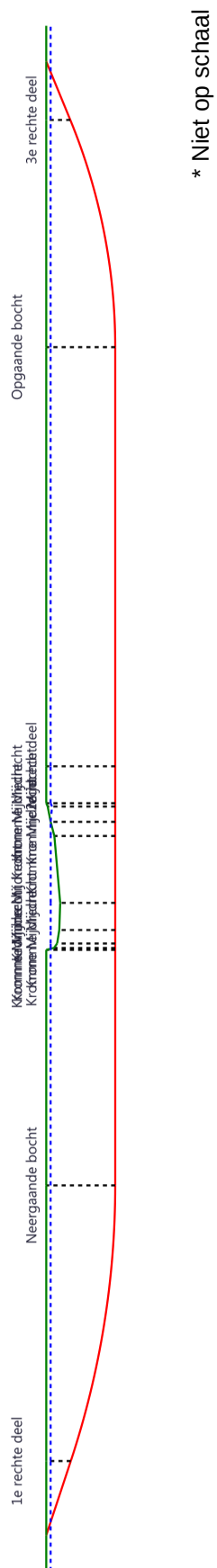


Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2016 1.4 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : ENG21708833 Oasen Versie M Projectonderdeel : 1xØ160 PE100 SDR11 KIWA ZW/BL			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm²
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Soortelijk gewicht buis	ρ_L	= 9,55	kN/m³
Toelaatbare deflectie	δ	= 8	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 160,00	mm
Wanddikte	d _n	= 14,6	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Ontwerpdruk	p _d	= 0,3	N/mm²
Volumieke massa vloeistof	ρ	= 1000	kg/m³
Temperatuurverschil	Δt	= 10	°
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 100	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	ρ_m	= 11,5	kN/m³
Zwichtspanning boorvloeistof	τ_y	= 15	Pa
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	D _g	= 210	mm
Diameter boorstang	D _b	= 53	mm
Totale lengte	L	= 418,35	m
Lengte 1e rechte deel	L ₁	= 21,89	m
Lengte neergaande bocht	L ₂	= 78,54	m
Lengte 2e rechte deel	L ₃	= 234,96	m
Lengte opgaande bocht	L ₄	= 65,28	m
Lengte 3e rechte deel	L ₅	= 17,68	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R _r	= 50,00	m
Straal neergaande bocht	R ₁	= 250,00	m
Straal opgaande bocht	R ₂	= 170,00	m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	α_1	= 18,00 / 32,49	° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	α_2	= 22,00 / 40,4	° / %
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 120	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	
Totaalfactor bij normale boring	f	= 1,4	
Belastingfactor	f _{k,b}	= 1,1	
Belastingfactor	f _{k,o}	= 1,4	
Wrijvingscoëff. zonder rollenbaan	f ₁	= 0,3	
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	f ₂	= 0,00005	N/mm²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	f ₃	= 0,2	
05-12-2017 15:46:25			

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	21,89	6,76	1,20	Klei	14,00	14,00	17,50
Neergaande bocht	100,43	19,00	1,20	Zand	19,00	21,00	35,00
Kromme Mijdrecht	166,46	19,00	1,20	Zand	20,00	22,00	35,00
Kromme Mijdrecht	166,98	16,86	-0,92	Zand	20,00	22,00	35,00
Kromme Mijdrecht	168,24	16,00	-1,80	Zand	20,00	22,00	35,00
Kromme Mijdrecht	172,02	15,41	-2,38	Zand	20,00	22,00	35,00
Kromme Mijdrecht	179,62	15,16	-2,62	Zand	20,00	22,00	35,00
Kromme Mijdrecht	198,37	16,77	-1,00	Zand	20,00	22,00	35,00
Kromme Mijdrecht	202,34	17,79	0,00	Zand	20,00	22,00	35,00
Kromme Mijdrecht	206,64	18,61	1,20	Zand	20,00	22,00	35,00
Kromme Mijdrecht	207,56	19,00	1,20	Zand	20,00	22,00	35,00
2e rechte deel	217,91	19,00	1,20	Zand	20,00	22,00	35,00
Opgaande bocht	335,39	19,00	1,20	Zand	20,00	22,00	35,00
3e rechte deel	400,67	6,62	1,20	Klei	14,00	14,00	17,50

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	-	0,00	1,00	Grafiek ½ x II
Neergaande bocht	Geen	0,0250	0,00	2,00	Grafiek I
Kromme Mijdrecht	Geen	-	10,00	2,00	Geen
Kromme Mijdrecht	Geen	-	10,00	2,00	Geen
Kromme Mijdrecht	Geen	-	10,00	2,00	Geen
Kromme Mijdrecht	Geen	-	10,00	2,00	Geen
Kromme Mijdrecht	Geen	-	10,00	2,00	Geen
Kromme Mijdrecht	Geen	-	10,00	2,00	Geen
Kromme Mijdrecht	Geen	-	10,00	2,00	Geen
Kromme Mijdrecht	Geen	-	10,00	2,00	Geen
Kromme Mijdrecht	Geen	-	10,00	2,00	Geen
2e rechte deel	Geen	-	10,00	2,00	Grafiek I
Opgaande bocht	Geen	0,0250	10,00	2,00	Grafiek I
3e rechte deel	Geen	-	10,00	2,00	Grafiek ½ x II



2. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 130,80	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 145,40	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 160,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 80,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 65,40	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 72,70	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 17.801.758,07	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 222.521,98	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 259,34	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 35,53	mm ³ /mm ¹
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 6.669,10	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,0637	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	$g = 0,0637 \text{ N/mm}^1$	$g = 0,0637 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,0637 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,0637 \text{ N/mm}^1$

4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds**4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld**

Trekkracht T_1 tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_1 [N]
Starten met trekken	418,35	11.191
Na 1 ^e deel intrekken	400,67	10.718
Na 2 ^e deel intrekken	335,39	8.972
Na 3 ^e deel intrekken	100,43	2.686
Na 4 ^e deel intrekken	21,89	586

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,4 \cdot L \cdot 0,0637 \cdot 0,3$$

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	11.191	1,68
Na 1 ^e deel intrekken	10.718	1,61
Na 2 ^e deel intrekken	8.972	1,35
Na 3 ^e deel intrekken	2.686	0,40
Na 4 ^e deel intrekken	586	0,09

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{6.669,10}$$

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{17.801.758}{50.000} = 381.847,71 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{381.847,71}{222.522} = \mathbf{1,72 \text{ N/mm}^2}$$

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	1,68	2,79
Na 1 ^e deel intrekken	1,61	2,72
Na 2 ^e deel intrekken	1,35	2,46
Na 3 ^e deel intrekken	0,40	1,52
Na 4 ^e deel intrekken	0,09	1,20

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 1,72 + \sigma_t$$

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.

100% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet. Hieruit volgt: $D_{e,omtrek} = 502,65 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,0637 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof: $g_{opw} = \rho_m \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 160,00^2 \cdot \pi/4 = 0,231 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,168 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
1 ^e deel intrekken	17,68	1.451	-
2 ^e deel intrekken	82,96	-	6.811
3 ^e deel intrekken	317,92	26.100	-
4 ^e deel intrekken	396,46	-	32.547
Geheel ingetrokken	418,35	34.344	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,4 \cdot L \cdot (502,65 \cdot 0,00005 + 0,168 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,4 \cdot L \cdot (502,65 \cdot 0,00005 + 0,168 \cdot 0,2)$

5.3 Berekening van de vereiste trekkracht T_{3b} in verband met wrijving door grondreactie in de bochten**5.3.1 Neergaande bocht**

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{160,00 \cdot 0,0250}{4 \cdot 975 \cdot 17.801.758,07}} = 0,0028 \text{ mm}^{-1}$$

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

$$Q_{r1} = \frac{0,322 \cdot 0,0028^2 \cdot 975 \cdot 17.801.758,07}{160,00 \cdot 0,9 \cdot 250.000} = 0,0012 \text{ N/mm}^2$$

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

$$T_{3b} = 1,4 \cdot 4 \cdot \frac{0,0012}{2} \cdot 160,00 \cdot \frac{\pi}{0,0028} \cdot 0,2 = \mathbf{120,40 \text{ N}}$$

5.3.2 Opgaande bocht

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{160,00 \cdot 0,0250}{4 \cdot 975 \cdot 17.801.758,07}} = 0,0028 \text{ mm}^{-1}$$

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

$$Q_{r2} = \frac{0,322 \cdot 0,0028^2 \cdot 975 \cdot 17.801.758,07}{160,00 \cdot 0,9 \cdot 170.000} = 0,0017 \text{ N/mm}^2$$

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

$$T_{3b} = 1,4 \cdot 4 \cdot \frac{0,0017}{2} \cdot 160,00 \cdot \frac{\pi}{0,0028} \cdot 0,2 = \mathbf{177,05 \text{ N}}$$

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

Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_{3a} [N]	$T_{3b, \text{neer}}$ [N]	$T_{3b, \text{op}}$ [N]	T_{bocht} [N]
Neergaande bocht	8.972	6.811	120	-	15.903
Opgaande bocht	586	32.547	120	177	33.430

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

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

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N]
Neergaande bocht	9,00	15.903	1.393
Opgaande bocht	11,00	33.430	2.929

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

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

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

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

5.5 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	10.718	1.451	-	-	-	-	12.169
2 ^e deel intrekken	8.972	6.811	120	1.393	-	-	17.296
3 ^e deel intrekken	2.686	26.100	120	1.393	-	-	30.300
4 ^e deel intrekken	586	32.547	120	1.393	177	2.929	38.395
Geheel intrekken	0	34.344	120	1.393	177	2.929	39.607

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

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	12.169	1,82
2 ^e deel intrekken	17.296	2,59
3 ^e deel intrekken	30.300	4,54
4 ^e deel intrekken	38.395	5,76
Geheel intrekken	39.607	5,94

$$\sigma_t = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{6.669,10}$$

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

5.7.1 Neergaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{17.801.758,07}{0,9 \cdot 250.000} = 107.997,33 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{107.997,33}{222.521,98} = \mathbf{0,49 \text{ N/mm}^2}$$

5.7.2 Opgaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{17.801.758,07}{0,9 \cdot 170.000} = 158.819,61 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{158.819,61}{222.521,98} = \mathbf{0,71 \text{ N/mm}^2}$$

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	12.169	1,82	-	1,82
Na 1 ^e deel intrekken	17.296	2,59	0,49	2,91
Na 2 ^e deel intrekken	30.300	4,54	-	4,54
Na 3 ^e deel intrekken	38.395	5,76	0,71	6,22
Na 4 ^e deel intrekken	39.607	5,94	-	5,94

$$\text{Rechte delen: } \sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{6.669,10} = \sigma_t$$

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

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

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**

$$D_g/d_n = 145,40/14,60 = 9,96 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow \text{Dikwandige leiding}$$

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

$$\sigma_p = \frac{80,00^2 + 65,40^2}{80,00^2 - 65,40^2} \cdot 0,3 = 1,51 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 1,51 = 0,60 \text{ N/mm}^2$$

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

6.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

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

$$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 72,7^3 \cdot 0,089}{975 \cdot 259,34} \right) = 0,92$$

6.3 Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	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	6,76	1,20	Klei	18,48	85,62	104,10	7,76
Neergaande bocht	19,00	1,20	Zand	25,08	411,18	436,26	41,32
Kromme Mijdrecht	19,00	1,20	Zand	26,40	430,76	457,16	44,67
Kromme Mijdrecht	16,86	-0,92	Zand	0,00	408,01	408,01	38,31
Kromme Mijdrecht	16,00	-1,80	Zand	0,00	387,20	387,20	36,35
Kromme Mijdrecht	15,41	-2,38	Zand	0,00	372,92	372,92	35,01
Kromme Mijdrecht	15,16	-2,62	Zand	0,00	366,87	366,87	34,44
Kromme Mijdrecht	16,77	-1,00	Zand	0,00	405,83	405,83	38,10
Kromme Mijdrecht	17,79	0,00	Zand	0,00	430,52	430,52	40,42
Kromme Mijdrecht	18,61	1,20	Zand	26,40	421,32	447,72	43,78
Kromme Mijdrecht	19,00	1,20	Zand	26,40	430,76	457,16	44,67
2e rechte deel	19,00	1,20	Zand	26,40	430,76	457,16	44,67
Opgaande bocht	19,00	1,20	Zand	26,40	430,76	457,16	44,67
3e rechte deel	6,62	1,20	Klei	18,48	83,47	101,95	7,64

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

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	6,76	Grafiek ½ x II	1,39	0,22
Neergaande bocht	19,00	Grafiek I	1,44	0,23
Kromme Mijdrecht	19,00	Geen	0,00	0,00
Kromme Mijdrecht	16,86	Geen	0,00	0,00
Kromme Mijdrecht	16,00	Geen	0,00	0,00
Kromme Mijdrecht	15,41	Geen	0,00	0,00
Kromme Mijdrecht	15,16	Geen	0,00	0,00
Kromme Mijdrecht	16,77	Geen	0,00	0,00
Kromme Mijdrecht	17,79	Geen	0,00	0,00
Kromme Mijdrecht	18,61	Geen	0,00	0,00
Kromme Mijdrecht	19,00	Geen	0,00	0,00
2e rechte deel	19,00	Grafiek I	1,44	0,23
Opgaande bocht	19,00	Grafiek I	1,44	0,23
3e rechte deel	6,62	Grafiek ½ x II	1,43	0,23

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 160$$

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	7,76	0,22	7,98	80,09	2,09
Neergaande bocht	41,32	0,23	41,55	416,88	10,85
Kromme Mijdrecht	44,67	0,00	44,67	448,11	11,67
Kromme Mijdrecht	38,31	0,00	38,31	384,31	10,01
Kromme Mijdrecht	36,35	0,00	36,35	364,71	9,50
Kromme Mijdrecht	35,01	0,00	35,01	351,26	9,15
Kromme Mijdrecht	34,44	0,00	34,44	345,56	9,00
Kromme Mijdrecht	38,10	0,00	38,10	382,26	9,95
Kromme Mijdrecht	40,42	0,00	40,42	405,51	10,56
Kromme Mijdrecht	43,78	0,00	43,78	439,22	11,44
Kromme Mijdrecht	44,67	0,00	44,67	448,11	11,67
2e rechte deel	44,67	0,23	44,90	450,43	11,73
Opgaande bocht	44,67	0,23	44,90	450,43	11,73
3e rechte deel	7,64	0,23	7,87	78,93	2,06

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,138 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 72,70$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 0,92 \cdot \frac{M_q}{35,53}$$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2016 1.4 ©
6.6 Optredende spanning s_{qr} tgv. grondreactie in de bochten	
6.6.1 Neergaande bocht	
$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_{r1} \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w}$ $\sigma_{qr} = 0,083 \cdot 0,0012 \cdot 160,00 \cdot \frac{80,00}{35,53} = \mathbf{0,04 \text{ N/mm}^2}$	
6.6.2 Opgaande bocht	
$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_{r2} \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w}$ $\sigma_{qr} = 0,083 \cdot 0,0017 \cdot 160,00 \cdot \frac{80,00}{35,53} = \mathbf{0,05 \text{ N/mm}^2}$	
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	
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{259,34}{145,4^3} = 0,0823 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{82,26 \text{ kN/m}^2}$	
Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m ²	
8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk	
Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$	
Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$	
$p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 259,34}{145,40^3} = 1,57 \text{ N/mm}^2$	
$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 259,34}{145,40^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$	
Conclusie: Kans op implosie bij 28,12 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	2,09	-	0,65	1,36
Neergaande bocht	10,85	0,035	0,65	7,08
Kromme Mijdrecht	11,67	-	0,65	7,58
Kromme Mijdrecht	10,01	-	0,65	6,50
Kromme Mijdrecht	9,50	-	0,65	6,17
Kromme Mijdrecht	9,15	-	0,65	5,94
Kromme Mijdrecht	9,00	-	0,65	5,85
Kromme Mijdrecht	9,95	-	0,65	6,47
Kromme Mijdrecht	10,56	-	0,65	6,86
Kromme Mijdrecht	11,44	-	0,65	7,43
Kromme Mijdrecht	11,67	-	0,65	7,58
2e rechte deel	11,73	-	0,65	7,62
Opgaande bocht	11,73	0,052	0,65	7,66
3e rechte deel	2,06	-	0,65	1,34

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	0,60	1,56	-	-	2,16
Neergaande bocht	0,60	1,56	0,49	0,65	2,48
Kromme Mijdrecht	0,60	1,56	-	-	2,16
Kromme Mijdrecht	0,60	1,56	-	-	2,16
Kromme Mijdrecht	0,60	1,56	-	-	2,16
Kromme Mijdrecht	0,60	1,56	-	-	2,16
Kromme Mijdrecht	0,60	1,56	-	-	2,16
Kromme Mijdrecht	0,60	1,56	-	-	2,16
Kromme Mijdrecht	0,60	1,56	-	-	2,16
Kromme Mijdrecht	0,60	1,56	-	-	2,16
Kromme Mijdrecht	0,60	1,56	-	-	2,16
Kromme Mijdrecht	0,60	1,56	-	-	2,16
2e rechte deel	0,60	1,56	-	-	2,16
Opgaande bocht	0,60	1,56	0,71	0,65	2,63
3e rechte deel	0,60	1,56	-	-	2,16

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	7,76	0,22	-	1,05	0,72
Neergaande bocht	41,32	0,23	0,0012	9,43	6,49
Kromme Mijdrecht	44,67	0,00	-	10,14	6,97
Kromme Mijdrecht	38,31	0,00	-	8,69	5,98
Kromme Mijdrecht	36,35	0,00	-	8,25	5,67
Kromme Mijdrecht	35,01	0,00	-	7,94	5,46
Kromme Mijdrecht	34,44	0,00	-	7,82	5,38
Kromme Mijdrecht	38,10	0,00	-	8,65	5,95
Kromme Mijdrecht	40,42	0,00	-	9,17	6,31
Kromme Mijdrecht	43,78	0,00	-	9,93	6,83
Kromme Mijdrecht	44,67	0,00	-	10,14	6,97
2e rechte deel	44,67	0,23	-	10,19	7,01
Opgaande bocht	44,67	0,23	0,0017	10,19	7,01
3e rechte deel	7,64	0,23	-	1,03	0,71

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

$$\delta_y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 72,70^3}{350 \cdot 259,34}$$

$$\text{Toelaatbare deflectie} = 8\% \cdot D_g = 0,08 \cdot 145,40 = \mathbf{11,63 \text{ mm}}$$

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	6,76	30,44	21,28	25,86	33,64	0,36
Neergaande bocht	19,00	182,55	77,84	130,19	204,87	0,77
Kromme Mijdrecht	19,00	199,82	85,21	142,51	232,45	0,77
Kromme Mijdrecht	16,86	168,60	71,90	120,25	197,41	0,77
Kromme Mijdrecht	16,00	160,00	68,23	114,11	187,76	0,77
Kromme Mijdrecht	15,41	154,10	65,71	109,91	181,14	0,77
Kromme Mijdrecht	15,16	151,60	64,65	108,12	178,33	0,77
Kromme Mijdrecht	16,77	167,70	71,51	119,61	196,40	0,77
Kromme Mijdrecht	17,79	177,90	75,86	126,88	207,85	0,77
Kromme Mijdrecht	18,61	195,92	83,54	139,73	228,07	0,77
Kromme Mijdrecht	19,00	199,82	85,21	142,51	232,45	0,77
2e rechte deel	19,00	199,82	85,21	142,51	232,45	0,77
Opgaande bocht	19,00	199,82	85,21	142,51	232,45	0,77
3e rechte deel	6,62	30,05	21,02	25,54	42,75	0,71

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

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

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

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

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

Locatie	Q [-]	R _{p,max} [m]	u [N/mm ²]	p _{st} [N/mm ²]	Δp [N/mm ²]	p _{lim} [N/mm ²]
1e rechte deel	0,022	3,38	0,0556	0,06273	0,01	0,14
Neergaande bocht	0,097	0,11	0,1780	0,2008	0,04	0,66
Kromme Mijdrecht	0,12	0,10	0,1780	0,2008	0,06	0,70
Kromme Mijdrecht	0,10	0,10	0,1778	0,2006	0,06	0,65
Kromme Mijdrecht	0,096	0,11	0,1780	0,2008	0,06	0,64
Kromme Mijdrecht	0,093	0,11	0,1779	0,2007	0,07	0,63
Kromme Mijdrecht	0,091	0,11	0,1778	0,2006	0,07	0,62
Kromme Mijdrecht	0,100	0,11	0,1777	0,2005	0,08	0,65
Kromme Mijdrecht	0,11	0,10	0,1779	0,2007	0,08	0,67
Kromme Mijdrecht	0,11	0,10	0,1741	0,1964	0,08	0,69
Kromme Mijdrecht	0,12	0,10	0,1780	0,2008	0,08	0,70
2e rechte deel	0,12	0,10	0,1780	0,2008	0,08	0,70
Opgaande bocht	0,12	0,10	0,1780	0,2008	0,13	0,70
3e rechte deel	0,024	3,31	0,0542	0,06115	0,15	0,20

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

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

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

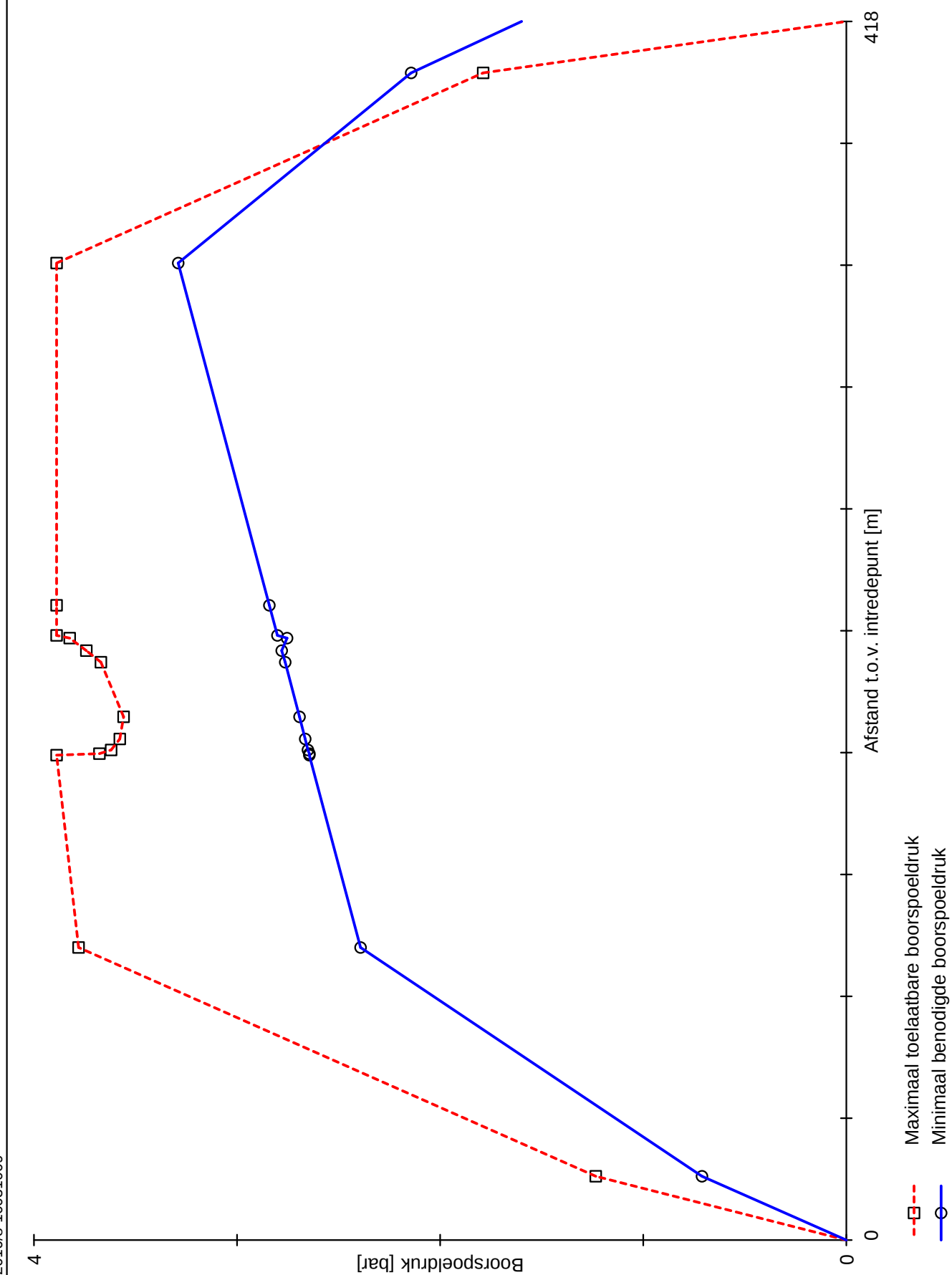
$$p_{lim} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

Locatie	p _{max} [kPa]	90% p _{lim} [kPa]	p _{min} [kPa]	p _{max} [bar]	90% p _{lim} [bar]	p _{min} [bar]
1e rechte deel	136,27	123,37	71,09	1,36	1,23	0,71
Neergaande bocht	378,02	591,64	239,19	3,78	5,92	2,39
Kromme Mijdrecht	388,83	632,89	264,43	3,89	6,33	2,64
Kromme Mijdrecht	367,75	587,68	264,40	3,68	5,88	2,64
Kromme Mijdrecht	361,98	574,99	265,11	3,62	5,75	2,65
Kromme Mijdrecht	357,73	565,94	266,44	3,58	5,66	2,66
Kromme Mijdrecht	355,85	562,02	269,23	3,56	5,62	2,69
Kromme Mijdrecht	367,03	586,25	276,28	3,67	5,86	2,76
Kromme Mijdrecht	374,19	601,45	278,03	3,74	6,01	2,78
Kromme Mijdrecht	382,38	623,89	275,38	3,82	6,24	2,75
Kromme Mijdrecht	388,83	632,89	280,13	3,89	6,33	2,80
2e rechte deel	388,83	632,89	284,09	3,89	6,33	2,84
Opgaande bocht	388,83	632,89	328,99	3,89	6,33	3,29
3e rechte deel	197,03	178,82	214,27	1,97	1,79	2,14

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

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

1.4.0.0/07-2016/8-10031009



05-12-2017 15:46:26