

2018-028-0003

Gestuurde boring te Amsterdam,
Parallel langs de Kattenburgerstraat en de
Mariniersburg, onder de Dijksgracht door

Versie 1.0, d.d. 14-03-2018



Opdrachtgever:
Waternet



Ontwerp gestuurde boring:
InfraDesk

Contactgegevens

Welvreugd B.V.
Burgerweg 2a
3155 DA Maasland

T 010 5918247
F 010 5926183
E info@welvreugd.nl

Voorwoord

InfraDesk is een dienstverlener die vergunningaanvragen verzorgt voor derden. De hiervoor gerealiseerde plannen, waaronder dit document, zijn zo zorgvuldig mogelijk samengesteld op basis van de aan InfraDesk verstrekte informatie. InfraDesk is niet aansprakelijk wanneer niet bekende zaken bij het uitvoeren van de werkzaamheden leiden tot schade of stagnatie van de werkzaamheden. Om dit te voorkomen dient de aannemer zich voor aanvang van de werkzaamheden te conformeren met het gerealiseerde plan en zelf een graafmelding te doen zoals is vastgelegd in de wet WION.

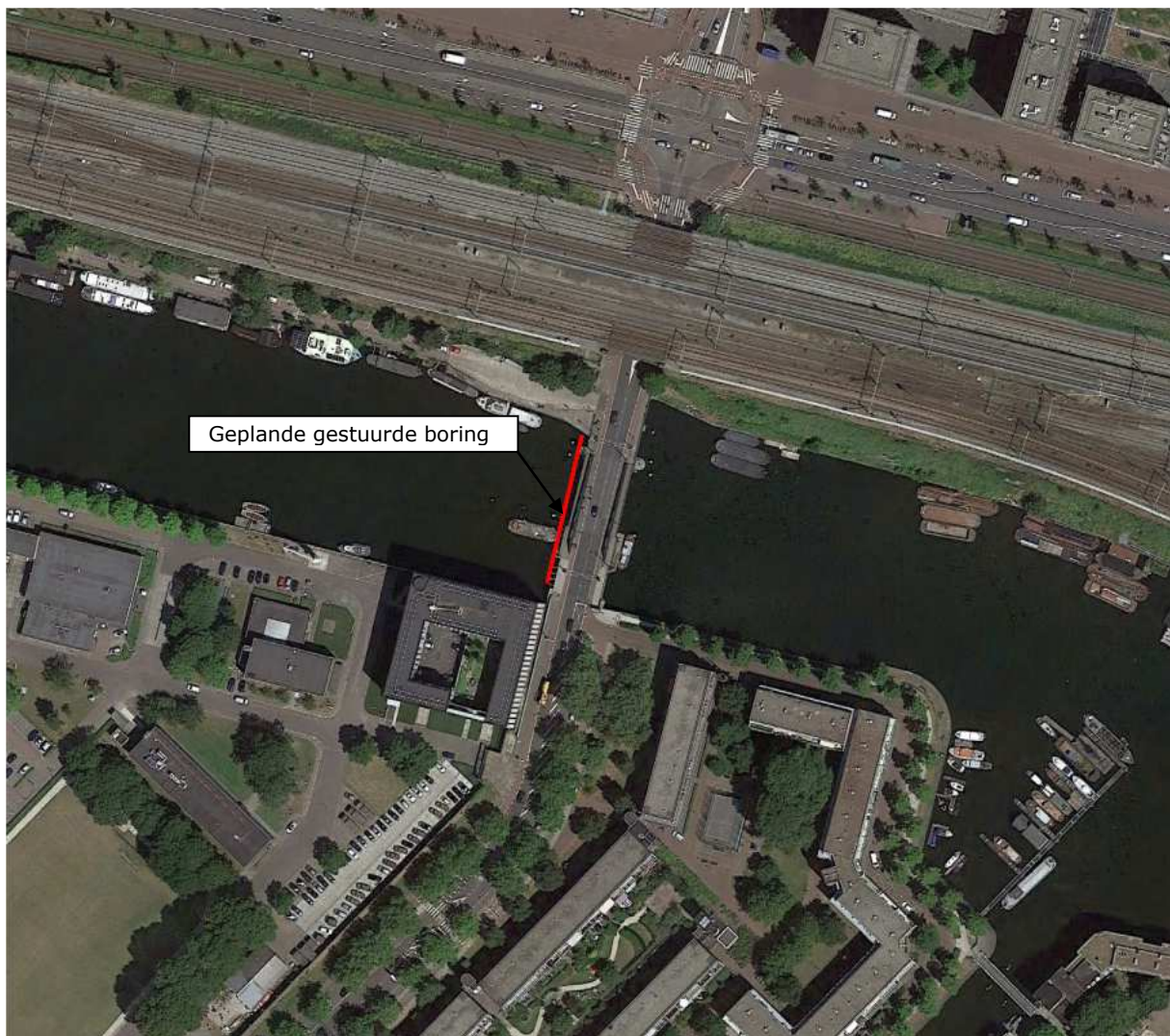
Inhoudsopgave

Voorwoord	1
Inhoudsopgave	2
1. Inleiding.....	3
2. Algemene omschrijving gestuurde boringen	4
3. Projectspecificaties	5
3.1 Belangrijke aspecten op dit project	5
3.2 Keuze boortracé en geometrie.....	5
3.3 Inrichten in- en uittredepunt	6
3.4 Personeel.....	6
3.5 Registratie en revisie.....	7
3.6 Geplande werktijd.....	7
4. Technische gegevens	8
4.1 Aan te brengen buis.....	8
4.2 Geometische gegevens.....	8
4.3 Plaatsbepaling	8
4.4 In te zetten materieel.....	9
5. Boorspoeling.....	10
5.1 Doel van boorspoeling	10
5.2 Het aanmaken van boorspoeling	10
5.3 Debieten en muddrukken.....	10
5.4 Registratie debieten en muddrukken	10
6. Beheersing kwelproblematiek.....	11
6.1 Kwel	11
6.2 Risico's en maatregelen	11
6.3 Maatregelen op dit project	11
BIJLAGE I Vergunningstekening	12
BIJLAGE II Bodemonderzoeken	13
BIJLAGE III Stijghoogte o.b.v. peilbuizen	18
BIJLAGE IV Sterkte- en muddrubberekeningen	22

1. Inleiding

Welvreugd Drilling is gevraagd om voor diverse bruggen in Amsterdam nieuwe aansluitingen te realiseren voor het automatiseren van de brugbediening. Als onderdeel van het project is het noodzakelijk om langs de betreffende bruggen nieuwe zinkers aan te brengen. In overleg met Waternet is er hierbij voor gekozen om dit te realiseren middels boogzinkers en gestuurde boringen.

Voor het automatiseren van de brugbediening van de Mariniersbrug is het noodzakelijk om een gestuurde boring aan te brengen parallel langs de westzijde van de brug. De brug is gelegen nabij de Kattenburgersingel te Amsterdam. De uitvoering hiervan zal worden verzorgd door Welvreugd Drilling. InfraDesk is gevraagd om voor dit project een boorplan op te stellen.



Afbeelding 1: Werklocatie

Een algemene omschrijving van de gestuurde boortechniek is weergegeven in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 3 zijn projectspecificaties omschreven. Hierin is onder andere uiteen gezet waarom het boortracé op deze wijze tot stand is gekomen en wat de aandachtspunten zijn voor dit project. Hoofdstuk 4 gaat in op de technische aspecten van dit project. Hierin is tevens omschreven welke type boormachine (rig) er op dit project kan worden ingezet. Hoofdstuk 5 geeft een omschrijving over de boorspoeling en hoofdstuk 6 gaat in op eventuele kwelproblematiek.

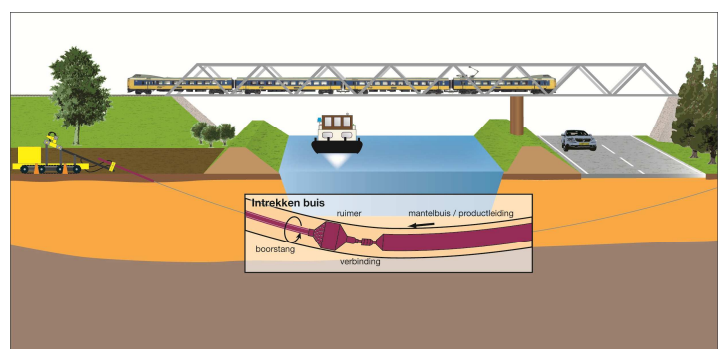
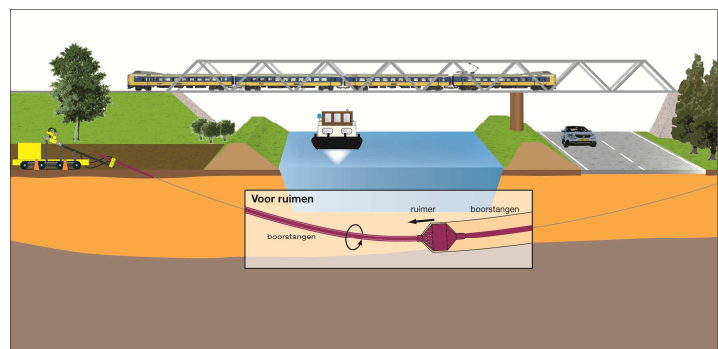
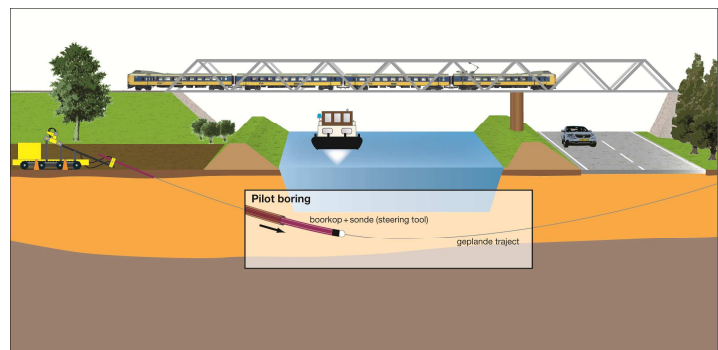
2. Algemene omschrijving gestuurde boringen

De gestuurde boorteknik, oftewel Horizontal Directional Drilling (HDD) onderscheidt zich van andere sleufloze technieken omdat de werkzaamheden plaatsvinden vanaf het maaiveld. Nadat de rig en de rest van het materieel is opgesteld wordt allereerst een pilotboring gemaakt. Hierbij zal de rig een boorstang van enkele meters lang met voorop een boorkop de grond in drukken. Vervolgens wordt de volgende boorstang hierachter aangekoppeld en wordt de streng verder in de grond gedrukt. Dit proces wordt herhaald totdat het geplande uittredepunt volgens een vooraf bepaald tracé is bereikt.

Het bepalen van de positie en bijsturen van het boorstreng gebeurt met de boorkop. Door deze in een geplande positie te roteren zet deze zich af tegen de grond en dwingt zichzelf hierdoor in een nieuwe richting. In de boorkop is een zender gemonteerd waarmee o.a. de positie en hellingshoek kunnen worden doorgegeven. Met deze gegevens is het mogelijk de huidige positie van de boorkop te bepalen en een nieuwe positie te plannen. Doordat de boorkop voorop de eerste boorstang is gemonteerd volgen de gekoppelde boorstangen in een streng de boorkop. Wanneer de boorkop het geplande uittredepunt heeft bereikt is pilotboring gereed.

Nadat de pilotboring gereed is kan er worden gestart met de ruimfase. Op de plaats van de boorkop wordt nu een ruimer gemonteerd. Een ruimer wordt gebruikt om het geboorde gat op te snijden tot een groter formaat. Dit proces wordt eventueel verschillende malen herhaald totdat het boorgat groot genoeg is voor de aan te brengen buis of buizen. De ruimfase wordt gerealiseerd doordat de rig de streng met aangekoppelde ruimer in een draaiende beweging naar zich toe trekt. Bij het uittredepunt worden achter de ruimer nieuwe boorstangen aangekoppeld. Hierdoor blijft er een streng van boorstangen in het geboorde gat aanwezig. Wanneer het boorgat tot het juiste formaat is opgesneden kan worden gestart met het intrekken van de buis.

Het intrekken van de buis (of buizen) gebeurt vanaf het uittredepunt. Omdat er bij het uitvoeren van de ruimfase achter de ruimer boorstangen zijn gekoppeld is er een streng van boorstangen aanwezig in het geruimde boorgat. Nabij het uittredepunt wordt nogmaals een ruimer gekoppeld met daarachter een swivel en vervolgens de in te trekken buis. De rig trekt nu de boorstangen met de ruimer en de buis naar zich toe. Wanneer de buis de rig heeft bereikt is de gestuurde boring gereed.



3. Projectspecificaties

3.1 Belangrijke aspecten op dit project

Het boortracé is gepland parallel langs de Kattenburgersingel en de Mariniersbrug, onder de Dijksgracht door te Amsterdam. De werklocatie is van tevoren geschouwd door Welvreugd Drilling. Daarnaast is overleg gevoerd met diverse betrokken partijen en er is bij het Kadaster een KLIC-melding (18O013944) gedaan. Uit dit vooronderzoek is gebleken dat er rekening moet worden gehouden met de onderstaande punten.

Om de werkzaamheden op de beoogde wijze uit te kunnen voeren is het noodzakelijk om de rig op te stellen op geschakelde pontons. De vrachtwagen met mengunit en de haspelwagen met aan te brengen buis kunnen op de wal worden opgesteld. Bij deze opstelling is het wel noodzakelijk om vooraf een RVV ontheffing aan te vragen en verkeersmaatregelen te treffen conform CROW publicatie 96b.

Bij het bestuderen van de Legger is op meerdere locaties een aanzienlijk verschil waargenomen tussen de theoretische bodemhoogte en de gepeilde bodemhoogte ter plaatse van nabij gelegen zinkers. Daarom is de bodemhoogte ter plaatse van de brug handmatig gecontroleerd en geprojecteerd op de vergunningstekening (zie: Bijlage I).

De input voor de sterkte- en muddrukberekeningen (zie: Bijlage IV) is gebaseerd op de bijgevoegde bodemonderzoeken (zie: Bijlage II). De grondwaterstand is ingeschat op basis van het waterpeil in de Dijksgracht, welke middels diverse GPS-metingen is vastgesteld op -0,40 meter N.A.P.

De gerealiseerde sterkteberekening geeft aan dat de aan te brengen buis geschikt is voor de geplande werkzaamheden. Uit de muddrukberekeningen blijkt dat ter plaatse van de berekende punten theoretisch over het algemeen voldoende marge wordt gehouden tussen de minimaal benodigde en maximaal toelaatbare muddruk. Uitzondering hierop vormt het berekende punt 'H', vlak voor het bereiken van het uittredepunt bij het realiseren van de pilotboring. Teneinde het risico op een blow-out zoveel mogelijk te beperken het noodzakelijk om tijdig de voortgangssnelheid en het pompdebiet zoveel mogelijk te reduceren.

Voor het aanmaken van boorspoeling wordt water gebruikt. Om te controleren of het oppervlaktewater hiervoor geschikt is moeten vooraf diverse waardes worden bepaald, bijvoorbeeld met behulp van teststrips en de Combo van Hanna Instruments (zie: Hoofdstuk 5.2). Wanneer hieruit blijkt dat het oppervlaktewater niet geschikt is dan kunnen eventueel additieven of een speciale boorspoeling worden toegepast. Als alternatief is het mogelijk om geschikt werkwater aan te voeren van elders.

3.2 Keuze boortracé en geometrie

De gestuurde boring is zoveel mogelijk ontworpen conform de vigerende NEN-normen en de eisen van Waternet. Eventuele afwijkingen hierop zijn gemotiveerd in Hoofdstuk 3.1.

Door de gekozen geometrie is het noodzakelijk om de pilotboring te realiseren met behulp van een walk-over meetsysteem. Bij dit meetsysteem kan de surveyor de boorkop m.b.v. een ontvanger vanaf het maaiveld of het water blijven volgen.

Het intredepunt is gekozen ten zuidwesten van de Mariniersbrug in verband met de beschikbare ruimte voor het opstellen van de pontons met de rig. Het uittredepunt komt hierdoor te liggen ten noordwesten van de Mariniersbrug.

De geometrie van het geplande boortracé is zo gekozen dat, rekening houdend met de bodemopbouw, met de juiste radii van de boorstangen, de aan te brengen buis en het gekozen meetsysteem de vereiste marge tot de te kruisen objecten kan worden gehaald.

3.3 Inrichten in- en uittredepunt

De bestaande ondergrondse infrastructuur is met behulp van de via het Kadaster verkregen graafmelding zo goed mogelijk in kaart gebracht en ter verduidelijking geprojecteerd op de vergunningstekening. Deze situatie is theoretisch en moet daarom worden beoordeeld als indicatief. Veiligheidshalve is het daarom noodzakelijk om de exacte ligging van bestaande kabels, leidingen en huisaansluitingen vooraf te controleren middels proefsleuven en visuele inspectie van (riool)putten. Hieruit kan blijken dat de geometrie of het exacte in- of uittredepunt enigszins moet worden aangepast.

De werkzaamheden zijn gepland in het centrum van Amsterdam, daarom is het noodzakelijk om vooraf een RVV ontheffing te verkrijgen. Bij het uitvoeren van de werkzaamheden moet rekening worden gehouden met verkeer en omstanders. Derhalve is het noodzakelijk om de werklocatie goed te markeren en verkeersmaatregelen te treffen conform CROW publicatie 96b.

Het intredepunt is gepland in het water ten zuidwesten van de Mariniersbrug. Om ter plaatse het intredepunt te kunnen realiseren is het noodzakelijk om de rig op te stellen op een vlot van gekoppelde pontons. De pontons kunnen zo worden gekoppeld dat er voldoende vrije ruimte is om hiertussen de stangen door te voeren. De rig moet hiervoor worden opgesteld tussen twee pontons in. Om te voorkomen dat de machine tussen de pontons in het water terecht kan komen zullen ten behoeve van overkluizing dragline-schotten worden neergelegd waarop de machine kan worden opgesteld. De vrachtwagen met mengunit kan worden opgesteld langs de Kattenburgerstraat in de directe omgeving van het intredepunt.

Het uittredepunt is gepland in het water ten noordwesten van de Mariniersbrug. Wanneer de boorstang de bodem heeft bereikt dan zullen de stangen worden doorgedrukt tot boven de waterlijn, zodat het mogelijk is om de ruimer en de mantelbuis aan te koppelen. De buis kan direct vanaf de haspelwagen worden ingetrokken. Om dit te kunnen realiseren is het wel noodzakelijk om de haspelwagen op te stellen op de kade in het verlengde van het uittredepunt.

3.4 Personeel

De inzet van personeel op de rig kan over het algemeen beperkt blijven tot een boormeester en één of twee assistenten. Hierbij is de taakverdeling als volgt:

- Boormeester, verantwoordelijk voor:
 - Bediening van de rig.
- Boorassistent, verantwoordelijk voor:
 - Koppelen van boorstangen;
 - Samenstellen van de boorspoeling;
 - Verzorgen meet- en revisiegegevens;
 - Pipehandling;
 - Hand- en spandiensten.

3.5 Registratie en revisie

Conform de vigerende NEN-normen is het noodzakelijk om bij iedere boorfase de voortgang van het proces te monitoren. Dit wordt gerealiseerd door het registreren van de onderstaande parameters:

- Positiebepalingen en –metingen;
- Debiet en druk van de boorvloeistof (aan de pomp/boorkop);
- Trekkkracht van de rig;
- Indien geëist de resultaten van monitoring, met de nul- en vervolgmeting.

3.6 Geplande werktijd

De onderstaande geplande werktijd is bepaald in overeenstemming met de ingeschatte voortgangssnelheid per fase. Hierbij is er vanuit gegaan dat eventuele verkeersmaatregelen zijn getroffen en dat de pontons met daarop de rig reeds in positie zijn gebracht. De planning kan afwijken afhankelijk van de ervaring en het materieel van de booraannemer. Daarnaast kan er door omstandigheden voor worden gekozen om in de praktijk een extra ruimfase toe te passen. Bij het realiseren van een gestuurde boring moeten de onderstaande fasen opvolgend worden uitgevoerd.

	Werkdag 1 (in uren)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Vorbereidende werkzaamheden								
Aanvoeren en opstellen materieel								
Controle graafmelding								
Pilotboring								
Ruimfase 1 (indien noodzakelijk)								
Intrekken van de bundel								
Afvoeren van het materieel								

Bij dit project zijn er voor de voortgangssnelheid van de verschillende fasen de volgende inschatting gemaakt:

- Voortgangssnelheid bij de pilotboring: ca. 30 tot 50 m/uur;
- Voortgangssnelheid bij de ruimfase(n): ca. 40 tot 60 m/uur;
- Voortgangssnelheid bij de intrekoperatie: ca. 40 tot 60 m/uur.

4. Technische gegevens

4.1 Aan te brengen buis

Type buis	: mantelbuis
Aantal	: 1 stuks
Diameter aan te brengen buis	: Ø125 mm
Wanddikte	: 11,4 mm (SDR11)
Kwaliteit	: PE100
Drukklasse	: PN16

4.2 Geometische gegevens

Lengte boortracé over maaiveld	: 48,82 m
Lengte boorprofiel langs de boorlijn	: 53,63 m
Intredehoek	: 30,0° (= 57,7%)
Uittredehoek	: 35,0° (= 70,0%)
Neergaande verticale boogstraal	: 30 m
Opgaande verticale boogstraal	: 30 m
Horizontale boogstraal	: n.v.t.
Gecombineerde boogstralen	: n.v.t.
Diepste punt gestuurde boring	: -10,23 m N.A.P.
Diameter te gebruiken ruimer	: Ø170 mm

4.3 Plaatsbepaling

Uit het schouwen van de werklocatie is gebleken dat de gestuurde boring kan worden uitgevoerd met een walk-over meetsysteem. Bij dit meetsysteem wordt er een zender in de boorkop gemonteerd. Deze zender kan met een ontvanger vanaf het maaiveld worden gevolgd door de surveyor. De door de surveyor verzamelde gegevens worden hierna doorgegeven aan de boormeester. De zender geeft de volgende gegevens door:

- Diepte;
- Helling;
- Klokstand;
- Richting;
- Temperatuur van de zender;
- Batterijstatus.

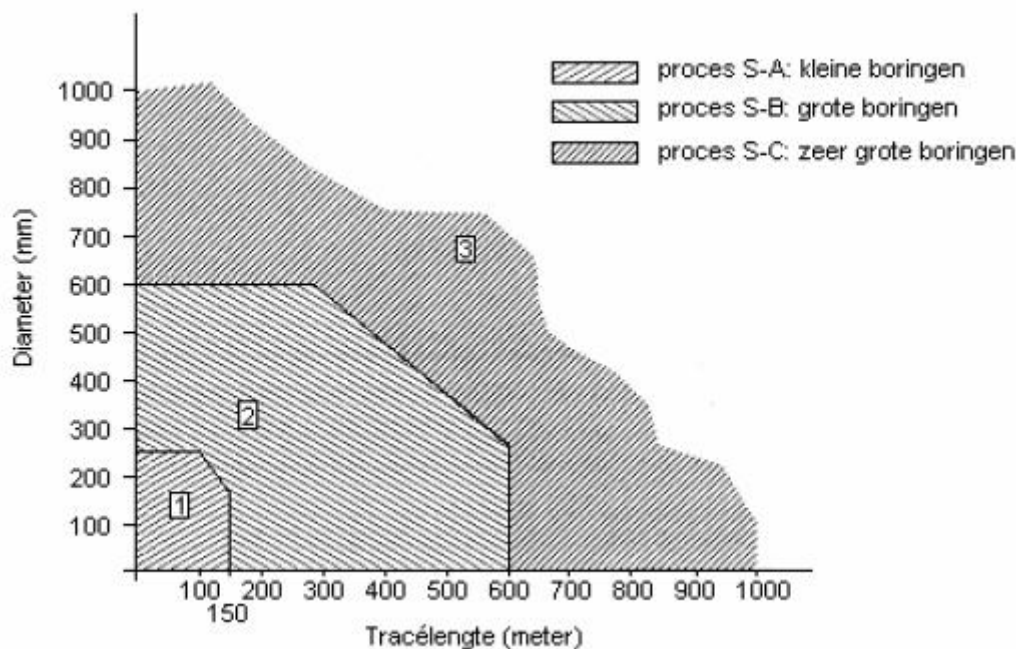
Dit meetsysteem is gevoelig voor storing door omgevingsinvloeden. Voorbeelden hiervan zijn kabels, leidingen en staal of beton in de ondergrond. Daarnaast wordt het meetsysteem minder nauwkeurig naar mate de boorkop dieper onder het maaiveld komt. In de meetgegevens dient daarom een tolerantie te worden aangehouden van 0,5 meter links en rechts van de boorlijn.

4.4 In te zetten materieel

De rigs kunnen in drie typen worden onderscheiden. De onderverdeling hierin is gebaseerd op trekkracht:

- Mini rigs (<12 ton);
- Midi rigs (>12 en <80 ton);
- Maxi rigs (>80 ton).

Het CKB heeft een leidraad opgesteld voor welke type rig en moet worden toegepast op een bepaald project. Deze is gebaseerd op de lengte van de gestuurde boring en de diameter van de aan te brengen buis.



Afbeelding 2: Indeling rigs volgens CKB-regeling

De CKB-regeling geeft aan dat er onder bepaalde omstandigheden aanleiding kan zijn om van de indeling af te wijken. Voorbeelden hiervan zijn:

- Aard en omvang van het te kruisen object;
- Grondslag;
- Leidingmateriaal;
- Diepte;
- Detectiemethode van de zender in de boorkop;
- Risico in geval van schades.

Dit project is conform de CKB-regeling nét gecategoriseerd als een kleine gestuurde boring, welke uitgevoerd kan worden met een grote mini rig of eventueel een kleine midi rig. Op dit project is er geen aanleiding om van de CKB regeling af te wijken. Wel is door de grote intredehoek (30,0°) slechts een beperkt aantal rigs geschikt voor het realiseren van deze gestuurde boring.

Uit de sterkteberekening (zie: Bijlage IV) kan worden geconcludeerd dat de gekozen rig in totaal minimaal 5,28 kN (0,53 ton) trekkracht moet kunnen genereren. In verband met onvoorziene omstandigheden adviseert InfraDesk om hierin een ruime marge te nemen.

5. Boorspoeling

5.1 Doel van boorspoeling

Bij het uitvoeren van gestuurde boringen wordt gebruik gemaakt van bentoniet. Dit is een natuurlijk soort klei, dat als droge stof op de werklocatie wordt aangevoerd. In de mengunit van de boorinstallatie wordt de bentoniet vermengd met water tot de gewenste viscositeit. Dit mengsel wordt tijdens alle fasen van het boorproces gebruikt. De specifieke eigenschappen van bentoniet zorgen gedurende het boorproces voor:

- Het lossputten van de grond ter plaatse van de boorkop;
- Het afdrijven van losgespoten of losgesneden gronddelen;
- Het afpleisteren van de grond rondom het boorgat;
- Het stabiliseren van het boorgat;
- Het koel houden van de streng en zender in de boorkop;
- Smering bij het intrekken van de in te trekken buis;
- Opvullen van de oversnijding na het intrekken van de buis.

5.2 Het aanmaken van boorspoeling

Bentoniet is een droge stof die met water tot boorspoeling (mud) wordt vermengd. De eigenschappen van het te gebruiken water zijn bepalend voor een juiste werking van de Bentoniet. De eigenschappen van het water kunnen worden gecontroleerd met behulp van bijvoorbeeld teststrips en de Combo van Hanna Instruments.

Bij voorkeur heeft het water de volgende waarden: pH (zuurgetal) $< 7 < 9,5$, CA (hardheid) < 100 ppm, Cl (geleidbaarheid) < 1000 μ S. Desgewenst zijn het zuurgetal en de hardheid met polymeren aan te passen, zodat het water indien nodig bruikbaar kan worden gemaakt. De geleidbaarheid is niet te beïnvloeden. Wanneer het getal hoger is dan 1000 μ S, dan zal er meer Bentoniet nodig zijn dan de standaard formulering. Bentoniet is in dat geval minder viskeus en zal flocculeren. Onder deze omstandigheden wordt aanbevolen of een andere (speciale) boorspoeling toe te passen, of werkwatervan te voeren van elders.

5.3 Debieten en muddrukken

De boorspoeling wordt onder druk via de boorkop of de ruimers in de grond gespoten. Bij een mini rig of midi rig varieert het debiet van de pomp doorgaans tussen de 10 en 120 l/min. Het debiet is afhankelijk van de verschillende boorfasen en grondsamenstelling. Om te voorkomen dat het debiet te hoog is en de mud door de ondergrond het maaiveld bereikt (blow-out) zijn er muddrukberekeningen uitgevoerd. Hierin is de minimaal benodigde muddruk vergeleken met de maximaal toelaatbare muddruk. Om blow-outs te voorkomen dient de minimaal benodigde muddruk altijd kleiner te zijn dan de maximaal toelaatbare muddruk. In de meeste gevallen is de pilotboring maatgevend, omdat het uitstromen van de boorspoeling slechts aan één kant mogelijk is. Nabij het in- en uittredepunt is het risico op een blow-out het grootst vanwege de geringe dekking tot het maaiveld. Door het debiet, pompdruk en voortgangssnelheid hier zoveel mogelijk te reduceren wordt het risico op een blow-out zoveel mogelijk beperkt.

5.4 Registratie debieten en muddrukken

Conform de vigerende NEN-normen dient gedurende het boorproces het pompdebet en de heersende muddruk bij de mudpomp en de boorkop te worden geregistreerd. Hierbij kan de muddruk bij de boorkop worden bepaald op basis van de druk bij de mudpomp, minus de optredende verliezen door weerstand in slangen, boorstreng en nozzles.

6. Beheersing kwelproblematiek

6.1 Kwel

Tijdens het boorproces wordt grond verwijderd en wordt de oversnijding tussen het boorgat en de aangebrachte buis opgevuld door de boorspoeling. De grondspanning rondom het boorgat zal hierdoor veranderen. Nadat de gestuurde boring gereed is wordt er een nieuw spanningsevenwicht gevormd tussen de achtergebleven boorspoeling en de grond er omheen. Dit gebeurt doordat het water langzaam uit de boorspoeling wordt geperst. Daarnaast kan met name in situaties met relatief zout grondwater de bentoniet na verloop van tijd gaan uitvlokken, waardoor zelfs holle ruimten in het boorgat ontstaan. Door het veranderen van grondspanning of het ontstaan van holle ruimten kan grondwater (kwel) gaan stromen. Een kwelstroom kan optreden bij een waterstandverschil tussen het in- en uittredepunt. Daarbij moeten niet alleen het open waterpeil, polderpeilen en de freatische grondwaterstand worden beschouwd, maar ook de stijghoogte (potentiaal) van het diepe grondwater.

6.2 Risico's en maatregelen

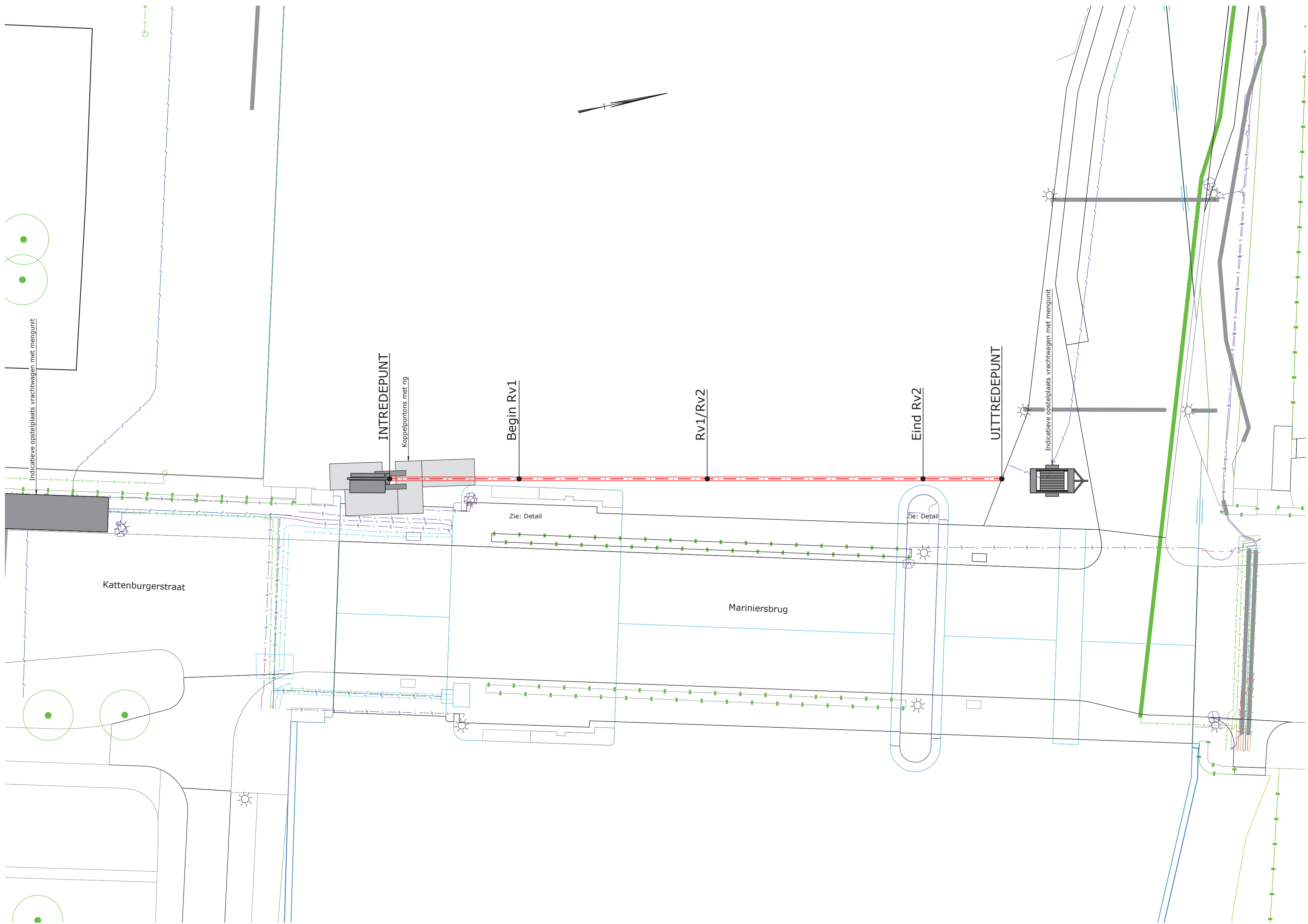
Het onverwachts ontstaan van kwel leidt tot overlast en moet daarom worden voorkomen. In het algemeen kan een eventuele kwelstroom worden gestopt door het gebruik van Drillgrout of het plaatsen van kleikisten met kwelschermen.

6.3 Maatregelen op dit project

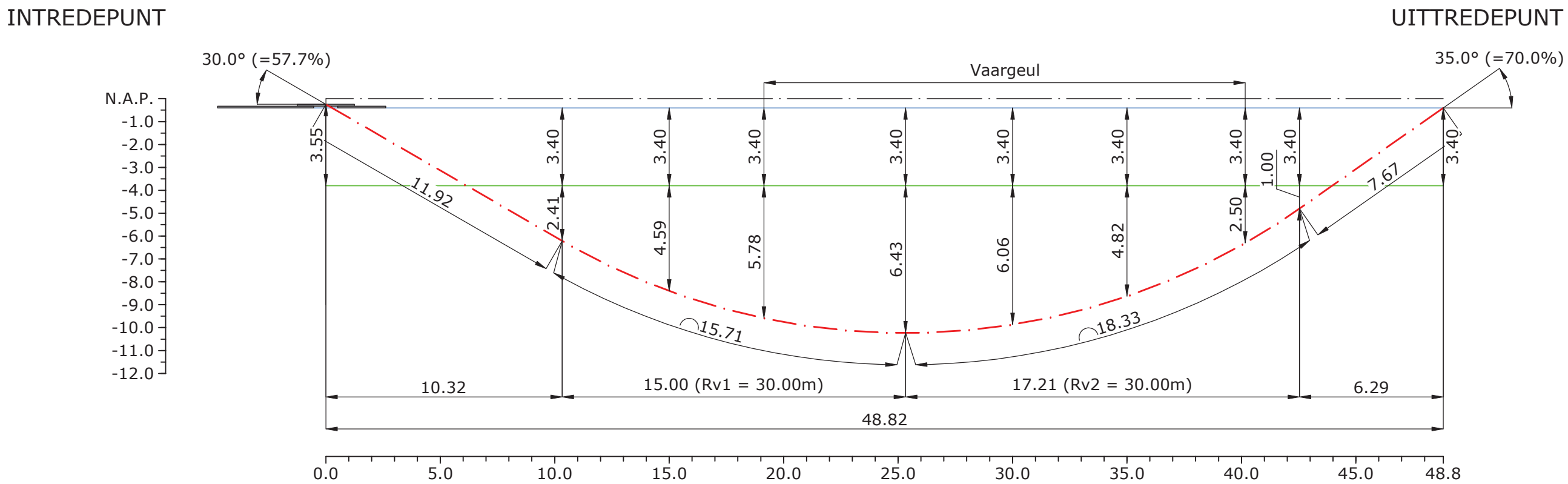
Op dit project worden geen waterkeringen of peilscheidingen gekruist. Daarnaast blijkt uit informatie van bestaande peilbuizen afkomstig van Dinoloket niet dat er een risico is op kwel vanuit het diepe grondwater. Het treffen van kwelremmende maatregelen wordt daarom op voorhand niet noodzakelijk geacht.

Bij het uitvoeren van een gestuurde boring dient altijd visueel te worden gecontroleerd of er onverhoopt toch kwel optreedt. Mocht hiervan desondanks onverhoopt toch sprake zijn dan kan het soortelijk gewicht van de boorspoeling met additieven (bijvoorbeeld Dolomiet van CEBO Holland) worden verhoogd totdat de kwel stopt (onder voorbehoud van mudretour en pompdebiet). Teneinde de oversnijding van het boorgat optimaal te vullen kan bij het intrekken van de buis gebruik worden gemaakt van Drillgrout. Door deze optimale vulling wordt langloopsheid op de korte en middellange termijn voorkomen.

BIJLAGE I Vergunningstekening



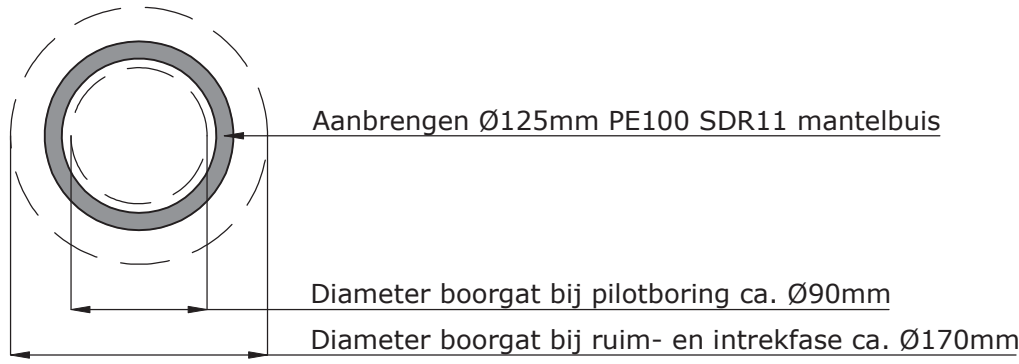
SITUATIE, SCHAAAL 1:200



DWARSPROFIEL, SCHAAAL 1:200

Afstand t.o.v. intredepunt	0.00	5.00	10.32	15.00	19.14	25.32	30.00	35.00	40.16	42.53	43.96	48.82
Hoogte maaiveld t.o.v. N.A.P.	-3.80	-3.80	-3.80	-3.80	-3.80	-3.80	-3.80	-3.80	-3.80	-3.80	-3.80	-3.80
Hart boring t.o.v. maaiveld	3.55	2.41	4.59	5.78	6.43	6.06	4.82	2.50	1.00	0.00	3.40	3.40
Hart boring t.o.v. N.A.P.	-0.25	-6.21	-8.39	-9.58	-10.23	-9.86	-8.62	-6.30	-4.80	-3.80	-0.40	-0.40
Berekende punten		A	B	C	D	E	F	G	H			

- Legenda kabels&leidingen
- hoogspanning - Liander
 - middenspanning - Liander
 - datatransport - Liander
 - gas lage druk - Liander
 - laagspanning - Liander
 - landelijk hoogspanningsnet - Tennet
 - middenspanning - kenter
 - middenspanning - RVB
 - riool onder druk - RVB
 - datatransport - RVB
 - gas lage druk - RVB
 - laagspanning - RVB
 - riool vrijverval - RVB
 - water - RVB
 - riool vrijverval - waternet
 - water - waternet
 - datatransport - KPN
 - datatransport - Ziggo Services



DOORSNEDE BUIZEN, SCHAAAL 1:5

Coördinaten

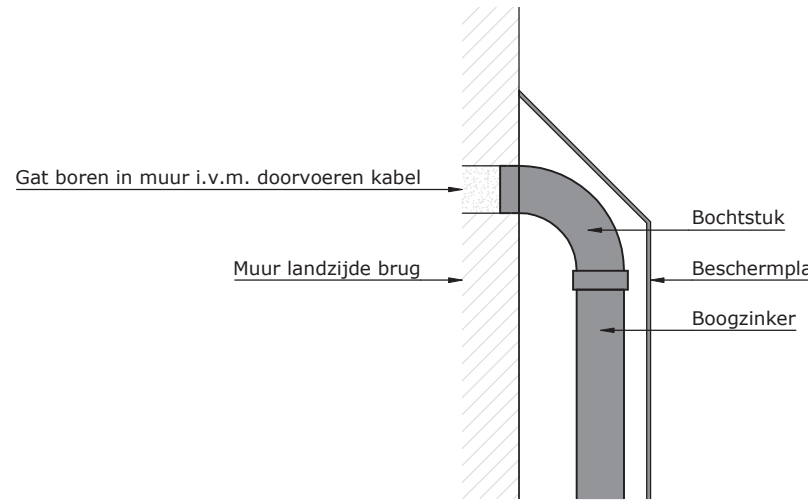
INTREDEPUNT
X = 123252.43
Y = 487555.20
Z = -0.25

Begin Rv1
X = 123254.57
Y = 487565.30
Z = -6.21

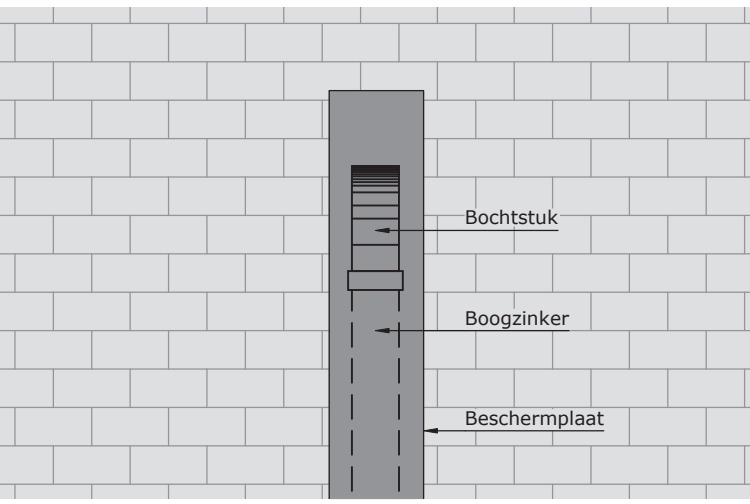
Rv1/Rv2
X = 123257.68
Y = 487579.97
Z = -10.23

Eind Rv2
X = 123261.24
Y = 487596.81
Z = -4.80

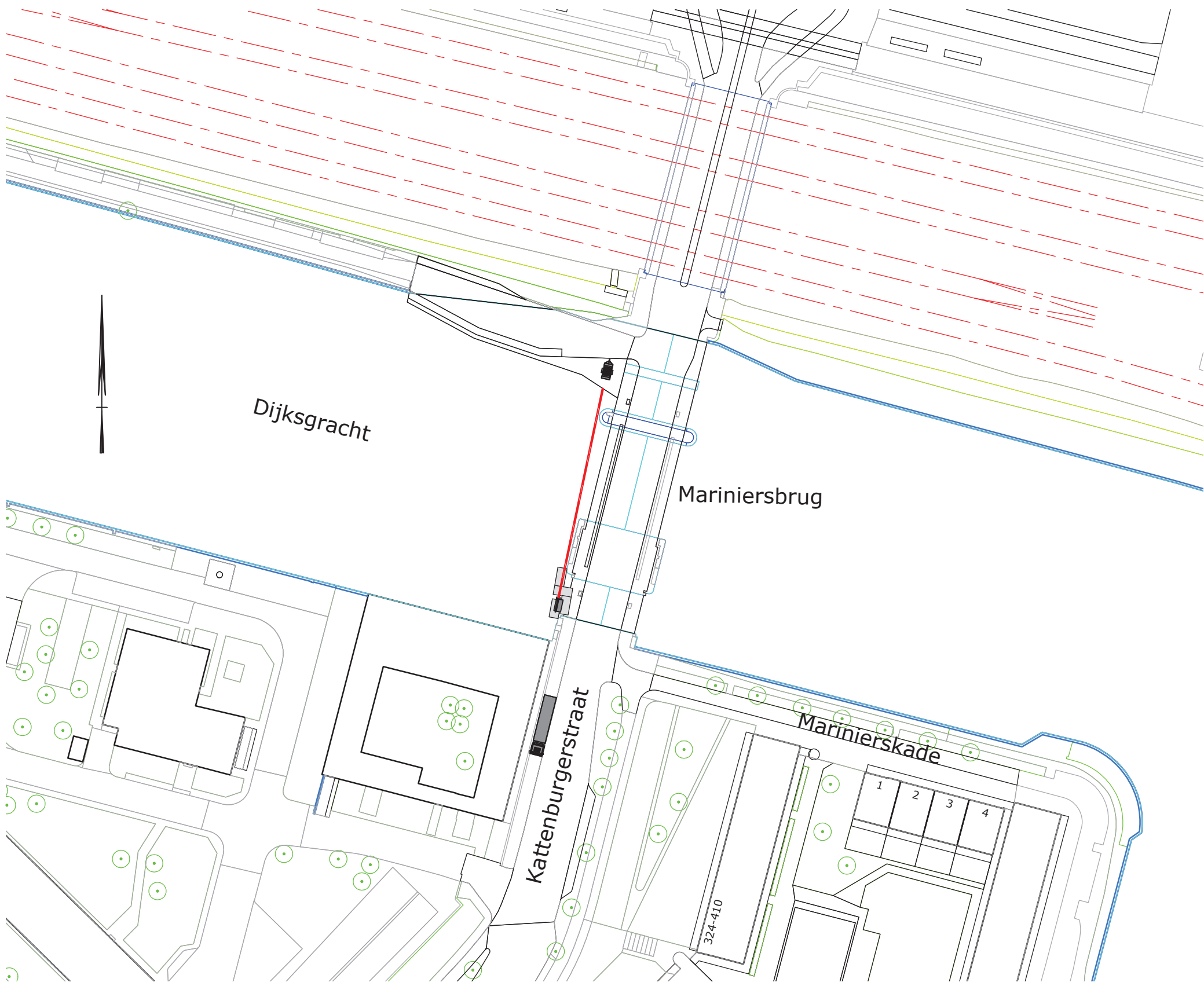
UITTREDEPUNT
X = 123262.54
Y = 487602.96
Z = -0.40



DETAIL: ZIJAANZICHT



DETAIL: AANZICHT



BOVENAANZICHT, SCHAAAL 1:1000

Opmerkingen

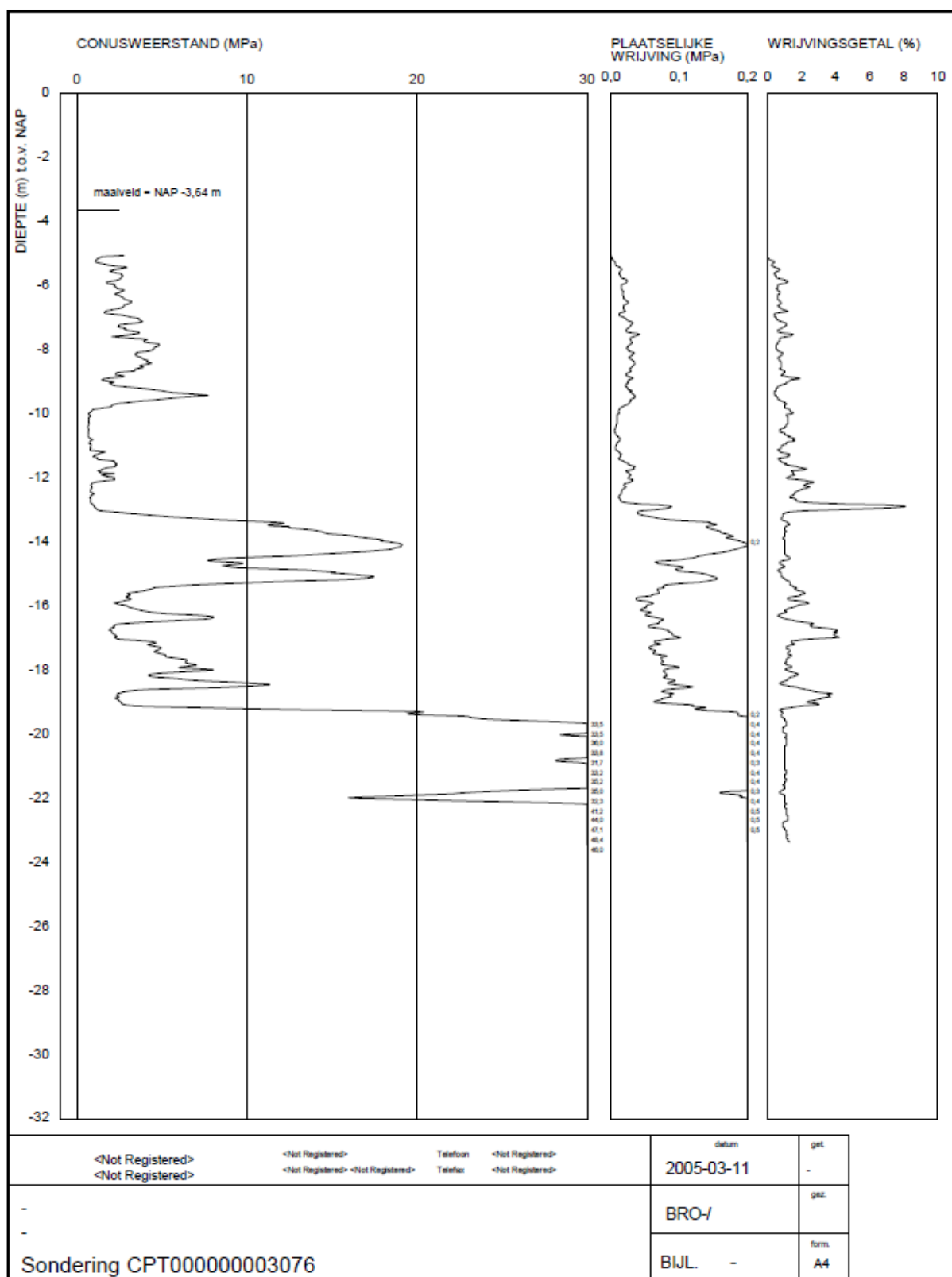
Kabels en leidingen zijn indicatief geprojecteerd op basis van KLIC-melding 180013944. Situatie vooraf in de praktijk controleren.
Verkeersmaatregelen treffen conform CROW publicatie 96b.

A	14-03-2018	D. Hamstra	S. Hoogerdijk	Voor vergunning
Revisie:	Datum:	Getekend:	Gecontroleerd:	Status:
Zwaluwlaan 58 3121 XX SCHIEDAM Telefoon : 010-7513333 Website : www.infradesk.info		Hoofdaannemer: 	Opdrachtgever: 	Projectnr. InfraDesk: 2018-028-0003 Projectnr. opdrachtgever: -
Vergunningstekening				Tekening: VT01
Omschrijving : Gestuurde boring				Getekend: D. Hamstra
Aanbrengen : 1x Ø125mm PE100 SDR11, lengte ca 48.8m				Gecontroleerd: S. Hoogerdijk
Plaats : Amsterdam				Datum: 05-03-2018
Locatie : Parallel langs de Kattenburgerstraat en de Mariniersbrug, onder de Dijkgracht door				Schaal: 1:5/1:200/1:1000
				Formaat: A1

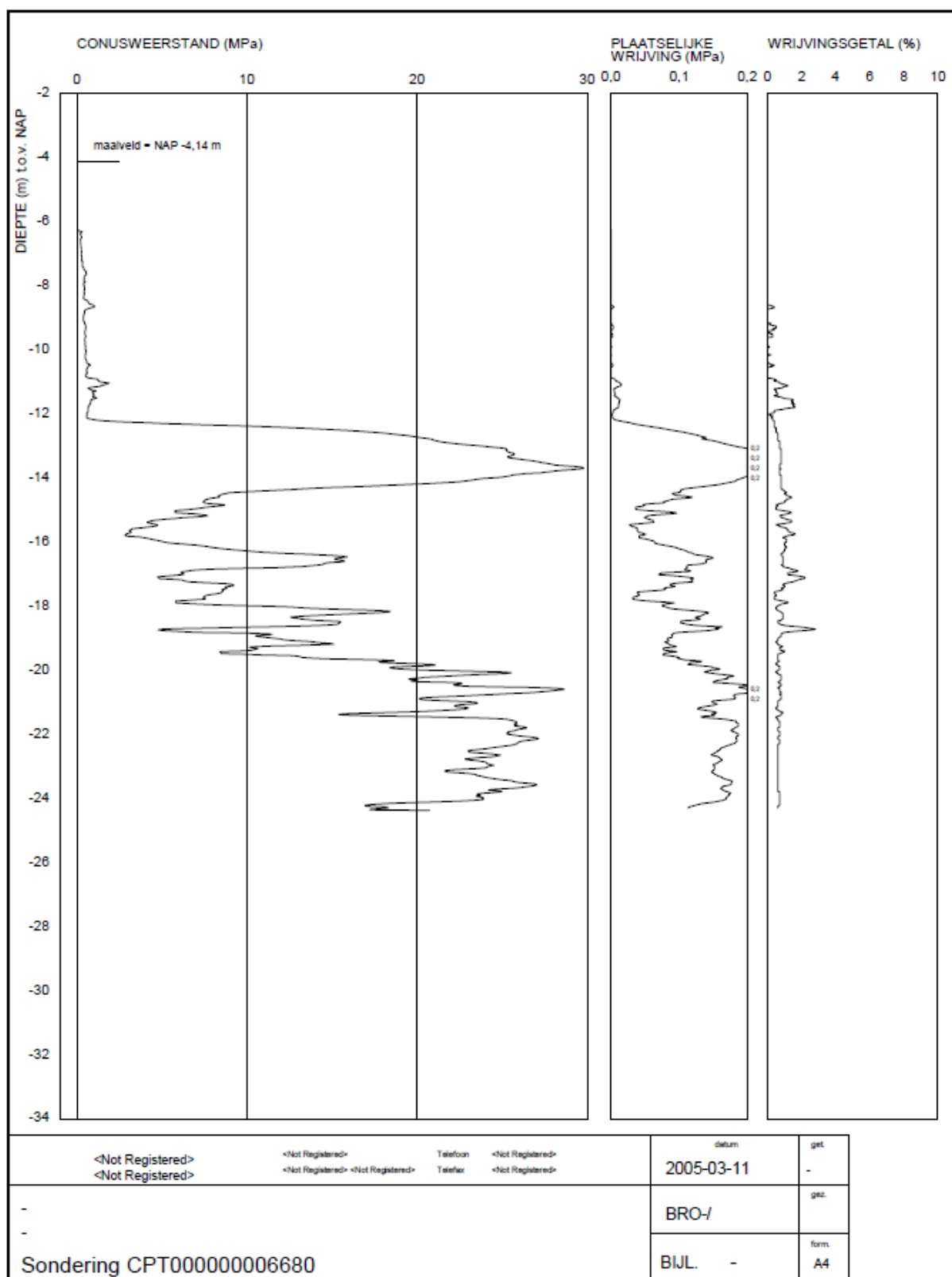
BIJLAGE II Bodemonderzoeken



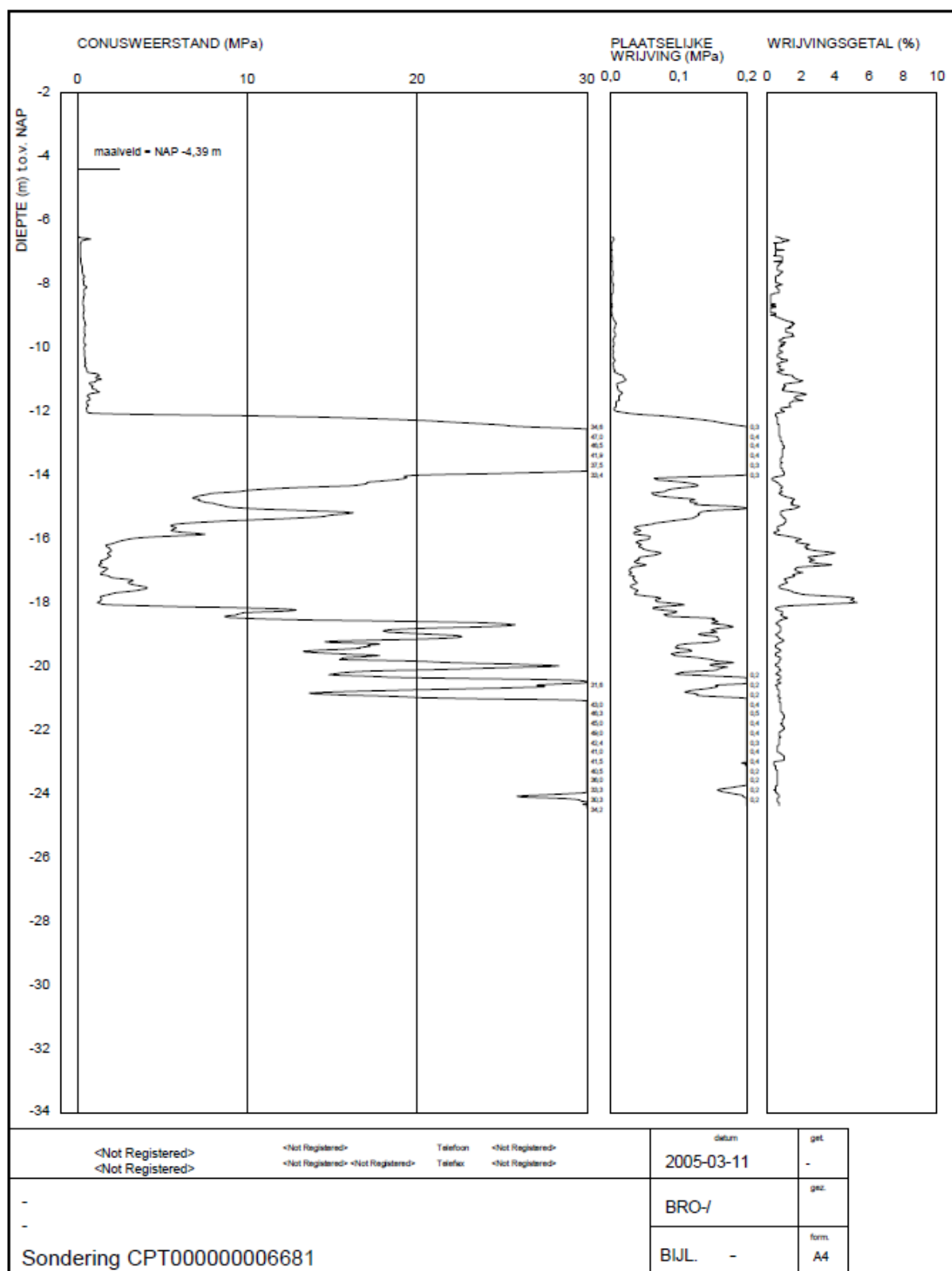
Afbeelding: Overzicht locaties gebruikte bodemonderzoeken (bron: www.dinoloket.nl)



Afbeelding: Sondering CPT000000003076

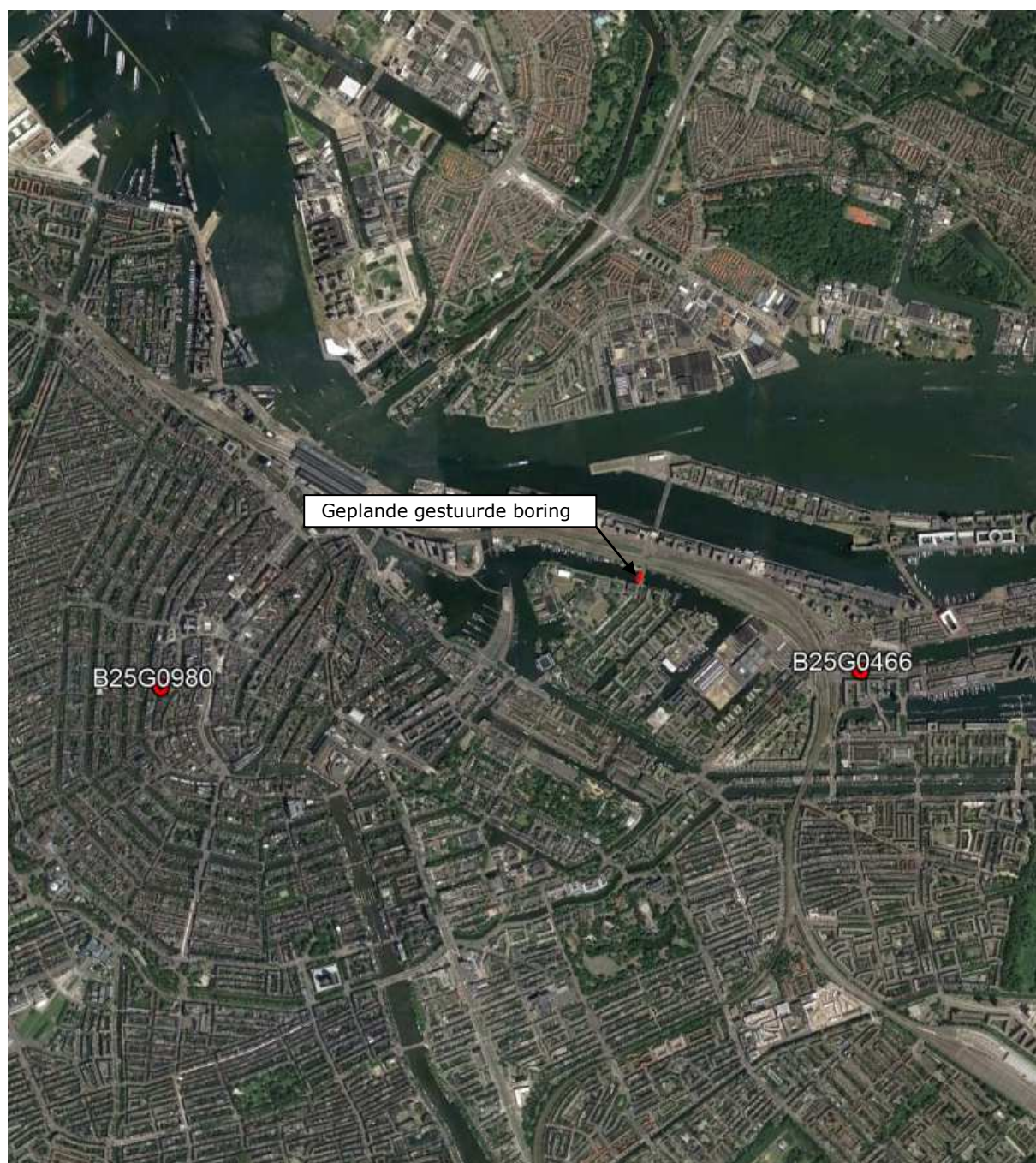


Afbeelding: Sondering CPT000000006680



Afbeelding: Sondering CPT000000006681

BIJLAGE III Stijghoogte o.b.v. peilbuizen

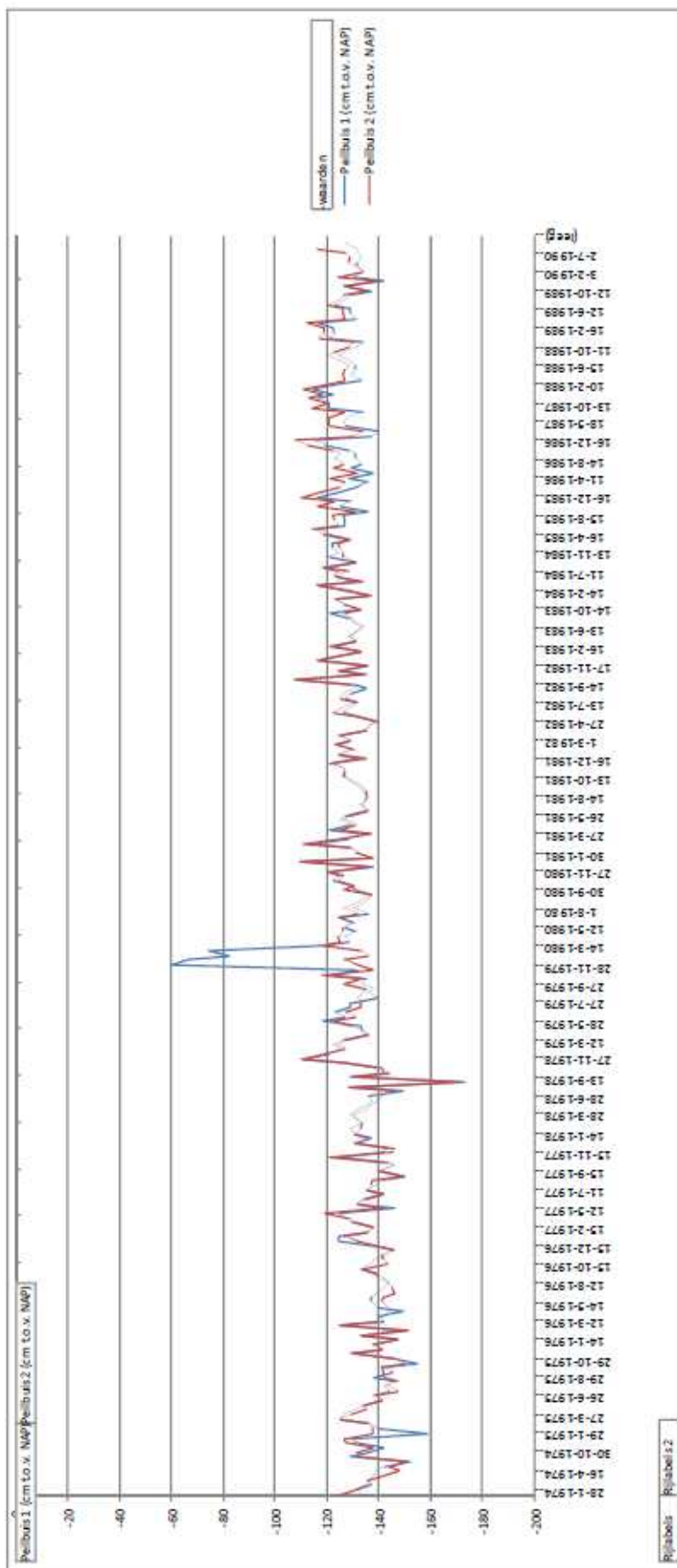


Afbeelding: Overzicht locaties gebruikte peilbuizen (bron: www.dinoloket.nl)

Peilbuis: B25G0466

Locatie (x,y): 124256,487153
 Maaiveld: 118 cm t.o.v. NAP
 Referentie: cm t.o.v. NAP

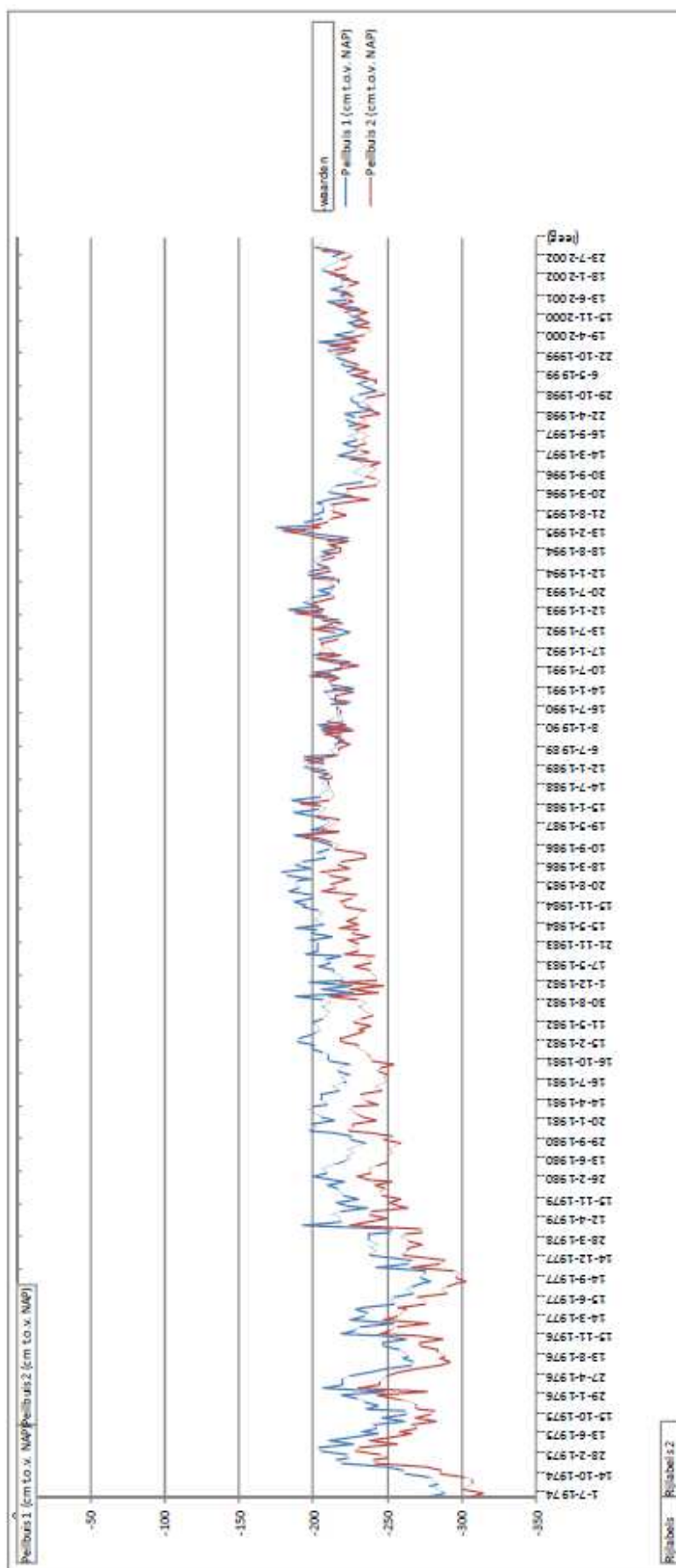
Filternr:	Maaiveld	Filterdiepte	Min stijghoogte	Max stijghoogte	Gem stijghoogte
1	118	-1283 tot -1383	-173	-60	-131
2	118	-2095 tot -2195	-171	-107	-130



Peilbuis: B25G0980

Locatie (x,y): 121100,487100
 Maasveld: 136 cm t.o.v. NAP
 Referentie: cm t.o.v. NAP

Filternr:	Maasveld	Filterdiepte	Min stijghoogte	Max stijghoogte	Gem stijghoogte
1	136	-1291 tot -1391	-289	-175	-219
2	136	-2260 tot -2360	-314	-180	-235



Peilbuis 1 Peilbuis 2

BIJLAGE IV Sterkte- en muddrukberekeningen

Memo

Omschrijving

Welvreugd Drilling BV heeft InfraDesk gevraagd om sterkte- en muddrukberekeningen te realiseren ten behoeve van een geplande gestuurde boring parallel langs de Kattenburgerstraat en de Mariniersbrug te Amsterdam. Middels deze gestuurde boring zal één Ø125mm PE100 SDR11 mantelbuis worden aangebracht. Het boortracé heeft over maaiveld een lengte van 48,82 meter en een diepte van -10,23 meter t.o.v. N.A.P. De berekeningen zijn gerealiseerd met het programma Sigma van Adviesbureau Schrijvers.

Gebruikte gegevens

De input voor de sterkte- en muddrukberekeningen (zie: Bijlage IV) is gebaseerd op de bijgevoegde bodemonderzoeken (zie: Bijlage II). De grondwaterstand is ingeschat op basis van het waterpeil in de Dijksgracht. Bij het realiseren van de berekeningen zijn de parameters aangehouden conform de NEN3650 en NEN6740.

Bodemopbouw

Uit de bodemonderzoeken blijkt dat de bodemopbouw t.p.v. het boortracé hoofdzakelijk bestaat uit diverse zandlagen. Op basis van GPS-metingen is het waterpeil ingeschat op -0,40 meter N.A.P.

Uitgangspunten

- De bodemopbouw is ingeschat o.b.v. de bijgevoegde bodemonderzoeken;
- De waterstand is gebaseerd op het waterpeil in de Dijksgracht;
- Veiligheidshalve is in de berekeningen niet gerekend met horizontale steundruk, waardoor de spanningen op de buis in werkelijkheid lager kunnen uitvallen;
- Veiligheidshalve is in de berekeningen niet gerekend met gereduceerde grondbelasting, waardoor de belasting op de buis in werkelijkheid lager kan uitvallen;
- De aan te brengen buis is gevuld met lucht.

Conclusies

- Uit de sterkteberekening blijkt dat de buis voldoet;
- Uit de sterkteberekening blijkt dat de benodigde trekkracht voor het intrekken van de buis is berekend op 5,28 kN (0,53 ton);
- Uit de muddrukberekeningen blijkt dat ter plaatse van de berekende punten theoretisch over het algemeen voldoende marge wordt gehouden tussen de minimaal benodigde en maximaal toelaatbare muddruk;
- Uitzondering hierop vormt het berekende punt 'H', vlak voor het bereiken van het uittredepunt bij het realiseren van de pilotboring. Teneinde het risico op een blow-out zoveel mogelijk te beperken het noodzakelijk om tijdig de voortgangssnelheid en het pompdebiet zoveel mogelijk te reduceren.

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2018 1.0 ©
Algemene gegevens			
Naam van het project : 2018-028-0003-VT01 Projectonderdeel : Sterkteberekening HDD			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm ²
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Soortelijk gewicht buis	ρ_L	= 9,55	kN/m ³
Toelaatbare deflectie	δ	= 8	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 125,00	mm
Wanddikte	d _n	= 11,4	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 100	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	ρ_m	= 11,5	kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	τ_y	= 15	Pa
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	D _g	= 170	mm
Diameter boorstang	D _b	= 53	mm
Totale lengte	L	= 53,63	m
Lengte 1e rechte deel	L ₁	= 11,92	m
Lengte neergaande bocht	L ₂	= 15,71	m
Lengte 2e rechte deel	L ₃	= 0,00	m
Lengte opgaande bocht	L ₄	= 18,33	m
Lengte 3e rechte deel	L ₅	= 7,67	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R _r	= 6,00	m
Straal neergaande bocht	R ₁	= 30,00	m
Straal opgaande bocht	R ₂	= 30,00	m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	α_1	= 30,00 / 57,74	° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	α_2	= 35,00 / 70,02	° / %
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 120	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	
Totaalfactor bij normale boring	f	= 1,4	
Belastingfactor	f _{k,b}	= 1,1	
Belastingfactor	f _{k,o}	= 1,4	
Wrijvingscoëff. zonder rollenbaan	f ₁	= 0,3	
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	f ₂	= 0,00005	N/mm ²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	f ₃	= 0,2	
			14-03-2018 11:19:37

Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting

Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m ³]	Wrijvings- hoek grond [°]
Punt A	11,92	2,41	-3,40	Zand	0,00	20,40	35,00
Punt B	17,09	4,59	-3,40	Zand	0,00	20,30	35,00
Punt C	21,40	5,78	-3,40	Zand	0,00	20,30	30,00
Punt D	27,63	6,43	-3,40	Zand	0,00	20,30	35,00
Punt E	32,33	6,06	-3,40	Zand	0,00	20,30	32,50
Punt F	37,49	4,82	-3,40	Zand	0,00	20,30	35,00
Punt G	43,15	2,50	-3,40	Zand	0,00	20,40	35,00
Punt H	45,96	1,00	-3,40	Zand	0,00	20,40	32,50

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm ³]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
Punt A	Geen	-	0,00	75,00	Geen
Punt B	Geen	0,0980	0,00	75,00	Geen
Punt C	Geen	0,0980	0,00	15,00	Geen
Punt D	Geen	0,0980	0,00	75,00	Geen
Punt E	Geen	0,0980	0,00	45,00	Geen
Punt F	Geen	0,0980	0,00	75,00	Geen
Punt G	Geen	0,0400	0,00	75,00	Geen
Punt H	Geen	-	0,00	75,00	Geen

1. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 102,20	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 113,60	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 125,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 62,50	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 51,10	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 56,80	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 6.629.052,19	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 106.064,84	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 123,46	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 21,66	mm ³ /mm ¹
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 4.068,49	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,0389	N/mm ¹

2. 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	$g = 0,0389 \text{ N/mm}^1$	$g = 0,0389 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,0389 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,0389 \text{ N/mm}^1$

3. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds**3.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld**

Trekkkracht T_1 tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_1 [N]
Starten met trekken	53,63	875
Na 1 ^e deel intrekken	45,96	750
Na 2 ^e deel intrekken	27,63	451
Na 3 ^e deel intrekken	27,63	451
Na 4 ^e deel intrekken	11,92	195

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,4 \cdot L \cdot 0,0389 \cdot 0,3$$

3.2 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	875	0,22
Na 1 ^e deel intrekken	750	0,18
Na 2 ^e deel intrekken	451	0,11
Na 3 ^e deel intrekken	451	0,11
Na 4 ^e deel intrekken	195	0,05

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{4.068,49}$$

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{6.629.052}{6.000} = 1.184.943,08 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{1.184.943,08}{106.065} = \mathbf{11,17 \text{ N/mm}^2}$$

3.4 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	0,22	7,48
Na 1 ^e deel intrekken	0,18	7,45
Na 2 ^e deel intrekken	0,11	7,37
Na 3 ^e deel intrekken	0,11	7,37
Na 4 ^e deel intrekken	0,05	7,31

$$\sigma_a = \alpha_\sigma \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 11,17 + \sigma_t$$

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

4. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat**4.1 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: $D_{e,omtrek} = 392,70 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,0389 \text{ N/mm}^1$

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 $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,102 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
1 ^e deel intrekken	7,67	430	-
2 ^e deel intrekken	26,00	-	1.459
3 ^e deel intrekken	26,00	1.459	-
4 ^e deel intrekken	41,71	-	2.341
Geheel ingetrokken	53,63	3.010	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,4 \cdot L \cdot (392,70 \cdot 0,00005 + 0,102 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,4 \cdot L \cdot (392,70 \cdot 0,00005 + 0,102 \cdot 0,2)$

4.3 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]
Punt B	0,0047	30,0	0,013	633
Punt C	0,0047	30,0	0,013	633
Punt D	0,0047	30,0	0,013	633
Punt E	0,0047	30	0,013	633
Punt F	0,0047	30	0,013	633
Punt G	0,0037	30	0,0086	506

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

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

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,4 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 125 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

4.4 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	451	1.459	633	-	2.543
Opgaande bocht	195	2.341	633	633	3.801

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	15,00	2.543	369
Opgaande bocht	17,50	3.801	551

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

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

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

$$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,4 \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$

4.5 Totalisatie van de trekkraften in fase II

Trekkraft T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 / T_{3a} [N]	$T_{3b, \text{neer}}$ [N]	$T_{3c, \text{neer}}$ [N]	$T_{3b, \text{op}}$ [N]	$T_{3c, \text{op}}$ [N]	T_{tot} [N]
1 ^e deel intrekken	750	430	-	-	-	-	1.180
2 ^e deel intrekken	451	1.459	633	369	-	-	2.911
3 ^e deel intrekken	451	1.459	633	369	-	-	2.911
4 ^e deel intrekken	195	2.341	633	369	633	551	4.809
Geheel intrekken	0	3.010	633	369	633	551	5.284

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

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

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm²]
1 ^e deel intrekken	1.180	0,29
2 ^e deel intrekken	2.911	0,72
3 ^e deel intrekken	2.911	0,72
4 ^e deel intrekken	4.809	1,18
Geheel intrekken	5.284	1,30

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{4.068,49}$$

4.7 Optredende spanningen t.g.v. kromming van de leiding in het boorgat**4.7.1 Neergaande bocht**

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{6.629.052,19}{0,9 \cdot 30.000} = 335.135,42 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{335.135,42}{106.064,84} = \mathbf{3,16 \text{ N/mm}^2}$$

4.7.2 Opgaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{6.629.052,19}{0,9 \cdot 30.000} = 335.135,42 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{335.135,42}{106.064,84} = \mathbf{3,16 \text{ N/mm}^2}$$

4.8 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	1.180	0,29	-	0,29
Na 1 ^e deel intrekken	2.911	0,72	3,16	2,77
Na 2 ^e deel intrekken	2.911	0,72	-	0,72
Na 3 ^e deel intrekken	4.809	1,18	3,16	3,24
Na 4 ^e deel intrekken	5.284	1,30	-	1,30

$$\text{Rechte delen: } \sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{4.068,49} = \sigma_t$$

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

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

5. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase**5.1 Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pl} t.g.v. inwendige druk**

Leiding is drukloos:

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

5.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

Leiding is drukloos:

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

5.3 Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	q_{droog} [kN/m ²]	q_{nat} [kN/m ²]	q_{totaal} [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]
Punt A	2,41	-3,40	Zand	0,00	54,08	54,08	3,75
Punt B	4,59	-3,40	Zand	0,00	102,49	102,49	7,07
Punt C	5,78	-3,40	Zand	0,00	129,07	129,07	8,91
Punt D	6,43	-3,40	Zand	0,00	143,58	143,58	9,91
Punt E	6,06	-3,40	Zand	0,00	135,32	135,32	9,34
Punt F	4,82	-3,40	Zand	0,00	107,63	107,63	7,43
Punt G	2,50	-3,40	Zand	0,00	56,10	56,10	3,89
Punt H	1,00	-3,40	Zand	0,00	22,44	22,44	1,56

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

5.4 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]
Punt A	2,41	Geen	0,00	0,00
Punt B	4,59	Geen	0,00	0,00
Punt C	5,78	Geen	0,00	0,00
Punt D	6,43	Geen	0,00	0,00
Punt E	6,06	Geen	0,00	0,00
Punt F	4,82	Geen	0,00	0,00
Punt G	2,50	Geen	0,00	0,00
Punt H	1,00	Geen	0,00	0,00

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 125$$

5.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_{boven} [N/mm ¹]	M_q [Nmm]	σ_q [N/mm ¹]
Punt A	3,75	0,00	3,75	29,37	1,36
Punt B	7,07	0,00	7,07	55,45	2,56
Punt C	8,91	0,00	8,91	69,83	3,22
Punt D	9,91	0,00	9,91	77,68	3,59
Punt E	9,34	0,00	9,34	73,21	3,38
Punt F	7,43	0,00	7,43	58,23	2,69
Punt G	3,89	0,00	3,89	30,47	1,41
Punt H	1,56	0,00	1,56	12,19	0,56

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,138 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 56,80$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{21,66}$$

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

Locatie	R [m]	Q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
Punt B	30,0	0,013	0,40
Punt C	30,0	0,013	0,40
Punt D	30,0	0,013	0,40
Punt E	30	0,013	0,40
Punt F	30	0,013	0,40
Punt G	30	0,0086	0,26

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,083 \cdot Q_r \cdot 125 \cdot \frac{62,50}{21,66}$$

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

Leiding is drukloos

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

6. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{123,46}{113,6^3} = 0,0821 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{82,11 \text{ kN/m}^2}$$

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

7. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

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

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

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

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 123,46}{113,60^3} = 1,56 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 123,46}{113,60^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **28,07** m grondwater boven de leiding

8. Berekening van het totaal aan optredende spanningen**8.1 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]
Punt A	1,36	-	0,65	0,88
Punt B	2,56	0,40	0,65	1,93
Punt C	3,22	0,40	0,65	2,36
Punt D	3,59	0,40	0,65	2,59
Punt E	3,38	0,40	0,65	2,46
Punt F	2,69	0,40	0,65	2,01
Punt G	1,41	0,26	0,65	1,08
Punt H	0,56	-	0,65	0,37

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

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

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

8.2 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]
Punt A	0,00	0,00	-	-	0,00
Punt B	0,00	0,00	3,16	0,65	2,05
Punt C	0,00	0,00	3,16	0,65	2,05
Punt D	0,00	0,00	3,16	0,65	2,05
Punt E	0,00	0,00	3,16	0,65	2,05
Punt F	0,00	0,00	3,16	0,65	2,05
Punt G	0,00	0,00	3,16	0,65	2,05
Punt H	0,00	0,00	-	-	0,00

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

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

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

9. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_r [N/mm ²]	δ_Y [mm]	δ_Y/D_g [%]
Punt A	3,75	0,00	-	0,85	0,75
Punt B	7,07	0,00	0,013	1,61	1,42
Punt C	8,91	0,00	0,013	1,80	1,58
Punt D	9,91	0,00	0,013	2,26	1,99
Punt E	9,34	0,00	0,013	2,01	1,77
Punt F	7,43	0,00	0,013	1,69	1,49
Punt G	3,89	0,00	0,0086	0,89	0,78
Punt H	1,56	0,00	-	0,33	0,29

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

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 56,80^3}{350 \cdot 123,46}$$

$$\text{Toelaatbare deflectie} = 8\% \cdot D_g = 0,08 \cdot 113,60 = \mathbf{9,09 \text{ mm}}$$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2018 1.0 ©
Algemene gegevens			
Naam van het project : 2018-028-0003-VT01			
Projectonderdeel : Muddrubberekening HDD pilotboring			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm ²
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Soortelijk gewicht buis	ρ_L	= 9,55	kN/m ³
Toelaatbare deflectie	δ	= 8	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 125,00	mm
Wanddikte	d _n	= 11,4	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 100	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	ρ_m	= 11,5	kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	τ_y	= 15	Pa
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	D _g	= 90	mm
Diameter boorstang	D _b	= 53	mm
Totale lengte	L	= 53,63	m
Lengte 1e rechte deel	L ₁	= 11,92	m
Lengte neergaande bocht	L ₂	= 15,71	m
Lengte 2e rechte deel	L ₃	= 0,00	m
Lengte opgaande bocht	L ₄	= 18,33	m
Lengte 3e rechte deel	L ₅	= 7,67	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R _r	= 6,00	m
Straal neergaande bocht	R ₁	= 30,00	m
Straal opgaande bocht	R ₂	= 30,00	m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	α_1	= 30,00 / 57,74	° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	α_2	= 35,00 / 70,02	° / %
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 120	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	
Totaalfactor bij normale boring	f	= 1,4	
Belastingfactor	f _{k,b}	= 1,1	
Belastingfactor	f _{k,o}	= 1,4	
Wrijvingscoëff. zonder rollenbaan	f ₁	= 0,3	
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	f ₂	= 0,00005	N/mm ²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	f ₃	= 0,2	
			14-03-2018 11:24:04

Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting

Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m ³]	Wrijvings- hoek grond [°]
Punt A	11,92	2,41	-3,40	Zand	0,00	20,40	35,00
Punt B	17,09	4,59	-3,40	Zand	0,00	20,30	35,00
Punt C	21,40	5,78	-3,40	Zand	0,00	20,30	30,00
Punt D	27,63	6,43	-3,40	Zand	0,00	20,30	35,00
Punt E	32,33	6,06	-3,40	Zand	0,00	20,30	32,50
Punt F	37,49	4,82	-3,40	Zand	0,00	20,30	35,00
Punt G	43,15	2,50	-3,40	Zand	0,00	20,40	35,00
Punt H	45,96	1,00	-3,40	Zand	0,00	20,40	32,50

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm ³]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
Punt A	Geen	-	0,00	75,00	Geen
Punt B	Geen	0,0980	0,00	75,00	Geen
Punt C	Geen	0,0980	0,00	15,00	Geen
Punt D	Geen	0,0980	0,00	75,00	Geen
Punt E	Geen	0,0980	0,00	45,00	Geen
Punt F	Geen	0,0980	0,00	75,00	Geen
Punt G	Geen	0,0400	0,00	75,00	Geen
Punt H	Geen	-	0,00	75,00	Geen

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]
Punt A	2,41	20,59	8,78	14,69	23,11	28,85
Punt B	4,59	38,81	16,55	27,68	43,55	28,85
Punt C	5,78	48,87	24,43	36,65	54,98	5,77
Punt D	6,43	54,36	23,18	38,77	61,01	28,85
Punt E	6,06	51,23	23,71	37,47	57,60	17,31
Punt F	4,82	40,75	17,38	29,06	45,73	28,85
Punt G	2,50	21,36	9,11	15,24	23,98	28,85
Punt H	1,00	8,55	3,95	6,25	9,61	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]	Δ_p [N/mm ²]	p_{lim} [N/mm ²]
Punt A	0,00029	0,83	0,0581	0,06555	0,02	0,51
Punt B	0,00055	0,61	0,0799	0,09014	0,03	0,75
Punt C	0,0032	0,25	0,0918	0,1036	0,03	0,47
Punt D	0,00077	0,51	0,0983	0,1109	0,04	0,93
Punt E	0,0012	0,42	0,0946	0,1067	0,05	0,71
Punt F	0,00058	0,59	0,0822	0,09273	0,06	0,77
Punt G	0,00030	0,82	0,0590	0,06656	0,07	0,52
Punt H	0,00012	0,50	0,0440	0,04964	0,07	0,27

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

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

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

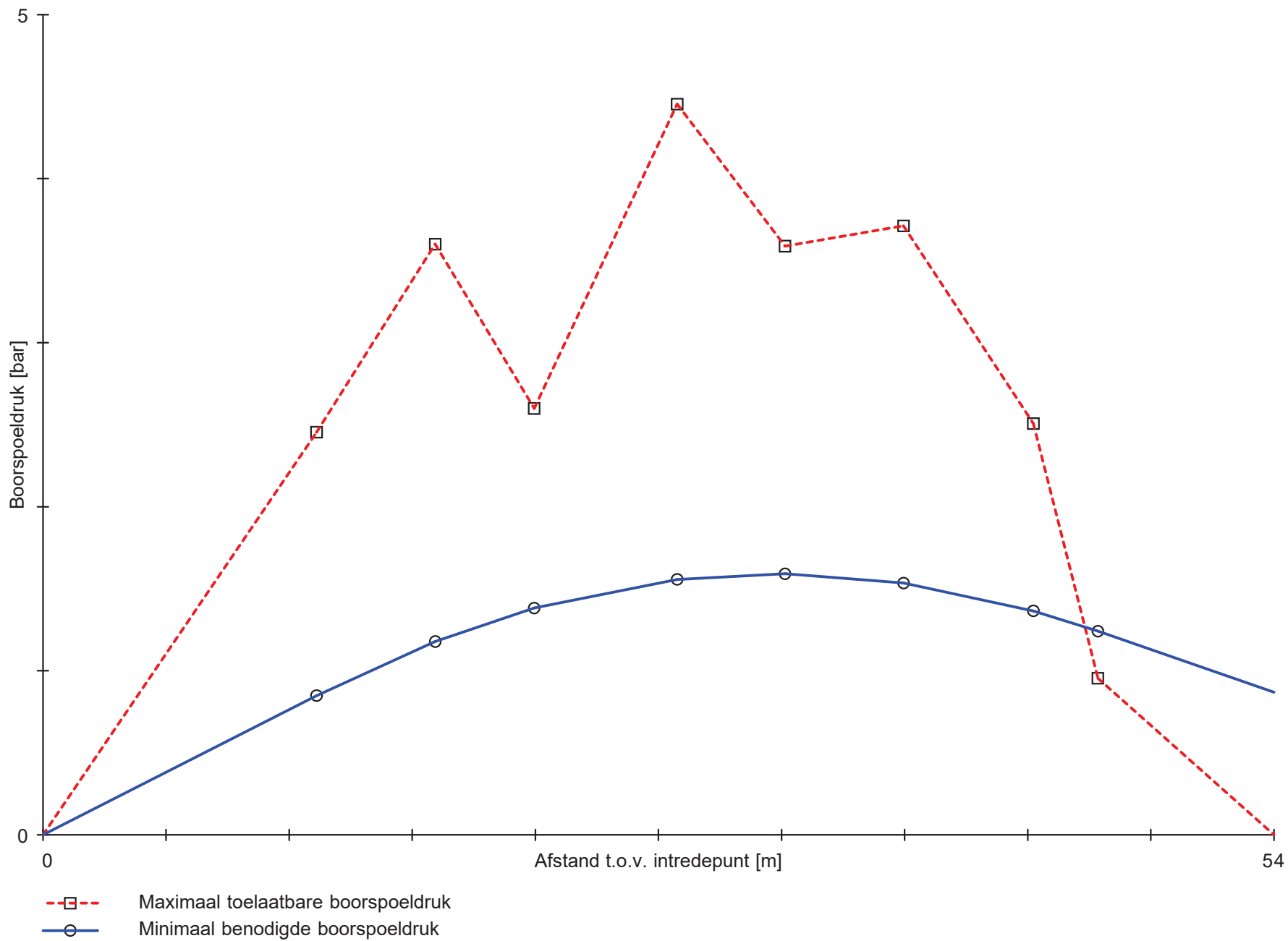
$$p_{\text{lim}} = (p_f' + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

Locatie	p_{\max} [kPa]	90% p_{lim} [kPa]	p_{min} [kPa]	p_{\max} [bar]	90% p_{lim} [bar]	p_{min} [bar]
Punt A	245,43	456,36	84,88	2,45	4,56	0,85
Punt B	360,10	676,29	117,85	3,60	6,76	1,18
Punt C	259,96	419,21	138,27	2,60	4,19	1,38
Punt D	445,44	837,24	155,70	4,45	8,37	1,56
Punt E	358,87	635,02	159,15	3,59	6,35	1,59
Punt F	371,25	697,43	153,53	3,71	6,97	1,54
Punt G	250,75	466,69	136,53	2,51	4,67	1,37
Punt H	95,46	244,64	124,17	0,95	2,45	1,24

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

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

- 5 -



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2018 1.0 ©
Algemene gegevens			
Naam van het project : 2018-028-0003-VT01			
Projectonderdeel : Muddrubberekening HDD ruim- en intrekfase			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm ²
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Soortelijk gewicht buis	ρ_L	= 9,55	kN/m ³
Toelaatbare deflectie	δ	= 8	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 125,00	mm
Wanddikte	d _n	= 11,4	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 100	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	ρ_m	= 11,5	kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	τ_y	= 15	Pa
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	D _g	= 170	mm
Diameter boorstang	D _b	= 53	mm
Totale lengte	L	= 53,63	m
Lengte 1e rechte deel	L ₁	= 11,92	m
Lengte neergaande bocht	L ₂	= 15,71	m
Lengte 2e rechte deel	L ₃	= 0,00	m
Lengte opgaande bocht	L ₄	= 18,33	m
Lengte 3e rechte deel	L ₅	= 7,67	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R _r	= 6,00	m
Straal neergaande bocht	R ₁	= 30,00	m
Straal opgaande bocht	R ₂	= 30,00	m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	α_1	= 30,00 / 57,74	° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	α_2	= 35,00 / 70,02	° / %
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 120	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	
Totaalfactor bij normale boring	f	= 1,4	
Belastingfactor	f _{k,b}	= 1,1	
Belastingfactor	f _{k,o}	= 1,4	
Wrijvingscoëff. zonder rollenbaan	f ₁	= 0,3	
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	f ₂	= 0,00005	N/mm ²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	f ₃	= 0,2	
			14-03-2018 11:22:37

Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting

Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m ³]	Wrijvings- hoek grond [°]
Punt A	11,92	2,41	-3,40	Zand	0,00	20,40	35,00
Punt B	17,09	4,59	-3,40	Zand	0,00	20,30	35,00
Punt C	21,40	5,78	-3,40	Zand	0,00	20,30	30,00
Punt D	27,63	6,43	-3,40	Zand	0,00	20,30	35,00
Punt E	32,33	6,06	-3,40	Zand	0,00	20,30	32,50
Punt F	37,49	4,82	-3,40	Zand	0,00	20,30	35,00
Punt G	43,15	2,50	-3,40	Zand	0,00	20,40	35,00
Punt H	45,96	1,00	-3,40	Zand	0,00	20,40	32,50

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm ³]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
Punt A	Geen	-	0,00	75,00	Geen
Punt B	Geen	0,0980	0,00	75,00	Geen
Punt C	Geen	0,0980	0,00	15,00	Geen
Punt D	Geen	0,0980	0,00	75,00	Geen
Punt E	Geen	0,0980	0,00	45,00	Geen
Punt F	Geen	0,0980	0,00	75,00	Geen
Punt G	Geen	0,0400	0,00	75,00	Geen
Punt H	Geen	-	0,00	75,00	Geen

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]
Punt A	2,41	20,59	8,78	14,69	23,11	28,85
Punt B	4,59	38,81	16,55	27,68	43,55	28,85
Punt C	5,78	48,87	24,43	36,65	54,98	5,77
Punt D	6,43	54,36	23,18	38,77	61,01	28,85
Punt E	6,06	51,23	23,71	37,47	57,60	17,31
Punt F	4,82	40,75	17,38	29,06	45,73	28,85
Punt G	2,50	21,36	9,11	15,24	23,98	28,85
Punt H	1,00	8,55	3,95	6,25	9,61	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]	Δ_p [N/mm ²]	p_{lim} [N/mm ²]
Punt A	0,00029	1,21	0,0581	0,06555	0,01	0,51
Punt B	0,00055	1,15	0,0799	0,09014	0,01	0,75
Punt C	0,0032	0,48	0,0918	0,1036	0,01	0,47
Punt D	0,00077	0,97	0,0983	0,1109	0,01	0,93
Punt E	0,0012	0,79	0,0946	0,1067	0,02	0,71
Punt F	0,00058	1,12	0,0822	0,09273	0,02	0,77
Punt G	0,00030	1,25	0,0590	0,06656	0,02	0,52
Punt H	0,00012	0,50	0,0440	0,04964	0,02	0,27

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

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

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

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

Locatie	p_{\max} [kPa]	90% p_{lim} [kPa]	p_{min} [kPa]	p_{\max} [bar]	90% p_{lim} [bar]	p_{min} [bar]
Punt A	214,53	456,36	71,66	2,15	4,56	0,72
Punt B	360,10	676,29	98,90	3,60	6,76	0,99
Punt C	259,96	419,21	114,54	2,60	4,19	1,15
Punt D	445,44	837,24	125,07	4,45	8,37	1,25
Punt E	358,87	635,02	123,30	3,59	6,35	1,23
Punt F	371,25	697,43	111,96	3,71	6,97	1,12
Punt G	225,28	466,69	88,69	2,25	4,67	0,89
Punt H	77,11	244,64	73,21	0,77	2,45	0,73

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

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

