




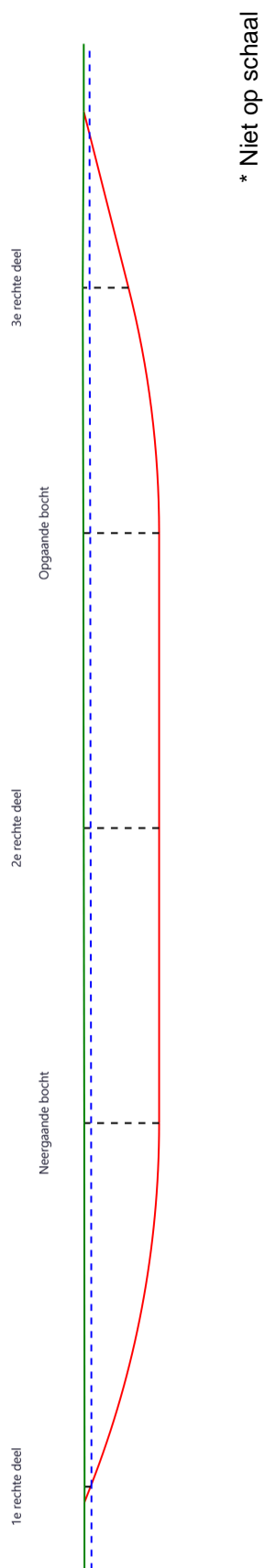
Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project	: Weigelia		
Projectonderdeel	: Van Velzen Leidschendam Boring 1 Rev. 02		
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	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 = 208,37		m
Lengte 1e rechte deel	L ₁ = 2,47		m
Lengte neergaande bocht	L ₂ = 55,79		m
Lengte 2e rechte deel	L ₃ = 87,23		m
Lengte opgaande bocht	L ₄ = 36,03		m
Lengte 3e rechte deel	L ₅ = 26,85		m
Straal maaiveld/rollenbaan	R _r = 80,00		m
Straal neergaande bocht	R ₁ = 150,00		m
Straal opgaande bocht	R ₂ = 150,00		m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	$\alpha_1 = 21,00 / 38,39$		° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	$\alpha_2 = 14,00 / 24,93$		° / %
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		
<div style="border: 2px solid green; padding: 5px; display: inline-block;"> Behoort bij besluit van B & W van Leidschendam-Voorburg  </div>			



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	2,47	0,87	-	Klei	17,00	-	17,50
Neergaande bocht	58,26	10,88	1,00	Klei	17,00	17,00	17,50
2e rechte deel	101,875	10,96	1,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Opgaande bocht	145,49	11,01	1,00	Klei	17,00	17,00	17,50
3e rechte deel	181,52	6,65	1,00	Klei	16,00	16,00	15,00

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm ³]	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	-	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	Grafiek I





Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2018 1.0 ©
---	------------------

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	208,37	5.829
Na 1 ^e deel intrekken	181,52	5.078
Na 2 ^e deel intrekken	145,49	4.070
Na 3 ^e deel intrekken	58,26	1.630
Na 4 ^e deel intrekken	2,47	69

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

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	5.829	0,36
Na 1 ^e deel intrekken	5.078	0,31
Na 2 ^e deel intrekken	4.070	0,25
Na 3 ^e deel intrekken	1.630	0,10
Na 4 ^e deel intrekken	69	0,00

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

*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	0,36	1,45
Na 1 ^e deel intrekken	0,31	1,40
Na 2 ^e deel intrekken	0,25	1,34
Na 3 ^e deel intrekken	0,10	1,19
Na 4 ^e deel intrekken	0,00	1,09

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

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.

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	26,85	5.757	-
2 ^e deel intrekken	62,88	-	13.483
3 ^e deel intrekken	150,11	32.187	-
4 ^e deel intrekken	205,90	-	44.150
Geheel ingetrokken	208,37	44.679	-

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***5.3.1 Neergaande bocht**

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{250,00 \cdot 0,0450}{4 \cdot 975 \cdot 106.064.835,12}} = 0,0023 \text{ mm}^{-1}$$

$$Q_{r1} = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot 0,9 \cdot R}$$

$$Q_{r1} = \frac{0,322 \cdot 0,0023^2 \cdot 975 \cdot 106.064.835,12}{250,00 \cdot 0,9 \cdot 150.000} = 0,0051 \text{ N/mm}^2$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_{r1}}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3$$

$$T_{3b} = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{0,0051}{2} \cdot 250,00 \cdot \frac{\pi}{0,0023} \cdot 0,2 = \mathbf{1.274,12 \text{ N}}$$



5.3.2 Opgaande bocht

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{250,00 \cdot 0,0450}{4 \cdot 975 \cdot 106.064.835,12}} = 0,0023 \text{ mm}^{-1}$$

$$Q_{r2} = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot 0,9 \cdot R}$$

$$Q_{r2} = \frac{0,322 \cdot 0,0023^2 \cdot 975 \cdot 106.064.835,12}{250,00 \cdot 0,9 \cdot 150.000} = 0,0051 \text{ N/mm}^2$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_{r2}}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3$$

$$T_{3b} = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{0,0051}{2} \cdot 250,00 \cdot \frac{\pi}{0,0023} \cdot 0,2 = \mathbf{1.274,12 \text{ N}}$$

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

Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	T_{bocht} [N]
Neergaande bocht	4.070	13.483	1.274	-	18.827
Opgaande bocht	69	44.150	1.274	1.274	46.767

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

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

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N]
Neergaande bocht	10,50	18.827	2.470
Opgaande bocht	7,00	46.767	6.136

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

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

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

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

5.5 Totalisatie van de trekkraften in fase II

Trekkraft T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 / T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3c,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{3c,op}$ [N]	T_{tot} [N]
1 ^e deel intrekken	5.078	5.757	-	-	-	-	10.835
2 ^e deel intrekken	4.070	13.483	1.274	2.470	-	-	21.297
3 ^e deel intrekken	1.630	32.187	1.274	2.470	-	-	37.561
4 ^e deel intrekken	69	44.150	1.274	2.470	1.274	6.136	53.341
Geheel intrekken	0	44.679	1.274	2.470	1.274	6.136	53.802

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

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

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]
1 ^e deel intrekken	10.835	0,67
2 ^e deel intrekken	21.297	1,31
3 ^e deel intrekken	37.561	2,31
4 ^e deel intrekken	53.341	3,28
Geheel intrekken	53.802	3,31

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

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

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{106.064.835,12}{0,9 \cdot 150.000} = 1.072.433,33 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{1.072.433,33}{848.518,68} = \mathbf{1,26 \text{ N/mm}^2}$$

5.7.2 Opgaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{106.064.835,12}{0,9 \cdot 150.000} = 1.072.433,33 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{1.072.433,33}{848.518,68} = \mathbf{1,26 \text{ N/mm}^2}$$

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	10.835	0,67	-	0,67
Na 1 ^e deel intrekken	21.297	1,31	1,26	2,13
Na 2 ^e deel intrekken	37.561	2,31	-	2,31
Na 3 ^e deel intrekken	53.341	3,28	1,26	4,10
Na 4 ^e deel intrekken	53.802	3,31	-	3,31

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

6.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

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

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

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	0,87	-	Klei	-	-	16,27	4,07
Neergaande bocht	10,88	1,00	Klei	18,70	184,76	203,46	26,16
2e rechte deel	10,96	1,00	Klei	18,70	186,25	204,95	26,34
Opgaande bocht	11,01	1,00	Klei	18,70	187,19	205,89	26,45
3e rechte deel	6,65	1,00	Klei	17,60	99,44	117,04	15,14

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

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	0,87	Geen	0,00	0,00
Neergaande bocht	10,88	Grafiek I	3,72	0,93
2e rechte deel	10,96	Grafiek I	3,68	0,92
Opgaande bocht	11,01	Grafiek I	3,65	0,91
3e rechte deel	6,65	Grafiek I	7,37	1,84

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



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	4,07	0,00	4,07	118,74	1,17
Neergaande bocht	26,16	0,93	27,09	791,03	7,78
2e rechte deel	26,34	0,92	27,26	795,81	7,82
Opgaande bocht	26,45	0,91	27,36	798,79	7,85
3e rechte deel	15,14	1,84	16,98	495,65	4,87

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

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

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

6.6.1 Neergaande bocht

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_{r1} \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w}$$

$$\sigma_{qr} = 0,179 \cdot 0,0051 \cdot 250,00 \cdot \frac{125,00}{86,64} = \mathbf{0,33 \text{ N/mm}^2}$$

6.6.2 Opgaande bocht

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_{r2} \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w}$$

$$\sigma_{qr} = 0,179 \cdot 0,0051 \cdot 250,00 \cdot \frac{125,00}{86,64} = \mathbf{0,33 \text{ N/mm}^2}$$

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	1,17	-	0,65	0,76
Neergaande bocht	7,78	0,33	0,65	5,27
2e rechte deel	7,82	-	0,65	5,08
Opgaande bocht	7,85	0,33	0,65	5,32
3e rechte deel	4,87	-	0,65	3,17

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	1,26	0,65	3,19
2e rechte deel	0,81	1,56	-	-	2,37
Opgaande bocht	0,81	1,56	1,26	0,65	3,19
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	4,07	0,00	-	0,53	0,24
Neergaande bocht	26,16	0,93	0,0051	3,56	1,57
2e rechte deel	26,34	0,92	-	3,58	1,58
Opgaande bocht	26,45	0,91	0,0051	3,59	1,58
3e rechte deel	15,14	1,84	-	1,98	0,87

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

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

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	0,87	13,45	9,40	11,42	16,77	0,71
Neergaande bocht	10,88	69,35	48,49	58,92	86,17	0,71
2e rechte deel	10,96	69,78	48,80	59,29	86,66	0,71
Opgaande bocht	11,01	70,05	48,99	59,52	86,96	0,71
3e rechte deel	6,65	40,23	29,82	35,02	46,02	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	0,0075	0,44	0,0000	0,0000	0,00	0,07
Neergaande bocht	0,038	5,44	0,0988	0,1115	0,01	0,32
2e rechte deel	0,038	5,48	0,0996	0,1124	0,01	0,32
Opgaande bocht	0,038	5,51	0,1001	0,1129	0,02	0,32
3e rechte deel	0,015	3,33	0,0565	0,06374	0,02	0,18

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

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

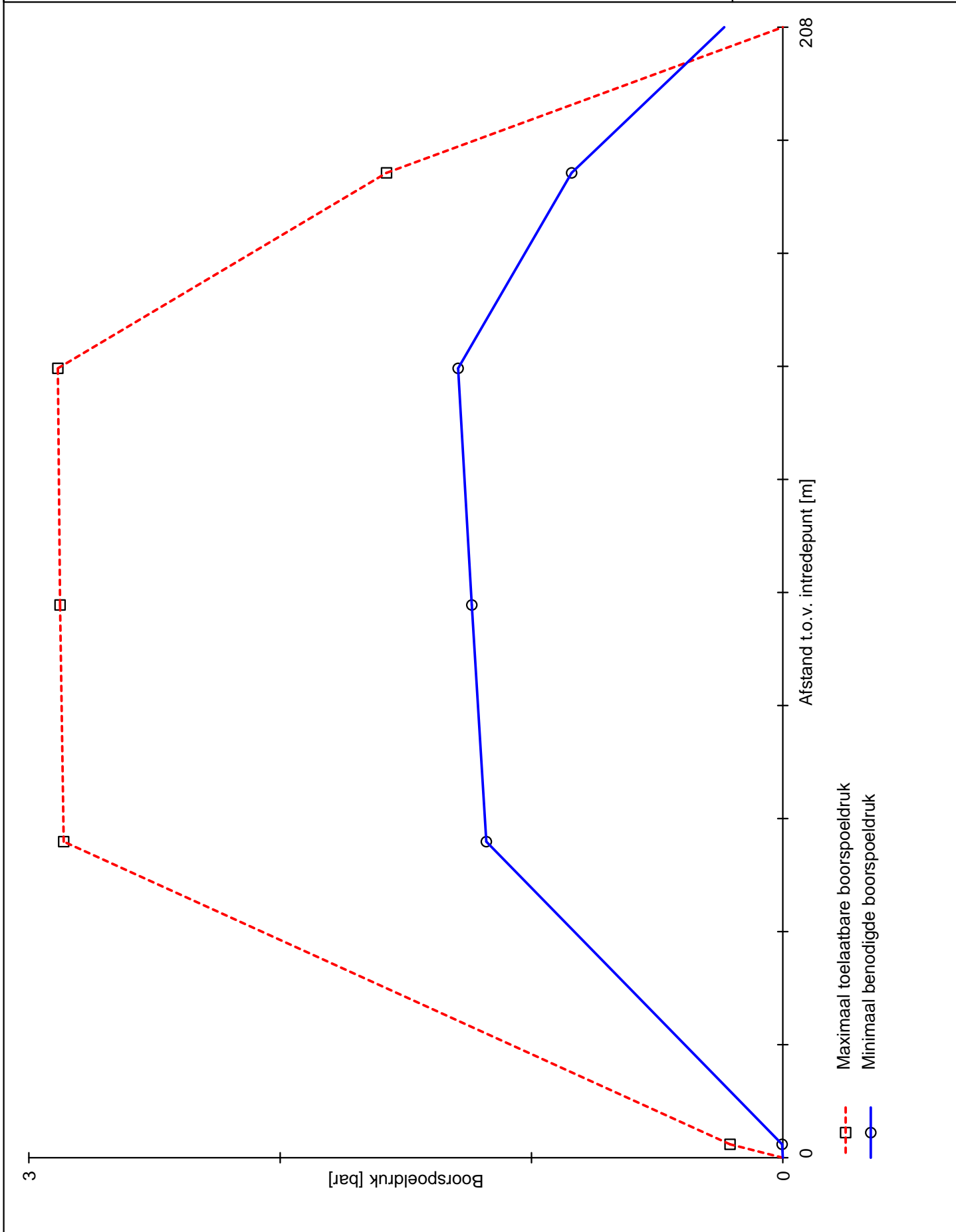
$$\Delta_p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$$

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

Locatie	p_{max} [kPa]	90% p_{lim} [kPa]	p_{min} [kPa]	p_{max} [bar]	90% p_{lim} [bar]	p_{min} [bar]
1e rechte deel	21,00	58,79	0,28	0,21	0,59	0,00
Neergaande bocht	313,52	286,13	117,97	3,14	2,86	1,18
2e rechte deel	315,17	287,56	123,75	3,15	2,88	1,24
Opgaande bocht	316,20	288,46	129,18	3,16	2,88	1,29
3e rechte deel	164,64	157,67	84,02	1,65	1,58	0,84

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

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



1.0.0.0/01-2018/10-10363211

04-04-2018 20:27:20