



VAN DEN HEUVEL

Advies & Diensten

Project nr. : 17.9506
Datum : 24-03-2017
Revisie : 0

**ENGINEERING HDD-BORING ONDER WATERGANG DE WINKEL
TER HOOGTE VAN DE WINKELDIJK NR. 19 TE ABCOUDÉ**

RAPPORTAGE BEREKENING CONFORM NEN 3650-serie

T.B.V.

**HDD-BORING ONDER DE WATERGANG DE WINKEL TER HOOGTE
VAN DE WINKELDIJK NR. 9 TE ABCOUDÉ**

Projectnummer : 17.9506



**ENGINEERING HDD-BORING ONDER WATERGANG DE WINKEL
TER HOOGTE VAN DE WINKELDIJK NR. 19 TE ABCOUDÉ**

Projectomschrijving : Gestuurde boring DN110

Projectlokatie : Onder watergang de Winkel ter hoogte van Winkeldijk nr. 19 te Abcoude

Opdrachtgever : Waterbedrijf Vitens

Opdracht nr. klant :

Ontwerpende partij : Van den Heuvel Advies & Diensten

Projectleider : W.M. Stigter

Projectassistent : W.L.H.J. Vogels

Bezoekadres : Kruishoekstraat 13

Postcode : 5384 TK

Gemeente : Heesch

Postadres : Postbus 31



Postcode : 5384 ZG

Gemeente : Heesch

Telefoonnummer : 0412 - 45 38 72

Telefaxnummer : 0412 - 45 94 11

E-mail adres : ad@heuvelheesch.nl

Opgesteld door : Schrijvers Adviesbureau	Opgesteld, d.d. : 24-03-2017	Handtekening: 
Goedgekeurd door : W.M. Stigter	Goedgekeurd, d.d.: 24-03-2017	Handtekening: 



**ENGINEERING HDD-BORING ONDER WATERGANG DE WINKEL
TER HOOGTE VAN DE WINKELDIJK NR. 19 TE ABCOUDÉ**

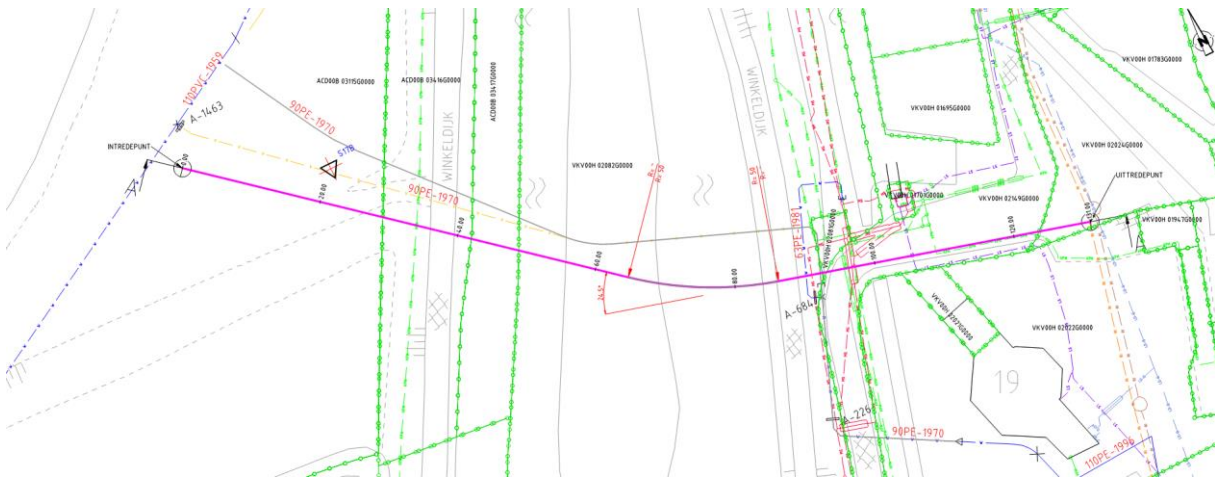
Bijlage 1: Inleiding, memo Adviesbureau Schrijvers, d.d. 24-03-2017.

MEMO

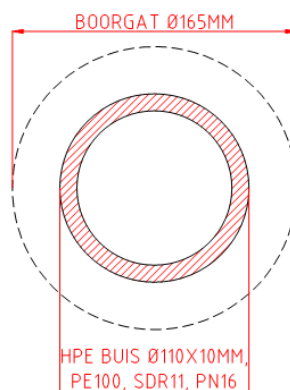
Aan:	W. Stigter (Van Den Heuvel Advies en Diensten)
Van:	B. Bertelkamp (Adviesbureau Schrijvers)
Datum:	24-03-2017
Betreft:	HDD onder de Winkel en Winkeldijk te Abcoude

1. Inleiding

Van Den Heuvel Advies en Diensten is bezig met de engineering van een gestuurde boring voor Vitens te Abcoude. Het betreft de aanleg van een Ø110 PE 100 SDR-11 waterleiding. De boring is geprojecteerd onder de rivier de Winkel en Winkeldijk en heeft een lengte van ca. 130 meter.



De gestuurde boring bestaat uit een enkele Ø110 waterleiding, werkdruk 3 bar.



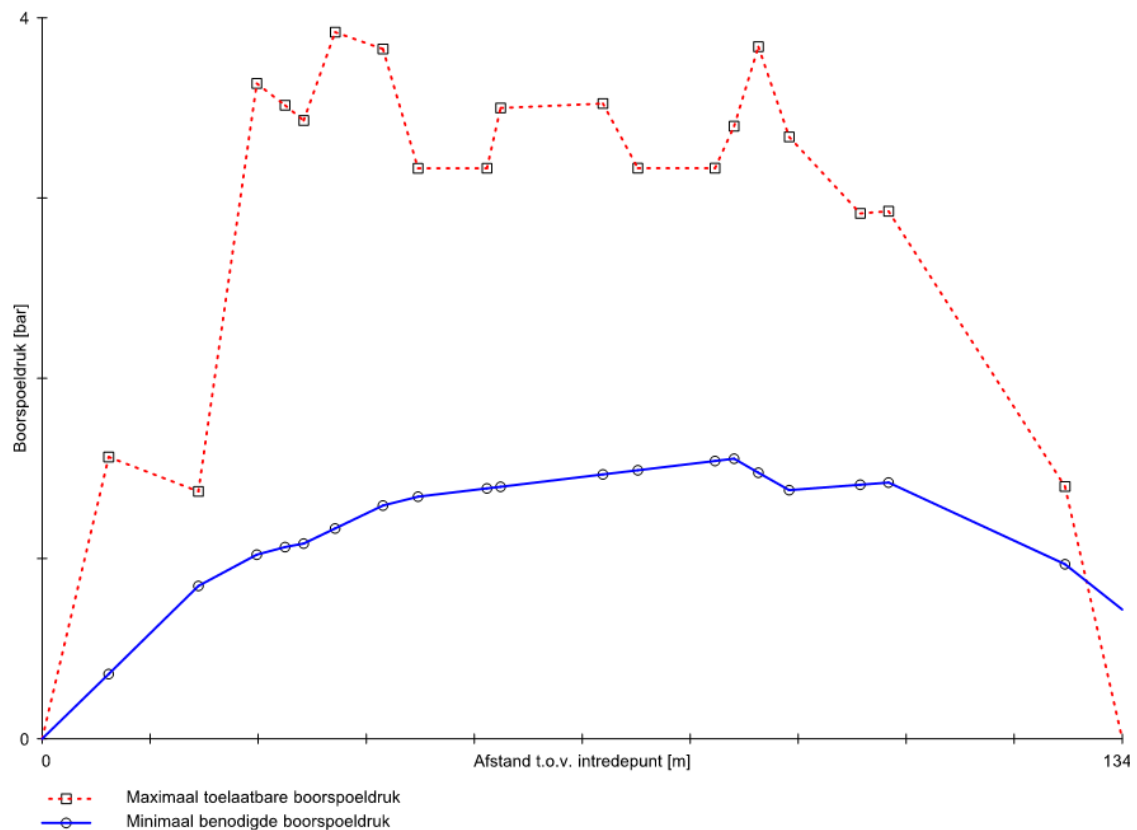
Onderstaand een verklaring en toelichting op de resultaten van de met Sigma 2016 gemaakte sterkte-, trekkracht- en boorspoeldrukberekeningen.

MEMO

2. Boorspoeldrukken HDD

Bij het maken van de gestuurde boring worden er geen problemen verwacht. De watergang wordt met voldoende marge gekruist. De boring is geprojecteerd tot maximaal NAP – 10 m en zo'n 10 m onder het maaiveld.

De marge tussen de maximaal toelaatbare boorspoeldruk en de minimaal benodigde boorspoeldruk is onder de te kruisen objecten voldoende. Richting het uittredepunt is er, tijdens de pilotboring mogelijk risico op uitbraak, inherent aan de aanlegtechniek.



Boorspoeldrukken met 165 mm boorkop/ruimer

MEMO

3. Trekoperatie HDD

De boring heeft een ondergrondse lengte van ca. 131 meter en heeft een neergaande en opgaande bochtstraal van 50 meter en een horizontale bocht van 50 meter.

Uit de trekkracht-berekening volgt dat de maximaal benodigde trekkracht voor de waterleiding 8.741 N ($\approx 0,87$ ton) bedraagt en zal optreden bij het volledig intrekken van buis. De maximale spanning t.g.v. het intrekken bedraagt $3,79 \text{ N/mm}^2$ en zal optreden bij het intrekken van de laatste bocht.

#	T_{tot} [N]	T_{tot} [ton]	σ_t [N/mm ²]	M_b [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	σ_s [N/mm ²]
1	1942,88	0,19	0,62			0,62
2	3327,01	0,33	1,06	120309,91	1,67	2,14
3	4739,60	0,47	1,51			1,51
4	6385,19	0,64	2,03	120309,91	1,67	3,12
5	6681,67	0,67	2,13			2,13
6	8512,32	0,85	2,71	120309,91	1,67	3,79
7	8741,57	0,87	2,78			2,78

De maximaal toelaatbare spanning tijdens het intrekken bedraagt 10 N/mm^2 voor de leiding en wordt in geen geval overschreden. Er is hierbij geen rekening gehouden met het gunstige effect wanneer de leiding geballast (gevuld met water) wordt. In dat geval zullen de benodigde trekkrachten en optredende spanningen lager zijn.

MEMO

4. Optredende spanningen in de gebruiksfase HDD

De maximale spanning in omtreksrichting treedt op onderin de opgaande bocht, vanwege de grotere dekking en kromming. De maximale optredende spanning in omtreksrichting bedraagt 2,64 N/mm². De maximaal toelaatbare spanning voor toetsing van de spanningen in omtreksrichting bedraagt 8 N/mm² en wordt in geen geval overschreden.

4.1 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]
1	1,93	-	0,65	1,25
2	3,13	0,067	0,65	2,08
3	3,67	0,21	0,65	2,52
4	3,47	-	0,65	2,25
5	3,33	-	0,65	2,17
6	4,06	-	0,65	2,64
7	3,85	-	0,65	2,50
8	2,71	-	0,65	1,76
9	2,71	-	0,65	1,76
10	3,33	-	0,65	2,17
11	3,37	-	0,65	2,19
12	2,71	-	0,65	1,76
13	2,71	-	0,65	1,76
14	3,18	-	0,65	2,07
15	3,91	-	0,65	2,54
16	3,21	-	0,65	2,09
17	2,67	-	0,65	1,74
18	2,69	0,21	0,65	1,89
19	1,69	-	0,65	1,10

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

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

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

MEMO

In langsrichting bedraagt de spanning 3,25 N/mm² vanwege de kromming en druk- en temperatuurverschil. De maximaal toelaatbare spanning voor toetsing van de spanningen in langsrichting bedraagt 8 N/mm² en wordt in geen geval overschreden.

4.2 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]
1	0,61	1,56	-	-	2,17
2	0,61	1,56	1,67	0,65	3,25
3	0,61	1,56	1,67	0,65	3,25
4	0,61	1,56	-	-	2,17
5	0,61	1,56	-	-	2,17
6	0,61	1,56	-	-	2,17
7	0,61	1,56	-	-	2,17
8	0,61	1,56	-	-	2,17
9	0,61	1,56	-	-	2,17
10	0,61	1,56	-	-	2,17
11	0,61	1,56	-	-	2,17
12	0,61	1,56	-	-	2,17
13	0,61	1,56	-	-	2,17
14	0,61	1,56	-	-	2,17
15	0,61	1,56	-	-	2,17
16	0,61	1,56	-	-	2,17
17	0,61	1,56	-	-	2,17
18	0,61	1,56	1,67	0,65	3,25
19	0,61	1,56	-	-	2,17

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

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

Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_1 = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$

MEMO

De maximaal optredende deflectie voor de leidingen bedraagt 2,30 mm, daar waar 8 mm is toegestaan (8% van de gemiddelde diameter). De toelaatbare deflectie wordt in geen geval overschreden.

Locatie	Q _n [N/mm ¹]	Q _v [N/mm ¹]	Q _r [N/mm ²]	δ _y [mm]	δ _y /D _g [%]
1	4,73	0,31	-	0,67	0,67
2	8,04	0,13	0,0022	0,96	0,96
3	9,49	0,10	0,0070	2,08	2,08
4	8,95	0,10	-	1,96	1,96
5	8,61	0,11	-	1,89	1,89
6	10,53	0,09	-	2,30	2,30
7	9,97	0,09	-	2,18	2,18
8	7,09	0,00	-	1,54	1,54
9	7,09	0,00	-	1,54	1,54
10	8,62	0,09	-	1,89	1,89
11	8,71	0,09	-	1,91	1,91
12	7,09	0,00	-	1,54	1,54
13	7,09	0,00	-	1,54	1,54
14	8,23	0,10	-	1,81	1,81
15	10,13	0,09	-	2,22	2,22
16	8,29	0,11	-	1,82	1,82
17	6,73	0,25	-	1,51	1,51
18	6,78	0,25	0,0070	1,53	1,53
19	3,63	0,79	-	0,59	0,59

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

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

$$\text{Toelaatbare deflectie} = 8\% \cdot D_g = 0,08 \cdot 100,00 = \mathbf{8,00 \text{ mm}}$$

Er is geen risico op implosie op de diepste gedeelten van de boring. Uit de berekeningen blijkt dat het buismateriaal een implosiekans heeft bij meer dan 27,78 meter grondwater boven de leiding.

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

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

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

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **27,78 m** grondwater boven de leiding

Op het diepste punt is sprake van maximaal ca. 9,5 meter grondwater.

MEMO

6. Conclusie

Bij het maken van de gestuurde boring worden er geen problemen verwacht. De watergang wordt met voldoende marge gekruist. De marge tussen de maximaal toelaatbare boorspoeldruk en de minimaal benodigde boorspoeldruk is onder de te kruisen objecten ruim voldoende.

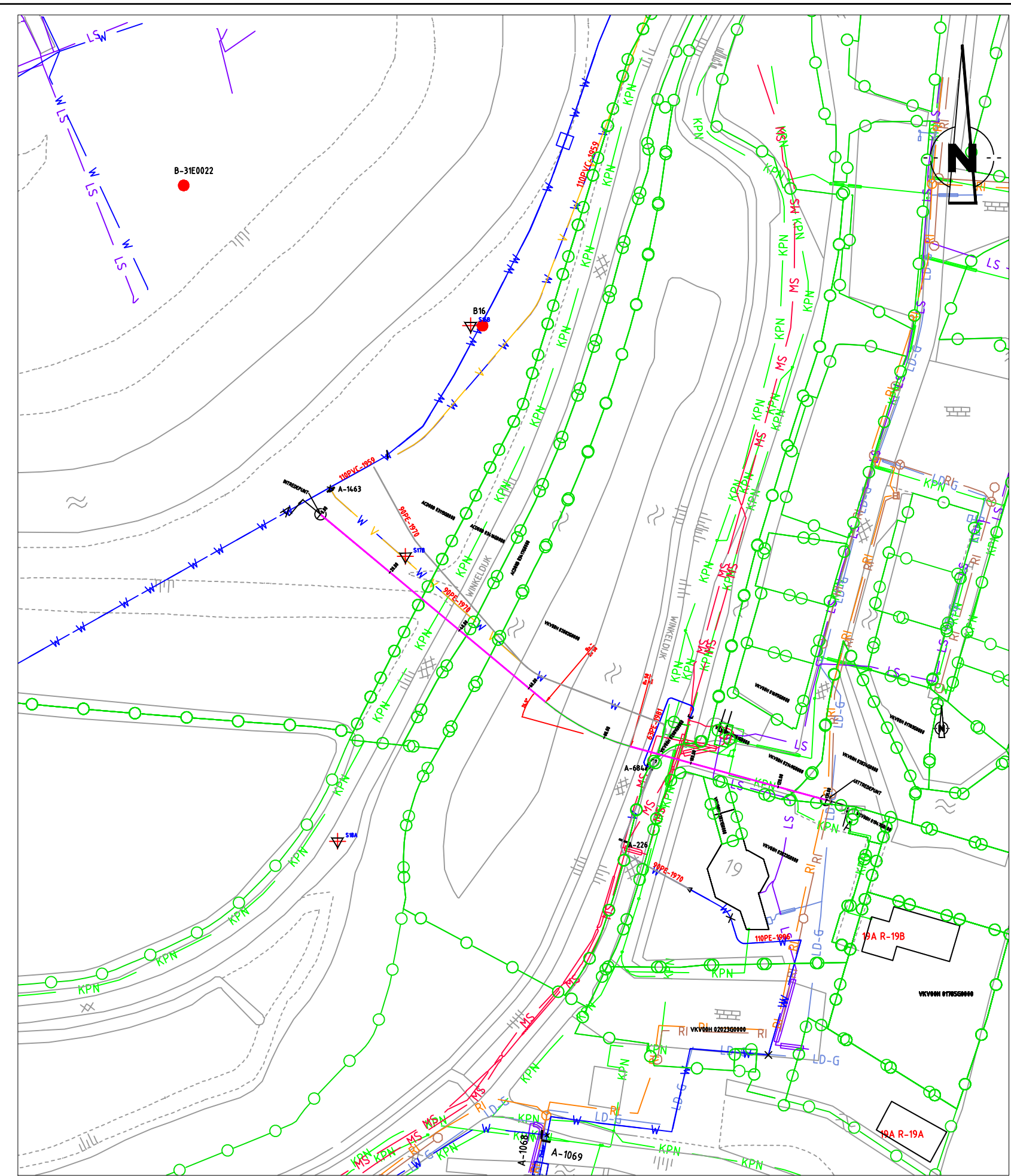
Tijdens het intrekken worden er geen problemen verwacht. De toelaatbare spanningen worden niet overschreden. Er is hierbij geen rekening gehouden met het gunstige effect wanneer de leiding geballast (gevuld met water) wordt. In dat geval zullen de benodigde trekkrachten en optredende spanningen lager zijn.

Er worden geen problemen verwacht met de optredende spanningen en deflecties in de gebruiksfase. De optredende spanningen blijven onder de toelaatbare spanningen.



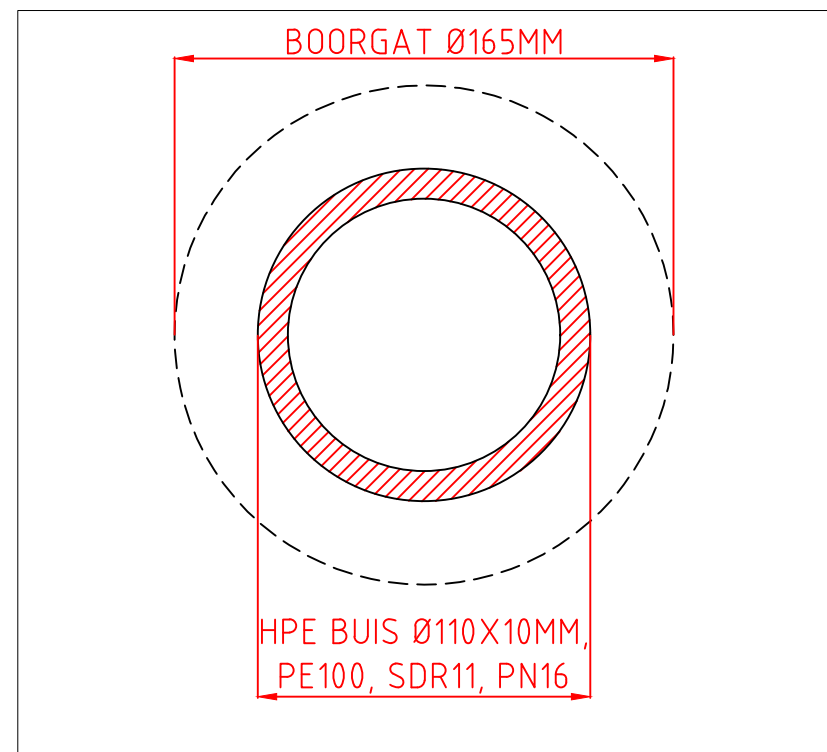
**ENGINEERING HDD-BORING ONDER WATERGANG DE WINKEL
TER HOOGTE VAN DE WINKELDIJK NR. 19 TE ABCOUDE**

Bijlage 2 Tekening 17.2.007, blad 1, versie 3, d.d. 24-03-2017.














SITUATIE
SCHAAL 1:1000

Perceelsnummer	Adres	Eigenaar	Woonadres	Plaats
ACD00B 03115G0000	WINKELDK 16 + 17	DE STAAT (DEFENSIE)	KORTE VOORHOUT 7	2511CW 'S-GRAVENHAGE
ACD00B 03416G0000	WINKELDK	DHR. P. HAZENDONK	N.b.	N.b.
ACD00B 03416G0000	WINKELDK	MVR. G. TIMMERS	N.b.	N.b.
ACD00B 03417G0000	EILINZON	DHR. P. HAZENDONK	N.b.	N.b.
ACD00B 03417G0000	EILINZON	MVR. G. TIMMERS	N.b.	N.b.
VKV00H 02024G0000	WINKELDK 19 A	STICHTING BELANGENBEHARTIGING EILINZON	GROENLANDSEKD 9 13	3645BA VINKEVEEN
VKV00H 02081G0000	WINKELDK	STICHTING BELANGENBEHARTIGING EILINZON	GROENLANDSEKD 9 13	3645BA VINKEVEEN
VKV00H 02082G0000	WINKELDK	HOOGHEEMRAADSCHAP AMSTEL, GOOI EN VECHT	KORTE OUDERKERKERDIJK 7	1096AC AMSTERDAM
VKV00H 02149G0000	WINKELDK	STICHTING BELANGENBEHARTIGING EILINZON	GROENLANDSEKD 9 13	3645BA VINKEVEEN



LEGENDA

- | | |
|---|---------------------------|
|  | WATERLEIDING |
|  | MS-KABEL |
|  | DATA-KABEL |
|  | KPN-KABEL |
|  | LD-GASLEIDING |
|  | PERSIDIOLEIDING |
|  | VRIJVERVAL RIDIOLEIDING |
|  | KADESTRALE GRENZEN |
|  | KADESTRALE PERCEELNUMMERS |
|  | BORING |
|  | SONDERING |

DEFINITIEF

[illegible]

VERSTIE	DATEUM	OBSCHRIJVING	GETEJ.	GETIEN	ST
OPDRACHTGEVER:			REFERENTIE TEKENINGEN:		

PROJECT: ENGINEERING HDD-BORING T.B.V. DRINKWATERLEIDING HPEØ110

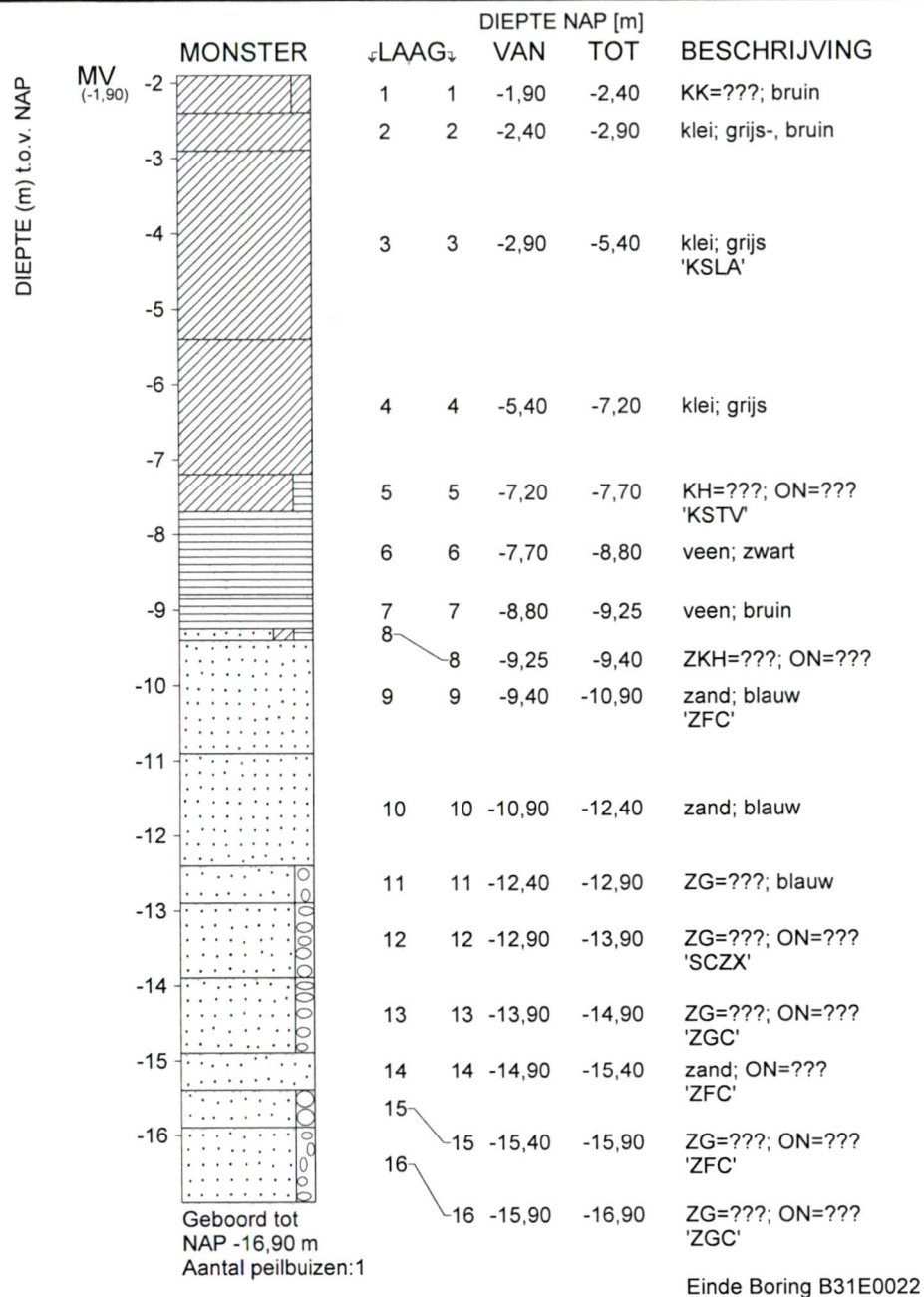
ONDER DE WINKELDIJK NABIJ HUISNR. 19 TE ABCOUDE

 VAN DEN HEUVEL Advies & Diensten	Kruishekstraat 13, 5334 TX Heesch Postbus 31, 5384 ZG Heesch Telefoon: 0412 - 45 38 72 E-mail: adv@heuvelheesch.nl	PROJECTNUMMER: 17.9506	SCHAAI: 1:200	FORMA: A
	TEK.NR.: 17.2.007	BLAD: 1 VAN 1	VERSI: 3	



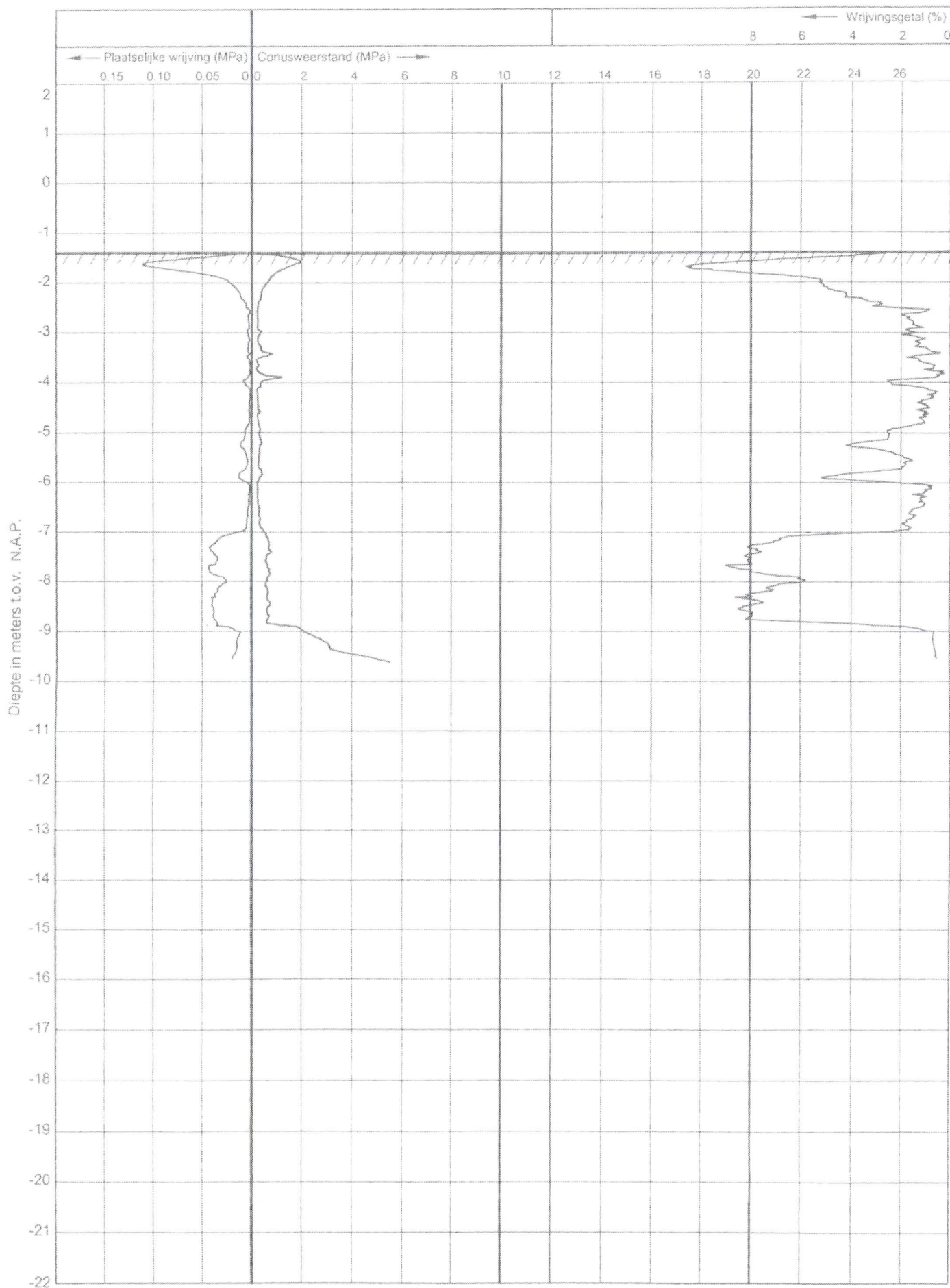
**ENGINEERING HDD-BORING ONDER WATERGANG DE WINKEL
TER HOOGTE VAN DE WINKELDIJK NR. 19 TE ABCOUDÉ**

Bijlage 3: Grondonderzoek gegevens, 1 stuks boring (B31E0022) en 1 stuks sondering (S17B).



maaiveld: NAP -1,90 m
X = 125696 m Y = 474304 m (RD)

-	Telefoon	datum	get.
	Telefax	1877-01-01	
		DINO-BOR	gez.
-		BIJL.	form.
			A4





**ENGINEERING HDD-BORING ONDER WATERGANG DE WINKEL
TER HOOGTE VAN DE WINKELDIJK NR. 19 TE ABCOUDÉ**

Bijlage 4: Sterkteberekening HDD-boring - 3 bar, conform NEN 3650/3651.



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2016 1.4 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : 17.2.007 - HDD Vitens onder Winkel en Winkeldijk te Abcoude			
Projectonderdeel : Ø110x10 PE 100 SDR-11 - waterleiding - 3 bar			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm²
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Soortelijk gewicht buis	ρ_L	= 9,55	kN/m³
Toelaatbare deflectie	δ	= 8	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 110,00	mm
Wanddikte	d _n	= 10	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Ontwerpdruk	p _d	= 0,3	N/mm²
Volumieke massa vloeistof	ρ	= 1000	kg/m³
Temperatuurverschil	Δt	= 10	°
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 100	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	ρ_m	= 11,5	kN/m³
Zwichtspanning boorvloeistof	τ_y	= 15	Pa
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	D _g	= 165	mm
Diameter boorstang	D _b	= 53	mm
Totale lengte	L	= 133,83	m
Lengte 1e rechte deel	L ₁	= 8,24	m
Lengte neergaande bocht	L ₂	= 21,82	m
Lengte 2e rechte deel	L ₃	= 74,77	m
Lengte opgaande bocht	L ₄	= 21,82	m
Lengte 3e rechte deel	L ₅	= 7,18	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R _r	= 50,00	m
Straal neergaande bocht	R ₁	= 50,00	m
Straal opgaande bocht	R ₂	= 50,00	m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	α_1	= 25,00 / 46,63	° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	α_2	= 25,00 / 46,63	° / %
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/mm²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	f ₃	= 0,2	
17-03-2017 09:24:08			



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

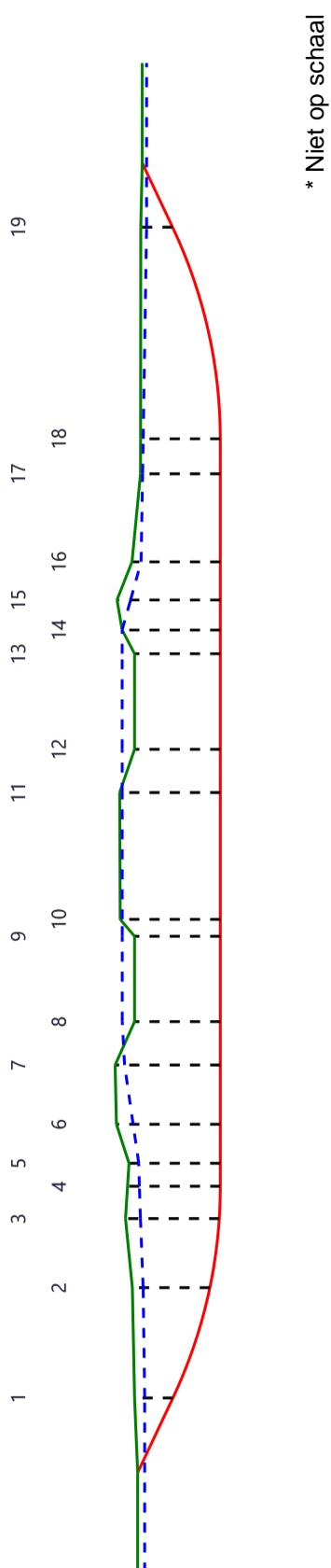
Sigma 2016 1.4 ©

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 [°]
1	8,24	3,79	1,00	Klei	17,00	17,00	17,50
2	19,36	7,66	1,07	Veen	16,50	16,50	15,00
3	26,59	9,27	1,48	Zand	16,10	16,10	32,50
4	30,1	9,17	1,17	Zand	16,00	16,00	32,50
5	32,4	9,03	0,96	Zand	16,00	16,00	32,50
6	36,3	10,27	1,65	Zand	16,10	16,10	32,50
7	42,23	10,40	0,93	Zand	16,20	16,20	32,50
8	46,57	8,48	-1,22	Zand	0,00	16,00	32,50
9	55,11	8,48	-1,22	Zand	0,00	16,00	32,50
10	56,8	9,90	0,20	Zand	16,10	16,10	32,50
11	69,48	9,95	0,25	Zand	16,10	16,10	32,50
12	73,81	8,48	-1,22	Zand	0,00	16,00	32,50
13	83,37	8,48	-1,23	Zand	0,00	16,00	32,50
14	85,74	9,70	0,00	Zand	16,10	16,10	32,50
15	88,75	10,21	1,34	Zand	16,10	16,10	32,50
16	92,56	8,73	0,90	Zand	16,00	16,00	32,50
17	101,37	7,89	0,21	Zand	15,90	15,90	32,50
18	104,87	7,88	0,26	Zand	15,90	15,90	32,50
19	126,74	3,14	0,57	Klei	17,00	17,00	17,50

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm ³]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
1	Geen	-	10,00	2,00	Grafiek ½ x II
2	Geen	0,0110	5,00	0,20	Grafiek ½ x II
3	Geen	0,1100	0,00	45,00	Grafiek ½ x II
4	Geen	-	0,00	45,00	Grafiek ½ x II
5	Geen	-	0,00	45,00	Grafiek ½ x II
6	Geen	-	0,00	45,00	Grafiek ½ x II
7	Geen	-	0,00	45,00	Grafiek ½ x II
8	Geen	-	0,00	45,00	Geen
9	Geen	-	0,00	45,00	Geen
10	Geen	-	0,00	45,00	Grafiek ½ x II
11	Geen	-	0,00	45,00	Grafiek ½ x II
12	Geen	-	0,00	45,00	Geen
13	Geen	-	0,00	45,00	Geen
14	Geen	-	0,00	45,00	Grafiek ½ x II
15	Geen	-	0,00	45,00	Grafiek ½ x II
16	Geen	-	0,00	45,00	Grafiek ½ x II
17	Geen	-	0,00	45,00	Grafiek II
18	Geen	0,1100	0,00	45,00	Grafiek II
19	Geen	-	10,00	2,00	Grafiek II

17-03-2017 09:24:08





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

Sigma 2016 1.4 ©

1.1 Berekening van de spanningen s_p en s_{pl} t.g.v. inwendige druk $D_g/d_n = 100,00/10,00 = 10,00 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow$ Dikwandige leiding

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

$$\sigma_p = \frac{55,00^2 + 45,00^2}{55,00^2 - 45,00^2} \cdot 0,3 = 1,52 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{y1} = \sigma_p = 1,52 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 1,52 = 0,61 \text{ N/mm}^2$$

Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t = 8,00 \text{ N/mm}^2$ **1.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}**

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

$$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 50^3 \cdot 0,089}{975 \cdot 83,33} \right) = 0,92$$

1.3 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]
1	3,79	1,00	Klei	18,72	52,19	70,91	4,73
2	7,66	1,07	Veen	19,37	119,72	139,08	8,04
3	9,27	1,48	Zand	26,15	138,01	164,16	9,49
4	9,17	1,17	Zand	20,61	140,78	161,39	8,95
5	9,03	0,96	Zand	16,98	141,88	158,85	8,61
6	10,27	1,65	Zand	29,25	152,64	181,89	10,53
7	10,40	0,93	Zand	16,61	168,67	185,28	9,97
8	8,48	-1,22	Zand	0,00	149,17	149,17	7,09
9	8,48	-1,22	Zand	0,00	149,17	149,17	7,09
10	9,90	0,20	Zand	3,58	171,71	175,29	8,62
11	9,95	0,25	Zand	4,42	171,77	176,19	8,71
12	8,48	-1,22	Zand	0,00	149,17	149,17	7,09
13	8,48	-1,23	Zand	0,00	149,17	149,17	7,09
14	9,70	0,00	Zand	0,00	171,84	171,84	8,23
15	10,21	1,34	Zand	23,74	157,10	180,84	10,13
16	8,73	0,90	Zand	15,81	137,83	153,64	8,29
17	7,89	0,21	Zand	3,63	134,33	137,96	6,73
18	7,88	0,26	Zand	4,54	133,28	137,81	6,78
19	3,14	0,57	Klei	10,71	48,00	58,71	3,63

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



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

Sigma 2016 1.4 ©

1.4 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]
1	3,79	Grafiek ½ x II	2,83	0,31
2	7,66	Grafiek ½ x II	1,19	0,13
3	9,27	Grafiek ½ x II	0,93	0,10
4	9,17	Grafiek ½ x II	0,94	0,10
5	9,03	Grafiek ½ x II	0,96	0,11
6	10,27	Grafiek ½ x II	0,81	0,09
7	10,40	Grafiek ½ x II	0,79	0,09
8	8,48	Geen	0,00	0,00
9	8,48	Geen	0,00	0,00
10	9,90	Grafiek ½ x II	0,85	0,09
11	9,95	Grafiek ½ x II	0,84	0,09
12	8,48	Geen	0,00	0,00
13	8,48	Geen	0,00	0,00
14	9,70	Grafiek ½ x II	0,87	0,10
15	10,21	Grafiek ½ x II	0,81	0,09
16	8,73	Grafiek ½ x II	1,00	0,11
17	7,89	Grafiek II	2,29	0,25
18	7,88	Grafiek II	2,29	0,25
19	3,14	Grafiek II	7,17	0,79

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 110$$



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

Sigma 2016 1.4 ©

1.5 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]
1	4,73	0,31	5,04	34,78	1,93
2	8,04	0,13	8,17	56,40	3,13
3	9,49	0,10	9,59	66,15	3,67
4	8,95	0,10	9,06	62,50	3,47
5	8,61	0,11	8,71	60,11	3,33
6	10,53	0,09	10,62	73,25	4,06
7	9,97	0,09	10,06	69,39	3,85
8	7,09	0,00	7,09	48,89	2,71
9	7,09	0,00	7,09	48,89	2,71
10	8,62	0,09	8,71	60,10	3,33
11	8,71	0,09	8,80	60,75	3,37
12	7,09	0,00	7,09	48,89	2,71
13	7,09	0,00	7,09	48,89	2,71
14	8,23	0,10	8,33	57,44	3,18
15	10,13	0,09	10,22	70,55	3,91
16	8,29	0,11	8,40	57,94	3,21
17	6,73	0,25	6,98	48,15	2,67
18	6,78	0,25	7,03	48,50	2,69
19	3,63	0,79	4,42	30,52	1,69

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,138 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 50,00$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 0,92 \cdot \frac{M_q}{16,67}$$

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

Locatie	R [m]	Q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
2	50	0,0022	0,067
3	50	0,0070	0,21
18	50	0,0070	0,21

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,083 \cdot Q_r \cdot 110 \cdot \frac{55,00}{16,67}$$

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

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

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

2. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

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

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

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



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

Sigma 2016 1.4 ©

3. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdrukVeiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$

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

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **27,78** m grondwater boven de leiding**4. Berekening van het totaal aan optredende spanningen***4.1 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]
1	1,93	-	0,65	1,25
2	3,13	0,067	0,65	2,08
3	3,67	0,21	0,65	2,52
4	3,47	-	0,65	2,25
5	3,33	-	0,65	2,17
6	4,06	-	0,65	2,64
7	3,85	-	0,65	2,50
8	2,71	-	0,65	1,76
9	2,71	-	0,65	1,76
10	3,33	-	0,65	2,17
11	3,37	-	0,65	2,19
12	2,71	-	0,65	1,76
13	2,71	-	0,65	1,76
14	3,18	-	0,65	2,07
15	3,91	-	0,65	2,54
16	3,21	-	0,65	2,09
17	2,67	-	0,65	1,74
18	2,69	0,21	0,65	1,89
19	1,69	-	0,65	1,10

Rechte delen: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ Bochten: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$ Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$



4.2 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]
1	0,61	1,56	-	-	2,17
2	0,61	1,56	1,67	0,65	3,25
3	0,61	1,56	1,67	0,65	3,25
4	0,61	1,56	-	-	2,17
5	0,61	1,56	-	-	2,17
6	0,61	1,56	-	-	2,17
7	0,61	1,56	-	-	2,17
8	0,61	1,56	-	-	2,17
9	0,61	1,56	-	-	2,17
10	0,61	1,56	-	-	2,17
11	0,61	1,56	-	-	2,17
12	0,61	1,56	-	-	2,17
13	0,61	1,56	-	-	2,17
14	0,61	1,56	-	-	2,17
15	0,61	1,56	-	-	2,17
16	0,61	1,56	-	-	2,17
17	0,61	1,56	-	-	2,17
18	0,61	1,56	1,67	0,65	3,25
19	0,61	1,56	-	-	2,17

Rechte delen: $\sigma_x = \sigma_{pl} + \sigma_{ax}$ Bochten: $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_A \cdot \sigma_b + \sigma_{ax}$ Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$

**5. 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 [%]
1	4,73	0,31	-	0,67	0,67
2	8,04	0,13	0,0022	0,96	0,96
3	9,49	0,10	0,0070	2,08	2,08
4	8,95	0,10	-	1,96	1,96
5	8,61	0,11	-	1,89	1,89
6	10,53	0,09	-	2,30	2,30
7	9,97	0,09	-	2,18	2,18
8	7,09	0,00	-	1,54	1,54
9	7,09	0,00	-	1,54	1,54
10	8,62	0,09	-	1,89	1,89
11	8,71	0,09	-	1,91	1,91
12	7,09	0,00	-	1,54	1,54
13	7,09	0,00	-	1,54	1,54
14	8,23	0,10	-	1,81	1,81
15	10,13	0,09	-	2,22	2,22
16	8,29	0,11	-	1,82	1,82
17	6,73	0,25	-	1,51	1,51
18	6,78	0,25	0,0070	1,53	1,53
19	3,63	0,79	-	0,59	0,59

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

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

$$\text{Toelaatbare deflectie} = 8\% \cdot D_g = 0,08 \cdot 100,00 = \mathbf{8,00 \text{ mm}}$$



6. 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]
1	3,79	30,70	21,47	26,08	43,46	0,71
2	7,66	48,99	36,31	42,65	58,51	0,071
3	9,27	57,74	26,72	42,23	64,92	17,31
4	9,17	53,39	24,70	39,05	60,02	17,31
5	9,03	50,67	23,45	37,06	56,97	17,31
6	10,27	64,13	29,68	46,91	72,11	17,31
7	10,40	58,47	27,06	42,77	65,74	17,31
8	8,48	38,52	17,83	28,18	43,31	17,31
9	8,48	38,52	17,83	28,18	43,31	17,31
10	9,90	47,91	22,17	35,04	53,87	17,31
11	9,95	48,62	22,50	35,56	54,67	17,31
12	8,48	38,52	17,83	28,18	43,31	17,31
13	8,48	38,52	17,83	28,18	43,31	17,31
14	9,70	44,99	20,82	32,90	50,58	17,31
15	10,21	60,75	28,11	44,43	68,30	17,31
16	8,73	48,66	22,52	35,59	54,71	17,31
17	7,89	37,21	17,22	27,22	41,84	17,31
18	7,88	37,70	17,44	27,57	42,38	17,31
19	3,14	22,85	15,98	19,41	34,79	0,71

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

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

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

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

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



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

Sigma 2016 1.4 ©

Locatie	Q [-]	R _{p,max} [m]	u [N/mm ²]	p _{st} [N/mm ²]	Δ _p [N/mm ²]	p _{lim} [N/mm ²]
1	0,024	1,90	0,0279	0,03148	0,00	0,17
2	0,22	3,83	0,0660	0,07441	0,01	0,15
3	0,0013	0,72	0,0779	0,08791	0,01	0,74
4	0,0012	0,75	0,0800	0,09024	0,02	0,71
5	0,0012	0,77	0,0806	0,09094	0,02	0,69
6	0,0015	0,68	0,0862	0,09723	0,02	0,79
7	0,0013	0,72	0,0947	0,1068	0,02	0,76
8	0,00087	0,88	0,0969	0,1094	0,02	0,60
9	0,00087	0,88	0,0970	0,1094	0,03	0,60
10	0,0011	0,79	0,0970	0,1094	0,03	0,68
11	0,0011	0,79	0,0970	0,1094	0,04	0,69
12	0,00087	0,88	0,0970	0,1094	0,04	0,60
13	0,00087	0,88	0,0970	0,1095	0,04	0,60
14	0,0010	0,82	0,0970	0,1095	0,05	0,66
15	0,0014	0,70	0,0887	0,1001	0,05	0,77
16	0,0011	0,78	0,0783	0,08835	0,05	0,67
17	0,00084	0,90	0,0768	0,08664	0,05	0,57
18	0,00086	0,89	0,0762	0,08597	0,06	0,58
19	0,022	1,57	0,0257	0,02896	0,07	0,16

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

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

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

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



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

Sigma 2016 1.4 ©

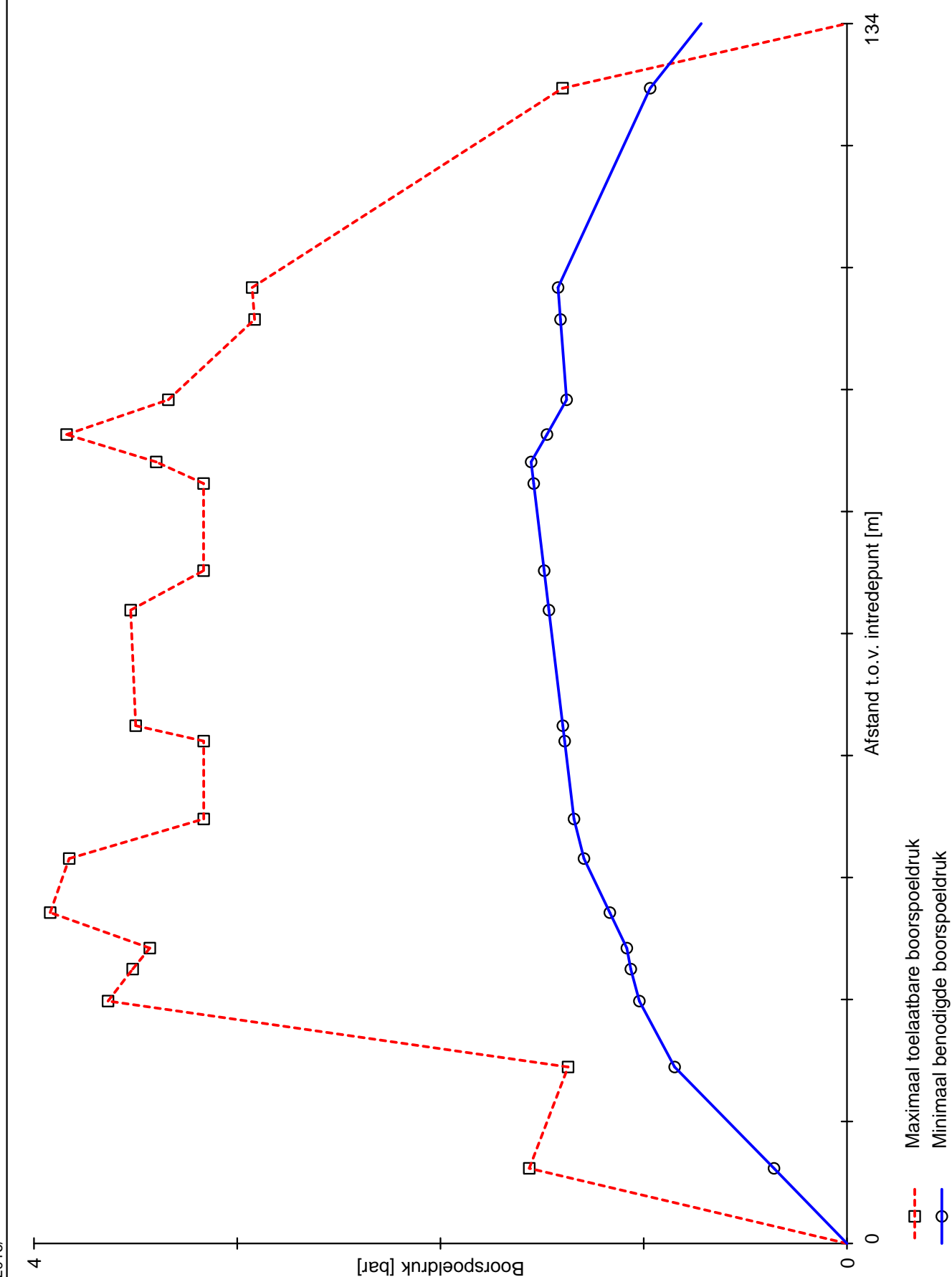
Locatie	p_{\max} [kPa]	90% p_{lim} [kPa]	p_{min} [kPa]	p_{\max} [bar]	90% p_{lim} [bar]	p_{min} [bar]
1	170,64	156,32	35,90	1,71	1,56	0,36
2	152,40	137,20	84,78	1,52	1,37	0,85
3	363,56	664,47	102,16	3,64	6,64	1,02
4	351,43	636,80	106,37	3,51	6,37	1,06
5	342,99	618,49	108,30	3,43	6,18	1,08
6	392,02	713,94	116,68	3,92	7,14	1,17
7	382,65	684,43	129,40	3,83	6,84	1,29
8	316,47	544,03	134,30	3,16	5,44	1,34
9	316,49	544,05	138,90	3,16	5,44	1,39
10	349,94	613,66	139,81	3,50	6,14	1,40
11	352,41	618,76	146,64	3,52	6,19	1,47
12	316,53	544,09	148,97	3,17	5,44	1,49
13	316,56	544,11	154,12	3,17	5,44	1,54
14	339,87	592,61	155,40	3,40	5,93	1,55
15	383,94	694,15	147,62	3,84	6,94	1,48
16	333,87	602,24	137,93	3,34	6,02	1,38
17	291,45	515,74	140,95	2,91	5,16	1,41
18	292,65	518,95	142,15	2,93	5,19	1,42
19	151,04	139,94	96,85	1,51	1,40	0,97

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

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



1.4.0.0/07-2016/





**ENGINEERING HDD-BORING ONDER WATERGANG DE WINKEL
TER HOOGTE VAN DE WINKELDIJK NR. 19 TE ABCOUDÉ**

Bijlage 5: Trekkraachtberekening HDD-boring, conform NEN 3650/3651.

Berekening trekkracht conform NEN3650/3651

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

Adviesbureau
Schrijvers



Materiaalgegevens

Diameter	D_o	=	110 mm
Wanddikte	d_n	=	10 mm
E-modulus kort	E	=	975 N/mm ²
Alfa ax./tan.	α_σ	=	0,65
Soortelijk gewicht buis	ρ_L	=	9,55 kN/m ³
Inwendige bekleding	e_i	=	0 mm
Uitwendige bekleding	e_u	=	0 mm
S.G. inw. bekleding	$\rho_{L,i}$	=	21 kN/m ³
S.G. uitw. bekleding	$\rho_{L,u}$	=	9,55 kN/m ³

Uitvoeringsaspecten

Gewicht vulling maaiveld	$g_{vul,rol}$	=	0 N/mm
Gewicht vulling boorgat	$g_{vul,gat}$	=	0 N/mm
Soortelijk gewicht bentoniet	ρ_m	=	11,50 kN/m ³
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 ²
Wrijving boorgangwand	f_3	=	0,2

Tracé boring

Straal maaiveld/rollenbaan	R_r	=	100 m
Totale lengte	L	=	131,03 m

#	Naam	Buislengte [m]	Hoek [°]	Straal [m]	Beddingsconst. [N/mm ³]
1	Recht	8,24	0,00	0,00	0,000
2	Verticale bocht	21,82	25,00	50,00	0,110
3	Recht	34,75	0,00	0,00	0,000
4	Horizontale bocht	21,39	24,50	50,00	0,110
5	Recht	15,83	0,00	0,00	0,000
6	Verticale bocht	21,82	25,00	50,00	0,110
7	Recht	7,18	0,00	0,00	0,000

Berekening trekkracht conform NEN3650/3651

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

Adviesbureau
Schrijvers



Eigenschappen van de leiding

Traagheidsmoment	I_b	=	3966260,725 mm ⁴
Weerstandsmoment	W_b	=	72113,83137 mm ³
Oppervlakte leiding	A	=	3141,59 mm ²

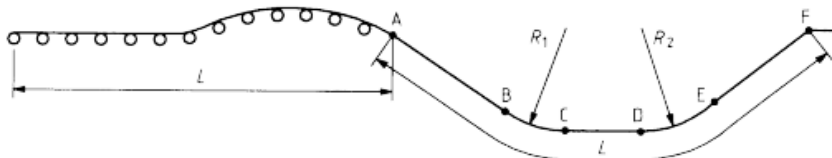
Gewicht tijdens intrekken van de leiding

Gewicht leiding	g	=	0,0300 N/mm
Totaal gewicht maaiveld	g_{rol}	=	0,03000221 N/mm
Totaal gewicht boorgat	g_{gat}	=	0,03000221 N/mm
Omtrek bentoniet	$D_{e,omtrek}$	=	345,58 mm
Opwaarts gewicht	g_{opw}	=	0,109 N/mm
Effectief gewicht	g_{eff}	=	0,079 N/mm

Trekkrachten bovengronds

#	L [m]	T_1 [N]	T_1 [ton]	σ_t [N/mm ²]
1	131,03	1651,10	0,17	0,53
2	123,85	1560,62	0,16	0,50
3	102,03	1285,67	0,13	0,41
4	86,20	1086,20	0,11	0,35
5	64,81	816,67	0,08	0,26
6	30,06	378,78	0,04	0,12
7	8,24	103,83	0,01	0,03

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



Spanning tgv kromming bovengronds

Belastingfactor		$f_{k,b}$	=	1,1
E-modulus kort	#	E	=	975 N/mm ²
Traagheidsmoment	#	I_b	=	3966260,725 mm ⁴
Straal maaiveld	#	R_r	=	100 m
Weerstandsmoment	#	W_b	=	72113,83137 mm ³
Moment tgv kromming		M_b	=	42538,14628 Nmm
Buigspanning tgv kromming		σ_b	=	0,590 N/mm ²

#	σ_t [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
1	0,53	0,91
2	0,50	0,88
3	0,41	0,79
4	0,35	0,73
5	0,26	0,64
6	0,12	0,50
7	0,03	0,42

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

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

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

Berekening trekkracht conform NEN3650/3651

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

Adviesbureau
Schrijvers



Spanning tijdens intrekken leiding in boorgat

#	L [m]	T ₂ /T _{3a} [N]	T ₂ /T _{3a} [ton]
1	8,24	382	0,04
2	30,06	1394	0,14
3	64,81	3007	0,30
4	86,20	3999	0,40
5	102,03	4733	0,47
6	123,85	5745	0,57
7	131,03	6079	0,61

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

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

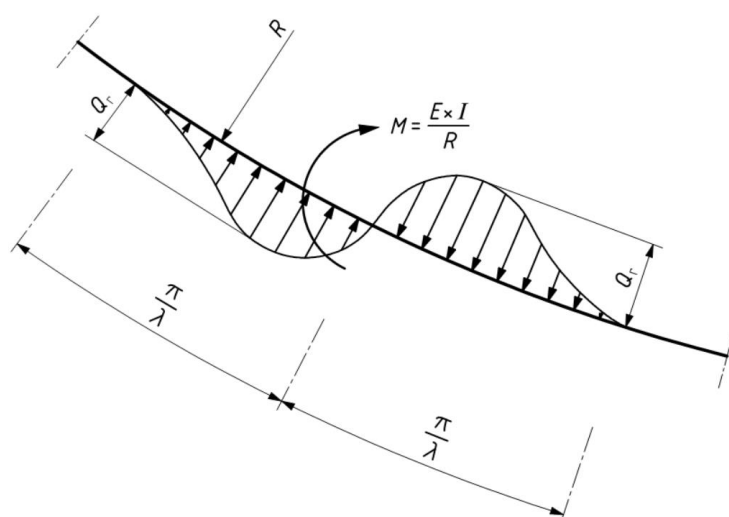
$$\text{Gebogen delen: } T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3)$$

Trekkracht ivm wrijving door grondreactie bochten

#	L [m]	λ [1/mm]	q_r [N/mm ²]	T _{3b} [N]	T _{3b} [ton]
1	8,24				
2	30,06	0,005289	0,0070	257,46	0,026
3	64,81				
4	86,20	0,005289	0,0070	257,46	0,026
5	102,03				
6	123,85	0,005289	0,0070	257,46	0,026
7	131,03				

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

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



Berekening trekkracht conform NEN3650/3651

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

Adviesbureau
Schrijvers



Wrijving door bochtcracht

#	L [m]	T ₁ [N]	T _{3a} [N]	T _{3b} [N]	T _{3,op,neer} [N]	T _{3,som} [N]	T _{bocht} [N]	T _{3c} [N]
1	8,24							
2	30,06	1560,62	1394,49	257,46	257,46	257,46	3212,573609	389,38
3	64,81							
4	86,20	1086,20	3998,85	257,46	514,91	514,91	5599,957076	665,38
5	102,03							
6	123,85	378,78	5745,44	257,46	772,37	772,37	6896,592219	835,91
7	131,03							

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

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

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

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 ₁ [N]	T ₂ /T _{3a} [N]	T _{3b} [N]	T _{3c} [N]
1	8,24	1560,62	382,26	0,00	0,00
2	30,06	1285,67	1394,49	257,46	389,38
3	64,81	1086,20	3006,56	257,46	389,38
4	86,20	816,67	3998,85	514,91	1054,77
5	102,03	378,78	4733,21	514,91	1054,77
6	123,85	103,83	5745,44	772,37	1890,68
7	131,03	0,00	6078,52	772,37	1890,68

#	T _{tot} [N]	T _{tot} [ton]	σ _t [N/mm²]	M _b [N/mm²]	σ _b [N/mm²]	σ _a [N/mm²]
1	1942,88	0,19	0,62			0,62
2	3327,01	0,33	1,06	120309,91	1,67	2,14
3	4739,60	0,47	1,51			1,51
4	6385,19	0,64	2,03	120309,91	1,67	3,12
5	6681,67	0,67	2,13			2,13
6	8512,32	0,85	2,71	120309,91	1,67	3,79
7	8741,57	0,87	2,78			2,78

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

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

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

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

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

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

Maximaal benodigde trekkracht:

8741,57 N

0,87 ton