



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2022 1.1 ©	
<b>Algemene gegevens</b>			
Naam van het project	: Voorbeeld intersectie HDD (meet in the middle) Sigma 2022 (Adviesbureau Schrijvers b.v. (c))		
Projectonderdeel	: Sterkteberekening PE Ø630 mm SDR 11 / Lengte ca. 980 m		
<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	$\alpha_g$	= 16,0·10 <sup>-5</sup>	mm/(mm·K)
Alfa Tangentiaal / Alfa Axiaal	$\alpha_\sigma$	= 0,65	-
Soortelijk gewicht buis	$\rho_L$	= 9,55	kN/m <sup>3</sup>
Toelaatbare deflectie	$\delta$	= 8,00	%
<b>Leidinggegevens</b>			
Uitwendige middellijn	$D_e$	= 630,00	mm
Wanddikte	$d_n$	= 57,3	mm
<b>Procesgegevens</b>			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Ontwerpdruk	$p_d$	= 0,3	N/mm <sup>2</sup>
Volumieke massa medium	$\rho$	= 1000	kg/m <sup>3</sup>
Temperatuurverschil	$\Delta t$	= 10	°
<b>Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken</b>			
Totale lengte	L	= 978,36	m
Lengte 1e rechte deel	$L_1$	= 40,00	m
Lengte neergaande bocht	$L_2$	= 74,18	m
Lengte 2e rechte deel	$L_3$	= 750,00	m
Lengte opgaande bocht	$L_4$	= 74,18	m
Lengte 3e rechte deel	$L_5$	= 40,00	m
Straal maaiveld/rollenbaan	$R_r$	= 100,00	m
Straal neergaande bocht	$R_1$	= 250,00	m
Straal opgaande bocht	$R_2$	= 250,00	m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	$\alpha_1$	= 17,00 / 30,57	° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	$\alpha_2$	= 17,00 / 30,57	° / %
Belastinghoek	$\alpha$	= 180	°
Ondersteuningshoek	$\beta$	= 120	°
Horizontale steundrukhoek	$\gamma$	= 120	°
Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	$\gamma$	= 1,1	
Voor de pilotboring wordt gebruik gemaakt van twee boorstellingen (twee rigs).			

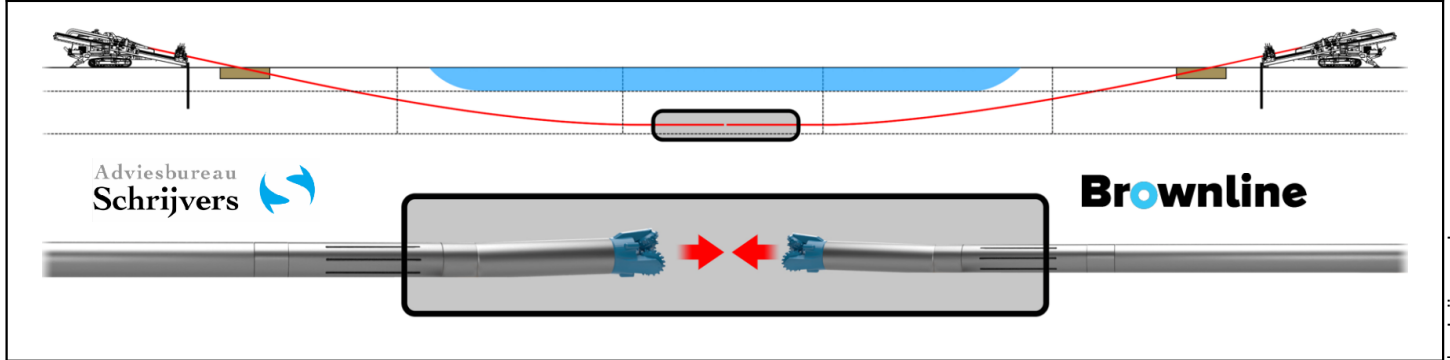


Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2022 1.1 ©
---	------------------

**Uitvoeringsaspecten**

<i>Tijdens pilot boorstelling #1 (van links naar rechts)</i>			
Diameter boorstang	$D_{b1}$	= 127	mm
Diameter boorkop/boorgat	$D_{p1}$	= 300	mm
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_{m,p1}$	= 11,5	kN/m <sup>3</sup>
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_{y,p1}$	= 13,4	Pa
Plastische viscositeit boorvloeistof	$\eta_{p1}$	= 0,009	Pa-s
Debiet boorvloeistof	$Q_{m,p1}$	= 900,0	l/min
<i>Tijdens pilot boorstelling #2 (van rechts naar links)</i>			
Diameter boorstang	$D_{b2}$	= 89	mm
Diameter boorkop/boorgat	$D_{p2}$	= 170	mm
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_{m,p2}$	= 11,5	kN/m <sup>3</sup>
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_{y,p2}$	= 13,4	Pa
Plastische viscositeit boorvloeistof	$\eta_{p2}$	= 0,009	Pa-s
Debiet boorvloeistof	$Q_{m,p2}$	= 600	l/min
<i>Tijdens ruimgang</i>			
Diameter ruimer/boorgat	$D_{g,r}$	= 450,0	mm
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_{m,r}$	= 11,5	kN/m <sup>3</sup>
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_{y,r}$	= 13,4	Pa
Plastische viscositeit boorvloeistof	$\eta_r$	= 0,009	Pa-s
Debiet boorvloeistof	$Q_{m,r}$	= 2000	l/min
<i>Tijdens intrekken</i>			
Gecombineerd ruimen/intrekken			
Diameter ruimer/boorgat	$D_{g,i}$	= 950	mm
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_{m,i}$	= 11,5	kN/m <sup>3</sup>
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_{y,i}$	= 13,4	Pa
Plastische viscositeit boorvloeistof	$\eta_i$	= 0,009	Pa-s
Debiet boorvloeistof	$Q_{m,i}$	= 1400	l/min
De intersectiemethode wordt toegepast ('meet in the middle')			
Intersectiepunt t.o.v. intredepunt pilot boorstelling #1	$L_{int}$	= 480	m
Leiding wordt niet verzaard t.p.v. rollenbaan			
Gewicht vulling/extra gewicht tpv boorgang	$g_{vul, b}$	= 2,086	N/mm <sup>1</sup>

**Principe intersectiemethode ('Meet in the Middle')**



**Onzekerheids- en wrijvingsfactoren**

Totaalfactor bij normale boring	$f$	= 1,4	
Belastingfactor, bovengronds	$f_{k,b}$	= 1,1	
Belastingfactor, ondergronds	$f_{k,o}$	= 1,4	
Onzekerheidsfactor straal, ondergronds	$f_{r,o}$	= 0,9	
Wrijvingscoëff. zonder rollenbaan	$f_1$	= 0,3	
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	$f_2$	= 0,00005	N/mm <sup>2</sup>
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	$f_3$	= 0,2	

1.1.0.1/03-2022/93-259692-99		09-04-2022 15:11:57
------------------------------	--	---------------------



**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]	Grondsoort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m <sup>3</sup> ]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m <sup>3</sup> ]	Wrijvingshoek grond [°]
1	52,20	16,00	2,00	Klei	15,00	15,00	22,50
2	102,83	23,00	2,00	Klei	15,00	15,00	22,50
3	152,84	23,00	2,00	Klei	15,00	15,00	22,50
4	202,84	23,00	2,00	Klei	15,00	15,00	22,50
5	302,84	23,00	2,00	Klei	15,00	15,00	22,50
6	352,84	23,00	2,00	Klei	15,00	15,00	22,50
7	402,84	23,00	2,00	Klei	15,00	15,00	22,50
8	452,84	23,00	2,00	Klei	15,00	15,00	22,50
9	502,84	23,00	2,00	Klei	15,00	15,00	22,50
10	552,84	23,00	2,00	Klei	15,00	15,00	22,50
11	602,84	20,00	2,00	Klei	15,00	15,00	22,50
12	652,84	20,00	2,00	Klei	15,00	15,00	22,50
13	702,84	20,00	2,00	Klei	15,00	15,00	22,50
14	752,84	20,00	2,00	Klei	15,00	15,00	22,50
15	802,84	20,00	2,00	Klei	15,00	15,00	22,50
16	852,84	20,00	2,00	Klei	15,00	15,00	22,50
17	903,00	17,00	2,00	Klei	15,00	15,00	22,50

Locatie	Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm <sup>3</sup> ]	Effectieve cohesie [kN/m <sup>2</sup> ]	E-modulus ondergrond [MN/m <sup>2</sup> ]	Verkeersbelasting
1	0,0022	0,00	1,50	Grafiek ½ x II
2	0,0022	0,00	1,50	Grafiek II
3	-	0,00	1,50	Grafiek II
4	-	0,00	1,50	Geen
5	-	0,00	1,50	Geen
6	-	0,00	1,50	Geen
7	-	0,00	1,50	Grafiek I
8	-	0,00	1,50	Grafiek ½ x II
9	-	0,00	1,50	Grafiek ½ x II
10	-	0,00	1,50	Grafiek I
11	-	0,00	1,50	Grafiek I
12	-	0,00	1,50	Geen
13	-	0,00	1,50	Geen
14	-	0,00	1,50	Geen
15	-	0,00	1,50	Geen
16	-	0,00	1,50	Geen
17	0,0022	0,00	1,50	Geen



Locatie	Gereduceerde grondbelasting
1	Geen
2	Geen
3	Geen
4	Geen
5	Geen
6	Geen
7	Geen
8	Geen
9	Geen
10	Geen
11	Geen
12	Geen
13	Geen
14	Geen
15	Geen
16	Geen
17	Geen



\* Niet op schaal



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2022 1.1 ©
---	------------------

## 2. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 515,40	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i) / 2$	= 572,70	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 630,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 315,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 257,70	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 286,35	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 4.268.958.539,00	mm <sup>4</sup>
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 13.552.249,33	mm <sup>3</sup>
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 15.677,71	mm <sup>4</sup> /mm <sup>1</sup>
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 547,22	mm <sup>3</sup> /mm <sup>1</sup>
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 103.093,59	mm <sup>2</sup>
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,9845	N/mm <sup>1</sup>

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

	Leiding op rollenbaan/maaiveld	Leiding in boorgat
Gewicht mediumleiding	$g = 0,9845 \text{ N/mm}^1$	$g = 0,9845 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = 2,086 \text{ N/mm}^1 +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,9845 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 3,0705 \text{ N/mm}^1$

## 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	978,36	<b>404.560</b>
Na intrekken van $L_5$	938,36	<b>388.020</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4$	864,18	<b>357.346</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	114,18	<b>47.214</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	40,00	<b>16.540</b>

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,4 \cdot L \cdot 0,9845 \cdot 0,3$$

### 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	404.560	<b>3,92</b>
Na intrekken van $L_5$	388.020	<b>3,76</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4$	357.346	<b>3,47</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	47.214	<b>0,46</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	16.540	<b>0,16</b>

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{103.093,59}$$



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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{4.268.958.539}{100.000} = 45.784.580,33 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{45.784.580,33}{13.552.249} = 3,38 \text{ N/mm}^2$$

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	3,92	<b>6,12</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub>	3,76	<b>5,96</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub>	3,47	<b>5,66</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub> + L <sub>3</sub>	0,46	<b>2,65</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub> + L <sub>3</sub> + L <sub>2</sub>	0,16	<b>2,36</b>

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 3,38 + \sigma_t$$

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



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

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

Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof.

100% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet.

Hieruit volgt:  $D_{e,omtrek} = 1.979,20 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat  $g_{gat} = 3,071 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof:  $g_{opw} = \rho_{m,i} \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 630,00^2 \cdot \pi/4 = 3,585 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is  $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,514 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht $T_2$ en $T_{3a}$ tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	$T_2$ [N]	$T_{3a}$ [N]
Na intrekken van $L_5$	40,00	<b>11.302</b>	-
Na intrekken van $L_5 + L_4$	114,18	-	<b>32.261</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	864,18	<b>244.170</b>	-
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	938,36	-	<b>265.129</b>
Geheel ingetrokken	978,36	<b>276.431</b>	-

Rechte delen:  $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,4 \cdot L \cdot (1.979,20 \cdot 0,00005 + 0,514 \cdot 0,2)$

Gebogen delen:  $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,4 \cdot L \cdot (1.979,20 \cdot 0,00005 + 0,514 \cdot 0,2)$

*5.2 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]
1	0,0005	250	0,0027	<b>5.629</b>
2	0,0005	250	0,0027	<b>5.629</b>
17	0,0005	250	0,0027	<b>5.629</b>

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

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

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,4 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 630 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$





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

Trekkraft $T_{\text{bocht}}$ tijdens verschillende stadia [N]	$T_1$ [N] (f = 1)	$T_2 / T_{3a}$ [N] (f = 1)	$T_{3b,neer}$ [N] (f = 1)	$T_{3b,op}$ [N] (f = 1)	$T_{\text{bocht}}$ [N]
Neergaande bocht	255.247	23.044	4.021	-	<b>282.311</b>
Opgaande bocht	11.815	189.378	4.021	4.021	<b>209.234</b>

Neergaande bocht:  $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_2 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max}$

Opgaande bocht:  $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_2 + T_{3a,neer} + T_{3b,neer,max} + T_{3a,op} + T_{3b,op,max}$

Trekkraft $T_{3c}$ tijdens verschillende stadia [N]	$\alpha$ [°]	$T_{\text{bocht}}$ [N]	$T_{3c}$ [N]
Neergaande bocht	8,50	282.311	<b>23.368</b>
Opgaande bocht	8,50	209.234	<b>17.319</b>

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

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

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

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

5.4 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]
Na intrekken van $L_5$	388.020	11.302	-	-	-	-	<b>399.322</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4$	357.346	32.261	5.629	23.368	-	-	<b>418.604</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	47.214	244.170	5.629	23.368	-	-	<b>320.381</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	16.540	265.129	5.629	23.368	5.629	17.319	<b>333.614</b>
Geheel ingetrokken	0	276.431	5.629	23.368	5.629	17.319	<b>328.375</b>

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



*5.5 Karakteristieke waarden van de benodigde trekkrachten in fase II*

Wanneer geen totaalfactor wordt toegepast ( $f = 1$ ), gelden de volgende karakteristieke waarden voor de trekkrachten.

Trekkracht $T_{tot}$ tijdens verschillende stadia [N]	$T_1$ [N]	$T_2 / T_{3a}$ [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3c,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{3c,op}$ [N]	$T_{tot}$ [N]
Na intrekken van $L_5$	277.157	8.073	-	-	-	-	<b>285.230</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4$	255.247	23.044	4.021	16.691	-	-	<b>299.003</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	33.725	174.407	4.021	16.691	-	-	<b>228.844</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	11.815	189.378	4.021	16.691	4.021	12.371	<b>238.296</b>
Geheel ingetrokken	0	197.450	4.021	16.691	4.021	12.371	<b>234.554</b>

De maximale karakteristieke waarde voor de benodigde trekkracht bedraagt **299.003 N (» 30,0 ton)**.

Volgens het voorschrift van de Drilling Contractors Association (DCA - Europe) wordt een boormachine voorgeschreven met een trekkracht 2 tot 3 keer deze maximale waarde.

*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> ]	$T_{tot}$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Na intrekken van $L_5$	399.322	<b>3,87</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4$	418.604	<b>4,06</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	320.381	<b>3,11</b>
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	333.614	<b>3,24</b>
Geheel ingetrokken	328.375	<b>3,19</b>

$$\sigma_t = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{103.093,59}$$



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

5.7.1 Neergaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{4.268.958.539,00}{0,9 \cdot 250.000} = 25.898.348,47 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{25.898.348,47}{13.552.249,33} = 1,91 \text{ N/mm}^2$$

5.7.2 Opgaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{4.268.958.539,00}{0,9 \cdot 250.000} = 25.898.348,47 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{25.898.348,47}{13.552.249,33} = 1,91 \text{ N/mm}^2$$

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> ]
Na intrekken van L <sub>5</sub>	399.322	3,87	-	<b>3,87</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub>	418.604	4,06	1,91	<b>5,30</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub> + L <sub>3</sub>	320.381	3,11	-	<b>3,11</b>
Na intrekken van L <sub>5</sub> + L <sub>4</sub> + L <sub>3</sub> + L <sub>2</sub>	333.614	3,24	1,91	<b>4,48</b>
Geheel ingetrokken	328.375	3,19	-	<b>3,19</b>

Rechte delen:  $\sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{103.093,59} = \sigma_t$

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

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



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2022 1.1 ©
---	------------------

**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

$$D_g/d_n = 572,70/57,30 = 9,99 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow \text{Dikwandige leiding}$$

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

$$\sigma_p = \frac{315,00^2 + 257,70^2}{315,00^2 - 257,70^2} \cdot 0,3 = 1,51 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{y1} = \sigma_p = 1,51 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 1,51 = 0,61 \text{ N/mm}^2$$

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

6.2 Berekening reroundingfactor  $f_{rr}$

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

$$f_{rr} = 1 / \left( 1 + \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 286,35^3 \cdot 0,089}{975 \cdot 15.677,71} \right) = 0,92$$

6.3 Berekening van de neutrale grondbelasting  $Q_n$

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grondsoort	$q_{\text{droog}}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_{\text{nat}}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_n$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1	16,00	2,00	Klei	33,00	91,00	124,00	78,12
2	23,00	2,00	Klei	33,00	136,50	169,50	106,79
3	23,00	2,00	Klei	33,00	136,50	169,50	106,79
4	23,00	2,00	Klei	33,00	136,50	169,50	106,79
5	23,00	2,00	Klei	33,00	136,50	169,50	106,79
6	23,00	2,00	Klei	33,00	136,50	169,50	106,79
7	23,00	2,00	Klei	33,00	136,50	169,50	106,79
8	23,00	2,00	Klei	33,00	136,50	169,50	106,79
9	23,00	2,00	Klei	33,00	136,50	169,50	106,79
10	23,00	2,00	Klei	33,00	136,50	169,50	106,79
11	20,00	2,00	Klei	33,00	117,00	150,00	94,50
12	20,00	2,00	Klei	33,00	117,00	150,00	94,50
13	20,00	2,00	Klei	33,00	117,00	150,00	94,50
14	20,00	2,00	Klei	33,00	117,00	150,00	94,50
15	20,00	2,00	Klei	33,00	117,00	150,00	94,50
16	20,00	2,00	Klei	33,00	117,00	150,00	94,50
17	17,00	2,00	Klei	33,00	97,50	130,50	82,22

$$q_{\text{droog}} = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$$

$$q_{\text{nat}} = \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$Q_n = q_n \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot 630$$



6.4 Berekening van de verkeersbelasting  $Q_v$

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeersbelasting	$q_v$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1	16,00	Grafiek ½ x II	0,42	0,26
2	23,00	Grafiek II	0,45	0,28
3	23,00	Grafiek II	0,45	0,28
4	23,00	Geen	0,00	0,00
5	23,00	Geen	0,00	0,00
6	23,00	Geen	0,00	0,00
7	23,00	Grafiek I	1,01	0,64
8	23,00	Grafiek ½ x II	0,22	0,14
9	23,00	Grafiek ½ x II	0,22	0,14
10	23,00	Grafiek I	1,01	0,64
11	20,00	Grafiek I	1,31	0,83
12	20,00	Geen	0,00	0,00
13	20,00	Geen	0,00	0,00
14	20,00	Geen	0,00	0,00
15	20,00	Geen	0,00	0,00
16	20,00	Geen	0,00	0,00
17	17,00	Geen	0,00	0,00

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 630$$

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>2</sup> ]
1	78,12	0,26	78,38	3.097,35	<b>5,23</b>
2	106,79	0,28	107,07	4.230,90	<b>7,15</b>
3	106,79	0,28	107,07	4.230,90	<b>7,15</b>
4	106,79	0,00	106,79	4.219,75	<b>7,13</b>
5	106,79	0,00	106,79	4.219,75	<b>7,13</b>
6	106,79	0,00	106,79	4.219,75	<b>7,13</b>
7	106,79	0,64	107,42	4.244,98	<b>7,17</b>
8	106,79	0,14	106,93	4.225,32	<b>7,14</b>
9	106,79	0,14	106,93	4.225,32	<b>7,14</b>
10	106,79	0,64	107,42	4.244,98	<b>7,17</b>
11	94,50	0,83	95,33	3.766,98	<b>6,36</b>
12	94,50	0,00	94,50	3.734,29	<b>6,31</b>
13	94,50	0,00	94,50	3.734,29	<b>6,31</b>
14	94,50	0,00	94,50	3.734,29	<b>6,31</b>
15	94,50	0,00	94,50	3.734,29	<b>6,31</b>
16	94,50	0,00	94,50	3.734,29	<b>6,31</b>
17	82,22	0,00	82,22	3.248,83	<b>5,49</b>

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,138 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 286,35$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 0,92 \cdot \frac{M_q}{547,22}$$



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> ]
1	250	0,0027	0,082
2	250	0,0027	0,082
17	250	0,0027	0,082

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,083 \cdot Q_r \cdot 630 \cdot \frac{315,00}{547,22}$$

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  $S_N$

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{15.677,71}{572,7^3} = 0,0814 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,38 \text{ kN/m}^2}$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = **2 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:  $\gamma = 1,5$

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

$$P_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 15.677,71}{572,70^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 15.677,71}{572,70^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **27,82 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	5,23	0,082	0,65	<b>3,45</b>
2	7,15	0,082	0,65	<b>4,70</b>
3	7,15	-	0,65	<b>4,64</b>
4	7,13	-	0,65	<b>4,63</b>
5	7,13	-	0,65	<b>4,63</b>
6	7,13	-	0,65	<b>4,63</b>
7	7,17	-	0,65	<b>4,66</b>
8	7,14	-	0,65	<b>4,64</b>
9	7,14	-	0,65	<b>4,64</b>
10	7,17	-	0,65	<b>4,66</b>
11	6,36	-	0,65	<b>4,14</b>
12	6,31	-	0,65	<b>4,10</b>
13	6,31	-	0,65	<b>4,10</b>
14	6,31	-	0,65	<b>4,10</b>
15	6,31	-	0,65	<b>4,10</b>
16	6,31	-	0,65	<b>4,10</b>
17	5,49	0,082	0,65	<b>3,62</b>

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

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

Toelaatbare spanning:  $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = 8,00$  N/mm<sup>2</sup>



9.2 Optredende spanningen in langsricting van de leiding

Locatie	$\sigma_{pl}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{ax}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_{\sigma}$ [-]	$\sigma_x$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	0,61	1,56	1,91	0,65	<b>3,41</b>
2	0,61	1,56	1,91	0,65	<b>3,41</b>
3	0,61	1,56	-	-	<b>2,17</b>
4	0,61	1,56	-	-	<b>2,17</b>
5	0,61	1,56	-	-	<b>2,17</b>
6	0,61	1,56	-	-	<b>2,17</b>
7	0,61	1,56	-	-	<b>2,17</b>
8	0,61	1,56	-	-	<b>2,17</b>
9	0,61	1,56	-	-	<b>2,17</b>
10	0,61	1,56	-	-	<b>2,17</b>
11	0,61	1,56	-	-	<b>2,17</b>
12	0,61	1,56	-	-	<b>2,17</b>
13	0,61	1,56	-	-	<b>2,17</b>
14	0,61	1,56	-	-	<b>2,17</b>
15	0,61	1,56	-	-	<b>2,17</b>
16	0,61	1,56	-	-	<b>2,17</b>
17	0,61	1,56	1,91	0,65	<b>3,41</b>

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

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

Toelaatbare spanning:  $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = 8,00$  N/mm<sup>2</sup>





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

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	78,12	0,26	0,0027	<b>10,16</b>	1,77
2	106,79	0,28	0,0027	<b>13,89</b>	2,43
3	106,79	0,28	-	<b>13,89</b>	2,43
4	106,79	0,00	-	<b>13,87</b>	2,42
5	106,79	0,00	-	<b>13,87</b>	2,42
6	106,79	0,00	-	<b>13,87</b>	2,42
7	106,79	0,64	-	<b>13,91</b>	2,43
8	106,79	0,14	-	<b>13,88</b>	2,42
9	106,79	0,14	-	<b>13,88</b>	2,42
10	106,79	0,64	-	<b>13,91</b>	2,43
11	94,50	0,83	-	<b>12,33</b>	2,15
12	94,50	0,00	-	<b>12,27</b>	2,14
13	94,50	0,00	-	<b>12,27</b>	2,14
14	94,50	0,00	-	<b>12,27</b>	2,14
15	94,50	0,00	-	<b>12,27</b>	2,14
16	94,50	0,00	-	<b>12,27</b>	2,14
17	82,22	0,00	0,0027	<b>10,68</b>	1,86

$$\delta_y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 286,35^3}{350 \cdot 15.677,71}$$

Toelaatbare deflectie = 8% · D<sub>g</sub> = 0,08 · 572,70 = **45,82 mm**



**11. Berekening van de boorspoeldrukken**

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> ]	$E_{100}$ [MN/m <sup>2</sup> ]
1	16,00	78,18	48,26	63,22	87,42	1,78
2	23,00	103,64	63,98	83,81	115,88	2,29
3	23,00	103,64	63,98	83,81	115,88	2,29
4	23,00	103,64	63,98	83,81	115,88	2,29
5	23,00	103,64	63,98	83,81	115,88	2,29
6	23,00	103,64	63,98	83,81	115,88	2,29
7	23,00	103,64	63,98	83,81	115,88	2,29
8	23,00	103,64	63,98	83,81	115,88	2,29
9	23,00	103,64	63,98	83,81	115,88	2,29
10	23,00	103,64	63,98	83,81	115,88	2,29
11	20,00	92,73	57,24	74,98	103,68	2,07
12	20,00	92,73	57,24	74,98	103,68	2,07
13	20,00	92,73	57,24	74,98	103,68	2,07
14	20,00	92,73	57,24	74,98	103,68	2,07
15	20,00	92,73	57,24	74,98	103,68	2,07
16	20,00	92,73	57,24	74,98	103,68	2,07
17	17,00	81,82	50,51	66,16	91,48	1,86

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

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

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

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

$$E_{100, norm} = E_{100} \cdot (q_n/100)^m \quad (\text{Zand/Leem/Grind} \rightarrow m = 0,5; \text{Veen/Klei} \rightarrow m = 0,8)$$



Locatie	G [MN/m <sup>2</sup> ]	Q [-]	u [N/mm <sup>2</sup> ]	v [-]	p <sub>lim</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	90% p <sub>lim</sub> [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1</span>
1	1,22	0,020	0,1400	0,3817	0,40	<b>3,59</b>
2	1,57	0,020	0,2100	0,3817	0,55	<b>4,95</b>
3	1,57	0,020	0,2100	0,3817	0,55	<b>4,95</b>
4	1,57	0,020	0,2100	0,3817	0,55	<b>4,95</b>
5	1,57	0,020	0,2100	0,3817	0,55	<b>4,95</b>
6	1,57	0,020	0,2100	0,3817	0,55	<b>4,95</b>
7	1,57	0,020	0,2100	0,3817	0,55	<b>4,95</b>
8	1,57	0,020	0,2100	0,3817	0,55	<b>4,95</b>
9	1,57	0,020	0,2100	0,3817	0,55	<b>4,95</b>
10	1,57	0,020	0,2100	0,3817	0,55	<b>4,95</b>
11	1,42	0,020	0,1800	0,3817	0,49	<b>4,37</b>
12	1,42	0,020	0,1800	0,3817	0,49	<b>4,37</b>
13	1,42	0,020	0,1800	0,3817	0,49	<b>4,37</b>
14	1,42	0,020	0,1800	0,3817	0,49	<b>4,37</b>
15	1,42	0,020	0,1800	0,3817	0,49	<b>4,37</b>
16	1,42	0,020	0,1800	0,3817	0,49	<b>4,37</b>
17	1,27	0,020	0,1500	0,3817	0,42	<b>3,78</b>

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

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

$$\nu = \frac{K}{1 + K}$$

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



11.1a Tijdens pilot boorstelling #1 (van links naar rechts)

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	$\Delta h_{in}$ [m]	$p_{max}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{max}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2a</span>	$p_{min}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{min}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3a</span>
1	8,00	15,09	0,40	<b>3,97</b>	0,18	<b>1,78</b>
2	11,50	22,38	0,55	<b>5,49</b>	0,27	<b>2,65</b>
3	11,50	22,62	0,55	<b>5,49</b>	0,27	<b>2,72</b>
4	11,50	22,62	0,55	<b>5,49</b>	0,28	<b>2,76</b>
5	11,50	22,62	0,55	<b>5,49</b>	0,28	<b>2,84</b>
6	11,50	22,62	0,55	<b>5,49</b>	0,29	<b>2,88</b>
7	11,50	22,62	0,55	<b>5,49</b>	0,29	<b>2,92</b>
8	11,50	22,62	0,55	<b>5,49</b>	0,30	<b>2,96</b>
9	11,50	22,62	0,55	<b>5,49</b>	0,30	<b>3,00</b>
10	11,50	22,62	0,55	<b>5,49</b>	0,30	<b>3,04</b>
11	10,00	22,62	0,48	<b>4,84</b>	0,31	<b>3,07</b>
12	10,00	22,62	0,48	<b>4,84</b>	0,31	<b>3,11</b>
13	10,00	22,62	0,48	<b>4,84</b>	0,32	<b>3,15</b>
14	10,00	22,62	0,48	<b>4,84</b>	0,32	<b>3,19</b>
15	10,00	22,62	0,48	<b>4,84</b>	0,32	<b>3,23</b>
16	10,00	22,62	0,48	<b>4,84</b>	0,33	<b>3,27</b>
17	8,50	19,61	0,42	<b>4,19</b>	0,30	<b>2,96</b>

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

$$R_o = \frac{D_{p1}}{2} = \frac{300}{2} = 150 \text{ mm}$$

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

$$v_{m,p1} = \frac{Q_{m,p1}}{A_{p1}} = \frac{900,0}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{p1}^2 - D_{b1}^2)} = \frac{900,0}{1/4 \cdot \pi \cdot (300^2 - 127^2)} = 0,259 \text{ m/s}$$

$$p_{min} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_{p1} \cdot v_{m,p1}}{(D_{p1} - D_{b1})^2} + \frac{\tau_{y,p1}}{D_{p1} - D_{b1}} \right) \cdot L + \rho_{m,p1} \cdot \Delta h_{in}$$



11.1b Tijdens pilot boorstelling #2 (van rechts naar links)

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	$\Delta h_{in}$ [m]	$P_{max}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$P_{max}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2b</span>	$P_{min}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$P_{min}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3b</span>
17	8,50	19,61	0,42	<b>4,20</b>	0,24	<b>2,39</b>
16	10,00	22,62	0,48	<b>4,85</b>	0,28	<b>2,82</b>
15	10,00	22,62	0,48	<b>4,85</b>	0,29	<b>2,91</b>
14	10,00	22,62	0,48	<b>4,85</b>	0,30	<b>3,00</b>
13	10,00	22,62	0,48	<b>4,85</b>	0,31	<b>3,09</b>
12	10,00	22,62	0,48	<b>4,85</b>	0,32	<b>3,18</b>
11	10,00	22,62	0,48	<b>4,85</b>	0,33	<b>3,27</b>
10	11,50	22,62	0,55	<b>5,50</b>	0,34	<b>3,36</b>
9	11,50	22,62	0,55	<b>5,50</b>	0,34	<b>3,45</b>
8	11,50	22,62	0,55	<b>5,50</b>	0,35	<b>3,53</b>
7	11,50	22,62	0,55	<b>5,50</b>	0,36	<b>3,62</b>
6	11,50	22,62	0,55	<b>5,50</b>	0,37	<b>3,71</b>
5	11,50	22,62	0,55	<b>5,50</b>	0,38	<b>3,80</b>
4	11,50	22,62	0,55	<b>5,50</b>	0,40	<b>3,98</b>
3	11,50	22,62	0,55	<b>5,50</b>	0,41	<b>4,07</b>
2	11,50	22,38	0,55	<b>5,50</b>	0,41	<b>4,13</b>
1	8,00	15,09	0,40	<b>3,98</b>	0,34	<b>3,38</b>

$$R_o = \frac{D_{p2}}{2} = \frac{170}{2} = 85 \text{ mm}$$

$$v_{m,p2} = \frac{Q_{m,p2}}{A_{p2}} = \frac{600}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{p2}^2 - D_{b2}^2)} = \frac{600}{1/4 \cdot \pi \cdot (170^2 - 89^2)} = 0,607 \text{ m/s}$$



112 Tijdens ruimgang

Locatie	R <sub>p,max</sub> [m]	Δh <sub>uit</sub> [m]	P <sub>max</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	P <sub>max</sub> [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">4</span>	P <sub>min</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	P <sub>min</sub> [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">5</span>
17	8,50	19,61	0,42	<b>4,18</b>	0,23 <sup>(1)</sup>	<b>2,28</b>
16	10,00	22,62	0,48	<b>4,83</b>	0,26 <sup>(1)</sup>	<b>2,64</b>
15	10,00	22,62	0,48	<b>4,83</b>	0,27 <sup>(1)</sup>	<b>2,65</b>
14	10,00	22,62	0,48	<b>4,83</b>	0,27 <sup>(1)</sup>	<b>2,67</b>
13	10,00	22,62	0,48	<b>4,83</b>	0,27 <sup>(1)</sup>	<b>2,68</b>
12	10,00	22,62	0,48	<b>4,83</b>	0,27 <sup>(1)</sup>	<b>2,70</b>
11	10,00	22,62	0,48	<b>4,83</b>	0,27 <sup>(1)</sup>	<b>2,71</b>
10	11,50	22,62	0,55	<b>5,48</b>	0,27 <sup>(1)</sup>	<b>2,73</b>
9	11,50	22,62	0,55	<b>5,48</b>	0,27 <sup>(1)</sup>	<b>2,74</b>
8	11,50	22,62	0,55	<b>5,48</b>	0,28 <sup>(1)</sup>	<b>2,76</b>
7	11,50	22,62	0,55	<b>5,48</b>	0,28 <sup>(1)</sup>	<b>2,77</b>
6	11,50	22,62	0,55	<b>5,48</b>	0,28 <sup>(1)</sup>	<b>2,79</b>
5	11,50	22,62	0,55	<b>5,48</b>	0,28 <sup>(1)</sup>	<b>2,80</b>
4	11,50	22,62	0,55	<b>5,48</b>	0,28 <sup>(2)</sup>	<b>2,76</b>
3	11,50	22,62	0,55	<b>5,48</b>	0,27 <sup>(2)</sup>	<b>2,72</b>
2	11,50	22,38	0,55	<b>5,48</b>	0,27 <sup>(2)</sup>	<b>2,66</b>
1	8,00	15,09	0,40	<b>3,96</b>	0,18 <sup>(2)</sup>	<b>1,78</b>

$$R_o = \frac{D_{g,r}}{2} = \frac{450,0}{2} = 225,0 \text{ mm}$$

$$v_{m,r,uit} = \frac{Q_{m,r}}{A_r} = \frac{2000}{1/4 \cdot \pi \cdot D_{g,r}^2} = \frac{2000}{1/4 \cdot \pi \cdot 450,0^2} = 0,094 \text{ m/s}$$

$$v_{m,r,in} = \frac{Q_{m,r}}{A_p} = \frac{2000}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - D_b^2)} = \frac{2000}{1/4 \cdot \pi \cdot (300^2 - 127^2)} = 0,575 \text{ m/s}$$

$$p_{min,uit} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_r \cdot v_{m,r,uit}}{D_{g,r}^2} + \frac{\tau_{y,r}}{D_{g,r}} \right) \cdot (L_{tot} - L) + \rho_{m,r} \cdot \Delta h_{uit} \quad (1)$$

$$p_{min,in} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_r \cdot v_{m,r,in}}{(D_p - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,r}}{D_p - D_b} \right) \cdot L + \rho_{m,r} \cdot \Delta h_{in} \quad (2)$$



11.3 Tijdens intrekken

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	$\Delta h_{uit}$ [m]	$p_{max}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{max}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">6</span>	$p_{min}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{min}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">7</span>
17	8,50	19,61	0,41	<b>4,10</b>	0,23 <sup>(1)</sup>	<b>2,29</b>
16	10,00	22,62	0,48	<b>4,76</b>	0,27 <sup>(1)</sup>	<b>2,65</b>
15	10,00	22,62	0,48	<b>4,76</b>	0,27 <sup>(1)</sup>	<b>2,67</b>
14	10,00	22,62	0,48	<b>4,76</b>	0,27 <sup>(1)</sup>	<b>2,70</b>
13	10,00	22,62	0,48	<b>4,76</b>	0,27 <sup>(1)</sup>	<b>2,72</b>
12	10,00	22,62	0,48	<b>4,76</b>	0,27 <sup>(1)</sup>	<b>2,74</b>
11	10,00	22,62	0,48	<b>4,76</b>	0,28 <sup>(1)</sup>	<b>2,76</b>
10	11,50	22,62	0,54	<b>5,42</b>	0,28 <sup>(1)</sup>	<b>2,78</b>
9	11,50	22,62	0,54	<b>5,42</b>	0,28 <sup>(1)</sup>	<b>2,80</b>
8	11,50	22,62	0,54	<b>5,42</b>	0,28 <sup>(2)</sup>	<b>2,79</b>
7	11,50	22,62	0,54	<b>5,42</b>	0,28 <sup>(2)</sup>	<b>2,77</b>
6	11,50	22,62	0,54	<b>5,42</b>	0,28 <sup>(2)</sup>	<b>2,75</b>
5	11,50	22,62	0,54	<b>5,42</b>	0,27 <sup>(2)</sup>	<b>2,73</b>
4	11,50	22,62	0,54	<b>5,42</b>	0,27 <sup>(2)</sup>	<b>2,69</b>
3	11,50	22,62	0,54	<b>5,42</b>	0,27 <sup>(2)</sup>	<b>2,67</b>
2	11,50	22,38	0,54	<b>5,42</b>	0,26 <sup>(2)</sup>	<b>2,62</b>
1	8,00	15,09	0,39	<b>3,87</b>	0,18 <sup>(2)</sup>	<b>1,76</b>

$$R_o = \frac{D_{g,i}}{2} = \frac{950}{2} = 475 \text{ mm}$$

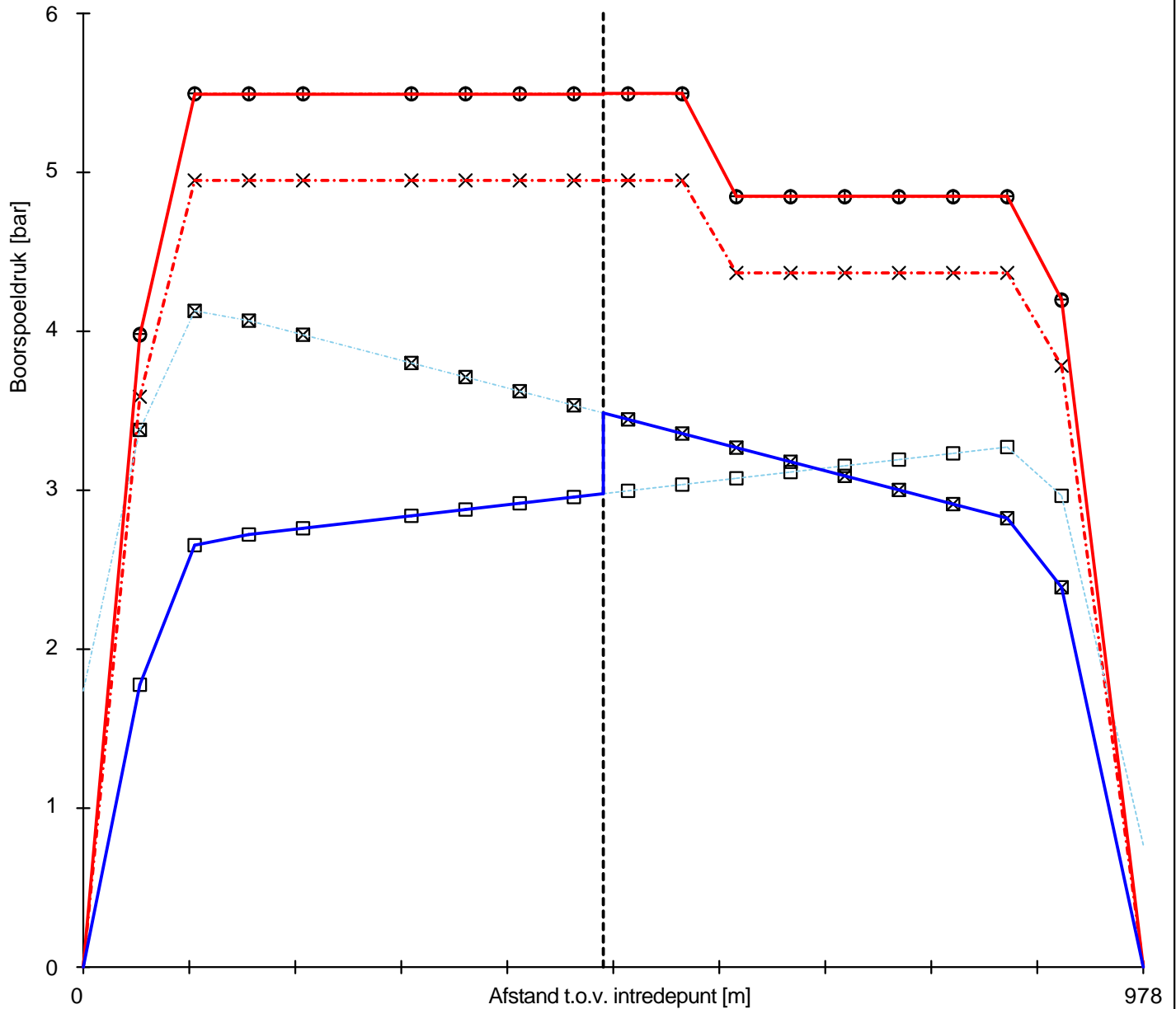
$$v_{m,i,uit} = \frac{Q_{m,i}}{A_i} = \frac{1400}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,i}^2 - D_o^2)} = \frac{1400}{1/4 \cdot \pi \cdot (950^2 - 630^2)} = 0,059 \text{ m/s}$$

$$p_{min,uit} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_i \cdot v_{m,i,uit}}{(D_{g,i} - D_o)^2} + \frac{\tau_{y,i}}{D_{g,i} - D_o} \right) \cdot (L_{tot} - L) + \rho_{m,i} \cdot \Delta h_{uit} \quad (1)$$

$$p_{min,in} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_i \cdot v_{m,in}}{(D_{g,r} - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,i}}{D_{g,r} - D_b} \right) \cdot L + \rho_{m,i} \cdot \Delta h_{in} \quad (2)$$



11.4 Boorspoeldrukken tijdens pilot



- 1 - - x - - x - - 90%  $p_{lim}$
- 2a - - o - - o - -  $p_{max}$ (Tijdens pilot boorstelling #1 (van links naar rechts))
- 3a - - □ - - □ - -  $p_{min}$ (Tijdens pilot boorstelling #1 (van links naar rechts))
- 2b - - ⊕ - - ⊕ - -  $p_{max}$ (Tijdens pilot boorstelling #2 (van rechts naar links))
- 3b - - ⊗ - - ⊗ - -  $p_{min}$ (Tijdens pilot boorstelling #2 (van rechts naar links))
- - - - -  $p_{max}$ (Werkelijk optredend)
- - - - -  $p_{min}$ (Werkelijk optredend)

**Pilot #1**

Diameter boorstang: 127 mm  
Diameter boorkop: 300 mm  
Annulaire ruimte: 173 mm

**Pilot #2**

Diameter boorstang: 89 mm  
Diameter boorkop: 170 mm  
Annulaire ruimte: 81 mm

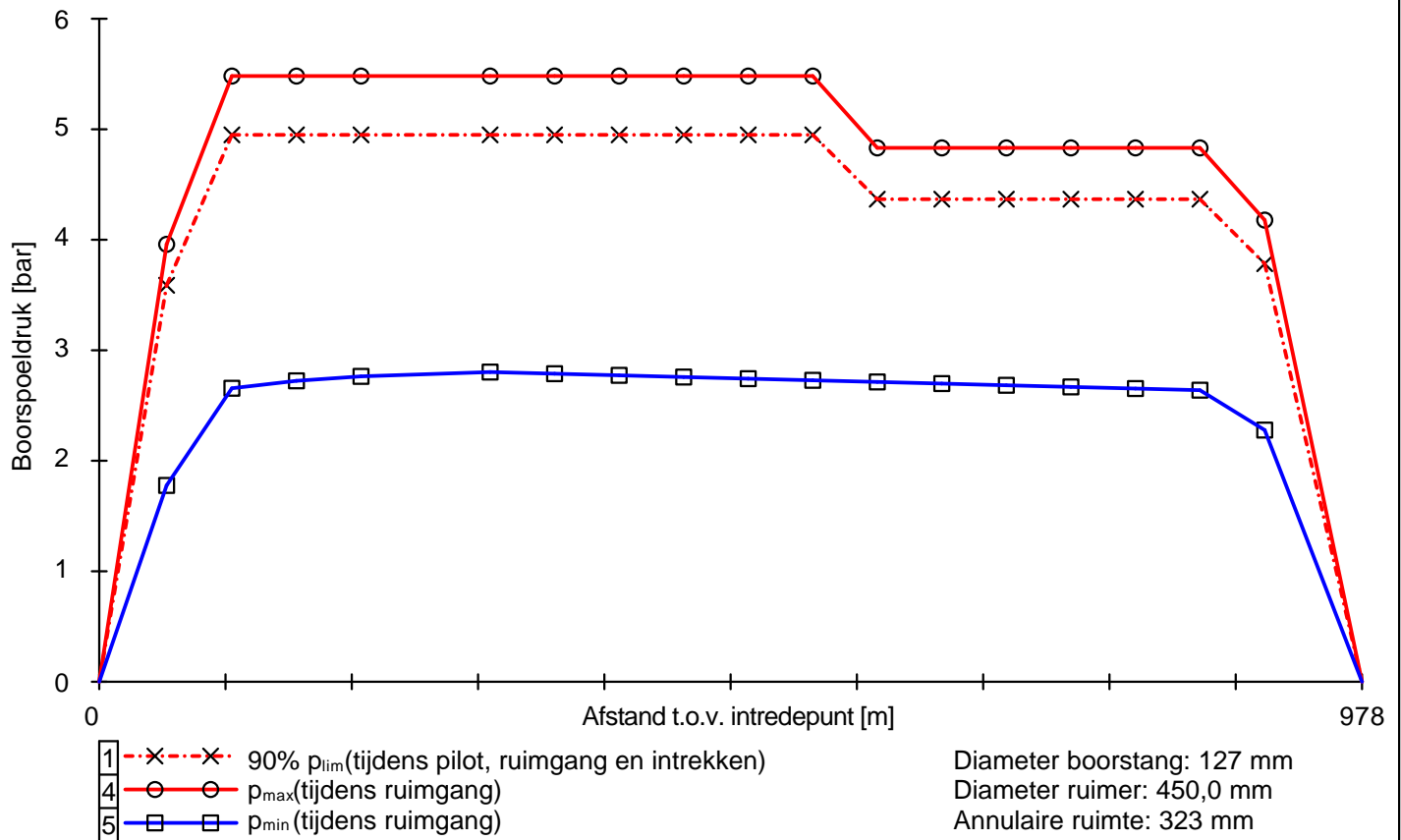
**Intersectiemethode ('Meet in the middle')**

Intersectiepunt t.o.v. intredepunt pilot boorstelling #1: 480,00 m  
Intersectiepunt t.o.v. intredepunt pilot boorstelling #2: 498,36 m





11.5 Boorspoeldrukken tijdens ruimen



11.6 Boorspoeldrukken tijdens intrekken

