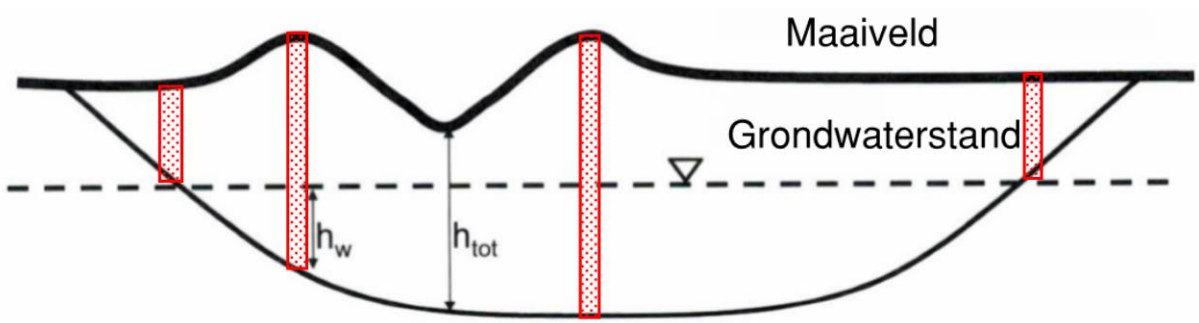
Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Grondbelasting bij een HDD



Over het hele tracé wordt de geboorde leiding belast met grond.
De grondbelasting is de belangrijkste belasting die van buitenaf op de leiding wordt uitgeoefend.

Grondeigenschap			Zand [a]			Klei			Veen
Omschrijving		Eenheid	Vast	Matig vast	Los	Vast	Matig vast	Slap	Slap
Indicatieve conuswaarde [b]	q_c [c]	MPa	25	15	5	2	1	0,5	0,1
Elasticiteitsmodulus ('Young's modulus')	E_{100} [c]	MPa	75/110	45	15	10	2	1	0,2/0,5
Elasticiteitsmodulus sleufmateriaal	E_1 [d]	MPa	20	10	5	2	1	0,5	0,2
Volumiek gewicht, droog	γ_d	kN/m^3	19/20	18	17	19/20	17	14	10/12
Volumiek gewicht, nat	γ_{nat}	kN/m^3	21/22	20	19	19/20	17	14	10/12
Effectieve hoek van inwendige wrijving	φ' [c]	°	35/40	32,5	30	17,5/25	17,5	17,5	15
Effectieve cohesie	c' [c]	kN/m^2	–	–	–	13/15	5	0	1,0/2,5
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	kN/m^2	–	–	–	100/ 200	50	25	10/20
Primaire samendrukkingsconstante	C'_p	–	1 000/ 1 500	600	200	25/30	15	7	5/7,5
Seculaire samendrukkingsconstante	C'_s	–	–	–	–	320/ 500	160	80	20/30
Doorlatendheidscoëfficiënt [e]	$K_{v,h}$	m/s	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-12}	10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}

Grondeigenschappen volgens NEN 3650:2017 Tabel B.1

Grondbelasting bij een HDD grondsoorten volgens NEN 3650:2020

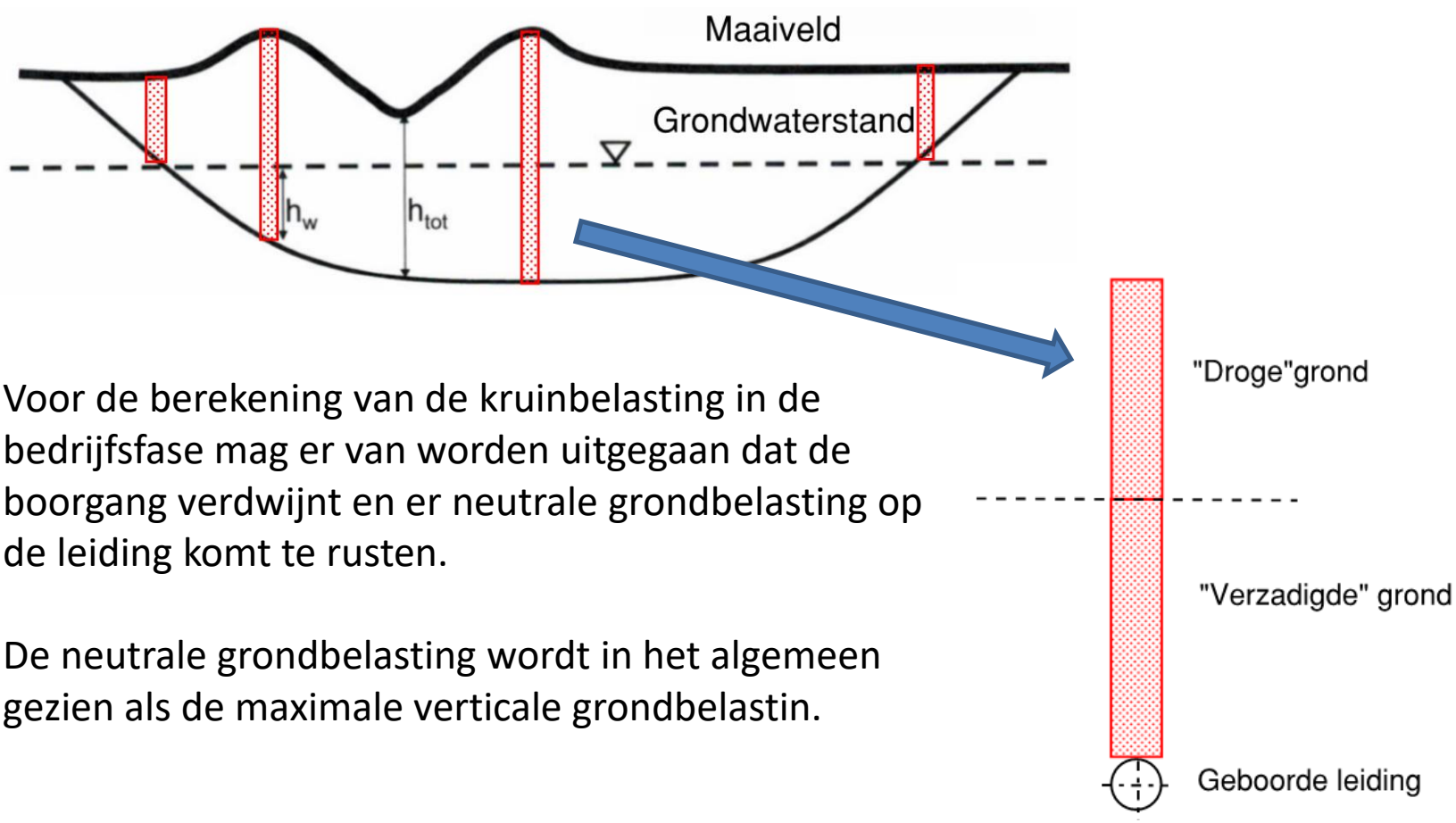
Overzicht grondparameters volgens NEN 3650

		Hoofdnaam	Grind								Zand								Leem					
		Bijmengsel	Zwak siltig				Sterk siltig				Schoon				Zwak siltig, kleiig		Sterk siltig, kleiig		Zwak zandig				Sterk zandig	
		Consistentie	Los	Matig	Vast		Los	Matig	Vast		Los	Matig	Vast						Slap	Matig	Vast			
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	[kN/m³]	17	18	19	20	18	19	20	21	17	18	19	20	18	19	18	19	19	20	21	22	19	20
Volumiek gewicht natte grond	γ_n	[kN/m³]	19	20	21	22	20	21	22	22.5	19	20	21	22	20	21	20	21	19	20	21	22	19	20
Inwendige wrijvingshoek grond	φ	[°]	32.5	35	37.5	40	30	32.5	35	40	30	32.5	35	40	27	32.5	25	30	27.5 30	27.5 32.5	27.5	35	27.5	35
Effectieve cohesie	c'	[kN/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2.5	3.8	0	1
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	[kN/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	100	200	300	50	100
E-modulus ondergrond	E_{100}	[MN/m²]	45	75	90	105	30	45	75	110	15	45	75	110	35	50	15	30	2	3	5	7	3	5
Samendrukkingsconstante	C'_p	[-]	500	1000	1200	1400	400	600	1000	1500	200	600	1000	1500	450	650	200	400	25	45	70	100	45	70
Relatieve verplaatsing	δ_d	[mm]	5-8	3-5	1-3		5-8	3-5	1-3		5-8	3-5	1-3		3-6		3-6		3-6	3-6	3-6		3-6	

		Hoofdnaam	Klei														Veen			
		Bijmengsel	Schoon				Zwak zandig				Sterk zandig		Organisch				Niet voorbelast		Matig voorbelast	
		Consistentie	Slap	Matig	Vast		Slap	Matig	Vast				Slap		Matig		Slap		Matig	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	[kN/m³]	14	17	19	20	15	18	20	21	18	20	13		15	16	10	12	12	16
Volumiek gewicht natte grond	γ_n	[kN/m³]	14	17	19	20	15	18	20	21	18	20	13		15	16	10	12	12	16
Inwendige wrijvingshoek grond	φ	[°]	17.5	17.5	17.5	25	22.5	22.5	22.5	27.5	27.5	32.5	15		15	15	15	15	15	15
Effectieve cohesie	c'	[kN/m²]	0	5	13	15	0	5	13	15	0	1	0	1	0	1	1	2.5	2.5	1
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	[kN/m²]	25	50	100	200	40	80	120	170	0	10	10		25	30	10	20	20	30
E-modulus ondergrond	E_{100}	[MN/m²]	1	2	4	10	1.5	2	5	10	2	5	0.5		1	2	0.2	0.5	0.5	2
Samendrukkingsconstante	C'_p	[-]	7	15	25	30	10	20	30	50	25	140	7.5		10	15	5	7.5	7.5	15
Relatieve verplaatsing	δ_d	[mm]	6-10	4-6	2-4		6-10	4-6	2-4		3-6		10-15		6-10		10-15		16-10	

Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Grondbelasting bij een HDD

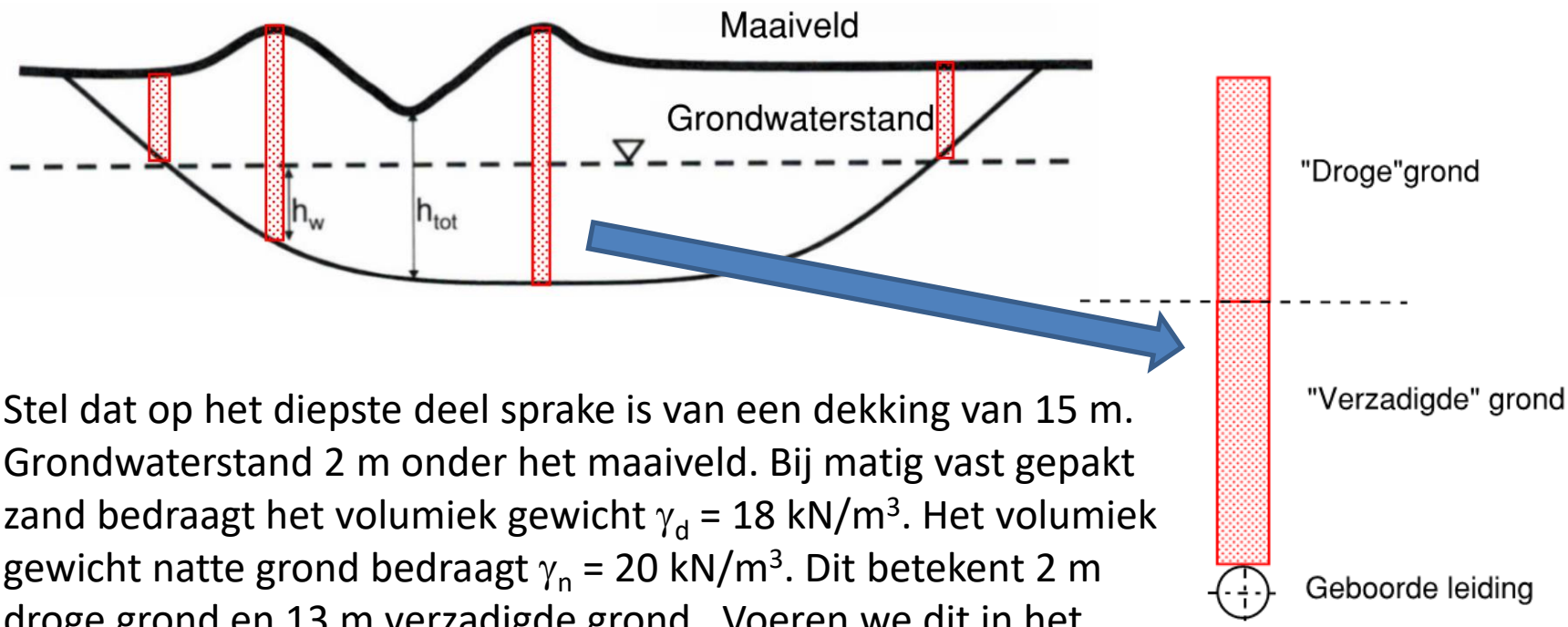


Voor de berekening van de kruinbelasting in de bedrijfsfase mag er van worden uitgegaan dat de boorgang verdwijnt en er neutrale grondbelasting op de leiding komt te rusten.

De neutrale grondbelasting wordt in het algemeen gezien als de maximale verticale grondbelastin.

Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Grondbelasting bij een HDD: Leiding in zandgrond



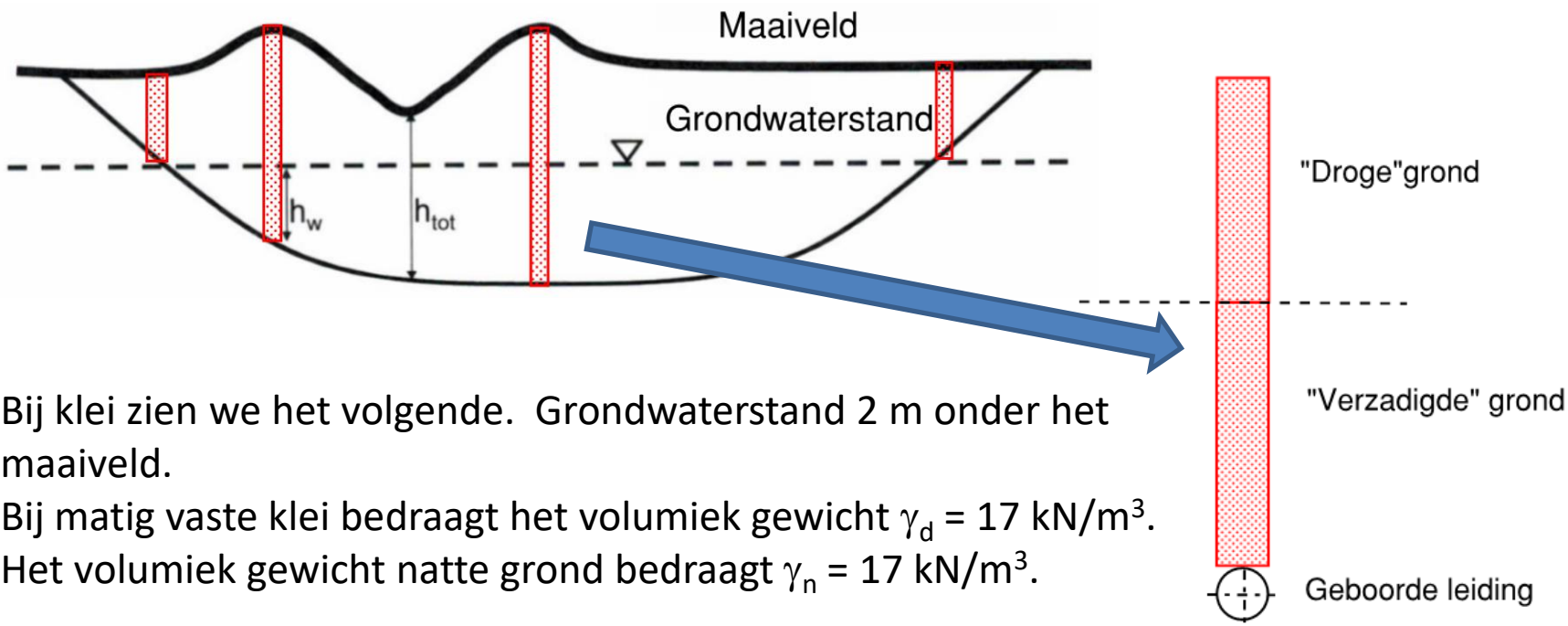
Stel dat op het diepste deel sprake is van een dekking van 15 m. Grondwaterstand 2 m onder het maaiveld. Bij matig vast gepakt zand bedraagt het volumiek gewicht γ_d = 18 kN/m^3. Het volumiek gewicht natte grond bedraagt γ_n = 20 kN/m^3. Dit betekent 2 m droge grond en 13 m verzadigde grond. Voeren we dit in het programma Sigma in dan zien we met een partiële factor γ van 1,1 en het gewicht van het grondwater van γ_w van 10 kN/m^3:

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

$$q_n = 1{,}1 \cdot 18 \cdot 2 + 1{,}1 \cdot 20 \cdot 13 - 10 \cdot 13 = 195{,}60 \text{ kN/m}^2$$

Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Grondbelasting bij een HDD: Leiding in kleigrond



Bij klei zien we het volgende. Grondwaterstand 2 m onder het maaiveld.
Bij matig vaste klei bedraagt het volumiek gewicht γ_d = 17 kN/m^3.
Het volumiek gewicht natte grond bedraagt γ_n = 17 kN/m^3.

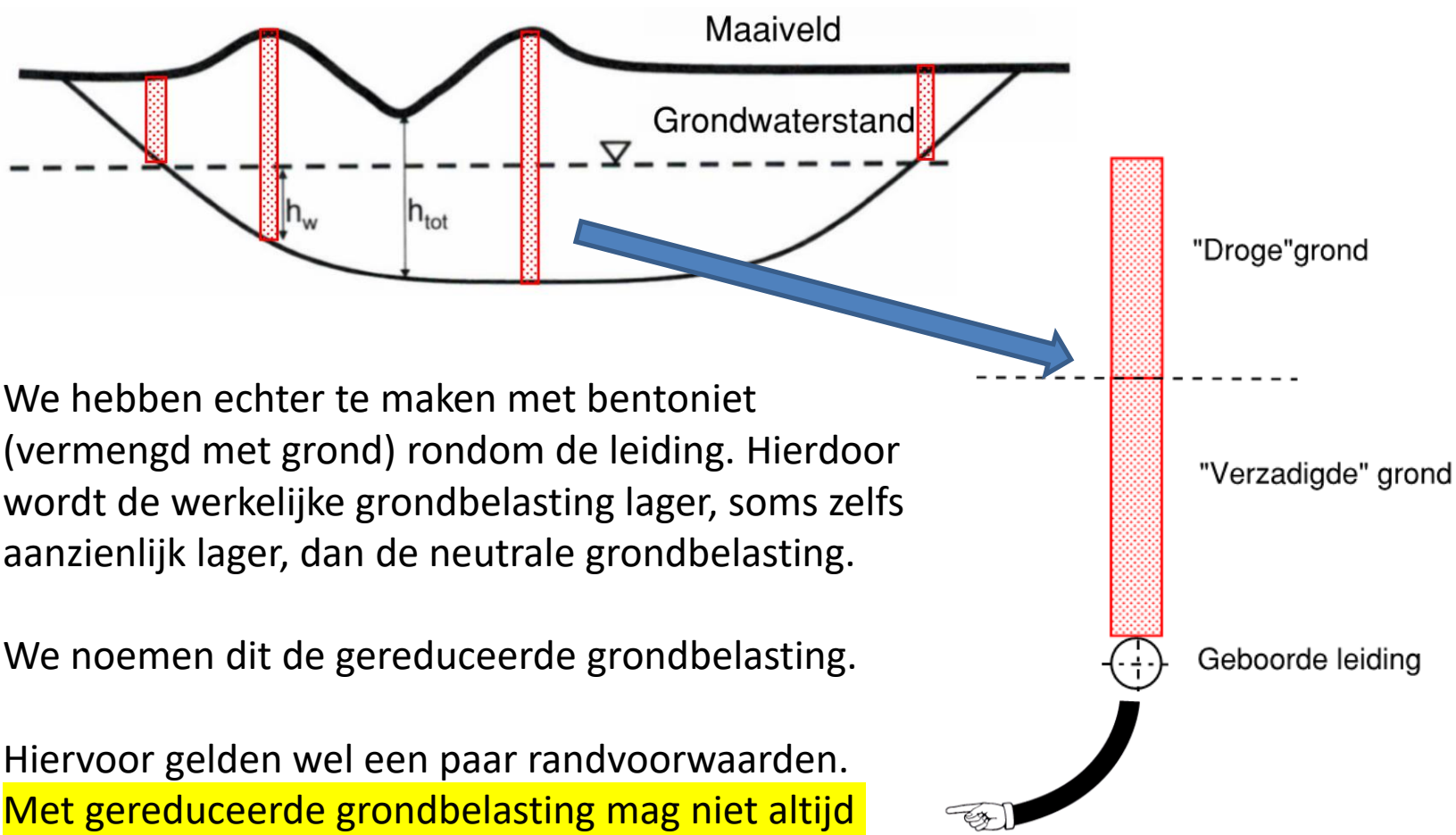
$$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$q_n = 1{,}1 \cdot 17 \cdot 2 + 1{,}1 \cdot 17 \cdot 13 - 10 \cdot 13 = 150{,}50 \text{ kN/m}^2$$

Het verschil met zandgrond bedraagt 45,10 kN/m^2.

Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Grondbelasting bij een HDD



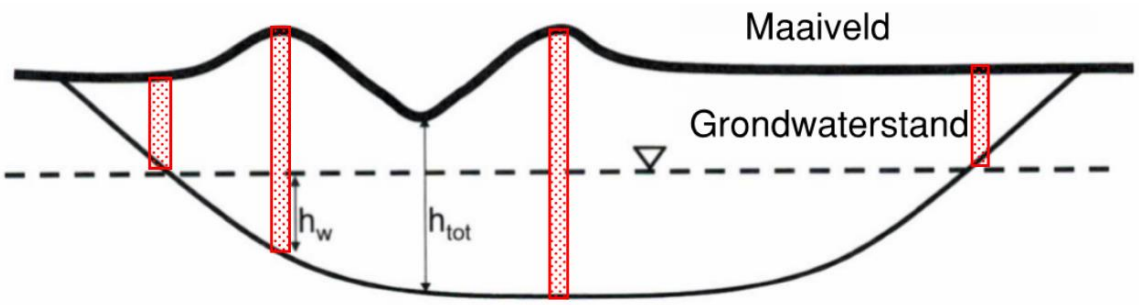
We hebben echter te maken met bentoniet (vermengd met grond) rondom de leiding. Hierdoor wordt de werkelijke grondbelasting lager, soms zelfs aanzienlijk lager, dan de neutrale grondbelasting.

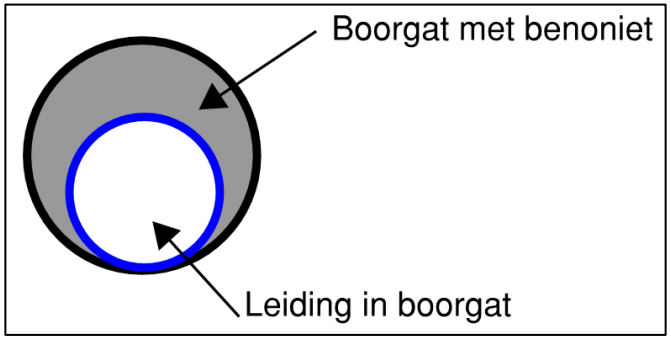
We noemen dit de gereduceerde grondbelasting.

Hiervoor gelden wel een paar randvoorwaarden.
Met gereduceerde grondbelasting mag niet altijd worden gerekend!!

Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Grondbelasting bij een HDD: gewelfwerking





Omdat er door het ruimen van het boorgat grond is weggeboord zal de grond boven de geboorde leiding willen zakken.

Dit zakken wordt grotendeels verhinderd door de opgestijfde bentoniet. Deze bentoniet vormt een zeer samendrukbare laag. Hierdoor wil de “zuil van grond” die op de leiding rust zakken t.o.v. de omringende grond.

Daardoor zal een schuifspanning optreden die tegengesteld is aan de bewegingsrichting van de grondzuil.

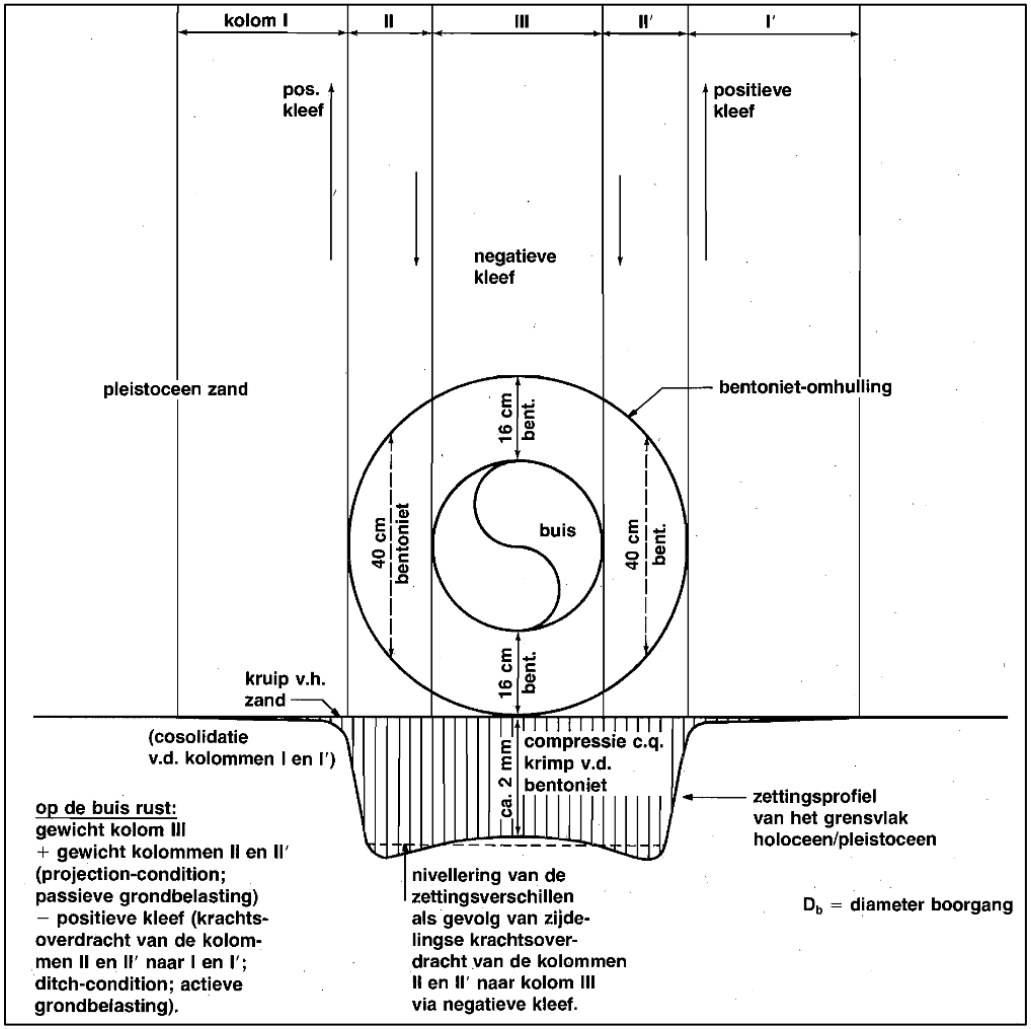
Deze schuifspanning zal er dus voor zorgen dat het gewicht van de bovenliggende lagen kleiner wordt dan de verticale grondspanning.

Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Grondbelasting bij een HDD: gewelfwerking

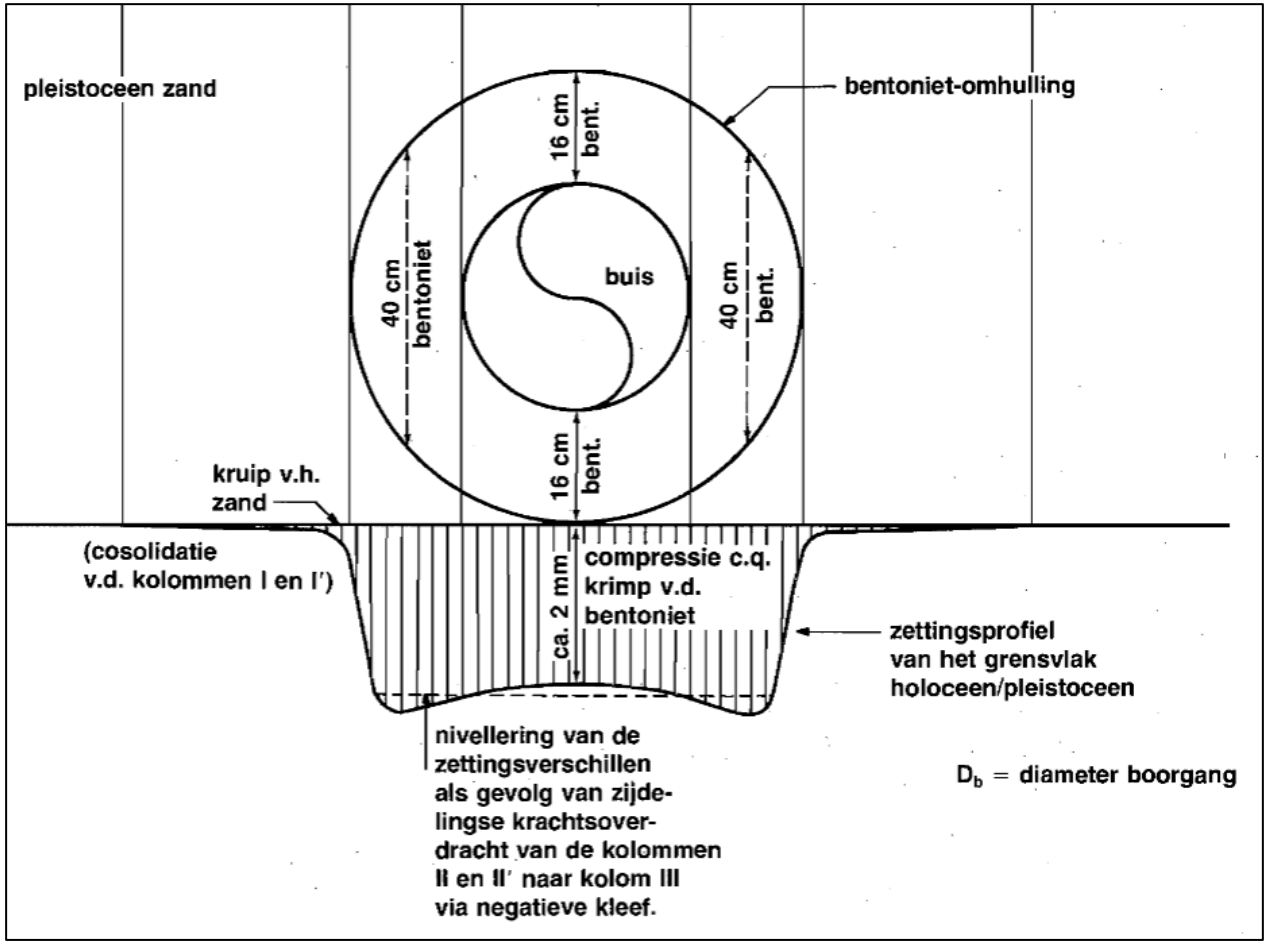
Naar aanleiding van een project in Vlaardingen eind 1986/begin 1987 waarbij bleek dat de leiding ruim 14 meter dieper werd geboord dan verwacht (zeer slappe grondslag in combinatie met onbekendheid in het gebied (buitenlands boorbedrijf) heeft ir. De Kock (provincie Zuid-Holland) een berekeningsmethode gepubliceerd om de grondbelasting voor diepere boringen beter (realistischer) te berekenen.

Deze berekeningsmethode is in de 7e revisie van de Pijpleidingcode 1992 toegelicht.



Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Grondbelasting bij een HDD: gewelfwerking

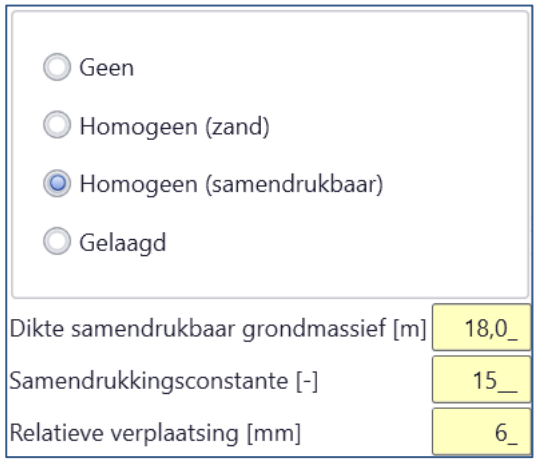


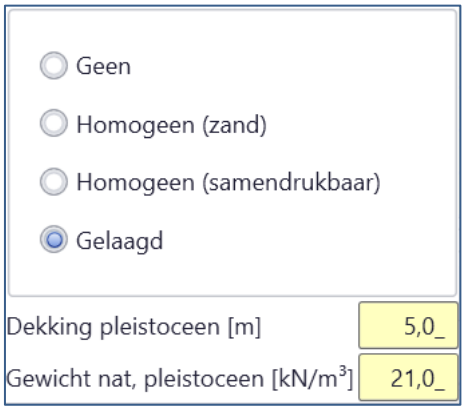
Gedrag bentoniet rondom de geboorde buis volgens De Kock

Grondbelasting bij een HDD: gewelfwerking

De berekeningsmethode De Kock is alleen van toepassing in het holoceen en het pleistoceen. Hierbij is hij er vanuit gegaan dat we te maken hebben met klei/veen (en soms zand) in het holoceen en zandgrond in het pleistoceen.

Bij een complexe gelaagdheid van de grond is de berekening van de gewelfwerking niet of slecht gedeeltelijk toegestaan. Om die reden moet de gebruiker van het programma Sigma zelf aanvinken of hij wil rekenen met gewelfwerking en, zo ja, welke parameters/eigenschappen van toepassing zijn. Men krijgt dan de volgende opties:

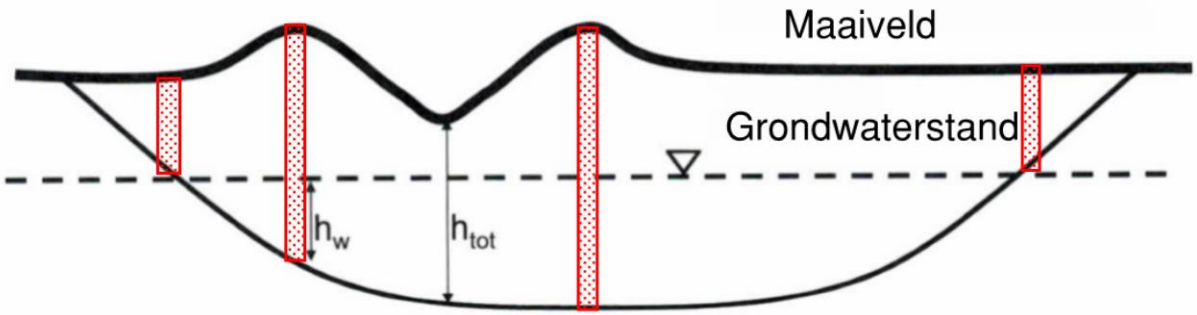




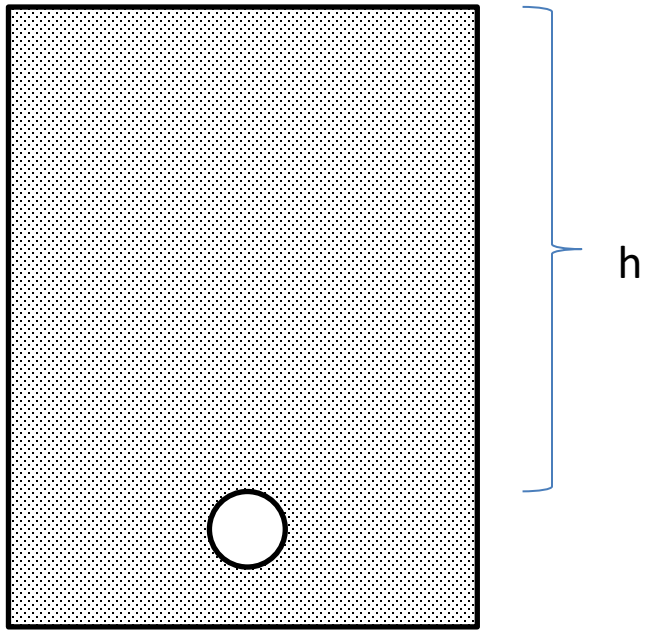
Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Grondbelasting bij een HDD: gewelfwerking

Homogeen grondmassief (zand)



- Geen
- Homogeen (zand)
- Homogeen (samendrukbaar)
- Gelaagd



$$Q_{n,r1} = \frac{B_1 \times \left(\gamma' - c/B_1\right)}{K \times \tan\varphi} \times \left(1 - e^{\frac{-K \cdot h \cdot \tan\varphi}{B_1}}\right) \times D_o$$

Geldig in een homogeen grondmassief van zand

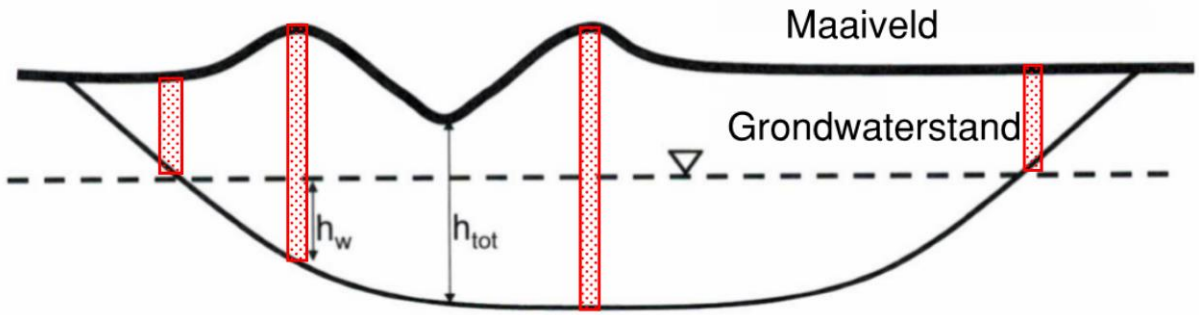
Alleen toepasbaar als dekking ≥ 8 x B_1

$B_1 = 1/2D_o + D_o \times \tan(45° - 1/2\varphi) \geq R$

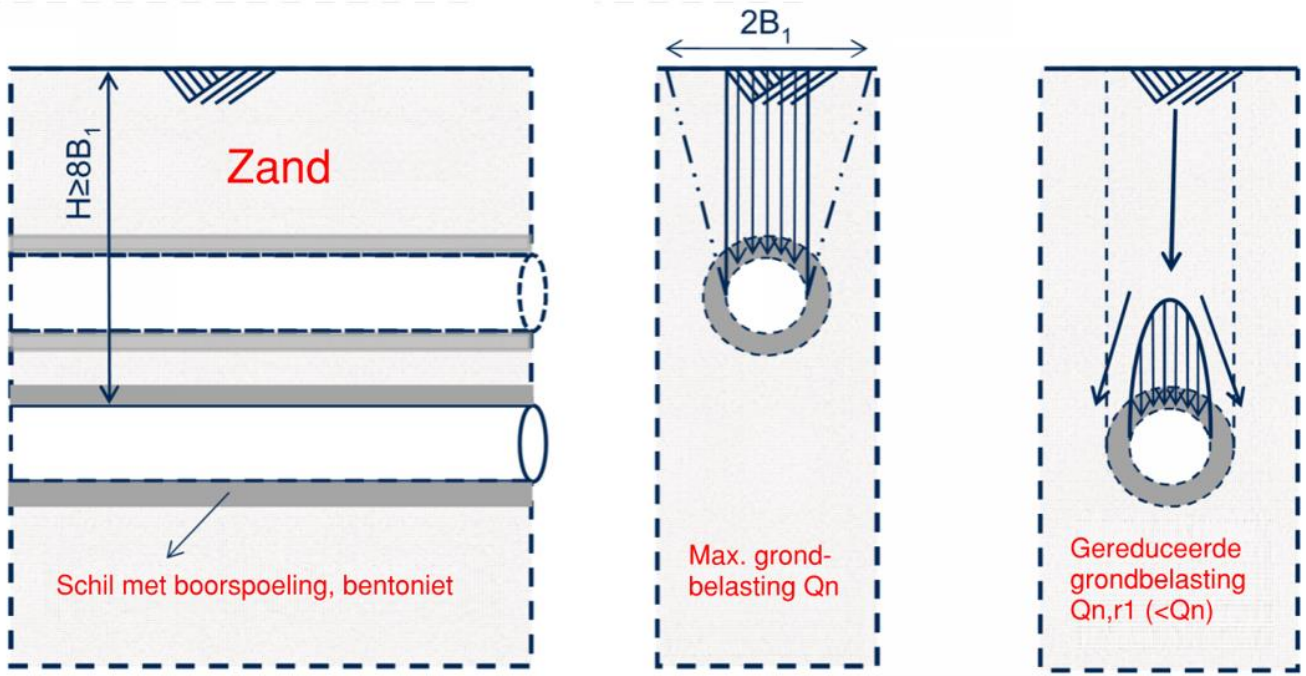
Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Grondbelasting bij een HDD: gewelfwerking

Homogeen grondmassief (zand)



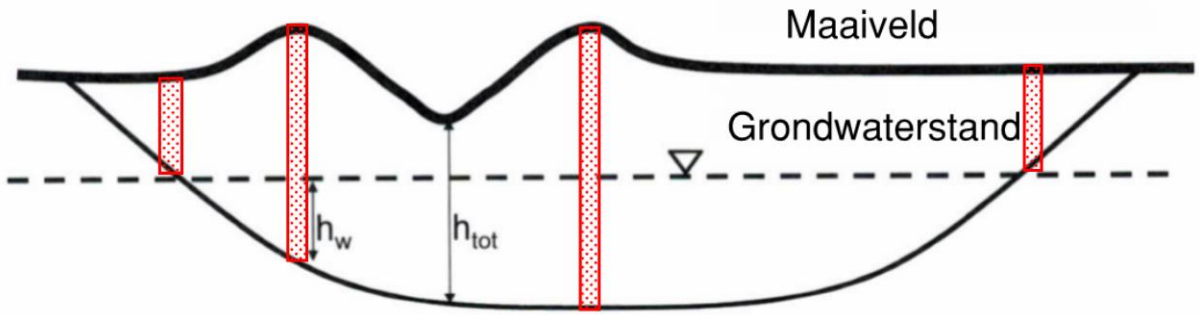
- Geen
- Homogeen (zand)
- Homogeen (samendrukbaar)
- Gelaagd

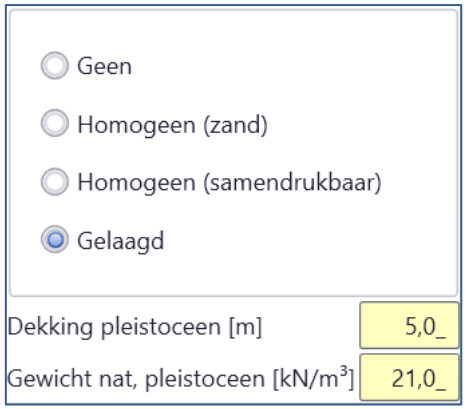


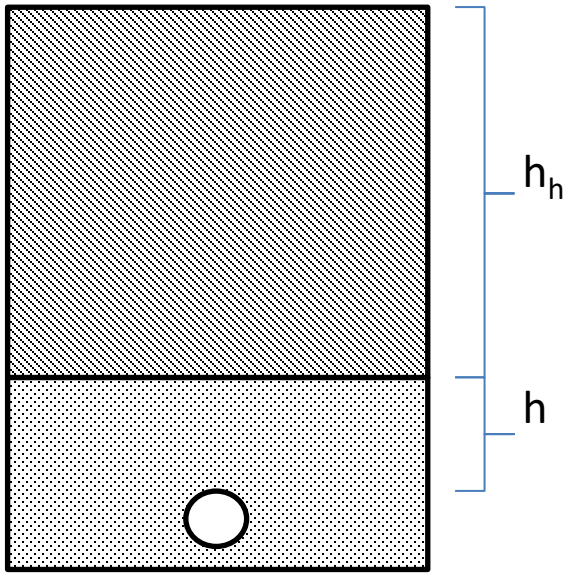
Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Grondbelasting bij een HDD: gewelfwerking

Gelaagd grondmassief met leiding in pleistoceen







$$Q_{n,r} = \frac{B_1 \times \gamma'}{K \times \tan\varphi}\left(1 - e^{-K \times h \times \tan\varphi / B_1}\right) D_0 + \sigma_c D_0 \, e^{-K \times h \times \tan\varphi / B_1}$$

$$\sigma_c = \gamma'_h \times h_h$$

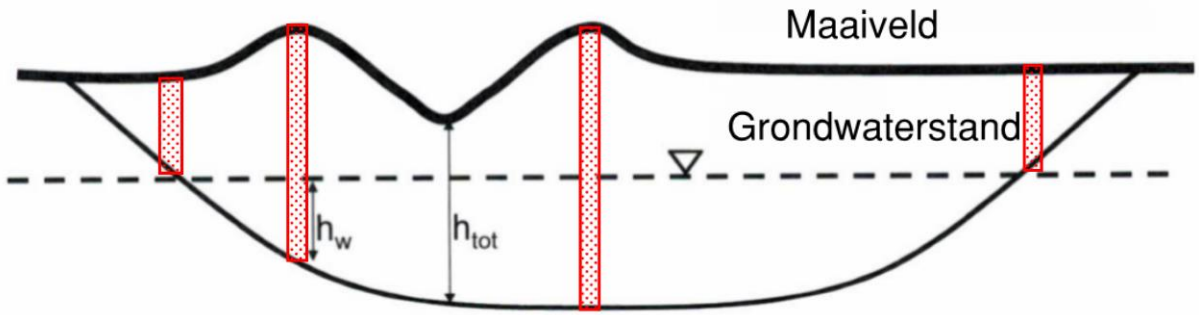
Geldig in een gelaagd grondmassief

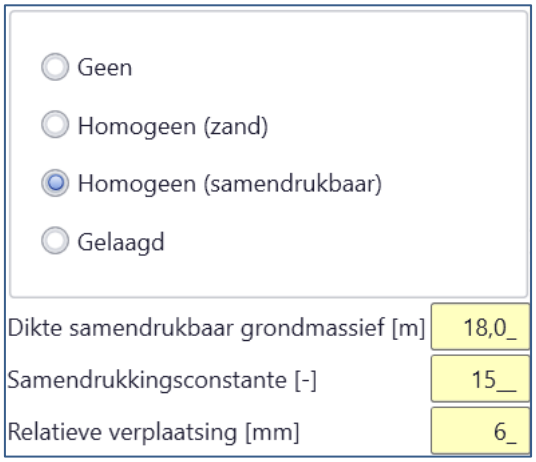
Geldt als dekking in pleistoceen $h \geq 8 \times B_1$

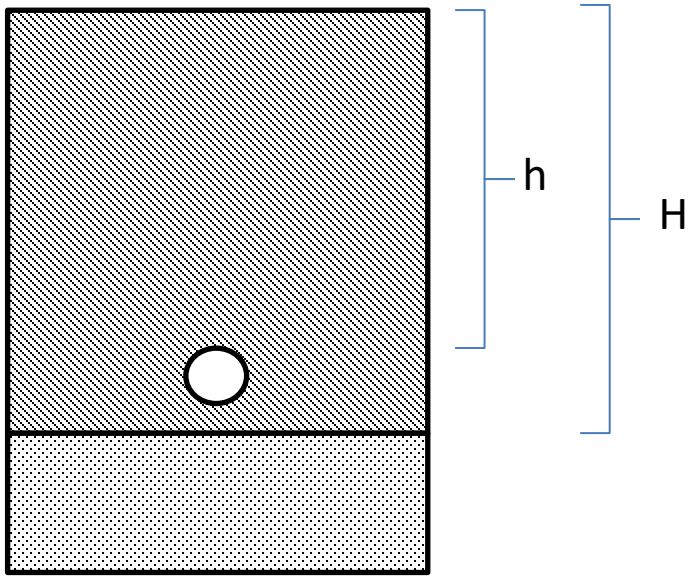
Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Grondbelasting bij een HDD: gewelfwerking

Homogeen grondmassief van samendrukbare grond







$$Q_{n,r2} = (h \times \gamma - F_r / 2B_1) \times D_o$$

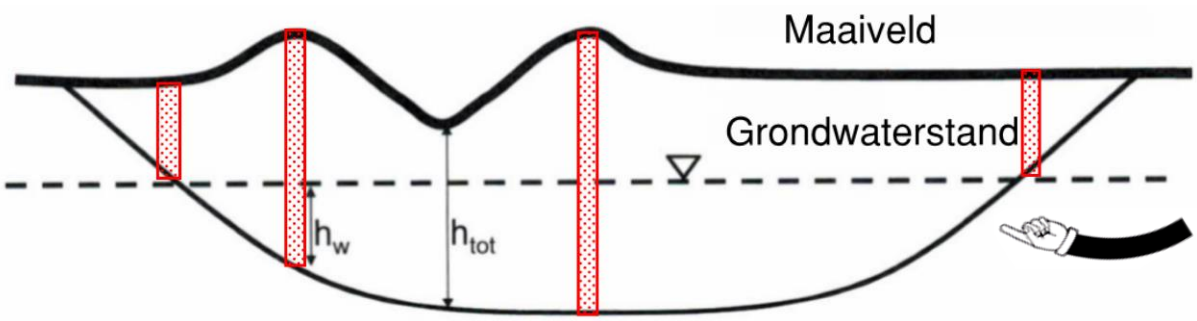
$$F_r = \frac{0{,}9F_{max}}{1 + \dfrac{B_1 \times (3H - 2h) \times \alpha}{2C \times H(\delta_d + F_{max} / 2B_1 \times k_v)}}$$

$$F_{max} = (h \times \gamma' - Q_{n,r1} / D_o)\, 2B_1$$

F_r is blijvende wrijving (kleef) door gewelfwerking
F_{max} is maximaal te ontwikkelen kleef
Alleen toepasbaar als dekking ≥ 8 x B_1
H = dikte van het samendrukbare grondmassief

Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Grondbelasting bij een HDD: overgangsgebied bij gewelfwerking



De maatgevende verticale grondbelasting zal in het algemeen worden gevonden op het grensvlak holoceen en pleistoceen en niet op het diepste punt van de leiding.

Voor de ligging van de leiding onder het grensvlak samendrukbaar/niet-samendrukbaar, maar hoger dan $8B_1$ in het zand zijn de rekenwijzen van $Q_{n,r}$ niet geldig. Als praktische benadering voor de bepaling van $Q_{n,r}$ in dit overgangsgebied kan worden aangehouden:

1) $0 < h < 2B_1$: $Q_{n,r}$ is constant en is gelijk aan Qn,r-grensvlak;

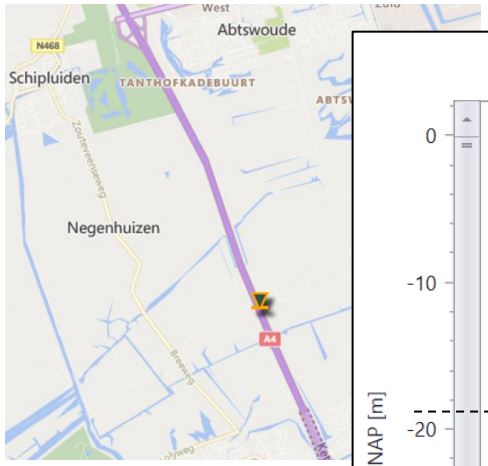
2) $2B_1 \leq h < 4B_1$: interpolatie tussen $Q_{n,r}$-grensvlak en $Q_{n,r}$-pleistoceen voor $h = 4B_1$;

3) $h \geq 4B_1$: $Q_{n,r}$-pleistoceen als functie van h.

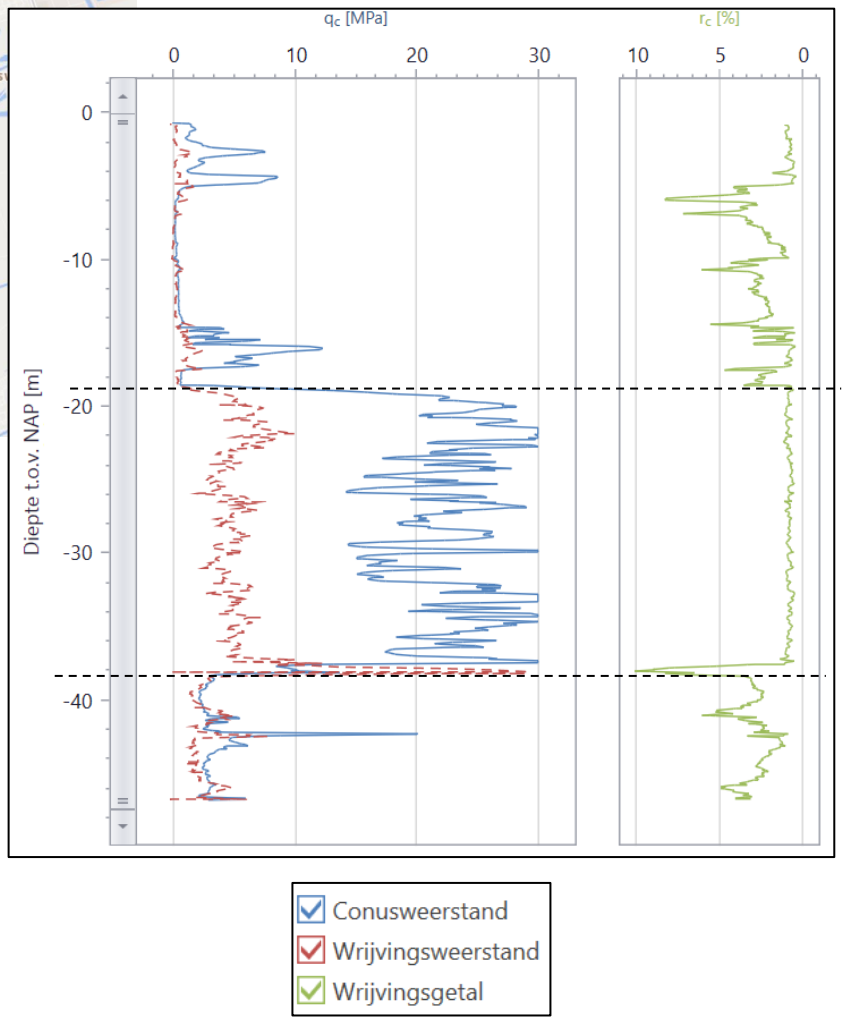
Blijkt dat $Q_{n,r}$-pleistoceen ($h = 4B_1$) groter is dan $Q_{n,r}$-grensvlak, dan vervalt 1) en geldt 2) voor $0 < h < 4B_1$.

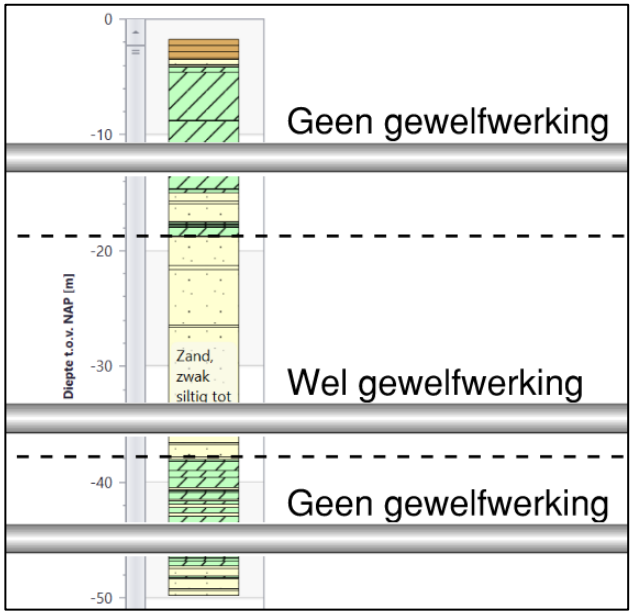
Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Grondbelasting bij een HDD: overgangsgebied bij gewelfwerking



Locatie sondering t.p.v de A4 tussen Delft en Vlaardingen

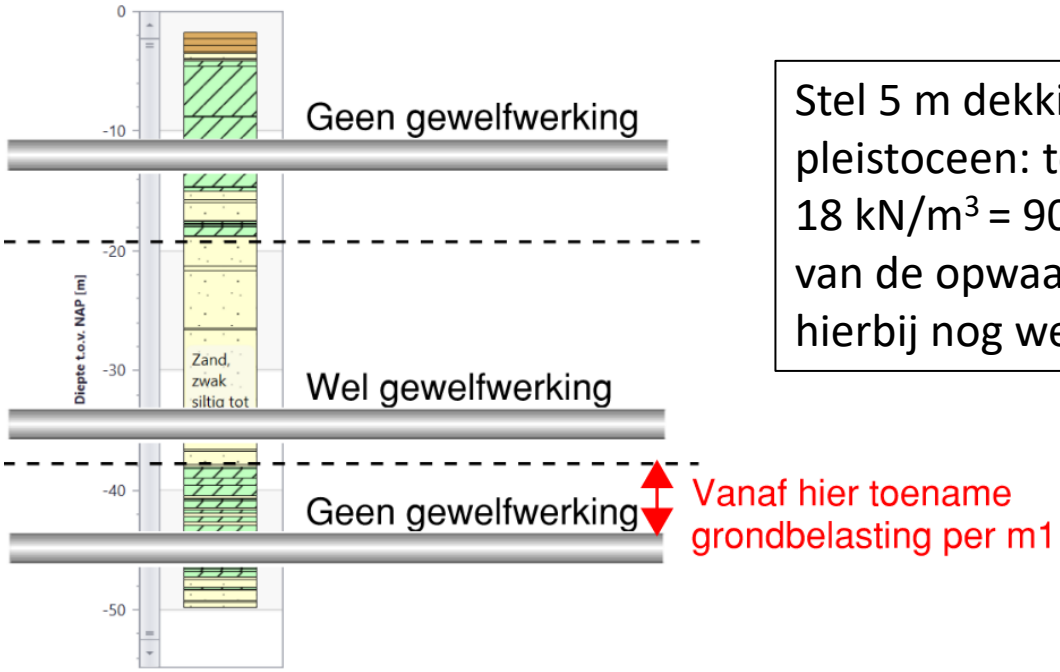




Vanaf circa NAP -37,5 m verlaat de boring het pleistoceen: daar mag geen gewelfwerking worden toegepast.

Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Grondbelasting bij een HDD: overgangsgebied bij gewelfwerking

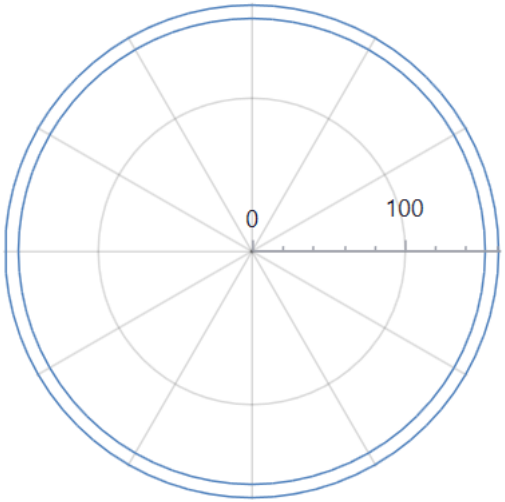


Stel 5 m dekking t.o.v. onderkant pleistoceen: toename is 5 m x circa 18 kN/m^3 = 90 kN/m^2. Het effect van de opwaartse kracht moet hierbij nog wel worden verrekend.

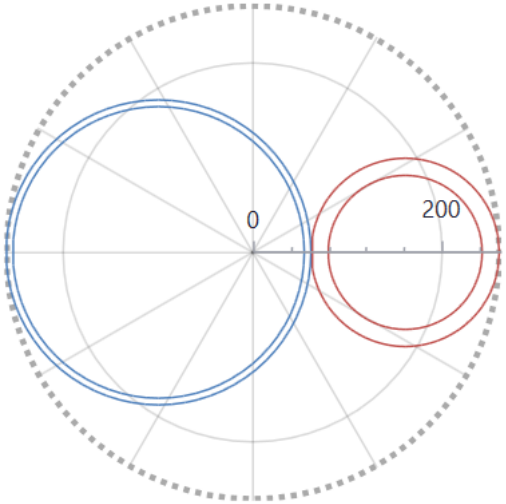
Werkwijze: bereken de gereduceerde grondbelasting op de grens van het onderkant van het pleistoceen. Bepaal hoe diep de leiding onder het pleistoceen ligt (veelal ligt de leiding daar in de klei of zanderig klei). De toename van de belasting is gelijk aan dekking x verzadigd gewicht van de klei.

Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

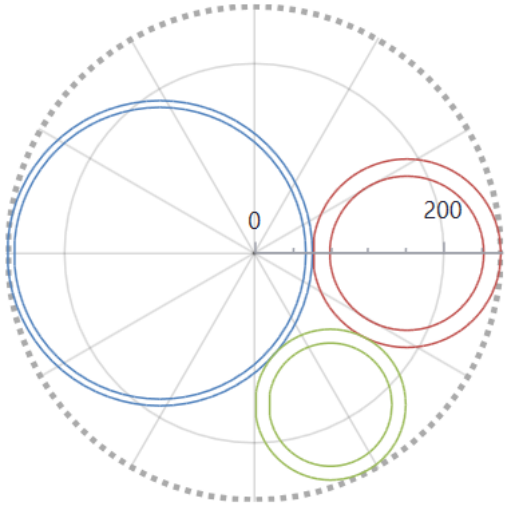
Berekeningen van gehele of gedeeltelijke gewelfwerking: 3 configuraties



Staal	L360	323,9	8,8



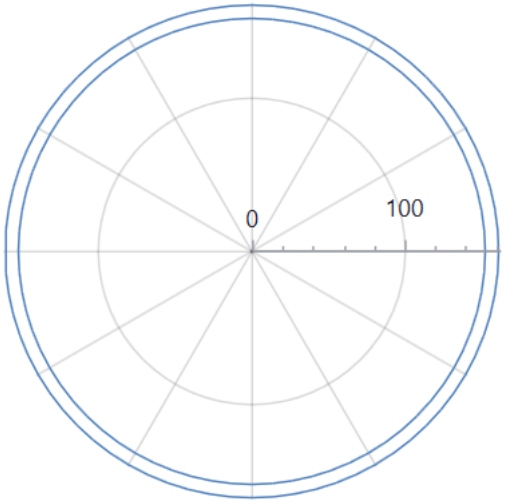
Staal	L360	323,9	8,8
PE	PE 100	200	18,2



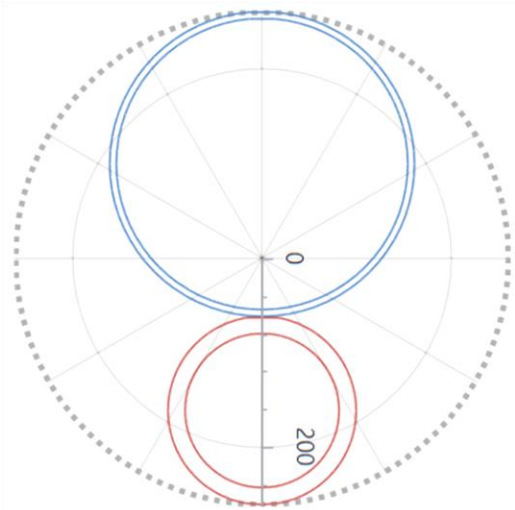
Staal	L360	323,9	8,8
PE	PE 100	200	18,2
PE	PE 100	160	14,6

Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

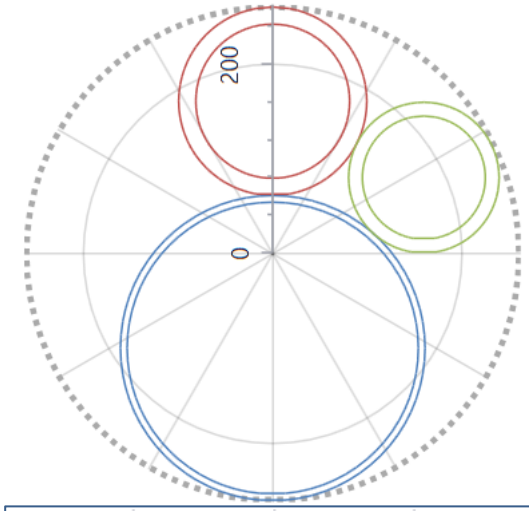
Berekeningen van gehele of gedeeltelijke gewelfwerking: 3 configuraties



Staal	L360	323,9	8,8



Staal	L360	323,9	8,8
PE	PE 100	200	18,2



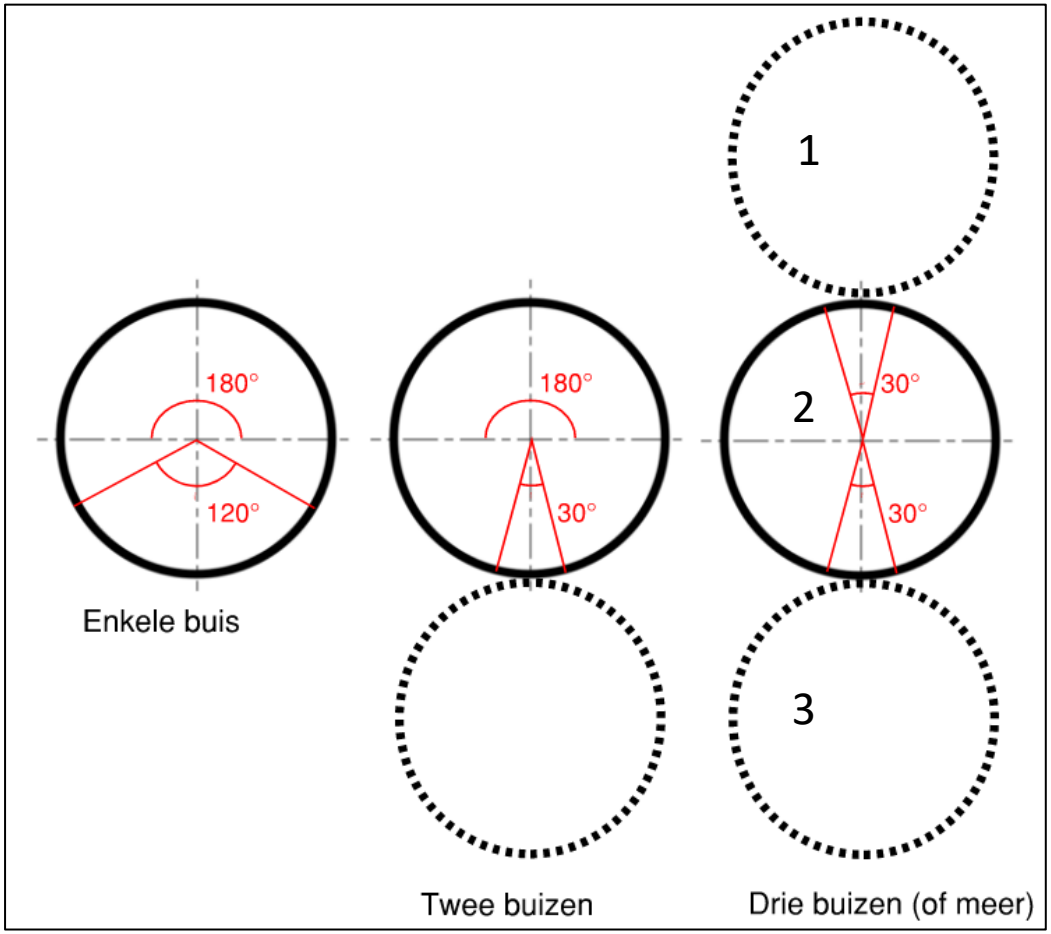
Staal	L360	323,9	8,8
PE	PE 100	200	18,2
PE	PE 100	160	14,6

Bij meerdere buizen is niet bekend welke buis boven en welke buis boven ligt. Bij drie buizen gaat de NEN 3650 er van uit dat de te berekenen buis in het midden ligt. Dat is de meest ongunstige belastingsituatie.

Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Berekeningen van gehele of gedeeltelijke gewelfwerking: 3 configuraties

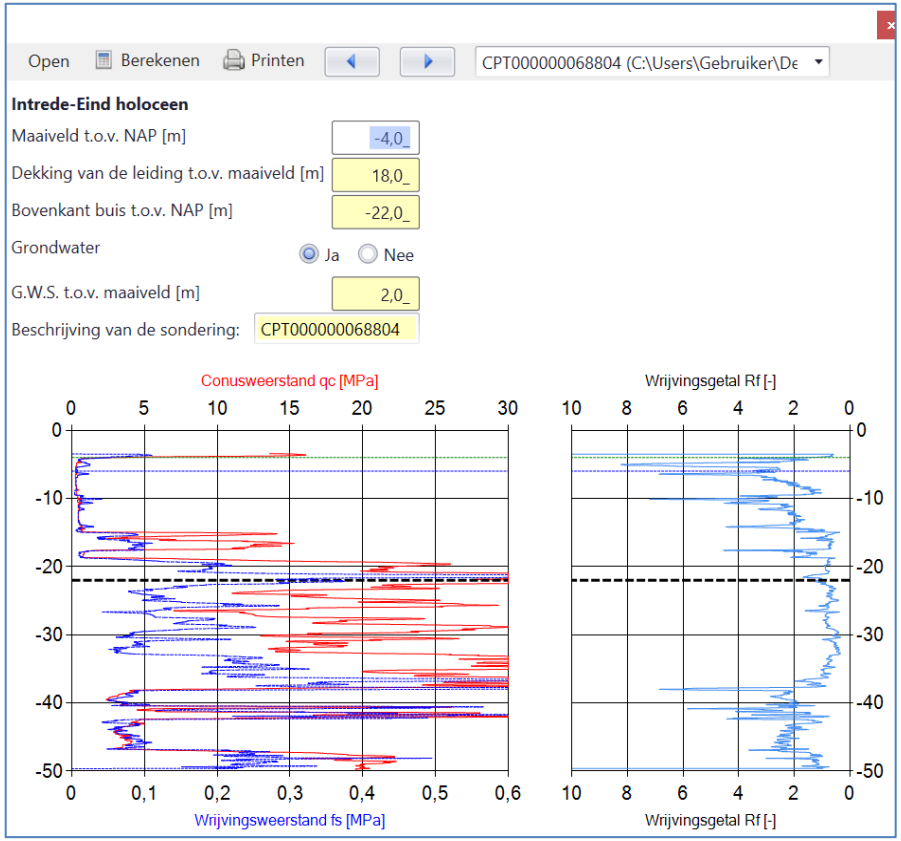
Bij drie of meer buizen is niet bekend welke buis in het midden ligt. Die buis (nr. 2) wordt belast door de buis die er op ligt (nr. 1) en draagt de belasting of op de buis die er onder ligt (nr. 3).

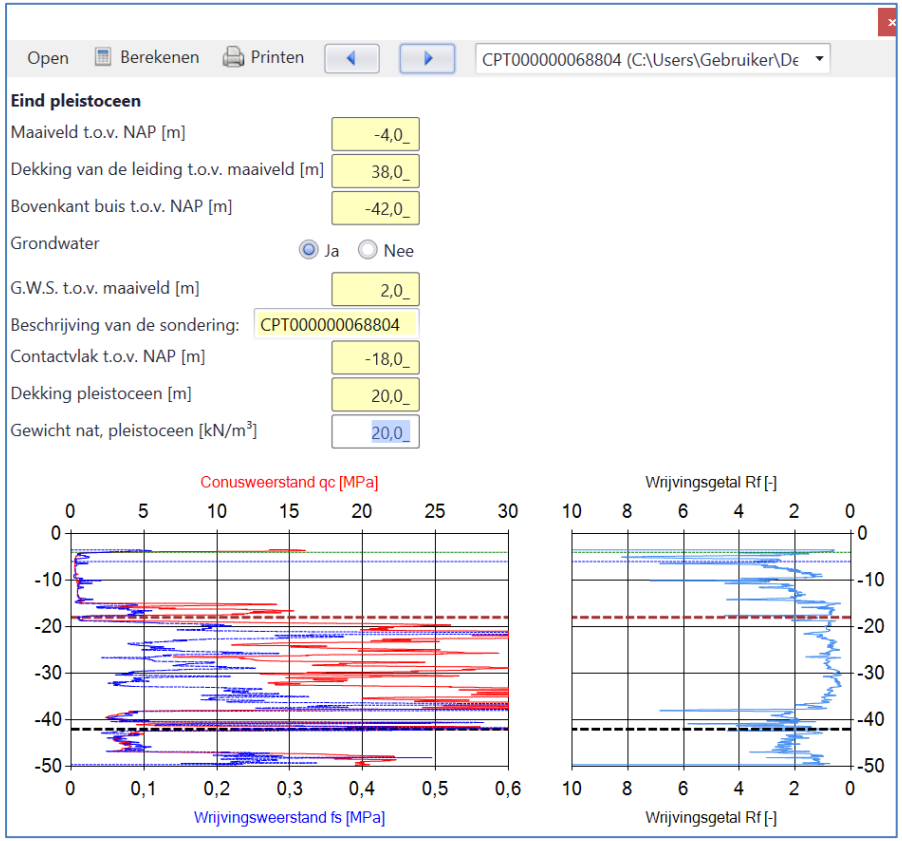


Belastinghoeken bij een of meer buizen bij een horizontaal gestuurde boring

Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Berekeningen van gehele of gedeeltelijke gewelfwerking: 3 configuraties





Inlezen van GEF bestanden in het programma Sigma ter plaatse van locaties 1,2, 4 en 5.

Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Berekeningen van gehele of gedeeltelijke gewelfwerking: Spanningen staal #1

Staal	L360	323,9	8,8

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 wrijvings-hoek grond [°]	Effectieve cohesie [kN/m²]	E-modulus ondergrond [MN/m²]	Gem. vert. bedding-constante [N/mm³]	Gereduceerde grondbelasting	Aangepaste neutrale gronddruk	Aangepaste neutrale gronddruk [kN/m²]
1	81,67	80,0	18,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Homogeen sam...	☐	
2	253,09	250,0	38,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,85	35,0	0,0	75,0	0,04	Gelaagd	☐	
3	428,16	425,0	45,0	☑	3,0	Zand	15,77	20,0	27,5	1,0	50,0	0,04	Geen	☑	66,03
4	603,23	600,0	38,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,85	35,0	0,0	75,0	0,04	Gelaagd	☐	
5	774,62	770,0	18,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Homogeen sam...	☐	

Stap 1: bereken grondbelastingen bij locatie 1,2, 4 en 5.

Stap 2: locatie nr. 2 is onderkant pleistoceen. De gereduceerde grondbelasting bedraagt $Q_{n,r}$ = 3,24 N/mm^1 . Door deze te waarde te delen door de uitwendige diameter (D_o = 0,3239 m) krijgen we de grondbelasting in kN/m^2. Uitkomst is $q_{n,r}$ = 10,0 kN/m^2.
Stap 3: bij locatie nr. 3 ligt de leiding in klei <u>onder</u> het pleistoceen.
Stel nat gewicht klei is γ_n = 18 kN/m^3. Dan volgt bij een dekking van 7 m een extra belasting van q_n = 1,1 x 7 x (18-10) = 61,6 kN/m^2. Tel deze waarde op bij $q_{n,r}$ = 10,0 kN/m^2. Dit betekent een belasting van $q_{n,totaal}$ = 71,6 kN/m^2. Deze waarde kan als "Aangepaste neutrale gronddruk [kN/m^2]" ingevoerd worden in Sigma voor doorsnede 3. In Sigma wordt deze waarde vermenigvuldig met 0,3239 m (D_o). Er volgt dan Q_n = 23,19 N/mm^1 in de uitvoer.

Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Berekeningen van gehele of gedeeltelijke gewelfwerking: Spanningen staal #1

Staal	L360	323,9	8,8

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 wrijvings-hoek grond [°]	Effectieve cohesie [kN/m²]	E-modulus ondergrond [MN/m²]	Gem. vert. bedding-constante [N/mm³]	Gereduceerde grondbelasting	Aangepaste neutrale gronddruk	Aangepaste neutrale gronddruk [kN/m²]
1	81,67	80,0	18,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Homogeen sam...	☐	
2	253,09	250,0	38,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,85	35,0	0,0	75,0	0,04	Gelaagd	☐	
3	428,16	425,0	45,0	☑	3,0	Zand	15,77	20,0	27,5	1,0	50,0	0,04	Geen	☑	71,6
4	603,23	600,0	38,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,85	35,0	0,0	75,0	0,04	Gelaagd	☐	
5	774,62	770,0	18,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Homogeen sam...	☐	

De bundel bestaat uit verschillende diameters. Dit betekent dat we elke diameter apart moeten beschouwen.

Verzadigd gewicht grond		18	kN/m³	
Partiële factor grond		1,1	-	
Dekking onder pleistoceen		7	m	
Gereduceerde grondbelasting $Q_{n,r}$	Diameter leiding D_o	Belasting in	Extra belasting q_n	Belasting $q_{n,totaal}$
N/mm¹	mm	kN/m²	kN/m²	kN/m²
3,24	323,90	10,00	61,60	**71,60**
3,24	200,00	16,20	61,60	**77,80**
3,24	160,00	20,25	61,60	**81,85**

Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Berekeningen van gehele of gedeeltelijke gewelfwerking: Spanningen staal #1

Staal	L360	323,9	8,8

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 wrijvings-hoek grond [°]	Effectieve cohesie [kN/m²]	E-modulus ondergrond [MN/m²]	Gem. vert. bedding-constante [N/mm³]	Gereduceerde grondbelasting	Aangepaste neutrale gronddruk	Aangepaste neutrale gronddruk [kN/m²]
1	81,67	80,0	18,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Homogeen sam...	☐	
2	253,09	250,0	38,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,85	35,0	0,0	75,0	0,04	Gelaagd	☐	
3	428,16	425,0	45,0	☑	3,0	Zand	15,77	20,0	27,5	1,0	50,0	0,04	Geen	☑	71,6
4	603,23	600,0	38,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,85	35,0	0,0	75,0	0,04	Gelaagd	☐	
5	774,62	770,0	18,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Homogeen sam...	☐	

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	B_1 [m]	$8 \cdot B_1$ [m]	H [m]	F_{max} [N/mm¹]	F_r [N/mm¹]	Q_n [N/mm¹]	$Q_{n,r}$ [N/mm¹]
1	Homogeen (samendrukbaar)	0,24	1,94	18,00	99,55	28,91	69,66	50,36(1)
2	Gelaagd	0,24	1,94	-	-	-	149,24	3,24(2)
3	Geen	-	-	-	-	-	23,19	-
4	Gelaagd	0,24	1,94	-	-	-	149,24	3,24(2)
5	Homogeen (samendrukbaar)	0,24	1,94	18,00	99,55	28,91	69,66	50,36(1)

Berekening belastingen t.g.v. gronddekkingen. Q_n is zonder reductie. Bij locatie nr. 3 volgt de Q_n [N/mm¹] uit de ingevoerde q_n [kN/m²] (zoals uitgelegd op voorgaande pagina). $Q_{n,r}$ is de gereduceerde grondbelasting.

Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Berekeningen van gehele of gedeeltelijke gewelfwerking: Spanningen staal #1

Staal	L360	323,9	8,8

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 wrijvings-hoek grond [°]	Effectieve cohesie [kN/m²]	E-modulus ondergrond [MN/m²]	Gem. vert. bedding-constante [N/mm³]	Gereduceerde grondbelasting	Aangepaste neutrale gronddruk	Aangepaste neutrale gronddruk [kN/m²]
1	81,67	80,0	18,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Homogeen sam...	☐	
2	253,09	250,0	38,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,85	35,0	0,0	75,0	0,04	Gelaagd	☐	
3	428,16	425,0	45,0	☑	3,0	Zand	15,77	20,0	27,5	1,0	50,0	0,04	Geen	☑	71,6
4	603,23	600,0	38,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,85	35,0	0,0	75,0	0,04	Gelaagd	☐	
5	774,62	770,0	18,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Homogeen sam...	☐	

Locatie	σ_q [N/mm²]	σ_{qr} [N/mm²]	α_σ [-]	σ_{y2} [N/mm²]
1	84,83	2,11	1	**86,94**
2	5,46	2,11	1	**7,57**
3	39,07	-	1	**39,07**
4	5,46	2,11	1	**7,57**
5	84,83	2,11	1	**86,94**

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

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

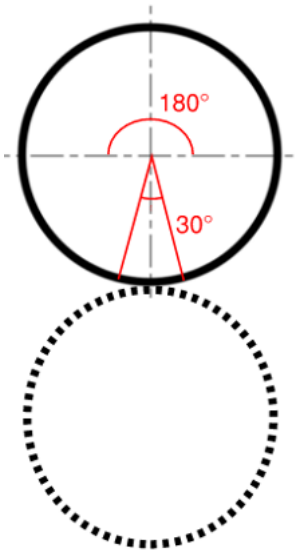
Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = 0{,}8 \cdot Re = 0{,}8 \cdot 320 =$ **256,00** N/mm²

Overzicht optredende spanningen in omtreksrichting. De maximale spanningen vinden we op locatie 1 en op locatie 5. Dit is bij de overgangen van het holoceen naar het pleistoceen. De spanning bij locatie 3 is circa 5 x hoger dan die bij doorsnede 2 en 4.

Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Berekeningen van gehele of gedeeltelijke gewelfwerking: Spanningen staal #2

Staal	L360	323,9	8,8
PE	PE 100	200	18,2



Twee buizen

Stel dat we met twee buizen gaan boren dan kan een van de twee aan de bovenzijde liggen op de andere leiding. Volgens de NEN 3650 moeten we dan met opleghoeken van 180° en 30° rekenen.

Stap 1: Gebruik dezelfde invoer als hiervoor is uitgelegd bij staal berekening nr. 1
Stap 2: Vink aan dat er sprake is van een bundel (1)
Stap 3: Verander de diameter van de ruimer naar 1,3 x (323,9 + 200) ofwel 1,3 x 523,9 mm = 680 mm (afgerond) (2).
Stap 4: Omdat het een bundel is verschijnt er een invoervak voor de equivalente diameter van de bundel. Dit is nodig voor de boorspoeldrukken (3).
Stap 5: Verander de ondersteuningshoek van de leiding (tabblad 2). Die wordt dus 30°.
Stap 6: Druk op berekenen en zoek de gereduceerde grondbelasting bij locatie 2 op in de berekening.

Berekeningen van gehele of gedeeltelijke gewelfwerking: Spanningen staal #2

Projectgegevens

Naam van het project	Voorbeeldberekening gewelfwerking Sigma 2020 versie 3.1
Projectonderdeel	Voorbeeld 2 Stalen leiding 323,9 mm en PE leiding 200 mm met sondering 68804

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
- ( ) Moeilijke omstandigheden

Leiding- en materiaalgegevens (Mediumleiding)

Materiaal	Staal
Kwaliteit	NEN-EN ISO 318:
Uitwendige middellijn [mm]	323,9_
Wanddikte [mm]	8,8_
Dikte bekleding [mm]	0,0_
Rekgrens van het materiaal bij 20°C [N/mm²]	320,0_
Elasticiteitsmodulus [N/mm²]	205800,0_
Alfa Tangentieel [-]	1,0__
Alfa Axiaal [-]	1,0__
Lineaire uitzettingscoefficiënt [(mm/mm)·K⁻¹]	0,0000110
Constante van Poisson [-]	0,3_
Soortelijk gewicht buis [kN/m³]	78,5_
Toelaatbare deflectie [%]	15,00

Medium (Mediumleiding)

Medium: ( ) Vloeistof ( ) Gas (●) Drukloos

Gegevens boorstang

Diameter boorstang [mm] (1)	114,3_

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 boring met bundels	1,8_
Belastingfactor, ondergronds	1,4_
Belastingfactor, bovengronds	1,1_
Wrijvingscoëff. met rollenbaan	0,1_
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_
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet [%]	100

Gegevens pilot

Diameter boorkop/boorgat [mm]	170,0_
Plastische viscositeit boorvloeistof [Pa·s]	0,009
Zwichtspanning boorvloeistof [Pa]	13,4__
Soortelijk gewicht boorvloeistof [kN/m³]	11,5_
Debiet boorvloeistof [l/min.]	600,0_

Gegevens ruimgang
- [x] Toepassen ruimgang
- [x] Boorstangen koppelen tijden ruimen

Diameter ruimer/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.]	2000,0_

Gegevens intrekken
- [x] Gecombineerd ruimen/intrekken

Diameter ruimer/boorgat [mm] (2)	680,0_
Equivalente diameter bundel [mm] (3)	380,67
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_

Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Berekeningen van gehele of gedeeltelijke gewelfwerking: Spanningen staal #2

Projectgegevens

Naam van het project	Voorbeeldberekening gewelfwerking Sigma 2020 versie 3.1
Projectonderdeel	Voorbeeld 2 Stalen leiding 323,9 mm en PE leiding 200 mm met sondering 68804

Algemene gegevens | Boorprofiel

Boorprofiel

			Langs de buis	Horizontaal		Langs de buis	Horizontaal
Intrede-hoek (bij boorstelling) [°]	12,0_	Lengte 1e rechte deel L1 [m]	40,0_	39,13	Lengte na 1e deel [m]	40,00	39,13
Uittrede-hoek (bij rollenbaan) [°]	12,0_	Lengte neergaande bocht L2 [m]	314,16	311,87	Lengte na 2e deel [m]	354,16	351,00
Straal maaiveld/rollenbaan [m]	500,0_	Lengte 2e rechte deel L3 [m]	150,0_	150,0_	Lengte na 3e deel [m]	504,16	501,00
Straal neergaande bocht R1 [m]	1500,0_	Lengte opgaande bocht L4 [m]	314,16	311,87	Lengte na 4e deel [m]	818,32	812,87
Straal opgaande bocht R2 [m]	1500,0_	Lengte 3e rechte deel L5 [m]	40,0_	39,13	Totale lengte [m]	858,32	852,00

Opleghoeken

Belastinghoek [°]	180
Ondersteuningshoek [°]	30

Partiële factor

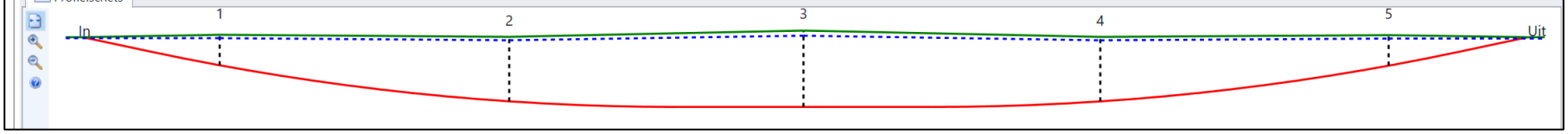
Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd: Ja / Nee

4

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 wrijvings-hoek grond [°]	Effectieve cohesie [kN/m²]	E-modulus ondergrond [MN/m²]	Gem. vert. bedding-constante [N/mm³]	Gereduceerde grondbelasting	Aangepaste neutrale gronddruk	Aangepaste neutrale gronddruk [kN/m²]	Verkeersbelasting	Extra (verkeers) belasting	Hor steu
1	81,67	80,0	18,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Homogeen sam...	☐		Geen	☐	
2	253,09	250,0	38,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,85	35,0	0,0	75,0	0,04	Gelaagd	☐		Geen	☐	
3	428,16	425,0	45,0	☑	3,0	Zand	15,77	20,0	27,5	1,0	50,0	0,04	Geen	☑	66,03	Geen	☐	
4	603,23	600,0	38,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,85	35,0	0,0	75,0	0,04	Gelaagd	☐		Geen	☐	
5	774,62	770,0	18,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Homogeen sam...	☐		Geen	☐	

Profielschets



Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Berekeningen van gehele of gedeeltelijke gewelfwerking: Spanningen staal #2

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	B_1 [m]	$8 \cdot B_1$ [m]	H [m]	F_{max} [N/mm^1]	F_r [N/mm^1]	Q_n [N/mm^1]	$Q_{n,r}$ [N/mm^1]
1	Homogeen (samendrukbaar)	0,34	2,72	18,00	136,88	31,04	69,66	54,88(1)
2	Gelaagd	0,34	2,72	-	-	-	149,24	4,54(2)

Fragment uit de berekening met 2 buizen

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	B_1 [m]	$8 \cdot B_1$ [m]	H [m]	F_{max} [N/mm^1]	F_r [N/mm^1]	Q_n [N/mm^1]	$Q_{n,r}$ [N/mm^1]
1	Homogeen (samendrukbaar)	0,24	1,94	18,00	99,55	28,91	69,66	50,36(1)
2	Gelaagd	0,24	1,94	-	-	-	149,24	3,24(2)

Fragment uit de vorige berekening (met 1 buis)

Door de aanpassing van de diameter van het boorgat zien we aangepaste waarde van de factor B1. Dit betekent dat $Q_{n,r}$ ook aangepast is. Met deze waarden moeten we opnieuw de in te voeren grondbelasting voor locatie 3 berekenen.

Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Berekeningen van gehele of gedeeltelijke gewelfwerking: Spanningen staal #2

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	B_1 [m]	$8 \cdot B_1$ [m]	H [m]	F_{max} [N/mm^1]	F_r [N/mm^1]	Q_n [N/mm^1]	$Q_{n,r}$ [N/mm^1]
1	Homogeen (samendrukbaar)	0,34	2,72	18,00	136,88	31,04	69,66	54,88(1)
2	Gelaagd	0,34	2,72	-	-	-	149,24	4,54(2)

Fragment uit de berekening met 2 buizen

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	B_1 [m]	$8 \cdot B_1$ [m]	H [m]	F_{max} [N/mm^1]	F_r [N/mm^1]	Q_n [N/mm^1]	$Q_{n,r}$ [N/mm^1]
1	Homogeen (samendrukbaar)	0,24	1,94	18,00	99,55	28,91	69,66	50,36(1)
2	Gelaagd	0,24	1,94	-	-	-	149,24	3,24(2)

Fragment uit de vorige berekening (met 1 buis)

Door de aanpassing van de diameter van het boorgat zien we aangepaste waarde van de factor B1. Dit betekent dat $Q_{n,r}$ ook aangepast is. Met deze waarden moeten we opnieuw de in te voeren grondbelasting voor locatie 3 berekenen.

Verzadigd gewicht grond		18	kN/m^3	
Partiële factor grond		1,1	-	
Dekking onder pleistoceen		7	m	
Gereduceerde grondbelasting $Q_{n,r}$ N/mm^1	Diameter leiding D_o mm	Belasting in kN/m^2	Extra belasting q_n kN/m^2	Belasting $q_{n,totaal}$ kN/m^2
4,54	323,90	14,02	61,60	**75,62**
4,54	200,00	22,70	61,60	**84,30**
4,54	160,00	28,38	61,60	**89,98**

Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Berekeningen van gehele of gedeeltelijke gewelfwerking: Spanningen staal #2

Staal	L360	323,9	8,8

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 wrijvings-hoek grond [°]	Effectieve cohesie [kN/m²]	E-modulus ondergrond [MN/m²]	Gem. vert. bedding-constante [N/mm³]	Gereduceerde grondbelasting	Aangepaste neutrale gronddruk	Aangepaste neutrale gronddruk [kN/m²]
1	81,67	80,0	18,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Homogeen sam...	☐	
2	253,09	250,0	38,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,85	35,0	0,0	75,0	0,04	Gelaagd	☐	
3	428,16	425,0	45,0	☑	3,0	Zand	15,77	20,0	27,5	1,0	50,0	0,04	Geen	☑	75,62
4	603,23	600,0	38,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,85	35,0	0,0	75,0	0,04	Gelaagd	☐	
5	774,62	770,0	18,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Homogeen sam...	☐	

Locatie	σ_q [N/mm²]	σ_{qr} [N/mm²]	α_σ [-]	σ_{y2} [N/mm²]
1	172,17	4,55	1	**176,72**
2	14,25	4,55	1	**18,80**
3	76,84	-	1	**76,84**
4	14,25	4,55	1	**18,80**
5	172,17	4,55	1	**176,72**

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

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

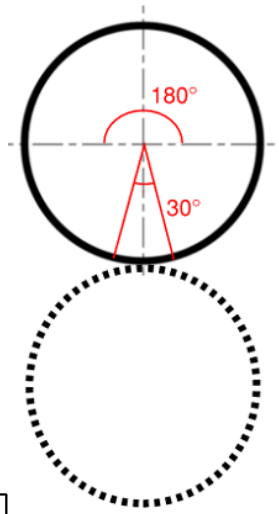
Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = 0{,}8 \cdot Re = 0{,}8 \cdot 320 =$ **256,00** N/mm²

Optredende spanningen in omtreksrichting. De maximale spanningen vinden we nu ook op locatie 1 en locatie 5. Deze spanning (σ_{y2}) is daar toegenomen van 86,98 N/mm² naar 176,72 N/mm². Bij locatie 3 is de spanning nu een factor 2,1 keer zo hoog.

Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Berekeningen van gehele of gedeeltelijke gewelfwerking: Spanningen PE Ø 200 mm #2

Staal	L360	323,9	8,8
PE	PE 100	200	18,2



Twee buizen

Stap 1: Gebruik dezelfde invoer als hiervoor is uitgelegd bij staal berekening nr. 2 (sla deze berekening op onder een andere bestandsnaam).
Stap 2: Verander het leidingmateriaal in staal. Selecteer PE Ø 200 mm
Stap 3: Maak de berekening en zoek Qn,r op voor locatie 2.
Stap 4: Bereken de waarde die ingevoerd moet worden voor locatie 3.

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	B_1 [m]	$8 \cdot B_1$ [m]	H [m]	F_{max} [N/mm¹]	F_r [N/mm¹]	Q_n [N/mm¹]	$Q_{n,r}$ [N/mm¹]
1	Homogeen (samendrukbaar)	0,34	2,72	18,00	136,88	31,04	43,02	33,89(1)
2	Gelaagd	0,34	2,72	-	-	-	92,15	2,81(2)

Verzadigd gewicht grond		18	kN/m³	
Partiële factor grond		1,1	-	
Dekking onder pleistoceen		7	m	
Gereduceerde grondbelasting $Q_{n,r}$ N/mm¹	Diameter leiding D_o mm	Belasting in kN/m²	Extra belasting q_n kN/m²	Belasting $q_{n,totaal}$ kN/m²
4,54	323,90	14,02	61,60	**75,62**
2,81	200,00	14,05	61,60	**75,65**

Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Berekeningen van gehele of gedeeltelijke gewelfwerking: Spanningen PE 200 mm #2

PE	PE 100	200	18,2

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 wrijvings-hoek grond [°]	Effectieve cohesie [kN/m²]	E-modulus ondergrond [MN/m²]	Gem. vert. bedding-constante [N/mm³]	Gereduceerde grondbelasting	Aangepaste neutrale gronddruk	Aangepaste neutrale gronddruk [kN/m²]
1	81,67	80,0	18,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Homogeen sam...	☐	
2	75,65	74,09	38,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,85	35,0	0,0	75,0	0,04	Gelaagd	☐	
3	428,16	425,0	45,0	☑	3,0	Zand	15,77	20,0	27,5	1,0	50,0	0,04	Geen	☑	75,65
4	603,23	600,0	38,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,85	35,0	0,0	75,0	0,04	Gelaagd	☐	
5	774,62	770,0	18,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Homogeen sam...	☐	

Locatie	σ_q [N/mm²]	σ_{qr} [N/mm²]	α_σ [-]	σ_{y2} [N/mm²]
1	13,06	0,022	0,65	**8,50**
2	1,08	0,022	0,65	**0,72**
3	5,83	-	0,65	**3,79**
4	1,08	0,022	0,65	**0,72**
5	13,06	0,022	0,65	**8,50**

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

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

Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t =$ **8,00** N/mm²

Optredende spanningen in omtreksrichting. De maximale spanningen vinden we op locatie 1 en locatie 5. Bij de overgang van het holoceen naar het pleistoceen. De spanning is daar hoger dan de toelaatbare spanning.

Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Berekeningen van gehele of gedeeltelijke gewelfwerking: Spanningen PE 200 mm #2

PE	PE 100	200	18,2

Locatie	nt	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 wrijvings-hoek grond [°]	Effectieve cohesie [kN/m²]	E-modulus ondergrond [MN/m²]	Gem. vert. bedding-constante [N/mm³]	Gereduceerde grondbelasting	Aangepaste neutrale gronddruk	Aangepaste neutrale gronddruk [kN/m²]	Verkeersbelasting	Extra (verkeers) belasting	Horizonta steundru
1	67	80,0	18,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Homogeen sam...	☐		Geen	☐	☑
2	65	74,09	38,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,85	35,0	0,0	75,0	0,04	Gelaagd	☐		Geen	☐	☑
3	16	425,0	45,0	☑	3,0	Zand	15,77	20,0	27,5	1,0	50,0	0,04	Geen	☑	75,65	Geen	☐	☑
4	23	600,0	38,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,85	35,0	0,0	75,0	0,04	Gelaagd	☐		Geen	☐	☑
5	62	770,0	18,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Homogeen sam...	☐		Geen	☐	☑

5.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

Locatie	σ_q [N/mm²]	σ_{qr} [N/mm²]	α_σ [-]	σ_{y2} [N/mm²]
1	10,98	0,022	0,65	**7,15**
2	0,93	0,022	0,65	**0,62**
3	4,17	-	0,65	**2,71**
4	0,93	0,022	0,65	**0,62**
5	10,98	0,022	0,65	**7,15**

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

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

Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t =$ **8,00** N/mm²

Bij bundelboringen is het toegestaan om te rekenen met horizontale steundruk. Wanneer we dit aanvinken zien we lagere spanningen. De PE leiding voldoet nu. Let bij deze diepte wel de implosie!

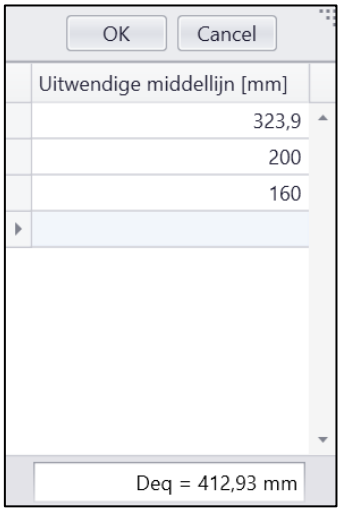
Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

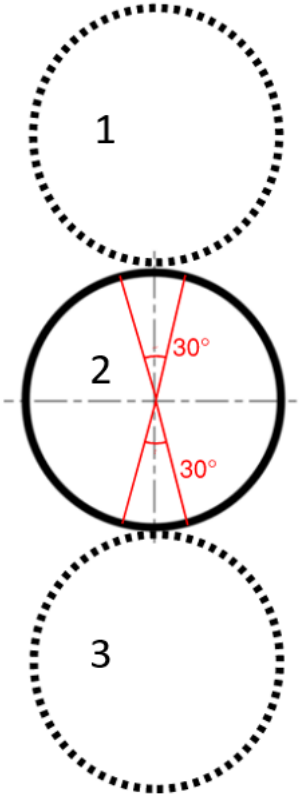
Berekeningen van gehele of gedeeltelijke gewelfwerking: Spanningen staal #3

Staal	L360	323,9	8,8
PE	PE 100	200	18,2
PE	PE 100	160	14,6

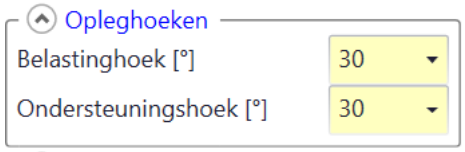
Berekening Staal 323,9 m + PE Ø 200 mm + PE Ø 160 mm.

Stap 1: Gebruik dezelfde invoer als hiervoor is uitgelegd bij staal berekening nr. 2 (sla deze berekening op onder een andere bestandsnaam).
Stap 2: Verander het leidingmateriaal in het gewenste materiaal
Stap 3: Verander de diameter ruimer (vanwege boorspoeldrukberekening) in 680 mm
Stap 4: Vul de equivalente diameter in (gebruik pulldownmenu)
Stap 5: Pas de belastinghoek en ondersteuningshoek aan (tabblad 2)





Drie buizen (of meer)



Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Berekeningen van gehele of gedeeltelijke gewelfwerking: Spanningen staal #3

Staal	L360	323,9	8,8

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 wrijvings-hoek grond [°]	Effectieve cohesie [kN/m²]	E-modulus ondergrond [MN/m²]	Gem. vert. bedding-constante [N/mm³]	Gereduceerde grondbelasting	Aangepaste neutrale gronddruk	Aangepaste neutrale gronddruk [kN/m²]
1	81,67	80,0	18,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Homogeen sam...	☐	
2	75,65	74,09	38,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,85	35,0	0,0	75,0	0,04	Gelaagd	☐	
3	428,16	425,0	45,0	☑	3,0	Zand	15,77	20,0	27,5	1,0	50,0	0,04	Geen	☑	75,62
4	603,23	600,0	38,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,85	35,0	0,0	75,0	0,04	Gelaagd	☐	
5	774,62	770,0	18,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Homogeen sam...	☐	

5.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

Locatie	σ_q [N/mm²]	σ_{qr} [N/mm²]	α_σ [-]	σ_{y2} [N/mm²]
1	172,17	4,55	1	**176,72**
2	14,25	4,55	1	**18,80**
3	76,84	-	1	**76,84**
4	14,25	4,55	1	**18,80**
5	172,17	4,55	1	**176,72**

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

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

Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = 0{,}8 \cdot Re = 0{,}8 \cdot 360 =$ **288,00** N/mm²

Optredende spanningen in omtreksrichting. De maximale spanningen vinden we wederom op locatie 1 en locatie 5. Deze spanning (σ_{y2}) is daar toegenomen van 161,31 N/mm² naar 176,72 N/mm²

Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Berekeningen van gehele of gedeeltelijke gewelfwerking: Spanningen PE 160 mm #3

PE	PE 100	160	14,6

Locatie	ınt	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 wrijvings-hoek grond [°]	Effectieve cohesie [kN/m²]	E-modulus ondergrond [MN/m²]	Gem. vert. bedding-constante [N/mm³]	Gereduceerde grondbelasting	Aangepaste neutrale gronddruk	Aangepaste neutrale gronddruk [kN/m²]	Verkeersbelasting	Extra (verkeers) belasting	Horizontale steundruk
1	67	80,0	18,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Homogeen sam...	☐		Geen	☐	☑
2	65	74,09	38,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,85	35,0	0,0	75,0	0,04	Gelaagd	☐		Geen	☐	☑
3	16	425,0	45,0	☑	3,0	Zand	15,77	20,0	27,5	1,0	50,0	0,04	Geen	☑	89,98	Geen	☐	☑
4	23	600,0	38,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,85	35,0	0,0	75,0	0,04	Gelaagd	☐		Geen	☐	☑
5	62	770,0	18,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Homogeen sam...	☐		Geen	☐	☑

5.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

Locatie	σ_q [N/mm²]	σ_{qr} [N/mm²]	α_σ [-]	σ_{y2} [N/mm²]
1	12,19	0,016	0,65	**7,93**
2	1,03	0,016	0,65	**0,68**
3	5,61	-	0,65	**3,64**
4	1,03	0,016	0,65	**0,68**
5	12,19	0,016	0,65	**7,93**

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

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

Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t =$ **8,00** N/mm²

Optredende spanningen in omtreksrichting van de Ø 160 mm PE leiding.

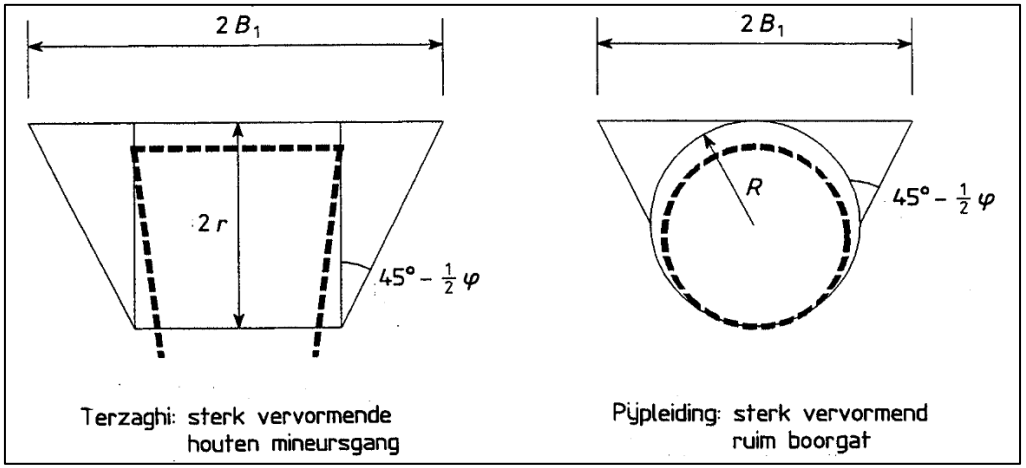
Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Berekeningen van gehele of gedeeltelijke gewelfwerking: Spanningen staal #4

Staal	L360	323,9	8,8
PE	PE 100	200	18,2
PE	PE 100	160	14,6

Berekening Staal 323,9 m + PE Ø 200 mm + PE Ø 160 mm.

De bepaling van de gereduceerde grondbelasting is gebaseerd op de theorieën van Terzaghi en is afhankelijk van grondsoort, grondgelaagdheid en aanwezigheid van ophogingen. De gewelfwerking is van toepassing vanaf 8B1. Deze B1 en 8B1 worden berekend en getoond in de printuitvoer.



Toegepaste vervormingsmodellen (fig. 50 NPR 3659)

Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Berekeningen van gehele of gedeeltelijke gewelfwerking: Spanningen staal #4

De factor 8B1 is 2,72 m. Dit zien we in onderstaande tabel.

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	B_1 [m]	$8 \cdot B_1$ [m]	H [m]	F_{max} [N/mm^1]	F_r [N/mm^1]	Q_n [N/mm^1]	$Q_{n,r}$ [N/mm^1]
1	Homogeen (samendrukbaar)	0,34	2,72	18,00	136,88	31,04	69,66	54,88(1)
2	Gelaagd	0,34	2,72	-	-	-	149,24	4,54(2)
3	Geen	-	-	-	-	-	24,49	-
4	Gelaagd	0,34	2,72	-	-	-	149,24	4,54(2)
5	Homogeen (samendrukbaar)	0,34	2,72	18,00	136,88	31,04	69,66	54,88(1)

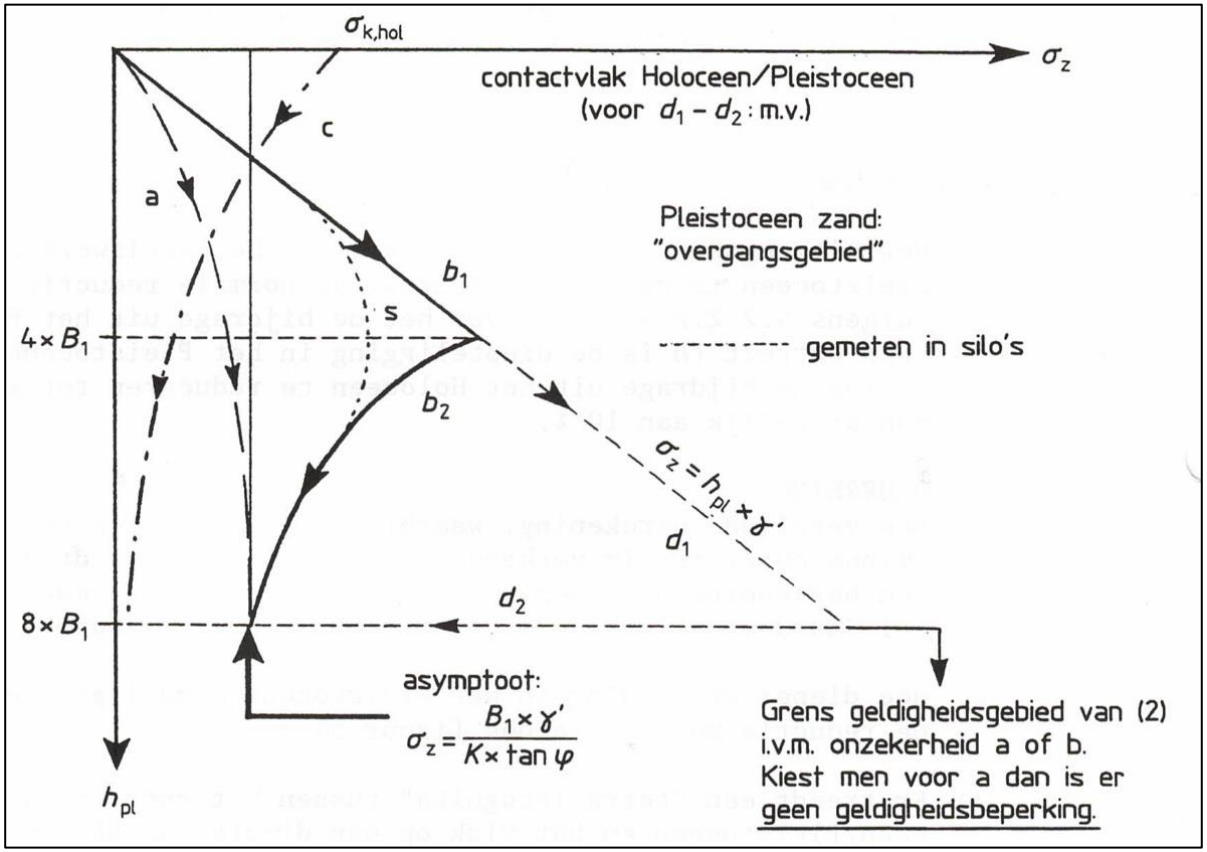
$$R = \frac{D_{g,i}}{2} = \frac{680}{2} = 340 \text{ mm}$$

$$B_1 = {}^1/_2 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45° - {}^1/_2 \cdot \varphi) \geq R$$

De gewelfwerking is geldig vanaf 2,72 m. Dus bij de overgang van het holoceen naar het pleistoceen is sprake van een overgangsgebied. Dit betekent dat de hoogste spanning niet op die overgang holoceen/pleistoceen ligt, maar enkele meters lager. De leiding krijgt in dat 1^e deel in het pleistoceen dus meer grondbelasting te verwerken.

Berekeningen van gehele of gedeeltelijke gewelfwerking: Spanningen staal #4

In de NPR 3659 wordt de overgang holoceen/pleistoceen toegelicht.



Mogelijke verlopen van de gereduceerde grondbelasting $Q_{n,r}$ (fig. 53 NPR 3659)

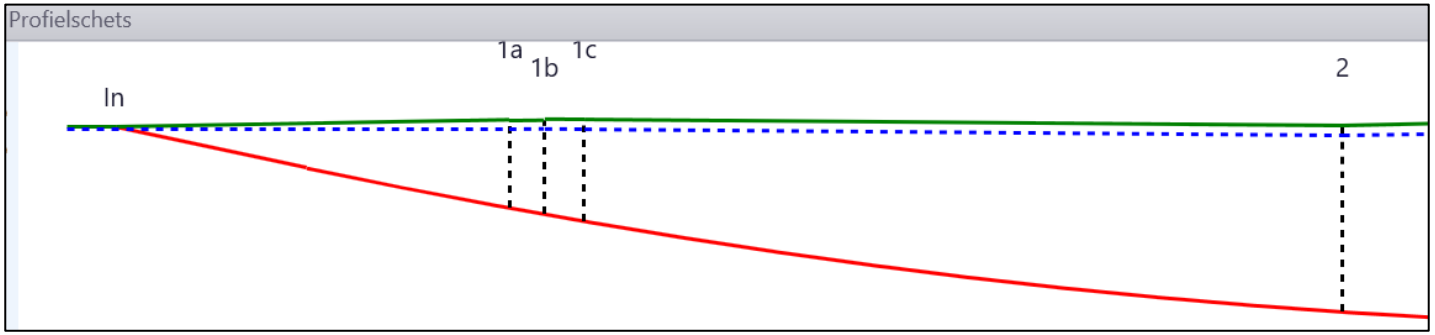
Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Berekeningen van gehele of gedeeltelijke gewelfwerking: Spanningen staal #4

De gewelfwerking is geldig vanaf 2,72 m. Dus bij de overgang van het holoceen naar het pleistoceen is sprake van een overgangsgebied. Dit gebied loopt dus van holoceen naar 4B1 (is 1,36 m). Zie figuur vorige sheet.

De leidingen worden dus extra belast. Uitgaande van zandgrond met een volumiek gewicht van 20 kN/m^3 volgt dan een belastingtoename van 1,36 x (20-10) = 13,6 kN/m^2 (bij 4B1) tot 2,72 x (20-10) = 27,2 kN/m^2 (8B1). Bij zowel de stalen leiding als de PE leidingen worden de spanningen dus hoger.

We kunnen twee extra doorsneden toevoegen aan de berekening. Een locatie met een dekking van 18,0 m (dekking locatie 1) + 1,36 m = 19,36 m (1b). De tweede extra locatie krijgt een dekking van 18,0 m + 2,72 m = 20,72 m (1c).



Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

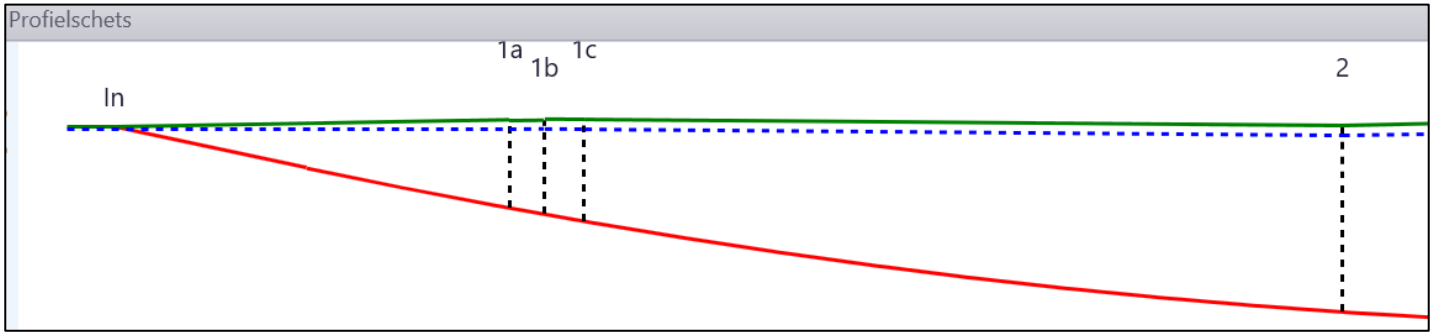
Berekeningen van gehele of gedeeltelijke gewelfwerking: Spanningen staal #4

De leidingen worden dus extra belast. Uitgaande van zandgrond met een volumiek gewicht van 20 kN/m^3 volgt dan een belastingtoename van 1,36 x (20-10) = 13,6 kN/m^2 (bij 4B1) tot 2,72 x (20-10) = 27,2 kN/m^2 (8B1). Bij zowel de stalen leiding als de PE leidingen worden de spanningen dus hoger.

De berekende gereduceerde grondbelasting bij locatie 1a (voorheen 1) bedraagt 50,36 N/mm^1. Ofwel bij een 323,9 mm stalen leiding 155,48 kN/m^2.

Hierbij moet dan 13,6 kN/m^2 respectievelijk 27,2 kN/m^2 bij worden opgeteld.

We krijgen dan 169,08 kN/m^2 (locatie 1b) en 182,68 kN/m^2 (locatie 1c)



Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Berekeningen van gehele of gedeeltelijke gewelfwerking: Spanningen staal #4

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 wrijvings-hoek grond [°]	Effectieve cohesie [kN/m²]	E-modulus ondergrond [MN/m²]	Gem. vert. bedding-constante [N/mm³]	Gereduceerde grondbelasting	Aangepaste neutrale gronddruk	Aangepaste neutrale gronddruk [kN/m²]
1a	81,67	80,0	18,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Homogeen sam...	☐	
1b	88,78	87,0	19,36	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Geen	☑	184,4
1c	96,91	95,01	20,72	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Geen	☑	199,36
2	253,09	250,0	38,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,85	35,0	0,0	75,0	0,04	Gelaagd	☐	
3	428,16	425,0	45,0	☑	3,0	Zand	15,77	20,0	27,5	1,0	50,0	0,04	Geen	☑	71,63
4	603,23	600,0	38,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,85	35,0	0,0	75,0	0,04	Gelaagd	☐	
5	774,62	770,0	18,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Homogeen sam...	☐	

De leidingen worden dus extra belast. Uitgaande van zandgrond met een volumiek gewicht van 20 kN/m^3 volgt dan een belastingtoename van 1,36 x (20-10) = 13,6 kN/m^2 (bij 4B1) tot 2,72 x (20-10) = 27,2 kN/m^2 (8B1). Bij zowel de stalen leiding als de PE leidingen worden de spanningen dus hoger.

De berekende gereduceerde grondbelasting bij locatie 1a (voorheen 1) bedraagt 54,88 N/mm^1. Ofwel bij een 323,9 mm stalen leiding 169,44 kN/m^2.

Hierbij moet dan 13,6 kN/m^2 respectievelijk 27,2 kN/m^2 bij worden opgeteld.

We krijgen dan 184,40 kN/m^2 (locatie 1b) en 199,36 kN/m^2 (locatie 1c)

Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Berekeningen van gehele of gedeeltelijke gewelfwerking: Spanningen staal #4

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 wrijvings-hoek grond [°]	Effectieve cohesie [kN/m²]	E-modulus ondergrond [MN/m²]	Gem. vert. bedding-constante [N/mm³]	Gereduceerde grondbelasting	Aangepaste neutrale gronddruk	Aangepaste neutrale gronddruk [kN/m²]
1a	81,67	80,0	18,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Homogeen sam...	☐	
1b	88,78	87,0	19,36	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Geen	☑	184,4
1c	96,91	95,01	20,72	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Geen	☑	199,36
2	253,09	250,0	38,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,85	35,0	0,0	75,0	0,04	Gelaagd	☐	
3	428,16	425,0	45,0	☑	3,0	Zand	15,77	20,0	27,5	1,0	50,0	0,04	Geen	☑	71,63
4	603,23	600,0	38,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,85	35,0	0,0	75,0	0,04	Gelaagd	☐	
5	774,62	770,0	18,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Homogeen sam...	☐	

Per diameter moet worden uitgerekend hoeveel extra moet worden ingevoerd.

Verzadigd gewicht grond		20	kN/m³	B1	0,34	m
Partiële factor grond		1,1	-			
Locatie door-snede	Extra dekking m	Gereduceerde grondbelasting $Q_{n,r}$ N/mm¹	Diameter leiding D_o mm	Belasting in kN/m²	Extra belasting q_n kN/m²	Belasting $q_{n,totaal}$ kN/m²
(4B1)	1,36	54,88	323,90	169,44	14,96	**184,40**
(8B1)	2,72	54,88	323,90	169,44	29,92	**199,36**
(4B1)	1,36	54,88	200,00	274,40	14,96	**289,36**
(8B1)	2,72	54,88	200,00	274,40	29,92	**304,32**
(4B1)	1,36	54,88	160,00	343,00	14,96	**357,96**
(8B1)	2,72	54,88	160,00	343,00	29,92	**372,92**

Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Berekeningen van gehele of gedeeltelijke gewelfwerking: Spanningen staal #4

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 wrijvings-hoek grond [°]	Effectieve cohesie [kN/m²]	E-modulus ondergrond [MN/m²]	Gem. vert. bedding-constante [N/mm³]	Gereduceerde grondbelasting	Aangepaste neutrale gronddruk	Aangepaste neutrale gronddruk [kN/m²]
1a	81,67	80,0	18,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Homogeen sam...	☐	
1b	88,78	87,0	19,36	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Geen	☑	184,4
1c	96,91	95,01	20,72	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Geen	☑	199,36
2	253,09	250,0	38,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,85	35,0	0,0	75,0	0,04	Gelaagd	☐	
3	428,16	425,0	45,0	☑	3,0	Zand	15,77	20,0	27,5	1,0	50,0	0,04	Geen	☑	71,63
4	603,23	600,0	38,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,85	35,0	0,0	75,0	0,04	Gelaagd	☐	
5	774,62	770,0	18,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Homogeen sam...	☐	

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	B_1 [m]	$8 \cdot B_1$ [m]	H [m]	F_{max} [N/mm¹]	F_r [N/mm¹]	Q_n [N/mm¹]	$Q_{n,r}$ [N/mm¹]
1a	Homogeen (samendrukbaar)	0,34	2,72	18,00	136,88	31,04	69,66	54,88(1)
1b	Geen	-	-	-	-	-	59,73	-
1c	Geen	-	-	-	-	-	64,57	-
2	Gelaagd	0,34	2,72	-	-	-	149,24	4,54(2)
3	Geen	-	-	-	-	-	23,20	-
4	Gelaagd	0,34	2,72	-	-	-	149,24	4,54(2)
5	Homogeen (samendrukbaar)	0,34	2,72	18,00	136,88	31,04	69,66	54,88(1)

Overzicht grondbelastingen met extra tussenpunten.
De hoogste belasting bevindt zich bij 8B1, dus locatie nr. 1c

Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Berekeningen van gehele of gedeeltelijke gewelfwerking: Spanningen staal #4

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 wrijvings-hoek grond [°]	Effectieve cohesie [kN/m²]	E-modulus ondergrond [MN/m²]	Gem. vert. bedding-constante [N/mm³]	Gereduceerde grondbelasting	Aangepaste neutrale gronddruk	Aangepaste neutrale gronddruk [kN/m²]
1a	81,67	80,0	18,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Homogeen sam...	☐	
1b	88,78	87,0	19,36	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Geen	☑	184,4
1c	96,91	95,01	20,72	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Geen	☑	199,36
2	253,09	250,0	38,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,85	35,0	0,0	75,0	0,04	Gelaagd	☐	
3	428,16	425,0	45,0	☑	3,0	Zand	15,77	20,0	27,5	1,0	50,0	0,04	Geen	☑	71,63
4	603,23	600,0	38,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,85	35,0	0,0	75,0	0,04	Gelaagd	☐	
5	774,62	770,0	18,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Homogeen sam...	☐	

Locatie	σ_q [N/mm²]	σ_{qr} [N/mm²]	α_σ [-]	σ_{y2} [N/mm²]
1a	172,17	4,55	1	**176,72**
1b	187,37	4,55	1	**191,92**
1c	202,58	4,55	1	**207,12**
2	14,25	4,55	1	**18,80**
3	72,79	-	1	**72,79**
4	14,25	4,55	1	**18,80**
5	172,17	4,55	1	**176,72**

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

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

Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = 0{,}8 \cdot Re = 0{,}8 \cdot 360 =$ **288,00** N/mm²

De hoogste belasting bevindt zich bij 8B1, dus locatie nr. 1c. De spanning bedraagt hier nu dus 207,12 N/mm². Opmerking: ook hier mag horizonale steundruk worden gebruikt.

Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Berekeningen van gehele of gedeeltelijke gewelfwerking: Spanningen staal #4

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 wrijvings-hoek grond [°]	Effectieve cohesie [kN/m²]	E-modulus ondergrond [MN/m²]	Gem. vert. bedding-constante [N/mm³]	Gereduceerde grondbelasting	Aangepaste neutrale gronddruk	Aangepaste neutrale gronddruk [kN/m²]
1a	81,67	80,0	18,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Homogeen sam...	☐	
1b	88,78	87,0	19,36	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Geen	☑	183,04
1c	96,91	95,01	20,72	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Geen	☑	196,64
2	253,09	250,0	38,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,85	35,0	0,0	75,0	0,04	Gelaagd	☐	
3	428,16	425,0	45,0	☑	3,0	Zand	15,77	20,0	27,5	1,0	50,0	0,04	Geen	☑	66,03
4	603,23	600,0	38,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,85	35,0	0,0	75,0	0,04	Gelaagd	☐	
5	774,62	770,0	18,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Homogeen sam...	☐	

Verzadigd gewicht grond		20	kN/m³	B1	0,34	m
Partiële factor grond		1,1	-			
Locatie door-snede	Extra dekking m	Gereduceerde grondbelasting $Q_{n,r}$ N/mm¹	Diameter leiding D_o mm	Belasting in kN/m²	Extra belasting q_n kN/m²	Belasting t.b.v. Sigma kN/m²
(4B1)	1,36	33,89	323,90	104,63	14,96	119,59
(8B1)	2,72	33,89	323,90	104,63	29,92	134,55
(4B1)	1,36	33,89	200,00	169,45	14,96	184,41
(8B1)	2,72	33,89	200,00	169,45	29,92	199,37
(4B1)	1,36	33,89	160,00	211,81	14,96	226,77
(8B1)	2,72	33,89	160,00	211,81	29,92	241,73

Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Berekeningen van gehele of gedeeltelijke gewelfwerking: Spanningen PE 200 mm #4

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 wrijvings-hoek grond [°]	Effectieve cohesie [kN/m²]	E-modulus ondergrond [MN/m²]	Gem. vert. bedding-constante [N/mm³]	Gereduceerde grondbelasting	Aangepaste neutrale gronddruk	Aangepaste neutrale gronddruk [kN/m²]
1a	81,67	80,0	18,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Homogeen sam...	☐	
1b	88,78	87,0	19,36	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Geen	☑	184,4
1c	96,91	95,01	20,72	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Geen	☑	199,36
2	253,09	250,0	38,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,85	35,0	0,0	75,0	0,04	Gelaagd	☐	
3	428,16	425,0	45,0	☑	3,0	Zand	15,77	20,0	27,5	1,0	50,0	0,04	Geen	☑	71,63
4	603,23	600,0	38,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,85	35,0	0,0	75,0	0,04	Gelaagd	☐	
5	774,62	770,0	18,0	☑	2,0	Zand	15,77	19,34	32,5	0,0	45,0	0,04	Homogeen sam...	☐	

Per diameter moet worden uitgerekend hoeveel extra moet worden ingevoerd.

Verzadigd gewicht grond		20	kN/m³	B1	0,34	m
Partiële factor grond		1,1	-			
Locatie door-snede	Extra dekking m	Gereduceerde grondbelasting $Q_{n,r}$ N/mm¹	Diameter leiding D_o mm	Belasting in kN/m²	Extra belasting q_n kN/m²	Belasting $q_{n,totaal}$ kN/m²
(4B1)	1,36	54,88	323,90	169,44	14,96	**184,40**
(8B1)	2,72	54,88	323,90	169,44	29,92	**199,36**
(4B1)	1,36	54,88	200,00	274,40	14,96	**289,36**
(8B1)	2,72	54,88	200,00	274,40	29,92	**304,32**
(4B1)	1,36	54,88	160,00	343,00	14,96	**357,96**
(8B1)	2,72	54,88	160,00	343,00	29,92	**372,92**

Gewelfwerking bij een Horizontaal Gestuurde boring (HDD)

Conclusies

- Rekenen met gewelfwerking is niet altijd toelaatbaar;
- Bij complexe bodemopbouw is het verstandig om een geotechnisch adviseur de gewelfwerking te laten berekenen. Dit kan bijvoorbeeld met Plaxis;
- De uitkomsten van de berekeningen van de geotechnisch adviseur kunnen in het programma Sigma worden ingevoerd;
- Wanneer gewelfwerking in rekening gebracht moet worden moet wel voldoende grondonderzoek direct nabij het boorprofiel beschikbaar zijn;
- Het is aan te bevelen om grondonderzoek in ieder geval uit te voeren nabij de overgang holoceen/pleistoceen;
- Bij diepe boringen is grondonderzoek tot ten minste 5 m onder het diepste gedeelte noodzakelijk. Liefst nog enkele meters dieper.