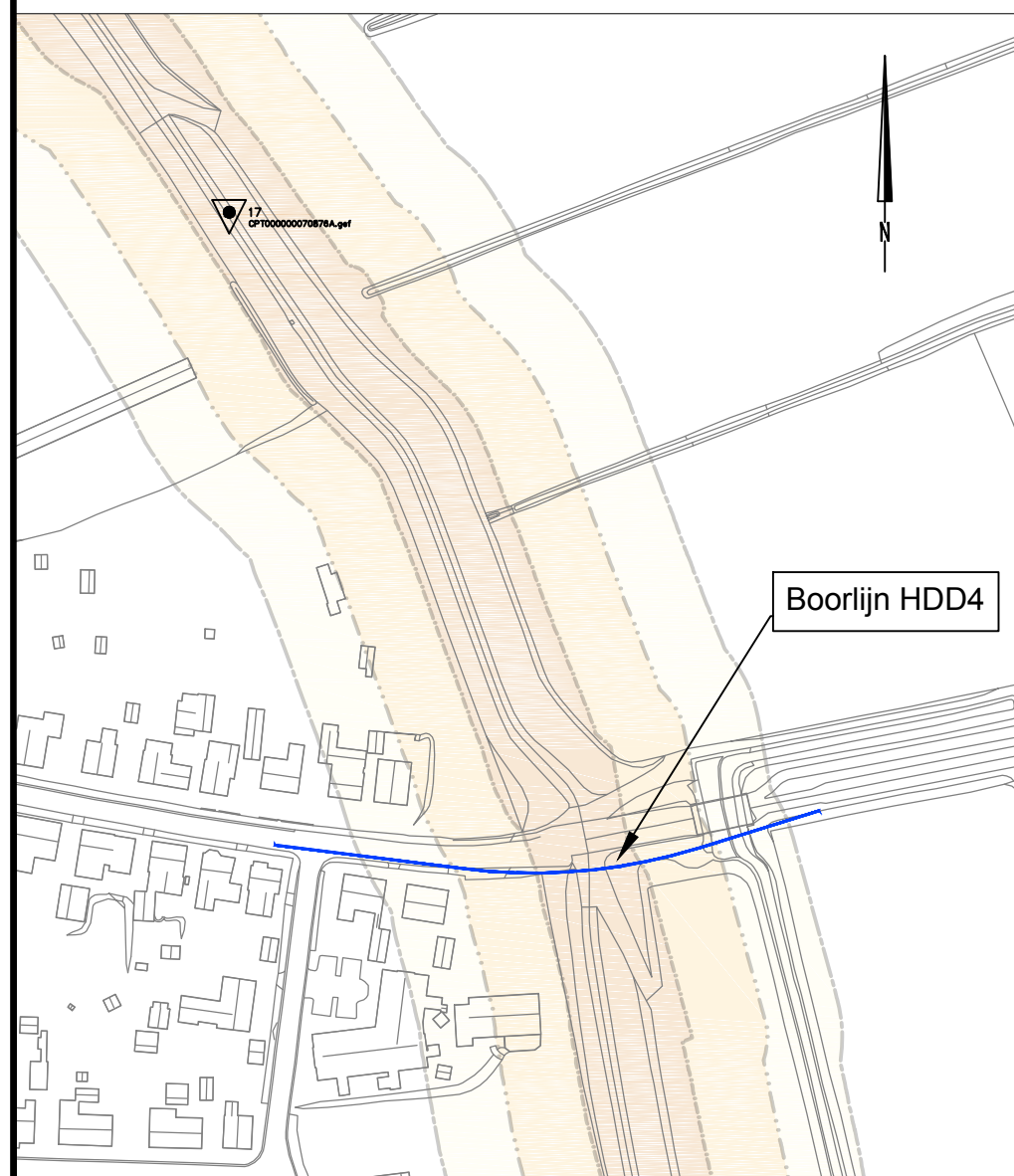
Boortekening 2018-001-TEK-KL-HDD4-v1.0, d.d. 05-04-2018



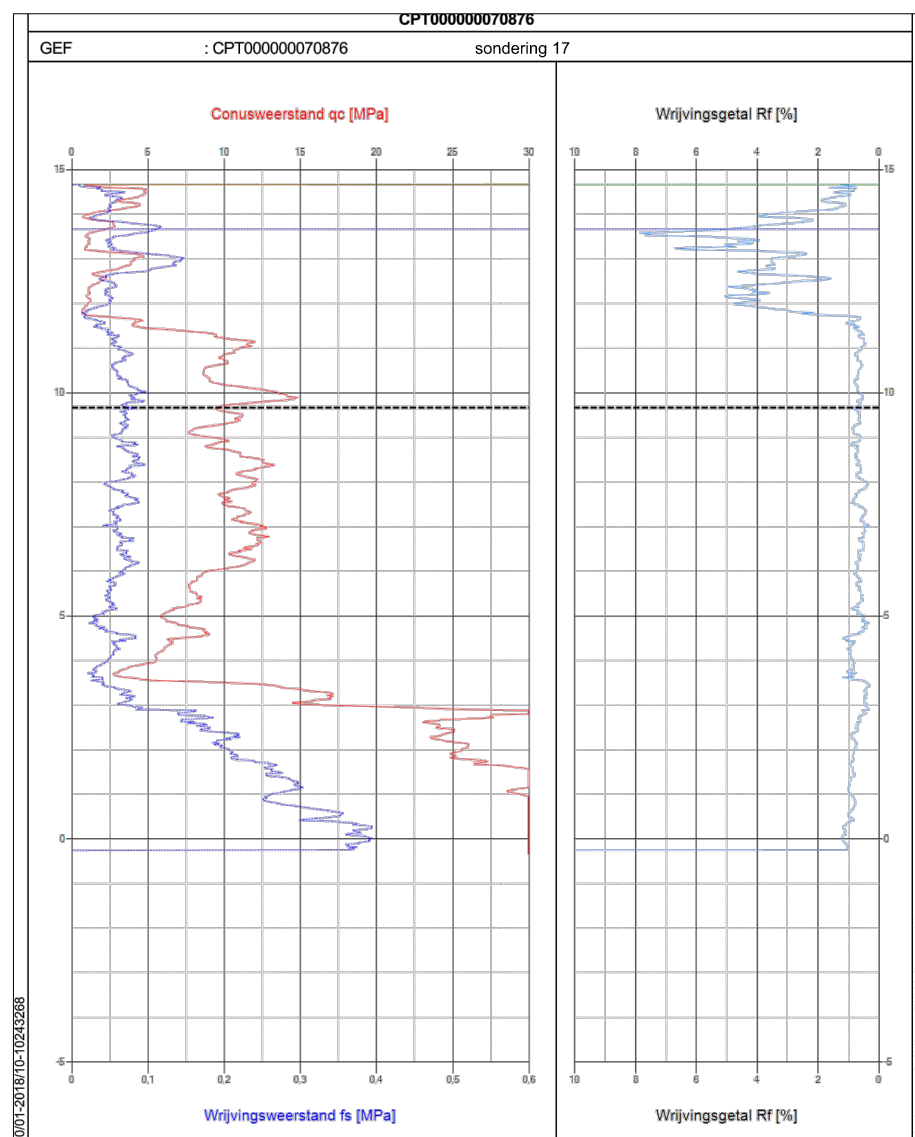
BOVENAANZICHT
Schaal 1:250



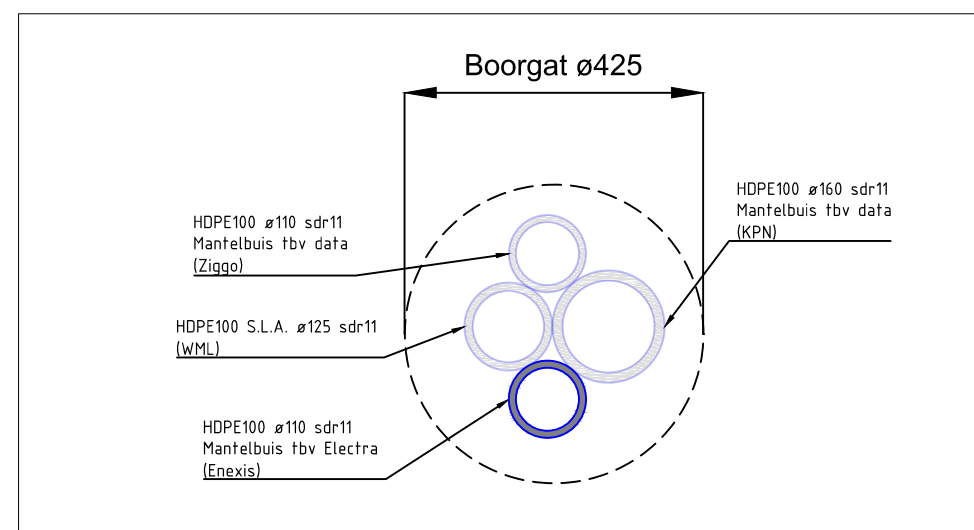
DWARSPROFIEL
Schaal 1:250



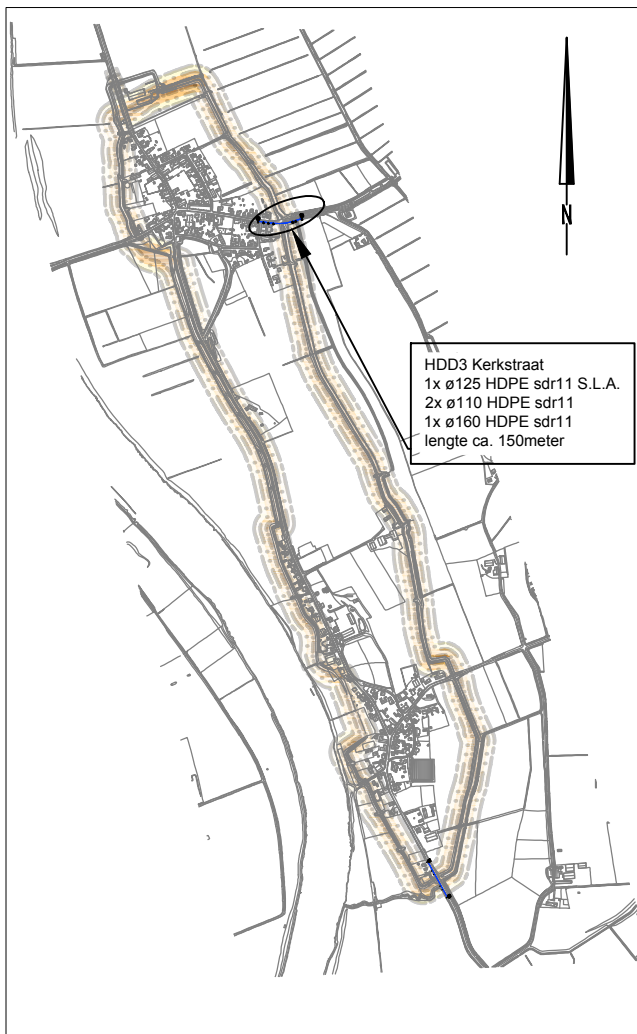
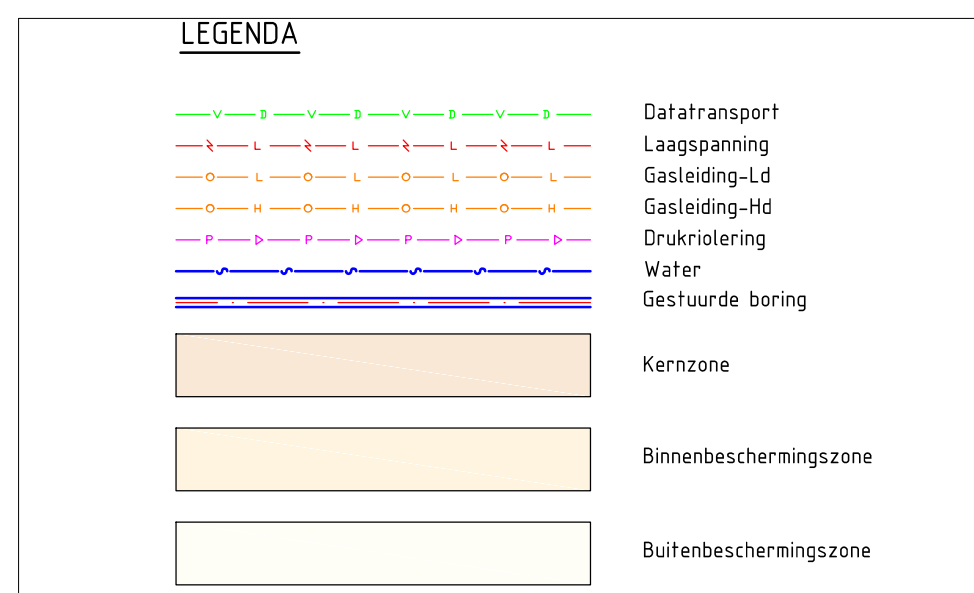
Locatie sondering
Schaal 1:500



Sondering



BUNDELDOORSNEDEN
Schaal 1:50



Situatieoverzicht
Schaal 1:2500

COÖRDINATENLIST			
	X	Y	Z(NAP)
1	199993.99	401374.88	13.40
2	200011.39	401372.11	7.37
3	200027.54	401370.69	4.64
4	200044.24	401368.61	4.64
5	200107.36	401374.22	4.64
6	200107.89	401374.38	4.64
7	200118.22	401377.60	4.36
8	200139.13	401384.10	13.50

- Graafmelding WION
- Graafwerkzaamheden volgens CROW-500
- Intrekken met Drillmix of vergelijkbaar product
- Aanbrengen kwelscherm en kleikist volgens NEN3650/3651
- Maten in meters, tenzij anders vermeld
- Diameters in millimeters, tenzij anders vermeld
- Hoogtematen in meters t.o.v. N.A.P., tenzij anders vermeld

Versie	Datum	Definitief t.b.v. vergunningaanvraag	Wijziging	MaTu	HvH
001	05-04-2018	Definitief t.b.v. vergunningaanvraag		Get.	Gez.

In opdracht van:

Enexis
Heierkerkweg 3
5928RM, Venlo

Vervaardigd door:

VHW Engineering BV
Focus op ondergrondse kabels en leidingen
VHW Engineering BV
Heiltheuvelweg 11
5222 AV 's-Hertogenbosch
www.vhwengineering.nl
info@vhwengineering.nl

Project:

Gestuurde boringen 'Eiland van Bergen'
HDD4 Kerkstraat gemeente Bergen

Omschrijving:

Aanleg bundelboring
1x ø125 HDPE sdr11 S.L.A. +
2x ø110 HDPE sdr11 + 1x ø160 HDPE sdr11

Schaal: divers

Formaat: A1

Datum: 05-04-2018

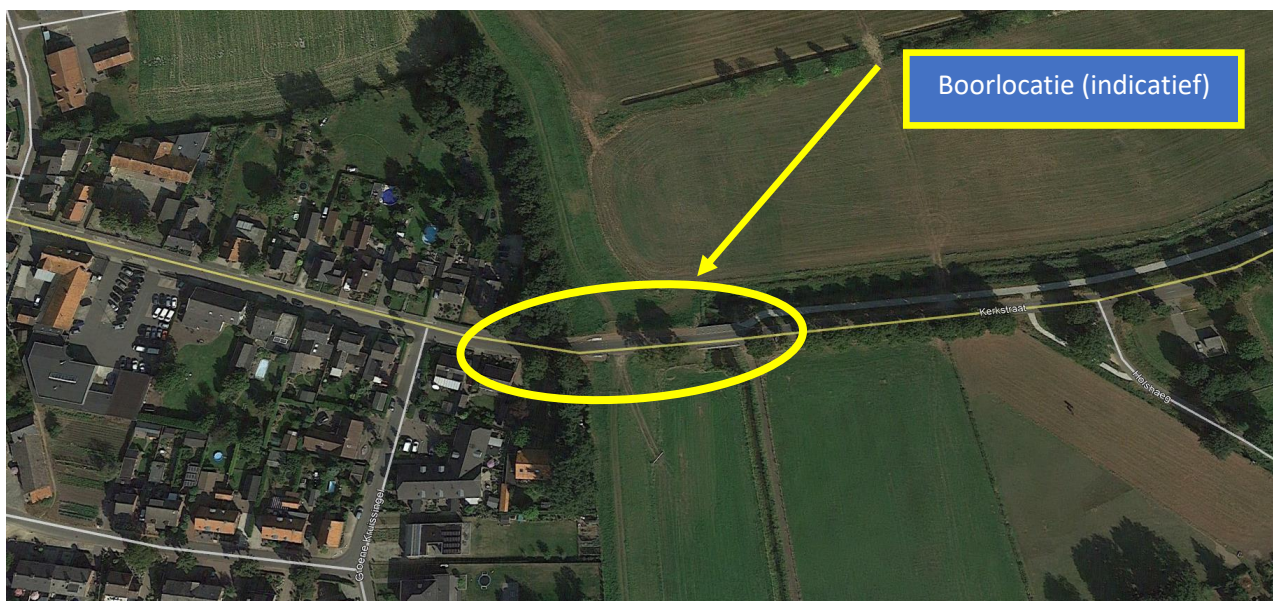
Projectnr: 2018-001

Status:
Definitief

Tekeningnr:
2018-001-TEK-KL-HDD4-v1.0

Bijlage 2: Luchtfoto's

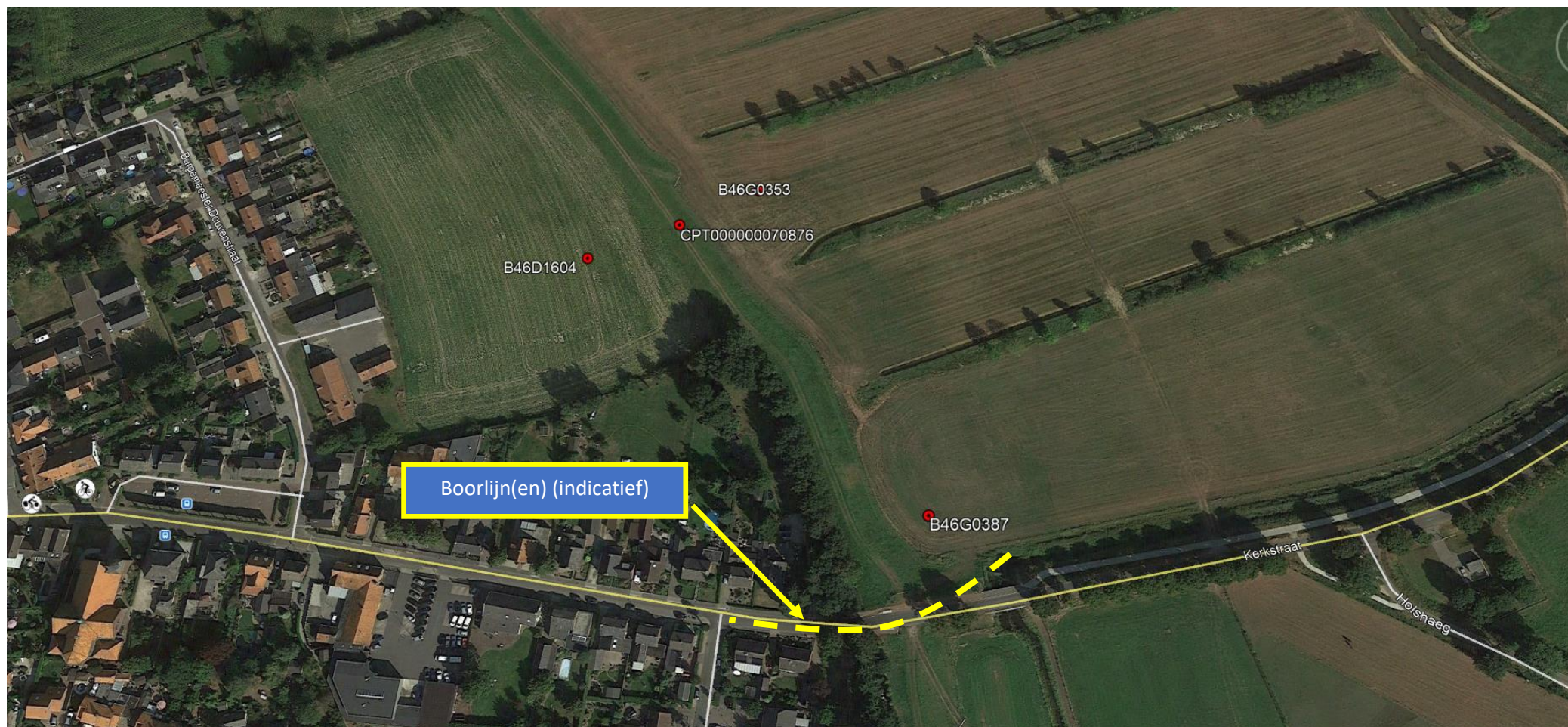
Luchtfoto's boorlocatie HDD3 en HDD4



Bijlage 3: Grondmechanisch onderzoek

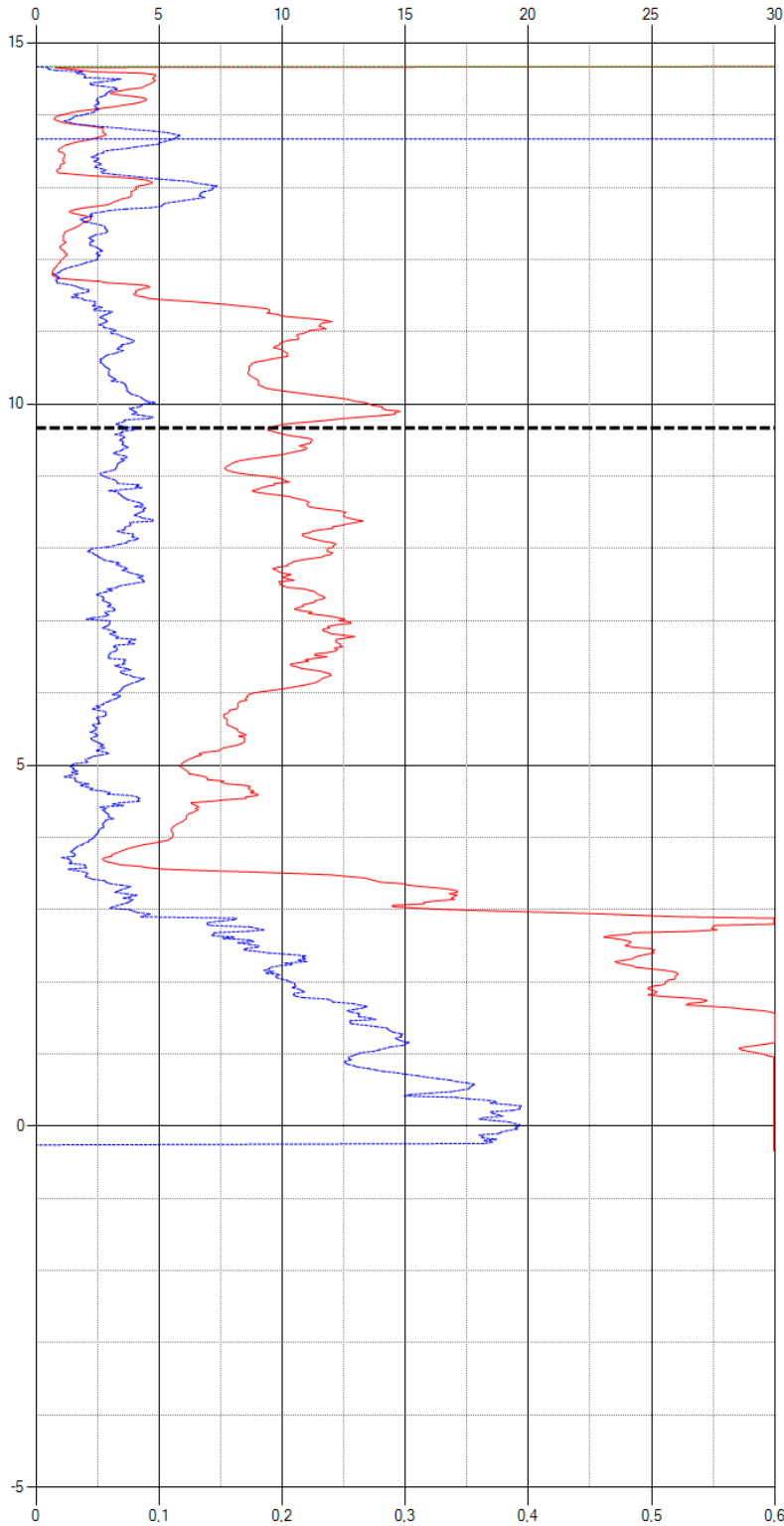
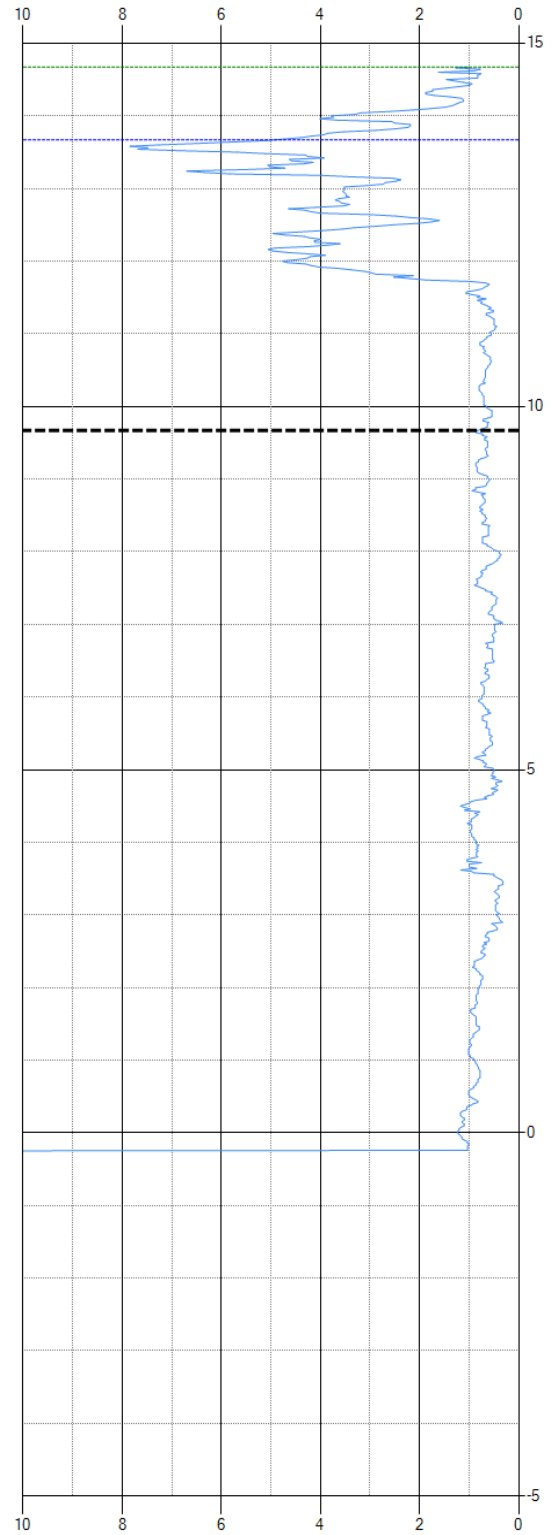
- Sondering CPT000000070876 (nr.17)
- B46D1604
- B46G0353
- B46G0387

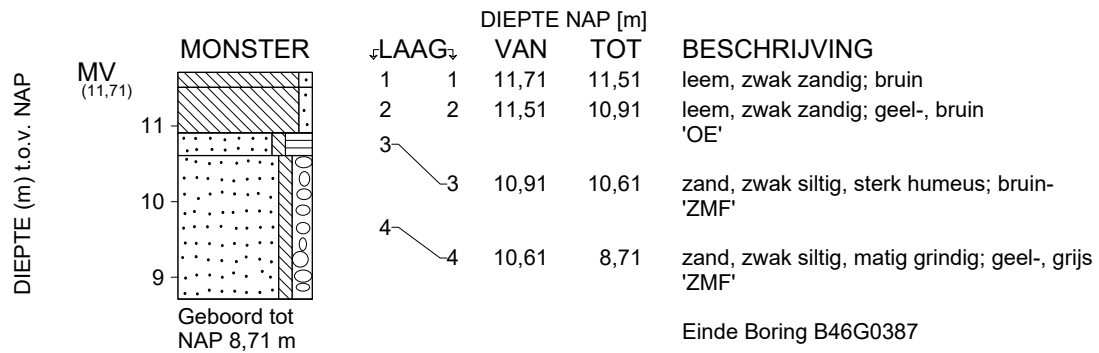
Locaties gebruikte sonderingen en boringen HDD 3 en HDD4



CPT000000070876

GEF : CPT000000070876

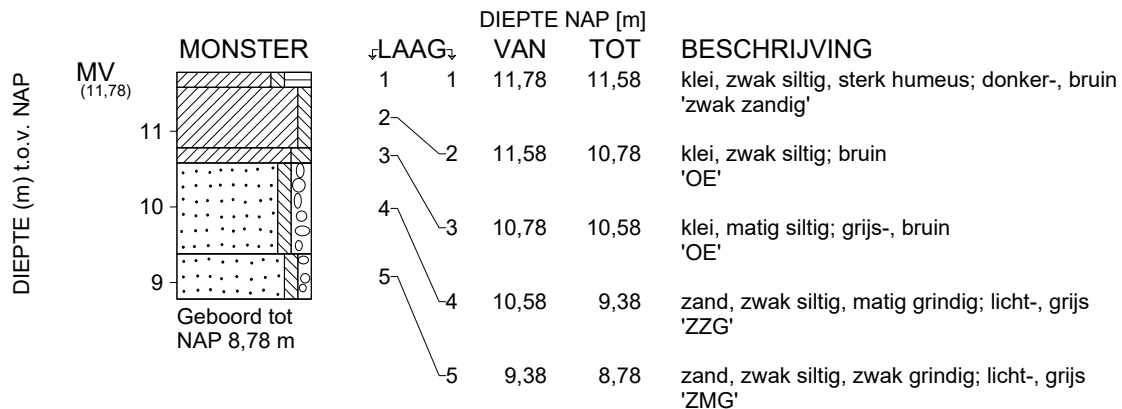
Conusweerstand qc [MPa]
Wrijvingsgetal Rf [%]

Wrijvingsweerstand fs [MPa]
Wrijvingsgetal Rf [%]




GWS 0,00

X = 200085 m Y = 401415 m (RD)

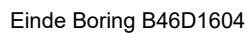
-	-	-	-	-	datum	get.
					2013-11-11	H. S
-	-	-	-	-	DINO-BOR	gez.
					BIJL.	form. A4



Einde Boring B46G0353

X = 200015 m Y = 401561 m (RD)

-	<Not Registered> <Not Registered>	<Not Registered> <Not Registered> <Not Registered>	Telefoon Telefax	<Not Registered> <Not Registered>	datum	get.
					2013-03-05	MOS-
-					DINO-BOR	gez.
					BIJL.	form. A4



<Not Registered>
<Not Registered>

Telefoon
Telefax

<Not Registered>
<Not Registered>

datum

2013-03-05

get.

MOS-

gez.

DINO-BOR

form.

BIJL.

A4

Bijlage 4: Oriëntatiemelding WION



KLIC

Datum

05-04-2018 13:24

Onderwerp

Ontvangstbevestiging Oriëntatieverzoek

18O025612

Blad

1 van 3

Geachte heer, mevrouw,

Het Kadaster heeft een Oriëntatieverzoek ontvangen

Het meldnummer van de Klic-melding is: **18O025612**

Het ordernummer van de Klic-melding is: **9808149841/10**

De referentie van de Klic-melding is: **2018-001 HDD 3-4**

Hieronder treft u de gegevens aan van de melding en het overzicht, per thema, van beheerders met een belang in het opgegeven gebied. Het is mogelijk dat netbeheerders meerdere thema's in beheer hebben.

Uit de brief die u ontvangt bij de levering, kunt u opmaken voor welke thema's deze netbeheerders informatie hebben geleverd.

Let op: met een Oriëntatieverzoek kunt u in een vroeg stadium inzicht krijgen in de ligging van kabels en leidingen. Met een Oriëntatieverzoek mag u echter geen graafwerkzaamheden verrichten.

Gegevens aanvrager

Naam	Tube
E-mailadres	mtube@vhwengineering.nl
Relatienummer	605534
Bedrijf	VHW Engineering B.V.
Adres	Heltheuvelweg 11
Postcode / Plaats	5222AV, 'S-HERTOGENBOSCH
Land	NL
Telefoon	(06) 30 77 26 00
Datum aanvraag	05-04-2018 13:24

Aard graafwerkzaamheden

Persing/boring

Oriëntatiegebied

RD-coördinaten [(199966,401416), (199964,401362), (200016,401355), (200091,401358), (200187,401382), (200177,401423), (200057,401401), (199966,401416)]

Dichtstbijzijnd adres Kerkstraat 36, 5854AK Bergen L

Overzicht van beheerders met een belang in het opgegeven gebied:



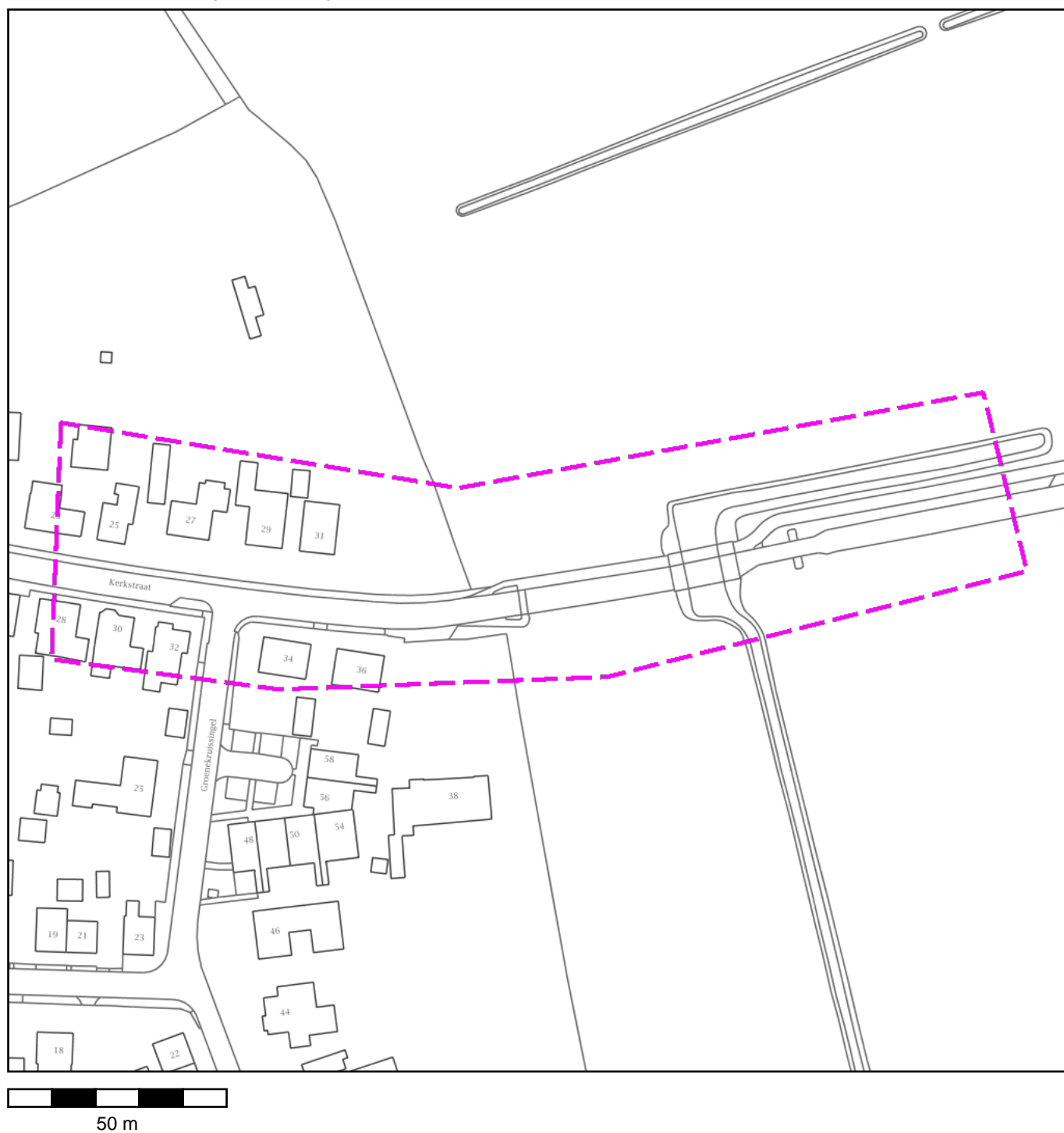
Datum
05-04-2018 13:24

Onderwerp
**Ontvangstbevestiging Oriëntatieverzoek
18O025612**

Blad
2 van 3

Beheerder	Contactpersoon	E-mail	Tel	Fax	Thema
Enexis Netbeheer B.V.	KLICINFO	klicinfo@enexis.nl	0888577271	0388527646	gas hoge druk gas lage druk laagspanning middenspanning
Gemeente Bergen (LB)	Uijttewaal	f.panico@bergen.nl	(0485) 34 83 49	(0485) 34 28 44	riool onder druk riool vrijval
KPN B.V.	Klic-loket	orderintakeplan@kpn.com	(030) 255 33 34		datatransport
NV. WML	Medewerker Klic	wion.klic@wml.nl	0438808671	0438808008	datatransport laagspanning water
Reggefiber Operator B.V.	Regio Zuid	klic-zuid@reggefiber.nl	0548800893		datatransport
Waterschapsbedrijf Limburg p/a	J. Bohlen, WML	Klicinfo@wml.nl	0438808200	0438808008	water
Ziggo B.V.	Network Infrastructure South	topografie.zuid@office.ziggo.nl	0887168723	0887173711	datatransport

Grafische weergave van het gebied:



Bijlage 5: Veiligheidszone- Sterkte- en muddrukberekeningen

Berekening veiligheidszone

Berekening van de veiligheidszone conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2018 1.0 ©
Algemene gegevens			
Naam van het project : Enexis			
Projectonderdeel : Veiligheidszone HDD4 Kerkstraat 1x ø125 sdr11 SLA Water (uittredezijde)			
Gegevens van de leiding			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Ontwerpdruk	p_d	= 0,8	N/mm ²
Volumieke massa vloeistof	ρ	= 1000	kg/m ³
Afmetingen van de leiding			
Uitwendige middellijn	D_e	= 125	mm
Wanddikte	d_n	= 11,4	mm
Inwendige middellijn	D_i	= 102,2	mm
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld		= 4,62	m
Berekening van de factor $H^3 \cdot D_i^5$			
$H = \frac{p_d}{\rho \cdot g}$ $H = \frac{800.000}{1.000 \cdot 9,81} = 81,55 \text{ m} \rightarrow H^3 \cdot D_i^5 = 81,55^3 \cdot 0,10^5 = 6,05 \text{ m}^8$			
Berekening van de halve breedte van de erosiekrater R_B			
$R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{H^3 \cdot D_i^5}$ $R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{81,55^3 \cdot 0,10^5} = 10,02 \text{ m}$			
Berekening van de halve lengte van de erosiekrater R_L			
Indien er sprake is van een klein gat: $R_{L1} = 0,5 \cdot R_B = 5,01 \text{ m}$			
Indien er sprake is van een groot gat: $R_{L2} = R_B = 10,02 \text{ m}$			
Indien er sprake is van niet-trekvaste verbindingen: $R_{L3} = 2 \cdot R_B = 20,04 \text{ m}$			
Berekening van de veiligheidszone			
<i>Indien er sprake is van een evenwijdige ligging met een waterkering:</i> Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_B = 4 \cdot 4,62 + 10,02 = 28,50 \text{ m}$			
<i>Indien er sprake is van een kruising met een waterkering:</i> Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L1} = 4 \cdot 4,62 + 5,01 = 23,49 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L2} = 4 \cdot 4,62 + 10,02 = 28,50 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L3} = 4 \cdot 4,62 + 20,04 = 38,52 \text{ m}$			
2018-001 Enexis HDD's 'Eiland van Bergen'			14-03-2018 10:26:49

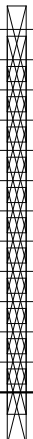
Berekening van de veiligheidszone conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2018 1.0 ©
Algemene gegevens			
Naam van het project : Enexis Projectonderdeel : Veiligheidszone HDD4 Kerkstraat 1x ø125 sdr11 SLA Water (intredezijde)			
Gegevens van de leiding			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Ontwerpdruk	p_d	= 0,8	N/mm ²
Volumieke massa vloeistof	ρ	= 1000	kg/m ³
Afmetingen van de leiding			
Uitwendige middellijn	D_e	= 125	mm
Wanddikte	d_n	= 11,4	mm
Inwendige middellijn	D_i	= 102,2	mm
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld		= 2,65	m
Berekening van de factor $H^3 \cdot D_i^5$			
$H = \frac{p_d}{\rho \cdot g}$ $H = \frac{800.000}{1.000 \cdot 9,81} = 81,55 \text{ m} \rightarrow H^3 \cdot D_i^5 = 81,55^3 \cdot 0,10^5 = 6,05 \text{ m}^8$			
Berekening van de halve breedte van de erosiekrater R_B			
$R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{H^3 \cdot D_i^5}$ $R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{81,55^3 \cdot 0,10^5} = 10,02 \text{ m}$			
Berekening van de halve lengte van de erosiekrater R_L			
Indien er sprake is van een klein gat: $R_{L1} = 0,5 \cdot R_B = 5,01 \text{ m}$ Indien er sprake is van een groot gat: $R_{L2} = R_B = 10,02 \text{ m}$ Indien er sprake is van niet-trekvaste verbindingen: $R_{L3} = 2 \cdot R_B = 20,04 \text{ m}$			
Berekening van de veiligheidszone			
<i>Indien er sprake is van een evenwijdige ligging met een waterkering:</i> Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_B = 4 \cdot 2,65 + 10,02 = 20,62 \text{ m}$ <i>Indien er sprake is van een kruising met een waterkering:</i> Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L1} = 4 \cdot 2,65 + 5,01 = 15,61 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L2} = 4 \cdot 2,65 + 10,02 = 20,62 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L3} = 4 \cdot 2,65 + 20,04 = 30,64 \text{ m}$			
2018-001 Enexis HDD's 'Eiland van Bergen'			14-03-2018 10:26:04

Boorspoeldrukberekening pilotboring

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Enexis HDD's 'Eiland van Bergen'			
Projectonderdeel : HDD4 Kerkstraat ø125 sdr11, ø160 sdr11 en 2x ø110 sdr11			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm²
Materiaalfactor	γ _M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	σ _t	= 8,00	N/mm²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm²
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/m³
Toelaatbare deflectie	δ	= 8	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 125,00	mm
Wanddikte	d _n	= 18,2	mm
Dikte bekleding	e	= 5	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Ontwerpdruk	p _d	= 0,8	N/mm²
Volumieke massa vloeistof	ρ	= 1000	kg/m³
Temperatuurverschil	Δ _t	= 10	°
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 100	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	ρ _m	= 11,5	kN/m³
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	= 150	mm
Diameter boorstang	D _b	= 63	mm
Totale lengte	L	= 150,39	m
Lengte 1e rechte deel	L ₁	= 18,54	m
Lengte neergaande bocht	L ₂	= 16,58	m
Lengte 2e rechte deel	L ₃	= 81,24	m
Lengte opgaande bocht	L ₄	= 11,00	m
Lengte 3e rechte deel	L ₅	= 23,03	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R _r	= 50,00	m
Straal neergaande bocht	R ₁	= 50,00	m
Straal opgaande bocht	R ₂	= 35,00	m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	α ₁	= 19,00 / 34,43	° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	α ₂	= 18,00 / 32,49	° / %
Belastinghoek	α	= 30	°
Ondersteuningshoek	β	= 30	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
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. met rollenbaan	f ₁	= 0,1	
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	f ₂	= 0,00005	N/mm²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	f ₃	= 0,2	
2018-001 Enexis HDD's 'Eiland van Bergen'			
			09-04-2018 16:04:23

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 [°]
B	18,54	6,50	2,37	Zand	16,24	20,27	35,00
C	35,12	9,70	2,81	Zand	16,04	20,95	35,00
D	51,91	10,10	3,23	Zand	16,39	20,87	35,00
1	76,91	10,00	3,15	Zand	16,33	20,65	35,00
2	78,41	10,50	3,64	Zand	16,58	20,72	35,00
3	82,91	10,50	3,64	Zand	16,58	20,84	35,00
4	84,81	9,90	3,03	Zand	16,21	20,85	35,00
5	104,01	8,70	1,80	Zand	16,21	20,85	35,00
E	115,81	7,20	0,37	Zand	18,53	20,56	35,00
F	116,36	7,10	0,21	Zand	19,33	20,75	35,00
6	119,51	6,00	0,00	Zand	0,00	20,44	35,00
G	127,36	5,00	0,00	Zand	0,00	20,46	35,00
7	141,59	2,80	1,88	Zand	15,48	20,91	35,00

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Hor. steun- druk	Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm ³]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
B	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
C	Homogeen (zand)		0,0320	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
D	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
1	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
2	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
3	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
4	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
5	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
E	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
F	Homogeen (zand)		0,0320	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
6	Homogeen (zand)		0,0320	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
G	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
7	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II

1. 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]
B	6,50	69,79	29,76	49,78	78,33	28,85
C	9,70	103,30	44,05	73,67	115,93	28,85
D	10,10	109,77	46,81	78,29	123,19	28,85
1	10,00	106,86	45,57	76,21	119,92	28,85
2	10,50	115,48	49,24	82,36	129,60	28,85
3	10,50	116,23	49,56	82,90	130,44	28,85
4	9,90	106,17	45,27	75,72	119,15	28,85
5	8,70	88,31	37,66	62,99	99,11	28,85
E	7,20	65,59	27,97	46,78	73,61	28,85
F	7,10	64,76	27,62	46,19	72,68	28,85
6	6,00	51,49	21,96	36,72	57,79	28,85
G	5,00	43,00	18,34	30,67	48,26	28,85
7	2,80	34,75	14,82	24,78	38,99	28,85

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

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

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

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

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

Locatie	Q [-]	$R_{p,\text{max}}$ [m]	u [N/mm ²]	p_{st} [N/mm ²]	Δp [N/mm ²]	p_{lim} [N/mm ²]
B	0,00099	0,75	0,0413	0,04659	0,01	1,02
C	0,0015	0,62	0,0689	0,07773	0,02	1,32
D	0,0016	0,60	0,0687	0,07750	0,04	1,37
1	0,0015	0,61	0,0685	0,07728	0,05	1,35
2	0,0016	0,59	0,0686	0,07739	0,05	1,41
3	0,0016	0,58	0,0686	0,07739	0,06	1,42
4	0,0015	0,61	0,0687	0,07750	0,06	1,34
5	0,0013	0,67	0,0690	0,07784	0,07	1,20
E	0,00093	0,78	0,0683	0,07705	0,08	1,01
F	0,00092	0,78	0,0689	0,07773	0,08	1,00
6	0,00073	0,88	0,0600	0,06769	0,08	0,86
G	0,00061	0,96	0,0500	0,05641	0,09	0,77
7	0,00049	1,07	0,0092	0,01038	0,10	0,64

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

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

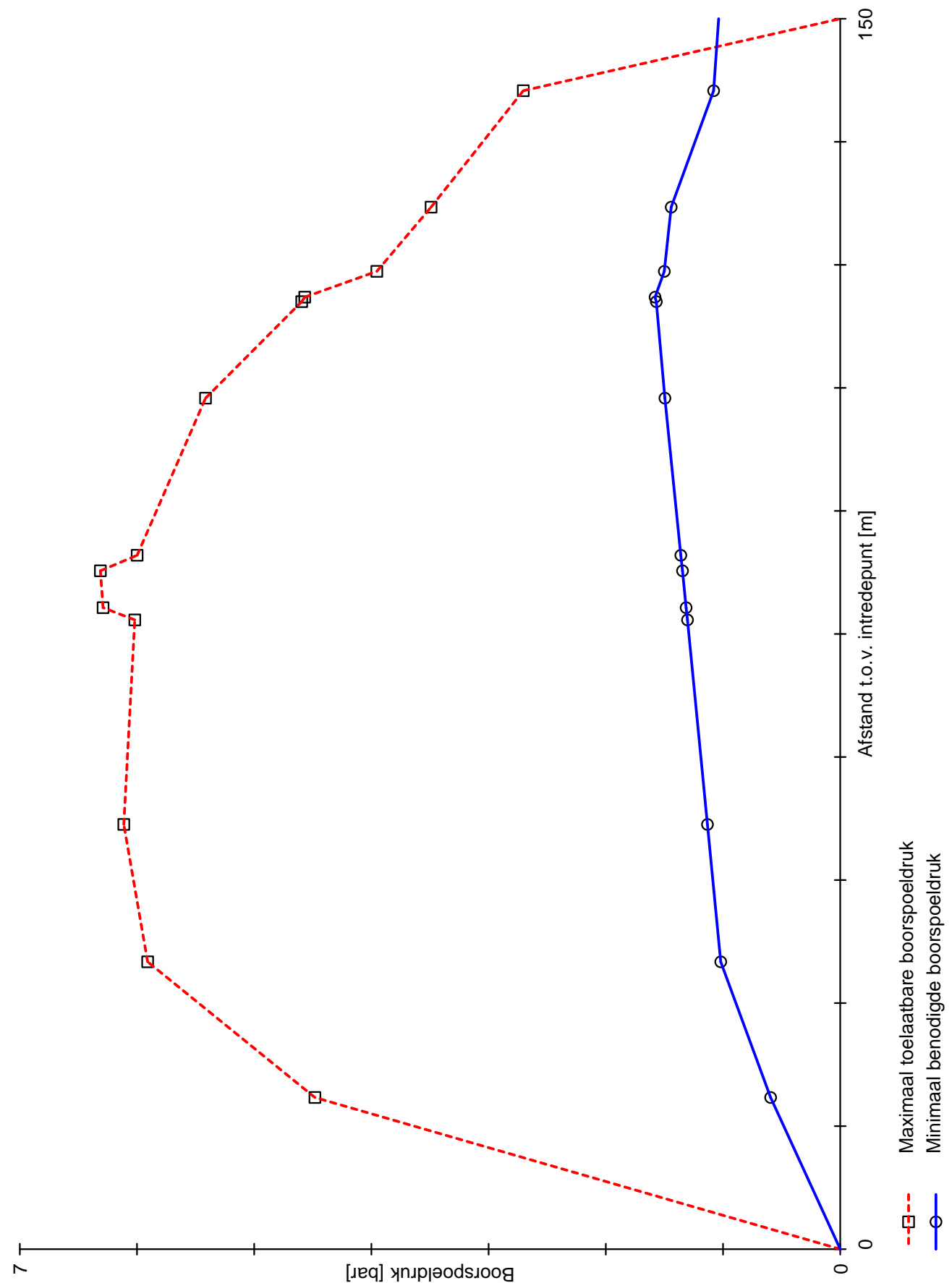
$$\Delta p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$$

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

Locatie	p_{\max} [kPa]	90% p_{lim} [kPa]	p_{min} [kPa]	p_{\max} [bar]	90% p_{lim} [bar]	p_{min} [bar]
B	448,19	914,80	59,38	4,48	9,15	0,59
C	590,91	1.187,95	101,95	5,91	11,88	1,02
D	611,26	1.232,10	113,30	6,11	12,32	1,13
1	601,87	1.212,09	130,32	6,02	12,12	1,30
2	628,94	1.270,36	131,47	6,29	12,70	1,31
3	631,25	1.275,33	134,57	6,31	12,75	1,35
4	599,89	1.207,56	135,99	6,00	12,08	1,36
5	541,52	1.081,29	149,57	5,42	10,81	1,50
E	459,44	905,13	156,92	4,59	9,05	1,57
F	456,88	898,86	157,98	4,57	8,99	1,58
6	395,38	777,38	150,11	3,95	7,77	1,50
G	349,09	690,11	144,24	3,49	6,90	1,44
7	270,40	571,66	108,03	2,70	5,72	1,08

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

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



Sterkte- en muddrukberekeningen

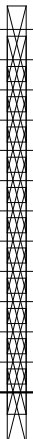
Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Enexis HDD's 'Eiland van Bergen'			
Projectonderdeel : HDD4 Kerkstraat ø125 sdr11, ø160 sdr11 en 2x ø110 sdr11			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm²
Materiaalfactor	γ _M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	σ _t	= 8,00	N/mm²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm²
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/m³
Toelaatbare deflectie	δ	= 8	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 160,00	mm
Wanddikte	d _n	= 14,6	mm
Dikte bekleding	e	= 5	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Ontwerpdruk	p _d	= 0,8	N/mm²
Volumieke massa vloeistof	ρ	= 1000	kg/m³
Temperatuurverschil	Δt	= 10	°
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 100	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	ρ _m	= 11,5	kN/m³
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	= 425	mm
Diameter boorstang	D _b	= 63	mm
Totale lengte	L	= 150,39	m
Lengte 1e rechte deel	L ₁	= 18,54	m
Lengte neergaande bocht	L ₂	= 16,58	m
Lengte 2e rechte deel	L ₃	= 81,24	m
Lengte opgaande bocht	L ₄	= 11,00	m
Lengte 3e rechte deel	L ₅	= 23,03	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R _r	= 50,00	m
Straal neergaande bocht	R ₁	= 50,00	m
Straal opgaande bocht	R ₂	= 35,00	m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	α ₁	= 19,00 / 34,43	° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	α ₂	= 18,00 / 32,49	° / %
Belastinghoek	α	= 30	°
Ondersteuningshoek	β	= 30	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
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. met rollenbaan	f ₁	= 0,1	
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	f ₂	= 0,00005	N/mm²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	f ₃	= 0,2	
2018-001 Enexis HDD's 'Eiland van Bergen'		09-04-2018 16:10:24	

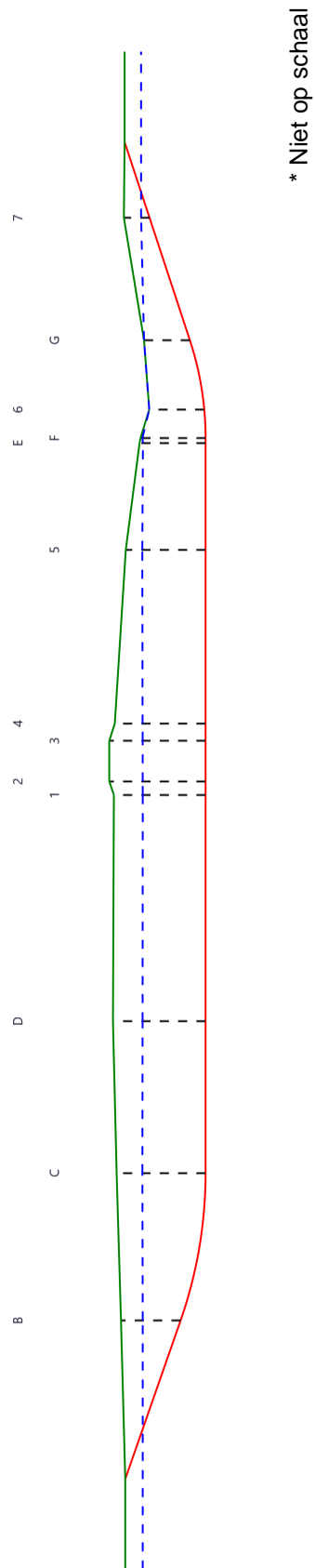
Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.0 ©

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 [°]
B	18,54	6,50	2,37	Zand	16,24	20,27	35,00
C	35,12	9,70	2,81	Zand	16,04	20,95	35,00
D	51,91	10,10	3,23	Zand	16,39	20,87	35,00
1	76,91	10,00	3,15	Zand	16,33	20,65	35,00
2	78,41	10,50	3,64	Zand	16,58	20,72	35,00
3	82,91	10,50	3,64	Zand	16,58	20,84	35,00
4	84,81	9,90	3,03	Zand	16,21	20,85	35,00
5	104,01	8,70	1,80	Zand	16,21	20,85	35,00
E	115,81	7,20	0,37	Zand	18,53	20,56	35,00
F	116,36	7,10	0,21	Zand	19,33	20,75	35,00
6	119,51	6,00	0,00	Zand	0,00	20,44	35,00
G	127,36	5,00	0,00	Zand	0,00	20,46	35,00
7	141,59	2,80	1,88	Zand	15,48	20,91	35,00

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Hor. steun- druk	Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm ³]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
B	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
C	Homogeen (zand)		0,0320	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
D	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
1	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
2	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
3	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
4	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
5	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
E	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
F	Homogeen (zand)		0,0320	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
6	Homogeen (zand)		0,0320	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
G	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
7	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II



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

Sigma 2018 1.0 ©

2. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 130,80	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 145,40	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 170,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 80,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 65,40	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 72,70	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 17.801.758,07	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 222.521,98	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 259,34	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 35,53	mm ³ /mm ¹
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 6.669,10	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,0637	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	$g = 0,0637 \text{ N/mm}^1$	$g = 0,0637 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,0637 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,0637 \text{ N/mm}^1$

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	150,39	1.724
Na 1 ^e deel intrekken	127,36	1.460
Na 2 ^e deel intrekken	116,36	1.334
Na 3 ^e deel intrekken	35,12	403
Na 4 ^e deel intrekken	18,54	213

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,0637 \cdot 0,1$$

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	1.724	0,26
Na 1 ^e deel intrekken	1.460	0,22
Na 2 ^e deel intrekken	1.334	0,20
Na 3 ^e deel intrekken	403	0,06
Na 4 ^e deel intrekken	213	0,03

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{6.669,10}$$

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

Sigma 2018 1.0 ©

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{17.801.758}{50.000} = 381.847,71 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{381.847,71}{222.522} = 1,72 \text{ N/mm}^2$$

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	0,26	1,37
Na 1 ^e deel intrekken	0,22	1,33
Na 2 ^e deel intrekken	0,20	1,32
Na 3 ^e deel intrekken	0,06	1,18
Na 4 ^e deel intrekken	0,03	1,15

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 1,72 + \sigma_t$$

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: $D_{e,omtrek} = 534,07 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,0637 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof: $g_{opw} = \rho_m \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 160,00^2 \cdot \pi/4 = 0,231 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,168 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
1 ^e deel intrekken	23,03	2.496	-
2 ^e deel intrekken	34,03	-	3.688
3 ^e deel intrekken	115,27	12.493	-
4 ^e deel intrekken	131,85	-	14.290
Geheel ingetrokken	150,39	16.299	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (534,07 \cdot 0,00005 + 0,168 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (534,07 \cdot 0,00005 + 0,168 \cdot 0,2)$

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]
C	0,0030	50,0	0,0065	836
F	0,0030	35	0,0092	1.194
6	0,0030	35	0,0092	1.194

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

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

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 170 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

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

Sigma 2018 1.0 ©

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

Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_{3a} [N]	$T_{3b, \text{neer}}$ [N]	$T_{3b, \text{op}}$ [N]	T_{bocht} [N]
Neergaande bocht	1.334	3.688	836	-	5.858
Opgaande bocht	213	14.290	836	1.194	16.532

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

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

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N]
Neergaande bocht	9,50	5.858	696
Opgaande bocht	9,00	16.532	1.965

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

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

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

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

5.5 Totalisatie van de trekkrachten in fase II

Trekkraft T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 / T_{3a} [N]	$T_{3b, \text{neer}}$ [N]	$T_{3c, \text{neer}}$ [N]	$T_{3b, \text{op}}$ [N]	$T_{3c, \text{op}}$ [N]	T_{tot} [N]
1 ^e deel intrekken	1.460	2.496	-	-	-	-	3.956
2 ^e deel intrekken	1.334	3.688	836	696	-	-	6.554
3 ^e deel intrekken	403	12.493	836	696	-	-	14.427
4 ^e deel intrekken	213	14.290	836	696	1.194	1.965	19.090
Geheel intrekken	0	16.299	836	696	1.194	1.965	20.887

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

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	3.956	0,59
2 ^e deel intrekken	6.554	0,98
3 ^e deel intrekken	14.427	2,16
4 ^e deel intrekken	19.090	2,86
Geheel intrekken	20.887	3,13

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{6.669,10}$$

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

5.7.1 Neergaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{17.801.758,07}{0,9 \cdot 50.000} = 539.986,66 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{539.986,66}{222.521,98} = \mathbf{2,43 \text{ N/mm}^2}$$

5.7.2 Opgaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{17.801.758,07}{0,9 \cdot 35.000} = 771.409,52 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{771.409,52}{222.521,98} = \mathbf{3,47 \text{ N/mm}^2}$$

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	3.956	0,59	-	0,59
Na 1 ^e deel intrekken	6.554	0,98	2,43	2,56
Na 2 ^e deel intrekken	14.427	2,16	-	2,16
Na 3 ^e deel intrekken	19.090	2,86	3,47	5,12
Na 4 ^e deel intrekken	20.887	3,13	-	3,13

$$\text{Rechte delen: } \sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{6.669,10} = \sigma_t$$

$$\text{Gebogen delen: } \sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot \sigma_b + \sigma_t$$

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

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

Sigma 2018 1.0 ©

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

$$D_g/d_n = 145,40/14,60 = 9,96 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow \text{Dikwandige leiding}$$

$$\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$$

$$\sigma_p = \frac{80,00^2 + 65,40^2}{80,00^2 - 65,40^2} \cdot 0,8 = 4,02 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{y1} = \sigma_p = 4,02 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 4,02 = 1,61 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$$

6.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

$$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w} \right)$$

$$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot 0,8 \cdot 72,7^3 \cdot 0,143}{975 \cdot 259,34} \right) = 0,74$$

6.3 Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

Locatie	h [m]	GWS [m]	γ' [kN/m ³]
B	6,50	2,37	14,33
C	9,70	2,81	14,38
D	10,10	3,23	14,58
1	10,00	3,15	14,37
2	10,50	3,64	14,68
3	10,50	3,64	14,77
4	9,90	3,03	14,43
5	8,70	1,80	13,95
E	7,20	0,37	13,02
F	7,10	0,21	13,07
6	6,00	0,00	12,48
G	5,00	0,00	12,51
7	2,80	1,88	15,70

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

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	8·B ₁ [m]	Q _n [N/mm ¹]	Q _{n,r} [N/mm ¹]
B	Homogeen (zand)	1,70	15,83	1,73 ⁽¹⁾
C	Homogeen (zand)	1,70	23,71	1,74 ⁽¹⁾
D	Homogeen (zand)	1,70	25,03	1,76 ⁽¹⁾
1	Homogeen (zand)	1,70	24,43	1,74 ⁽¹⁾
2	Homogeen (zand)	1,70	26,20	1,78 ⁽¹⁾
3	Homogeen (zand)	1,70	26,36	1,79 ⁽¹⁾
4	Homogeen (zand)	1,70	24,29	1,75 ⁽¹⁾
5	Homogeen (zand)	1,70	20,63	1,69 ⁽¹⁾
E	Homogeen (zand)	1,70	15,93	1,57 ⁽¹⁾
F	Homogeen (zand)	1,70	15,78	1,58 ⁽¹⁾
6	Homogeen (zand)	1,70	12,73	1,51 ⁽¹⁾
G	Homogeen (zand)	1,70	10,63	1,51 ⁽¹⁾
7	Homogeen (zand)	1,70	7,48	1,86 ⁽¹⁾

$$B_1 = \frac{1}{2} \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45^\circ - \frac{1}{2} \cdot \varphi) \geq R$$

$$K = 1 - \sin(\varphi)$$

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

Indien gereduceerde grondbelasting volgens berekeningswijze 'Homogeen (zand)': ($h \geq 8 \cdot B_1$):

$$Q_{n,r1} = \frac{B_1 \cdot (\gamma' - c/B_1)}{K \cdot \tan(\varphi)} \cdot (1 - e^{\frac{-K \cdot h \cdot \tan \varphi}{B_1}}) \cdot D_o \quad (1)$$

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]
B	6,50	Grafiek ½ x II	1,46	0,25
C	9,70	Grafiek ½ x II	0,87	0,15
D	10,10	Grafiek ½ x II	0,83	0,14
1	10,00	Grafiek ½ x II	0,84	0,14
2	10,50	Grafiek ½ x II	0,78	0,13
3	10,50	Grafiek ½ x II	0,78	0,13
4	9,90	Grafiek ½ x II	0,85	0,14
5	8,70	Grafiek ½ x II	1,01	0,17
E	7,20	Grafiek ½ x II	1,28	0,22
F	7,10	Grafiek ½ x II	1,31	0,22
6	6,00	Grafiek ½ x II	1,61	0,27
G	5,00	Grafiek ½ x II	2,01	0,34
7	2,80	Grafiek ½ x II	4,15	0,71

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 170$$

6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	Hor. steun- druk	Q_n [N/mm ¹]	$Q_{n,r}$ [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_{boven} [N/mm ¹]	M_q [Nmm]	σ_q [N/mm ¹]
B		15,83	1,73	0,25	1,98	32,18 ⁽²⁾	0,67
C		23,71	1,74	0,15	1,89	30,66 ⁽²⁾	0,64
D		25,03	1,76	0,14	1,90	30,93 ⁽²⁾	0,65
1		24,43	1,74	0,14	1,88	30,55 ⁽²⁾	0,64
2		26,20	1,78	0,13	1,91	31,01 ⁽²⁾	0,65
3		26,36	1,79	0,13	1,92	31,18 ⁽²⁾	0,65
4		24,29	1,75	0,14	1,89	30,71 ⁽²⁾	0,64
5		20,63	1,69	0,17	1,86	30,20 ⁽²⁾	0,63
E		15,93	1,57	0,22	1,79	29,12 ⁽²⁾	0,61
F		15,78	1,58	0,22	1,80	29,30 ⁽²⁾	0,61
6		12,73	1,51	0,27	1,78	28,97 ⁽²⁾	0,61
G		10,63	1,51	0,34	1,85	30,11 ⁽²⁾	0,63
7		7,48	1,86	0,71	2,57	41,72 ⁽²⁾	0,87

Indien horizontale steundruk: $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ (1)

$$M_q = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 72,70 - 0,143 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 72,70$$

$$M_q = K_b \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g$$
 (2)

$$M_q = 0,257 \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 72,70 - 0,143 \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 72,70$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 0,74 \cdot \frac{M_q}{35,53}$$

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

Locatie	R [m]	Q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
C	50,0	0,0065	0,44
F	35	0,0092	0,63
6	35	0,0092	0,63

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,179 \cdot Q_r \cdot 170 \cdot \frac{80,00}{35,53}$$

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

$$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$$

$$\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,00016 \cdot 975 = \mathbf{1,56 \text{ N/mm}^2}$$

7. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

$$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$$

$$S_N = 975 \cdot \frac{259,34}{145,4^3} = 0,0823 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{82,26 \text{ kN/m}^2}$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = **2 kN/m²**

8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$

Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$

$$p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot l_w}{D_g^3}$$

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 259,34}{145,40^3} = 1,57 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 259,34}{145,40^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **28,12** 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]
B	0,67	-	0,65	0,44
C	0,64	0,44	0,65	0,70
D	0,65	-	0,65	0,42
1	0,64	-	0,65	0,41
2	0,65	-	0,65	0,42
3	0,65	-	0,65	0,42
4	0,64	-	0,65	0,42
5	0,63	-	0,65	0,41
E	0,61	-	0,65	0,40
F	0,61	0,63	0,65	0,81
6	0,61	0,63	0,65	0,80
G	0,63	-	0,65	0,41
7	0,87	-	0,65	0,57

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_{pl} [N/mm ²]	σ_{ax} [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	α_{σ} [-]	σ_x [N/mm ²]
B	1,61	1,56	-	-	3,17
C	1,61	1,56	2,43	0,65	4,75
D	1,61	1,56	-	-	3,17
1	1,61	1,56	-	-	3,17
2	1,61	1,56	-	-	3,17
3	1,61	1,56	-	-	3,17
4	1,61	1,56	-	-	3,17
5	1,61	1,56	-	-	3,17
E	1,61	1,56	-	-	3,17
F	1,61	1,56	3,47	0,65	5,42
6	1,61	1,56	3,47	0,65	5,42
G	1,61	1,56	-	-	3,17
7	1,61	1,56	-	-	3,17

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

Bochten: $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_A \cdot \sigma_b + \sigma_{ax}$

Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00}$ N/mm²

10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	$Q_{n,r}$ [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_r [N/mm ²]	δ_Y [mm]	δ_Y/D_g [%]
B	15,83	1,73	0,25	-	0,56⁽²⁾	0,31
C	23,71	1,74	0,15	0,0065	0,53⁽²⁾	0,30
D	25,03	1,76	0,14	-	0,54⁽²⁾	0,30
1	24,43	1,74	0,14	-	0,53⁽²⁾	0,29
2	26,20	1,78	0,13	-	0,54⁽²⁾	0,30
3	26,36	1,79	0,13	-	0,54⁽²⁾	0,30
4	24,29	1,75	0,14	-	0,53⁽²⁾	0,30
5	20,63	1,69	0,17	-	0,52⁽²⁾	0,29
E	15,93	1,57	0,22	-	0,50⁽²⁾	0,28
F	15,78	1,58	0,22	0,0092	0,51⁽²⁾	0,28
6	12,73	1,51	0,27	0,0092	0,50⁽²⁾	0,28
G	10,63	1,51	0,34	-	0,52⁽²⁾	0,29
7	7,48	1,86	0,71	-	0,72⁽²⁾	0,40

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (1)$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 72,70^3}{350 \cdot 259,34}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,r} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (2)$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_{n,r} + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) / (1 + \sin \varphi) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 72,70^3}{350 \cdot 259,34}$$

Toelaatbare deflectie = $8\% \cdot D_g = 0,08 \cdot 145,40 = \mathbf{11,63}$ 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]
B	6,50	69,79	29,76	49,78	78,33	28,85
C	9,70	103,30	44,05	73,67	115,93	28,85
D	10,10	109,77	46,81	78,29	123,19	28,85
1	10,00	106,86	45,57	76,21	119,92	28,85
2	10,50	115,48	49,24	82,36	129,60	28,85
3	10,50	116,23	49,56	82,90	130,44	28,85
4	9,90	106,17	45,27	75,72	119,15	28,85
5	8,70	88,31	37,66	62,99	99,11	28,85
E	7,20	65,59	27,97	46,78	73,61	28,85
F	7,10	64,76	27,62	46,19	72,68	28,85
6	6,00	51,49	21,96	36,72	57,79	28,85
G	5,00	43,00	18,34	30,67	48,26	28,85
7	2,80	34,75	14,82	24,78	38,99	28,85

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

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

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

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

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

Locatie	Q [-]	$R_{p,\text{max}}$ [m]	u [N/mm ²]	p_{st} [N/mm ²]	Δp [N/mm ²]	p_{lim} [N/mm ²]
B	0,00099	2,14	0,0413	0,04659	0,00	1,02
C	0,0015	1,76	0,0689	0,07773	0,01	1,32
D	0,0016	1,70	0,0687	0,07750	0,01	1,37
1	0,0015	1,73	0,0685	0,07728	0,01	1,35
2	0,0016	1,66	0,0686	0,07739	0,01	1,41
3	0,0016	1,66	0,0686	0,07739	0,01	1,42
4	0,0015	1,73	0,0687	0,07750	0,01	1,34
5	0,0013	1,90	0,0690	0,07784	0,02	1,20
E	0,00093	2,20	0,0683	0,07705	0,02	1,01
F	0,00092	2,22	0,0689	0,07773	0,02	1,00
6	0,00073	2,49	0,0600	0,06769	0,02	0,86
G	0,00061	2,50	0,0500	0,05641	0,02	0,77
7	0,00049	1,40	0,0092	0,01038	0,02	0,64

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

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

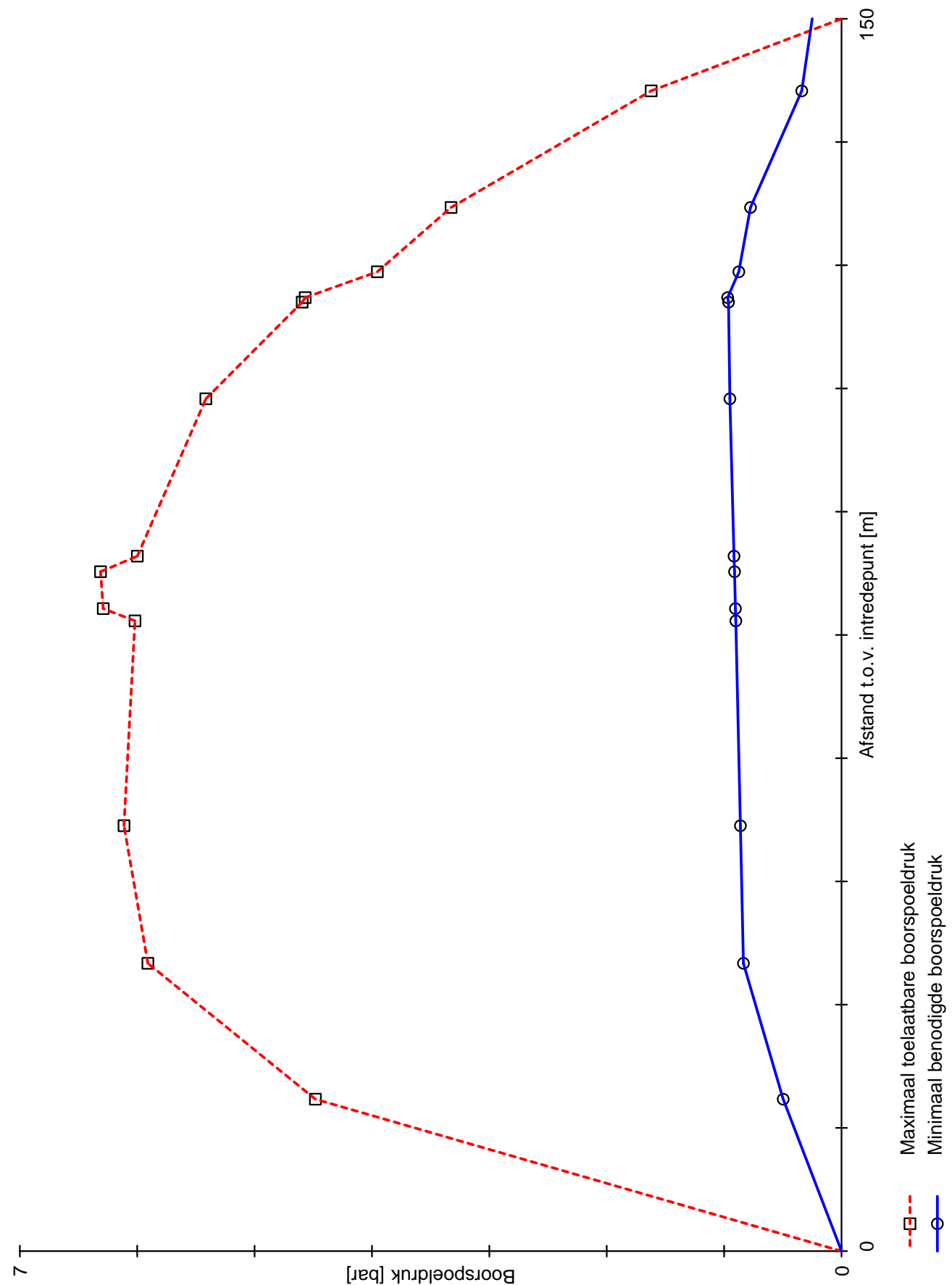
$$\Delta p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$$

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

Locatie	p _{max} [kPa]	90% p _{lim} [kPa]	p _{min} [kPa]	p _{max} [bar]	90% p _{lim} [bar]	p _{min} [bar]
B	448,19	914,80	49,67	4,48	9,15	0,50
C	590,91	1.187,95	83,55	5,91	11,88	0,84
D	611,26	1.232,10	86,11	6,11	12,32	0,86
1	601,87	1.212,09	90,03	6,02	12,12	0,90
2	628,94	1.270,36	90,39	6,29	12,70	0,90
3	631,25	1.275,33	91,13	6,31	12,75	0,91
4	599,89	1.207,56	91,56	6,00	12,08	0,92
5	541,52	1.081,29	95,08	5,42	10,81	0,95
E	459,44	905,13	96,25	4,59	9,05	0,96
F	456,88	898,86	97,02	4,57	8,99	0,97
6	395,38	777,38	87,50	3,95	7,77	0,87
G	332,63	690,11	77,52	3,33	6,90	0,78
7	162,15	571,66	33,85	1,62	5,72	0,34

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

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



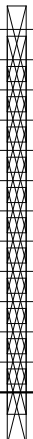
Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2018 1.0 ©
Algemene gegevens			
Naam van het project : Enexis HDD's 'Eiland van Bergen'			
Projectonderdeel : HDD4 Kerkstraat ø125 sdr11, ø160 sdr11 en 2x ø110 sdr11			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm²
Materiaalfactor	γ _M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	σ _t	= 8,00	N/mm²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm²
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/m³
Toelaatbare deflectie	δ	= 8	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 125,00	mm
Wanddikte	d _n	= 18,2	mm
Dikte bekleding	e	= 5	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Ontwerpdruk	p _d	= 0,8	N/mm²
Volumieke massa vloeistof	ρ	= 1000	kg/m³
Temperatuurverschil	Δ _t	= 10	°
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 100	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	ρ _m	= 11,5	kN/m³
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	= 425	mm
Diameter boorstang	D _b	= 63	mm
Totale lengte	L	= 150,39	m
Lengte 1e rechte deel	L ₁	= 18,54	m
Lengte neergaande bocht	L ₂	= 16,58	m
Lengte 2e rechte deel	L ₃	= 81,24	m
Lengte opgaande bocht	L ₄	= 11,00	m
Lengte 3e rechte deel	L ₅	= 23,03	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R _r	= 50,00	m
Straal neergaande bocht	R ₁	= 50,00	m
Straal opgaande bocht	R ₂	= 35,00	m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	α ₁	= 19,00 / 34,43	° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	α ₂	= 18,00 / 32,49	° / %
Belastinghoek	α	= 30	°
Ondersteuningshoek	β	= 30	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
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. met rollenbaan	f ₁	= 0,1	
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	f ₂	= 0,00005	N/mm²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	f ₃	= 0,2	
2018-001 Enexis HDD's 'Eiland van Bergen'			
09-04-2018 16:02:12			

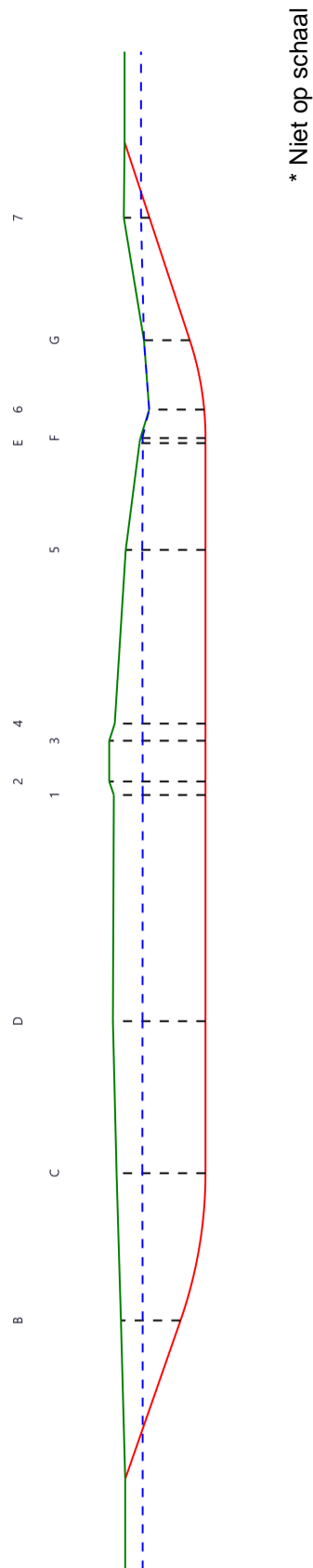
Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.0 ©

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 [°]
B	18,54	6,50	2,37	Zand	16,24	20,27	35,00
C	35,12	9,70	2,81	Zand	16,04	20,95	35,00
D	51,91	10,10	3,23	Zand	16,39	20,87	35,00
1	76,91	10,00	3,15	Zand	16,33	20,65	35,00
2	78,41	10,50	3,64	Zand	16,58	20,72	35,00
3	82,91	10,50	3,64	Zand	16,58	20,84	35,00
4	84,81	9,90	3,03	Zand	16,21	20,85	35,00
5	104,01	8,70	1,80	Zand	16,21	20,85	35,00
E	115,81	7,20	0,37	Zand	18,53	20,56	35,00
F	116,36	7,10	0,21	Zand	19,33	20,75	35,00
6	119,51	6,00	0,00	Zand	0,00	20,44	35,00
G	127,36	5,00	0,00	Zand	0,00	20,46	35,00
7	141,59	2,80	1,88	Zand	15,48	20,91	35,00

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Hor. steun- druk	Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm ³]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
B	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
C	Homogeen (zand)		0,0320	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
D	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
1	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
2	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
3	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
4	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
5	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
E	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
F	Homogeen (zand)		0,0320	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
6	Homogeen (zand)		0,0320	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
G	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
7	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II



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

Sigma 2018 1.0 ©

2. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 88,60	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 106,80	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 135,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 62,50	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 44,30	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 53,40	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 8.959.368,34	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 143.349,89	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 502,38	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 55,21	mm ³ /mm ¹
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 6.106,50	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,0583	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	$g = 0,0583 \text{ N/mm}^1$	$g = 0,0583 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,0583 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,0583 \text{ N/mm}^1$

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	150,39	1.579
Na 1 ^e deel intrekken	127,36	1.337
Na 2 ^e deel intrekken	116,36	1.221
Na 3 ^e deel intrekken	35,12	369
Na 4 ^e deel intrekken	18,54	195

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,0583 \cdot 0,1$$

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	1.579	0,26
Na 1 ^e deel intrekken	1.337	0,22
Na 2 ^e deel intrekken	1.221	0,20
Na 3 ^e deel intrekken	369	0,06
Na 4 ^e deel intrekken	195	0,03

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{6.106,50}$$

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

Sigma 2018 1.0 ©

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{8.959.368}{50.000} = 192.178,45 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{192.178,45}{143.350} = \mathbf{1,34 \text{ N/mm}^2}$$

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	0,26	1,13
Na 1 ^e deel intrekken	0,22	1,09
Na 2 ^e deel intrekken	0,20	1,07
Na 3 ^e deel intrekken	0,06	0,93
Na 4 ^e deel intrekken	0,03	0,90

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 1,34 + \sigma_t$$

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: $D_{e,omtrek} = 424,12 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,0583 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof: $g_{opw} = \rho_m \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 125,00^2 \cdot \pi/4 = 0,141 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,0828 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
1 ^e deel intrekken	23,03	1.566	-
2 ^e deel intrekken	34,03	-	2.313
3 ^e deel intrekken	115,27	7.836	-
4 ^e deel intrekken	131,85	-	8.963
Geheel ingetrokken	150,39	10.224	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (424,12 \cdot 0,00005 + 0,0828 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (424,12 \cdot 0,00005 + 0,0828 \cdot 0,2)$

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]
C	0,0033	50,0	0,0051	471
F	0,0033	35	0,0074	674
6	0,0033	35	0,0074	674

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

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

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 135 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

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

Sigma 2018 1.0 ©

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

Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_{3a} [N]	$T_{3b, \text{neer}}$ [N]	$T_{3b, \text{op}}$ [N]	T_{bocht} [N]
Neergaande bocht	1.221	2.313	471	-	4.006
Opgaande bocht	195	8.963	471	674	10.303

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

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

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N]
Neergaande bocht	9,50	4.006	476
Opgaande bocht	9,00	10.303	1.224

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

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

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

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

5.5 Totalisatie van de trekkkrachten in fase II

Trekkraft T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 / T_{3a} [N]	$T_{3b, \text{neer}}$ [N]	$T_{3c, \text{neer}}$ [N]	$T_{3b, \text{op}}$ [N]	$T_{3c, \text{op}}$ [N]	T_{tot} [N]
1 ^e deel intrekken	1.337	1.566	-	-	-	-	2.903
2 ^e deel intrekken	1.221	2.313	471	476	-	-	4.482
3 ^e deel intrekken	369	7.836	471	476	-	-	9.152
4 ^e deel intrekken	195	8.963	471	476	674	1.224	11.940
Geheel intrekken	0	10.224	471	476	674	1.224	13.005

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

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

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]
1 ^e deel intrekken	2.903	0,48
2 ^e deel intrekken	4.482	0,73
3 ^e deel intrekken	9.152	1,50
4 ^e deel intrekken	11.940	1,96
Geheel intrekken	13.005	2,13

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{6.106,50}$$

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

Sigma 2018 1.0 ©

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

5.7.1 Neergaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{8.959.368,34}{0,9 \cdot 50.000} = 271.767,51 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{271.767,51}{143.349,89} = \mathbf{1,90 \text{ N/mm}^2}$$

5.7.2 Opgaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{8.959.368,34}{0,9 \cdot 35.000} = 388.239,29 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{388.239,29}{143.349,89} = \mathbf{2,71 \text{ N/mm}^2}$$

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	2.903	0,48	-	0,48
Na 1 ^e deel intrekken	4.482	0,73	1,90	1,97
Na 2 ^e deel intrekken	9.152	1,50	-	1,50
Na 3 ^e deel intrekken	11.940	1,96	2,71	3,72
Na 4 ^e deel intrekken	13.005	2,13	-	2,13

$$\text{Rechte delen: } \sigma_a = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{6.106,50} = \sigma_t$$

$$\text{Gebogen delen: } \sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot \sigma_b + \sigma_t$$

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

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

Sigma 2018 1.0 ©

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

$$D_g/d_n = 106,80/18,20 = 5,87 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow \text{Dikwandige leiding}$$

$$\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$$

$$\sigma_p = \frac{62,50^2 + 44,30^2}{62,50^2 - 44,30^2} \cdot 0,8 = 2,42 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{y1} = \sigma_p = 2,42 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 2,42 = 0,97 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$$

6.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

$$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w} \right)$$

$$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot 0,8 \cdot 53,4^3 \cdot 0,143}{975 \cdot 502,38} \right) = 0,93$$

6.3 Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

Locatie	h [m]	GWS [m]	γ' [kN/m ³]
B	6,50	2,37	14,33
C	9,70	2,81	14,38
D	10,10	3,23	14,58
1	10,00	3,15	14,37
2	10,50	3,64	14,68
3	10,50	3,64	14,77
4	9,90	3,03	14,43
5	8,70	1,80	13,95
E	7,20	0,37	13,02
F	7,10	0,21	13,07
6	6,00	0,00	12,48
G	5,00	0,00	12,51
7	2,80	1,88	15,70

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

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	8·B ₁ [m]	Q _n [N/mm ¹]	Q _{n,r} [N/mm ¹]
B	Homogeen (zand)	1,70	12,57	1,38 ⁽¹⁾
C	Homogeen (zand)	1,70	18,83	1,38 ⁽¹⁾
D	Homogeen (zand)	1,70	19,88	1,40 ⁽¹⁾
1	Homogeen (zand)	1,70	19,40	1,38 ⁽¹⁾
2	Homogeen (zand)	1,70	20,81	1,41 ⁽¹⁾
3	Homogeen (zand)	1,70	20,93	1,42 ⁽¹⁾
4	Homogeen (zand)	1,70	19,29	1,39 ⁽¹⁾
5	Homogeen (zand)	1,70	16,38	1,34 ⁽¹⁾
E	Homogeen (zand)	1,70	12,65	1,25 ⁽¹⁾
F	Homogeen (zand)	1,70	12,53	1,26 ⁽¹⁾
6	Homogeen (zand)	1,70	10,11	1,20 ⁽¹⁾
G	Homogeen (zand)	1,70	8,44	1,20 ⁽¹⁾
7	Homogeen (zand)	1,70	5,94	1,48 ⁽¹⁾

$$B_1 = \frac{1}{2} \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45^\circ - \frac{1}{2} \cdot \varphi) \geq R$$

$$K = 1 - \sin(\varphi)$$

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

Indien gereduceerde grondbelasting volgens berekeningswijze 'Homogeen (zand)': ($h \geq 8 \cdot B_1$):

$$Q_{n,r1} = \frac{B_1 \cdot (\gamma' - c/B_1)}{K \cdot \tan(\varphi)} \cdot (1 - e^{-\frac{K \cdot h \cdot \tan \varphi}{B_1}}) \cdot D_o \quad (1)$$

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]
B	6,50	Grafiek ½ x II	1,46	0,20
C	9,70	Grafiek ½ x II	0,87	0,12
D	10,10	Grafiek ½ x II	0,83	0,11
1	10,00	Grafiek ½ x II	0,84	0,11
2	10,50	Grafiek ½ x II	0,78	0,11
3	10,50	Grafiek ½ x II	0,78	0,11
4	9,90	Grafiek ½ x II	0,85	0,11
5	8,70	Grafiek ½ x II	1,01	0,14
E	7,20	Grafiek ½ x II	1,28	0,17
F	7,10	Grafiek ½ x II	1,31	0,18
6	6,00	Grafiek ½ x II	1,61	0,22
G	5,00	Grafiek ½ x II	2,01	0,27
7	2,80	Grafiek ½ x II	4,15	0,56

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 135$$

6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	Hor. steun- druk	Q_n [N/mm ¹]	$Q_{n,r}$ [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_{boven} [N/mm ¹]	M_q [Nmm]	σ_q [N/mm ¹]
B		12,57	1,38	0,20	1,57	18,77 ⁽²⁾	0,32
C		18,83	1,38	0,12	1,50	17,89 ⁽²⁾	0,30
D		19,88	1,40	0,11	1,51	18,04 ⁽²⁾	0,31
1		19,40	1,38	0,11	1,49	17,82 ⁽²⁾	0,30
2		20,81	1,41	0,11	1,52	18,09 ⁽²⁾	0,31
3		20,93	1,42	0,11	1,52	18,19 ⁽²⁾	0,31
4		19,29	1,39	0,11	1,50	17,91 ⁽²⁾	0,30
5		16,38	1,34	0,14	1,48	17,61 ⁽²⁾	0,30
E		12,65	1,25	0,17	1,42	16,99 ⁽²⁾	0,29
F		12,53	1,26	0,18	1,43	17,09 ⁽²⁾	0,29
6		10,11	1,20	0,22	1,42	16,90 ⁽²⁾	0,29
G		8,44	1,20	0,27	1,47	17,56 ⁽²⁾	0,30
7		5,94	1,48	0,56	2,04	24,34 ⁽²⁾	0,41

Indien horizontale steundruk: $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ (1)

$$M_q = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 53,40 - 0,143 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 53,40$$

$$M_q = K_b \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g$$
 (2)

$$M_q = 0,257 \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 53,40 - 0,143 \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 53,40$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 0,93 \cdot \frac{M_q}{55,21}$$

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

Locatie	R [m]	Q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
C	50,0	0,0051	0,14
F	35	0,0074	0,20
6	35	0,0074	0,20

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,179 \cdot Q_r \cdot 135 \cdot \frac{62,50}{55,21}$$

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

$$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$$

$$\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,00016 \cdot 975 = \mathbf{1,56 \text{ N/mm}^2}$$

7. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

$$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$$

$$S_N = 975 \cdot \frac{502,38}{106,8^3} = 0,402 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{402,09 \text{ kN/m}^2}$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = **2 kN/m²**

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

Sigma 2018 1.0 ©

8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$

Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$

$$p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot l_w}{D_g^3}$$

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 502,38}{106,80^3} = 7,66 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 502,38}{106,80^3} = 1,37 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **137,47** 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]
B	0,32	-	0,65	0,21
C	0,30	0,14	0,65	0,29
D	0,31	-	0,65	0,20
1	0,30	-	0,65	0,20
2	0,31	-	0,65	0,20
3	0,31	-	0,65	0,20
4	0,30	-	0,65	0,20
5	0,30	-	0,65	0,19
E	0,29	-	0,65	0,19
F	0,29	0,20	0,65	0,32
6	0,29	0,20	0,65	0,32
G	0,30	-	0,65	0,19
7	0,41	-	0,65	0,27

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_{pl} [N/mm ²]	σ_{ax} [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_x [N/mm ²]
B	0,97	1,56	-	-	2,53
C	0,97	1,56	1,90	0,65	3,76
D	0,97	1,56	-	-	2,53
1	0,97	1,56	-	-	2,53
2	0,97	1,56	-	-	2,53
3	0,97	1,56	-	-	2,53
4	0,97	1,56	-	-	2,53
5	0,97	1,56	-	-	2,53
E	0,97	1,56	-	-	2,53
F	0,97	1,56	2,71	0,65	4,29
6	0,97	1,56	2,71	0,65	4,29
G	0,97	1,56	-	-	2,53
7	0,97	1,56	-	-	2,53

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

Bochten: $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_A \cdot \sigma_b + \sigma_{ax}$

Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00}$ N/mm²
10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	$Q_{n,r}$ [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_r [N/mm ²]	δ_Y [mm]	δ_Y/D_g [%]
B	12,57	1,38	0,20	-	0,09⁽²⁾	0,068
C	18,83	1,38	0,12	0,0051	0,09⁽²⁾	0,065
D	19,88	1,40	0,11	-	0,09⁽²⁾	0,066
1	19,40	1,38	0,11	-	0,09⁽²⁾	0,065
2	20,81	1,41	0,11	-	0,09⁽²⁾	0,066
3	20,93	1,42	0,11	-	0,09⁽²⁾	0,066
4	19,29	1,39	0,11	-	0,09⁽²⁾	0,065
5	16,38	1,34	0,14	-	0,09⁽²⁾	0,064
E	12,65	1,25	0,17	-	0,08⁽²⁾	0,062
F	12,53	1,26	0,18	0,0074	0,08⁽²⁾	0,063
6	10,11	1,20	0,22	0,0074	0,08⁽²⁾	0,062
G	8,44	1,20	0,27	-	0,08⁽²⁾	0,064
7	5,94	1,48	0,56	-	0,12⁽²⁾	0,089

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (1)$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 53,40^3}{350 \cdot 502,38}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,r} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (2)$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_{n,r} + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) / (1 + \sin \varphi) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 53,40^3}{350 \cdot 502,38}$$

Toelaatbare deflectie = $8\% \cdot D_g = 0,08 \cdot 106,80 = \mathbf{8,54}$ 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]
B	6,50	69,79	29,76	49,78	78,33	28,85
C	9,70	103,30	44,05	73,67	115,93	28,85
D	10,10	109,77	46,81	78,29	123,19	28,85
1	10,00	106,86	45,57	76,21	119,92	28,85
2	10,50	115,48	49,24	82,36	129,60	28,85
3	10,50	116,23	49,56	82,90	130,44	28,85
4	9,90	106,17	45,27	75,72	119,15	28,85
5	8,70	88,31	37,66	62,99	99,11	28,85
E	7,20	65,59	27,97	46,78	73,61	28,85
F	7,10	64,76	27,62	46,19	72,68	28,85
6	6,00	51,49	21,96	36,72	57,79	28,85
G	5,00	43,00	18,34	30,67	48,26	28,85
7	2,80	34,75	14,82	24,78	38,99	28,85

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

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

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

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

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

Locatie	Q [-]	$R_{p,\text{max}}$ [m]	u [N/mm ²]	p_{st} [N/mm ²]	Δp [N/mm ²]	p_{lim} [N/mm ²]
B	0,00099	2,14	0,0413	0,04659	0,00	1,02
C	0,0015	1,76	0,0689	0,07773	0,01	1,32
D	0,0016	1,70	0,0687	0,07750	0,01	1,37
1	0,0015	1,73	0,0685	0,07728	0,01	1,35
2	0,0016	1,66	0,0686	0,07739	0,01	1,41
3	0,0016	1,66	0,0686	0,07739	0,01	1,42
4	0,0015	1,73	0,0687	0,07750	0,01	1,34
5	0,0013	1,90	0,0690	0,07784	0,02	1,20
E	0,00093	2,20	0,0683	0,07705	0,02	1,01
F	0,00092	2,22	0,0689	0,07773	0,02	1,00
6	0,00073	2,49	0,0600	0,06769	0,02	0,86
G	0,00061	2,50	0,0500	0,05641	0,02	0,77
7	0,00049	1,40	0,0092	0,01038	0,02	0,64

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

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

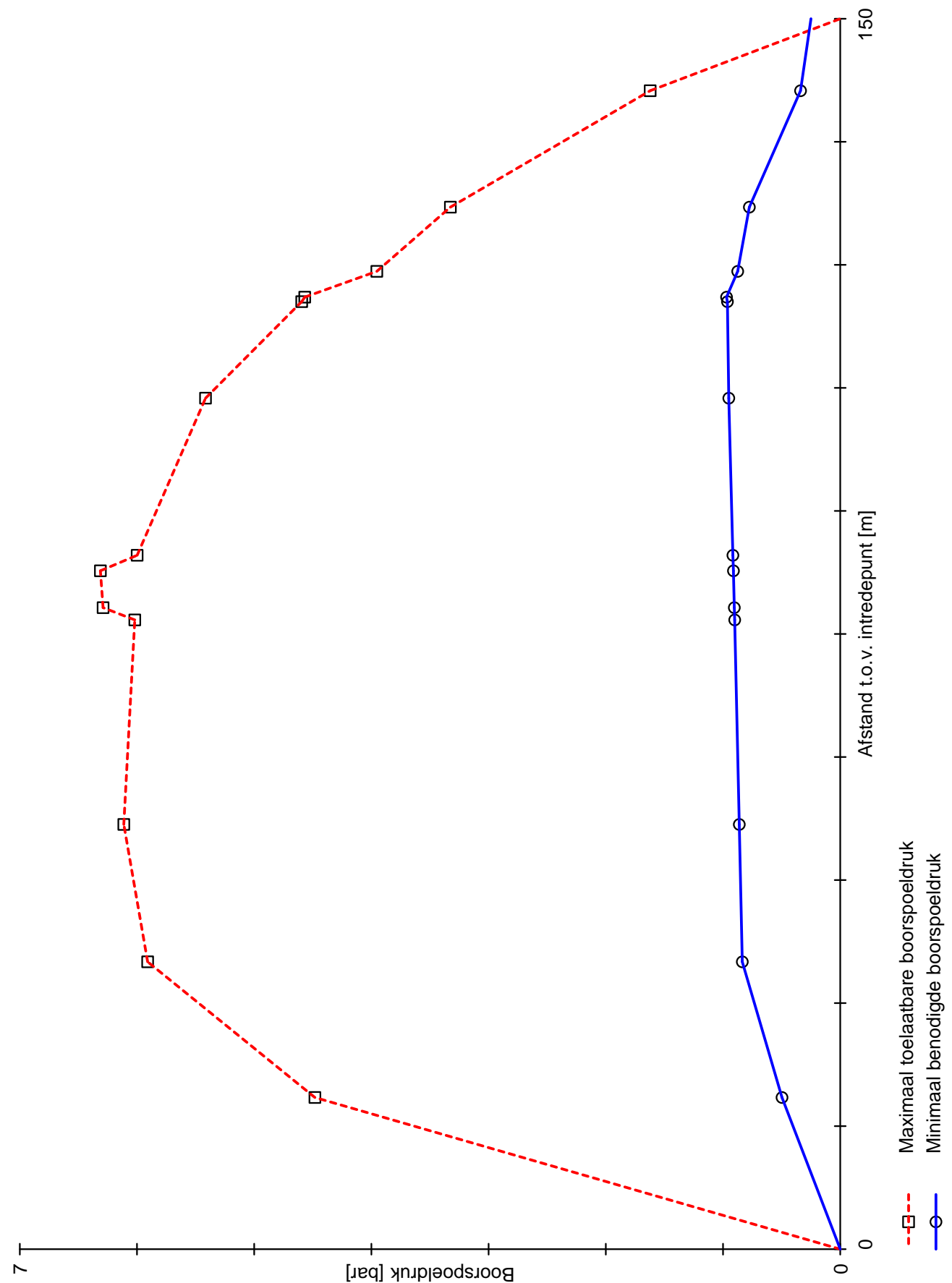
$$\Delta p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$$

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

Locatie	p _{max} [kPa]	90% p _{lim} [kPa]	p _{min} [kPa]	p _{max} [bar]	90% p _{lim} [bar]	p _{min} [bar]
B	448,19	914,80	49,67	4,48	9,15	0,50
C	590,91	1.187,95	83,55	5,91	11,88	0,84
D	611,26	1.232,10	86,11	6,11	12,32	0,86
1	601,87	1.212,09	90,03	6,02	12,12	0,90
2	628,94	1.270,36	90,39	6,29	12,70	0,90
3	631,25	1.275,33	91,13	6,31	12,75	0,91
4	599,89	1.207,56	91,56	6,00	12,08	0,92
5	541,52	1.081,29	95,08	5,42	10,81	0,95
E	459,44	905,13	96,25	4,59	9,05	0,96
F	456,88	898,86	97,02	4,57	8,99	0,97
6	395,38	777,38	87,50	3,95	7,77	0,87
G	332,63	690,11	77,52	3,33	6,90	0,78
7	162,15	571,66	33,85	1,62	5,72	0,34

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

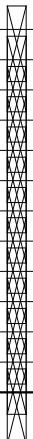
$$p_{\min} = p_{st} + \Delta p$$

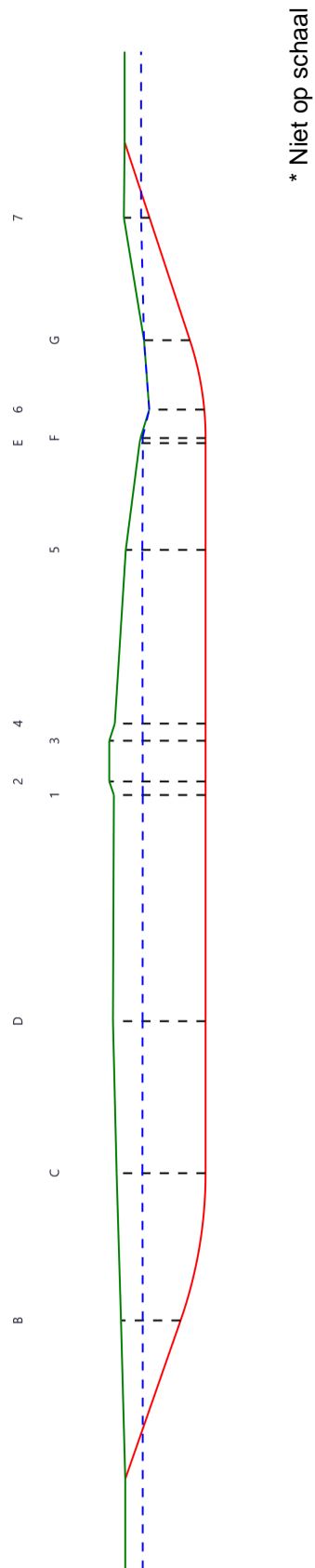


Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Enexis HDD's 'Eiland van Bergen'			
Projectonderdeel : HDD4 Kerkstraat ø125 sdr11, ø160 sdr11 en 2x ø110 sdr11			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm²
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm²
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/m³
Toelaatbare deflectie	δ	= 8	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 110,00	mm
Wanddikte	d _n	= 10	mm
Dikte bekleding	e	= 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/m³
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	= 425	mm
Diameter boorstang	D _b	= 63	mm
Totale lengte	L	= 150,39	m
Lengte 1e rechte deel	L ₁	= 18,54	m
Lengte neergaande bocht	L ₂	= 16,58	m
Lengte 2e rechte deel	L ₃	= 81,24	m
Lengte opgaande bocht	L ₄	= 11,00	m
Lengte 3e rechte deel	L ₅	= 23,03	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R _r	= 50,00	m
Straal neergaande bocht	R ₁	= 50,00	m
Straal opgaande bocht	R ₂	= 35,00	m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	α_1	= 19,00 / 34,43	° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	α_2	= 18,00 / 32,49	° / %
Belastinghoek	α	= 30	°
Ondersteuningshoek	β	= 30	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
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. met rollenbaan	f ₁	= 0,1	
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	f ₂	= 0,00005	N/mm²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	f ₃	= 0,2	
2018-001 Enexis HDD's 'Eiland van Bergen'			
			09-04-2018 16:09:40

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 [°]
B	18,54	6,50	2,37	Zand	16,24	20,27	35,00
C	35,12	9,70	2,81	Zand	16,04	20,95	35,00
D	51,91	10,10	3,23	Zand	16,39	20,87	35,00
1	76,91	10,00	3,15	Zand	16,33	20,65	35,00
2	78,41	10,50	3,64	Zand	16,58	20,72	35,00
3	82,91	10,50	3,64	Zand	16,58	20,84	35,00
4	84,81	9,90	3,03	Zand	16,21	20,85	35,00
5	104,01	8,70	1,80	Zand	16,21	20,85	35,00
E	115,81	7,20	0,37	Zand	18,53	20,56	35,00
F	116,36	7,10	0,21	Zand	19,33	20,75	35,00
6	119,51	6,00	0,00	Zand	0,00	20,44	35,00
G	127,36	5,00	0,00	Zand	0,00	20,46	35,00
7	141,59	2,80	1,88	Zand	15,48	20,91	35,00

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Hor. steun- druk	Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm ³]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
B	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
C	Homogeen (zand)		0,0320	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
D	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
1	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
2	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
3	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
4	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
5	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
E	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
F	Homogeen (zand)		0,0320	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
6	Homogeen (zand)		0,0320	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
G	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
7	Homogeen (zand)		-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II



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

Sigma 2018 1.0 ©

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	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 120,00	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	150,39	812
Na 1 ^e deel intrekken	127,36	688
Na 2 ^e deel intrekken	116,36	628
Na 3 ^e deel intrekken	35,12	190
Na 4 ^e deel intrekken	18,54	100

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,0300 \cdot 0,1$$

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	812	0,26
Na 1 ^e deel intrekken	688	0,22
Na 2 ^e deel intrekken	628	0,20
Na 3 ^e deel intrekken	190	0,06
Na 4 ^e deel intrekken	100	0,03

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{3.141,59}$$

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

Sigma 2018 1.0 ©

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.261}{50.000} = 85.076,29 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{85.076,29}{72.114} = \mathbf{1,18 \text{ N/mm}^2}$$

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	0,26	1,03
Na 1 ^e deel intrekken	0,22	0,99
Na 2 ^e deel intrekken	0,20	0,97
Na 3 ^e deel intrekken	0,06	0,83
Na 4 ^e deel intrekken	0,03	0,80

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 1,18 + \sigma_t$$

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

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

Sigma 2018 1.0 ©

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: $D_{e,omtrek} = 376,99 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof: $g_{opw} = \rho_m \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 110,00^2 \cdot \pi/4 = 0,109 \text{ N/mm}^1$

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	23,03	1.439	-
2 ^e deel intrekken	34,03	-	2.126
3 ^e deel intrekken	115,27	7.201	-
4 ^e deel intrekken	131,85	-	8.237
Geheel ingetrokken	150,39	9.395	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (376,99 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (376,99 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$
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]
C	0,0040	50,0	0,0036	248
F	0,0040	35	0,0052	355
6	0,0040	35	0,0052	355

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

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

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

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

Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_{3a} [N]	$T_{3b, \text{neer}}$ [N]	$T_{3b, \text{op}}$ [N]	T_{bocht} [N]
Neergaande bocht	628	2.126	248	-	3.003
Opgaande bocht	100	8.237	248	355	8.940

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

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

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N]
Neergaande bocht	9,50	3.003	357
Opgaande bocht	9,00	8.940	1.062

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

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

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

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

5.5 Totalisatie van de trekkkrachten in fase II

Trekkraft T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 / T_{3a} [N]	$T_{3b, \text{neer}}$ [N]	$T_{3c, \text{neer}}$ [N]	$T_{3b, \text{op}}$ [N]	$T_{3c, \text{op}}$ [N]	T_{tot} [N]
1 ^e deel intrekken	688	1.439	-	-	-	-	2.127
2 ^e deel intrekken	628	2.126	248	357	-	-	3.360
3 ^e deel intrekken	190	7.201	248	357	-	-	7.996
4 ^e deel intrekken	100	8.237	248	357	355	1.062	10.304
Geheel intrekken	0	9.395	248	357	355	1.062	11.362

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

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

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]
1 ^e deel intrekken	2.127	0,68
2 ^e deel intrekken	3.360	1,07
3 ^e deel intrekken	7.996	2,55
4 ^e deel intrekken	10.304	3,28
Geheel intrekken	11.362	3,62

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{3.141,59}$$

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

Sigma 2018 1.0 ©

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

5.7.1 Neergaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 50.000} = 120.309,91 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{120.309,91}{72.113,83} = \mathbf{1,67 \text{ N/mm}^2}$$

5.7.2 Opgaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 35.000} = 171.871,30 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{171.871,30}{72.113,83} = \mathbf{2,38 \text{ N/mm}^2}$$

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	2.127	0,68	-	0,68
Na 1 ^e deel intrekken	3.360	1,07	1,67	2,15
Na 2 ^e deel intrekken	7.996	2,55	-	2,55
Na 3 ^e deel intrekken	10.304	3,28	2,38	4,83
Na 4 ^e deel intrekken	11.362	3,62	-	3,62

$$\text{Rechte delen: } \sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{3.141,59} = \sigma_t$$

$$\text{Gebogen delen: } \sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot \sigma_b + \sigma_t$$

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

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

Sigma 2018 1.0 ©

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	h [m]	GWS [m]	γ' [kN/m ³]
B	6,50	2,37	14,33
C	9,70	2,81	14,38
D	10,10	3,23	14,58
1	10,00	3,15	14,37
2	10,50	3,64	14,68
3	10,50	3,64	14,77
4	9,90	3,03	14,43
5	8,70	1,80	13,95
E	7,20	0,37	13,02
F	7,10	0,21	13,07
6	6,00	0,00	12,48
G	5,00	0,00	12,51
7	2,80	1,88	15,70

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

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	$8 \cdot B_1$ [m]	Q_n [N/mm ¹]	$Q_{n,r}$ [N/mm ¹]
B	Homogeen (zand)	1,70	11,17	1,22 ⁽¹⁾
C	Homogeen (zand)	1,70	16,74	1,23 ⁽¹⁾
D	Homogeen (zand)	1,70	17,67	1,25 ⁽¹⁾
1	Homogeen (zand)	1,70	17,24	1,23 ⁽¹⁾
2	Homogeen (zand)	1,70	18,50	1,25 ⁽¹⁾
3	Homogeen (zand)	1,70	18,61	1,26 ⁽¹⁾
4	Homogeen (zand)	1,70	17,15	1,23 ⁽¹⁾
5	Homogeen (zand)	1,70	14,56	1,19 ⁽¹⁾
E	Homogeen (zand)	1,70	11,25	1,11 ⁽¹⁾
F	Homogeen (zand)	1,70	11,14	1,12 ⁽¹⁾
6	Homogeen (zand)	1,70	8,99	1,07 ⁽¹⁾
G	Homogeen (zand)	1,70	7,50	1,07 ⁽¹⁾
7	Homogeen (zand)	1,70	5,28	1,32 ⁽¹⁾

$$B_1 = \frac{1}{2} \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45^\circ - \frac{1}{2} \cdot \varphi) \geq R$$

$$K = 1 - \sin(\varphi)$$

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

Indien gereduceerde grondbelasting volgens berekeningswijze 'Homogeen (zand)': ($h \geq 8 \cdot B_1$):

$$Q_{n,r1} = \frac{B_1 \cdot (\gamma' - c/B_1)}{K \cdot \tan(\varphi)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{K \cdot h \cdot \tan \varphi}{B_1}}\right) \cdot D_o \quad (1)$$

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]
B	6,50	Grafiek ½ x II	1,46	0,17
C	9,70	Grafiek ½ x II	0,87	0,10
D	10,10	Grafiek ½ x II	0,83	0,10
1	10,00	Grafiek ½ x II	0,84	0,10
2	10,50	Grafiek ½ x II	0,78	0,09
3	10,50	Grafiek ½ x II	0,78	0,09
4	9,90	Grafiek ½ x II	0,85	0,10
5	8,70	Grafiek ½ x II	1,01	0,12
E	7,20	Grafiek ½ x II	1,28	0,15
F	7,10	Grafiek ½ x II	1,31	0,16
6	6,00	Grafiek ½ x II	1,61	0,19
G	5,00	Grafiek ½ x II	2,01	0,24
7	2,80	Grafiek ½ x II	4,15	0,50

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 120$$

6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	Hor. steun- druk	Q_n [N/mm ¹]	$Q_{n,r}$ [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_{boven} [N/mm ¹]	M_q [Nmm]	σ_q [N/mm ¹]
B		11,17	1,22	0,17	1,40	15,62 ⁽²⁾	0,94
C		16,74	1,23	0,10	1,33	14,89 ⁽²⁾	0,89
D		17,67	1,25	0,10	1,34	15,02 ⁽²⁾	0,90
1		17,24	1,23	0,10	1,33	14,83 ⁽²⁾	0,89
2		18,50	1,25	0,09	1,35	15,06 ⁽²⁾	0,90
3		18,61	1,26	0,09	1,35	15,14 ⁽²⁾	0,91
4		17,15	1,23	0,10	1,33	14,91 ⁽²⁾	0,89
5		14,56	1,19	0,12	1,31	14,66 ⁽²⁾	0,88
E		11,25	1,11	0,15	1,27	14,14 ⁽²⁾	0,85
F		11,14	1,12	0,16	1,27	14,23 ⁽²⁾	0,85
6		8,99	1,07	0,19	1,26	14,07 ⁽²⁾	0,84
G		7,50	1,07	0,24	1,31	14,62 ⁽²⁾	0,88
7		5,28	1,32	0,50	1,81	20,26 ⁽²⁾	1,22

Indien horizontale steundruk: $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ (1)

$$M_q = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 50,00 - 0,143 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 50,00$$

$M_q = K_b \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g$ (2)

$$M_q = 0,257 \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 50,00 - 0,143 \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 50,00$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{16,67}$$

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

Locatie	R [m]	Q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
C	50,0	0,0036	0,26
F	35	0,0052	0,37
6	35	0,0052	0,37

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,179 \cdot Q_r \cdot 120 \cdot \frac{55,00}{16,67}$$

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

$$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$$

$$S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100^3} = 0,0812 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,25 \text{ kN/m}^2}$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = **2 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]
B	0,94	-	0,65	0,61
C	0,89	0,26	0,65	0,75
D	0,90	-	0,65	0,59
1	0,89	-	0,65	0,58
2	0,90	-	0,65	0,59
3	0,91	-	0,65	0,59
4	0,89	-	0,65	0,58
5	0,88	-	0,65	0,57
E	0,85	-	0,65	0,55
F	0,85	0,37	0,65	0,79
6	0,84	0,37	0,65	0,79
G	0,88	-	0,65	0,57
7	1,22	-	0,65	0,79

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_{pl} [N/mm ²]	σ_{ax} [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	α_{σ} [-]	σ_x [N/mm ²]
B	0,00	0,00	-	-	0,00
C	0,00	0,00	1,67	0,65	1,08
D	0,00	0,00	-	-	0,00
1	0,00	0,00	-	-	0,00
2	0,00	0,00	-	-	0,00
3	0,00	0,00	-	-	0,00
4	0,00	0,00	-	-	0,00
5	0,00	0,00	-	-	0,00
E	0,00	0,00	-	-	0,00
F	0,00	0,00	2,38	0,65	1,55
6	0,00	0,00	2,38	0,65	1,55
G	0,00	0,00	-	-	0,00
7	0,00	0,00	-	-	0,00

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

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

Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00}$ N/mm²
10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	$Q_{n,r}$ [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_r [N/mm ²]	δ_Y [mm]	δ_Y/D_g [%]
B	11,17	1,22	0,17	-	0,40⁽²⁾	0,32
C	16,74	1,23	0,10	0,0036	0,38⁽²⁾	0,31
D	17,67	1,25	0,10	-	0,38⁽²⁾	0,31
1	17,24	1,23	0,10	-	0,38⁽²⁾	0,30
2	18,50	1,25	0,09	-	0,38⁽²⁾	0,31
3	18,61	1,26	0,09	-	0,39⁽²⁾	0,31
4	17,15	1,23	0,10	-	0,38⁽²⁾	0,31
5	14,56	1,19	0,12	-	0,37⁽²⁾	0,30
E	11,25	1,11	0,15	-	0,36⁽²⁾	0,29
F	11,14	1,12	0,16	0,0052	0,36⁽²⁾	0,29
6	8,99	1,07	0,19	0,0052	0,36⁽²⁾	0,29
G	7,50	1,07	0,24	-	0,37⁽²⁾	0,30
7	5,28	1,32	0,50	-	0,52⁽²⁾	0,42

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (1)$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,r} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (2)$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_{n,r} + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) / (1 + \sin \varphi) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33}$$

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]
B	6,50	69,79	29,76	49,78	78,33	28,85
C	9,70	103,30	44,05	73,67	115,93	28,85
D	10,10	109,77	46,81	78,29	123,19	28,85
1	10,00	106,86	45,57	76,21	119,92	28,85
2	10,50	115,48	49,24	82,36	129,60	28,85
3	10,50	116,23	49,56	82,90	130,44	28,85
4	9,90	106,17	45,27	75,72	119,15	28,85
5	8,70	88,31	37,66	62,99	99,11	28,85
E	7,20	65,59	27,97	46,78	73,61	28,85
F	7,10	64,76	27,62	46,19	72,68	28,85
6	6,00	51,49	21,96	36,72	57,79	28,85
G	5,00	43,00	18,34	30,67	48,26	28,85
7	2,80	34,75	14,82	24,78	38,99	28,85

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

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

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

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

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

Locatie	Q [-]	$R_{p,\text{max}}$ [m]	u [N/mm ²]	p_{st} [N/mm ²]	Δp [N/mm ²]	p_{lim} [N/mm ²]
B	0,00099	2,14	0,0413	0,04659	0,00	1,02
C	0,0015	1,76	0,0689	0,07773	0,01	1,32
D	0,0016	1,70	0,0687	0,07750	0,01	1,37
1	0,0015	1,73	0,0685	0,07728	0,01	1,35
2	0,0016	1,66	0,0686	0,07739	0,01	1,41
3	0,0016	1,66	0,0686	0,07739	0,01	1,42
4	0,0015	1,73	0,0687	0,07750	0,01	1,34
5	0,0013	1,90	0,0690	0,07784	0,02	1,20
E	0,00093	2,20	0,0683	0,07705	0,02	1,01
F	0,00092	2,22	0,0689	0,07773	0,02	1,00
6	0,00073	2,49	0,0600	0,06769	0,02	0,86
G	0,00061	2,50	0,0500	0,05641	0,02	0,77
7	0,00049	1,40	0,0092	0,01038	0,02	0,64

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

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

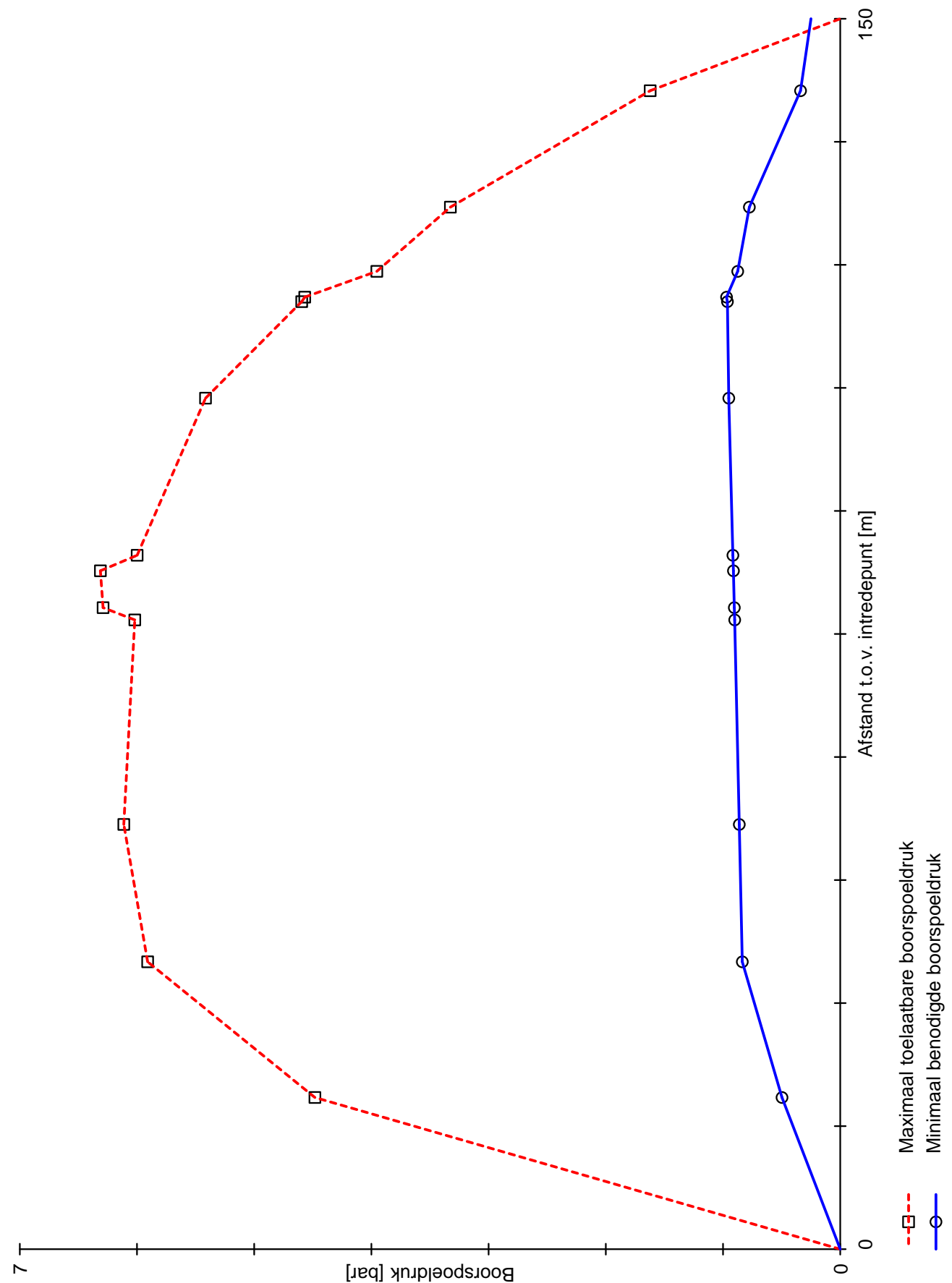
$$\Delta p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$$

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

Locatie	p _{max} [kPa]	90% p _{lim} [kPa]	p _{min} [kPa]	p _{max} [bar]	90% p _{lim} [bar]	p _{min} [bar]
B	448,19	914,80	49,67	4,48	9,15	0,50
C	590,91	1.187,95	83,55	5,91	11,88	0,84
D	611,26	1.232,10	86,11	6,11	12,32	0,86
1	601,87	1.212,09	90,03	6,02	12,12	0,90
2	628,94	1.270,36	90,39	6,29	12,70	0,90
3	631,25	1.275,33	91,13	6,31	12,75	0,91
4	599,89	1.207,56	91,56	6,00	12,08	0,92
5	541,52	1.081,29	95,08	5,42	10,81	0,95
E	459,44	905,13	96,25	4,59	9,05	0,96
F	456,88	898,86	97,02	4,57	8,99	0,97
6	395,38	777,38	87,50	3,95	7,77	0,87
G	332,63	690,11	77,52	3,33	6,90	0,78
7	162,15	571,66	33,85	1,62	5,72	0,34

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

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



Bijlage 6: Voorbeeld type boorrig

Vermeer D60x90



Merk	Vermeer
Type	D60x90
Lengte	780 cm
Breedte	220 cm
Hoogte	200 cm
Gewicht	9910 kg
Trekkkracht	27000 kg
Maximaal draaimoment	12000 Nm
Snelheid boormotor	190 RPM
Hogedruk bentoniet pomp	570 / 265 ltr per minuut
Boorstang	Firestick
Lengte boorstang	4,6 / 3,0 meter
Type motor	John Deere 6068I Tier 4
Vermogen motor	185 pk

Bijlage 7: V&G-gevaren voortvloeiend uit de omgeving van de bouwlocatie

V&G-gevaren voortvloeiend uit het ontwerp

Veiligheids- en gezondheidsgevaaren voortvloeiend uit de omgeving van de bouwlocatie

Omgevingsfactor	Activiteit	Arbo-Risico	Risico-oorzaak	Suggesties
Verkeerswegen	Alle	Lichamelijk letsel door aanrijding of botsing	Aanrijding, aanwezigheid van obstakels	Weg afsluiten voor doorgaand verkeer. Omleidingroutes en waarschuwingtekens aanbrengen voor verkeer. Lokaal gebonden verkeersmaatregelen treffen. Veiligheidsvesten.
Omwonenden, bezoekers, passanten en onbevoegden (inclusief (brom)fietzers)	Alle	Lichamelijk letsel door aanrijding, val, botsing, obstakels o.i.d.	Aanrijding, bouwverkeer, obstakels, sleuven, gaten, vallende voorwerpen	Alternatieve wandel- en fietsroutes. Afzetten of beschermen werklocaties / -stroken. Beveiliging inzetten. Verkeersmaatregelen treffen. (Brom)fietzers af laten stappen.
Kabels en leidingen van derden	Werkzaamheden nabij bestaande kabels en leidingen	Verstikking/ bedwelming, verdrinking, letsel door explosie, brand en elektrocutie	Beschadiging en/of breken van bestaande kabels en leidingen	Vrij laten schakelen kabels. Drukloos maken leidingen. Bestaande kabels en leidingen uit laten zetten. Proefsleuven maken. Kick-off meeting met betrokken kabel- en leidingeigenaren. Houden aan regels en voorschriften van betrokken kabel- en leidingeigenaren.
Sleuven / gaten	Graven en aanvullen sleuven en gaten Werken in de sleuf	Bedelving / verstikking	Inzakken sleuf of gat na graven	Opvolgen voorschriften van ISZW en "veilig werken in en om putten en sleuven" uitgegeven door de Veiligheids Informatiegroep "Bouw".
Bodemverontreinigingen	Graafwerkzaamheden en bemalingen	Vergiftiging / bedwelming	Blootstelling aan toxische stoffen	Stoppen werkzaamheden. Saneren. Ander tracé. Zuiveren bemalingswater. PBM's beschikbaar stellen.
Werken in de nabijheid van olieopslagtanks	Hot-work	Lichamelijk letsel door brand of explosie	Hot-work	Vergunning van het betreffende bedrijf. V&G overleg.
Kruisen watergang	Werkzaamheden nabij water	Verdrinking	Opkomend water, kwelwater, doorbreken dam / waterkering	Aanvullende maatregelen beheerder (HHS / WS) opvolgen. Weersverwachting. Pompen water. Zo nodig PBM's.
Grondwaterbeschermings-gebied	Werken met verontreinigende stoffen	Vergiftiging drinkwatervoorziening	Morsen	Volgen provinciale milieuverordening.
Overige				

Risico's en beheersmaatregelen door aannemer in te vullen

Veiligheids- en gezondheidsgevaaren voortvloeiend uit het ontwerp

Bouwfase	Activiteit	Arbo-Risico	Risico-oorzaak	Suggesties
Grondwerk	Graven en aanvullen sleuven en gaten	Bedelving	Inzakken sleuf of gat na graven	Opvolgen "Veilig werken in en om putten en sleuven" uitgegeven door veiligheids Informatiegroep "Bouw". Werkinstructie Ladders. Persoonlijke beschermingsmiddelen.
Boorwerk	HDD boorwerkzaamheden	Lichamelijk letsel, elektrocutie	Draaiende delen Beschadiging kabels en leidingen machines en apparatuur Bezwijken boorstangen	Keuring materieel en apparatuur. Voorlichting en instructie V&G. Persoonlijke beschermingsmiddelen. Gekwalificeerd personeel.
Hijswerk	Werken met kranen en andere hijswerktuigen	Vallende voorwerpen	Geraakt worden door vallende voorwerpen	Opvolgen voorschriften in publicatie AI 17. Dragen van veiligheidshelm en veiligheidsschoenen.
Overig				

Risico's en beheersmaatregelen door aannemer in te vullen

Bijlage 8: Drill-Sheet

Drill-Sheet			
Rig nummer	Fase	Project nr.	
Datum	O.D. Pilot	Projectlocatie	
Blad	O.D. Ruimer	Mudpomp type	

Blad	O.D. Ruimer	Mudpomp type
------	-------------	--------------

[illegible]