



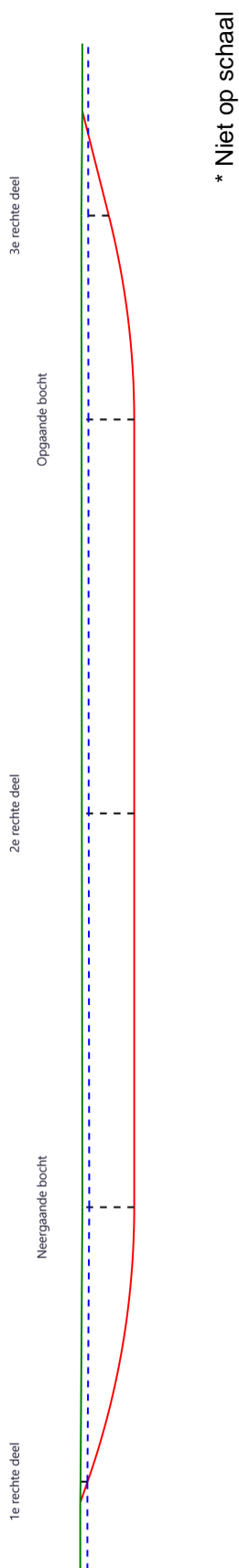
Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project	: Weigelia		
Projectonderdeel	: Van Velzen Leidschendam Boring 1 Rev. 01		
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	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 = 208,00		m
Lengte 1e rechte deel	L ₁ = 3,29		m
Lengte neergaande bocht	L ₂ = 41,37		m
Lengte 2e rechte deel	L ₃ = 116,81		m
Lengte opgaande bocht	L ₄ = 30,54		m
Lengte 3e rechte deel	L ₅ = 15,99		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)	$\alpha_1 = 19,00 / 34,43$		° / %
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		
Behoort bij besluit van B & W van Leidschendam-Voorburg			

**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	3,29	1,03	1,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Neergaande bocht	44,66	7,57	1,00	Klei	17,00	17,00	17,50
2e rechte deel	103,065	7,65	1,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Opgaande bocht	161,47	7,69	1,00	Klei	17,00	17,00	17,50
3e rechte deel	192,01	4,01	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





**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	208,00	5.819
Na 1 ^e deel intrekken	192,01	5.371
Na 2 ^e deel intrekken	161,47	4.517
Na 3 ^e deel intrekken	44,66	1.249
Na 4 ^e deel intrekken	3,29	92

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

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	5.819	0,36
Na 1 ^e deel intrekken	5.371	0,33
Na 2 ^e deel intrekken	4.517	0,28
Na 3 ^e deel intrekken	1.249	0,08
Na 4 ^e deel intrekken	92	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	0,36	1,45
Na 1 ^e deel intrekken	0,33	1,42
Na 2 ^e deel intrekken	0,28	1,37
Na 3 ^e deel intrekken	0,08	1,17
Na 4 ^e deel intrekken	0,01	1,09

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

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	15,99	3.429	-
2 ^e deel intrekken	46,53	-	9.977
3 ^e deel intrekken	163,34	35.024	-
4 ^e deel intrekken	204,71	-	43.895
Geheel ingetrokken	208,00	44.600	-

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

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

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

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

$$Q_{r1} = \frac{0,322 \cdot 0,0023^2 \cdot 975 \cdot 106.064.835,12}{250,00 \cdot 0,9 \cdot 125.000} = 0,0062 \text{ N/mm}^2$$

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

$$T_{3b} = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{0,0062}{2} \cdot 250,00 \cdot \frac{\pi}{0,0023} \cdot 0,2 = \mathbf{1.528,94 \text{ N}}$$





5.3.2 Opgaande bocht

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

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

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

$$Q_{r2} = \frac{0,322 \cdot 0,0023^2 \cdot 975 \cdot 106.064.835,12}{250,00 \cdot 0,9 \cdot 125.000} = 0,0062 \text{ N/mm}^2$$

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

$$T_{3b} = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{0,0062}{2} \cdot 250,00 \cdot \frac{\pi}{0,0023} \cdot 0,2 = \mathbf{1.528,94 \text{ N}}$$

5.4 Berekening van de wrijving door bochtcracht 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	4.517	9.977	1.529	-	16.023
Opgaande bocht	92	43.895	1.529	1.529	47.045

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

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

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N]
Neergaande bocht	9,50	16.023	1.904
Opgaande bocht	7,00	47.045	5.591

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

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

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

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

5.5 Totalisatie van de trekkrachten 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	5.371	3.429	-	-	-	-	8.800
2 ^e deel intrekken	4.517	9.977	1.529	1.904	-	-	17.927
3 ^e deel intrekken	1.249	35.024	1.529	1.904	-	-	39.706
4 ^e deel intrekken	92	43.895	1.529	1.904	1.529	5.591	53.077
Geheel intrekken	0	44.600	1.529	1.904	1.529	5.591	53.690

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



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

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]
1 ^e deel intrekken	8.800	0,54
2 ^e deel intrekken	17.927	1,10
3 ^e deel intrekken	39.706	2,44
4 ^e deel intrekken	53.077	3,26
Geheel intrekken	53.690	3,30

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

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

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

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

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

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

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	8.800	0,54	-	0,54
Na 1 ^e deel intrekken	17.927	1,10	1,52	2,09
Na 2 ^e deel intrekken	39.706	2,44	-	2,44
Na 3 ^e deel intrekken	53.077	3,26	1,52	4,25
Na 4 ^e deel intrekken	53.690	3,30	-	3,30

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

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

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



**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	1,03	1,00	Klei	18,70	0,56	19,26	4,74
Neergaande bocht	7,57	1,00	Klei	18,70	122,86	141,56	18,96
2e rechte deel	7,65	1,00	Klei	18,70	124,36	143,06	19,14
Opgaande bocht	7,69	1,00	Klei	18,70	125,10	143,80	19,23
3e rechte deel	4,01	1,00	Klei	17,60	52,98	70,58	10,12

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

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	1,03	Geen	0,00	0,00
Neergaande bocht	7,57	Grafiek I	6,26	1,56
2e rechte deel	7,65	Grafiek I	6,17	1,54
Opgaande bocht	7,69	Grafiek I	6,13	1,53
3e rechte deel	4,01	Grafiek I	12,79	3,20

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



**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	4,74	0,00	4,74	138,39	1,36
Neergaande bocht	18,96	1,56	20,53	599,35	5,89
2e rechte deel	19,14	1,54	20,68	603,80	5,94
Opgaande bocht	19,23	1,53	20,76	606,03	5,96
3e rechte deel	10,12	3,20	13,32	388,81	3,82

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

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

6.6 Optredende spanning s_{qr} tgv. grondreactie in de bochten**6.6.1 Neergaande bocht**

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

$$\sigma_{qr} = 0,179 \cdot 0,0062 \cdot 250,00 \cdot \frac{125,00}{86,64} = \mathbf{0,40 \text{ N/mm}^2}$$

6.6.2 Opgaande bocht

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

$$\sigma_{qr} = 0,179 \cdot 0,0062 \cdot 250,00 \cdot \frac{125,00}{86,64} = \mathbf{0,40 \text{ N/mm}^2}$$

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	1,36	-	0,65	0,88
Neergaande bocht	5,89	0,40	0,65	4,09
2e rechte deel	5,94	-	0,65	3,86
Opgaande bocht	5,96	0,40	0,65	4,13
3e rechte deel	3,82	-	0,65	2,48

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	-	-	2,37
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	4,74	0,00	-	0,62	0,27
Neergaande bocht	18,96	1,56	0,0062	2,70	1,19
2e rechte deel	19,14	1,54	-	2,72	1,20
Opgaande bocht	19,23	1,53	0,0062	2,73	1,20
3e rechte deel	10,12	3,20	-	1,55	0,68

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

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

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	1,03	15,62	10,92	13,27	19,17	0,71
Neergaande bocht	7,57	51,29	35,87	43,58	66,22	0,71
2e rechte deel	7,65	51,73	36,17	43,95	66,70	0,71
Opgaande bocht	7,69	51,95	36,33	44,14	66,94	0,71
3e rechte deel	4,01	28,23	20,92	24,57	32,87	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	0,0083	0,52	0,0003	0,0003384	0,00	0,07
Neergaande bocht	0,032	3,79	0,0657	0,07412	0,00	0,25
2e rechte deel	0,032	3,83	0,0665	0,07502	0,01	0,25
Opgaande bocht	0,032	3,85	0,0669	0,07547	0,02	0,25
3e rechte deel	0,012	2,01	0,0301	0,03396	0,02	0,12

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

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

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

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

Locatie	p_{max} [kPa]	90% p_{lim} [kPa]	p_{min} [kPa]	p_{max} [bar]	90% p_{lim} [bar]	p_{min} [bar]
1e rechte deel	26,53	64,16	0,71	0,27	0,64	0,01
Neergaande bocht	242,59	226,35	79,11	2,43	2,26	0,79
2e rechte deel	244,39	227,81	86,54	2,44	2,28	0,87
Opgaande bocht	245,28	228,54	93,51	2,45	2,29	0,94
3e rechte deel	103,47	111,11	55,41	1,03	1,11	0,55

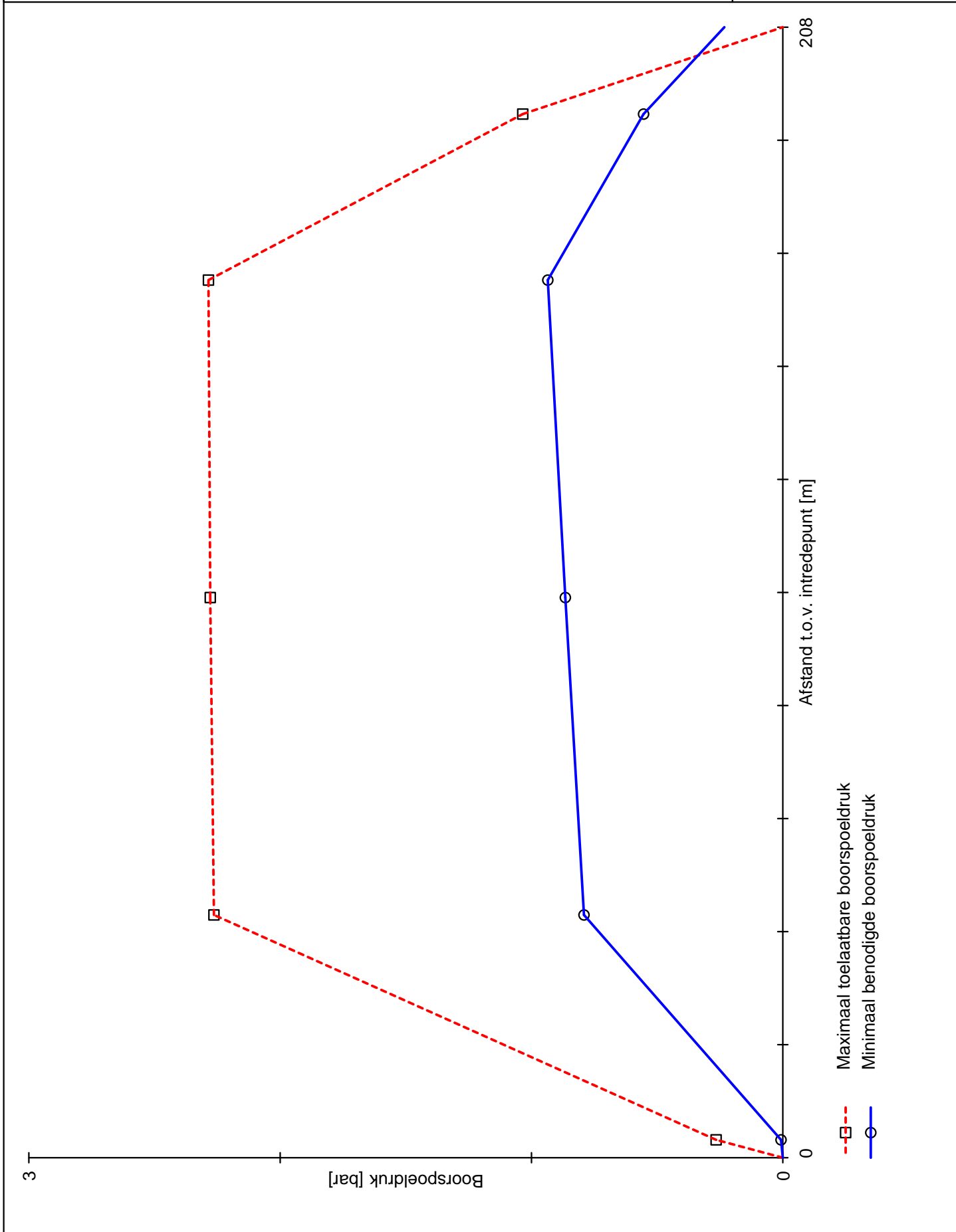
$$p_{max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{R_o^2}{R_{p,max}} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

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





1.0.0.0/01-2018/10-10363211



Adviesbureau Schrijvers BV Hellevoetsluis

26-03-2018 20.24.02

Behoort bij besluit van B & W van Leidschendam-Voorburg

