



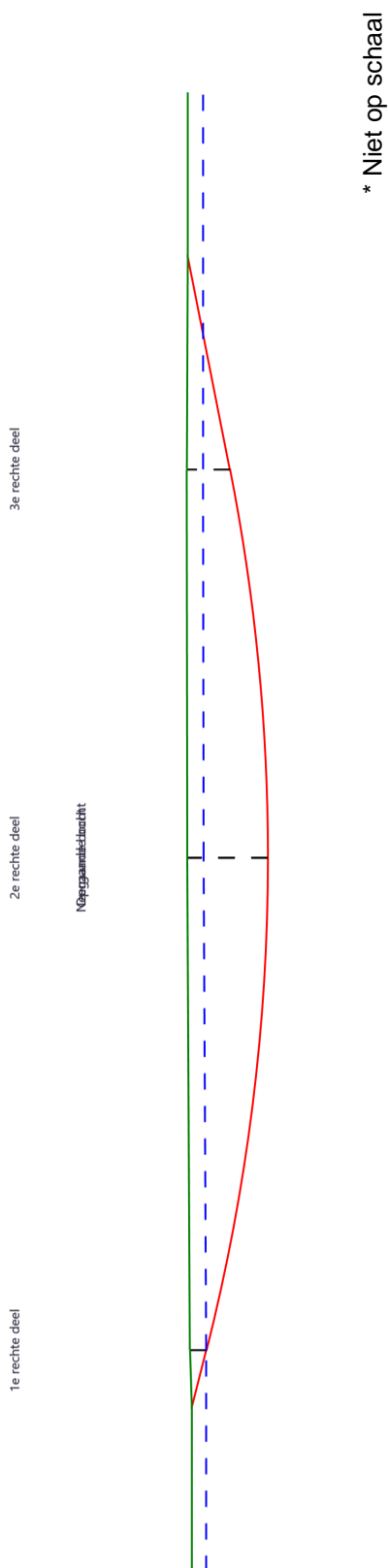
Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project	: Weigelia		
Projectonderdeel	: Van Velzen Leidschendam Boring 2 Rev 01		
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS = 10		N/mm ²
Materiaalfactor	$\gamma_M = 1,25$		-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t = 8,00$		N/mm ²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E = 975		N/mm ²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E' = 350		N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	$\alpha_g = 16,0 \cdot 10^{-5}$		mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	$\alpha_\sigma = 0,65$		-
Soortelijk gewicht buis	$\rho_L = 9,55$		kN/m ³
Toelaatbare deflectie	$\delta = 8$		%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e = 250,00		mm
Wanddikte	d _n = 22,8		mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Ontwerpdruk	p _d = 0,4		N/mm ²
Volumieke massa vloeistof	$\rho = 1000$		kg/m ³
Temperatuurverschil	$\Delta t = 10$		°
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 95	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_m = 11,5$		kN/m ³
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 _g = 600		mm
Diameter boorstang	D _b = 63		mm
Totale lengte	L = 72,75		m
Lengte 1e rechte deel	L ₁ = 3,69		m
Lengte neergaande bocht	L ₂ = 29,50		m
Lengte 2e rechte deel	L ₃ = 0,00		m
Lengte opgaande bocht	L ₄ = 26,17		m
Lengte 3e rechte deel	L ₅ = 13,39		m
Straal maaiveld/rollenbaan	R _r = 80,00		m
Straal neergaande bocht	R ₁ = 125,00		m
Straal opgaande bocht	R ₂ = 125,00		m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	$\alpha_1 = 14,00 / 24,93$		° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	$\alpha_2 = 11,00 / 19,44$		° / %
Belastinghoek	$\alpha = 30$		°
Ondersteuningshoek	$\beta = 30$		°
Horizontale steundrukhoek	$\gamma = 120$		°
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	$\gamma = 1,1$		
Totaalfactor bij boring met bundels	f = 1,8		
Belastingfactor	f _{k,b} = 1,1		
Belastingfactor	f _{k,o} = 1,4		
Wrijvingscoëff. met rollenbaan	f ₁ = 0,1		
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	f ₂ = 0,00005		N/mm ²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	f ₃ = 0,2		
Behoort bij besluit van B & W van Leidschendam-Voorburg			
			26-03-2018 20:28:27

**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 [°]
1e rechte deel	3,69	1,00	-	Klei	17,00	-	17,50
Neergaande bocht	33,19	4,87	1,00	Klei	17,00	17,00	17,50
2e rechte deel	33,19	4,87	1,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Opgaande bocht	33,19	4,87	1,00	Klei	17,00	17,00	17,50
3e rechte deel	59,36	2,61	1,00	Klei	17,00	17,00	17,50

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm ²]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
1e rechte deel	Geen	-	2,00	2,00	Geen
Neergaande bocht	Geen	0,0450	10,00	2,00	Grafiek I
2e rechte deel	Geen	0,0450	10,00	2,00	Grafiek I
Opgaande bocht	Geen	0,0450	10,00	2,00	Grafiek I
3e rechte deel	Geen	-	2,00	2,00	Geen





**2. Eigenschappen van de leiding**

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 204,40	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 227,20	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 250,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 125,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 102,20	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 113,60	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 106.064.835,12	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 848.518,68	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 987,70	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 86,64	mm ³ /mm ¹
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 16.273,95	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,1554	N/mm ¹

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

	<i>Leiding op rollenbaan/maaiveld</i>	<i>Leiding in boorgat</i>
Gewicht mediumleiding	$g = 0,1554 \text{ N/mm}^1$	$g = 0,1554 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,1554 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,1554 \text{ N/mm}^1$

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	72,75	2.035
Na 1 ^e deel intrekken	59,36	1.661
Na 2 ^e deel intrekken	33,19	928
Na 3 ^e deel intrekken	33,19	928
Na 4 ^e deel intrekken	3,69	103

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,1554 \cdot 0,1$$

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

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_1 [N]	σ_t [N/mm ²]
Starten met trekken	2.035	0,13
Na 1 ^e deel intrekken	1.661	0,10
Na 2 ^e deel intrekken	928	0,06
Na 3 ^e deel intrekken	928	0,06
Na 4 ^e deel intrekken	103	0,01

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{16.273,95}$$



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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{106.064.835}{80.000} = 1.421.931,70 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{1.421.931,70}{848.519} = \mathbf{1,68 \text{ N/mm}^2}$$

4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	σ_t [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	0,13	1,21
Na 1 ^e deel intrekken	0,10	1,19
Na 2 ^e deel intrekken	0,06	1,15
Na 3 ^e deel intrekken	0,06	1,15
Na 4 ^e deel intrekken	0,01	1,10

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 1,68 + \sigma_t$$

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



**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.

95% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet. Hieruit volgt: $D_{e,omtrek} = 746,13 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,155 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof: $g_{opw} = \rho_m \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 250,00^2 \cdot \pi/4 = 0,565 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,409 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
1 ^e deel intrekken	13,39	2.871	-
2 ^e deel intrekken	39,56	-	8.483
3 ^e deel intrekken	39,56	8.483	-
4 ^e deel intrekken	69,06	-	14.808
Geheel ingetrokken	72,75	15.599	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (746,13 \cdot 0,00005 + 0,409 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (746,13 \cdot 0,00005 + 0,409 \cdot 0,2)$

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

Locatie	λ [mm ⁻¹]	R [m]	Q_r [N/mm ²]	T_{3b} [N]
Neergaande bocht	0,0023	125	0,0062	1.529
2e rechte deel	0,0023	125	0,0062	1.529
Opgaande bocht	0,0023	125	0,0062	1.529

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

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

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 250 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$



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

Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_{3a} [N]	$T_{3b,\text{neer}}$ [N]	$T_{3b,\text{op}}$ [N]	T_{bocht} [N]
Neergaande bocht	928	8.483	1.529	-	10.940
Opgaande bocht	103	14.808	1.529	1.529	17.969

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

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

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N]
Neergaande bocht	7,00	10.940	960
Opgaande bocht	5,50	17.969	1.577

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

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

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

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

5.5 Totalisatie van de trekkraften in fase II

Trekkraft T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 / T_{3a} [N]	$T_{3b,\text{neer}}$ [N]	$T_{3c,\text{neer}}$ [N]	$T_{3b,\text{op}}$ [N]	$T_{3c,\text{op}}$ [N]	T_{tot} [N]
1 ^e deel intrekken	1.661	2.871	-	-	-	-	4.532
2 ^e deel intrekken	928	8.483	1.529	960	-	-	11.900
3 ^e deel intrekken	928	8.483	1.529	960	-	-	11.900
4 ^e deel intrekken	103	14.808	1.529	960	1.529	1.577	20.169
Geheel intrekken	0	15.599	1.529	960	1.529	1.577	20.857

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

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

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]
1 ^e deel intrekken	4.532	0,28
2 ^e deel intrekken	11.900	0,73
3 ^e deel intrekken	11.900	0,73
4 ^e deel intrekken	20.169	1,24
Geheel intrekken	20.857	1,28

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{16.273,95}$$



*5.7 Optredende spanningen t.g.v. kromming van de leiding in het boorgat*5.7.1 Neergaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{106.064.835,12}{0,9 \cdot 125.000} = 1.286.920,00 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{1.286.920,00}{848.518,68} = \mathbf{1,52 \text{ N/mm}^2}$$

5.7.2 Opgaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{106.064.835,12}{0,9 \cdot 125.000} = 1.286.920,00 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{1.286.920,00}{848.518,68} = \mathbf{1,52 \text{ N/mm}^2}$$

5.8 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	4.532	0,28	-	0,28
Na 1 ^e deel intrekken	11.900	0,73	1,52	1,72
Na 2 ^e deel intrekken	11.900	0,73	-	0,73
Na 3 ^e deel intrekken	20.169	1,24	1,52	2,23
Na 4 ^e deel intrekken	20.857	1,28	-	1,28

$$\text{Rechte delen: } \sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{16.273,95} = \sigma_t$$

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

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



**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*

$$D_g/d_n = 227,20/22,80 = 9,96 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow \text{Dikwandige leiding}$$

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

$$\sigma_p = \frac{125,00^2 + 102,20^2}{125,00^2 - 102,20^2} \cdot 0,4 = 2,01 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 2,01 = 0,81 \text{ N/mm}^2$$

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

6.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

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

$$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot 0,4 \cdot 113,6^3 \cdot 0,143}{975 \cdot 987,70} \right) = 0,85$$

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_{droog} [kN/m ²]	q_{nat} [kN/m ²]	q_{totaal} [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]
1e rechte deel	1,00	-	Klei	-	-	18,70	4,68
Neergaande bocht	4,87	1,00	Klei	18,70	72,37	91,07	13,09
2e rechte deel	4,87	1,00	Klei	18,70	72,37	91,07	13,09
Opgaande bocht	4,87	1,00	Klei	18,70	72,37	91,07	13,09
3e rechte deel	2,61	1,00	Klei	18,70	30,11	48,81	8,18

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

6.4 Berekening van de verkeersbelasting Q_v

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeers- belasting	q_v [kN/m ²]	Q_v [N/mm ¹]
1e rechte deel	1,00	Geen	0,00	0,00
Neergaande bocht	4,87	Grafiek I	10,48	2,62
2e rechte deel	4,87	Grafiek I	10,48	2,62
Opgaande bocht	4,87	Grafiek I	10,48	2,62
3e rechte deel	2,61	Geen	0,00	0,00

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 250$$





6.5 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]
1e rechte deel	4,68	0,00	4,68	136,49	1,34
Neergaande bocht	13,09	2,62	15,71	458,75	4,51
2e rechte deel	13,09	2,62	15,71	458,75	4,51
Opgaande bocht	13,09	2,62	15,71	458,75	4,51
3e rechte deel	8,18	0,00	8,18	238,72	2,35

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 113,60$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 0,85 \cdot \frac{M_q}{86,64}$$

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

Locatie	R [m]	Q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
Neergaande bocht	125	0,0062	0,40
2e rechte deel	125	0,0062	0,40
Opgaande bocht	125	0,0062	0,40

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,179 \cdot Q_r \cdot 250 \cdot \frac{125,00}{86,64}$$

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

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{987,70}{227,2^3} = 0,0821 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{82,11 \text{ kN/m}^2}$$

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

8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

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

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

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

$$P_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 987,70}{227,20^3} = 1,56 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 987,70}{227,20^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

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	σ_q [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_{y2} [N/mm ²]
1e rechte deel	1,34	-	0,65	0,87
Neergaande bocht	4,51	0,40	0,65	3,19
2e rechte deel	4,51	0,40	0,65	3,19
Opgaande bocht	4,51	0,40	0,65	3,19
3e rechte deel	2,35	-	0,65	1,53

Rechte delen: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ Bochten: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$ Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00}$ N/mm²*9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding*

Locatie	σ_{pl} [N/mm ²]	σ_{ax} [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_x [N/mm ²]
1e rechte deel	0,81	1,56	-	-	2,37
Neergaande bocht	0,81	1,56	1,52	0,65	3,35
2e rechte deel	0,81	1,56	1,52	0,65	3,35
Opgaande bocht	0,81	1,56	1,52	0,65	3,35
3e rechte deel	0,81	1,56	-	-	2,37

Rechte delen: $\sigma_x = \sigma_{pl} + \sigma_{ax}$ Bochten: $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_A \cdot \sigma_b + \sigma_{ax}$ Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00}$ N/mm²**10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie**

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_r [N/mm ²]	δ_Y [mm]	δ_Y/D_g [%]
1e rechte deel	4,68	0,00	-	0,61	0,27
Neergaande bocht	13,09	2,62	0,0062	2,06	0,91
2e rechte deel	13,09	2,62	0,0062	2,06	0,91
Opgaande bocht	13,09	2,62	0,0062	2,06	0,91
3e rechte deel	8,18	0,00	-	1,07	0,47

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

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 113,60^3}{350 \cdot 987,70}$$

Toelaatbare deflectie = 8% · D_g = 0,08 · 227,20 = **18,18** mm



11. Berekening van de boorspoeldrukken tijdens de trekfase

Locatie	H [m]	σ_{vert} [kN/m ²]	σ_{hor} [kN/m ²]	σ_o' [kN/m ²]	p'_f [kN/m ²]	G [MN/m ²]
1e rechte deel	1,00	15,45	10,81	13,13	18,99	0,71
Neergaande bocht	4,87	36,56	25,57	31,07	49,95	0,71
2e rechte deel	4,87	36,56	25,57	31,07	49,95	0,71
Opgaande bocht	4,87	36,56	25,57	31,07	49,95	0,71
3e rechte deel	2,61	24,24	16,95	20,59	28,69	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 ²]	p_{st} [N/mm ²]	Δ_p [N/mm ²]	p_{lim} [N/mm ²]
1e rechte deel	0,0082	0,50	0,0000	0,0000	0,00	0,07
Neergaande bocht	0,026	2,44	0,0387	0,04366	0,00	0,20
2e rechte deel	0,026	2,44	0,0387	0,04366	0,00	0,20
Opgaande bocht	0,026	2,44	0,0387	0,04366	0,00	0,20
3e rechte deel	0,011	1,31	0,0161	0,01816	0,01	0,11

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

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

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

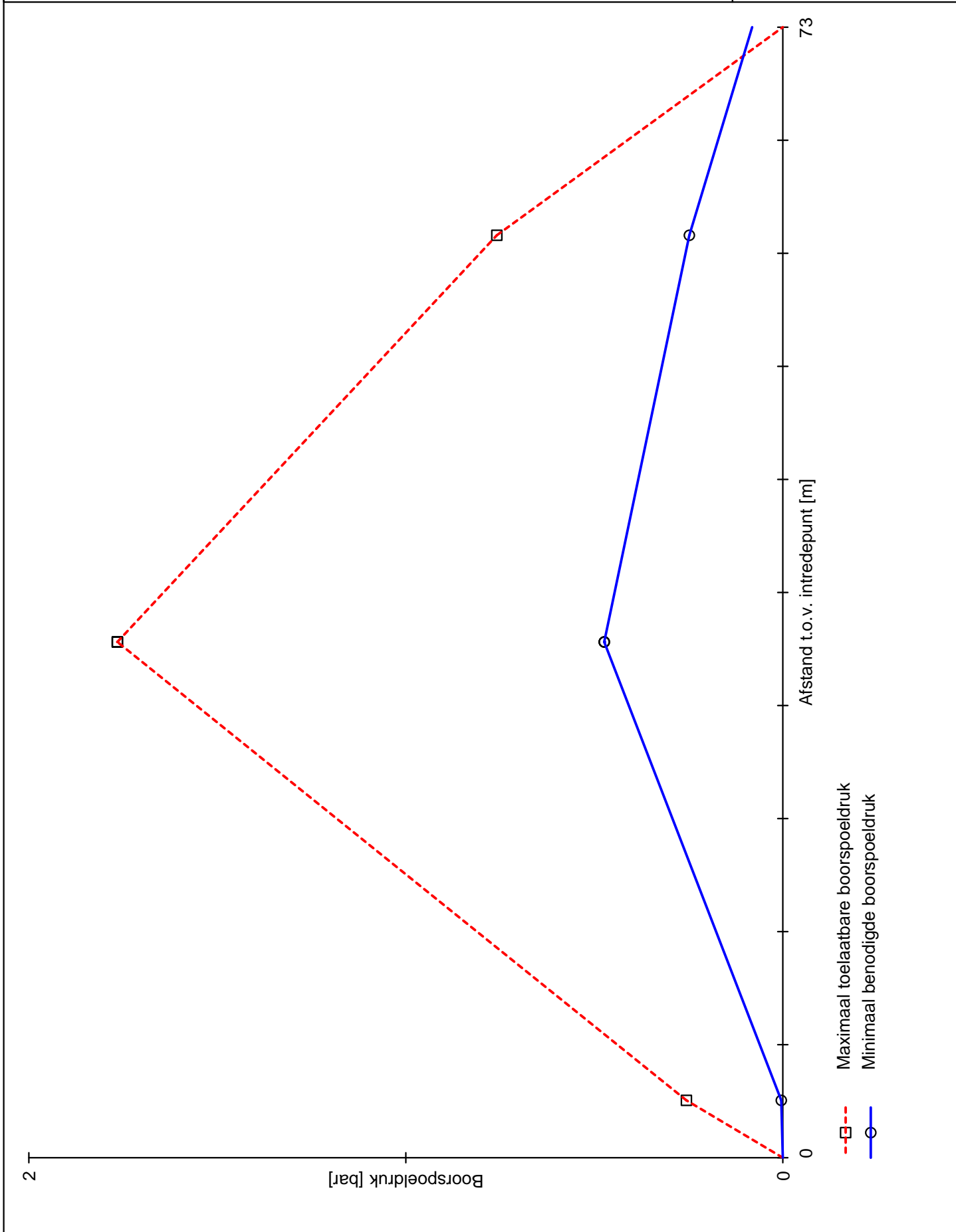
$$p_{lim} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

Locatie	p_{max} [kPa]	90% p_{lim} [kPa]	p_{min} [kPa]	p_{max} [bar]	90% p_{lim} [bar]	p_{min} [bar]
1e rechte deel	25,57	63,51	0,41	0,26	0,64	0,00
Neergaande bocht	177,29	176,52	47,37	1,77	1,77	0,47
2e rechte deel	177,29	176,52	47,37	1,77	1,77	0,47
Opgaande bocht	177,29	176,52	47,37	1,77	1,77	0,47
3e rechte deel	75,86	97,60	24,80	0,76	0,98	0,25

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

$$p_{min} = p_{st} + \Delta_p$$





1.0.0.0/01-2018/10-10363211

Adviesbureau Schrijvers BV Hellevoetsluis

26-03-2018 20.28.27

