

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 2.1 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Voorbeeld berekening HDD		Projectonderdeel : Sterkteberekening, boorspoeldrukberekening en trekkrachtberekening	
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	Staal		
Kwaliteit:	NEN-EN ISO 3183 L245		
Rekgrens van het materiaal bij 20°C	Re	= 245	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus	E	= 205800	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= $1,2 \cdot 10^{-5}$	mm/(mm·K)
Alfa Tangentieel / Alfa Axiaal	α_σ	= 1	-
Soortelijk gewicht buis	ρ_L	= 78,5	kN/m ³
Toelaatbare deflectie	δ	= 15,00	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D_e	= 168,30	mm
Wanddikte	d_n	= 4,5	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Gas	
Ontwerpdruk	p_d	= 0,8	N/mm ²
Volumieke massa medium	ρ_{omg}	= 0,833	kg/m ³
Temperatuurverschil	Δt	= 10	°
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 100	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	ρ_m	= 11,5	kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	τ_y	= 15	Pa
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter boorstang	D_b	= 80	mm
Diameter boorkop	D_p	= 170	mm
Diameter ruimer	D_g	= 255,0	mm
Totale lengte	L	= 276,21	m
Lengte 1e rechte deel	L_1	= 31,26	m
Lengte neergaande bocht	L_2	= 92,50	m
Lengte 2e rechte deel	L_3	= 28,88	m
Lengte opgaande bocht	L_4	= 92,50	m
Lengte 3e rechte deel	L_5	= 31,07	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R_r	= 200,00	m
Straal neergaande bocht	R_1	= 530,00	m
Straal opgaande bocht	R_2	= 530,00	m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	α_1	= 10,00 / 17,63	° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	α_2	= 10,00 / 17,63	° / %
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 120	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2020 2.1 ©
---	------------------

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. 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	

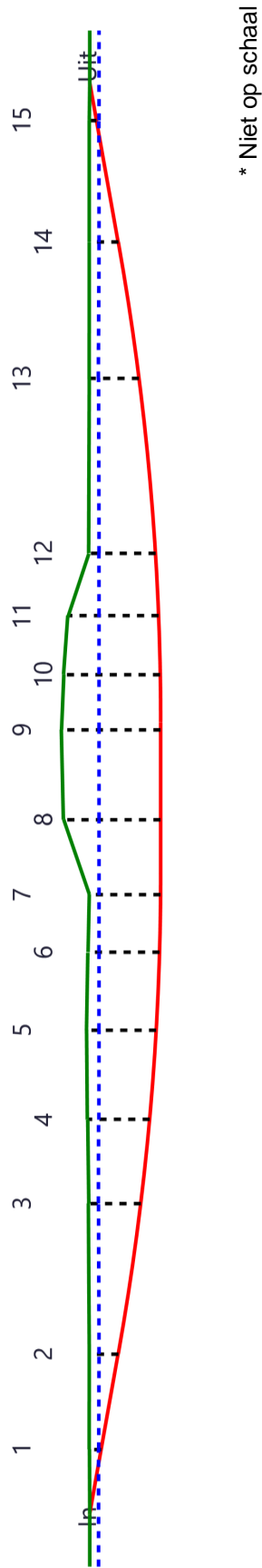
Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting

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 ³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m ³]	Wrijvingshoek grond [°]
1	12,69	2,27	1,78	Zand	17,43	20,04	32,50
2	31,25	5,47	1,83	Zand	17,44	17,53	30,00
3	60,11	9,92	1,90	Zand	17,49	19,11	30,00
4	76,16	11,80	2,14	Zand	17,52	19,27	35,00
5	93,43	13,20	2,32	Zand	17,56	19,40	32,50
6	108,42	13,58	2,09	Zand	18,67	18,54	35,00
7	119,61	13,55	1,87	Zand	18,57	18,59	35,00
8	134,07	18,46	6,76	Zand	18,16	18,77	35,00
9	151,26	18,85	7,15	Zand	18,19	18,68	35,00
10	161,83	18,33	6,70	Zand	18,12	19,21	35,00
11	173,12	17,21	5,89	Zand	18,08	19,04	35,00
12	185,09	12,69	1,94	Zand	18,45	19,01	35,00
13	218,78	9,44	1,72	Zand	18,54	18,50	30,00
14	245,14	5,49	1,84	Zand	18,44	17,25	25,00
15	268,87	1,37	-	Zand	18,74	-	35,00

Locatie	Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm ³]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
1	-	0,00	45,00	Grafiek ½ x II
2	-	0,00	15,00	Grafiek ½ x II
3	0,1100	0,00	45,00	Grafiek ½ x II
4	0,1100	0,00	75,00	Grafiek I
5	0,1100	0,00	45,00	Grafiek I
6	0,1100	0,00	75,00	Grafiek I
7	0,1100	0,00	75,00	Grafiek I
8	-	0,00	75,00	Grafiek I
9	-	0,00	75,00	Grafiek I
10	0,1100	0,00	75,00	Grafiek I
11	0,1100	0,00	75,00	Grafiek I
12	0,1100	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
13	0,1100	0,00	15,00	Grafiek ½ x II
14	-	0,00	15,00	Grafiek ½ x II
15	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II



Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Sondering
1	Geen	1
2	Geen	1
3	Geen	1
4	Geen	1
5	Geen	1
6	Geen	02
7	Geen	02
8	Geen	02
9	Geen	02
10	Geen	01
11	Geen	01
12	Geen	01
13	Geen	01
14	Geen	01
15	Geen	01



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2020 2.1 ©
---	------------------

2. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 159,30	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i) / 2$	= 163,80	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 168,30	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 84,15	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 79,65	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 81,90	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 7.772.160,27	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 92.360,79	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 7,59	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 3,38	mm ³ /mm ¹
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 2.315,67	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,1818	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	$g = 0,1818 \text{ N/mm}^1$	$g = 0,1818 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,1818 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,1818 \text{ N/mm}^1$

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	276,21	7.029
Na intrekken van L_5	245,14	6.239
Na intrekken van $L_5 + L_4$	152,64	3.885
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	123,76	3.150
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	31,26	796

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,4 \cdot L \cdot 0,1818 \cdot 0,1$$

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	7.029	3,04
Na intrekken van L_5	6.239	2,69
Na intrekken van $L_5 + L_4$	3.885	1,68
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	3.150	1,36
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	796	0,34

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{2.315,67}$$



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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 205.800 \cdot \frac{7.772.160}{200.000} = 8.797.308,21 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{8.797.308,21}{92.361} = \mathbf{95,25 \text{ N/mm}^2}$$

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	3,04	98,28
Na intrekken van L ₅	2,69	97,94
Na intrekken van L ₅ + L ₄	1,68	96,93
Na intrekken van L ₅ + L ₄ + L ₃	1,36	96,61
Na intrekken van L ₅ + L ₄ + L ₃ + L ₂	0,34	95,59

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 1 \cdot 95,25 + \sigma_t$$

Toelaatbare spanning: $\sigma_{kd} = 0,8 \cdot Re = 0,8 \cdot 245 = \mathbf{196,00 \text{ N/mm}^2}$

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: $D_{e,omtrek} = 528,73 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,182 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof: $g_{opw} = \rho_m \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 168,30^2 \cdot \pi/4 = 0,256 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,0741 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
Na intrekken van L_5	31,07	1.794	-
Na intrekken van $L_5 + L_4$	123,57	-	7.136
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	152,45	8.803	-
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	244,95	-	14.145
Geheel ingetrokken	276,21	15.950	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,4 \cdot L \cdot (528,73 \cdot 0,00005 + 0,0741 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,4 \cdot L \cdot (528,73 \cdot 0,00005 + 0,0741 \cdot 0,2)$

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]
3	0,0013	530	0,011	2.478
4	0,0013	530	0,011	2.478
5	0,0013	530	0,011	2.478
6	0,0013	530	0,011	2.478
7	0,0013	530	0,011	2.478
10	0,0013	530	0,011	2.478
11	0,0013	530	0,011	2.478
12	0,0013	530	0,011	2.478
13	0,0013	530	0,011	2.478

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

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

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,4 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 168,3 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$



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	3.885	7.136	2.478	-	13.498
Opgaande bocht	796	14.145	2.478	2.478	19.895

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	5,00	13.498	659
Opgaande bocht	5,00	19.895	971

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

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

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

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

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]
Na intrekken van L_5	6.239	1.794	-	-	-	-	8.033
Na intrekken van $L_5 + L_4$	3.885	7.136	2.478	659	-	-	14.157
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	3.150	8.803	2.478	659	-	-	15.089
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	796	14.145	2.478	659	2.478	971	21.525
Geheel ingetrokken	0	15.950	2.478	659	2.478	971	22.535

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

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

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]
Na intrekken van L_5	8.033	3,47
Na intrekken van $L_5 + L_4$	14.157	6,11
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	15.089	6,52
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	21.525	9,30
Geheel ingetrokken	22.535	9,73

$$\sigma_t = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{2.315,67}$$

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

5.7.1 Neergaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 205.800 \cdot \frac{7.772.160,27}{0,9 \cdot 530.000} = 4.694.580,33 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{4.694.580,33}{92.360,79} = \mathbf{50,83 \text{ N/mm}^2}$$

5.7.2 Opgaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 205.800 \cdot \frac{7.772.160,27}{0,9 \cdot 530.000} = 4.694.580,33 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{4.694.580,33}{92.360,79} = \mathbf{50,83 \text{ N/mm}^2}$$

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]
Na intrekken van L ₅	8.033	3,47	-	3,47
Na intrekken van L ₅ + L ₄	14.157	6,11	50,83	56,94
Na intrekken van L ₅ + L ₄ + L ₃	15.089	6,52	-	6,52
Na intrekken van L ₅ + L ₄ + L ₃ + L ₂	21.525	9,30	50,83	60,12
Geheel ingetrokken	22.535	9,73	-	9,73

Rechte delen: $\sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{2.315,67} = \sigma_t$

Gebogen delen: $\sigma_a = \alpha_\sigma \cdot \sigma_b + \sigma_t = 1 \cdot \sigma_b + \sigma_t$

Toelaatbare spanning: $\sigma_{kd} = 0,8 \cdot Re = 0,8 \cdot 245 = \mathbf{196,00 \text{ N/mm}^2}$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2020 2.1 ©
---	------------------

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

$$D_g/d_n = 163,80/4,50 = 36,40 \rightarrow D_g/d_n > 20 \rightarrow \text{Dunwandige leiding}$$

$$\sigma_p = \frac{p_d \cdot D_g}{2 \cdot d_n}$$

$$\sigma_p = \frac{0,8 \cdot 163,8}{2 \cdot 4,5} = 14,56 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{y1} = \sigma_p = 14,56 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,3 \cdot 14,56 = 4,37 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Toelaatbare spanning: } 0,72 \cdot R_e = 0,72 \cdot 245,00 = \mathbf{176,40 \text{ N/mm}^2}$$

6.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

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

$$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot 0,8 \cdot 81,90^3 \cdot 0,089}{205800 \cdot 7,59} \right) = 0,95$$

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_{droog} [kN/m ²]	Q_{nat} [kN/m ²]	Q_{totaal} [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]
1	2,27	1,78	Zand	34,13	10,80	44,93	6,74
2	5,47	1,83	Zand	35,11	70,19	105,30	11,60
3	9,92	1,90	Zand	36,55	168,59	205,14	21,03
4	11,80	2,14	Zand	41,24	204,76	246,01	25,14
5	13,20	2,32	Zand	44,81	232,18	276,99	28,31
6	13,58	2,09	Zand	42,92	234,33	277,25	27,32
7	13,55	1,87	Zand	38,20	238,84	277,04	26,97
8	18,46	6,76	Zand	135,04	241,57	376,61	43,69
9	18,85	7,15	Zand	143,06	240,41	383,48	44,85
10	18,33	6,70	Zand	133,54	245,75	379,30	44,26
11	17,21	5,89	Zand	117,14	237,09	354,23	40,56
12	12,69	1,94	Zand	39,37	224,79	264,17	26,37
13	9,44	1,72	Zand	35,08	157,10	192,18	19,35
14	5,49	1,84	Zand	37,32	69,26	106,58	11,79
15	1,37	-	Zand	-	-	28,24	4,75

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



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]
1	2,27	Grafiek ½ x II	5,49	0,92
2	5,47	Grafiek ½ x II	1,80	0,30
3	9,92	Grafiek ½ x II	0,85	0,14
4	11,80	Grafiek I	3,28	0,55
5	13,20	Grafiek I	2,73	0,46
6	13,58	Grafiek I	2,60	0,44
7	13,55	Grafiek I	2,61	0,44
8	18,46	Grafiek I	1,52	0,26
9	18,85	Grafiek I	1,46	0,25
10	18,33	Grafiek I	1,54	0,26
11	17,21	Grafiek I	1,72	0,29
12	12,69	Grafiek ½ x II	0,60	0,10
13	9,44	Grafiek ½ x II	0,90	0,15
14	5,49	Grafiek ½ x II	1,79	0,30
15	1,37	Grafiek ½ x II	11,64	1,96

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 168,3$$

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 ²]
1	6,74	0,92	7,66	86,59	24,43
2	11,60	0,30	11,90	134,48	37,95
3	21,03	0,14	21,17	239,27	67,52
4	25,14	0,55	25,70	290,42	81,95
5	28,31	0,46	28,77	325,12	91,74
6	27,32	0,44	27,76	313,76	88,53
7	26,97	0,44	27,41	309,77	87,41
8	43,69	0,26	43,95	496,71	140,16
9	44,85	0,25	45,09	509,66	143,81
10	44,26	0,26	44,52	503,19	141,99
11	40,56	0,29	40,85	461,75	130,29
12	26,37	0,10	26,47	299,14	84,41
13	19,35	0,15	19,50	220,43	62,20
14	11,79	0,30	12,10	136,72	38,58
15	4,75	1,96	6,71	75,87	21,41

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,138 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 81,90$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 0,95 \cdot \frac{M_q}{3,38}$$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2020 2.1 ©
---	------------------

6.6 Optredende spanning s_{qr} t.g.v. grondreactie in de bochten

Locatie	R [m]	Q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
3	530	0,011	3,80
4	530	0,011	3,80
5	530	0,011	3,80
6	530	0,011	3,80
7	530	0,011	3,80
10	530	0,011	3,80
11	530	0,011	3,80
12	530	0,011	3,80
13	530	0,011	3,80

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,083 \cdot Q_r \cdot 168,3 \cdot \frac{84,15}{3,38}$$

6.7 Berekening van de spanning s_{ax} t.g.v. temperatuurverschil

$$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$$

$$\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,0000116 \cdot 205800 = \mathbf{23,87 \text{ N/mm}^2}$$

7. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

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

$$S_N = 205800 \cdot \frac{7,59}{163,8^3} = 0,356 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{355,60 \text{ kN/m}^2}$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = **0 kN/m²**

8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

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

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

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

$$P_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,3^2)} \cdot \frac{24 \cdot 205.800,00 \cdot 7,59}{163,80^3} = 6,25 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,3^2)} \cdot \frac{24 \cdot 205.800,00 \cdot 7,59}{163,80^3} = 3,13 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **312,61 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]
1	24,43	-	1	24,43
2	37,95	-	1	37,95
3	67,52	3,80	1	71,32
4	81,95	3,80	1	85,75
5	91,74	3,80	1	95,54
6	88,53	3,80	1	92,34
7	87,41	3,80	1	91,21
8	140,16	-	1	140,16
9	143,81	-	1	143,81
10	141,99	3,80	1	145,79
11	130,29	3,80	1	134,09
12	84,41	3,80	1	88,21
13	62,20	3,80	1	66,00
14	38,58	-	1	38,58
15	21,41	-	1	21,41

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

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

Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = 0,8 \cdot Re = 0,8 \cdot 245 = \mathbf{196,00}$ 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]
1	4,37	23,87	-	-	28,24
2	4,37	23,87	-	-	28,24
3	4,37	23,87	50,83	1	79,07
4	4,37	23,87	50,83	1	79,07
5	4,37	23,87	50,83	1	79,07
6	4,37	23,87	50,83	1	79,07
7	4,37	23,87	50,83	1	79,07
8	4,37	23,87	-	-	28,24
9	4,37	23,87	-	-	28,24
10	4,37	23,87	50,83	1	79,07
11	4,37	23,87	50,83	1	79,07
12	4,37	23,87	50,83	1	79,07
13	4,37	23,87	50,83	1	79,07
14	4,37	23,87	-	-	28,24
15	4,37	23,87	-	-	28,24

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

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

Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = 0,8 \cdot Re = 0,8 \cdot 245 = \mathbf{196,00}$ N/mm²

9.3 Overzicht van de ideale spanningen in de leiding

Locatie	σ_{y2} [N/mm ²]	σ_x [N/mm ²]	σ_v [N/mm ²]
1	24,43	28,24	26,54
2	37,95	28,24	34,14
3	71,32	79,07	75,49
4	85,75	79,07	82,61
5	95,54	79,07	88,46
6	92,34	79,07	86,47
7	91,21	79,07	85,79
8	140,16	28,24	128,39
9	143,81	28,24	131,98
10	145,79	79,07	126,41
11	134,09	79,07	116,75
12	88,21	79,07	84,01
13	66,00	79,07	73,41
14	38,58	28,24	34,59
15	21,41	28,24	25,52

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_{y2}^2 + \sigma_x^2 - \sigma_{y2} \cdot \sigma_x}$$

Toelaatbare ideale spanning: Re = **245,00** 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 [%]
1	6,74	0,92	-	0,12	0,074
2	11,60	0,30	-	0,17	0,11
3	21,03	0,14	0,011	0,31	0,19
4	25,14	0,55	0,011	0,44	0,27
5	28,31	0,46	0,011	0,46	0,28
6	27,32	0,44	0,011	0,47	0,29
7	26,97	0,44	0,011	0,47	0,29
8	43,69	0,26	-	0,75	0,46
9	44,85	0,25	-	0,77	0,47
10	44,26	0,26	0,011	0,76	0,46
11	40,56	0,29	0,011	0,70	0,43
12	26,37	0,10	0,011	0,45	0,28
13	19,35	0,15	0,011	0,28	0,17
14	11,79	0,30	-	0,15	0,089
15	4,75	1,96	-	0,11	0,070

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

$$\delta_y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 81,90^3}{205.800 \cdot 7,59}$$

Toelaatbare deflectie = 15% · D_g = 0,15 · 163,80 = **24,57** mm

11. Berekening van de boorspoeldrukken

Locatie	H [m]	σ_{vert} [kN/m ²]	σ_{hor} [kN/m ²]	σ_o' [kN/m ²]	p'_f [kN/m ²]	E_{100} [MN/m ²]
1	2,27	32,23	14,91	23,57	36,24	28,47
2	5,47	50,62	25,31	37,97	56,95	12,45
3	9,92	89,34	44,67	67,00	100,51	50,30
4	11,80	106,71	45,50	76,11	119,76	91,67
5	13,20	120,12	55,58	87,85	135,05	58,36
6	13,58	114,23	48,71	81,47	128,20	95,56
7	13,55	112,16	47,83	79,99	125,88	94,94
8	18,46	194,25	82,83	138,54	218,00	120,84
9	18,85	199,92	85,25	142,59	224,37	122,43
10	18,33	197,17	84,08	140,62	221,28	121,63
11	17,21	179,55	76,56	128,06	201,51	116,44
12	12,69	110,82	47,26	79,04	124,37	93,87
13	9,44	81,63	40,81	61,22	91,83	16,08
14	5,49	51,58	29,78	40,68	57,88	12,56
15	1,37	23,34	9,95	16,65	26,19	39,86

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

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

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

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

$$E_{100, norm} = E_{100} \cdot (q_n/100)^m$$

Locatie	G [MN/m ²]	Q [-]	u [N/mm ²]	p _{st} [N/mm ²]	p _{lim} [N/mm ²]	90% p _{lim} [bar] 1
1	15,29	0,00083	0,0049	0,005528	0,44	3,94
2	7,00	0,0027	0,0364	0,04106	0,44	4,00
3	28,29	0,0012	0,0802	0,09048	1,03	9,27
4	47,36	0,00092	0,0966	0,1090	1,63	14,64
5	31,34	0,0015	0,1088	0,1227	1,42	12,76
6	49,37	0,00095	0,1149	0,1296	1,74	15,63
7	49,05	0,00094	0,1168	0,1318	1,72	15,45
8	62,43	0,0013	0,1170	0,1320	2,59	23,34
9	63,25	0,0013	0,1170	0,1320	2,65	23,86
10	62,84	0,0013	0,1163	0,1312	2,62	23,60
11	60,16	0,0012	0,1132	0,1277	2,44	21,93
12	48,50	0,00093	0,1075	0,1213	1,69	15,20
13	9,05	0,0034	0,0772	0,08709	0,69	6,20
14	7,96	0,0022	0,0365	0,04118	0,39	3,55
15	20,59	0,00046	0,0000	0,0000	0,43	3,87

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

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

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

11.1 Tijdens pilot

Locatie	R _{p,max} [m]	Δp [N/mm ²]	p _{max} [N/mm ²]	p _{max} [bar] 2	p _{min} [N/mm ²]	p _{min} [bar] 3
1	0,93	0,01	0,19	1,92	0,01	0,14
2	0,52	0,02	0,22	2,20	0,06	0,62
3	0,78	0,04	0,51	5,07	0,13	1,31
4	0,89	0,05	0,74	7,35	0,16	1,60
5	0,69	0,06	0,67	6,75	0,19	1,85
6	0,87	0,07	0,79	7,92	0,20	2,02
7	0,88	0,08	0,78	7,84	0,21	2,12
8	0,75	0,09	1,15	11,50	0,22	2,21
9	0,75	0,10	1,17	11,74	0,23	2,33
10	0,75	0,11	1,16	11,62	0,24	2,39
11	0,77	0,12	1,08	10,83	0,24	2,43
12	0,88	0,12	0,77	7,67	0,24	2,45
13	0,46	0,15	0,35	3,52	0,23	2,33
14	0,58	0,16	0,21	2,12	0,20	2,05
15	0,69	0,18	0,12	1,19	0,18	1,79

112 Tijdens ruimgang

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	Δp [N/mm ²]	p_{max} [N/mm ²]	p_{max} [bar] 4	p_{min} [N/mm ²]	p_{min} [bar] 5
1	1,14	0,09	0,17	1,68	0,10	0,96
2	0,77	0,08	0,22	2,20	0,13	1,25
3	1,17	0,07	0,51	5,07	0,16	1,65
4	1,33	0,07	0,74	7,35	0,18	1,78
5	1,04	0,06	0,67	6,75	0,19	1,85
6	1,31	0,06	0,79	7,92	0,19	1,87
7	1,32	0,05	0,78	7,84	0,19	1,85
8	1,13	0,05	1,15	11,50	0,18	1,81
9	1,12	0,04	1,17	11,74	0,17	1,75
10	1,13	0,04	1,16	11,62	0,17	1,70
11	1,15	0,04	1,08	10,83	0,16	1,63
12	1,32	0,03	0,77	7,67	0,15	1,53
13	0,69	0,02	0,35	3,52	0,11	1,07
14	0,87	0,01	0,21	2,12	0,05	0,52
15	0,69	0,00	0,09	0,89	0,00	0,03

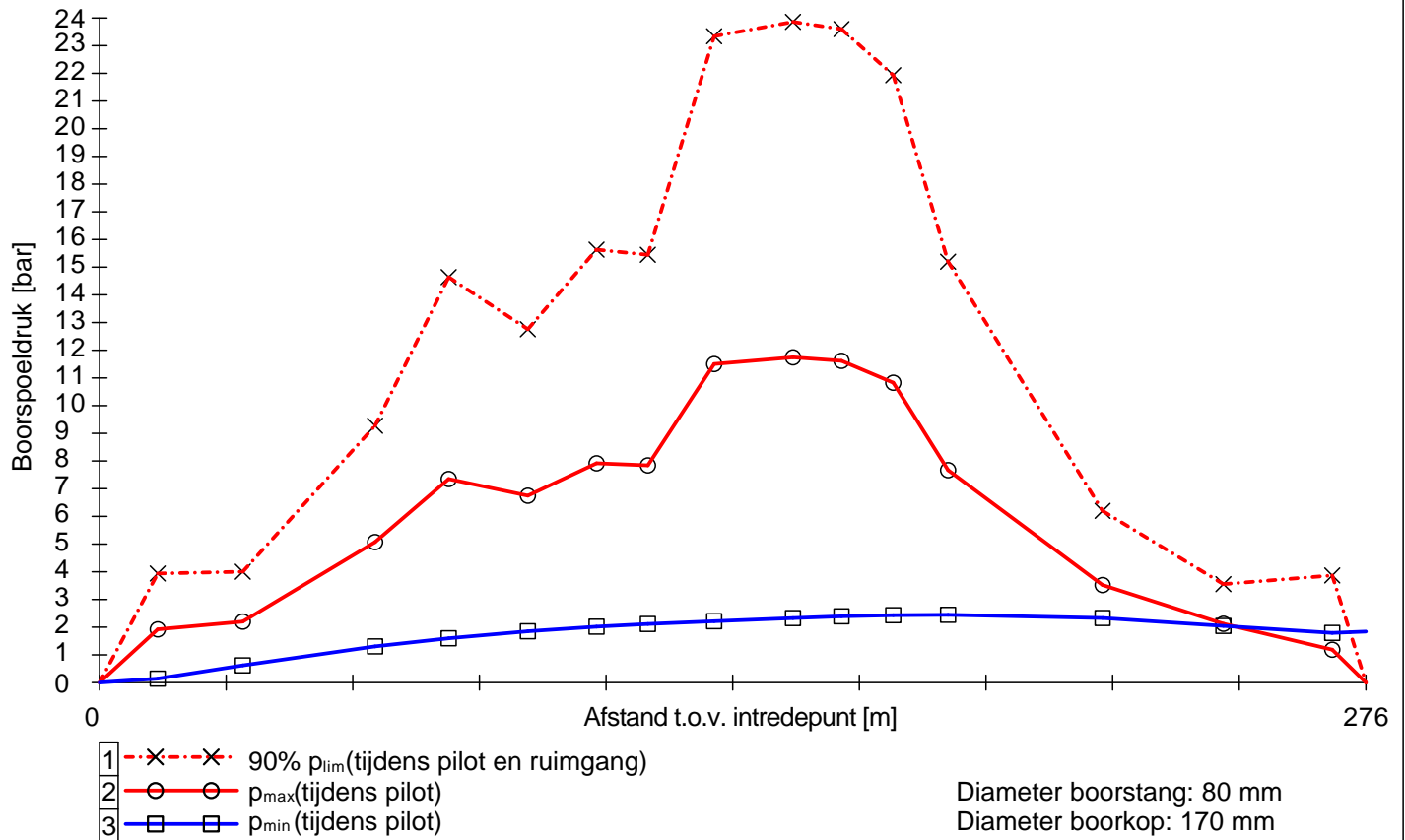
$$R_{p,max} = \frac{H}{2}; R_{p,max,zand} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot \epsilon_{g,max}} \text{ of } \frac{H}{2}$$

$$\Delta p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_{g/p} - D_b} \cdot L$$

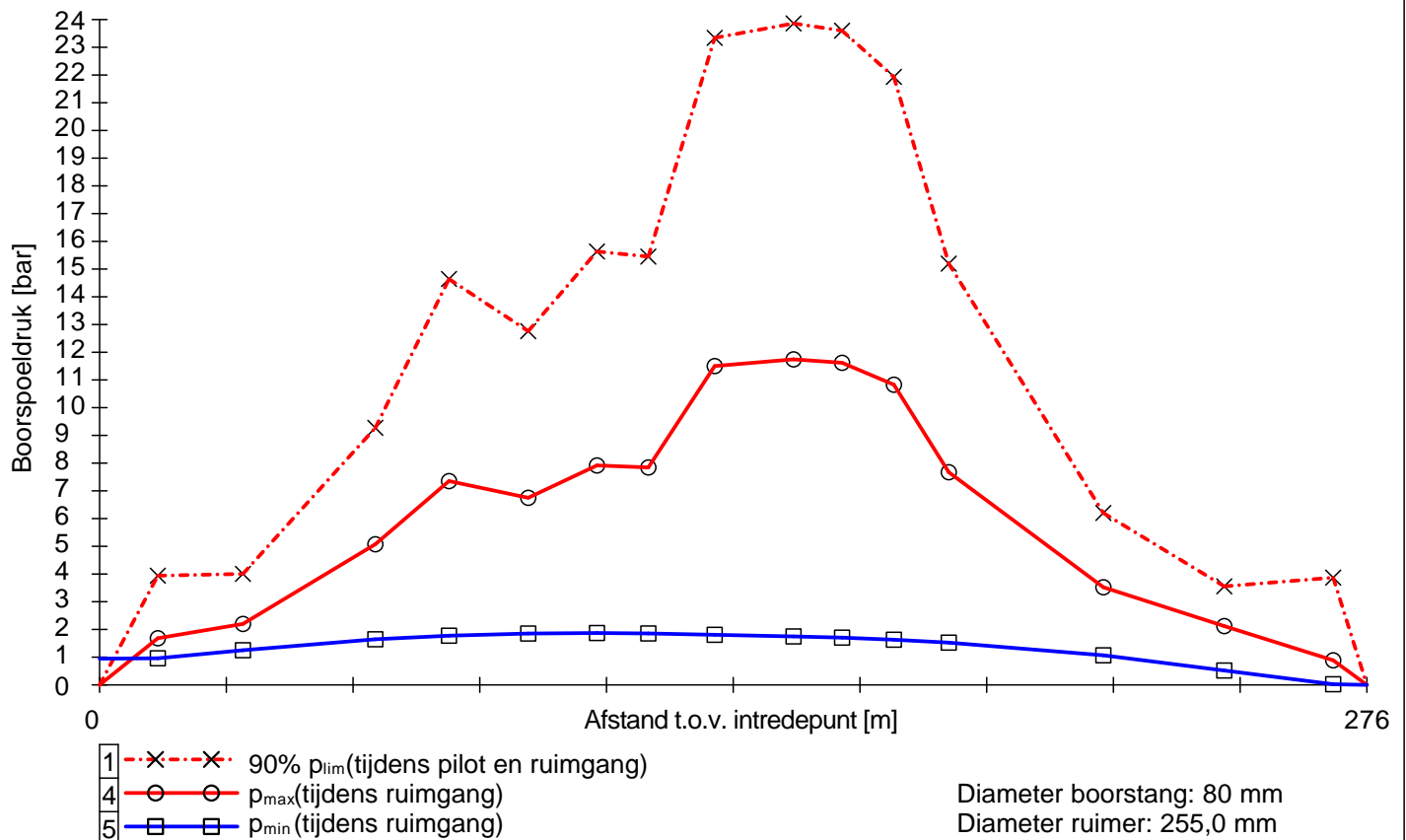
$$p_{max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{R_o^2}{R_{p,max}} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

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

11.3 Boorspoeldrukken tijdens pilot



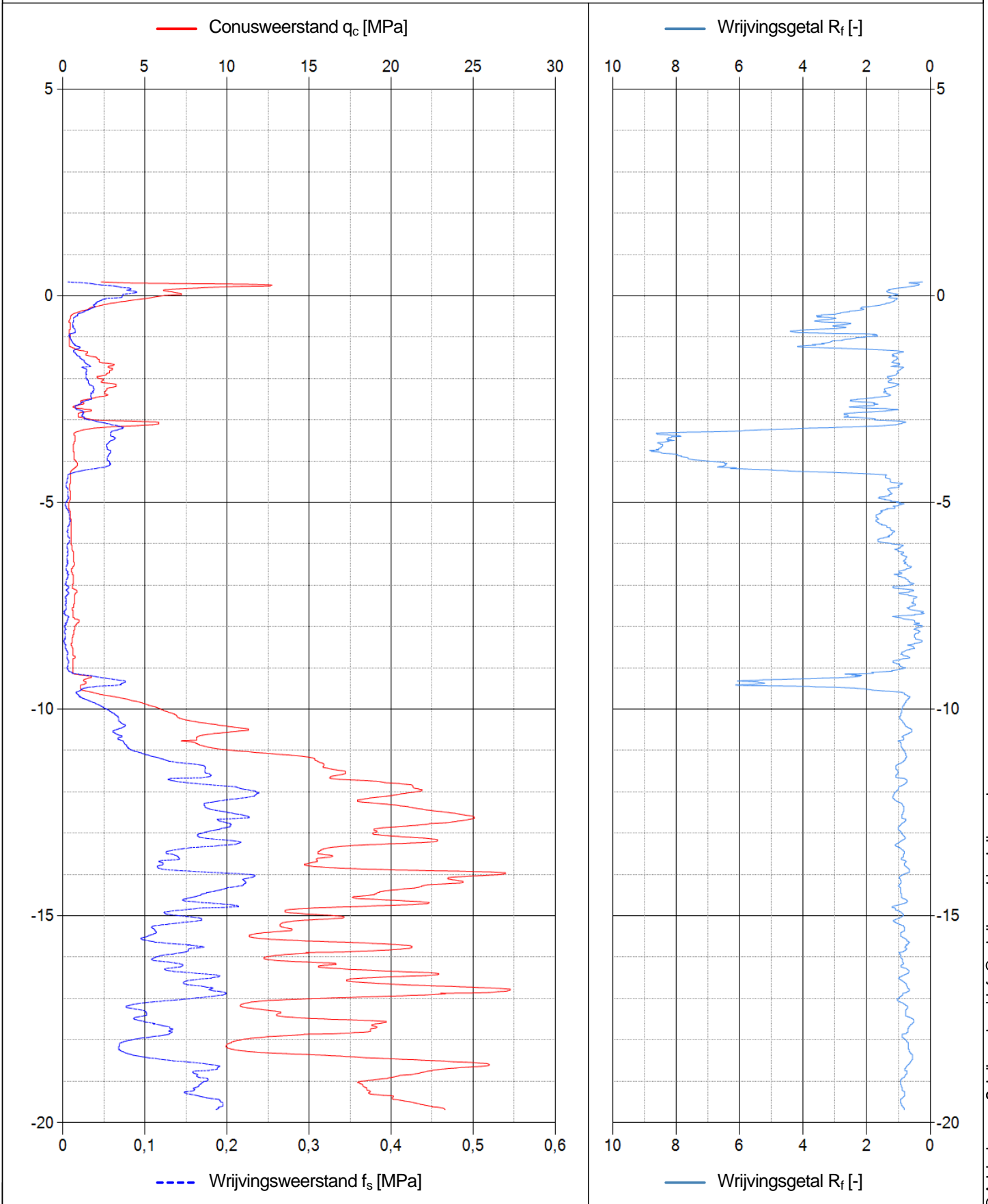
11.4 Boorspoeldrukken tijdens ruimen



1

Naam van het project : Voorbeeld berekening HDD

Projectonderdeel : Sterkteberekening, boorspoeldrukberkening en trekkrachtberekening



02

Naam van het project : Voorbeeld berekening HDD

Projectonderdeel : Sterkteberekening, boorspoeldrukberekening en trekkrachtberekening

