

# HDD Ø125 waterleiding onder IJmeer en Diemerzeedijk te IJburg en Diemen

---

2016-66858 / WATERNET / IJBURG / DIEMEN / WATERKERINGPAD / DIEMERZEEDIJK

Datum: 1 april 2016  
Revisie: 2  
Opdrachtgever: Waternet sector drinkwater  
Contactpersonen: A. Denijs, C. Ros , R. Zwitser

B. Bertelkamp  
Adviesbureau Schrijvers BV  
Hellevoetsluis, [bas@schrijvers.nl](mailto:bas@schrijvers.nl)

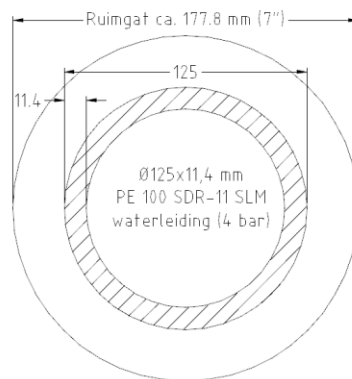
## Inhoud

1	Inleiding .....	3
2	Horizontaal gestuurde boormethode (HDD).....	4
2.1	Algemene beschrijving boortechniek.....	4
2.2	Pilotboring ten behoeve van de richting in x, y en z-richting.....	7
2.3	Ruimen van het boorgat met een ruimer (reamer) .....	8
2.4	Intrekken productleiding of bundel.....	9
2.5	Bestuurbaarheid van een horizontaal gestuurde boring .....	10
3	Ontwerpuitgangspunten .....	11
3.1	In- en uittredepunten.....	11
3.2	Eisen vergunningverlenende instanties .....	11
3.2.1	Waterschap Amstel, Gooi en Vecht.....	11
3.3	Bestaande infrastructuur .....	12
3.4	Diepteligging met betrekking tot boorspoeling (mud-uitbraak).....	12
3.5	Buigradius van de PE leidingen.....	13
3.6	Boormaterieel.....	13
3.7	Grond(water)onderzoek.....	14
3.7.1	Bepalingen t.b.v. samenstelling boorspoeling .....	14
3.7.2	Grondmechanische parameters .....	14
3.7.3	Zettingen .....	14
3.7.4	Kwelwegen .....	14
4	Resultaten berekeningen .....	16
4.1	Boorspoeldrukken .....	16
4.2	Trekoperatie .....	17
4.3	Implosie .....	18
4.4	Sterkteberekening van de leiding in de bedrijfsfase .....	19
5	Conclusie .....	21
6	<i>Bijlage 1 Profiel gestuurde boring .....</i>	<i>22</i>
7	<i>Bijlage 2 Trekkraftberekening (ongevuld).....</i>	<i>23</i>
8	<i>Bijlage 3 Trekkraftberekening (gevuld).....</i>	<i>24</i>
9	<i>Bijlage 4 Grondonderzoek .....</i>	<i>25</i>
10	<i>Bijlage 5 Boorspoeldruk-, en sterkteberekening.....</i>	<i>26</i>
11	<i>Bijlage 6 Kwelwegberekening.....</i>	<i>27</i>

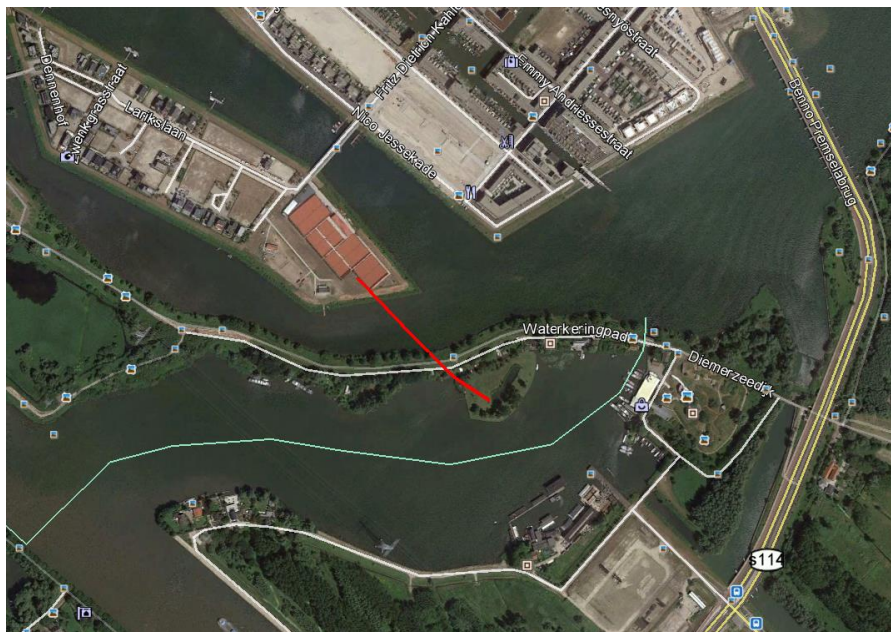
## 1 Inleiding

Waternet Sector Drinkwater is voornemens een nieuwe drinkwaterleiding aan te leggen onder het IJmeer. De boring is geprojecteerd vanaf IJburg naar de Diemerzeedijk en is bedoeld om de aan de toekomstige drinkwaterbehoefte te voldoen.

De gestuurde boring heeft een lengte van ca. 280 m en betreft een  $\varnothing 125$  PE 100 SDR-11 waterleiding (4 bar).



Het tracé van de waterleiding loopt vanaf het Rieteland-Oost te IJburg naar het eilandje aan de Diemerzeedijk te Diemen.



## 2 Horizontaal gestuurde boormethode (HDD)

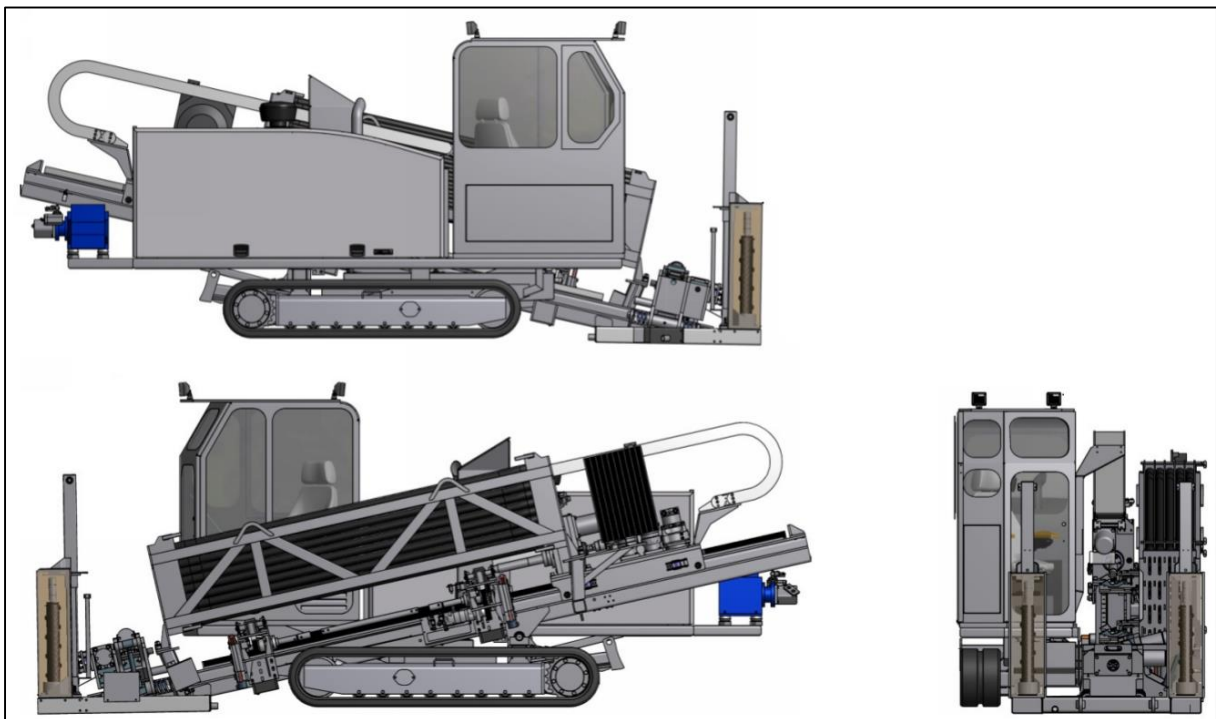
De waterleiding wordt aangebracht middels een horizontaal gestuurde boring. Hieronder een algemene beschrijving van deze boortechniek.

### 2.1 Algemene beschrijving boortechniek

Deze boortechniek wordt sinds 1984 in Nederland toegepast en is geïntroduceerd door de N.V. Nederlandse Gasunie. Het kenmerk van horizontaal gestuurd boren (Horizontal Directional Drilling, HDD) is dat de boring vanaf het maaiveld plaatsvindt. Bij deze boortechniek zijn in het algemeen geen bouwkuipen en grondwaterstandsverlagingen nodig.

Sinds 1984 zijn duizenden boringen uitgevoerd met allerlei boormachines (rigs). De grootte van de boormachine (en de hoeveelheid boorequipment) hangt af van enerzijds de lengte van de boring en anderzijds de complexiteit van de boring. Qua boorstellingen worden in Nederland drie categorieën onderscheiden, namelijk de mini-, de midi- en de maxi-rig. Dit onderscheid is gerelateerd aan de maximale trekkracht van de boormachine. Voor dit project komt de midi-rig in aanmerking. De aannemer die het project gaat aannemen moet met een voorstel komen inzake de in te zetten boormachine.

Principe boormachine (midi-rig Bore-Tech):



Principe boormachine (maxi-rig Herrenknecht):



Alle HDD-boorstellingen werken volgens hetzelfde principe. Met een hydraulische boorunit worden boorstangen één voor één de grond ingebracht. Deze boorstangen hebben een lengte van ca. 3 m (mini-rig) tot ca. 10 m (maxi-rig). De afzonderlijke boorstangen worden met een schroefkoppeling onderling verbonden tot een doorgaande boorstreng.

Het boortracé wordt (verticaal en eventueel horizontaal) gebogen uitgevoerd. Het boorproces gebeurt gefaseerd. Als eerste vindt de pilotboring plaats, gevolgd door een of meerdere ruimeroperaties. Uiteindelijk wordt de productleiding of bundel ingetrokken.

Horizontaal gestuurde boringen zijn alleen mogelijk indien gebruik gemaakt wordt van boorspoeling. Tijdens het ruimen van het boorgat moet de losgewoelde grond naar het in- of uitredepunt worden afgevoerd. Tevens moet het geboorde gat stabiel blijven. Naarmate de afstand vanaf het intredepunt toeneemt, de noodzakelijke boorspoeldruk en daarmee de beïnvloeding van de grond rond de leiding ook toeneemt. De reden hiervan is dat de boorvloeistof over de lengte van de boring hydraulische weerstand opbouwt die moet worden overwonnen.

Als gevolg van de boordruk in het boorgat ontstaat rond de boring een 'plastische zone'. De omvang van de plastische zone is afhankelijk van de gebruikte drukken, de diepteligging en de grondsoort. Als de maximaal toelaatbare boordruk wordt overschreden, bezwijkt de grond resulterend in een 'blow-out'. De HDD-techniek kan hiermee de directe omgeving beïnvloeden.

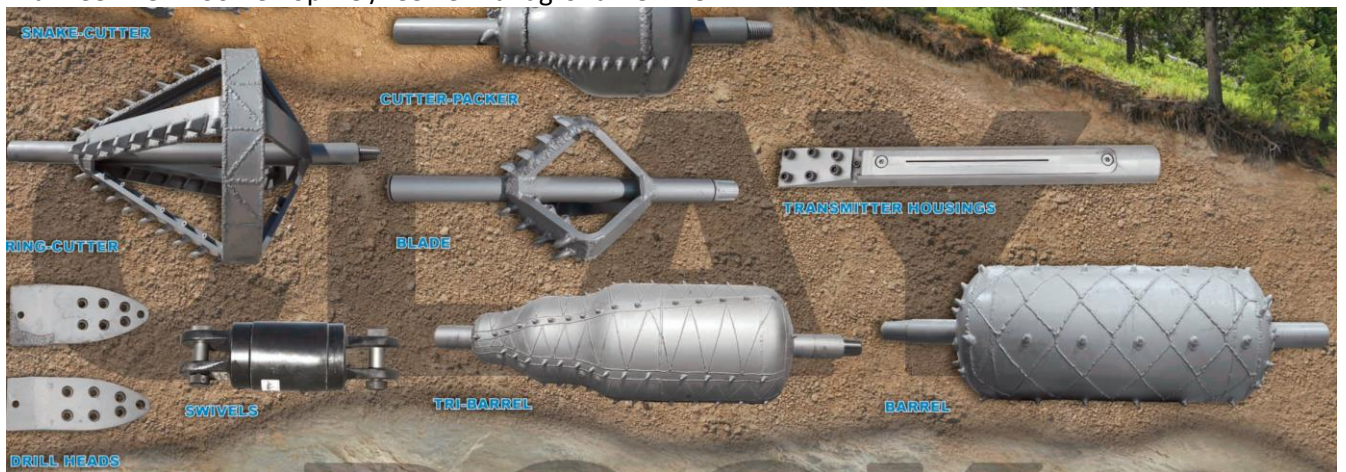
De keuze van de boormachine is belangrijk. Een te kleine machine kan niet de benodigde trekkracht leveren. Een te grote machine kan problemen hebben met de in- en uitredehoeken. Daarnaast is de keuze van boorstangen, ruimers, trekkoppen, swivels en andere appendages van belang.

Op diverse websites van leveranciers is daar veel informatie over te krijgen.



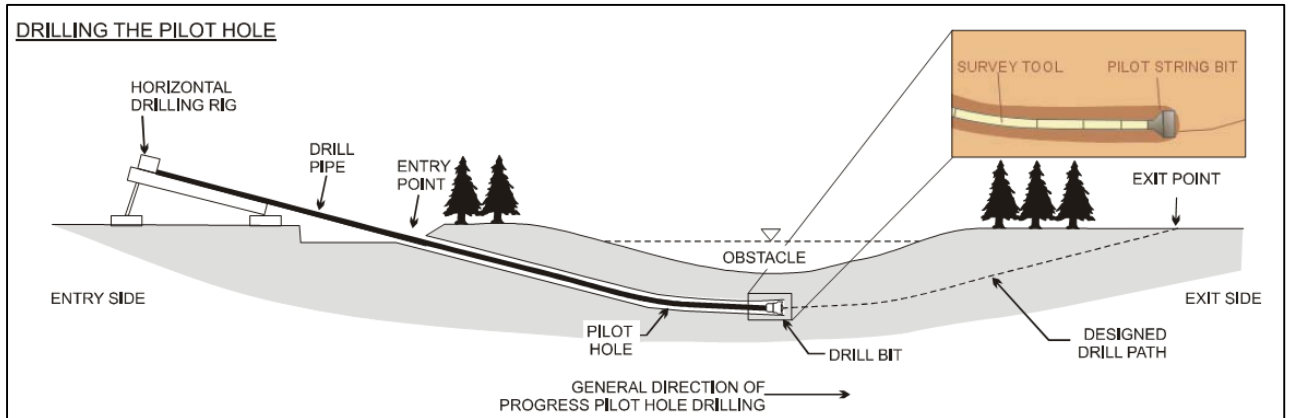
In dit overzicht is goed te zien dat leveranciers rekening houden met zandgrond, kleigrond en harde (rotsachtige) grond. Bij combinaties van dergelijke grondsoorten is het van groot belang dat het boorbedrijf met het juiste materieel aan de gang gaat.

Wanneer we inzoomen op klei/veen en zandgrond zien we:



## 2.2 Pilotboring ten behoeve van de richting in x, y en z-richting

Principe:



Aan de voorkant van de pilotbuis is een boorkop met snijmesses (DRILL BIT) of een spuitjet aangebracht. De boorkop met snijmesses wordt aangedreven door een mengsel van water en bentoniet onder druk in de pilotbuis te voeren.

De boorspoeling wordt via de pilotbuis naar de boorkop getransporteerd en wordt samen met de losgewoelde grond langs de buitenzijde van de pilotbuis door het boorgat afgevoerd.

Wanneer bij een pilotbuis de wrijving tussen de buiswand en de grond, ondanks de smerende werking van de boorspoeling, te groot wordt, kan een stalen spoelbuis (wash-over pipe) roterend over de boorstreng gedrukt worden.

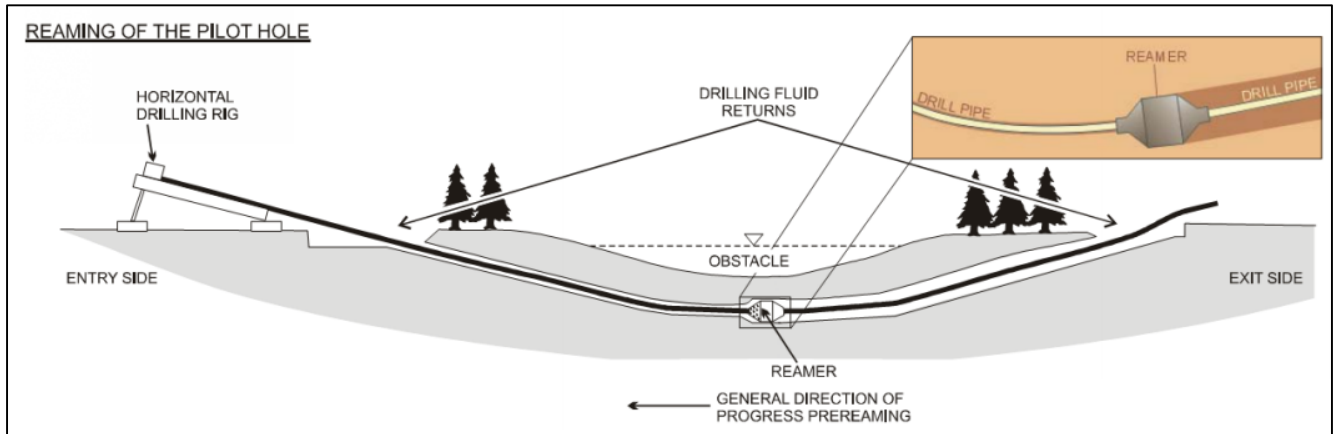
Over het eerste gedeelte van de pilotbuis kan een casing worden aangebracht in de volgende gevallen:

- indien de boorgatstabiliteit in gevaar komt;
- indien gevaar bestaat voor een blow-out;
- indien gevaar bestaat voor uitknikken van de boorstang.

De samenstelling van de boorspoeling is afhankelijk van de diepte, de grondsoort en de kwaliteit van het grondwater waarin geboord wordt.

## 2.3 Ruimen van het boorgat met een ruimer (reamer)

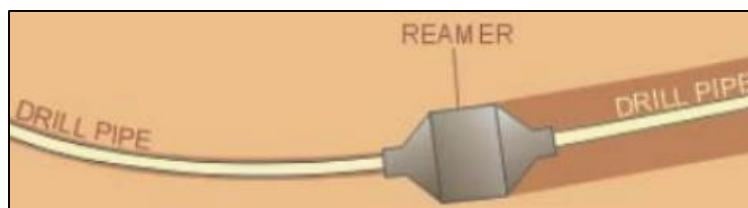
Principe:



Nadat de pilotbuis bij het uittredepunt boven de grond is gekomen, wordt op het uiteinde van de pilotbuis een ruimer gemonteerd. Vervolgens wordt de pilotbuis met ruimer teruggetrokken.

De ruimer wordt met een draaiende beweging door het voorgeboorde pilotboorgat teruggetrokken. Op de ruimer zijn behalve jets, waardoor de boorspoeling naar buiten gespoten wordt, soms ook messen, kammen of tanden aangebracht (afhankelijk van de grondslag waarin geboord wordt).

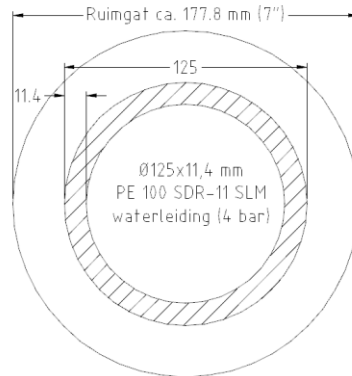
De los gespoten grond wordt langs de buitenzijde van de pilotbuis of door het geruimde boorgat in de retourstroom van de boorspoeling afgevoerd naar het maaiveld. Achter de ruimer wordt opnieuw een boorstang of de productleiding gekoppeld, zodat de verbinding tussen in- en uittredepunt behouden blijft.



Afhankelijk van de grondslag en de vereiste boorgatdiameter kunnen meerdere ruimeroperaties achter elkaar worden uitgevoerd.



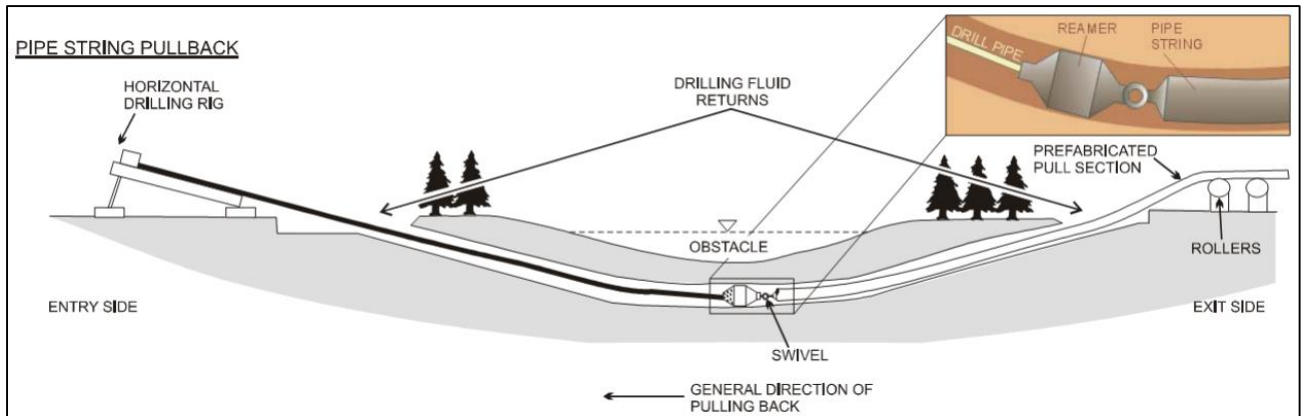
De boring bestaat uit een enkele buis van PE, met een diameter van 125 mm.



In het ontwerp is uitgegaan van een eindruimer van circa 177,8 mm (7") eindruimer, ca. 1,4 maal de diameter van de te boren buis. De aannemer dient aan te geven welke ruimer(s) werkelijk gebruikt gaan worden.

## 2.4 Intrekken productleiding of bundel

Principe:



Tijdens de laatste fase van de booroperatie de productleiding achter de ruimer gekoppeld en in een boorgat met een grotere diameter dan die van de productleiding getrokken. Het boorgat blijft ook dan geheel gevuld met de boorspoeling vermengd met grond. De grootte van de diameter van het boorgat moet afgestemd worden op de omhullende diameter van de bundel.

Ten behoeve van het inbrengen van de productleiding wordt tussen de ruimer en de productleiding een wartellager (swivel) gemonteerd zodat geen rotatie van de productleiding kan optreden.



Op deze wijze worden geen torsiekrachten op de productleiding uitgeoefend. Nadat de productleiding of de bundel in het geboorde gat is getrokken is de boring voltooid.

## 2.5 Bestuurbaarheid van een horizontaal gestuurde boring

De horizontale boormethode is zeer goed bestuurbaar en de positie van de boorkop kan vrijwel continue worden bepaald. De boorkop wordt gestuurd door middel van een stuurslof die zich aan de voorzijde van de boorkop bevindt of door een bocht in de boorbuis. Door tijdens het invoeren de stuurslof in de gewenste richting te laten wijzen, wordt sturing verkregen. Afwijkingen kunnen worden gecorrigeerd door de boorkop over een bepaalde afstand terug te trekken en vervolgens met een andere stand van de stuurslof verder te drukken.

De boorkop kan worden uitgerust met een zeer nauwkeurig plaatsbepalingssysteem. Hiervoor is een gyroscoopmeting het meest geschikt. Met dit systeem kan de positie van de boorkop nauwkeurig worden berekend als functie van de afgelegde afstand en hoekverdraaiingen.

De bochtstralen van het boorontwerp zijn zo gekozen dat er eventueel een gyroscoopmeting kan worden toegepast. De aannemer dient aan te geven welke boorkop of plaatsbepalingssysteem werkelijk gebruikt gaan worden.

### 3 Ontwerputgangspunten

Het tracé van de boringen wordt bepaald door de randvoorwaarden die worden gesteld vanuit de omgeving en de techniek. Belangrijk daarbij is dat de invloed op de bestaande omgeving minimaal is. De belangrijkste randvoorwaarden zijn:

- het gewenste intrede- (noordzijde, Rieteland-Oost) en uittredepunt (zuidzijde, eilandje Diemerzeedijk) van de boring;
- eisen van vergunningverlenende instanties;
- benodigde diepteligging ten opzichte van de bestaande infrastructuur;
- grondonderzoeklocaties ter voorkoming van blow-outs;
- de maximale buigradius van de gebruikte leidingen.
- het gebruikte boormaterieel

#### 3.1 In- en uittredepunten

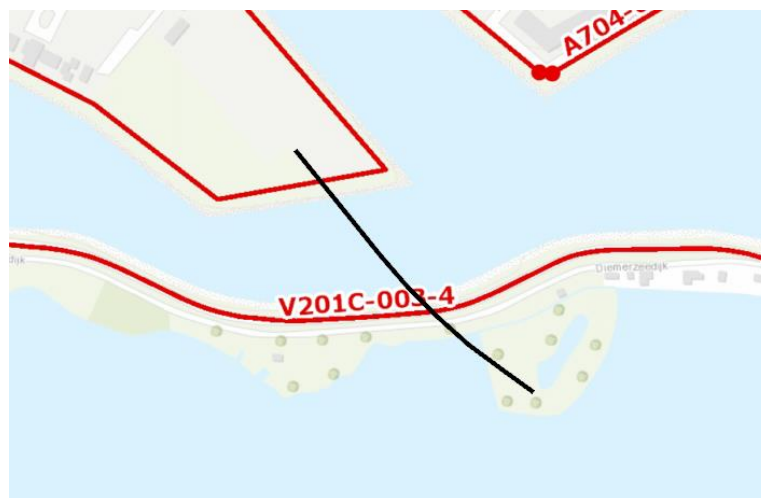
In een eerdere fase van het project is door Waternet de beste locatie van het tracé vastgesteld. Hierbij heeft men gekeken naar de beste manier om de aansluiting op de bestaande leidingen te maken en rekening te houden met de historische Diemerzeedijk.

#### 3.2 Eisen vergunningverlenende instanties

In alle van de onderstaande gevallen is voor het opgestelde ontwerp en de gemaakte berekeningen uitgegaan van de eisen voor buisleidingsystemen uit de NEN 3550 en 3651. Aanvullende eisen van de vergunningverlenende instanties zijn hieronder vermeld.

##### 3.2.1 Waterschap Amstel, Gooi en Vecht

De boringen worden gerealiseerd binnen het beheersgebied van het Waterschap Amstel, Gooi en Vecht. Er worden twee waterkeringen gekruist.



Er is sprake van een (klein) peilverschil tussen de grondwaterstand ten noorden en ten zuiden van de Diemerzeedijk.

### **3.3 Bestaande infrastructuur**

In het gebied liggen verschillende kabels en leidingen. De in- en uittredepunten van de boring zijn vastgelegd door Waternet, waarbij rekening is gehouden met de bestaande kabels en leidingen ter plaatse van het in- en uittredepunt. Er is een Klic-oriëntatieonderzoek gedaan waarbij alle bestaande kabels en leidingen in beeld zijn gebracht. De bestaande kabels en leidingen staan weergegeven op de tekeningen en worden alle met ruime afstand gekruist.

Er wordt een gestuurde boring van een  $\varnothing 600$  stalen waterleiding van Waternet gekruist. Conform NEN 3650-1 G.4.3 dient een minimaal een tussenafstand (dagmaat) van 5 meter aangehouden te worden.

### **3.4 Diepteligging met betrekking tot boorspoeling (mud-uitbraak)**

De gestuurde boringen dienen op voldoende diepte t.o.v. het maaiveld te liggen ter voorkoming van blow-outs. Conform NEN 3650-1 G.4.6 dient een HDD-boring voorafgaand geanalyseerd te worden op de toe te passen boorspoeldrukken en bijbehorende maximale straal van de plastische zone.

De maximale druk in de boorspoeling, ter plaatse van de boorkop of ruimer in het boorgat mag voor elke doorloofase van het boorproces niet uitkomen boven een vooraf op basis van onderzoek vastgestelde hoogste waarde.

De maximaal toelaatbare boorspoeldruk in het boorgat plus het totale drukverlies in de aanvoerleidingen levert de maximaal toelaatbare boorspoeldruk op de meter van de bedieningsconsole. Hierop kan worden gestuurd en zo nodig ingegrepen.

Bij voorkeur behoort daarom voor zowel de 'pilot'-boring als de verschillende ruimerdoorgangen te worden bepaald wat de leidingweerstand zijn in de slangen, boorstangen en, spuit-'nozzles' en de boorspoelmotor. Hieruit wordt het totale drukverlies tussen de pomp en het boorgat ter plaatse van de boorkop bepaald.

Het drukverlies behoeft niet te worden bepaald indien de druk in het boorgat ter plaatse van de boorkop wordt gemeten. De minimaal benodigde boorspoeldruk voor de 'pilot'-boring moet eveneens worden berekend. Ook de minimaal benodigde boorspoeldruk voor de andere fasen van het boorproces (ruimen, intrekken) dient te worden berekend. Het verschil tussen de minimaal benodigde en de maximaal toelaatbare boorspoeldruk in het boorgat moet voor alle fasen minimaal 50 kPa (0,5 bar) bedragen, behalve nabij het in- en het uittredepunt.

Door Adviesbureau Schrijvers zijn de toelaatbare en vereiste boorspoeldrukken berekend. De maximale boorspoeldrukken worden tijdens de pilotfase alleen overschreden nabij het uittredepunt. Hoewel dit inherent is aan deze aanlegtechniek dient hier rekening mee gehouden te worden door de aannemer.

Vanwege de diepe boring wordt de rijksweg op grote diepte gekruist, waardoor er geen kans is op mud-uitbraak is. De in- en uittredepunten liggen op ruime afstand van de te kruisen objecten. Er bestaat geen gevaar voor de instabiliteit van deze objecten.

### **3.5 Buigradius van de PE leidingen**

Onderdeel van het ontwerp is de minimale buigradius van het te boren materiaal. Bij PE kan is een vrij krappe kromming mogelijk. PipeLife (fabrikant PE-buizen) stelt dat de buigradius bij buizen van  $\varnothing 125$  mm, minimaal 50 maal de diameter mag bedragen. Aan deze eis wordt ruimschoots voldaan.

Overigens, bij dergelijke diameters zal vaak niet het buismateriaal de beperkende factor zijn van het ontwerp, maar de minimale kromming van de boorstangen en steering tool.

### **3.6 Boormaterieel**

De in te zetten boormachine is vooralsnog niet bekend.

De totale trekkracht bij het intrekken van de leiding zal gering zijn. Uitgaande van het niet balasten bij het intrekken zal er ca. 2 ton aan trekkracht nodig zijn. Wanneer de leiding tijdens het intrekken gevuld wordt met water t.p.v. het boorgat, zal een trekkracht nodig zijn van ca. 1,2 ton.

De in te zetten boorstangen zijn niet bekend, maar zullen afhankelijk van de keuze van de aannemer variëren tussen de 43 mm en 114 mm. De minimale buigstraal bij staal is ca. 1000 maal de diameter. Wanneer de aannemer een grote boormachine inzet, met bijbehorende boorstangen zal een minimale buigradius van 114 m haalbaar zijn.

Een boorkop met garandeert een zo'n nauwkeurig mogelijke plaatsbepaling. Deze methode vereist een minimale buigradius van circa 170 m. Gelet hierop is in het ontwerp uitgegaan van een ruime bochtstraal van 200 m.

### **3.7 Grond(water)onderzoek**

Ten behoeve van de aanleg van de DN600 stalen waterleiding is uitgebreid grondonderzoek uitgevoerd. Tevens zijn diverse bestaande sonderingen en grondboringen teruggevonden.

#### **3.7.1 Bepalingen t.b.v. samenstelling boorspoeling**

De samenstelling van de boorspoeling moet bepaald worden door de boormeester.

Er is geen onderzoek gedaan naar de PH-waarde en het Cl-gehalte van het grondwater.

Gelet op het gebied waar geboord gaat worden dient men er van uit te gaan dat sprak is van brak grondwater. De samenstelling van de boorvloeistof dient hierop te worden aangepast. Voor de aanmaak van de boorvloeistof moet bij voorkeur leidingwater worden gebruikt. De aannemer dient aanvullend onderzoek te doen naar de kwaliteit van het grondwater en hier zijn boorspoeling op aan te passen. Een en ander dient te worden weergegeven in een boorplan.

#### **3.7.2 Grondmechanische parameters**

De grondmechanische parameters zijn bepaald aan de hand van sonderingen en handboringen.

#### **3.7.3 Zettingen**

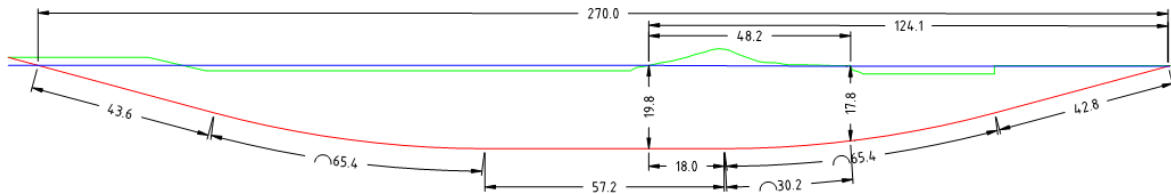
Er worden geen zettingen verwacht.

#### **3.7.4 Kwelwegen**

Na het voltooiën van de intrekoperatie zal door het teruglopen van de overdruk in de boorgang de omringende grond iets worden teruggedrukt. Het vrije water in de bentoniet-boorspoeling zal daardoor voor een gedeelte worden uitgeperst (consolidatie). In het zand zal reeds tijdens het boren het vrije water worden uitgeperst waardoor een filter-“cake” tegen de wand van de boorgang ontstaat.

Na verloop van tijd zullen de tijdens het boorproces eventueel optredende wateroverspanningen zijn verdwenen. In slappe gronden zal op de lange duur door kruip van de grond, wanneer de leiding geen verplaatsing ten opzichte van de grond ondergaat, rondom de leiding de natuurlijke korrelspanning gaan heersen. In verband met dit kruipgedrag van slappe gronden wordt verwacht dat er op de lange duur ook geen doorgaande (in de lengterichting van de leiding) holle ruimten zullen zijn tussen het opgestijfde mengsel van bentoniet en losgeboorde grond en de leiding of de omringende slappe grond.

Er is een gering peilverschil (20 cm) teruggevonden ten noorden en ten zuiden van de Diemerzeedijk. Aan de noordzijde heerst een waterstand van N.A.P. – 0,2 m, aan de zuidzijde NAP – 0,4 m.



Er zijn 3 alternatieve kwelroutes te veronderstellen als gevolg van de gestuurde boring:

1. Een alternatieve kwelweg langs de gehele boring, van het intredepunt naar het uittredepunt.
2. Een alternatieve kwelweg langs de boring, welke de natuurlijke kwelweg door de dijk verstoort.
3. Een alternatieve kwelweg langs de boring, van de noordzijde van de dijk naar het uittredepunt.

Uit de relatieve toetsing op kwel volgens NEN 3651 D.3 volgt een kans op kwel bij kwelweg 1 en 3 bij een weegfactor van 1/5 of lager.

In de NEN wordt een factor  $\alpha$  (weegfactor) geëist van minimaal 1/3 (lage veiligheid) tot 0 (hoge veiligheid). In al deze gevallen zal een kwelroute langs de geboorde leiding aannemelijk zijn, er bestaat een reële kans op kwel.

Er zal voor de boringen een kwelscherm en kleikist moeten worden toegepast bij de in- en uittredepunten van de boring ter voorkoming van langslapheid. Tevens kan een afsluitende boorspoeling gebruikt worden.

Bij een gestuurde boring wordt het kwelscherm uit praktische overwegingen aangebracht vlakbij het in- en uittredepunt.

De eisen waaraan een kwelscherm moet voldoen, staan vermeld in artikel 8.1.7.2 van NEN3651: "Kwelschermen moeten ten minste 0,5m buiten de leiding steken, waterdicht met de leiding worden verbonden en in een kleikist met een dikte van tenminste 1m in de lengterichting van de leiding worden gevat".

Ook de vergraven of verweekte grond rondom de leiding (deels) moet door klei worden vervangen.

De afmeting van de kleikist boven, onder en naast de leiding moet zodanig zijn dat ten minste een volledig afdichtende schijf van klei rondom de leiding en het kwelscherm aanwezig is die overal reikt tot in het onverstoorte bodemmateriaal. Hiermee wordt voorkomen dat er alsnog kwel kan optreden om een te kleine kleikist heen.

Het kwelscherm zelf bestaat gewoonlijk uit een kunststof slab die met een klemband waterdicht om de leiding wordt geklemd en voor het aanbrengen van de kleiomhulling met twee perkoenpalen verticaal wordt gehouden.

## 4 Resultaten berekeningen

De gestuurde boring is voor de aanlegfase berekend met het programma Sigma 2012. Hierin zijn de spanningen en trekkrachten tijdens het intrekken op de buis bepaald en de boorspoeldrukken tijdens aanleg. Ook is hier de kans op implosie uitgerekend.

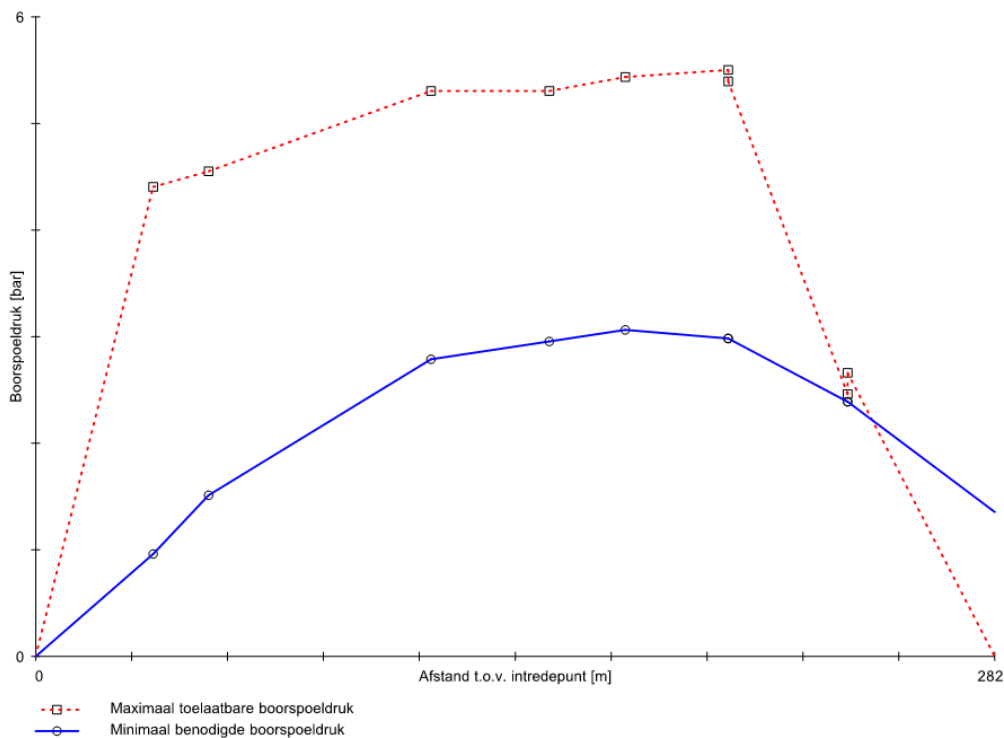
Voor de bedrijfsfase zijn de spanningen en deflecties (vervormingen) bepaald middels het programma PLE4Win. Vanwege de te verwachten zetting (>100 mm) en in- en uittredepunten binnen het gebied van Rijkswaterstaat

### 4.1 Boorspoeldrukken

In de berekeningen zijn toelaatbare boorspoeldruk en de minimaal benodigde boorspoeldruk uitgewerkt. Dit aan de hand van de boorprofielen en grondmechanische gegevens. Hierbij is uitgegaan van de volgende parameters:

Boorstangdiameter            53 mm  
 Boorgatdiameter            7"  
 Zwichtspanning boorvloeistof  $15 \cdot 10^{-5}$  bar

De aannemer die de boringen gaat uitvoeren dient deze berekeningen te maken op basis van het werkelijk in te zetten materiaal.



Tijdens de pilotboring en het ruimen/intrekken is de marge tussen de toelaatbare en benodigde boorspoeldruk voldoende onder de watergangen en waterkeringen.



Bij de boring is er kans op muduitbraak nabij het uittredepunt bij het eilandje. De aannemer kan de muduitbraak beperken door tijdig te reageren en maatregelen te nemen door bijvoorbeeld het debiet van de boorspoeling te verminderen, wat gezien de slappere bovenlagen goed mogelijk is. Welke maatregelen genomen gaan worden moeten vermeld worden in het boorplan.

De berekening van de boorspoeldrukken is op een vereenvoudigde en conservatieve manier gemaakt. Een kleine overschrijding zal niet direct voor een blow-out zorgen. Wel dient in dit gebied de boorspoeldruk extra nauwkeurig gemonitord te worden.

## 4.2 Trekoperatie

De boring heeft een lengte van ca. 280 m en is ontworpen met een neer- en opgaande bochtstraal van 250 meter. Er is een horizontale bocht van 500 m aanwezig, hierdoor zal een gecombineerde straal ( $R_c$ ) van 223,6 m ontstaan.

De maximaal benodigde trekkracht op de buis bedraagt 20.117,21 N ( $\approx 2$  ton) en zal optreden bij het volledig intrekken van de buis:

#	$T_{tot}$ [N]	$T_{tot}$ [ton]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$M_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_s$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	6921,27	0,69	1,70			1,70
2	11260,19	1,13	2,77	40216,25	0,38	3,01
3	14244,98	1,42	3,50	20108,12	0,19	3,62
4	18381,89	1,84	4,52	44963,13	0,42	4,79
5	19086,72	1,91	4,69	20108,12	0,19	4,81
6	20117,21	2,01	4,94			4,94

De maximale spanning t.g.v. het intrekken bedraagt 4,94 N/mm<sup>2</sup> en treedt op bij het volledig intrekken van de leiding. De maximaal toelaatbare spanning tijdens het intrekken bedraagt 10 N/mm<sup>2</sup>.

Wanneer uit wordt gegaan van het ballasten van de leiding tijdens het intrekken bedraagt de maximaal benodigde trekkracht op de buis 12.336,99 N ( $\approx 1,2$  ton) en zal optreden bij het volledig intrekken van de buis:

#	$T_{\text{tot}}$ [N]	$T_{\text{tot}}$ [ton]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$M_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	5752,13	0,58	1,41			1,41
2	8393,59	0,84	2,06	40216,25	0,38	2,31
3	9828,19	0,98	2,42	20108,12	0,19	2,54
4	12015,11	1,20	2,95	44963,13	0,42	3,23
5	12068,17	1,21	2,97	20108,12	0,19	3,09
6	12336,99	1,23	3,03			3,03

De maximale spanning t.g.v. het intrekken bedraagt 3,09 N/mm<sup>2</sup> en treedt op bij het intrekken van de 2<sup>e</sup> verticale bocht. De maximaal toelaatbare spanning tijdens het intrekken bedraagt 10 N/mm<sup>2</sup>.

Er worden geen problemen verwacht tijdens het intrekken van de buis.

### 4.3 Implosie

Er is geen risico op implosie op het diepste gedeelte van de boring. Uit de berekeningen blijkt dat het buismateriaal een implosiekans heeft bij meer dan 28 meter grondwater boven de leiding. Bij het diepste deel van de boring is sprake van maximaal ca. 20 meter grondwater.

#### 4.4 Sterkteberekening van de leiding in de bedrijfsfase

Fase III: Eindsituatie, mantelbuis is geboord en wordt belast door grond en verkeer.

Spanningen in omtreksrichting:

##### 9.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

Locatie	$\sigma_q$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{qr}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_{\sigma}$ [-]	$\sigma_{y2}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	4,93	-	0,65	<b>3,20</b>
3	4,63	-	0,65	<b>3,01</b>
4	8,36	0,016	0,65	<b>5,45</b>
5	8,36	-	0,65	<b>5,44</b>
7	11,57	0,018	0,65	<b>7,53</b>
8	7,28	0,018	0,65	<b>4,75</b>
8'	6,97	0,018	0,65	<b>4,54</b>
9	3,68	-	0,65	<b>2,39</b>
9'	4,01	-	0,65	<b>2,61</b>

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

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

Conclusie: Hoogst optredende spanning bedraagt 7,53 N/mm<sup>2</sup>. De toelaatbare spanning bedraagt 8,0 N/mm<sup>2</sup>.

Spanningen in langsrichting:

##### 9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

Locatie	$\sigma_{ax}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_{\sigma}$ [-]	$\sigma_x$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	1,56	-	-	<b>1,56</b>
3	1,56	-	-	<b>1,56</b>
4	1,56	0,38	0,65	<b>1,81</b>
5	1,56	-	-	<b>1,56</b>
7	1,56	0,42	0,65	<b>1,84</b>
8	1,56	0,42	0,65	<b>1,84</b>
8'	1,56	0,42	0,65	<b>1,84</b>
9	1,56	-	-	<b>1,56</b>
9'	1,56	-	-	<b>1,56</b>

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

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

Conclusie: Hoogst optredende spanning bedraagt 0,43 N/mm<sup>2</sup>. De toelaatbare spanning bedraagt 8,0 N/mm<sup>2</sup>.

Bij kunststofleidingen is het ook nodig te kijken naar de vervorming (deflectie) op langere termijn.

Locatie	Q <sub>n</sub> [N/mm <sup>1</sup> ]	Q <sub>v</sub> [N/mm <sup>1</sup> ]	Q <sub>r</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	δ <sub>y</sub> [mm]	δ <sub>y</sub> /D <sub>g</sub> [%]
1	14,85	0,24	-	<b>3,24</b>	2,85
3	14,19	0,00	-	<b>3,04</b>	2,68
4	25,62	0,00	0,00054	<b>4,10</b>	3,61
5	25,62	0,00	-	<b>4,10</b>	3,61
7	35,42	0,03	0,00060	<b>5,68</b>	5,00
8	22,23	0,09	0,00060	<b>4,19</b>	3,69
8'	21,30	0,05	0,00060	<b>4,01</b>	3,53
9	11,26	0,00	-	<b>1,80</b>	1,59
9'	12,19	0,09	-	<b>1,61</b>	1,42

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

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

Conclusie: Hoogst optredende deflectie bedraagt 5,68 mm. De toelaatbare deflectie bedraagt 9,09 mm (8% van de gemiddelde diameter).

## 5 Conclusie

Het advies is om te boring uit te voeren zoals in de voorgaande hoofdstukken beschreven. De eisen aangaande de vergunningverleners zijn verwerkt in dit boorrapport en tekeningen.

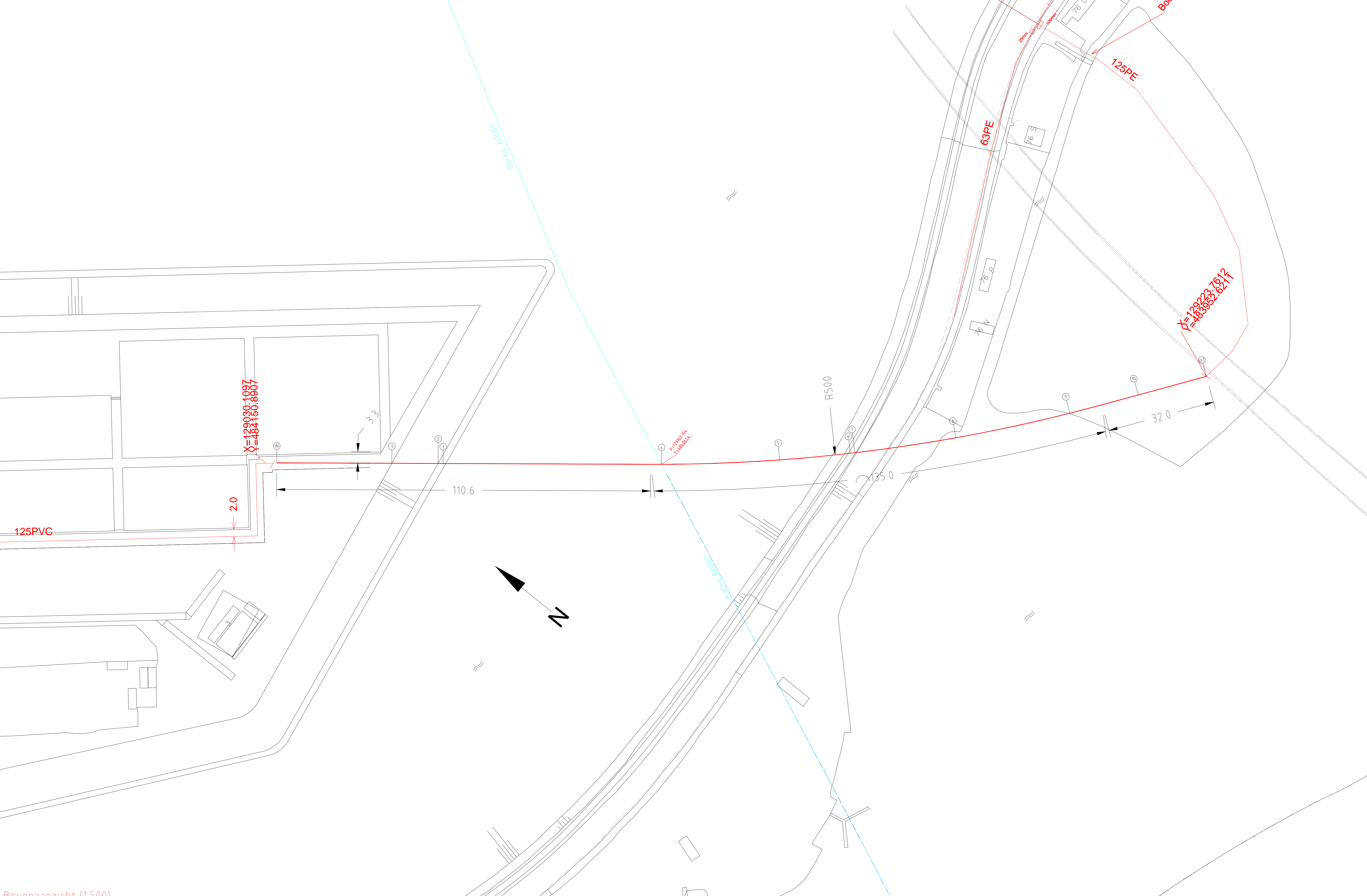
Uit de sterkteberekeningen blijkt dat wanneer de boring wordt uitgevoerd in PE 100 SDR-11 de leiding voldoet aan de eisen gesteld in de NEN-normen 3650 en 3651. De maximaal toelaatbare deflectie en spanningen worden niet overschreden. Er treedt tevens geen gevaar voor implosie op.

Er worden geen problemen verwacht tijdens het intrekken van de boring. De benodigde trekkrachten zijn gering.

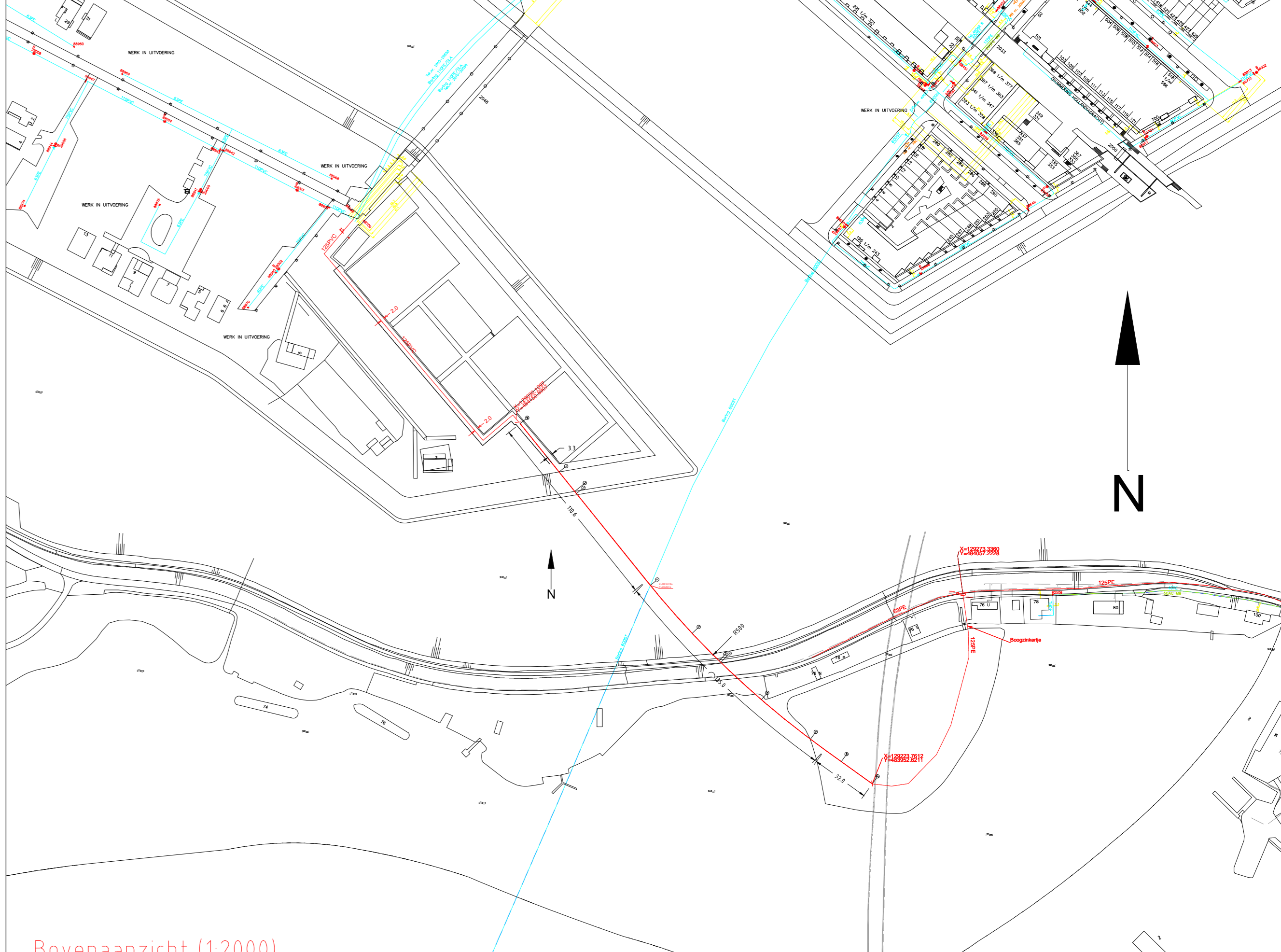
Bij de bepaling van de maximaal toelaatbare- en minimaal benodigde boorspoeldrukken, is bij het uittredepunt van de boringen een overschrijding van de maximaal toelaatbare boorspoeldruk zichtbaar. De berekening van de boorspoeldrukken is op een vereenvoudigde en conservatieve manier gemaakt. Een kleine overschrijding zal niet direct voor een blow-out zorgen. Wel dient in dit gebied de boorspoeldruk extra nauwkeurig gemonitord te worden.

Voor de middellange termijn dient een kwelremmende voorziening te worden aangebracht in de vorm van een kleikist en een kwelscherm of een afsluitende boorspoeling.

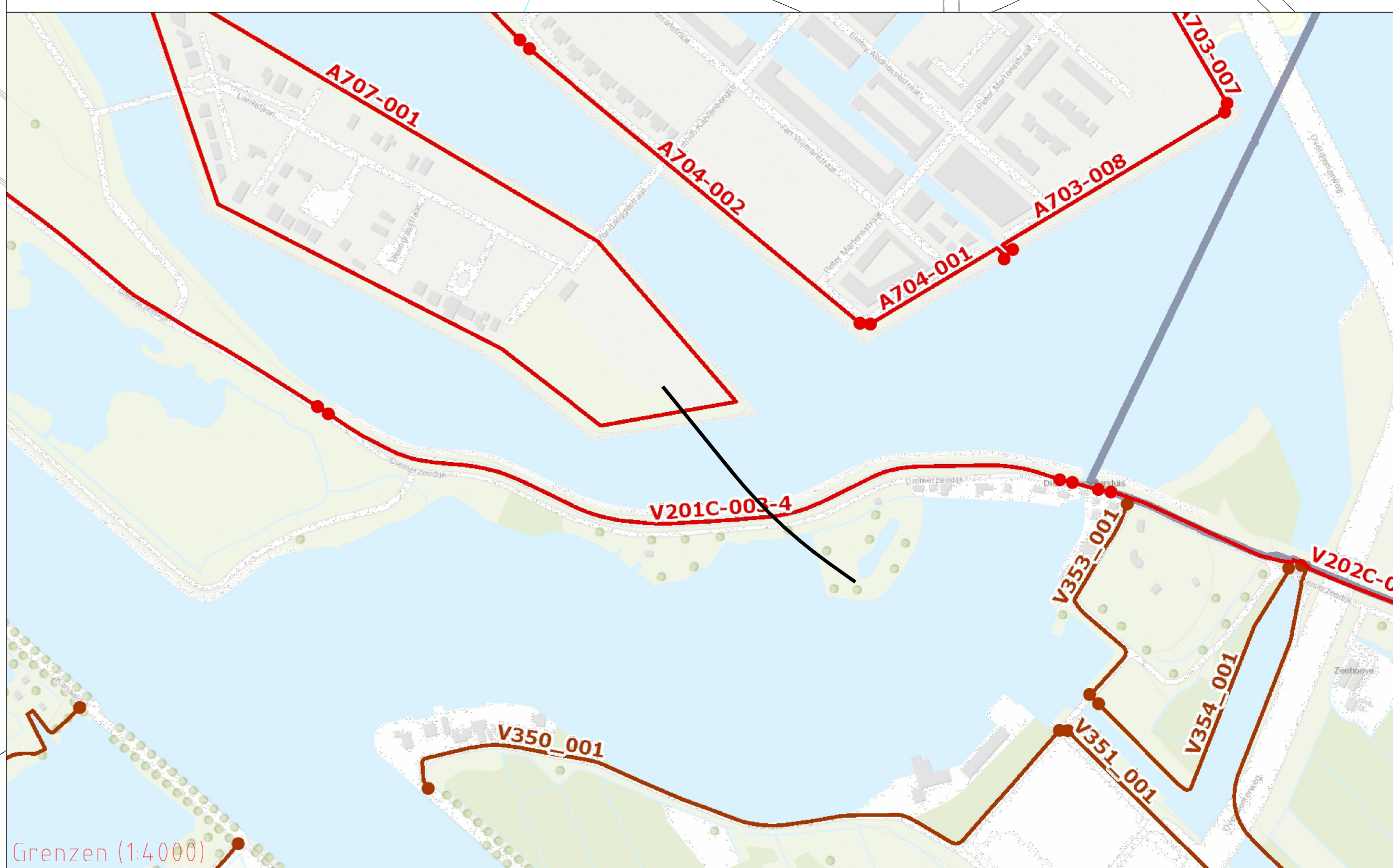
6 *Bijlage 1*      *Profiel gestuurde boring*



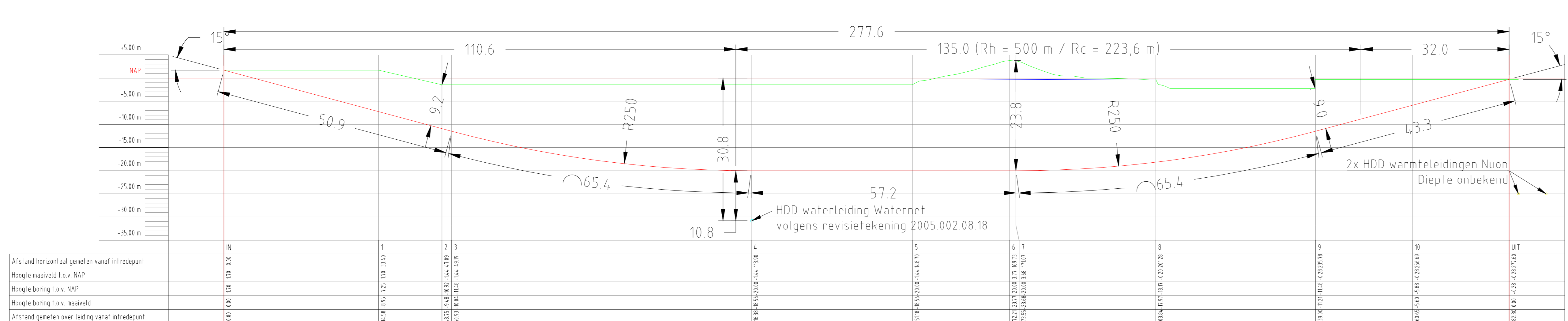
Bovenaanzicht (1500)



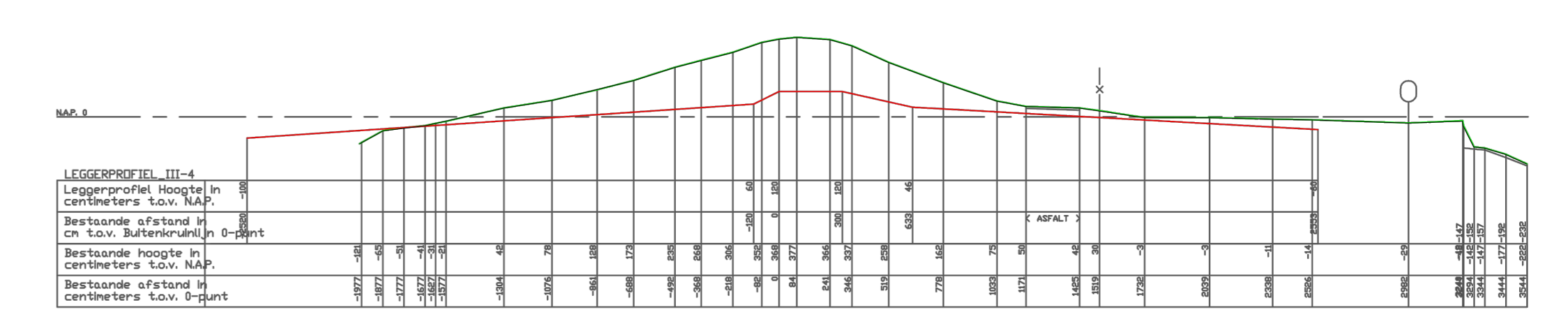
Bovenaanzicht (12000)



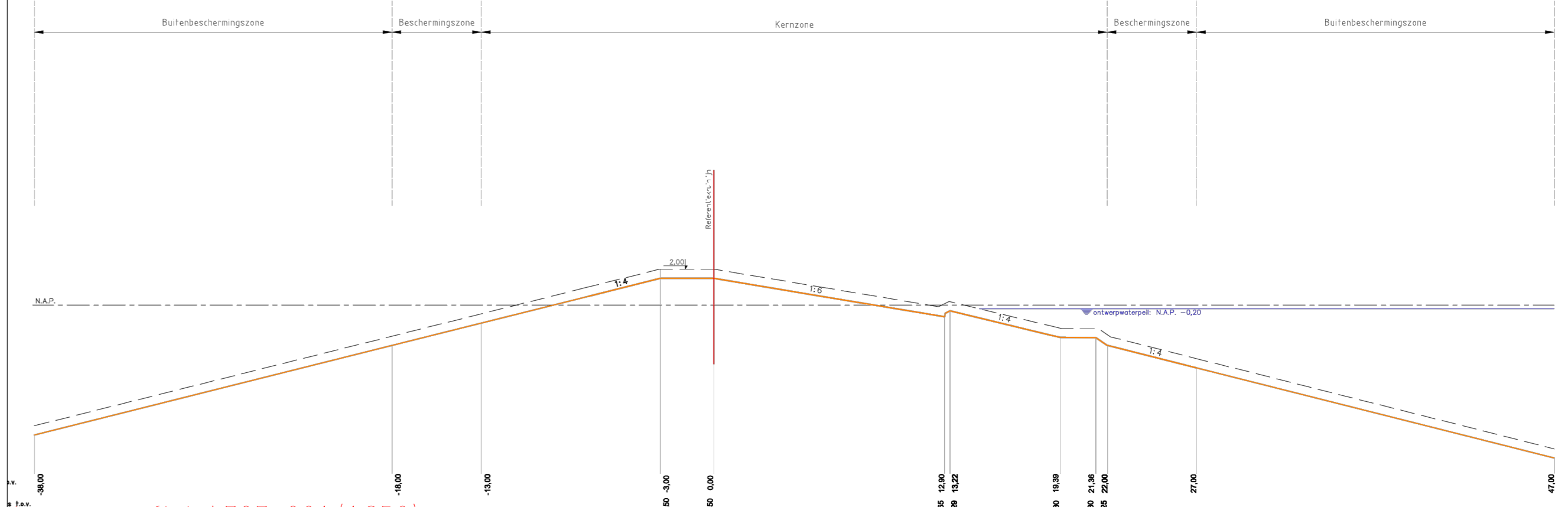
Grenzen (1:4000)



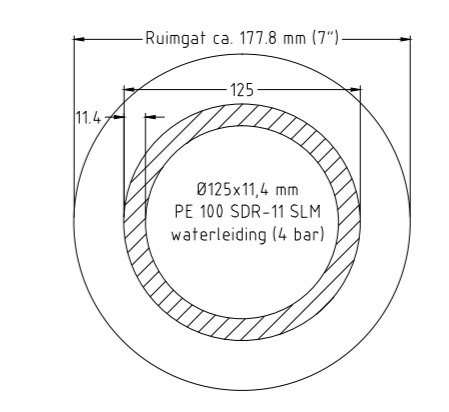
Lengteprofiel boring (1500)



Leggerprofiel V201C-003-4 III-4 (1:250)



Leggerprofiel A707-001 (1:250)



Leidingconfiguratie (1:4)

Omschrijving		2		Profiel 1 meter verschoven op	B.B.	31-3-16
HDD Waternet onder IJmeer		1		verzoek Gemeente Amsterdam	B.B.	3-3-16
IJburg/Waterkeringpod/Diemerzeedijk		0		Bochtstroten toegevoegd	B.B.	2-3-16
Ø125x11,4 PE 100 SDR-11 SLM		Rev.		Logo toegevoegd	Get.	03-03-16
Locatie:		Amsterdam IJburg / Diemen		Tekeningsnummer: 2016-66858_Boorprofiel		
Get.: B.B.	Datum: 31-03-2016	Blad: 2	Totaal: 1/1			
Schaal: -	Maatstaf: m					
Papierformaat: A0						



*7 Bijlage 2 Trekkraftberekening (ongevuld)*



Berekening trekkracht conform NEN3650/3651

Naam van het project : HDD Ijmeer  
 Projectonderdeel : PE 100 SDR-11 (geen vulling)  
 Bladzijde : 1

Adviesbureau  
**Schrijvers**



**Materiaalgegevens**

Diameter	$D_o$	=	125 mm
Wanddikte	$d_n$	=	11,4 mm
E-modulus kort	$E$	=	975 N/mm <sup>2</sup>
Alfa ax./tan.	$\alpha_\sigma$	=	0,65
Soortelijk gewicht buis	$\rho_L$	=	9,55 kN/m <sup>3</sup>
Inwendige bekleding	$e_i$	=	0 mm
Uitwendige bekleding	$e_u$	=	0 mm
S.G. inw. bekleding	$\rho_{L,i}$	=	21 kN/m <sup>3</sup>
S.G. uitw. bekleding	$\rho_{L,u}$	=	9,55 kN/m <sup>3</sup>

**Uitvoeringsaspecten**

Gewicht vulling maaiveld	$g_{vul,rol}$	=	0 N/mm
Gewicht vulling boorgat	$g_{vul,gat}$	=	0 N/mm
Soortelijk gewicht bentoniet	$\rho_m$	=	11,50 kN/m <sup>3</sup>
Percentage omtrek bentoniet		=	100,00 %

**Veiligheids- en wrijvingsfactoren**

Totaalfactor	$f$	=	1,4
Wrijving maaiveld	$f_1$	=	0,3
Belastingfactor	$f_{k,b}$	=	1,1
Belastingfactor	$f_{k,o}$	=	1,4
Wrijving bentoniet	$f_2$	=	0,00005 N/mm <sup>2</sup>
Wrijving boorgangwand	$f_3$	=	0,2

**Tracé boring**

Straal maaiveld/rollenbaan	$R_r$	=	50 m
Totale lengte	$L$	=	282,23 m

#	Naam	Buislengte [m]	Hoek [°]	Straal [m]	Beddingsconst. [N/mm <sup>3</sup> ]
1	Recht	50,90	0,00	0,00	0,000
2	Verticale bocht	65,40	15,00	250,00	0,029
3	Horizontale bocht	57,20	12,16	500,00	0,029
4	Gecombineerde bocht	65,40	16,76	223,61	0,029
5	Horizontale bocht	10,17	15,00	500,00	0,029
6	Recht	33,16	0,00	0,00	0,000
	0	0,00	0,00	0,00	0,000

Berekening trekkracht conform NEN3650/3651

Naam van het project : HDD Ijmeer  
 Projectonderdeel : PE 100 SDR-11 (geen vulling)  
 Bladzijde : 2

**Eigenschappen van de leiding**

Traagheidsmoment	$I_b$	=	6629052,195 mm <sup>4</sup>
Weerstandsmoment	$W_b$	=	106064,8351 mm <sup>3</sup>
Oppervlakte leiding	$A$	=	4068,49 mm <sup>2</sup>

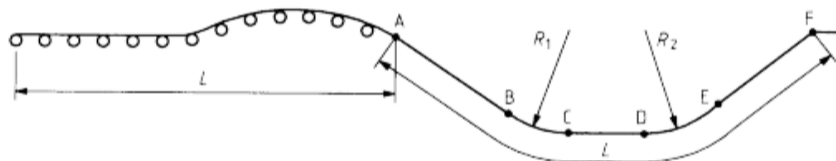
**Gewicht tijdens intrekken van de leiding**

Gewicht leiding	$g$	=	0,0389 N/mm
Totaal gewicht maaiveld	$g_{rol}$	=	0,038854062 N/mm
Totaal gewicht boorgat	$g_{gat}$	=	0,038854062 N/mm
Omtrek bentoniet	$D_{e,omtrek}$	=	392,70 mm
Opwaarts gewicht	$g_{opw}$	=	0,141 N/mm
Effectief gewicht	$g_{eff}$	=	0,102 N/mm

**Trekkrachten bovengronds**

#	L [m]	$T_1$ [N]	$T_1$ [ton]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	282,23	4605,63	0,46	1,13
2	249,07	4064,50	0,41	1,00
3	238,9	3898,54	0,39	0,96
4	173,50	2831,30	0,28	0,70
5	116,3	1897,87	0,19	0,47
6	50,9	830,62	0,08	0,20
			#WAARDE!	
			#WAARDE!	
			#WAARDE!	

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 \quad \sigma_t = \frac{T_1}{A}$$



**Spanning tgv kromming bovengronds**

Belastingfactor	$f_{k,b}$	=	1,1
E-modulus kort	$E$	=	975 N/mm <sup>2</sup>
Traagheidsmoment	$I_b$	=	6629052,195 mm <sup>4</sup>
Straal maaiveld	$R_r$	=	50 m
Weerstandsmoment	$W_b$	=	106064,8351 mm <sup>3</sup>
Moment tgv kromming	$M_b$	=	142193,1696 Nmm
Buigspanning tgv kromming	$\sigma_b$	=	1,341 N/mm <sup>2</sup>

#	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	1,13	2,00
2	1,00	1,87
3	0,96	1,83
4	0,70	1,57
5	0,47	1,34
6	0,20	1,08

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

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

$$\sigma_a = \alpha_\sigma \cdot \sigma_b + \sigma_t$$

Berekening trekkracht conform NEN3650/3651

Naam van het project : HDD Ijmeer  
 Projectonderdeel : PE 100 SDR-11 (geen vulling)  
 Bladzijde : 3

Adviesbureau  
**Schrijvers**



**Spanning tijdens intrekken leiding in boorgat**

#	L [m]	T <sub>2</sub> /T <sub>3a</sub> [N]	T <sub>2</sub> /T <sub>3a</sub> [ton]
1	50,9	2857	0,29
2	116,3	6527	0,65
3	173,5	9738	0,97
4	238,90	13408	1,34
5	249,07	13979	1,40
6	282,23	15840	1,58
			#WAARDE!
			#WAARDE!
			#WAARDE!

$$g_{opw} = \rho_m \cdot D_o^2 \cdot \pi/4 \quad g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}|$$

Rechte delen:  $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3)$

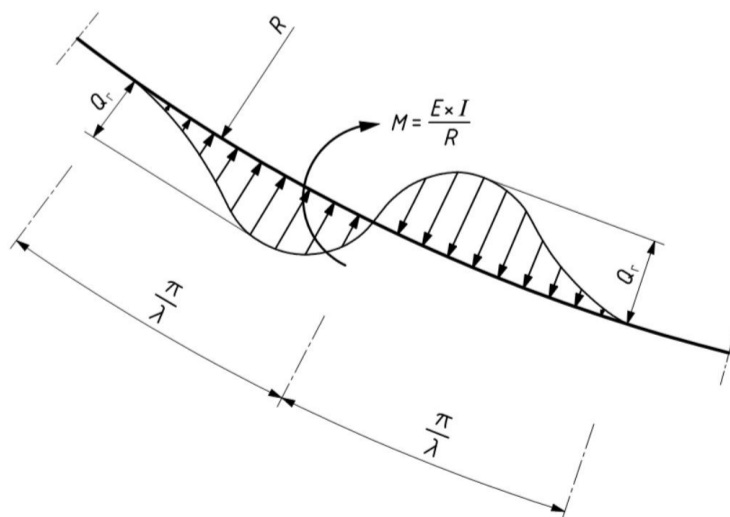
Gebogen delen:  $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3)$

**Trekkracht ivm wrijving door grondreactie bochten**

#	L [m]	$\lambda$ [1/mm]	$q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ]	T <sub>3b</sub> [N]	T <sub>3b</sub> [ton]
1	50,9				
2	116,3	0,003441	0,0009	56,00	0,006
3	173,5	0,003441	0,0004	27,9985347	0,003
4	238,90	0,003441	0,0010	62,61	0,006
5	249,07	0,003441	0,0004	27,9985347	0,003
6	282,23				

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

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_{r1}}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 \quad Q_{r1} = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot 0,9 \cdot R}$$



Berekening trekkracht conform NEN3650/3651

Naam van het project : HDD Ijmeer  
 Projectonderdeel : PE 100 SDR-11 (geen vulling)  
 Bladzijde : 4

Adviesbureau  
**Schrijvers**



**Wrijving door bochtcracht**

#	L [m]	T <sub>1</sub> [N]	T <sub>3a</sub> [N]	T <sub>3b</sub> [N]	T <sub>3,op,neer</sub> [N]	T <sub>3,som</sub> [N]	T <sub>bocht</sub> [N]	T <sub>3c</sub> [N]
1	50,9							
2	116,3	4064,50	6527,35	56,00	56,00	56,00	10647,85135	778,30
3	173,5	3898,54	9737,71	28,00	84,00	84,00	13720,24686	813,67
4	238,90	2831,30	13408,30	62,61	146,60	146,60	16386,1945	1337,15
5	249,07	1897,87	13979,09	28,00	174,60	174,60	16051,55576	1173,28
6	282,23							

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

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

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

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

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

**Totalisatie trekkrachten en spanningen**

#	L [m]	T <sub>1</sub> [N]	T <sub>2</sub> /T <sub>3a</sub> [N]	T <sub>3b</sub> [N]	T <sub>3c</sub> [N]
1	50,90	4064,50	2856,77	0,00	0,00
2	116,30	3898,54	6527,35	56,00	778,30
3	173,50	2831,30	9737,71	84,00	1591,97
4	238,90	1897,87	13408,30	146,60	2929,12
5	249,07	830,62	13979,09	174,60	4102,41
6	282,23	0,00	15840,20	174,60	4102,41

#	T <sub>tot</sub> [N]	T <sub>tot</sub> [ton]	σ <sub>t</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	M <sub>b</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	σ <sub>b</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	σ <sub>a</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
1	6921,27	0,69	1,70			1,70
2	11260,19	1,13	2,77	40216,25	0,38	3,01
3	14244,98	1,42	3,50	20108,12	0,19	3,62
4	18381,89	1,84	4,52	44963,13	0,42	4,79
5	19086,72	1,91	4,69	20108,12	0,19	4,81
6	20117,21	2,01	4,94			4,94

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

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

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} \quad \sigma_t = \frac{T_{tot}}{A}$$

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

Rechte delen:  $\sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} =$

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

**Maximaal benodigde trekkracht:**

**20117,21 N**

**2,01 ton**

*8 Bijlage 3 Trekrachtberekening (gevuld)*

Berekening trekkracht conform NEN3650/3651

Naam van het project : HDD Ijmeer  
 Projectonderdeel : PE 100 SDR-11 (100% vulling)  
 Bladzijde : 1

**Materiaalgegevens**

Diameter	$D_o$	=	125 mm
Wanddikte	$d_n$	=	11,4 mm
E-modulus kort	$E$	=	975 N/mm <sup>2</sup>
Alfa ax./tan.	$\alpha_\sigma$	=	0,65
Soortelijk gewicht buis	$\rho_L$	=	9,55 kN/m <sup>3</sup>
Inwendige bekleding	$e_i$	=	0 mm
Uitwendige bekleding	$e_u$	=	0 mm
S.G. inw. bekleding	$\rho_{L,i}$	=	21 kN/m <sup>3</sup>
S.G. uitw. bekleding	$\rho_{L,u}$	=	9,55 kN/m <sup>3</sup>

**Uitvoeringsaspecten**

Gewicht vulling maaiveld	$g_{vul,rol}$	=	0 N/mm
Gewicht vulling boorgat	$g_{vul,gat}$	=	0,082033582 N/mm
Soortelijk gewicht bentoniet	$\rho_m$	=	11,50 kN/m <sup>3</sup>
Percentage omtrek bentoniet		=	100,00 %

**Veiligheids- en wrijvingsfactoren**

Totaalfactor	$f$	=	1,4
Wrijving maaiveld	$f_1$	=	0,3
Belastingfactor	$f_{k,b}$	=	1,1
Belastingfactor	$f_{k,o}$	=	1,4
Wrijving bentoniet	$f_2$	=	0,00005 N/mm <sup>2</sup>
Wrijving boorgangwand	$f_3$	=	0,2

**Tracé boring**

Straal maaiveld/rollenbaan	$R_r$	=	50 m
Totale lengte	$L$	=	282,23 m

#	Naam	Buislengte [m]	Hoek [°]	Straal [m]	Beddingsconst. [N/mm <sup>3</sup> ]
1	Recht	50,90	0,00	0,00	0,000
2	Verticale bocht	65,40	15,00	250,00	0,029
3	Horizontale bocht	57,20	12,16	500,00	0,029
4	Gecombineerde bocht	65,40	16,76	223,61	0,029
5	Horizontale bocht	10,17	15,00	500,00	0,029
6	Recht	33,16	0,00	0,00	0,000
	0	0,00	0,00	0,00	0,000

Berekening trekkracht conform NEN3650/3651

Naam van het project : HDD Ijmeer  
 Projectonderdeel : PE 100 SDR-11 (100% vulling)  
 Bladzijde : 2

**Eigenschappen van de leiding**

Traagheidsmoment	$I_b$	=	6629052,195 mm <sup>4</sup>
Weerstandsmoment	$W_b$	=	106064,8351 mm <sup>3</sup>
Oppervlakte leiding	$A$	=	4068,49 mm <sup>2</sup>

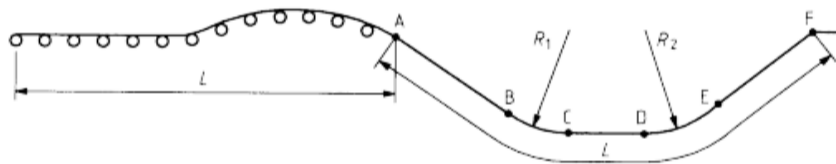
**Gewicht tijdens intrekken van de leiding**

Gewicht leiding	$g$	=	0,0389 N/mm
Totaal gewicht maaiveld	$g_{rol}$	=	0,038854062 N/mm
Totaal gewicht boorgat	$g_{gat}$	=	0,120887643 N/mm
Omtrek bentoniet	$D_{e,omtrek}$	=	392,70 mm
Opwaarts gewicht	$g_{opw}$	=	0,141 N/mm
Effectief gewicht	$g_{eff}$	=	0,020 N/mm

**Trekkrachten bovengronds**

#	L [m]	$T_1$ [N]	$T_1$ [ton]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	282,23	4605,63	0,46	1,13
2	249,07	4064,50	0,41	1,00
3	238,9	3898,54	0,39	0,96
4	173,50	2831,30	0,28	0,70
5	116,3	1897,87	0,19	0,47
6	50,9	830,62	0,08	0,20
			#WAARDE!	
			#WAARDE!	
			#WAARDE!	

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 \quad \sigma_t = \frac{T_1}{A}$$



**Spanning tgv kromming bovengronds**

Belastingfactor	$f_{k,b}$	=	1,1
E-modulus kort	$E$	=	975 N/mm <sup>2</sup>
Traagheidsmoment	$I_b$	=	6629052,195 mm <sup>4</sup>
Straal maaiveld	$R_r$	=	50 m
Weerstandsmoment	$W_b$	=	106064,8351 mm <sup>3</sup>
Moment tgv kromming	$M_b$	=	142193,1696 Nmm
Buigspanning tgv kromming	$\sigma_b$	=	1,341 N/mm <sup>2</sup>

#	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	1,13	2,00
2	1,00	1,87
3	0,96	1,83
4	0,70	1,57
5	0,47	1,34
6	0,20	1,08

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

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

$$\sigma_a = \alpha_\sigma \cdot \sigma_b + \sigma_t$$



**Spanning tijdens intrekken leiding in boorgat**

#	L [m]	T <sub>2</sub> /T <sub>3a</sub> [N]	T <sub>2</sub> /T <sub>3a</sub> [ton]
1	50,9	1688	0,17
2	116,3	3856	0,39
3	173,5	5753	0,58
4	238,90	7921	0,79
5	249,07	8258	0,83
6	282,23	9358	0,94
			#WAARDE!
			#WAARDE!
			#WAARDE!

$$g_{opw} = \rho_m \cdot D_o^2 \cdot \pi/4 \quad g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}|$$

Rechte delen:  $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3)$

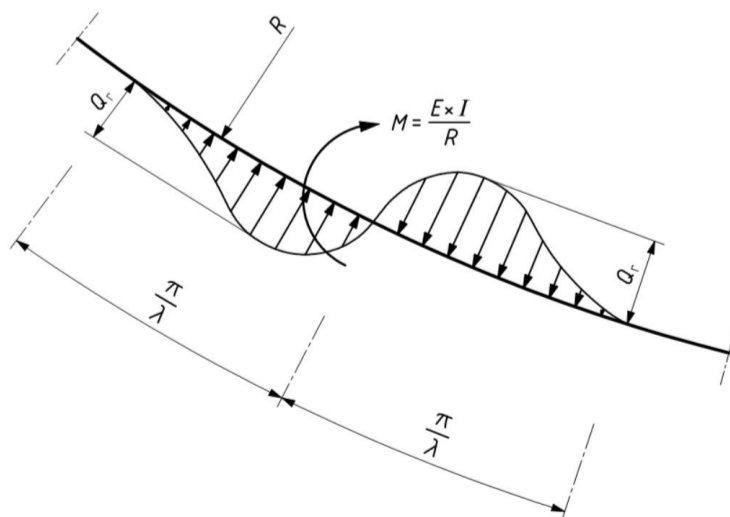
Gebogen delen:  $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3)$

**Trekkraft ivm wrijving door grondreactie bochten**

#	L [m]	$\lambda$ [1/mm]	$q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ]	T <sub>3b</sub> [N]	T <sub>3b</sub> [ton]
1	50,9				
2	116,3	0,003441	0,0009	56,00	0,006
3	173,5	0,003441	0,0004	27,9985347	0,003
4	238,90	0,003441	0,0010	62,61	0,006
5	249,07	0,003441	0,0004	27,9985347	0,003
6	282,23				

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

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_{r1}}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 \quad Q_{r1} = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot 0,9 \cdot R}$$





Berekening trekkracht conform NEN3650/3651

Naam van het project : HDD IJmeer  
 Projectonderdeel : PE 100 SDR-11 (100% vulling)  
 Bladzijde : 4



**Wrijving door bochtkracht**

#	L [m]	T <sub>1</sub> [N]	T <sub>3a</sub> [N]	T <sub>3b</sub> [N]	T <sub>3,op,neer</sub> [N]	T <sub>3,som</sub> [N]	T <sub>bocht</sub> [N]	T <sub>3c</sub> [N]
1	50,9							
2	116,3	4064,50	3856,01	56,00	56,00	56,00	7976,509806	583,04
3	173,5	3898,54	5752,52	28,00	84,00	84,00	9735,055467	577,33
4	238,90	2831,30	7920,91	62,61	146,60	146,60	10898,80416	889,37
5	249,07	1897,87	8258,10	28,00	174,60	174,60	10330,5666	755,11
6	282,23							

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

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

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

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

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

**Totalisatie trekkrachten en spanningen**

#	L [m]	T <sub>1</sub> [N]	T <sub>2</sub> /T <sub>3a</sub> [N]	T <sub>3b</sub> [N]	T <sub>3c</sub> [N]
1	50,90	4064,50	1687,63	0,00	0,00
2	116,30	3898,54	3856,01	56,00	583,04
3	173,50	2831,30	5752,52	84,00	1160,37
4	238,90	1897,87	7920,91	146,60	2049,74
5	249,07	830,62	8258,10	174,60	2804,85
6	282,23	0,00	9357,54	174,60	2804,85

#	T <sub>tot</sub> [N]	T <sub>tot</sub> [ton]	σ <sub>t</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	M <sub>b</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	σ <sub>b</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	σ <sub>a</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
1	5752,13	0,58	1,41			1,41
2	8393,59	0,84	2,06	40216,25	0,38	2,31
3	9828,19	0,98	2,42	20108,12	0,19	2,54
4	12015,11	1,20	2,95	44963,13	0,42	3,23
5	12068,17	1,21	2,97	20108,12	0,19	3,09
6	12336,99	1,23	3,03			3,03

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

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

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} \quad \sigma_t = \frac{T_{tot}}{A}$$

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

Rechte delen:  $\sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} =$

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

**Maximaal benodigde trekkracht:**

12336,99 N

1,23 ton

9 *Bijlage 4*      *Grondonderzoek*



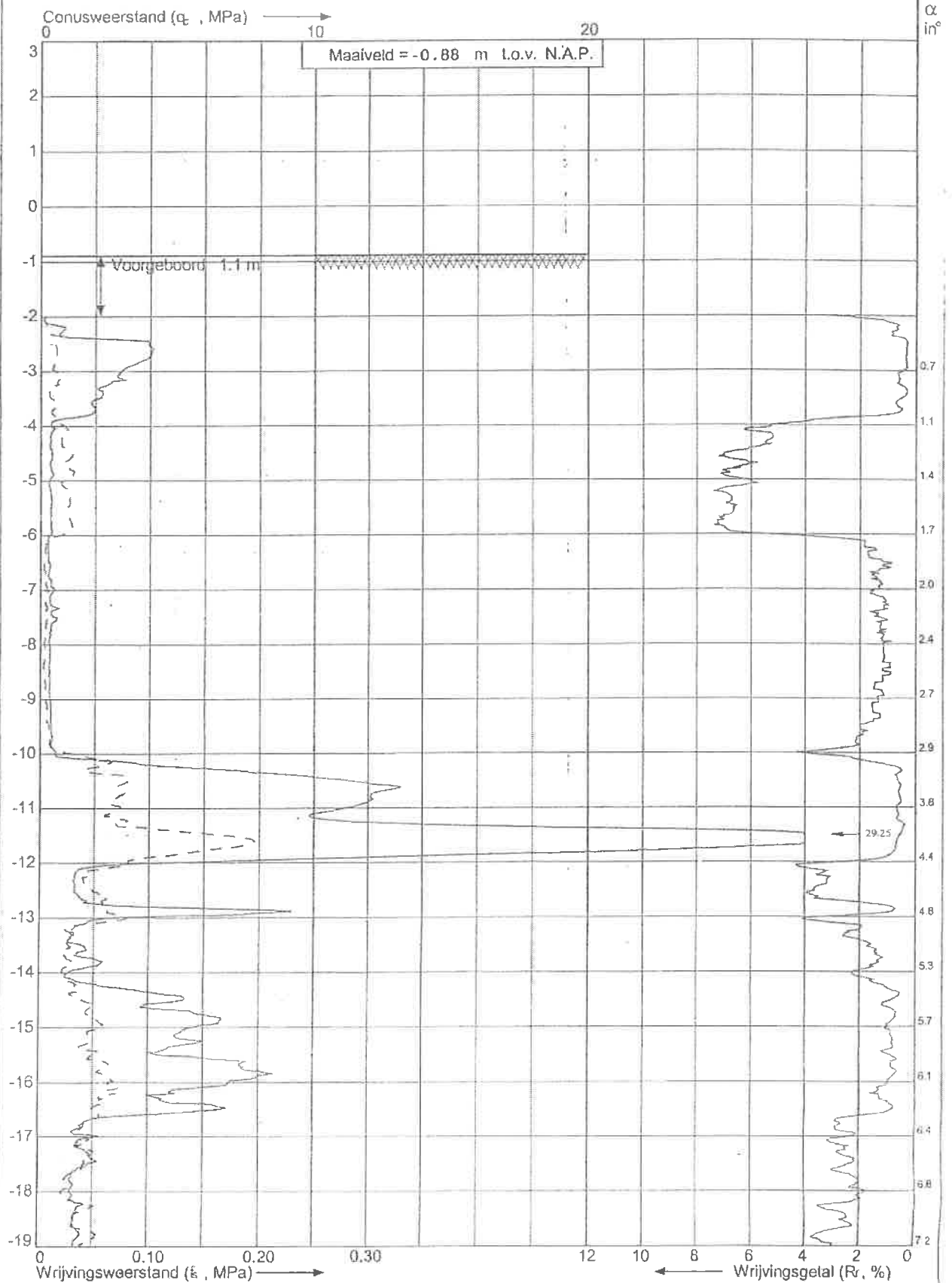


Klasse: 2

Oppervlakte punt: 10 cm<sup>2</sup>     $\alpha$ : Afwijking van de vertikaal

Sondering volgens norm NEN 5140    Conus type: cilindrisch elektrisch

Diepte in meters ten opzichte van N.A.P.



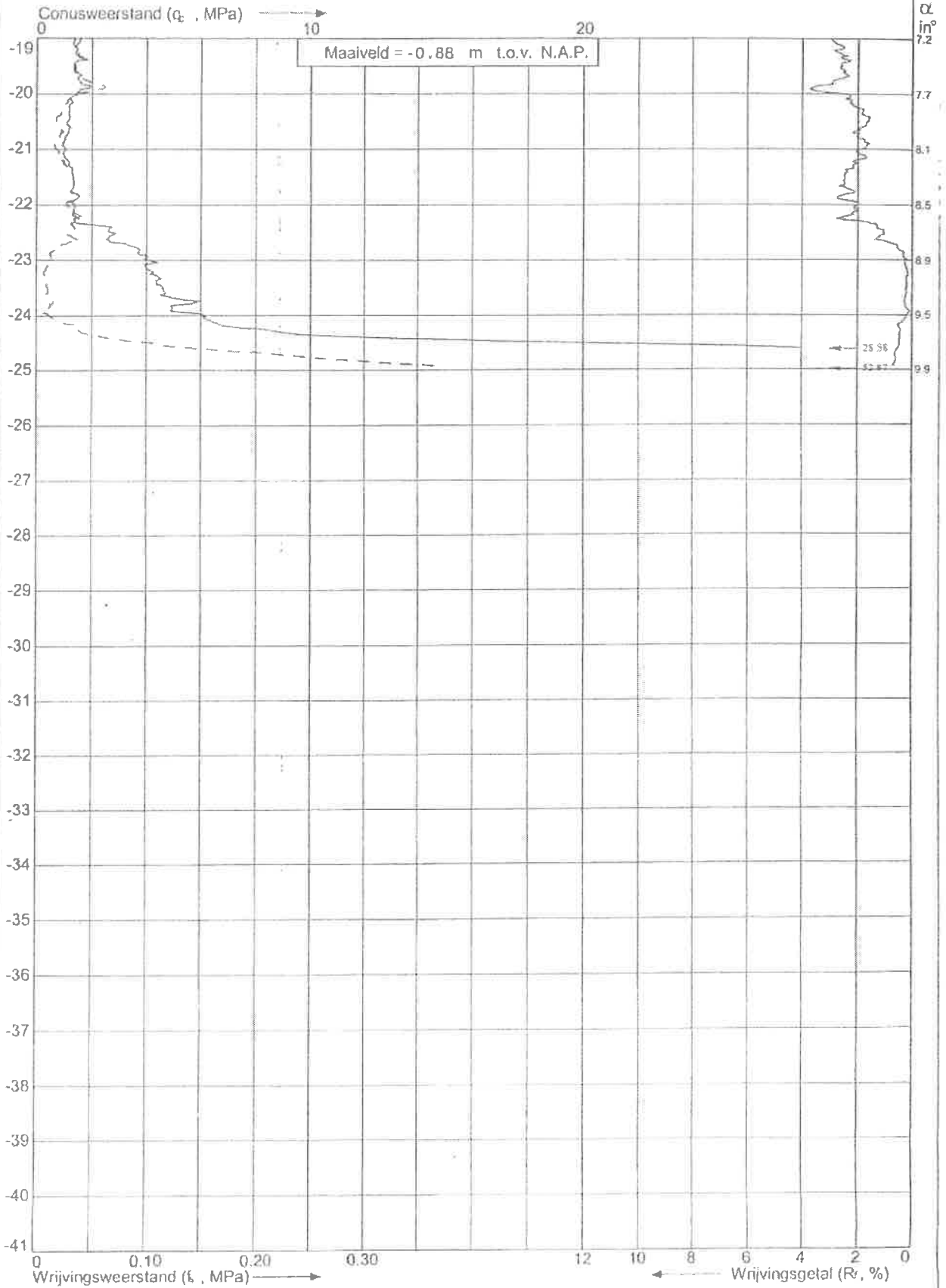


Klasse: 2

Oppervlakte punt: 10 cm<sup>2</sup>  $\alpha$ : Afwijking van de vertikaal

Sondering volgens norm NEN 5140 Conustype: cilindrisch elektrisch

Diepte in meters ten opzichte van N.A.P.



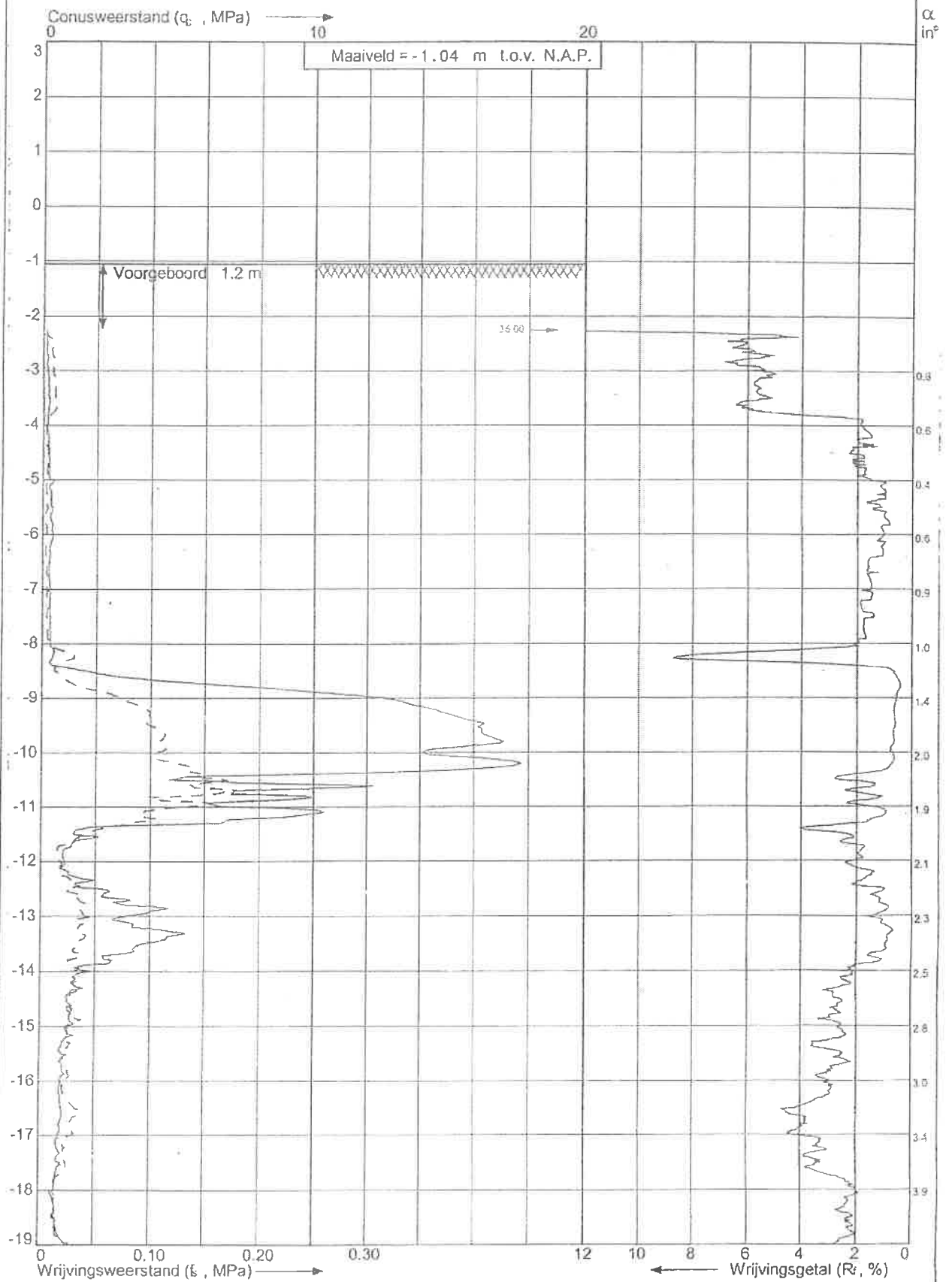


Klasse: 2

Oppervlakte punt: 10 cm<sup>2</sup>     $\alpha$ : Afwijking van de verticale

Sondering volgens norm NEN 5140    Conustype: cilindrisch elektrisch

Diepte in meters ten opzichte van N.A.P.





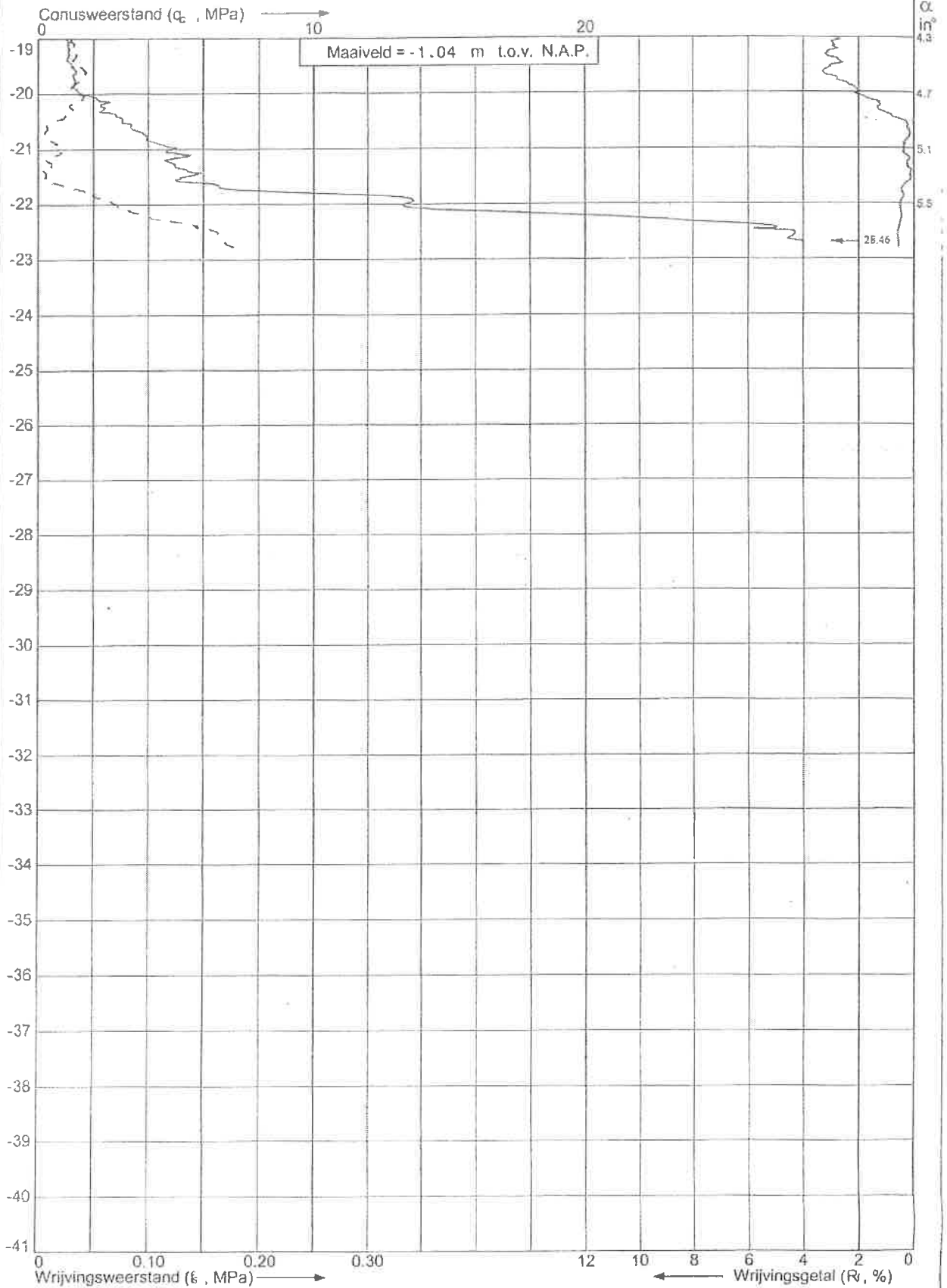
Klasse: 2

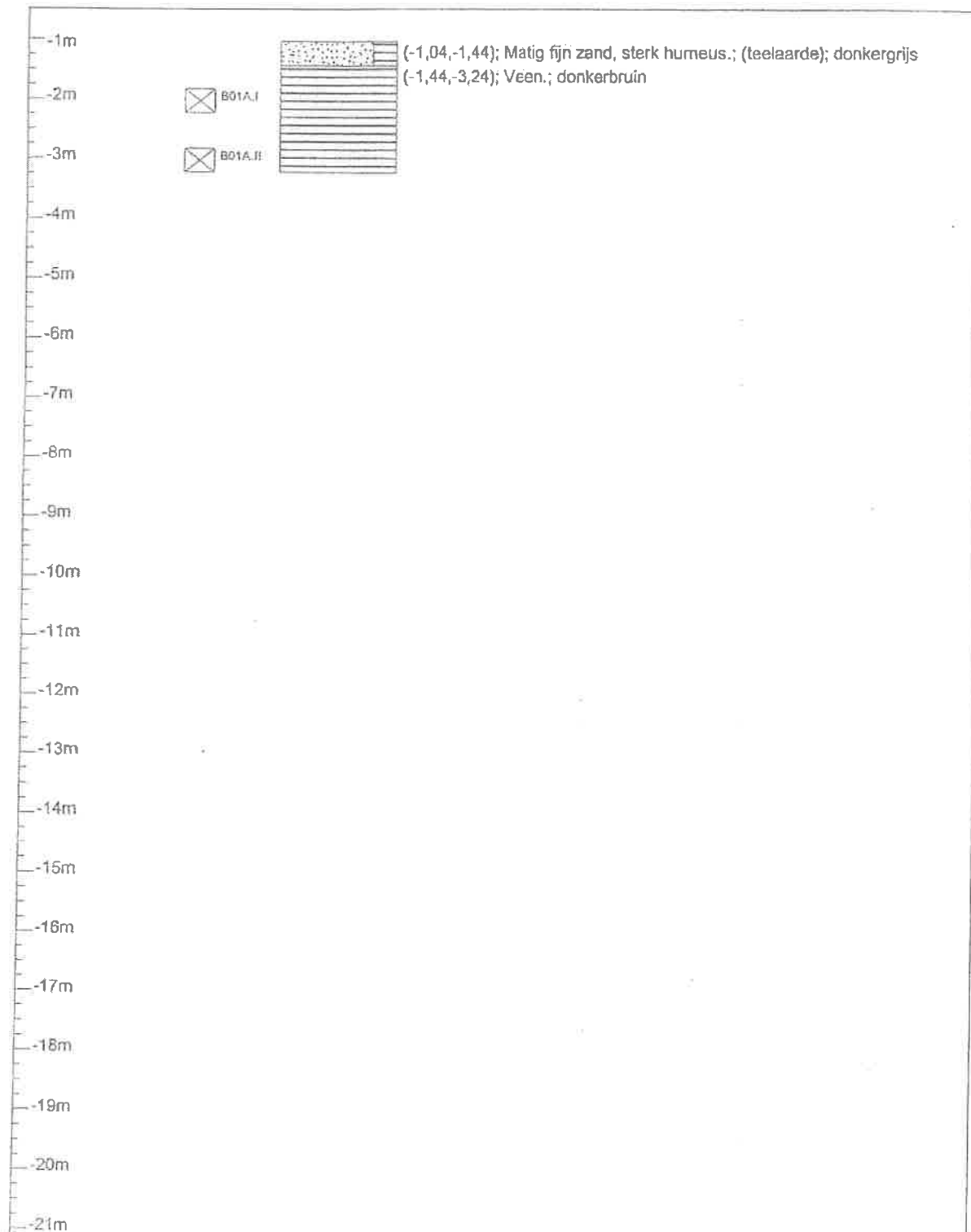
Oppervlakte punt: 10 cm<sup>2</sup>     $\alpha$ : Afwijking van de vertikaal

Conustype: cilindrisch elektrisch

Diepte in meters ten opzichte van N.A.P.

Sondering volgens norm NEN 5140

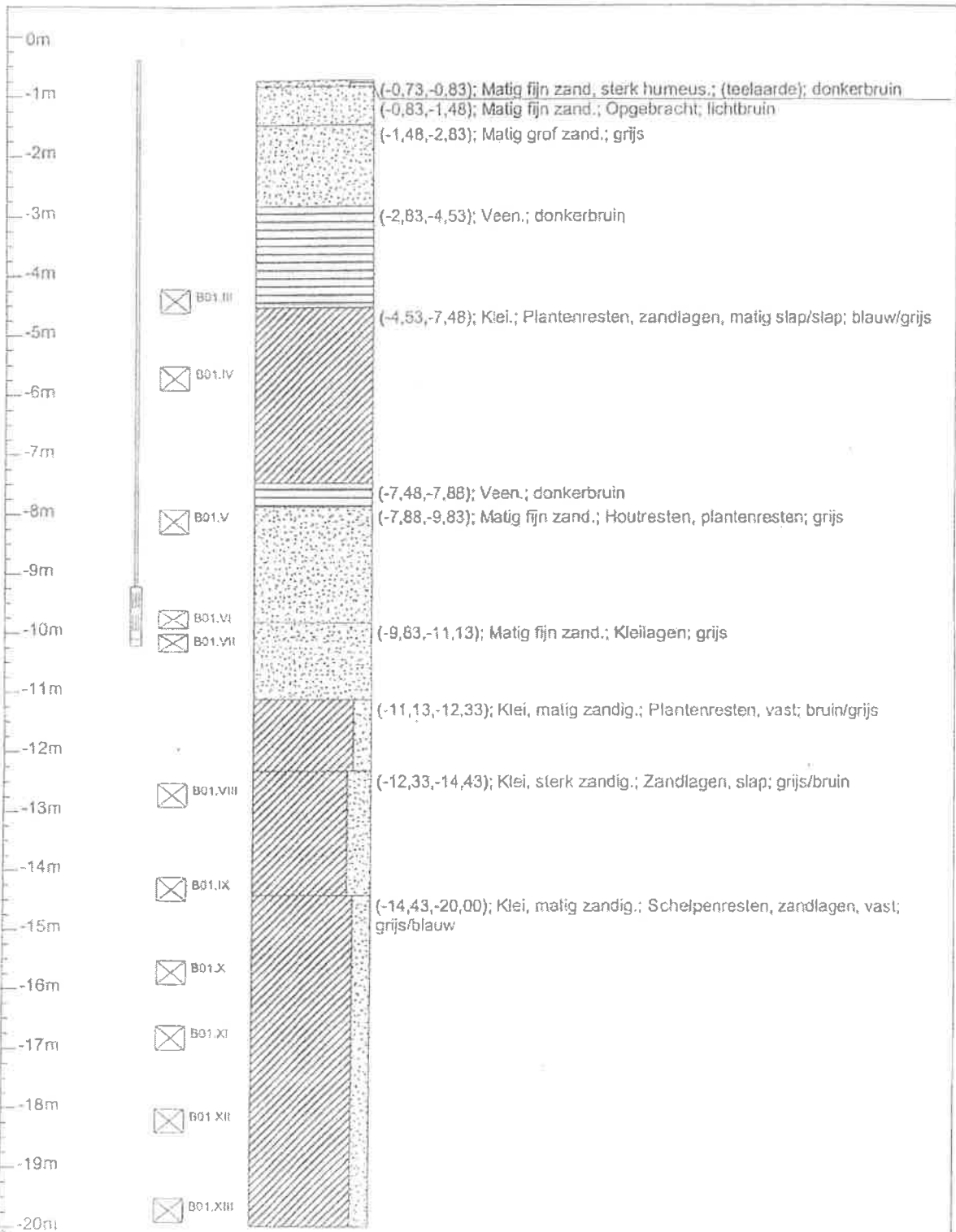




Verticale as vertegenwoordigt de hoogte in m t.o.v. N.A.P.

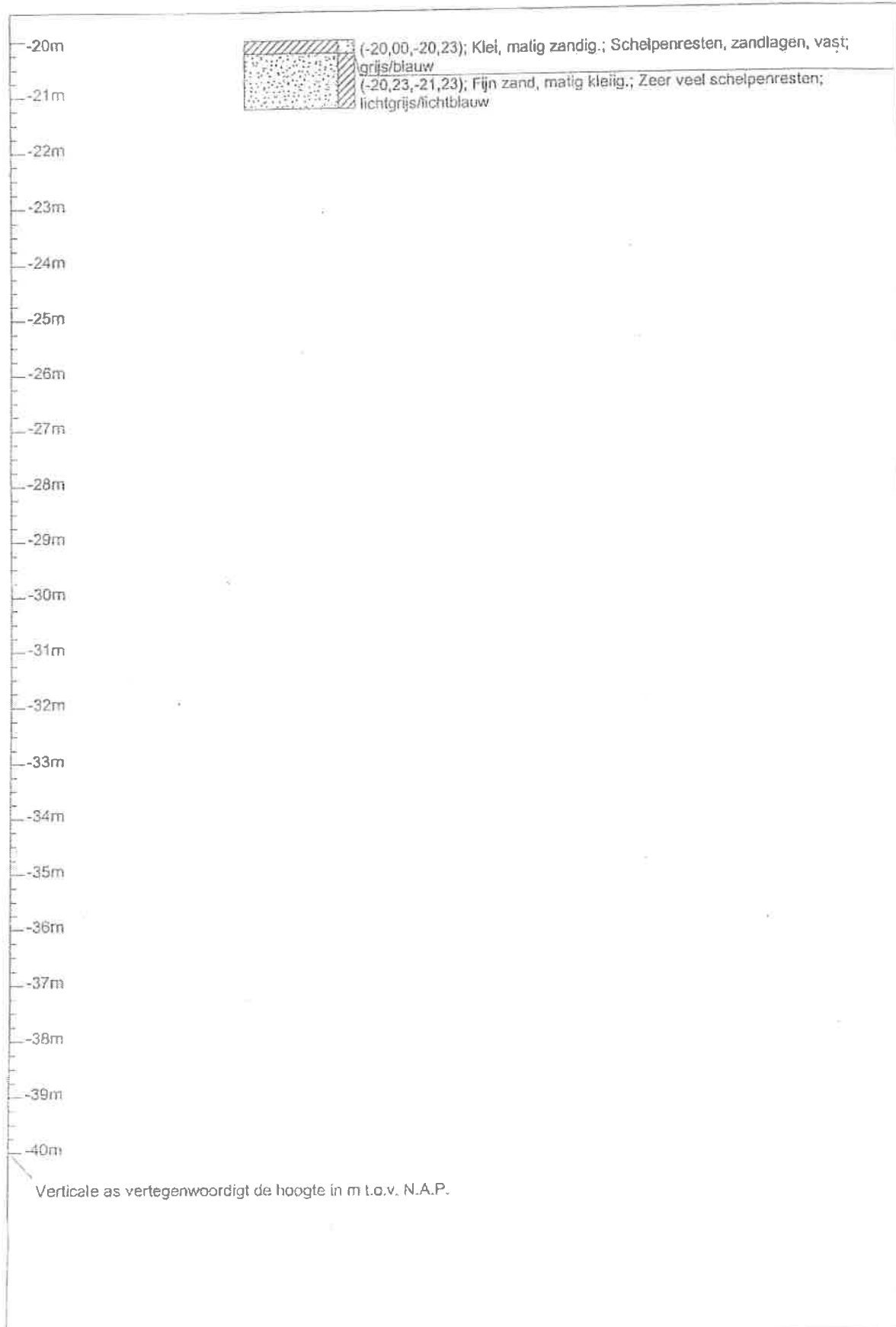
	Project/Plaats	Amsterdam	Datum	07-03-2005	Ons kenmerk	VN-34180
	Opdrachtgever		X-coördinaat		Uw kenmerk	
	Boormethode		Y-coördinaat		Boornummer	
	Boormeester		KM			
Raadgevend Ingenieursbureau Wiertsema & Partners B.V.					<b>B01A</b>	





Verticale as vertegenwoordigt de hoogte in m t.o.v. N.A.P.




















	Project/Plaats	Amsterdam	Datum	07-03-2005	Ons kenmerk	VN-34180
	Opdrachtgever		X-coördinaat	127.876.000 m	Uw kenmerk	
	Boormethode		Y-coördinaat	483.286.000 m	Boornummer	
	Boormeester	HV	KM			
Raadgevend Ingenieursbureau Wiertsema & Partners B.V.					<b>B01</b>	



Verticale as vertegenwoordigt de hoogte in m t.o.v. N.A.P.

	Project/Plaats	Amsterdam	Datum	07-03-2005	Ons kenmerk	VN-34180
	Opdrachtgever		X-coördinaat	127.876,000 m	Uw kenmerk	
	Boormethode		Y-coördinaat	483.286,000 m	Boornummer	
	Boormeester	HV	KM		<b>B01</b>	
Raadgevend Ingenieursbureau Wiertsema & Partners B.V.						

Betekenis van afkortingen

G/g	: grind/grindig		P/p	: Puin		Blinde buis	: 
Z/z	: zand/zandig		W/w	: Water		BK-00	: 
L/s	: leem/siltig		I/i	: Slib		BK-300	: 
K/k	: klei/kleig		T/t	: Klinker		QS	: 
V/h	: veen/humeus					Filter	: 
m	: mineraal arm					Grondwaterst.	: 
Overig							
			Geroerd monster	: 		Ongeroerd monster	: 

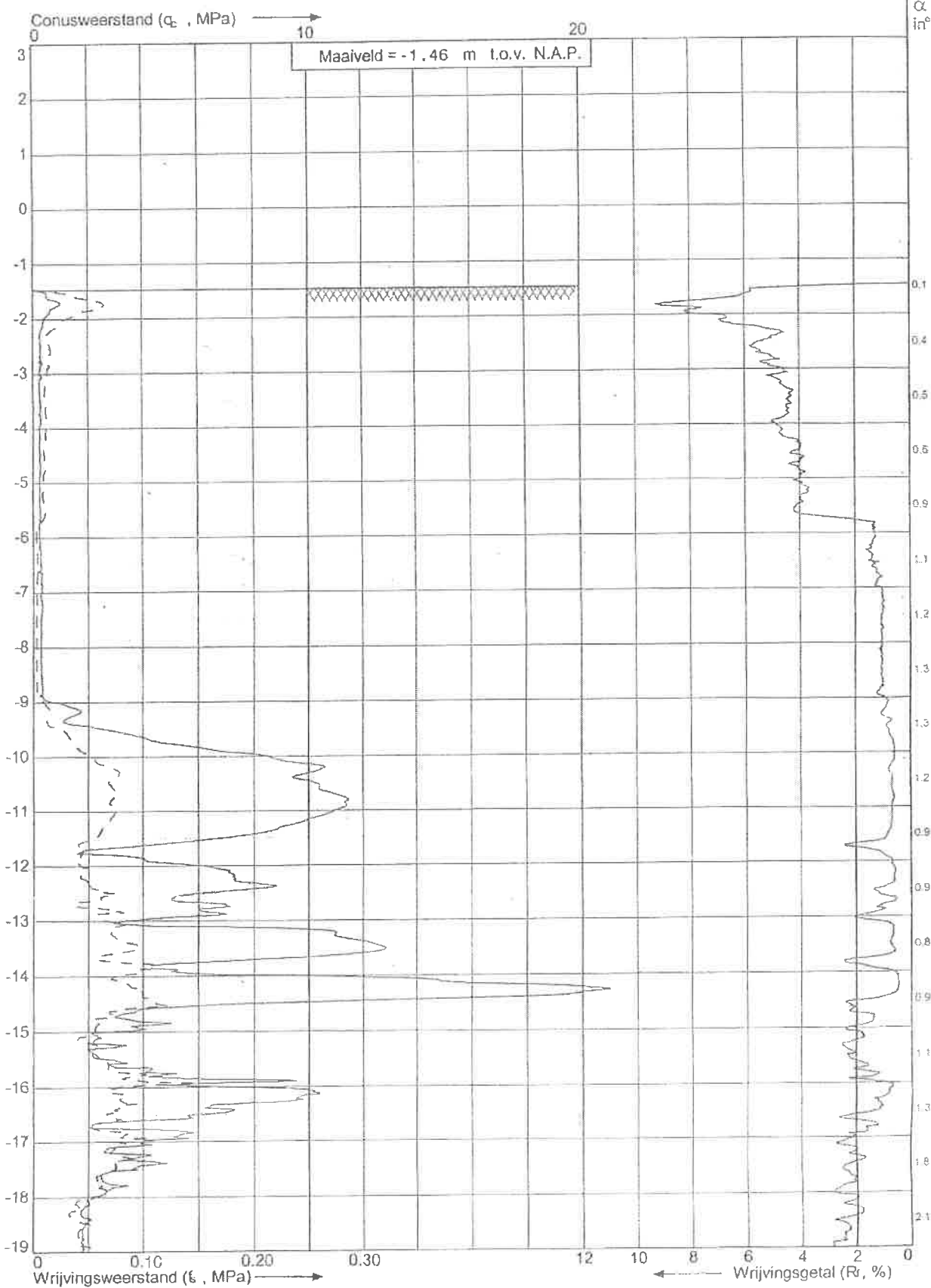


Klasse: 2

Oppervlakte punt: 10 cm<sup>2</sup>  $\alpha$ : Afwijking van de vertikaal

Sondering volgens norm NEN 5140 Conustype: cilindrisch elektrisch

Diepte in meters ten opzichte van N.A.P.



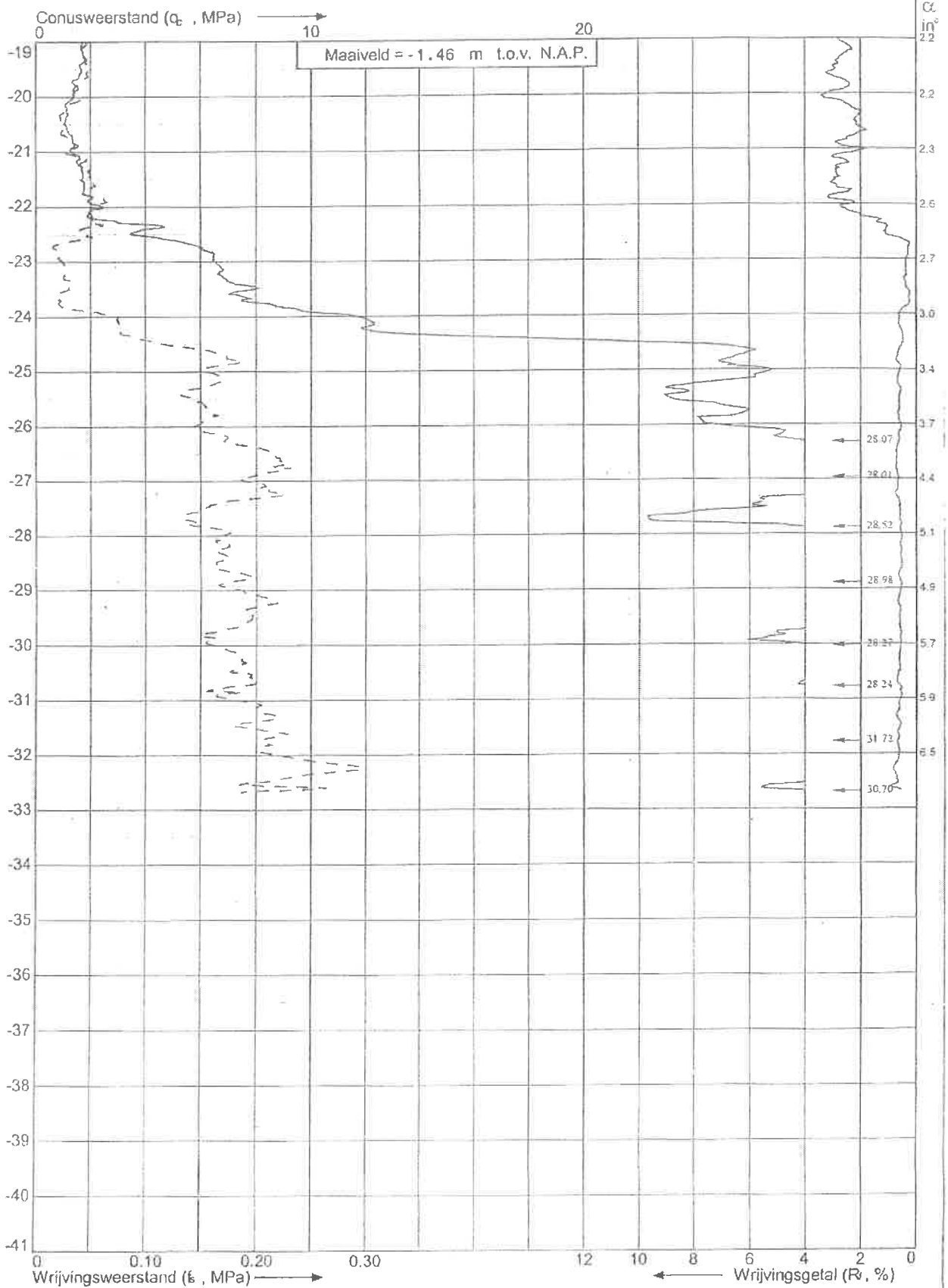


Klasse: 2

Oppervlakte punt: 10 cm<sup>2</sup>     $\alpha$ : Afwijking van de vertikaal

Sondering volgens norm NEN 5140    Conus type: cilindrisch elektrisch

Diepte in meters ten opzichte van N.A.P.



# Bijlage II

Resultaten van de laboratoriumwerkzaamheden

Monster nummer	Diepte in m- m.v.	Nat volume gewicht (kN/m <sup>3</sup> )	Droog volume gewicht (kN/m <sup>3</sup> )	Water- gehalte in ge- wicht (%)	Porien- getal	Porien- volume (%)	Water- gehalte in volume (%)	Verz. graad (%)
B-1a/II	2.00	10.0	1.6	540.7	----	----	----	----
B-1/III	3.60	9.8	1.8	446.7	----	----	----	----
B-1/III	3.80	16.4	10.6	54.3	1.50	60.0	57.6	96.0
B-1/IV	4.90	16.8	11.3	48.7	1.35	57.4	55.1	96.0
B-1/IX	13.50	18.3	13.6	34.6	0.95	48.7	46.9	96.3
B-1/XI	16.10	14.6	9.4	54.9	1.82	64.5	51.7	80.2
B-2/II	2.00	9.2	1.4	550.0	----	----	----	----
B-2/IV	6.20	12.8	6.4	100.9	----	----	----	----
B-2/IX	14.20	17.9	13.9	28.7	0.90	47.5	40.0	84.2
B-2/X	16.50	16.7	12.0	39.4	1.21	54.7	47.1	86.1
B-2/XI	18.50	16.2	10.8	49.4	1.45	59.2	53.5	90.4
B-2/XIII	21.30	17.5	13.0	34.8	1.04	50.9	45.3	89.0
B-2/XIV	22.20	19.9	16.5	20.5	0.61	37.7	33.9	89.9
B-3/I	3.85	10.3	3.6	188.2	----	----	----	----
B-3/I	4.00	10.9	4.2	161.0	----	----	----	----
B-3/II	6.25	10.1	2.0	395.0	----	----	----	----
B-3/III	7.95	16.0	11.2	42.7	1.36	57.7	47.9	83.0
B-3/IV	9.95	10.0	2.6	293.9	----	----	----	----
B-3/VIII	19.80	16.3	11.0	48.2	1.41	58.5	53.0	90.6
B-3/IX	21.90	16.8	11.3	48.4	1.35	57.4	54.8	95.5

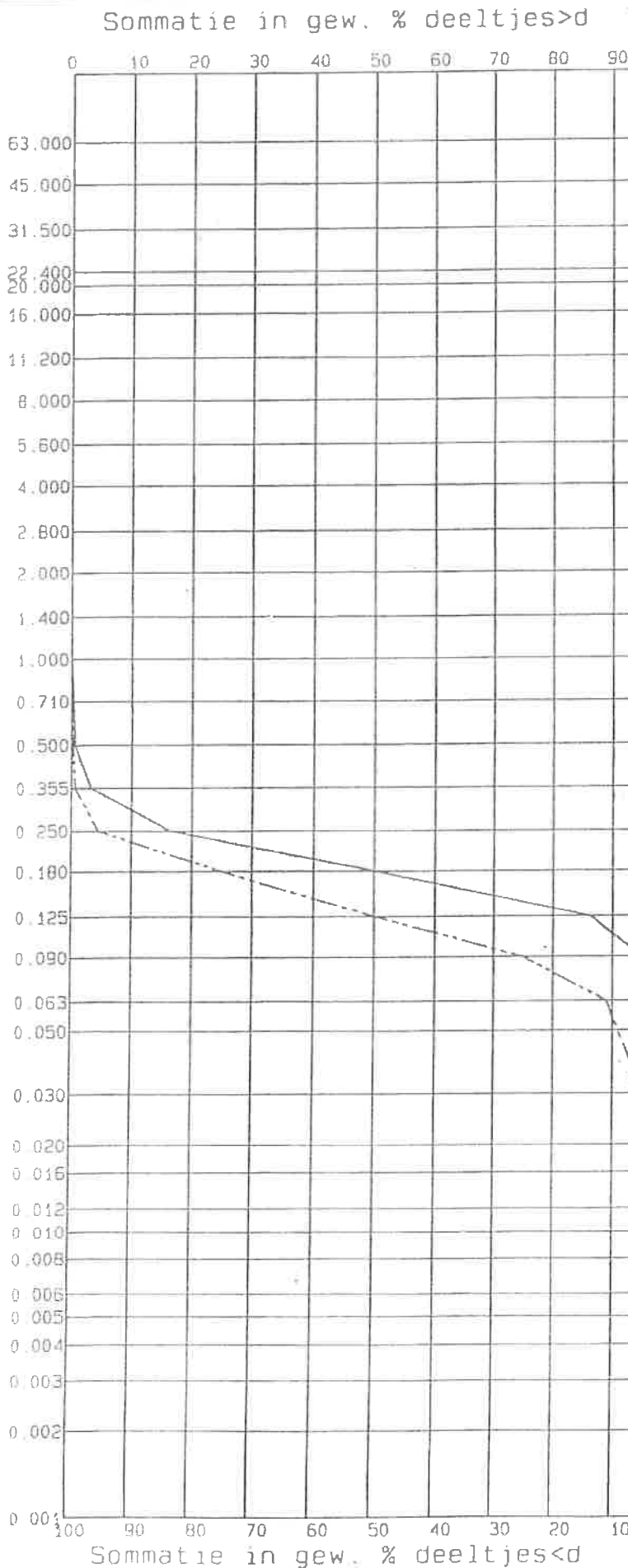
**HANDVINPROEVEN**

Monster- nummer	Diepte m- N.A.P.	Ongedraineerde schuifweerstand in kN/m <sup>2</sup>
B-1a/II	2.73	6
B-1/II	4.33	18
B-1/III	4.53	10
B-1/IV	5.63	8
B-1/IX	14.23	10
B-1/XI	16.83	35
B-2/II	2.87	7
B-2/IV	7.07	10
B-2/IX	15.07	6
B-2/X	17.37	6
B-2/XI	19.37	25
B-2/XIII	22.17	55
B-3/I	3.58	6
B-3/II	3.73	8
B-3/III	5.88	15
B-3/III	7.68	8
B-3/IV	9.68	40
B-3/VIII	19.53	20
B-3/IX	21.63	20



# KORRELVERDELINGS DIAGRAM

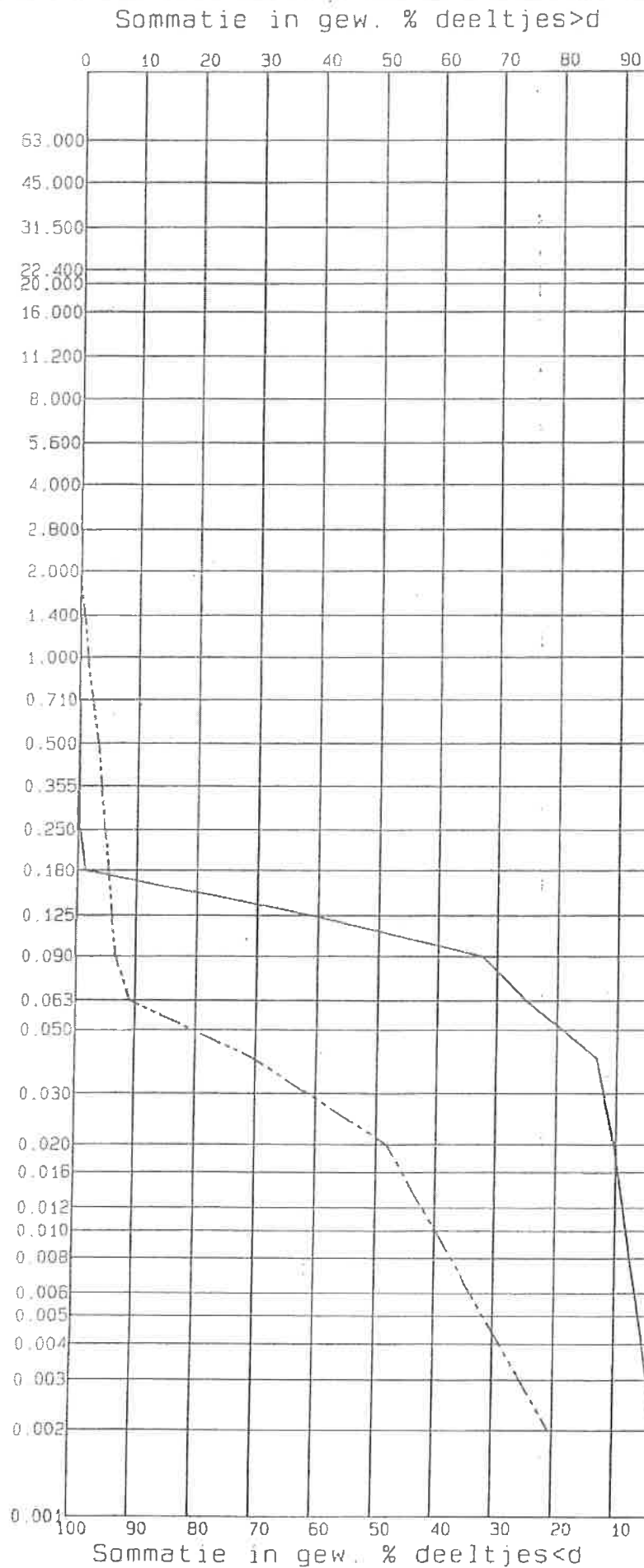
Diam (mm)



LUTUM	SILT	ZAND	STENEN	
		fijn	middel	grof
				GRIND
				STENEN
Boring nr. B-1 B-1	Monster nr. V VII	Dieptev. v. N.A.P. 7.95-8.35 m 10.05-10.45 m	Curve ----- -----	Grondsoort
Raadgevend Ingenieursbureau Wiertsema & Partners				
Opdracht nr. VN-34180				
Bijlage 6-1				

# KORRELVERDELINGS DIAGRAM

Diam (mm)



LUTUM	SILT	ZAND	STENEN	
		fijn	middel	grof
				GRIND
				STENEN
Boring nr.		Monster nr.		Grondssoort
B-1		VIII		Grondssoort
B-2		XIII		
		Diepte t.o.v. N.A.F. Curve		
		12.55-12.55 m		—
		19.55-19.55 m		- - -
Raadgevend Ingenieursbureau Wiertsema & Partners				Opdracht nr. VN-34180
				Bijlage 6-2

Opdrachtnummer: VN-34180

ZEEFRANALYSES

Boring	Monster	Diepte (m) t.o.v. N.A.P.	ZEEFRACTIES											Mz (mm)	Fijnheids getal	D50/D10		
			2.000	1.000	0.500	0.355	0.250	0.180	0.125	0.090	0.063	0.040	0.020				0.002	0.000
B-1	V	7.95-8.35	0.0	0.1	0.7	3.3	16.5	50.2	66.1	94.8	97.6	98.7	98.9	99.4	100.0	0.18	1.03	1.72
B-1	VII	10.05-10.45	0.0	0.1	0.3	0.7	4.5	24.9	50.1	75.0	88.9	92.7	95.3	97.3	100.0	0.14	0.55	1.96
B-1	VIII	12.55-12.95	0.0	0.0	0.1	0.3	0.4	1.3	39.0	67.6	74.9	86.7	89.7	96.8	100.0	0.13	0.40	1.53
B-1	XIII	19.55-19.95	0.0	1.4	3.3	3.9	4.6	5.3	5.9	6.7	9.0	29.4	51.8	79.4	100.0	0.27	0.15	5.88
B-2	VI	10.07-10.47	0.0	0.1	0.6	2.8	14.0	50.7	69.2	97.0	98.3	98.9	99.1	99.9	100.0	0.18	1.04	1.60
B-2	VIII	12.77-13.17	0.0	0.5	1.4	2.6	5.0	10.8	23.8	32.7	37.2	58.4	76.6	91.6	100.0	0.15	0.31	1.91
B-2	XVII	26.77-27.17	0.0	2.1	19.6	38.8	65.7	84.6	92.0	94.9	96.3	97.0	97.6	98.9	100.0	0.32	1.79	2.17
B-2	XIX	30.07-31.27	0.0	1.1	14.3	34.4	60.1	79.7	91.7	94.9	96.1	98.4	99.1	99.5	100.0	0.30	1.67	2.27
B-2	XXI	34.37-34.77	0.0	1.1	17.2	36.5	66.9	87.1	94.5	97.0	97.9	98.4	98.8	99.5	100.0	0.31	1.80	2.01
B-3	V	12.45-12.85	3.8	5.4	8.3	11.7	21.3	44.8	65.4	77.9	84.3	93.4	96.2	99.2	100.0	0.18	1.04	2.18
B-3	VI	15.55-15.95	0.0	0.0	0.3	0.6	1.2	2.2	5.3	20.7	51.5	69.5	83.7	92.0	100.0	0.09	0.07	1.34
B-3	X	23.55-23.95	0.0	3.0	17.3	32.3	54.4	69.7	76.1	79.5	83.0	89.0	90.7	96.0	100.0	0.31	1.51	2.56
B-3	XII	27.15-27.55	0.0	1.8	14.2	31.9	55.5	78.0	92.2	95.7	96.8	97.0	97.3	98.8	100.0	0.28	1.65	2.25
B-3	XIV	31.45-31.85	0.0	4.5	24.3	45.0	67.5	83.1	92.4	95.2	96.3	98.2	98.6	99.4	100.0	0.34	1.89	2.52



Wiertsema en Partners  
Laura de Hoogd

Bijlage 5

Projektnaam : Amsterdam, gest.boring IJburg  
Projektnummer : VN-34180  
Datum opdracht : 18-03-2005  
Startdatum : 18-03-2005

Rapportnummer : 0511566  
Rapportagedatum : 21-03-2005

Analyse	Eenheid	X01	X02	X03	X04
<b>DIVERSE NATCHEMISCHE BEPALINGEN</b>					
chloride	mg/l	500 #	180 #	790 #	830 #

Kode	Monstersoort	Monsterspecificatie
X01	grondwater	B1-DKM2 (8,5-9,5)
X02	grondwater	B2-DKM5 (10-11)
X03	grondwater	B2-DKM5 (29-30)
X04	grondwater	B3-DKM10 (31,5-32,5)





Wiertsema en Partners  
Laura de Hoogd

Projectnaam : Amsterdam, gest.boring IJburg  
Projectnummer : VN-34180  
Datum opdracht : 18-03-2005  
Startdatum : 18-03-2005

Rapportnummer : 0511506  
Rapportagedatum : 21-03-2005

## # Opmerkingen

Monster X001	B1-DKM2 (8,5-9,5)
chloride Monster X002	Uitgevoerd met segmented flow-analyse i.p.v. ionchromatografie B2-DKM5 (10-11)
chloride Monster X003	Uitgevoerd met segmented flow-analyse i.p.v. ionchromatografie B2-DKM5 (29-30)
chloride Monster X004	Uitgevoerd met segmented flow-analyse i.p.v. ionchromatografie B3-DKM10 (31,5-32,5)
chloride	Uitgevoerd met segmented flow-analyse i.p.v. ionchromatografie





# ALcontrol Laboratories

ALcontrol B.V.  
 Steenhouwerstraat 15 - 3194 AG Hoogvliet  
 Tel.: (010) 231 47 00 · Fax: (010) 416 30 34  
 www.alcontrol.nl

Wiertsema en Partners  
 Laura de Hoogd

Projektnaam : Amsterdam, gest.boring IJburg  
 Projektnummer : VN-34180  
 Datum opdracht : 18-03-2005  
 Startdatum : 18-03-2005

Rapportnummer : 05115C6  
 Rapportagedatum : 21-03-2005

Analyse	Monstersoort	Relatie tot norm
chloride	grondwater	conform NEN-EN-ISO 10302

De met een \* gemerkte analyses vallen niet onder de RVA erkenning.

Mnstr Barcode Aanlevering Monstername Verpakking

X01	d0404923	18-03-05	18-03-05	(Theoretische monsternamedatum)
X02	d0404906	18-03-05	18-03-05	(Theoretische monsternamedatum)
X03	d0404945	18-03-05	18-03-05	(Theoretische monsternamedatum)
X04	d0404948	18-03-05	18-03-05	(Theoretische monsternamedatum)



MONSTER

DIEPTE M - NAP

I 1.55 - 1.95

II 2.55 - 2.95

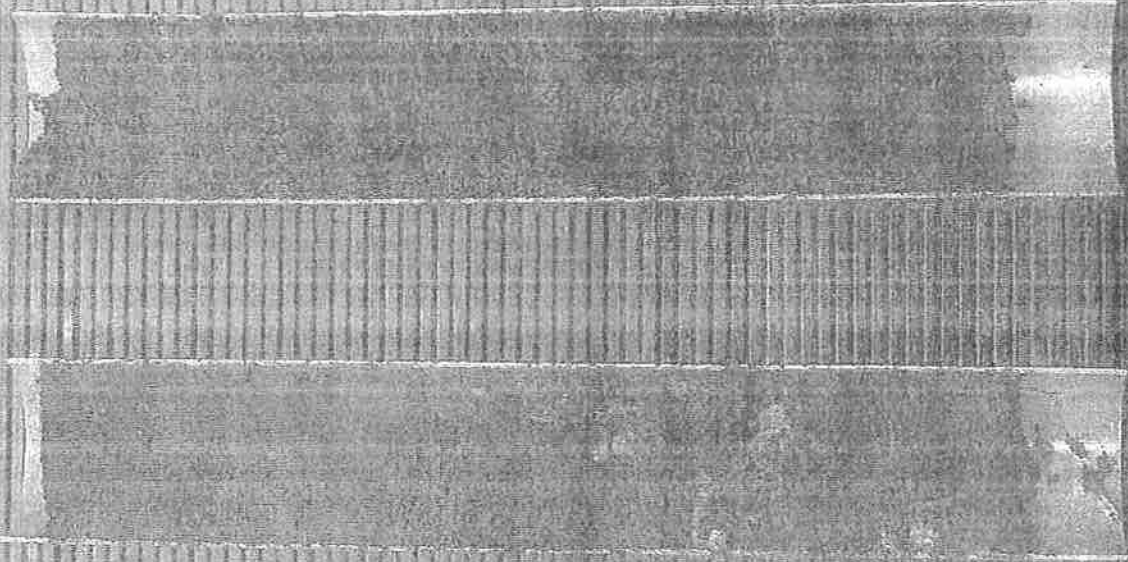
00

10

20

30

40



VN 882180 BORING

MONSTER

DIEPTE M - NAP

	III	IV	V	VI
	4.25 - 4.65	5.55 - 5.95	7.95 - 8.35	9.65 - 10.05

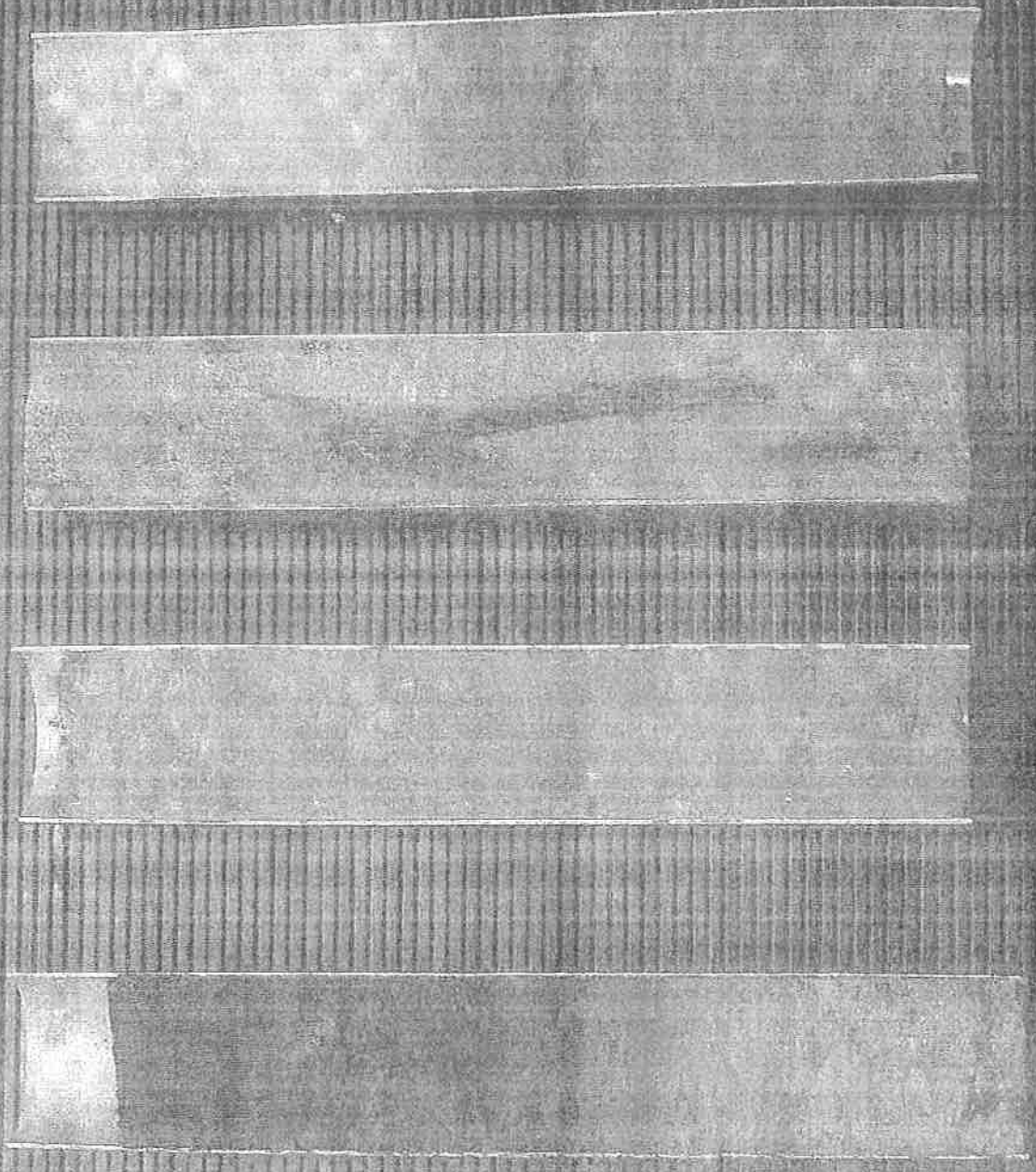
00

10

20

30

40



40



MONSTER

DIEPTE M - NAP

VII

10:05 - 10:45

VIII

12:55 - 12:95

IX

14:15 - 14:55

X

15:55 - 15:95

00

10

20

30

40



MONSTER

DIEPTE M - NAP

XI

16.65 - 17.05

XII

18.05 - 18.45

XIII

19.55 - 19.95

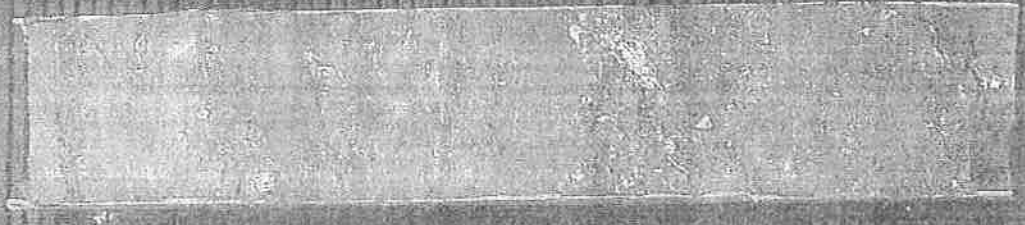
00

10

20

30

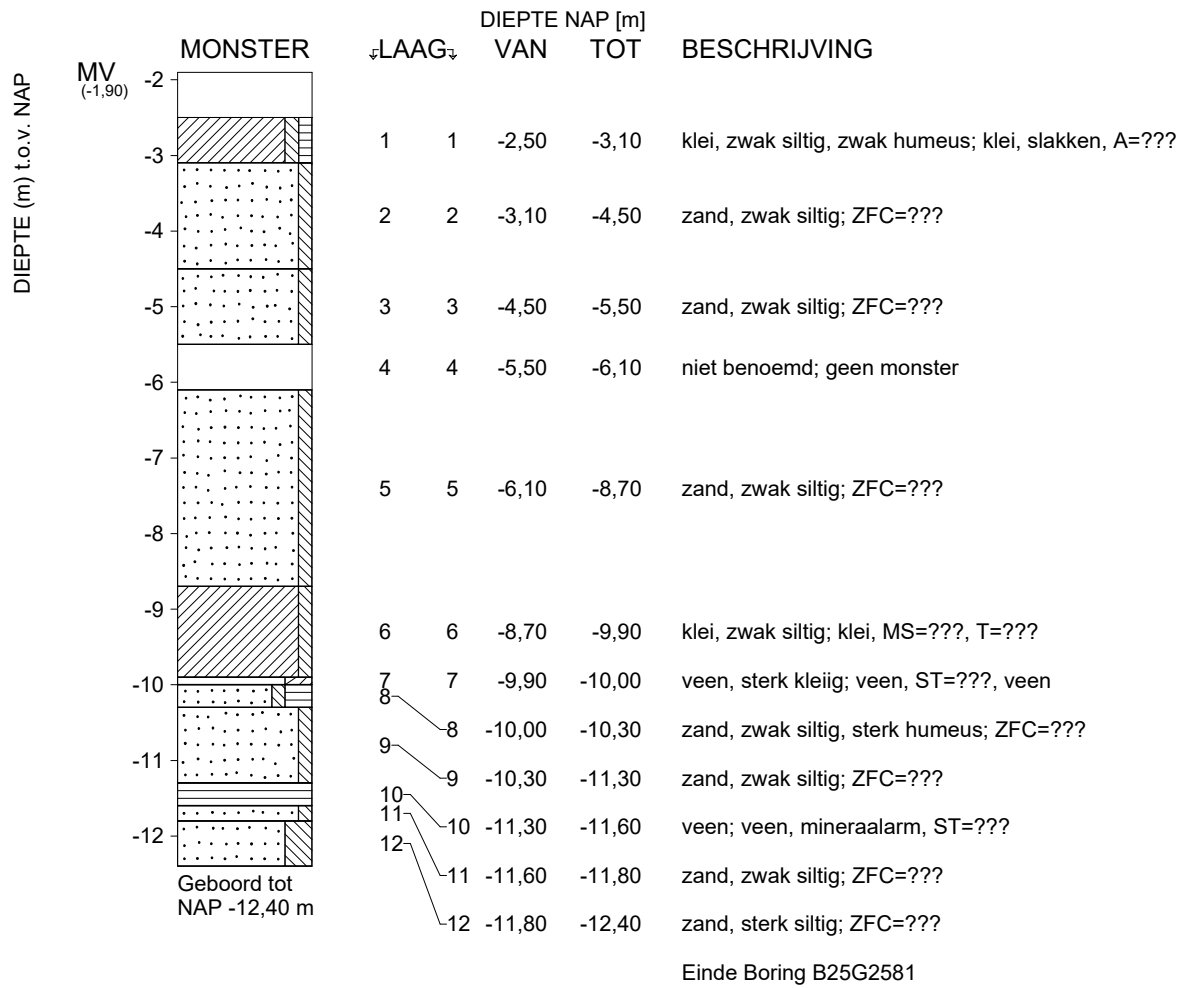
40





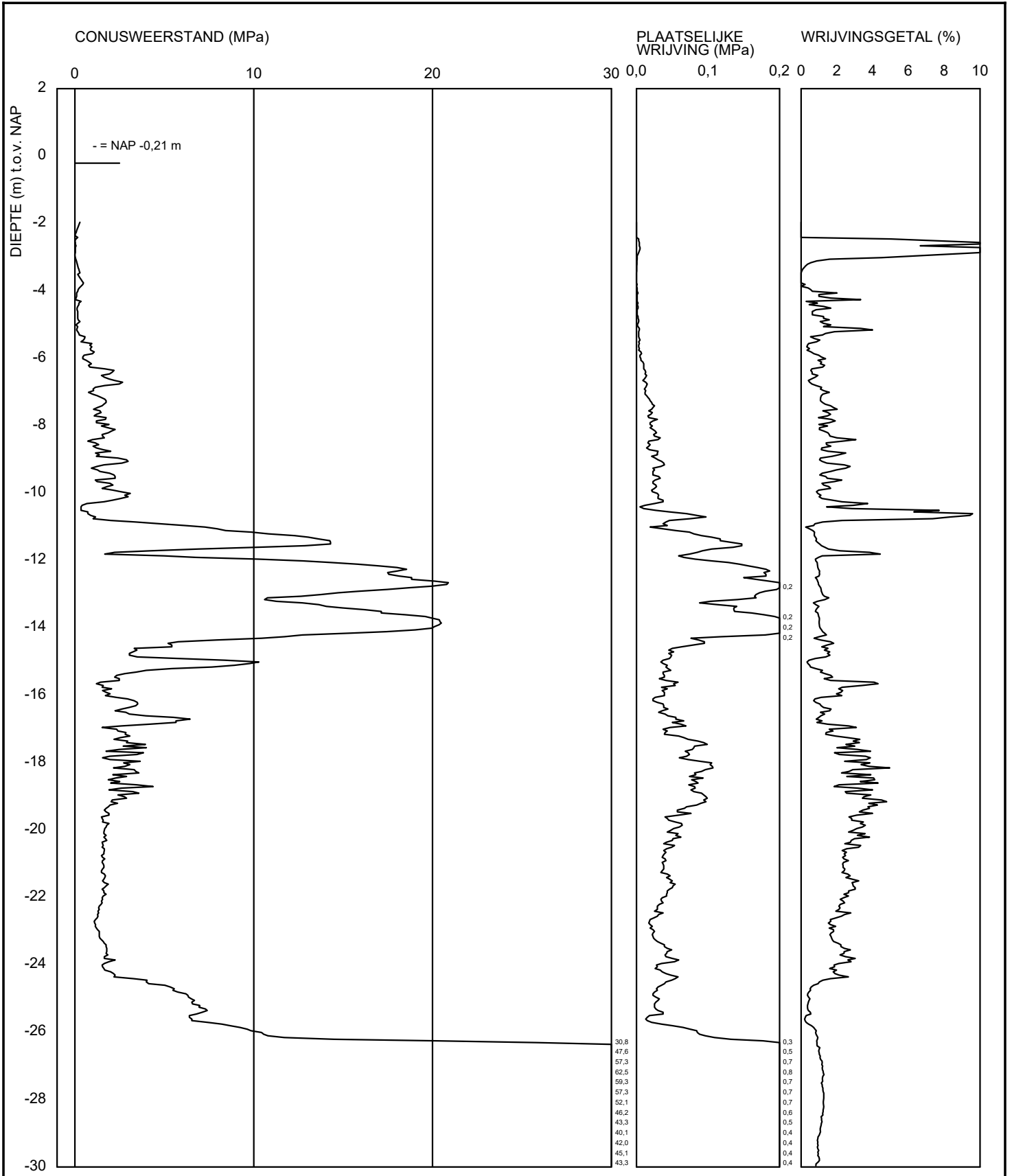
Google earth





maaiveld: NAP -1,90 m  
 X = 129110 m Y = 484150 m (RD)

<Not Registered> <Not Registered>	<Not Registered> <Not Registered> <Not Registered>	Telefoon Telefax	<Not Registered> <Not Registered>	datum 1997-03-11	get.
-				DINO-BOR	gez.
-				BIJL.	form. A4



<Not Registered> <Not Registered>	<Not Registered> <Not Registered>	Telefoon Telefax	<Not Registered> <Not Registered>	datum 1997-04-16	get. -
-	-			DINO-CPT-/ BIJL. -	gez. form. A4

*10 Bijlage 5 Boorspoeldruk-, en sterkteberekening*

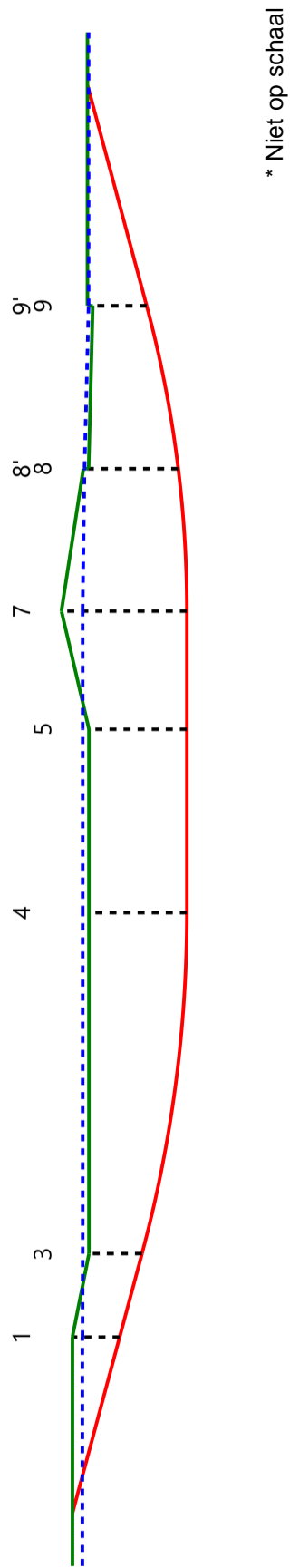
Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©	
<b>Algemene gegevens</b>			
Naam van het project	: HDD IJmeer-Diemerzeedijk te IJburg-Diemen		
Projectonderdeel	: Ø125x11,4 - waterleiding (4 bar)		
<b>Materiaalgegevens</b>			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS = 10		N/mm <sup>2</sup>
Materiaalfactor	$\gamma_M = 1,25$		-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t = 8,00$		N/mm <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus korte duur	E = 975		N/mm <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus lange duur	E' = 350		N/mm <sup>2</sup>
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	$\alpha_g = 16,0 \cdot 10^{-5}$		mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	$\alpha_\sigma = 0,65$		-
Soortelijk gewicht buis	$\rho_L = 9,55$		kN/m <sup>3</sup>
Toelaatbare deflectie	$\delta = 8$		%
<b>Leidinggegevens</b>			
Uitwendige middellijn	D <sub>e</sub> = 125,00		mm
Wanddikte	d <sub>n</sub> = 11,4		mm
<b>Procesgegevens</b>			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Volumieke massa vloeistof	$\rho = 1000$		kg/m <sup>3</sup>
Temperatuurverschil	$\Delta t = 10$		°
Ontwerpdruk	$p_d = 0,4$		N/mm <sup>2</sup>
<b>Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren</b>			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 100	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_m = 11,5$		kN/m <sup>3</sup>
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_y = 15$		Pa
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	D <sub>g</sub> = 178		mm
Diameter boorstang	D <sub>b</sub> = 53		mm
Totale lengte	L = 282,30		m
Lengte 1e rechte deel	L <sub>1</sub> = 50,90		m
Lengte neergaande bocht	L <sub>2</sub> = 65,45		m
Lengte 2e rechte deel	L <sub>3</sub> = 57,20		m
Lengte opgaande bocht	L <sub>4</sub> = 65,45		m
Lengte 3e rechte deel	L <sub>5</sub> = 43,30		m
Straal maaiveld/rollenbaan	R <sub>r</sub> = 50,00		m
Straal neergaande bocht	R <sub>1</sub> = 250,00		m
Straal opgaande bocht	R <sub>2</sub> = 223,60		m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	$\alpha_1 = 15,00 / 26,79$		° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	$\alpha_2 = 15,00 / 26,79$		° / %
Belastinghoek	$\alpha = 180$		°
Ondersteuningshoek	$\beta = 120$		°
Horizontale steundrukhoek	$\gamma = 120$		°
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	$\gamma = 1,1$		
Totaalfactor bij normale boring	f = 1,4		
Belastingfactor	f <sub>k,b</sub> = 1,1		
Belastingfactor	f <sub>k,o</sub> = 1,4		
Wrijvingscoëff. zonder rollenbaan	f <sub>1</sub> = 0,3		
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	f <sub>2</sub> = 0,00005		N/mm <sup>2</sup>
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	f <sub>3</sub> = 0,2		
		01-04-2016 10:50:26	

**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 <sup>3</sup> ]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m <sup>3</sup> ]	Wrijvings- hoek grond [°]
1	34,58	8,95	1,90	Zand	18,00	19,56	32,50
3	50,9	10,04	-1,20	Zand	0,00	19,37	32,50
4	116,35	18,56	-1,20	Klei	0,00	19,13	22,50
5	151,18	18,56	-1,20	Klei	0,00	19,13	22,50
7	173,55	23,77	4,00	Klei	18,00	18,48	22,50
8	203,83	17,97	0,20	Klei	14,00	18,03	27,50
8'	203,83	16,97	-0,80	Klei	0,00	18,22	27,50
9	239,00	10,21	-0,80	Klei	0,00	17,11	22,50
9'	239,00	11,21	0,20	Klei	14,00	16,89	17,50

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingsconstante [N/mm <sup>3</sup> ]	Effectieve cohesie [kN/m <sup>2</sup> ]	E-modulus ondergrond [MN/m <sup>2</sup> ]	Verkeersbelasting
1	Geen	-	0,00	45,00	Grafiek II
3	Geen	-	0,00	45,00	Geen
4	Geen	0,0110	5,00	3,00	Geen
5	Geen	-	5,00	3,00	Geen
7	Geen	0,0110	0,00	1,50	Grafiek ½ x II
8	Geen	0,0110	1,00	5,00	Grafiek II
8'	Geen	0,0110	1,00	5,00	Grafiek ½ x II
9	Geen	-	0,00	1,50	Geen
9'	Geen	-	5,00	2,00	Grafiek ½ x II





## 2. 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 <sup>4</sup>
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 106.064,84	mm <sup>3</sup>
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 123,46	mm <sup>4</sup> /mm <sup>1</sup>
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 21,66	mm <sup>3</sup> /mm <sup>1</sup>
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 4.068,49	mm <sup>2</sup>
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,0389	N/mm <sup>1</sup>

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

	<i>Leiding op rollenbaan/maaiveld</i>	<i>Leiding in boorgat</i>
Gewicht mediumleiding	$g = 0,0389 \text{ N/mm}^1$	$g = 0,0389 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,0389 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,0389 \text{ N/mm}^1$

## 4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds

### 4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld

Trekkraft $T_1$ tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	$T_1$ [N]
Starten met trekken	282,30	<b>4.607</b>
Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken	239,00	<b>3.900</b>
Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken	173,55	<b>2.832</b>
Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken	116,35	<b>1.899</b>
Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken	50,90	<b>831</b>

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

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

Spanningen $\sigma_t$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_1$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Starten met trekken	4.607	<b>1,13</b>
Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken	3.900	<b>0,96</b>
Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken	2.832	<b>0,70</b>
Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken	1.899	<b>0,47</b>
Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken	831	<b>0,20</b>

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

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{6.629.052}{50.000} = 142.193,17 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{142.193,17}{106.065} = \mathbf{1,34 \text{ N/mm}^2}$$

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

Spanningen $\sigma_a$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Starten met trekken	1,13	<b>2,00</b>
Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken	0,96	<b>1,83</b>
Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken	0,70	<b>1,57</b>
Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken	0,47	<b>1,34</b>
Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken	0,20	<b>1,08</b>

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

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:  $D_{e,omtrek} = 392,70 \text{ mm}^1$

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

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

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 <sup>e</sup> deel intrekken	43,30	<b>2.430</b>	-
2 <sup>e</sup> deel intrekken	108,75	-	<b>6.104</b>
3 <sup>e</sup> deel intrekken	165,95	<b>9.314</b>	-
4 <sup>e</sup> deel intrekken	231,40	-	<b>12.987</b>
Geheel ingetrokken	282,30	<b>15.844</b>	-

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

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

Locatie	$\lambda$ [mm <sup>-1</sup> ]	R [m]	$Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_{3b}$ [N]
4	0,0027	250,0	0,00054	<b>44</b>
7	0,0027	223,6	0,00060	<b>49</b>
8	0,0027	223,6	0,00060	<b>49</b>
8'	0,0027	223,6	0,00060	<b>49</b>

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

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

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

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

Trekkraft $T_{\text{bocht}}$ tijdens verschillende stadia [N]	$T_1$ [N]	$T_{3a}$ [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{\text{bocht}}$ [N]
Neergaande bocht	2.832	6.104	44	-	<b>8.980</b>
Opgaande bocht	831	12.987	44	49	<b>13.911</b>

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

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

Trekkraft $T_{3c}$ tijdens verschillende stadia [N]	$\alpha$ [°]	$T_{\text{bocht}}$ [N]	$T_{3c}$ [N]
Neergaande bocht	7,50	8.980	<b>656</b>
Opgaande bocht	7,50	13.911	<b>1.017</b>

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

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

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

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

## 5.5 Totalisatie van de trekkrachten in fase II

Trekkraft $T_{\text{tot}}$ tijdens verschillende stadia [N]	$T_1$ [N]	$T_2 / T_{3a}$ [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3c,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{3c,op}$ [N]	$T_{\text{tot}}$ [N]
1 <sup>e</sup> deel intrekken	3.900	2.430	-	-	-	-	<b>6.330</b>
2 <sup>e</sup> deel intrekken	2.832	6.104	44	656	-	-	<b>9.636</b>
3 <sup>e</sup> deel intrekken	1.899	9.314	44	656	-	-	<b>11.913</b>
4 <sup>e</sup> deel intrekken	831	12.987	44	656	49	1.017	<b>15.584</b>
Geheel intrekken	0	15.844	44	656	49	1.017	<b>17.610</b>

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

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

Spanningen $\sigma_t$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_{\text{tot}}$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1 <sup>e</sup> deel intrekken	6.330	<b>1,56</b>
2 <sup>e</sup> deel intrekken	9.636	<b>2,37</b>
3 <sup>e</sup> deel intrekken	11.913	<b>2,93</b>
4 <sup>e</sup> deel intrekken	15.584	<b>3,83</b>
Geheel intrekken	17.610	<b>4,33</b>

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

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

## 5.7.1 Neergaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{6.629.052,19}{0,9 \cdot 250.000} = 40.216,25 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{40.216,25}{106.064,84} = \mathbf{0,38 \text{ N/mm}^2}$$

## 5.7.2 Opgaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{6.629.052,19}{0,9 \cdot 223.600} = 44.964,50 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{44.964,50}{106.064,84} = \mathbf{0,42 \text{ N/mm}^2}$$

## 5.8 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

Spanningen $\sigma_a$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_{tot}$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Starten met trekken	6.330	1,56	-	<b>1,56</b>
Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken	9.636	2,37	0,38	<b>2,61</b>
Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken	11.913	2,93	-	<b>2,93</b>
Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken	15.584	3,83	0,42	<b>4,11</b>
Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken	17.610	4,33	-	<b>4,33</b>

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

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

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

**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**

$$D_g/d_n = 113,60/11,40 = 9,96 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow \text{Dikwandige leiding}$$

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

$$\sigma_p = \frac{62,50^2 + 51,10^2}{62,50^2 - 51,10^2} \cdot 0,4 = 2,01 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{y1} = \sigma_p = 2,01 \text{ N/mm}^2$$

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

**6.2 Berekening reroundingfactor  $f_{rr}$** 

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

$$f_{rr} = 1 / \left( 1 + \frac{2 \cdot 0,4 \cdot 56,8^3 \cdot 0,089}{975 \cdot 123,46} \right) = 0,90$$

**6.3 Berekening van de neutrale grondbelasting  $Q_n$** 

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	$q_{\text{droog}}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_{\text{nat}}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_{\text{totaal}}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1	8,95	1,90	Zand	37,62	151,69	189,31	14,85
3	10,04	-1,20	Zand	0,00	213,92	213,92	14,19
4	18,56	-1,20	Klei	0,00	390,56	390,56	25,62
5	18,56	-1,20	Klei	0,00	390,56	390,56	25,62
7	23,77	4,00	Klei	79,20	401,88	481,08	35,42
8	17,97	0,20	Klei	3,08	352,43	355,51	22,23
8'	16,97	-0,80	Klei	0,00	340,11	340,11	21,30
9	10,21	-0,80	Klei	0,00	192,16	192,16	11,26
9'	11,21	0,20	Klei	3,08	204,55	207,63	12,19

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

**6.4 Berekening van de verkeersbelasting  $Q_v$** 

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeers- belasting	$q_v$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1	8,95	Grafiek II	1,94	0,24
3	10,04	Geen	0,00	0,00
4	18,56	Geen	0,00	0,00
5	18,56	Geen	0,00	0,00
7	23,77	Grafiek ½ x II	0,21	0,03
8	17,97	Grafiek II	0,69	0,09
8'	16,97	Grafiek ½ x II	0,38	0,05
9	10,21	Geen	0,00	0,00
9'	11,21	Grafiek ½ x II	0,71	0,09

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

## 6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_{\text{boven}}$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$M_q$ [Nmm]	$\sigma_q$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1	14,85	0,24	15,09	118,31	<b>4,93</b>
3	14,19	0,00	14,19	111,23	<b>4,63</b>
4	25,62	0,00	25,62	200,82	<b>8,36</b>
5	25,62	0,00	25,62	200,82	<b>8,36</b>
7	35,42	0,03	35,45	277,87	<b>11,57</b>
8	22,23	0,09	22,31	174,89	<b>7,28</b>
8'	21,30	0,05	21,35	167,34	<b>6,97</b>
9	11,26	0,00	11,26	88,24	<b>3,68</b>
9'	12,19	0,09	12,28	96,26	<b>4,01</b>

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

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 0,90 \cdot \frac{M_q}{21,66}$$

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

Locatie	R [m]	$Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{qr}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
4	250,0	0,00054	0,016
7	223,6	0,00060	0,018
8	223,6	0,00060	0,018
8'	223,6	0,00060	0,018

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

 6.7 Berekening van de spanning  $s_{ax}$  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  $S_N$ 

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{123,46}{113,6^3} = 0,08 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{82,11 \text{ kN/m}^2}$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = **0,5 kN/m<sup>2</sup>**



**8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk**

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

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

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

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

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

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

**9. Berekening van het totaal aan optredende spanningen**
*9.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding*

Locatie	$\sigma_q$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{qr}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_{\sigma}$ [-]	$\sigma_{y2}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	4,93	-	0,65	<b>3,20</b>
3	4,63	-	0,65	<b>3,01</b>
4	8,36	0,016	0,65	<b>5,45</b>
5	8,36	-	0,65	<b>5,44</b>
7	11,57	0,018	0,65	<b>7,53</b>
8	7,28	0,018	0,65	<b>4,75</b>
8'	6,97	0,018	0,65	<b>4,54</b>
9	3,68	-	0,65	<b>2,39</b>
9'	4,01	-	0,65	<b>2,61</b>

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

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

 Toelaatbare spanning:  $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$ 
*9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding*

Locatie	$\sigma_{ax}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_{\sigma}$ [-]	$\sigma_x$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	1,56	-	-	<b>1,56</b>
3	1,56	-	-	<b>1,56</b>
4	1,56	0,38	0,65	<b>1,81</b>
5	1,56	-	-	<b>1,56</b>
7	1,56	0,42	0,65	<b>1,84</b>
8	1,56	0,42	0,65	<b>1,84</b>
8'	1,56	0,42	0,65	<b>1,84</b>
9	1,56	-	-	<b>1,56</b>
9'	1,56	-	-	<b>1,56</b>

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

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

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

**10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie**

Locatie	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\delta_y$ [mm]	$\delta_y/D_g$ [%]
1	14,85	0,24	-	<b>3,24</b>	2,85
3	14,19	0,00	-	<b>3,04</b>	2,68
4	25,62	0,00	0,00054	<b>4,10</b>	3,61
5	25,62	0,00	-	<b>4,10</b>	3,61
7	35,42	0,03	0,00060	<b>5,68</b>	5,00
8	22,23	0,09	0,00060	<b>4,19</b>	3,69
8'	21,30	0,05	0,00060	<b>4,01</b>	3,53
9	11,26	0,00	-	<b>1,80</b>	1,59
9'	12,19	0,09	-	<b>1,61</b>	1,42

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

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

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

**11. Berekening van de boorspoeldrukken tijdens de trekfase**

Locatie	H [m]	$\sigma_{vert}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{hor}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_o'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$p_f'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	G [MN/m <sup>2</sup> ]
1	8,95	85,95	39,77	62,86	96,64	17,31
3	10,04	76,40	35,35	55,87	85,89	17,31
4	18,56	137,18	84,68	110,93	158,00	1,07
5	18,56	137,18	84,68	110,93	158,00	1,07
7	23,77	199,89	123,40	161,64	223,50	0,54
8	17,97	116,11	62,50	89,30	131,43	1,79
8'	16,97	111,38	59,95	85,67	126,11	1,79
9	10,21	56,71	35,01	45,86	63,41	0,54
9'	11,21	61,50	43,01	52,25	72,73	0,71

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

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

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

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

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

Locatie	Q [-]	$R_{p,max}$ [m]	u [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{st}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\Delta_p$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{lim}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	0,0020	0,64	0,0705	0,07953	0,02	0,93
3	0,0017	0,68	0,1124	0,1268	0,02	0,90
4	0,044	9,28	0,1976	0,2229	0,06	0,59
5	0,044	9,28	0,1976	0,2229	0,07	0,59
7	0,12	11,89	0,1977	0,2230	0,08	0,60
8	0,024	8,99	0,1777	0,2005	0,10	0,61
8'	0,023	8,49	0,1777	0,2005	0,10	0,60
9	0,033	5,11	0,1101	0,1242	0,11	0,27
9'	0,029	5,61	0,1101	0,1242	0,11	0,30

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

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

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

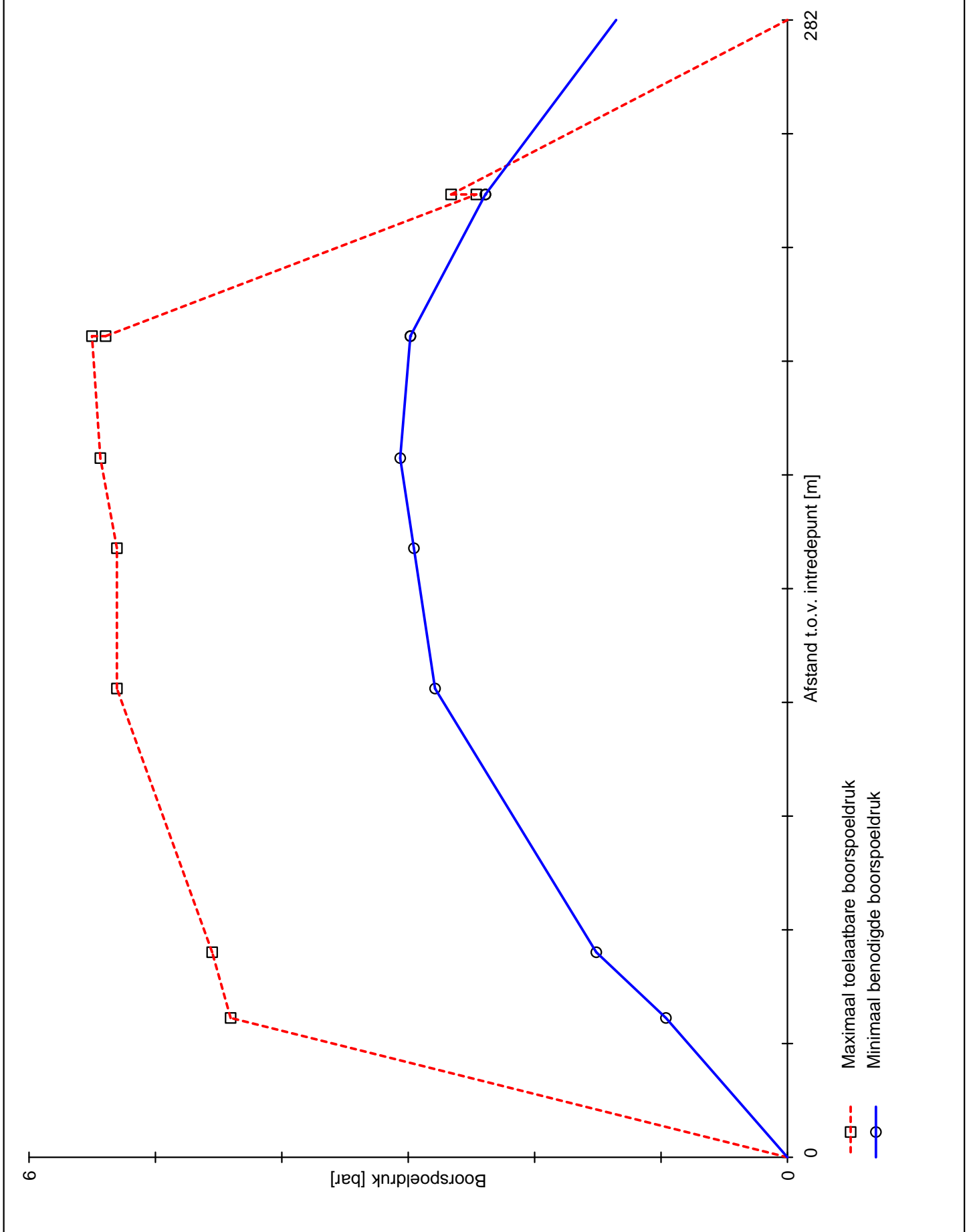
$$p_{lim} = (p_f' + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q \cdot \frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

Locatie	$p_{max}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	90% $p_{lim}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{min}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{max}$ [bar]	90% $p_{lim}$ [bar]	$p_{min}$ [bar]
1	<b>0,44</b>	0,83	<b>0,10</b>	<b>4,41</b>	8,33	<b>0,96</b>
3	<b>0,46</b>	0,81	<b>0,15</b>	<b>4,55</b>	8,14	<b>1,51</b>
4	0,59	<b>0,53</b>	<b>0,28</b>	5,89	<b>5,30</b>	<b>2,79</b>
5	0,59	<b>0,53</b>	<b>0,30</b>	5,89	<b>5,30</b>	<b>2,95</b>
7	0,60	<b>0,54</b>	<b>0,31</b>	6,04	<b>5,44</b>	<b>3,06</b>
8	0,61	<b>0,55</b>	<b>0,30</b>	6,11	<b>5,50</b>	<b>2,98</b>
8'	0,60	<b>0,54</b>	<b>0,30</b>	5,99	<b>5,39</b>	<b>2,98</b>
9	0,27	<b>0,25</b>	<b>0,24</b>	2,73	<b>2,46</b>	<b>2,39</b>
9'	0,30	<b>0,27</b>	<b>0,24</b>	2,95	<b>2,66</b>	<b>2,39</b>

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

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

3.0.10.0/12-2012/



- - - □ Maximaal toelaatbare boorspoeldruk  
— ○ Minimaal benodigde boorspoeldruk

*11 Bijlage 6      Kwelwegberekening*

**Algemene gegevens**

Naam van het project : HDD IJmeer-Diemerzeedijk te IJburg-Diemen  
 Projectonderdeel : Ø125x11,4 - waterleiding (4 bar)

**Invoergegevens kwelwegen**

Locatie	Grondsoort afhankelijke factor	Peilverschil [m]	Lengte natuurlijke verticale kwelweg [m]	Lengte natuurlijke horizontale kwelweg [m]	Lengte alternatieve verticale kwelweg [m]	Lengte alternatieve horizontale kwelweg [m]	Weegfactor
1) In-Uittrede	7,0	0,2	0,0	270,0	0,0	274,4	1/5
2) Diemerzeedijk	7,0	0,2	0,0	48,2	37,6	48,2	0
3) Diemerzeedi..	7	0,2	0	124,1	19,8	126,2	1/6

**Toetsing kwelwegen**

 1) *In-Uittrede (Absolute toetsing):*

$$C_L = 7,0$$

$$h = 0,2 \text{ m}$$

$$\Sigma L_{h1} = 274,4 \text{ m}$$

$$\Sigma L_{v1} = 0,0 \text{ m}$$

$$C_L \cdot h \leq \Sigma L_{v1} + \Sigma 1/3 \cdot L_{h1}$$

$$7,0 \cdot 0,2 \leq 0,0 + 1/3 \cdot 274,4$$

$$1,40 \leq 91,47 \rightarrow \text{Voldoet}$$

 1) *In-Uittrede (Relatieve toetsing):*

$$\Sigma L_{ho} = 270,0 \text{ m}$$

$$\Sigma L_{vo} = 0,0 \text{ m}$$

$$1/2 > \alpha > 2$$

$$\Sigma L_{vo} + \Sigma 1/3 \cdot L_{ho} \leq \Sigma L_{v1} + \Sigma \alpha \cdot L_{h1}$$

$$\alpha = 1/2 \rightarrow 0,0 + 1/3 \cdot 270,0 \leq 0,0 + 1/2 \cdot 274,4$$

$$90,00 \leq 137,20 \rightarrow \text{Voldoet}$$

$$\alpha = 1/3 \rightarrow 0,0 + 1/3 \cdot 270,0 \leq 0,0 + 1/3 \cdot 274,4$$

$$90,00 \leq 91,47 \rightarrow \text{Voldoet}$$

$$\alpha = 1/5 \rightarrow 0,0 + 1/3 \cdot 270,0 \leq 0,0 + 1/5 \cdot 274,4$$

$$90,00 \leq 54,88 \rightarrow \text{Voldoet niet}$$

 2) *Diemerzeedijk (Absolute toetsing):*

$$C_L = 7,0$$

$$h = 0,2 \text{ m}$$

$$\Sigma L_{h2} = 48,2 \text{ m}$$

$$\Sigma L_{v2} = 37,6 \text{ m}$$

$$C_L \cdot h \leq \Sigma L_{v2} + \Sigma 1/3 \cdot L_{h2}$$

$$7,0 \cdot 0,2 \leq 37,6 + 1/3 \cdot 48,2$$

$$1,40 \leq 53,67 \rightarrow \text{Voldoet}$$



## 2) Diemerzeedijk (Relatieve toetsing):

$$\Sigma L_{ho} = 48,2 \text{ m}$$

$$\Sigma L_{vo} = 0,0 \text{ m}$$

$$1/2 > \alpha > 6$$

$$\Sigma L_{vo} + \Sigma 1/3 \cdot L_{ho} \leq \Sigma L_{v2} + \Sigma \alpha \cdot L_{h2}$$

$$\alpha = 1/2 \rightarrow 0,0 + 1/3 \cdot 48,2 \leq 37,6 + 1/2 \cdot 48,2$$

$$16,07 \leq 61,70 \rightarrow \text{Voldoet}$$

$$\alpha = 1/3 \rightarrow 0,0 + 1/3 \cdot 48,2 \leq 37,6 + 1/3 \cdot 48,2$$

$$16,07 \leq 53,67 \rightarrow \text{Voldoet}$$

$$\alpha = 1/5 \rightarrow 0,0 + 1/3 \cdot 48,2 \leq 37,6 + 1/5 \cdot 48,2$$

$$16,07 \leq 47,24 \rightarrow \text{Voldoet}$$

$$\alpha = 1/6 \rightarrow 0,0 + 1/3 \cdot 48,2 \leq 37,6 + 1/6 \cdot 48,2$$

$$16,07 \leq 45,63 \rightarrow \text{Voldoet}$$

$$\alpha = 1/10 \rightarrow 0,0 + 1/3 \cdot 48,2 \leq 37,6 + 1/10 \cdot 48,2$$

$$16,07 \leq 42,42 \rightarrow \text{Voldoet}$$

$$\alpha = 1/12 \rightarrow 0,0 + 1/3 \cdot 48,2 \leq 37,6 + 1/12 \cdot 48,2$$

$$16,07 \leq 41,62 \rightarrow \text{Voldoet}$$

$$\alpha = 0 \rightarrow 0,0 + 1/3 \cdot 48,2 \leq 37,6$$

$$16,07 \leq 37,60 \rightarrow \text{Voldoet}$$

## 3) Diemerzeedijk-Uittrede (Absolute toetsing):

$$C_L = 7$$

$$h = 0,2 \text{ m}$$

$$\Sigma L_{h3} = 126,2 \text{ m}$$

$$\Sigma L_{v3} = 19,8 \text{ m}$$

$$C_L \cdot h \leq \Sigma L_{v3} + \Sigma 1/3 \cdot L_{h3}$$

$$7 \cdot 0,2 \leq 19,8 + 1/3 \cdot 126,2$$

$$1,40 \leq 61,87 \rightarrow \text{Voldoet}$$

## 3) Diemerzeedijk-Uittrede (Relatieve toetsing):

$$\Sigma L_{ho} = 124,1 \text{ m}$$

$$\Sigma L_{vo} = 0 \text{ m}$$

$$1/2 > \alpha > 3$$

$$\Sigma L_{vo} + \Sigma 1/3 \cdot L_{ho} \leq \Sigma L_{v3} + \Sigma \alpha \cdot L_{h3}$$

$$\alpha = 1/2 \rightarrow 0 + 1/3 \cdot 124,1 \leq 19,8 + 1/2 \cdot 126,2$$

$$41,37 \leq 82,90 \rightarrow \text{Voldoet}$$

$$\alpha = 1/3 \rightarrow 0 + 1/3 \cdot 124,1 \leq 19,8 + 1/3 \cdot 126,2$$

$$41,37 \leq 61,87 \rightarrow \text{Voldoet}$$

$$\alpha = 1/5 \rightarrow 0 + 1/3 \cdot 124,1 \leq 19,8 + 1/5 \cdot 126,2$$

$$41,37 \leq 45,04 \rightarrow \text{Voldoet}$$

$$\alpha = 1/6 \rightarrow 0 + 1/3 \cdot 124,1 \leq 19,8 + 1/6 \cdot 126,2$$

$$41,37 \leq 40,83 \rightarrow \text{Voldoet niet}$$