

Projectgegevens

Naam van het project: **Aanleg waterleiding met behulp van horizontaal gestuurde boring**

Projectonderdeel: **Horizontaal gestuurde boring met ProCAD HDD-inleestool**

Algemene gegevens **Boorprofiel**

Samenstelling boring

☒ Enkele buis of bundel
☐ Mediumbuis in mantelbuis

Omstandigheden bovengronds

☒ Boring ligt op maaiveld
☐ Boring ligt op rollenbaan

Omstandigheden ondergronds

☒ Enkele buis (of mediumbuis in mantelbuis)
☐ Samengestelde bundel
☐ Moelijke omstandigheden

Gegevens pilot

Diameter boorkop/boorgat [mm]: **311,0**
Plastische viscositeit boorvloeistof [Pa-s]: **0,009**
Zwichtspanning boorvloeistof [Pa]: **13,4**
Soortelijk gewicht boorvloeistof [kN/m³]: **11,5**
Debiet boorvloeistof [l/min.]: **900,0**
☐ Intersectiemethode ('Meet in the middle')

Leiding- en materiaalgegevens (Mediumleiding)

Materiaal: **PE**
Kwaliteit: **PE 100**
Uitwendige middellijn [mm]: **450,0**
Wanddikte [mm]: **41,0**
Dikte bekleding [mm]: **0,0**

Medium (Mediumleiding)

Medium: ☒ Vloeistof ☐ Gas ☐ Drukloos
Ontwerpdruk [N/mm²]: **0,3**
Volumieke massa medium [kg/m³]: **1000,0**
Temperatuurverschil [°C]: **10,0**

Gegevens boorstang

Diameter boorstang [mm]: **127,0**

Vulling tijdens intrekken

Gewicht vulling/extra gewicht op rollenbaan [N/mm]: **0,0**
Gewicht vulling/extra gewicht tpv boorgang [N/mm]: **0,0**

Variabele onzekerheids- en wrijvingsfactoren

Onz. factor bij normale boring: **1,4**
Belastingfactor, ondergronds: **1,4**
Belastingfactor, bovengronds: **1,1**
Wrijvingscoëff. zonder rollenbaan: **0,3**
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof [N/mm²]: **0,00005**
Wrijving tussen leiding/boorgangwand: **0,2**
Percentage van effectieve limietdruk [%]: **90,0**
Onzekerheidsfactor straal, ondergronds: **0,9**

Gegevens ruimgang

☐ Toepassen ruimgang

Gegevens intrekken

☒ Gecombineerd ruimen/intrekken
Diameter ruimer/boorgat [mm]: **675,0**
Plastische viscositeit boorvloeistof [Pa-s]: **0,009**
Zwichtspanning boorvloeistof [Pa]: **13,4**
Soortelijk gewicht boorvloeistof [kN/m³]: **11,5**
Debiet boorvloeistof [l/min.]: **1400,0**

Invoer tabblad 1: welke buis/welke boorstang/welke ruimfasen

Algemene gegevens **Boorprofiel**

Boorprofiel

Importeer...

Intrede-hoek (bij boorstelling) [°]: **17,0** **Lengte 1e rechte deel L1 [m]:** **40,0** **38,25** **Lengte na 1e deel [m]:** **40,00** **38,25**

Uittrede-hoek (bij rollenbaan) [°]: **17,0** **Lengte neergaande bocht L2 [m]:** **74,18** **73,09** **Lengte na 2e deel [m]:** **114,18** **111,34**

Straal maaiveld/rollenbaan [m]: **100,0** **Lengte 2e rechte deel L3 [m]:** **350,0** **350,0** **Lengte na 3e deel [m]:** **464,18** **461,34**

Straal neergaande bocht R1 [m]: **250,0** **Lengte opgaande bocht L4 [m]:** **74,18** **73,09** **Lengte na 4e deel [m]:** **538,36** **534,43**

Straal opgaande bocht R2 [m]: **250,0** **Lengte 3e rechte deel L5 [m]:** **40,0** **38,25** **Totale lengte [m]:** **578,36** **572,68**

Opleghoeken

Belastinghoek [°]: **180**
Ondersteuningshoek [°]: **120**

Partiële factor

Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd: ☒ Ja ☐ Nee
Partiële factor [-]: **1,1**

Doorsneden

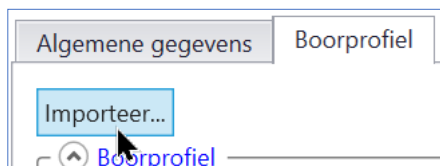
Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Horizontale afstand t.o.v. intredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Grondwater	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grondsoort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m³]	Inwendige wrijvingshoek grond [°]	Effectieve cohesie [kN/m²]	E-modulus ondergrond [MN/m²]	Gem. vert. bedding-constante [N/mm²]	Verkeersbelasting
1e rechte deel	40,0	38,25	12,0	☒	2,0	Klei	17,0	17,0	17,5	5,0	2,0	0,0028	Grafiek 1/2 x II
Neergaande bocht	114,18	111,34	23,0	☒	2,0	Klei	17,0	17,0	17,5	5,0	2,0	0,0028	Grafiek II
2e rechte deel	289,18	286,34	23,0	☒	2,0	Klei	17,0	17,0	17,5	5,0	2,0	0,0028	Grafiek I
Opgaande bocht	464,18	461,34	23,0	☒	2,0	Klei	17,0	17,0	17,5	5,0	2,0	0,0028	Grafiek II
3e rechte deel	538,36	534,43	12,0	☒	2,0	Klei	17,0	17,0	17,5	5,0	2,0	0,0028	Grafiek 1/2 x II

Profielsschets

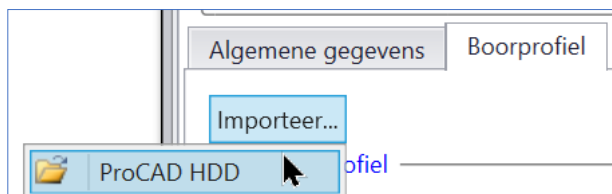
Profielsschets

In 1e rechte deel Neergaande bocht 2e rechte deel Opgaande bocht 3e rechte deel Uit

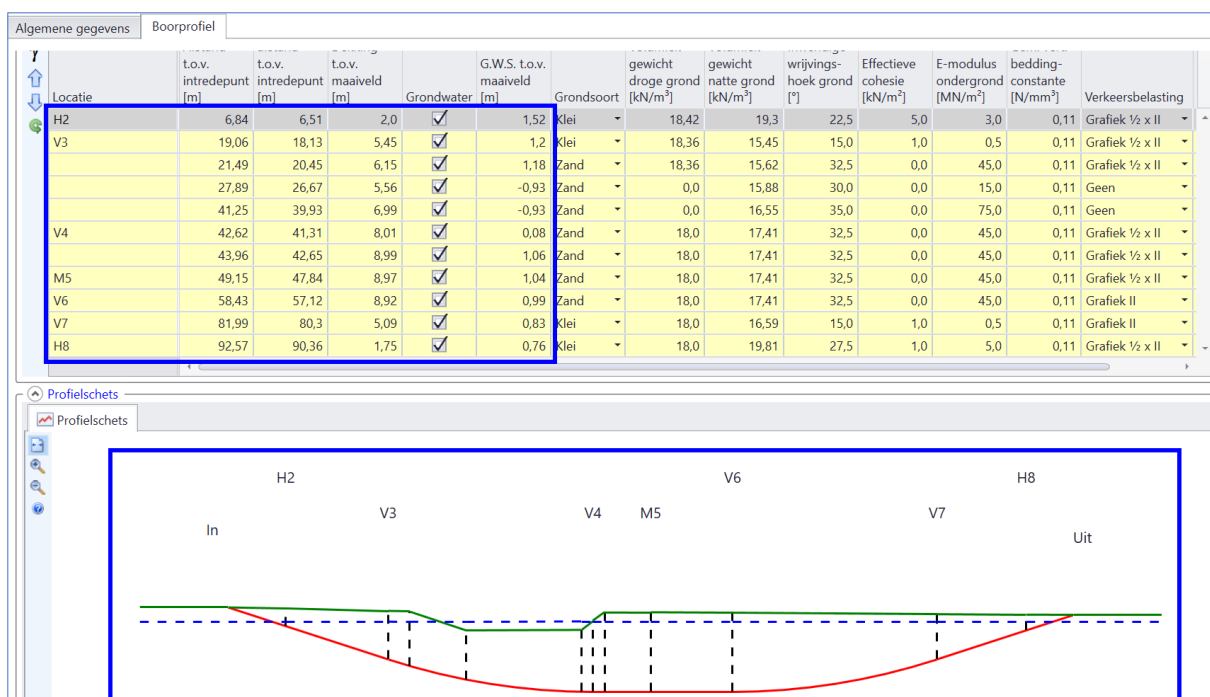
Invoer tabblad 2: wat zijn in- en uittredehoeken, bochtstralen, dekkingen en belastingen



Klik op "Importeer"



Selecteer "ProCAD HDD"



De gegevens die omkaderd zijn worden geïmporteerd.

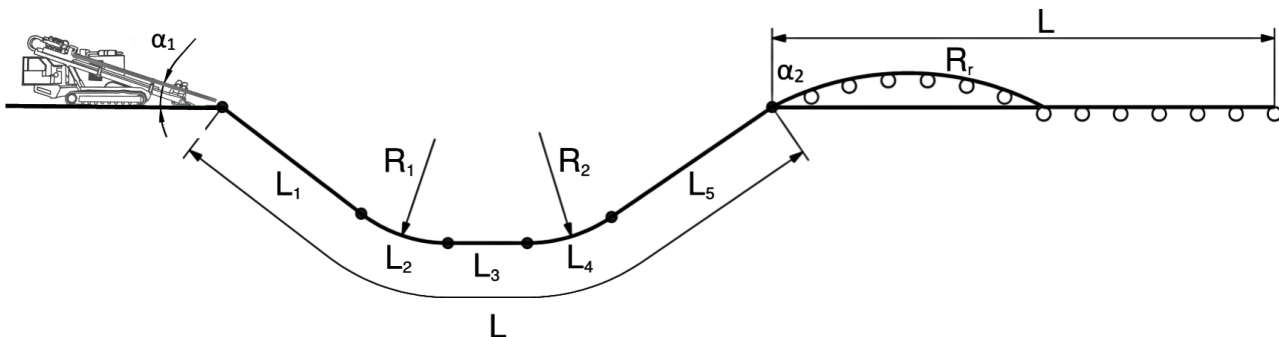
Wanneer vervolgens GEF-bestanden worden gebruikt om de grondparameters te berekenen wordt rekening gehouden met de grondwaterstanden (t.o.v. N.A.P.).

Voordelen ProCAD HDD:

- Snelle en betrouwbare invoer van boorprofiel in het programma Sigma;
- Inlezen GEF-bestanden wordt dankzij de import bijna automatisch omdat N.A.P. hoogten worden ingelezen.

De komende tijd wordt onze eigen inleestool voor CAD-tekeningen op dezelfde manier geïntegreerd in Sigma. Adviesbureau Schrijvers b.v. is ook benaderd door andere leveranciers van dergelijke tools om deze in Sigma beschikbaar te maken. Dit zal vermoedelijk in september 2022 plaatsvinden.



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2022 1.3 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Aanleg waterleiding met behulp van horizontaal gestuurde boring			
Projectonderdeel : Horizontaal gestuurde boring met ProCAD HDD-inleestool			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm ²
Materiaalfactor	γ_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	α_g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentieel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Soortelijk gewicht buis	ρ_L	= 9,55	kN/m ³
Toelaatbare deflectie	δ	= 8,00	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 75,00	mm
Wanddikte	d _n	= 6,8	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken			
Totale lengte	L	= 98,17	m
Lengte 1e rechte deel	L ₁	= 19,06	m
Lengte neergaande bocht	L ₂	= 23,56	m
Lengte 2e rechte deel	L ₃	= 15,81	m
Lengte opgaande bocht	L ₄	= 23,56	m
Lengte 3e rechte deel	L ₅	= 16,18	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R _r	= 100,00	m
Straal neergaande bocht	R ₁	= 75,00	m
Straal opgaande bocht	R ₂	= 75,00	m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	α_1	= 18,00 / 32,49	° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	α_2	= 18,00 / 32,49	° / %
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 120	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	
			
		30-05-2022 19:39:24	



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020					Sigma 2022 1.3 ©		
Uitvoeringsaspecten							
Diameter boorstang		D_b		= 52	mm		
Tijdens pilot							
Diameter boorkop/boorgat		D_p		= 125	mm		
Soortelijk gewicht boorvloeistof		$\rho_{m,p}$		= 11,5	kN/m ³		
Zwichtspanning boorvloeistof		$\tau_{y,p}$		= 14,364	Pa		
Plastische viscositeit boorvloeistof		η_p		= 0,016	Pa·s		
Debiet boorvloeistof		$Q_{m,p}$		= 40	l/min		
Tijdens intrekken							
Gecombineerd ruimen/intrekken							
Diameter ruimer/boorgat		$D_{g,i}$		= 150,0	mm		
Soortelijk gewicht boorvloeistof		$\rho_{m,i}$		= 11,5	kN/m ³		
Zwichtspanning boorvloeistof		$\tau_{y,i}$		= 14,364	Pa		
Plastische viscositeit boorvloeistof		η_i		= 0,016	Pa·s		
Debiet boorvloeistof		$Q_{m,i}$		= 132	l/min		
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan							
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang							
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. zonder rollenbaan		f_1		= 0,3			
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 [°]
H2	6,84	2,00	1,52	Klei	18,42	19,30	22,50
V3	19,06	5,45	1,20	Klei	18,36	15,45	15,00
	21,49	6,15	1,18	Zand	18,36	15,62	32,50
	27,89	5,56	-0,93	Zand	0,00	15,88	30,00
	41,25	6,99	-0,93	Zand	0,00	16,55	35,00
V4	42,62	8,01	0,08	Zand	18,00	17,41	32,50
	43,96	8,99	1,06	Zand	18,00	17,41	32,50
M5	49,15	8,97	1,04	Zand	18,00	17,41	32,50
V6	58,43	8,92	0,99	Zand	18,00	17,41	32,50
V7	81,99	5,09	0,83	Klei	18,00	16,59	15,00
H8	92,57	1,75	0,76	Klei	18,00	19,81	27,50
					30-05-2022 19:39:24		

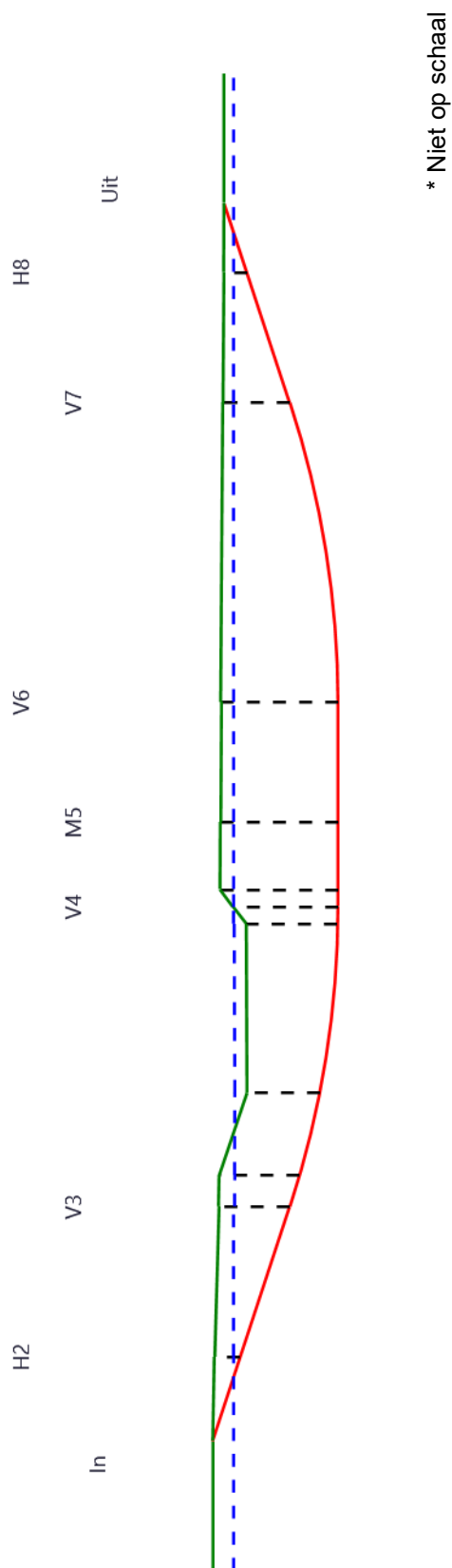


Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2022 1.3 ©

Locatie	Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm ³]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
H2	-	5,00	3,00	Grafiek ½ x II
V3	-	1,00	0,50	Grafiek ½ x II
	0,1100	0,00	45,00	Grafiek ½ x II
	0,1100	0,00	15,00	Geen
	0,1100	0,00	75,00	Geen
V4	0,1100	0,00	45,00	Grafiek ½ x II
	-	0,00	45,00	Grafiek ½ x II
M5	-	0,00	45,00	Grafiek ½ x II
V6	0,1100	0,00	45,00	Grafiek II
V7	-	1,00	0,50	Grafiek II
H8	-	1,00	5,00	Grafiek ½ x II

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Sondering
H2	Geen	5
V3	Geen	5
	Geen	5
	Geen	5
	Geen	5
V4	Geen	6
	Geen	6
M5	Geen	6
V6	Geen	6
V7	Geen	6
H8	Geen	6





Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2022 1.3 ©
2. Eigenschappen van de leiding			
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 61,40	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 68,20	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 75,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 37,50	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 30,70	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 34,10	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 855.496,26	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 22.813,23	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 26,20	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 7,71	mm ³ /mm ¹
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 1.456,95	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,0139	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	$g = 0,0139 \text{ N/mm}^1$		$g = 0,0139 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$		$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,0139 \text{ N/mm}^1$		$g_{gat} = 0,0139 \text{ N/mm}^1$
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	98,17	574	
Na intrekken van L_5	81,99	479	
Na intrekken van $L_5 + L_4$	58,43	341	
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	42,62	249	
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	19,06	111	
$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,4 \cdot L \cdot 0,0139 \cdot 0,3$			
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	574	0,39	
Na intrekken van L_5	479	0,33	
Na intrekken van $L_5 + L_4$	341	0,23	
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	249	0,17	
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	111	0,08	
$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{1.456,95}$			



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2022 1.3 ©

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{855.496}{100.000} = 9.175,20 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{9.175,20}{22.813} = \mathbf{0,40 \text{ N/mm}^2}$$

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	0,39	0,66
Na intrekken van L ₅	0,33	0,59
Na intrekken van L ₅ + L ₄	0,23	0,50
Na intrekken van L ₅ + L ₄ + L ₃	0,17	0,43
Na intrekken van L ₅ + L ₄ + L ₃ + L ₂	0,08	0,34

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 0,40 + \sigma_t$$

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: $D_{e,omtrek} = 235,62 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,0139 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof: $g_{opw} = \rho_{m,i} \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 75,00^2 \cdot \pi/4 = 0,0508 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,0369 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
Na intrekken van L_5	16,18	434	-
Na intrekken van $L_5 + L_4$	39,74	-	1.066
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	55,55	1.490	-
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	79,11	-	2.122
Geheel ingetrokken	98,17	2.633	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,4 \cdot L \cdot (235,62 \cdot 0,00005 + 0,0369 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,4 \cdot L \cdot (235,62 \cdot 0,00005 + 0,0369 \cdot 0,2)$

5.2 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]
	0,0071	75	0,0026	49
	0,0071	75	0,0026	49
	0,0071	75	0,0026	49
V4	0,0071	75	0,0026	49
V6	0,0071	75	0,0026	49

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

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

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,4 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 75 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2022 1.3 ©

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

Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N] ($f = 1$)	T_2 / T_{3a} [N] ($f = 1$)	$T_{3b, \text{neer}}$ [N] ($f = 1$)	$T_{3b, \text{op}}$ [N] ($f = 1$)	T_{bocht} [N]
Neergaande bocht	244	761	35	-	1.041
Opgaande bocht	80	1.516	35	35	1.666

Neergaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_2 + T_{3a, \text{neer}} + T_{3b, \text{neer}, \text{max}}$

Opgaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_2 + T_{3a, \text{neer}} + T_{3b, \text{neer}, \text{max}} + T_{3a, \text{op}} + T_{3b, \text{op}, \text{max}}$

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N]
Neergaande bocht	9,00	1.041	91
Opgaande bocht	9,00	1.666	146

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

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

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

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

5.4 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]
Na intrekken van L_5	479	434	-	-	-	-	913
Na intrekken van $L_5 + L_4$	341	1.066	49	91	-	-	1.548
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	249	1.490	49	91	-	-	1.880
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	111	2.122	49	91	49	146	2.569
Geheel ingetrokken	0	2.633	49	91	49	146	2.969

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



5.5 Karakteristieke waarden van de benodigde trekkrachten in fase II

Wanneer geen totaalfactor wordt toegepast ($f = 1$), gelden de volgende karakteristieke waarden voor de trekkrachten.

Trekkracht 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]
Na intrekken van L_5	342	310	-	-	-	-	652
Na intrekken van $L_5 + L_4$	244	761	35	65	-	-	1.106
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	178	1.064	35	65	-	-	1.343
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	80	1.516	35	65	35	104	1.835
Geheel ingetrokken	0	1.881	35	65	35	104	2.121

De maximale karakteristieke waarde voor de benodigde trekkracht bedraagt **2.121 N** ($\approx 0,3$ ton).

Volgens het voorschrift van de Drilling Contractors Association (DCA - Europe) wordt een boormachine voorgeschreven met een trekkracht 2 tot 3 keer deze maximale waarde.

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]
Na intrekken van L_5	913	0,63
Na intrekken van $L_5 + L_4$	1.548	1,06
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	1.880	1,29
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	2.569	1,76
Geheel ingetrokken	2.969	2,04

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{1.456,95}$$



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

5.7.1 Neergaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{855.496,26}{0,9 \cdot 75.000} = 17.300,04 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{17.300,04}{22.813,23} = \mathbf{0,76 \text{ N/mm}^2}$$

5.7.2 Opgaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{855.496,26}{0,9 \cdot 75.000} = 17.300,04 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{17.300,04}{22.813,23} = \mathbf{0,76 \text{ N/mm}^2}$$

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	913	0,63	-	0,63
Na intrekken van $L_5 + L_4$	1.548	1,06	0,76	1,56
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	1.880	1,29	-	1,29
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	2.569	1,76	0,76	2,26
Geheel ingetrokken	2.969	2,04	-	2,04

Rechte delen: $\sigma_a = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{1.456,95} = \sigma_t$

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

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



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2022 1.3 ©

6. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase

6.1 Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pl} t.g.v. inwendige druk

Leiding is drukloos:

$$\sigma_p = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

6.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

Leiding is drukloos:

$$f_{rr} = 1,00$$

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_n [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]
H2	2,00	1,52	Klei	30,80	5,39	36,19	2,71
V3	5,45	1,20	Klei	24,24	29,73	53,96	4,05
	6,15	1,18	Zand	23,83	35,69	59,53	4,46
	5,56	-0,93	Zand	0,00	97,12	41,52	3,11
	6,99	-0,93	Zand	0,00	127,25	57,35	4,30
V4	8,01	0,08	Zand	1,58	72,57	74,15	5,56
	8,99	1,06	Zand	20,99	72,57	93,56	7,02
M5	8,97	1,04	Zand	20,59	72,57	93,16	6,99
V6	8,92	0,99	Zand	19,60	72,57	92,17	6,91
V7	5,09	0,83	Klei	16,43	35,14	51,57	3,87
H8	1,75	0,76	Klei	15,05	11,67	26,72	2,00

$$q_{\text{droog}} = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$$

$$q_{\text{nat}} = \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$Q_n = q_n \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot 75$$

6.4 Berekening van de verkeersbelasting Q_v

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeersbelasting	q_v [kN/m ²]	Q_v [N/mm ¹]
H2	2,00	Grafiek 1/2 x II	6,57	0,49
V3	5,45	Grafiek 1/2 x II	1,81	0,14
	6,15	Grafiek 1/2 x II	1,56	0,12
	5,56	Geen	0,00	0,00
	6,99	Geen	0,00	0,00
V4	8,01	Grafiek 1/2 x II	1,12	0,08
	8,99	Grafiek 1/2 x II	0,97	0,07
M5	8,97	Grafiek 1/2 x II	0,97	0,07
V6	8,92	Grafiek II	1,95	0,15
V7	5,09	Grafiek II	3,94	0,30
H8	1,75	Grafiek 1/2 x II	7,99	0,60

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 75$$

30-05-2022 19:39:24



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2022 1.3 ©

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]
H2	2,71	0,49	3,21	15,09	1,96
V3	4,05	0,14	4,18	19,68	2,55
	4,46	0,12	4,58	21,56	2,80
	3,11	0,00	3,11	14,65	1,90
	4,30	0,00	4,30	20,24	2,63
V4	5,56	0,08	5,65	26,57	3,45
	7,02	0,07	7,09	33,36	4,33
M5	6,99	0,07	7,06	33,22	4,31
V6	6,91	0,15	7,06	33,22	4,31
V7	3,87	0,30	4,16	19,59	2,54
H8	2,00	0,60	2,60	12,25	1,59

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,138 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 34,10$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{7,71}$$

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

Locatie	R [m]	Q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
	75	0,0026	0,080
	75	0,0026	0,080
	75	0,0026	0,080
V4	75	0,0026	0,080
V6	75	0,0026	0,080

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,083 \cdot Q_r \cdot 75 \cdot \frac{37,50}{7,71}$$

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

Leiding is drukloos

$$\sigma_{ax} = 0 \text{ N/mm}^2$$

7. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{26,20}{68,2^3} = 0,0805 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{80,54 \text{ kN/m}^2}$$

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



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2022 1.3 ©

8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

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

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

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

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 26,20}{68,20^3} = 1,53 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 26,20}{68,20^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **27,53** 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]
H2	1,96	-	0,65	1,27
V3	2,55	-	0,65	1,66
	2,80	0,080	0,65	1,87
	1,90	0,080	0,65	1,29
	2,63	0,080	0,65	1,76
V4	3,45	0,080	0,65	2,29
	4,33	-	0,65	2,81
M5	4,31	-	0,65	2,80
V6	4,31	0,080	0,65	2,85
V7	2,54	-	0,65	1,65
H8	1,59	-	0,65	1,03

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

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

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

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]
H2	0,00	0,00	-	-	0,00
V3	0,00	0,00	-	-	0,00
	0,00	0,00	0,76	0,65	0,49
	0,00	0,00	0,76	0,65	0,49
	0,00	0,00	0,76	0,65	0,49
V4	0,00	0,00	0,76	0,65	0,49
	0,00	0,00	-	-	0,00
M5	0,00	0,00	-	-	0,00
V6	0,00	0,00	0,76	0,65	0,49
V7	0,00	0,00	-	-	0,00
H8	0,00	0,00	-	-	0,00

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

Bochten: $\sigma_x = \sigma_{ax} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_b$

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



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 [%]
H2	2,71	0,49	-	0,39	0,57
V3	4,05	0,14	-	0,33	0,48
	4,46	0,12	0,0026	0,88	1,29
	3,11	0,00	0,0026	0,56	0,82
	4,30	0,00	0,0026	0,90	1,32
V4	5,56	0,08	0,0026	1,09	1,60
	7,02	0,07	-	1,37	2,01
M5	6,99	0,07	-	1,37	2,01
V6	6,91	0,15	0,0026	1,36	2,00
V7	3,87	0,30	-	0,32	0,47
H8	2,00	0,60	-	0,38	0,55

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

$$\delta_y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 34,10^3}{350 \cdot 26,20}$$

Toelaatbare deflectie = $8\% \cdot D_g = 0,08 \cdot 68,20 = \mathbf{5,46 \text{ mm}}$



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]
H2	2,00	29,07	17,95	23,51	37,13	1,33
V3	5,45	37,22	27,59	32,41	41,76	0,31
	6,15	40,57	18,77	29,67	45,61	34,72
	5,56	24,67	12,33	18,50	27,75	9,67
	6,99	35,27	15,04	25,15	39,58	56,80
V4	8,01	47,52	21,99	34,75	53,43	38,75
	8,99	63,56	29,41	46,48	71,46	43,53
M5	8,97	63,23	29,26	46,24	71,09	43,43
V6	8,92	62,41	28,88	45,64	70,17	43,20
V7	5,09	35,23	26,11	30,67	39,58	0,29
H8	1,75	20,37	10,96	15,66	23,78	1,74

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

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

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

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

$$E_{100, norm} = E_{100} \cdot (q_n/100)^m \quad (\text{Zand/Leem/Grind} \rightarrow m = 0,5; \text{Veen/Klei} \rightarrow m = 0,8)$$

Locatie	G [MN/m ²]	Q [-]	u [N/mm ²]	v [-]	p_{lim} [N/mm ²]	90% p_{lim} [bar] 1
H2	0,91	0,015	0,0048	0,3817	0,15	1,35
V3	0,29	0,032	0,0425	0,4257	0,13	1,18
	18,65	0,00085	0,0497	0,3163	0,59	5,30
	5,44	0,0017	0,0649	0,3333	0,30	2,68
	29,35	0,00049	0,0792	0,2989	0,72	6,44
V4	20,81	0,00090	0,0793	0,3163	0,70	6,30
	23,38	0,0011	0,0793	0,3163	0,86	7,74
M5	23,33	0,0011	0,0793	0,3163	0,86	7,71
V6	23,20	0,0011	0,0793	0,3163	0,85	7,64
V7	0,28	0,032	0,0426	0,4257	0,13	1,14
H8	1,03	0,0079	0,0099	0,3499	0,13	1,14

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$K = 1 - \sin(\varphi)$$

$$v = \frac{K}{1 + K}$$

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



11.1 Tijdens pilot

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	Δh_{in} [m]	p_{max} [N/mm ²]	p_{max} [bar] 2	p_{min} [N/mm ²]	p_{min} [bar] 3
H2	1,00	2,11	0,14	1,40	0,03	0,26
V3	2,73	5,89	0,13	1,31	0,07	0,72
	0,68	6,63	0,28	2,83	0,08	0,81
	0,48	8,17	0,17	1,69	0,10	1,00
	0,89	9,55	0,34	3,45	0,12	1,18
V4	0,66	9,56	0,35	3,48	0,12	1,18
	0,60	9,56	0,42	4,17	0,12	1,19
M5	0,61	9,56	0,42	4,16	0,12	1,20
V6	0,61	9,56	0,41	4,12	0,12	1,22
V7	2,55	5,89	0,13	1,27	0,08	0,84
H8	0,88	2,62	0,11	1,09	0,05	0,49

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

$$R_o = \frac{D_p}{2} = \frac{125}{2} = 62,5 \text{ mm}$$

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

$$v_{m,p} = \frac{Q_{m,p}}{A_p} = \frac{40}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - D_b^2)} = \frac{40}{1/4 \cdot \pi \cdot (125^2 - 52^2)} = 0,066 \text{ m/s}$$

$$p_{min} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_p \cdot v_{m,p}}{(D_p - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,p}}{D_p - D_b} \right) \cdot L + \rho_{m,p} \cdot \Delta h_{in}$$



11.2 Tijdens intrekken

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	Δh_{uit} [m]	p_{max} [N/mm ²]	p_{max} [bar] 4	p_{min} [N/mm ²]	p_{min} [bar] 5
H8	0,88	1,73	0,10	1,04	0,02 ⁽¹⁾	0,21
V7	2,55	5,00	0,13	1,26	0,06 ⁽¹⁾	0,61
V6	0,73	8,67	0,41	4,12	0,11 ⁽¹⁾	1,08
M5	0,73	8,67	0,42	4,16	0,11 ⁽¹⁾	1,09
	0,73	8,67	0,42	4,17	0,11 ⁽¹⁾	1,10
V4	0,79	8,67	0,35	3,48	0,11 ⁽¹⁾	1,11
	1,07	8,66	0,34	3,45	0,11 ⁽¹⁾	1,11
	0,58	7,28	0,17	1,69	0,10 ⁽¹⁾	0,98
	0,81	5,74	0,28	2,83	0,08 ⁽¹⁾	0,81
V3	2,73	5,00	0,13	1,31	0,07 ⁽²⁾	0,73
H2	1,00	1,22	0,14	1,37	0,03 ⁽²⁾	0,27

$$R_o = \frac{D_{g,i}}{2} = \frac{150,0}{2} = 75,0 \text{ mm}$$

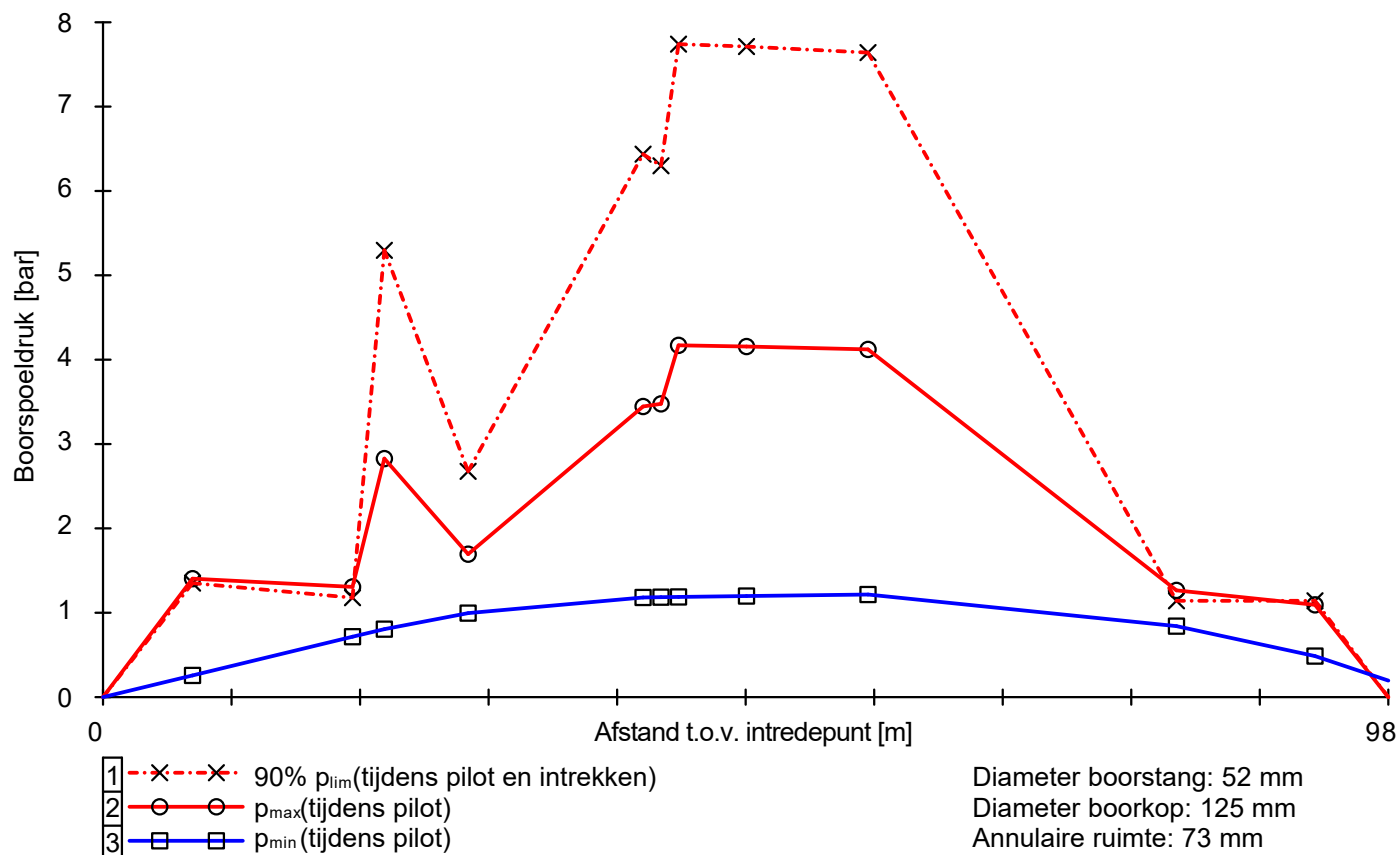
$$v_{m,i,uit} = \frac{Q_{m,i}}{A_i} = \frac{132}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,i}^2 - D_o^2)} = \frac{132}{1/4 \cdot \pi \cdot (150^2 - 75^2)} = 0,166 \text{ m/s}$$

$$p_{min,uit} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_i \cdot v_{m,i,uit}}{(D_{g,i} - D_o)^2} + \frac{\tau_{y,i}}{D_{g,i} - D_o} \right) \cdot (L_{tot} - L) + \rho_{m,i} \cdot \Delta h_{uit} \quad (1)$$

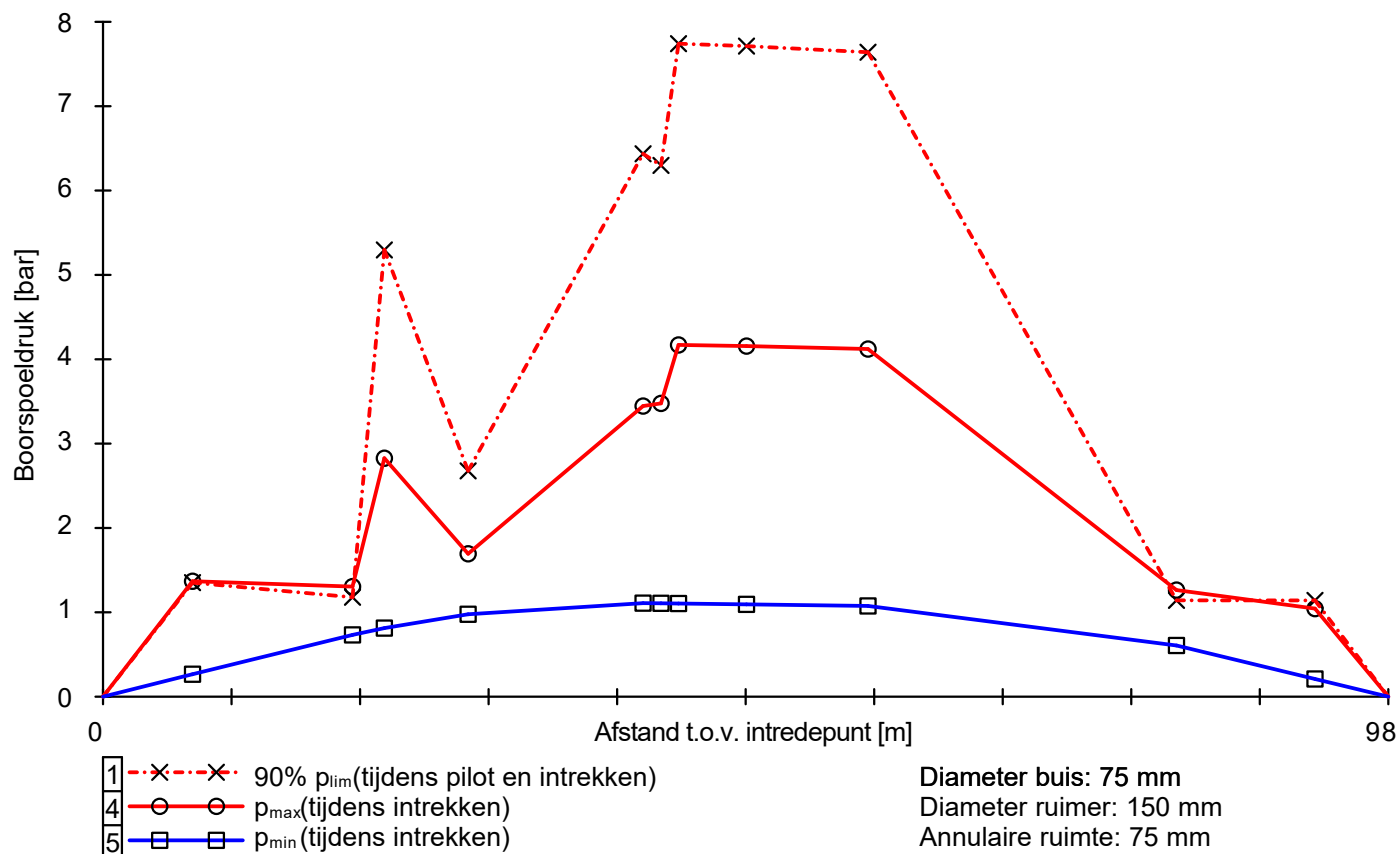
$$p_{min,in} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_i \cdot v_{m,i,in}}{(D_p - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,i}}{D_p - D_b} \right) \cdot L + \rho_{m,i} \cdot \Delta h_{in} \quad (2)$$



11.3 Boorspoeldrukken tijdens pilot



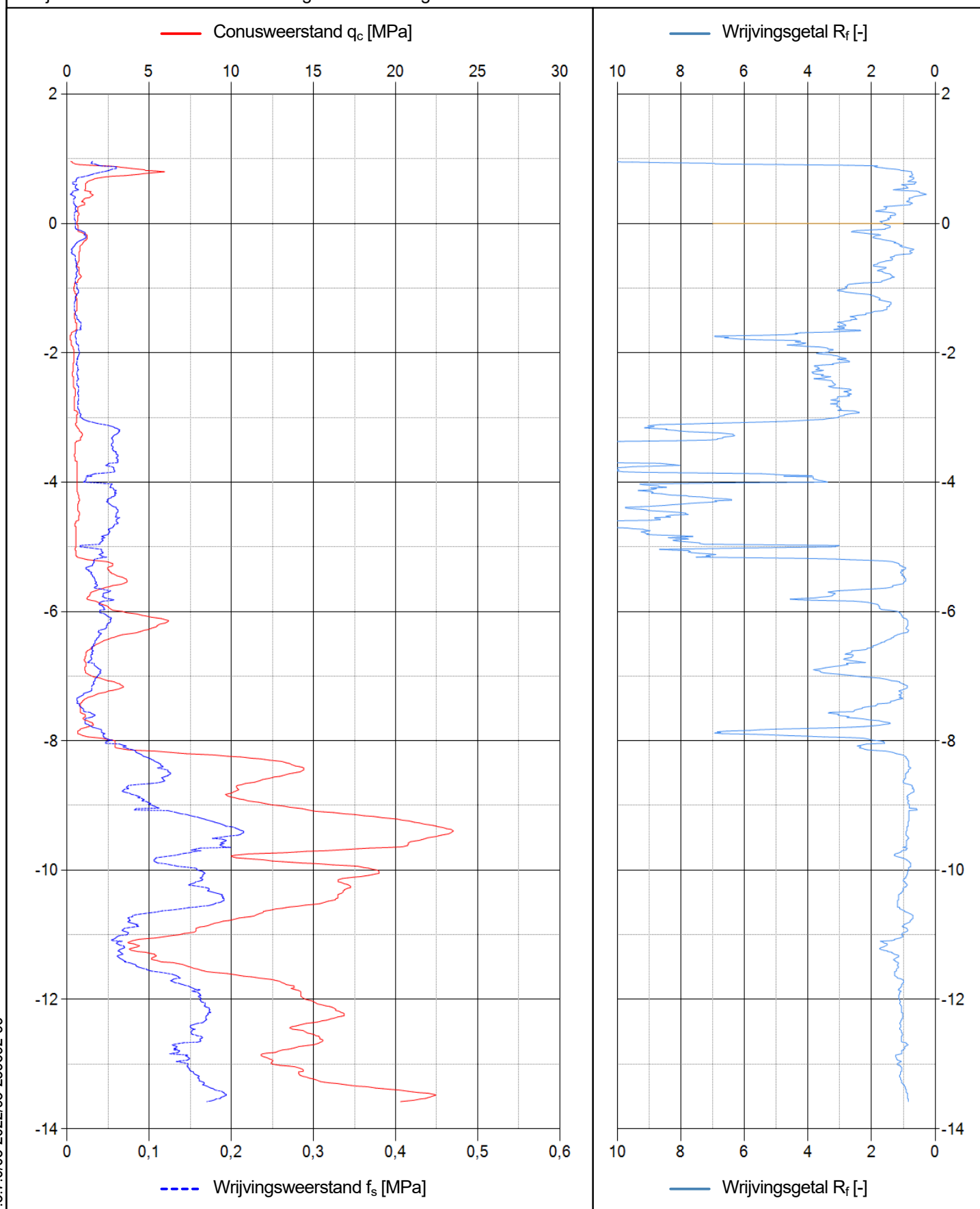
11.4 Boorspoeldrukken tijdens intrekken





Naam van het project : Aanleg waterleiding met behulp van horizontaal gestuurde boring

Projectonderdeel : Horizontaal gestuurde boring met ProCAD HDD-inleestool





Naam van het project : Aanleg waterleiding met behulp van horizontaal gestuurde boring

Projectonderdeel : Horizontaal gestuurde boring met ProCAD HDD-inleestool

