

Aandachtspunten bij Nano-Drill HDD en Boogboringen in relatie tot de NEN 3650 en de NEN 3651.

1. Inleiding

Sinds midden jaren 80 van de vorige eeuw (ja, ja, de tijd gaat hard) wordt in Nederland de horizontaal gestuurde boormethode (HDD) toegepast. De eerste HDD werd in opdracht van de Gasunie uitgevoerd in Amsterdam. Dit betrof een boring stalen leiding met een lengte van 800 m en een diameter van Ø 800 mm.

Deze boring werd uitgevoerd op een manier die vandaag niet meer gebruikelijk is. Men boorde eerst boorstangen, schoof daar een grotere buis overheen (wash over pipe), trok de pilotboring er weer uit en vervolgens werd de stalen leiding, verbonden met een ruimer van 1,2 m in een keer ingetrokken met behulp van die wash over pipe. Zie dat tegenwoordig maar eens verzekerd te krijgen. Niet voorruimen, niet ballasten enz.

Vrij snel na deze 1^e boring werd ik benaderd door Flow Mole. Zij introduceerden een compacte boormachine die compleet met bentoniet mix-unit op het werk kwam. Niet lang na dit gesprek boorde men een 110 mm PE leiding met een lengte van 80 m onder een kanaal door in de kop van Noord-Holland. In 1989 is deze compacte boormethode toegelicht tijdens een ISTT bijeenkomst in Groot Brittannië (zie <https://trid.trb.org/view/316076>).

In de decennia sindsdien zijn verschillende grotere (maxi-rig) en vooral kleinere (mini -en midi-rigs) ontwikkeld. Per jaar worden in Nederland duizenden boringen als HDD uitgevoerd. Kortom, deze techniek is niet meer weg te denken.

Naarmate de diameter groter wordt en de lengte van de boring toeneemt is meer en meer boorspoeling nodig. Onlangs is in Nederland de Nano-Drill geïntroduceerd, dit is een machine die aan een kraan kan worden bevestigd (er is dus geen boorstelling meer nodig). De naam Nano is best goed gekozen, het is eigenlijk een mini-mini-boorunit.

Zie <https://www.youtube.com/watch?v=OslulkvkDcQ>.

Deze machine is ontwikkeld en gebouwd door de firma Kormee (<https://www.kormee.nl/hdd-machines/nanodrill/>)



Nano-Drill in actie (<https://www.kouwenberginfra.nl/technieken/nano-drill/>)

Een andere techniek werd sinds de jaren 80 ook meer en meer toegepast, namelijk boogzinkers. Tegenwoordig heten die vaak boogboringen. Belangrijk verschil met de HDD-techniek is dat geboord wordt met gebogen boorstangen om het boorprofiel te realiseren. Bij een HDD ben je bezig om met een stuurplaat of een andere toepassing zoals de gyroscoop het vereiste boorprofiel te halen waarbij gebruik gemaakt wordt van een sensor die vanaf het maaiveld gevolgd kan worden (bij ondiepe boringen). Bij een boogboring is dat dus niet het geval. Je vertrekt met een bepaalde radius en je kunt niet bijsturen. Bij deze techniek wordt vaak ook met bentoniet geboord. Zie voor uitleg onder andere <https://ravesteijnijsselstein.nl/boogboren/>.

2. Hoe verhouden Nano-Drill en Boogboringen zich tot de NEN 3650 en NEN 3651

In Tabel 8 van NEN 3651:2020 zien we het volgende:

Tabel 8 — Toepasbaarheid sleufloze technieken

Waterstaatswerk	Techniek				
	HDD	OFT	OFT ^a	GFT ^b	PBT
Primaire waterkeringen	Ja	Nee	Nee	Nee ^c /Ja ^d	Nee
Boezemwateren en boezemwaterkeringen	Ja	Nee	Nee	Ja	Nee
Secundaire waterkeringen	Ja	Nee	Ja	Ja	Ja
Wegen	Ja	Ja	Ja	Ja	Nee ^e
Vaarwegen	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
^a Indien het ontgravingsfront over de volle doorsnede door een roterende snijkop wordt gesteund. ^b De zogenoemde methode DGB-G gebruikt het boorschild van de GFT-methode en heeft daarom hetzelfde toepassingsgebied. ^c Toegelaten indien geen andere uitvoeringswijze mogelijk is, een en ander in overleg met de waterkeringbeheerder. ^d Indien voor de dekking dezelfde eisen worden gehanteerd als die voor een HDD gelden, dan is de zogenoemde DGB-methode toegelaten onder primaire waterkeringen. ^e Alleen toegelaten in overleg met de wegbeheerder.					

HDD = Horizontaal gestuurde boring

OFT = Open Front techniek

GFT = Gesloten Front techniek

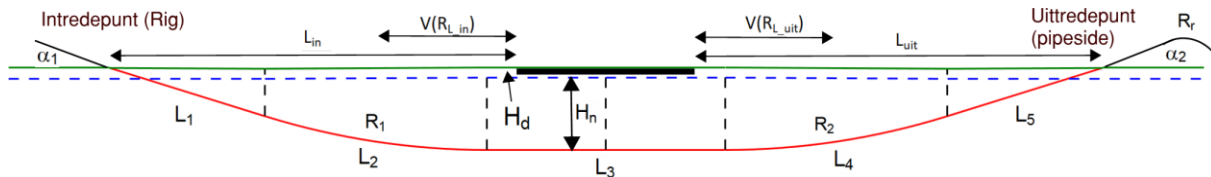
PBT = Pneumatische boortechniek

Bij waterkeringen, wegen en vaarwegen is de HDD-techniek toegestaan. Dus de Nano-Drill, die beschouwd kan worden als een zeer kleine HDD-installatie, is toelaatbaar. Er wordt geboord met boorspoeling, er is sprake van sturing van de stuurplaat, er wordt gebruik gemaakt van een sensor waarmee de boring vanaf het maaiveld kan worden geboord.

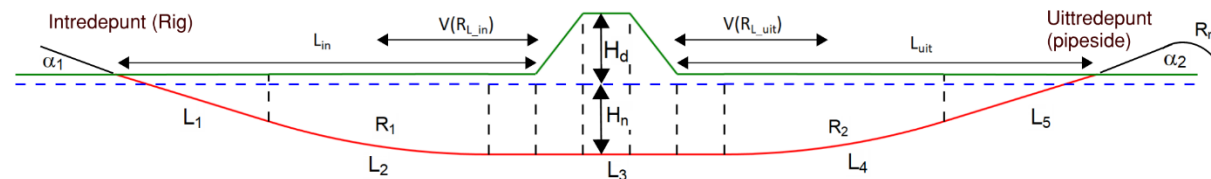
Een boogboring is niet beschreven in de NEN 3650 en NEN 3651. Deze normen beslaan circa 780 pagina's en zoeken op "boogboring" of "boogzinker" levert geen hits op. Het is dus aan de weg -of de waterkering beheerder of zij met deze aanlegtechniek kunnen instemmen. Zij zijn tenslotte verantwoordelijk voor het "waterstaatswerk" zoals in de NEN 3650 en NEN 3651 is beschreven.

Toen de HDD in Nederland werd geïntroduceerd werd er vanuit gegaan dat het intrede -en uittredepunt van de boring buiten de zogenaamde veiligheidszone. Dit is een zone aansluitend aan het waterstaatswerk.

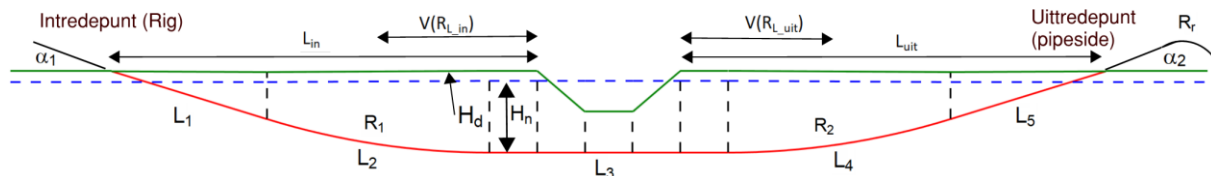
Enkele voorbeelden van in- en uittredepunten in relatie tot de veiligheidszone bij HDD's:



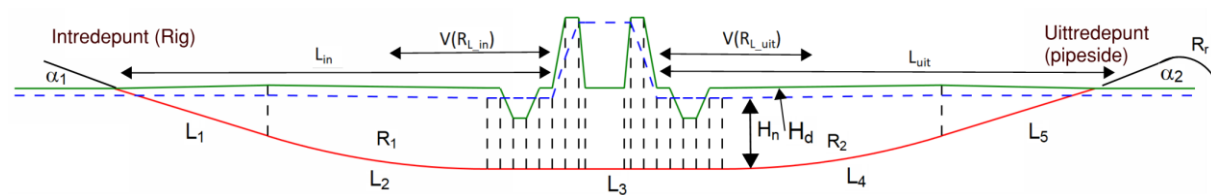
Kruising met een wegligchaam



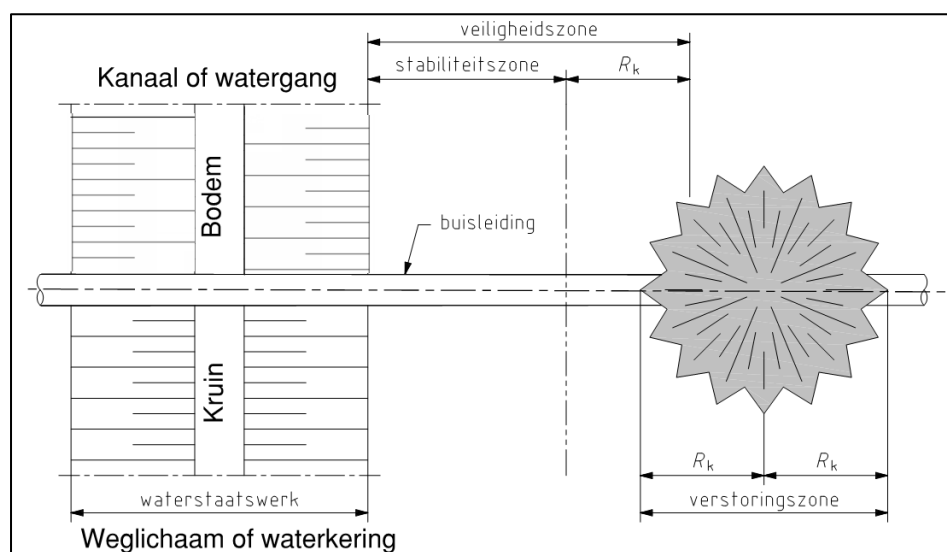
Kruising met een hoog gelegen wegligchaam of waterkering



Kruising met een kanaal waarbij de waterkeringen niet zichtbaar zijn



Kruising met een kanaal waarbij de waterkeringen wel zichtbaar zijn



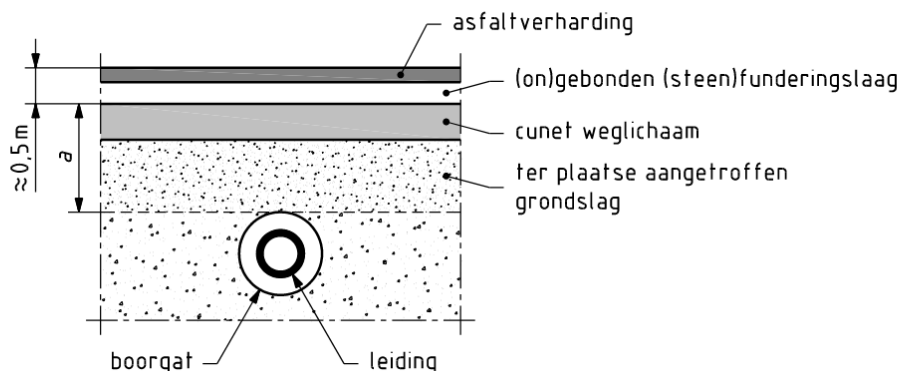
Schetsmatige weergaven van veiligheidszone (conform NEN 3651)

De korte boringen die met de Nano-Drill worden uitgevoerd beginnen en eindigen vaak in de veiligheidszone. Dit betekent bij gas -en vloeistofleidingen dat de spanningen van de op de HDD aansluitende leiding ook berekend moet worden volgens de NEN-normen. Bij kruisingen met wegen zien we in de NEN 3650 de volgende eis qua dekking:

Onder stroomwegen moet op elk punt van het boortracé de afstand a tussen de bovenzijde van het boorgat en het laagste punt van de onderzijde van de ongebonden of gebonden (steen)funderingslaag van de verharding voldoen aan:

in cohesieve grond: $a \geq 1,5 \text{ m}$;

in niet-cohesieve grond: $a \geq 6 \times D_o$, met een minimum van 1,5 m.



Figuur F.4 NEN 3650-1:2020

Een stroomweg is een autosnelweg of snelweg. Voor gebiedontsluitingswegen (provinciale wegen) en erfontsluitingswegen is de eis van 6 x de middellijn doorgaans niet nodig. Hier kan in overleg met de beheerder, dus vaak is dat de provincie, een aangepaste dekking worden aangehouden.

Vaak wordt een gemeentelijke weg meegenomen in een boring onder een ander belangrijker object door. Voor de nevenobjecten kan in overleg met de beheerder een diepteligging worden vastgesteld.

Wanneer een gas of vloeistofleiding wordt aangesloten op de uitgevoerde HDD die met de Nano-Drill is geboord moet rekening gehouden worden met een uitvoeringszakkingssprong (abrupt zakkingsverschil). De HDD zal niet of nauwelijks zakken, de aansluiting kan wel zakken. Dit staat als volgt in de NEN 3650-1:2020 beschreven:

Ter weerszijden van een HDD worden in een sleuf gelegde leidingsecties aangesloten. Er kan zich een uitvoeringszakkingssprong voordoen tussen de beide methoden van leidingaanleg. De ingetrokken leiding zal in de boorgang tegen de bovenzijde van die gang opdrijven. Het aansluitende in de sleuf gelegde leidingdeel zal na aanvullen van de sleuf een uitvoeringszakking ondergaan en zal de in de boorgang getrokken leiding in de slappe bentoniet-grond-‘slurry’ drukken. Een abrupt zakkingsverschil als bij een gelegde of geperste situatie (C.4.7.3) hoeft hier niet te worden verondersteld. Aanbevolen wordt ter plaatse van de aansluiting een uitvoeringszakkingssprong in rekening te brengen dat overeenkomt met de eis voor een veldstrekking (C.4.7).

Kijken we naar C.4.7 dan zien we tabel C9 (die behoort bij goed verdichte sleuf:

Tabel C.9 — Uitvoeringszakingsverschil f_v voor goed verdichte aanvulgrond onder en naast de leiding in een droge sleuf en een continu zakingsprofiel (f_v in mm)

Grondsoort	Slappe klei/veen						Stijve klei						Normaal zand						Hard zand					
Dekking (m)	2,5			1,25			2,5			1,25			2,5			1,25			2,5			1,25		
Sleuftype	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
D nom. (mm)																								
100	10	15	20	10	15	20	10	10	15	10	10	10	0	5	5	0	5	5	0	5	5	0	0	5
200	10	15	25	10	15	20	10	15	15	10	10	15	0	5	5	0	5	5	0	5	5	0	0	5
300	10	20	25	10	15	20	10	15	20	10	10	15	0	5	5	0	5	5	0	5	5	0	0	5
400	10	20	30	10	15	25	10	15	20	10	10	15	0	5	5	0	5	5	0	5	5	0	0	5
450	10	20	30	10	15	25	10	15	20	10	10	15	0	5	5	0	5	5	0	5	5	0	0	5
600	15	20	35	15	20	25	10	15	25	10	10	15	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
750	15	25	35	15	20	25	10	15	25	10	15	20	5	5	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5
900	15	25	40	15	20	25	10	15	25	10	15	20	5	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5
1 200	15	25	40	15	20	30	10	20	30	10	15	20	5	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Mocht de situatie zo zijn dat de sleuf niet goed verdicht kan worden dan dient met grotere uitvoeringszakingsverschillen rekening gehouden te worden, namelijk de waarden die in tabel C.8 vermeld staan.

Tabel C.8 — Uitvoeringszakingsverschil f_v voor niet goed verdichte aanvulgrond onder en naast de leiding in een droge sleuf en een continu zakingsprofiel (f_v in mm)

Grondsoort	Slappe klei/veen						Stijve klei						Normaal zand						Hard zand					
Dekking (m)	2,5			1,25			2,5			1,25			2,5			1,25			2,5			1,25		
Sleuftype	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
D nom. (mm)																								
100	20	30	30	20	25	30	15	25	30	15	20	20	10	10	15	10	10	10	10	10	10	10	10	10
200	20	35	40	20	30	35	15	25	35	15	20	25	10	10	15	10	10	10	10	10	15	10	10	10
300	25	40	50	25	30	40	15	25	35	15	20	25	10	15	20	10	10	10	10	10	15	10	10	10
400	25	40	55	25	30	40	20	30	40	20	25	30	10	15	20	10	10	15	10	10	15	10	10	10
450	25	40	60	25	30	45	20	30	40	20	25	30	10	15	20	10	10	15	10	10	15	10	10	10
600	25	45	65	25	35	50	20	30	45	20	25	30	10	15	20	10	10	15	10	10	15	10	10	10
750	30	45	70	30	35	50	20	30	50	20	25	35	10	15	25	10	10	15	10	10	15	10	10	10
900	30	50	75	30	40	50	20	35	50	20	30	35	10	15	25	10	10	15	10	15	15	10	10	15
1 200	30	50	75	30	40	55	25	35	55	25	35	40	10	15	25	10	15	15	10	15	20	10	15	15

Met name het zakingsverschil tussen de HDD en het gelegde gedeelte veroorzaakt axiale spanningen in de leiding ten gevolge van buiging én tangentiële spanningen ten gevolge van direct en indirect over te dragen belastingen.

De werkwijze voor de bepaling van deze spanningen is opgenomen in NPR 3659. Daarbij wordt onderscheid gemaakt naar de situatie waarbij geen (k-sprongmethode) en wel (z-sprongmethode) grondbreuk optreedt. De relevante methode wordt bepaald door de grootte van het zakkingsverschil f_v en de beddingconstanten ter weerszijden van de weg en de sleuf.

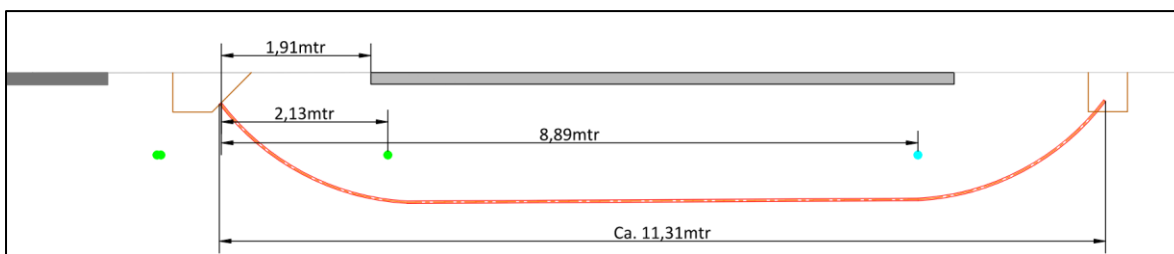
Indien er ook een bocht in het aansluitende deel wordt gebruikt betekent dit de kans op aanzienlijke spanningsverhogingen. Deze “gelegd/geperst” methode is te berekenen met het programma Sigma. Aanbevolen wordt om deze berekening uit te voeren bij zowel gas als vloeistofleidingen. Want dergelijke aansluitingen moeten voldoen aan de NEN-normen 3650 en 3651.

Conclusie: Wanneer een Nano-Drill boring of een boogboring wordt uitgevoerd in en door een waterstaatswerk moet deze voldoen aan de NEN-normen. Dit betekent dat er berekeningen nodig zijn (of in ieder geval ontwerpen gemaakt worden) die voldoen aan deze normen. Wanneer het boringen betreft van gas -of vloeistofleidingen moet goed gekeken worden of en waar bochten worden gebruikt. De overgang van de boringen op de veldstrekingen moet berekend worden volgens de gelegd/geperst methode.

3. Let op de bochtstralen

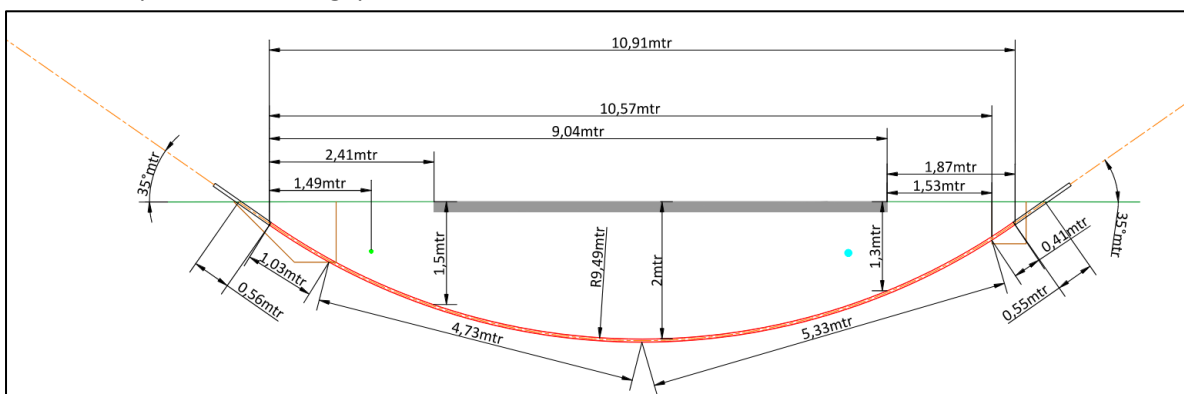
Belangrijk bij zowel de Nano-Drill boring als de boogboring is het belangrijk om te rekenen met goede bochtstralen. Deze mogen niet te krap zijn.

Voorbeeld: boring PE mantelbuis t.b.v. kabels



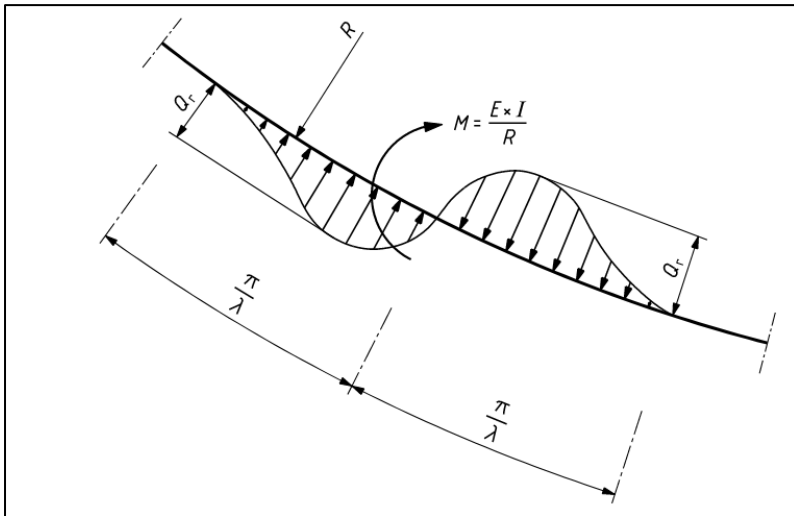
Deze bochten zijn te krap. Hoewel het goed lijkt om vrij snel op diepte te zitten zijn de buigspanningen veel te hoog.

Het ontwerp is daarom aangepast:



Verbeterd boorprofiel met ruimere bochten.

Bij de berekening van spanningen in bochten volgens de NEN 3650 wordt rekening gehouden met de buigstijfheid van de buis.



In fig. E.1 van de NEN 3650 zien we dat het : buigend moment in de bocht gelijk is aan:

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

Hierin is:

- f-factoren = onzekerheidsfactoren
- E = de elasticiteitsmodulus
- I_b = het traagheidsmoment van de bui
- R = de bochtstraal

Als de bochtstaal krap is dan zorgt dit gelijk voor hoge spanningen.

Stel bochtstraal is 1 m dan is de spanning bij een PE SDR 11 buis met een uitwendige middellijn van 110 mm gelijk aan:

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{f_{r,o} \cdot R}$$
$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 1.000} = 6.015.495,43 \text{ Nmm}$$
$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$
$$\sigma_b = \frac{6.015.495,43}{72.113,83} = \mathbf{83,42 \text{ N/mm}^2}$$

Dus zeer hoge buispanning. Maken we hier een bocht van met een bochtstraal van 3 m dan zien we:

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{f_{r,o} \cdot R}$$
$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 3.000} = 2.005.165,14 \text{ Nmm}$$
$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$
$$\sigma_b = \frac{2.005.165,14}{72.113,83} = \mathbf{27,81 \text{ N/mm}^2}$$

Wanneer we de bocht zo maken dat deze voldoet dan moeten we minstens een bochtstraal van 7,5 m toepassen.

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{f_{r,o} \cdot R}$$
$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 7.500} = 802.066,06 \text{ Nmm}$$
$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$
$$\sigma_b = \frac{802.066,06}{72.113,83} = \mathbf{11,12 \text{ N/mm}^2}$$

Rekening houdende met de buigzaamheid van PE betekent de bochtstraal van 7,5 m dat de totale spanning 7,94 N/mm² bedraagt. Dit is iets lager dan de toelaatbare spanning van 8,0 N/mm².

Conclusie: er is minimaal een bocht nodig met een bochtstraal van 7,5 m. Krappere bochten zijn niet toe te staan. Het is dus belangrijk om bij een boring de bochtstralen ruim te houden.

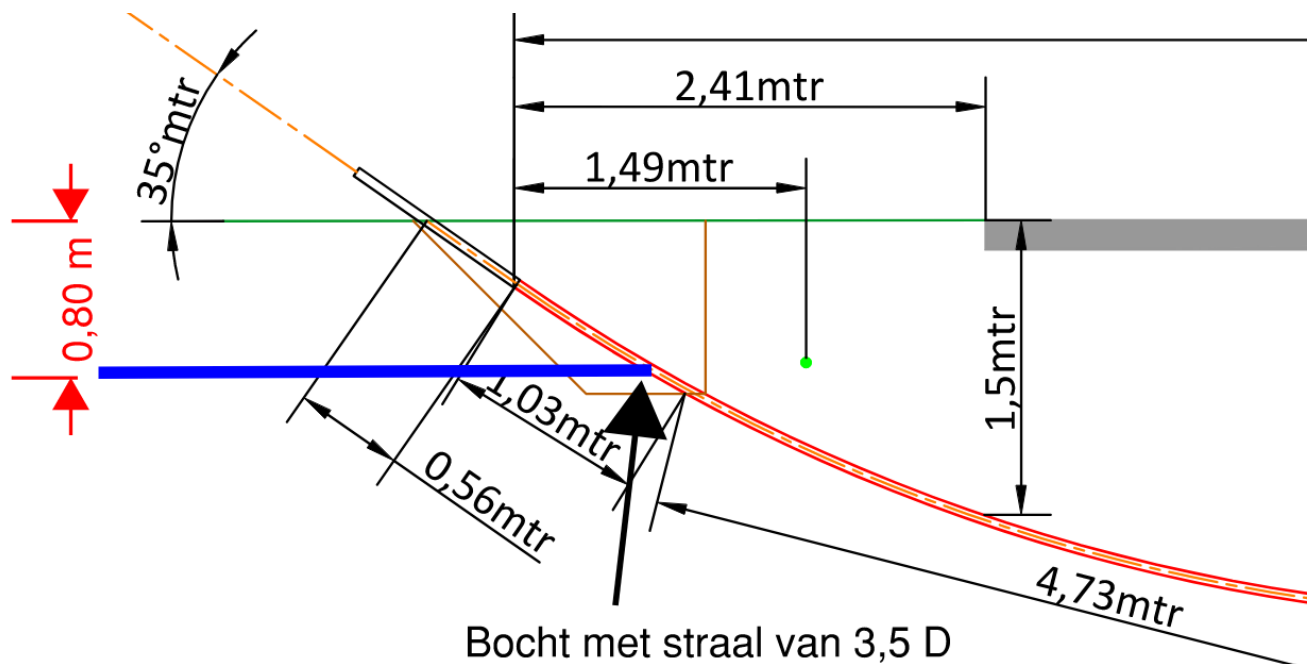
In de documentatie van bijvoorbeeld Pipelife of Dyka staan vaak tabellen met minimaal vereiste bochtstralen.

63 t/m 160 mm : R min = 50 x D
 200 t/m 250 mm : R min = 75 x D
 315 t/m 630 mm : R min = 100 x D
 710 t/m 800 mm : R min = 125 x D

buitenmiddellijn van de buis in mm	theoretische buigstraal R
D	HPE
Ø 63 t/m Ø 160	75 x D
Ø 200 t/m Ø 355	100 x D
Ø 400 t/m Ø 630	100 x D

We zien dus dat bij een 110 mm leiding minimaal een bochtstraal nodig is van $50 \times D = 50 \times 110 \text{ mm} = 5500 \text{ mm}$ respectievelijk $75 \times D = 75 \times 110 \text{ mm} = 8250 \text{ mm}$. Dus de rechtersnel is in dit geval maatgevend.

Gaan we deze leiding als mantelbuis gebruiken voor kabels dan is de berekening klaar. Wordt het een waterleiding die verlengd gaat worden dan is een gelegd/geperst berekening nodig. De volgende situatie kan dan schetsmatig van toepassing zijn:



In blauw zien we de te leggen waterleiding aansluitend aan de geboorde leiding.

Met het programma Sigma kan eenvoudig deze overgang worden berekend. We kiezen dan voor de gelegd/gelegd methode:

Projectgegevens Naam van het project: Aansluiting op HDD met Nano-Drill Projectonderdeel: Sterktberekening aansluiting veldstrekking PE Ø 110 mm SDR 11 ZAND Goed verdicht																																			
Leiding- en materiaalgegevens Materiaal: PE Kwaliteit: PE 100 Uitwendige middellijn [mm]: 110,0 Wanddikte [mm]: 10,0 Dikte bekleding [mm]: 0,0 Bocht in constructie: ☐ Nee ☒ Glad ☐ Mijter Wanddikte bocht [mm]: 10,0 Bochtstraal [mm]: 385,0	Importatiefactor ☒ 1.0 ☐ 0.95 ☐ 0.90 ☐ 0.85 ☐ 0.80 ☐ 0.75 Aanleggegevens Uitvoeringszakkingverschil [mm]: 5,0 Zettingsverschil [mm]: 0,0 Marstonfactor [-]: 0,3 Medium Medium: ☒ Vloeistof ☐ Gas ☐ Drukloos Ontwerpdruk [N/mm²]: 0,3 Volumieke massa medium [kg/m³]: 1000,0 Temperatuurverschil [°C]: 10,0 Aanvullende pomp-/lekgegevens: ☐ Ja ☒ Nee	Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone Waterstaatswerk: ☒ Verheeld ☐ Niet Verheeld																																	
Doorsneden <table border="1"> <thead> <tr> <th>Locatie</th> <th>Dekking t.o.v. maaiveld [m]</th> <th>Grondwater</th> <th>Grondsoort</th> <th>Volumiek gewicht droge grond [kN/m³]</th> <th>Inwendige wrijvingshoek grond [°]</th> <th>Effectieve cohesie [kN/m²]</th> <th>Schuifsterkte [kN/m²]</th> <th>E-modulus ondergrond [MN/m²]</th> <th>Gem. vert. beddingconstante [N/mm²]</th> <th>Verkeersbelasting</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Geperst deel</td> <td>0,8</td> <td>☐</td> <td>Zand</td> <td>18,0</td> <td>32,5</td> <td>0,0</td> <td>0,0</td> <td>45,0</td> <td>0,1</td> <td>Grafiek 1/2 x II</td> </tr> <tr> <td>Gelegd deel</td> <td>0,8</td> <td>☐</td> <td>Zand</td> <td>18,0</td> <td>32,5</td> <td>0,0</td> <td>0,0</td> <td>45,0</td> <td>0,04</td> <td>Grafiek 1/2 x II</td> </tr> </tbody> </table>			Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Grondwater	Grondsoort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m³]	Inwendige wrijvingshoek grond [°]	Effectieve cohesie [kN/m²]	Schuifsterkte [kN/m²]	E-modulus ondergrond [MN/m²]	Gem. vert. beddingconstante [N/mm²]	Verkeersbelasting	Geperst deel	0,8	☐	Zand	18,0	32,5	0,0	0,0	45,0	0,1	Grafiek 1/2 x II	Gelegd deel	0,8	☐	Zand	18,0	32,5	0,0	0,0	45,0	0,04	Grafiek 1/2 x II
Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Grondwater	Grondsoort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m³]	Inwendige wrijvingshoek grond [°]	Effectieve cohesie [kN/m²]	Schuifsterkte [kN/m²]	E-modulus ondergrond [MN/m²]	Gem. vert. beddingconstante [N/mm²]	Verkeersbelasting																									
Geperst deel	0,8	☐	Zand	18,0	32,5	0,0	0,0	45,0	0,1	Grafiek 1/2 x II																									
Gelegd deel	0,8	☐	Zand	18,0	32,5	0,0	0,0	45,0	0,04	Grafiek 1/2 x II																									

Invoerscherm Sigma: goed verdichte sleuf, ligging in zandgrond

Spanningen in geperste deel:

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

$$\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot (\sigma_q + i_{yp} \cdot \sigma_{bx})$$

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (3,41 + 1,11 \cdot 2,67) = \mathbf{4,14 \text{ N/mm}^2}$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

$$\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot i_{xp} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$$

$$\sigma_x = 0,66 + 0,65 \cdot 1,00 \cdot 2,67 + 1,56 = \mathbf{3,95 \text{ N/mm}^2}$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 1,00 = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$$

Spanningen in het gelegde deel:

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

$$\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot (\sigma_q + i_{yp} \cdot \sigma_{bx})$$

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (3,54 + 1,11 \cdot 2,46) = \mathbf{4,07 \text{ N/mm}^2}$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

$$\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot i_{xp} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$$

$$\sigma_x = 0,66 + 0,65 \cdot 1,00 \cdot 2,46 + 1,56 = \mathbf{3,81 \text{ N/mm}^2}$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 1,00 = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$$

Conclusie: de leiding voldoet

Wanneer sprake is van een niet goed verdichte sleuf dan kunnen we het volgende invoeren:

Projectgegevens Naam van het project: Aansluiting op HDD met Nano-Drill Projectonderdeel: Sterktberekening aansluiting veldstrekking PE Ø 110 mm SDR 11 ZAND Niet goed verdicht	
Leiding- en materiaalgegevens Materiaal: PE Kwaliteit: PE 100 Uitwendige middellijn [mm]: 110,0_ Wanddikte [mm]: 10,0_ Dikte bekleding [mm]: 0,0_ Bocht in constructie: ☐ Nee ☒ Glad ☐ Mijter Wanddikte bocht [mm]: 10,0_ Bochtstraal [mm]: 385,0_	Importantiefactor ☒ 1.0 ☐ 0.95 ☐ 0.90 ☐ 0.85 ☐ 0.80 ☐ 0.75 Aanleggegevens Uitvoeringszakkingverschil [mm]: 10,0_ Zettingsverschil [mm]: 5,0_ Marstonfactor [-]: 0,3_ Medium ☒ Vloeistof ☐ Gas ☐ Drukloos Ontwerpdruk [N/mm²]: 0,3_ Volumieke massa medium [kg/m³]: 1000,0_ Temperatuurverschil [°C]: 10,0_ Aanvullende pomp-/lekgegevens: ☐ Ja ☒ Nee
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone Waterstaatswerk: ☒ Verheeld ☐ Niet Verheeld	

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Grondwater	Grondsoort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m³]	Inwendige wrijvingshoek grond [°]	Effectieve cohesie [kN/m²]	Schuifsterkte [kN/m²]	E-modulus ondergrond [MN/m²]	Gem. vert. beddingconstante [N/mm³]	Verkeersbelasting
Geperst deel	0,8_	☐	Zand	18,0_	32,5_	0,0_	0,0_	45,0_	0,1_	Grafiek 1/2 x II
Gelegd deel	0,8_	☐	Zand	18,0_	32,5_	0,0_	0,0_	45,0_	0,02_	Grafiek 1/2 x II

En zien we het volgende:

Spanningen in het geperste deel:

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

$$\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot (\sigma_q + i_{yp} \cdot \sigma_{bx})$$

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (5,46 + 1,11 \cdot 9,07) = \mathbf{10,08 \text{ N/mm}^2}$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

$$\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot i_{xp} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$$

$$\sigma_x = 0,66 + 0,65 \cdot 1,00 \cdot 9,07 + 1,56 = \mathbf{8,11 \text{ N/mm}^2}$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 1,00 = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$$

Spanningen in het gelegde deel:

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

$$\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot (\sigma_q + i_{yp} \cdot \sigma_{bx})$$

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (4,67 + 1,11 \cdot 6,93) = \mathbf{8,03 \text{ N/mm}^2}$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

$$\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot i_{xp} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$$

$$\sigma_x = 0,66 + 0,65 \cdot 1,00 \cdot 6,93 + 1,56 = \mathbf{6,72 \text{ N/mm}^2}$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 1,00 = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$$

We zien dus dat de leiding nog net voldoet qua toelaatbare spanningen.

Bij iets meer zettingen zal de leiding echter net voldoen. Wanneer we te maken hebben met slappe klei naast de weg dan zien we het volgende beeld indien geen goede sleufverdichting kan worden gerealiseerd:

Naam van het project		Aansluiting op HDD met Nano-Drill	
Projectonderdeel		Sterktberekening aansluiting veldstrekking PE Ø 110 mm SDR 11 KLEI Matig vast	

Leiding- en materiaalgegevens Materiaal: PE Kwaliteit: PE 100 Uitwendige middellijn [mm]: 110,0 Wanddikte [mm]: 10,0 Dikte bekleding [mm]: 0,0 Bocht in constructie: ☐ Nee ☒ Glad ☐ Mijter Wanddikte bocht [mm]: 10,0 Bochtstraal [mm]: 385,0		Importantiefactor ☒ 1.0 ☐ 0.95 ☐ 0.90 ☐ 0.85 ☐ 0.80 ☐ 0.75	
Aanleggegevens Uitvoeringszakkingverschil [mm]: 30,0 Zettingsverschil [mm]: 25,0 Marstonfactor [-]: 0,3		Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone Waterstaatswerk: ☒ Verheeld ☐ Niet Verheeld	
Medium ☒ Vloeistof ☐ Gas ☐ Drukloos Ontwerpdruk [N/mm²]: 0,3 Volumieke massa medium [kg/m³]: 1000,0 Temperatuurverschil [°C]: 10,0 Aanvullende pomp-/lekgegevens: ☐ Ja ☒ Nee			

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Grondwater	Grondsoort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m³]	Inwendige wrijvingshoek grond [°]	Effectieve cohesie [kN/m²]	Schuifsterkte [kN/m²]	E-modulus ondergrond [MN/m²]	Gem. vert. beddingconstante [N/mm³]	Verkeersbelasting
Geperst deel	0,8	☐	Klei	17,0	17,5	5,0	50,0	2,0	0,007	Grafiek 1/2 x II
Gelegd deel	0,8	☐	Klei	17,0	17,5	5,0	50,0	2,0	0,0035	Grafiek 1/2 x II

Invoerscherm met matig vaste klei, met slechte verdichting sleuf

Optredende spanningen in geperste deel:

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

$$\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot (\sigma_q + i_{yp} \cdot \sigma_{bx})$$

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (3,42 + 1,11 \cdot 10,09) = \mathbf{9,49 \text{ N/mm}^2}$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

$$\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot i_{xp} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$$

$$\sigma_x = 0,66 + 0,65 \cdot 1,00 \cdot 10,09 + 1,56 = \mathbf{8,77 \text{ N/mm}^2}$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 1,00 = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$$

Optredende spanningen in het gelegd deel:

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

$$\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot (\sigma_q + i_{yp} \cdot \sigma_{bx})$$

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (3,60 + 1,11 \cdot 9,01) = \mathbf{8,83 \text{ N/mm}^2}$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

$$\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot i_{xp} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$$

$$\sigma_x = 0,66 + 0,65 \cdot 1,00 \cdot 9,01 + 1,56 = \mathbf{8,07 \text{ N/mm}^2}$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 1,00 = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$$

Conclusie: leiding voldoet niet aan de NEN 3650

De Nano-Drill methode is dus een methode om vlak bij de zijkant van de weg een boring in te zetten en aan de andere kant van de weg uit te komen. De bochtstraal onder de weg moet niet te krap ontworpen worden. Het liefst zo ruim mogelijk. Maar wanneer het een drukleiding betreft moet de aansluitende leiding berekend worden volgens de gelegd/geperst methode.

Indien besloten wordt om een boogboring toe te passen dient dezelfde berekeningswijze gevolgd te worden. De boorboring zelf kan met Sigma als "HDD" worden berekend.

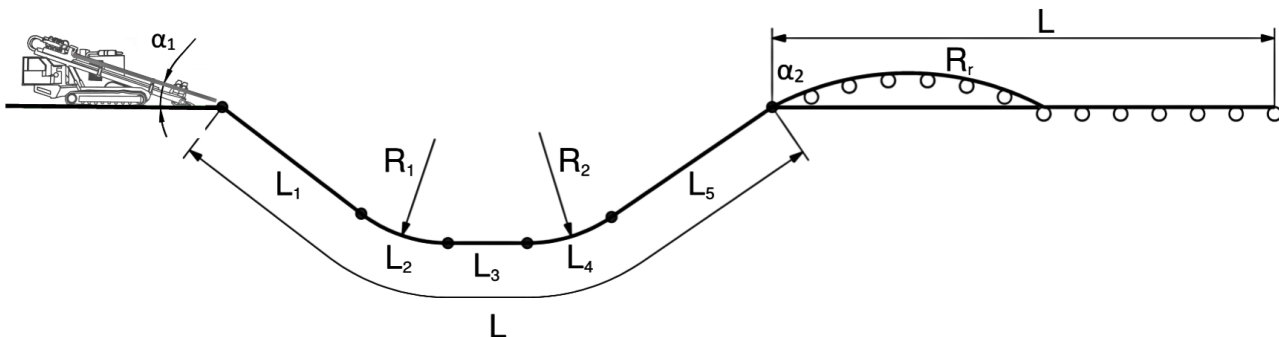
4. Conclusie

Kleine boorinstallaties hebben hun intrede gedaan in de boorwereld. De Nano-Drill installatie is zeer compact. Hiermee kunnen korte HDD's worden gemaakt. Belangrijk daarbij is wel dat de bochten die gebruikt gaan worden niet te krap worden ontworpen. Voor boogboringen geldt hetzelfde. Ook bij die boortechniek zijn ruime bochten nodig.

Omdat de in- en uittredepunten vaak direct naast de weg zijn geprojecteerd moet er rekening mee worden gehouden dat de aansluitingen met de gelegd/geperst methode moeten worden berekend. Enige zettingen kunnen tot gevolg hebben dat de toelaatbare spanningen worden overschreden. Dat is dus niet ter plaatse van de boring maar ter plaatse van de aansluitingen op de aangrenzende leidingen.

Ter informatie zijn de berekeningen die voor deze memo gebruikt zijn aan deze memo toegevoegd.



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2022 1.3 ©		
Algemene gegevens					
Naam van het project		: HDD met Nano-Drill			
Projectonderdeel		: Sterkte- en boorspoeldrukberekening PE Ø 110 mm SDR 11 t.b.v. glasvezelverbinding			
Materiaalgegevens					
Materiaalsoort:		PE			
Kwaliteit:		PE 100 SDR 11			
Lange-duur treksterkte		MRS	= 10	N/mm ²	
Materiaalfactor		γ _M	= 1,25	-	
Toelaatbare langeduur spanning		σ̄ _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	= 110,00	mm	
Wanddikte		d _n	= 10	mm	
Procesgegevens					
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)			= Drukloos		
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken					
Totale lengte		L	= 13,25	m	
Lengte 1e rechte deel		L ₁	= 0,46	m	
Lengte neergaande bocht		L ₂	= 6,10	m	
Lengte 2e rechte deel		L ₃	= 0,10	m	
Lengte opgaande bocht		L ₄	= 6,20	m	
Lengte 3e rechte deel		L ₅	= 0,39	m	
Straal maaiveld/rollenbaan		R _r	= 20,00	m	
Straal neergaande bocht		R ₁	= 16,10	m	
Straal opgaande bocht		R ₂	= 16,10	m	
Intrede-hoek (bij boorstelling)		α ₁	= 23,00 / 42,45	° / %	
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)		α ₂	= 12,00 / 21,26	° / %	
Belastinghoek		α	= 180	°	
Ondersteuningshoek		β	= 120	°	
Horizontale steundrukhoek		γ	= 120	°	
Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd		γ	= 1,1		
					
			18-04-2023 21:47:10		



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020					Sigma 2022 1.3 ©
Uitvoeringsaspecten					
Diameter boorstang		D_b	= 30	mm	
<i>Tijdens pilot</i>					
Diameter boorkop/boorgat		D_p	= 60	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		$Q_{m,p}$	= 40,0	l/min	
<i>Tijdens intrekken</i>					
Gecombineerd ruimen/intrekken					
Diameter ruimer/boorgat		$D_{g,i}$	= 140,0	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		$Q_{m,i}$	= 40	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]	Grondsoort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]	Wrijvingshoek grond [°]
1	0,46	0,79	Zand	18,00	32,50
2	3,15	1,67	Zand	18,00	32,50
3	6,42	1,80	Zand	18,00	32,50
4	12,85	1,80	Zand	18,00	32,50
5	12,9	0,78	Zand	18,00	32,50
Locatie	Hor. steundruk	Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm ³]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
1	✓	-	0,00	45,00	Grafiek 1/2 x II
2	✓	0,1100	0,00	45,00	Grafiek I
3	✓	0,1100	0,00	45,00	Grafiek I
4	✓	0,1100	0,00	45,00	Grafiek I
5	✓	-	0,00	45,00	Grafiek 1/2 x II
					18-04-2023 21:47:10



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

Sigma 2022 1.3 ©

Locatie	Gereduceerde grondbelasting
1	Geen
2	Geen
3	Geen
4	Geen
5	Geen



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020				Sigma 2022 1.3 ©	
1. Eigenschappen van de leiding					
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 90,00	mm		
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 100,00	mm		
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 110,00	mm		
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 55,00	mm		
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 45,00	mm		
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 50,00	mm		
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 3.966.260,73	mm ⁴		
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 72.113,83	mm ³		
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 83,33	mm ⁴ /mm ¹		
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 16,67	mm ³ /mm ¹		
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 3.141,59	mm ²		
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,0300	N/mm ¹		
2. Berekening van het gewicht van de leiding tijdens het intrekken van de leiding					
	Leiding op rollenbaan/maaiveld			Leiding in boorgat	
Gewicht mediumleiding	g	= 0,0300	N/mm ¹	g	= 0,0300 N/mm ¹
Gewicht vulling	g_{vul}	= N.v.t.	+	g_{vul}	= N.v.t. +
Totaal gewicht	g_{rol}	= 0,0300	N/mm ¹	g_{gat}	= 0,0300 N/mm ¹
3. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds					
3.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld					
Trekkracht T_1 tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_1 [N]			
Starten met trekken	13,25	167			
Na intrekken van L_5	12,86	162			
Na intrekken van $L_5 + L_4$	6,66	84			
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	6,56	83			
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	0,46	6			
$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,4 \cdot L \cdot 0,0300 \cdot 0,3$					
3.2 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	167	0,05			
Na intrekken van L_5	162	0,05			
Na intrekken van $L_5 + L_4$	84	0,03			
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	83	0,03			
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	6	0,00			
$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{3.141,59}$					
				18-04-2023 21:47:10	



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

Sigma 2022 1.3 ©

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.261}{20.000} = 212.690,73 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{212.690,73}{72.114} = \mathbf{2,95 \text{ N/mm}^2}$$

3.4 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	0,05	1,97
Na intrekken van L ₅	0,05	1,97
Na intrekken van L ₅ + L ₄	0,03	1,94
Na intrekken van L ₅ + L ₄ + L ₃	0,03	1,94
Na intrekken van L ₅ + L ₄ + L ₃ + L ₂	0,00	1,92

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 2,95 + \sigma_t$$

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



4. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat

4.1 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: $D_{e,omtrek} = 345,58 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof: $g_{opw} = \rho_{m,i} \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 110,00^2 \cdot \pi/4 = 0,109 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,0793 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
Na intrekken van L_5	0,39	18	-
Na intrekken van $L_5 + L_4$	6,59	-	306
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	6,69	310	-
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	12,79	-	593
Geheel ingetrokken	13,25	615	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,4 \cdot L \cdot (345,58 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,4 \cdot L \cdot (345,58 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

4.2 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]
2	0,0053	16,1	0,022	800
3	0,0053	16,1	0,022	800
4	0,0053	16,1	0,022	800

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

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

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,4 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 110 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$



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

Sigma 2022 1.3 ©

4.3 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	60	218	571	-	849
Opgaande bocht	4	424	571	571	1.570

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	11,50	849	95
Opgaande bocht	6,00	1.570	175

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

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

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

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

4.4 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	162	18	-	-	-	-	180
Na intrekken van $L_5 + L_4$	84	306	800	95	-	-	1.284
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	83	310	800	95	-	-	1.287
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	6	593	800	95	800	175	2.385
Geheel ingetrokken	0	615	800	95	800	175	2.401

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



4.5 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	116	13	-	-	-	-	129
Na intrekken van $L_5 + L_4$	60	218	571	68	-	-	917
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	59	222	571	68	-	-	920
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	4	424	571	68	571	125	1.704
Geheel ingetrokken	0	439	571	68	571	125	1.715

De maximale karakteristieke waarde voor de benodigde trekkracht bedraagt **1.715 N** ($\approx 0,2$ 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.

4.6 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	180	0,06
Na intrekken van $L_5 + L_4$	1.284	0,41
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	1.287	0,41
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	2.385	0,76
Geheel ingetrokken	2.401	0,76

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{3.141,59}$$



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

4.7.1 Neergaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 16.100} = 373.633,26 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{373.633,26}{72.113,83} = \mathbf{5,18 \text{ N/mm}^2}$$

4.7.2 Opgaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 16.100} = 373.633,26 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{373.633,26}{72.113,83} = \mathbf{5,18 \text{ N/mm}^2}$$

4.8 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	180	0,06	-	0,06
Na intrekken van $L_5 + L_4$	1.284	0,41	5,18	3,78
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	1.287	0,41	-	0,41
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	2.385	0,76	5,18	4,13
Geheel ingetrokken	2.401	0,76	-	0,76

$$\text{Rechte delen: } \sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{3.141,59} = \sigma_t$$

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

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



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2022 1.3 ©
---	------------------

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

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

Leiding is drukloos:

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

5.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

Leiding is drukloos:

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

5.3 Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Grondsoort	q_n [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]
1	0,79	Zand	15,64	1,72
2	1,67	Zand	33,07	3,64
3	1,80	Zand	35,64	3,92
4	1,80	Zand	35,64	3,92
5	0,78	Zand	15,44	1,70

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

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

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

$$Q_n = q_n \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot 110$$

5.4 Berekening van de verkeersbelasting Q_v

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeersbelasting	q_v [kN/m ²]	Q_v [N/mm ¹]
1	0,79	Grafiek 1/2 x II	27,94	3,07
2	1,67	Grafiek I	29,97	3,30
3	1,80	Grafiek I	27,79	3,06
4	1,80	Grafiek I	27,79	3,06
5	0,78	Grafiek 1/2 x II	28,48	3,13

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 110$$

5.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	Hor. steundruk	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_{boven} [N/mm ¹]	M_q [Nmm]	σ_q [N/mm ²]
1	✓	1,72	3,07	4,79	19,34 ⁽¹⁾	1,16
2	✓	3,64	3,30	6,93	27,98 ⁽¹⁾	1,68
3	✓	3,92	3,06	6,98	28,15 ⁽¹⁾	1,69
4	✓	3,92	3,06	6,98	28,15 ⁽¹⁾	1,69
5	✓	1,70	3,13	4,83	19,50 ⁽¹⁾	1,17

$$\text{Indien horizontale steundruk: } M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g \quad (1)$$

$$M_q = 0,138 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 50,00 - 0,143 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 50,00$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{16,67}$$



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020				Sigma 2022 1.3 ©
5.6 Optredende spanning σ_{qr} tgv. grondreactie in de bochten				
Locatie	R [m]	Q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]	
2	16,1	0,022	0,66	
3	16,1	0,022	0,66	
4	16,1	0,022	0,66	
$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,083 \cdot Q_r \cdot 110 \cdot \frac{55,00}{16,67}$				
5.7 Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil				
Leiding is drukloos				
$\sigma_{ax} = 0$ N/mm ²				
6. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N				
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$				
$S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100^3} = 0,0812 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,25 \text{ kN/m}^2}$				
Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²				
7. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk				
Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$				
Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$				
$p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$				
$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$				
$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$				
Conclusie: Kans op implosie bij 27,78 m grondwater boven de leiding				
8. Berekening van het totaal aan optredende spanningen				
8.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding				
Locatie	σ_q [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]	α_{σ} [-]	σ_{y2} [N/mm ²]
1	1,16	-	0,65	0,75
2	1,68	0,66	0,65	1,52
3	1,69	0,66	0,65	1,53
4	1,69	0,66	0,65	1,53
5	1,17	-	0,65	0,76
Rechte delen: $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_q$				
Bochten: $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$				
Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = \sigma_t = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$				
				18-04-2023 21:47:11



8.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

Locatie	σ_{pl} [N/mm ²]	σ_{ax} [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_x [N/mm ²]
1	0,00	0,00	-	-	0,00
2	0,00	0,00	5,18	0,65	3,37
3	0,00	0,00	5,18	0,65	3,37
4	0,00	0,00	5,18	0,65	3,37
5	0,00	0,00	-	-	0,00

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

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

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

9. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_r [N/mm ²]	δ_Y [mm]	δ_Y/D_g [%]
1	1,72	3,07	-	0,63	0,63
2	3,64	3,30	0,022	1,02	1,02
3	3,92	3,06	0,022	1,06	1,06
4	3,92	3,06	0,022	1,06	1,06
5	1,70	3,13	-	0,63	0,63

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

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33}$$

Toelaatbare deflectie = 8% · D_g = 0,08 · 100,00 = **8,00** mm



10. Berekening van de boorspoeldrukken

Locatie	H [m]	σ_{vert} [kN/m ²]	σ_{hor} [kN/m ²]	σ_o' [kN/m ²]	p'_f [kN/m ²]	E_{100} [MN/m ²]
1	0,79	12,93	5,98	9,45	14,53	17,80
2	1,67	27,33	12,64	19,99	30,72	25,88
3	1,80	29,45	13,63	21,54	33,12	26,86
4	1,80	29,45	13,63	21,54	33,12	26,86
5	0,78	12,76	5,91	9,33	14,35	17,68

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

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

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

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

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

Locatie	G [MN/m ²]	Q [-]	u [N/mm ²]	v [-]	p_{lim} [N/mm ²]	90% p_{lim} [bar] 1
1	9,56	0,00053	0,0000	0,3163	0,20	1,82
2	13,90	0,00077	0,0000	0,3163	0,38	3,38
3	14,43	0,00080	0,0000	0,3163	0,40	3,60
4	14,43	0,00080	0,0000	0,3163	0,40	3,60
5	9,50	0,00053	0,0000	0,3163	0,20	1,81

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

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

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

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



10.1 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
1	0,40	0,18	0,09	0,85	0,00	0,02
2	0,34	1,08	0,16	1,63	0,01	0,14
3	0,33	1,46	0,17	1,73	0,02	0,20
4	0,33	1,11	0,17	1,73	0,02	0,20
5	0,39	1,10	0,08	0,84	0,02	0,20

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

$$R_o = \frac{D_p}{2} = \frac{60}{2} = 30 \text{ mm}$$

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

$$v_{m,p} = \frac{Q_{m,p}}{A_p} = \frac{40,0}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - D_b^2)} = \frac{40,0}{1/4 \cdot \pi \cdot (60^2 - 30^2)} = 0,314 \text{ m/s}$$

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

10.2 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
5	0,39	0,07	0,05	0,47	0,00 ⁽¹⁾	0,01
4	0,78	0,08	0,17	1,73	0,00 ⁽¹⁾	0,01
3	0,78	0,43	0,17	1,73	0,01 ⁽¹⁾	0,08
2	0,80	0,06	0,16	1,63	0,01 ⁽¹⁾	0,06
1	0,40	-0,85	0,05	0,48	0,00 ⁽¹⁾	-0,03

$$R_o = \frac{D_{g,i}}{2} = \frac{140,0}{2} = 70,0 \text{ mm}$$

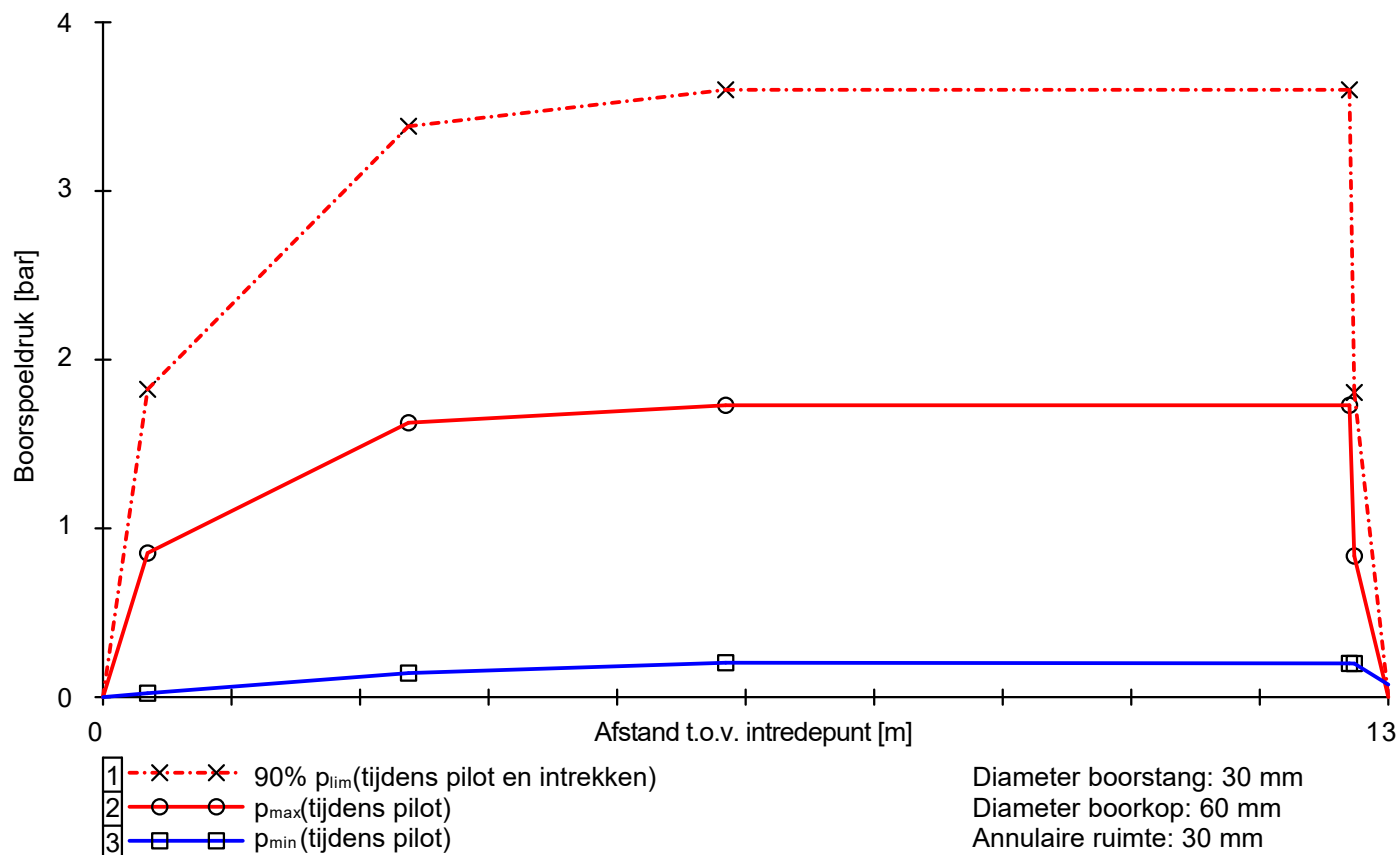
$$v_{m,i,uit} = \frac{Q_{m,i}}{A_i} = \frac{40}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,i}^2 - D_o^2)} = \frac{40}{1/4 \cdot \pi \cdot (140^2 - 110^2)} = 0,113 \text{ m/s}$$

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

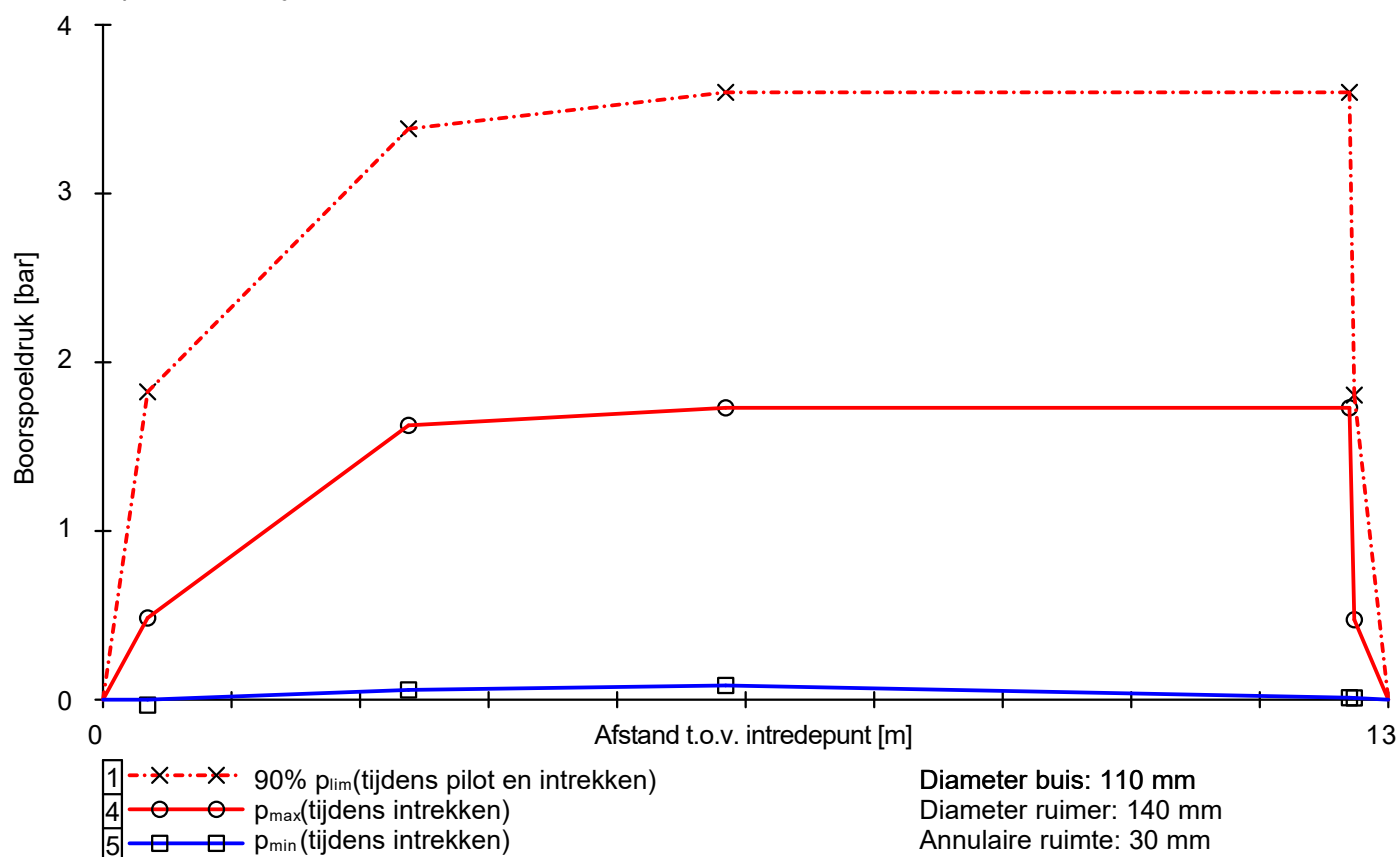
$$p_{min,in} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_i \cdot v_{m,i,in}}{(D_p - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,i}}{D_p - D_b} \right) \cdot L + \rho_{m,i} \cdot \Delta h_{in} \quad (2)$$



10.3 Boorspoeldrukken tijdens pilot



10.4 Boorspoeldrukken tijdens intrekken





Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2022 1.3 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project	: Aansluiting op HDD met Nano-Drill		
Projectonderdeel	: Sterktberekening aansluiting veldstrekking PE Ø 110 mm SDR 11 ZAND Goed verdicht		
Importatiefactor S	: 1		
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	-
Toelaatbare deflectie	δ	= 8,00	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 110,00	mm
Wanddikte	d _n	= 10	mm
Wanddikte bocht	t	= 10	mm
Bochtstraal	R	= 385,00	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)	= Vloeistof		
Ontwerpdruk	p _d	= 0,3	N/mm ²
Volumieke massa medium	ρ	= 1000	kg/m ³
Temperatuurverschil	Δt	= 10	°
Aanleggegevens			
Belastinghoek (Geperst deel)	α	= 180	°
Belastinghoek (Gelegd deel)	α	= 180	°
Ondersteuningshoek (Geperst deel)	β	= 120	°
Ondersteuningshoek (Gelegd deel)	β	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 5	mm
Zettingsverschil	f _z	= 0	mm
Berekeningsmethode	z-sprong methode		
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Verheeld			
		18-04-2023 21:28:10	



Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2022 1.3 ©

Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Grondsoort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]	Wrijvingshoek grond [°]	Gem. vert. bedding- constante [N/mm ³]
Geperst deel	0,80	Zand	18,00	32,50	0,1000
Gelegd deel	0,80	Zand	18,00	32,50	0,0400

Locatie	Effectieve cohesie [kN/m ²]	Schuif- sterkte [kN/m ²]	Verkeersbelasting
Geperst deel	0,00	0,00	Grafiek 1/2 x II
Gelegd deel	0,00	0,00	Grafiek 1/2 x II

Locatie	Ontlastende invloed t.g.v. wegdek
Geperst deel	Geen ontlastende invloed
Gelegd deel	Geen ontlastende invloed



Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2022 1.3 ©
1. Eigenschappen van de leiding			
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 90,00	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 100,00	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 110,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 55,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 45,00	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 50,00	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 3.966.260,73	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 72.113,83	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 83,33	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 16,67	mm ³ /mm ¹
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan			
Voor vloeistofleidingen geldt: $H^3 \cdot D_i^5$ moet kleiner dan 40 m⁸ zijn. H is de druk in meters vloeistofkolom. Rekening houdende met $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ volgt: $H = \frac{p_d}{\rho \cdot g}$ $H = \frac{300.000}{1.000 \cdot 9,81} = 30,58 \text{ m} \rightarrow H^3 \cdot D_i^5 = 30,58^3 \cdot 0,09^5 = 0,17 \text{ m}^8$			
3. Berekening van de veiligheidszone			
$R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{H^3 \cdot D_i^5}$ $R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{30,58^3 \cdot 0,09^5} = 6,41 \text{ m}$			
Zonder volledige afschuiving geldt: - Indien er sprake is van een klein gat: $R_L = \frac{1}{2} \cdot R_B = 3,20 \text{ m}$ - Indien er sprake is van een groot gat: $R_L = R_B = 6,41 \text{ m}$ Met volledige afschuiving geldt: $R_L = 2 \cdot R_B = 12,81 \text{ m}$			
- Indien er sprake is van een klein gat: Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_L = 4 \cdot 0,00 + 3,20 = 3,20 \text{ m}$ - Indien er sprake is van een groot gat: Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_L = 4 \cdot 0,00 + 6,41 = 6,41 \text{ m}$ - Met volledige afschuiving geldt: Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_L = 4 \cdot 0,00 + 12,81 = 12,81 \text{ m}$ $D_K = 1,2 \cdot (D_0 + H) = 1,2 \cdot (0,11 + 0,8) = 1,09 \text{ m}$			
			18-04-2023 21:28:10



Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2022 1.3 ©
4. Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pl} t.g.v. inwendige druk		
$D_g/d_n = 100,00/10,00 = 10,00 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow$ Dikwandige leiding $\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$ $\sigma_p = \frac{55,00^2 + 45,00^2}{55,00^2 - 45,00^2} \cdot 0,3 = 1,52 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{p(bi)} = \frac{2 \cdot R - 0,5 \cdot D_e}{2 \cdot R - D_e} \cdot \sigma_p$ $\sigma_{p(bi)} = \frac{2 \cdot 385 - 0,5 \cdot 110}{2 \cdot 385 - 110} \cdot 1,52 = 1,64 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{p(bu)} = \frac{2 \cdot R + 0,5 \cdot D_e}{2 \cdot R + D_e} \cdot \sigma_p$ $\sigma_{p(bu)} = \frac{2 \cdot 385 + 0,5 \cdot 110}{2 \cdot 385 + 110} \cdot 1,52 = 1,42 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_{p(bi)} = 1,64 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 1,64 = 0,66 \text{ N/mm}^2$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 1,00 = 8,00 \text{ N/mm}^2$		
5. Berekening reroundingfactor f_{rr} (Geperst deel)		
$f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w})$ $f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 50^3 \cdot 0,089}{975 \cdot 83,33}) = 0,92$		
6. Berekening reroundingfactor f_{rr} (Gelegd deel)		
$f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w})$ $f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 50^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 83,33}) = 0,91$		
7. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n (Geperst deel)		
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 18,0 \cdot 0,8 = 15,84 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 15,84 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 1,74 \text{ N/mm}^1$		
8. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n (Gelegd deel)		
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 18 \cdot 0,8 = 15,84 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 15,84 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 1,74 \text{ N/mm}^1$		
		18-04-2023 21:28:10



Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2022 1.3 ©
9. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p (Gelegd deel)		
$q_p = q_n \cdot \left(1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o} \right)$ $q_p = 15,84 \cdot \left(1 + 0,3 \cdot \frac{0,8}{0,11} \right) = 50,40 \text{ kN/m}^2$ $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 50,40 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 5,54 \text{ N/mm}^1$ $q_o = \frac{Q_p}{D_o}$ $q_o = \frac{5,54}{110} = 0,05 \text{ N/mm}^2$		
10. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Grafiek 1/2 x II NEN 3650-1:C.17 (Geperst deel)		
Niet rekenen met ontlastende invloed $q_v = 27,41 \text{ kN/m}^2$ $Q_v = q_v \cdot D_o$ $Q_v = 27,41 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 3,01 \text{ N/mm}^1$		
11. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Grafiek 1/2 x II NEN 3650-1:C.17 (Gelegd deel)		
Niet rekenen met ontlastende invloed $q_v = 27,41 \text{ kN/m}^2$ $Q_v = q_v \cdot D_o$ $Q_v = 27,41 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 3,01 \text{ N/mm}^1$		
12. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ (Geperst deel)		
$\lambda_1 = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_1}{4 \cdot E \cdot I_b}}$ $\lambda_1 = \sqrt[4]{\frac{110 \cdot 0,1}{4 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}} = 0,0052 \text{ mm}^{-1}$		
13. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ (Gelegd deel)		
$\lambda_2 = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_2}{4 \cdot E \cdot I_b}}$ $\lambda_2 = \sqrt[4]{\frac{110 \cdot 0,04}{4 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}} = 0,0041 \text{ mm}^{-1}$		
		18-04-2023 21:28:10



Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2022 1.3 ©
14. Bepaling van de relevante berekeningsmethode (k-sprong/z-sprong)	
$k_2/k_1 = 0,4$ $a = \frac{\sqrt{k_2/k_1} - k_2/k_1}{1 + k_2/k_1 + 2\sqrt{k_2/k_1} + 2\sqrt[4]{(k_2/k_1)^3} + 2\sqrt{k_2/k_1}} = 0,044$ $b = \frac{k_2/k_1 - \sqrt[4]{(k_2/k_1)^3}}{1 + k_2/k_1 + 2\sqrt{k_2/k_1} + 2\sqrt[4]{(k_2/k_1)^3} + 2\sqrt{k_2/k_1}} = 0,17$ $\lambda x = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a+b}\right) = 0,67$ $A_{\lambda x} = e^{-\lambda x} \cdot (\cos \lambda x + \sin \lambda x) = 0,72$ $B_{\lambda x} = e^{-\lambda x} \cdot \sin \lambda x = 0,32$ $\alpha = \left(\frac{0,5 \cdot a \cdot A_{\lambda x} + b \cdot B_{\lambda x}}{0,08}\right)^2 = \left(\frac{0,5 \cdot 0,044 \cdot 0,72 + 0,17 \cdot 0,72}{0,08}\right)^2 = 0,77$ $\frac{(f_k + 1,5 \cdot f_z) \cdot k_1 \cdot \alpha}{q_o} = \frac{(5 + 2,0 \cdot 0) \cdot 0,1 \cdot 0,77}{0,05} = 7,69$ $\text{Toetswaarde} = \frac{\alpha}{2 \cdot b \cdot \sqrt[4]{k_2/k_1} - a \sqrt{k_2/k_1}} = \frac{0,77}{2 \cdot 0,17 \cdot \sqrt[4]{0,4} - 0,044 \sqrt{0,4}} = 3,16$ $7,69 > 3,16 \rightarrow$ z-sprong methode	
15. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting	
$C = 1,3$ (Volgens C.6 NEN3650:1992) $L = \frac{C}{\lambda_2} = \frac{1,3}{0,0041} = 316,55 \text{ mm}$ 15.1 Geperst deel $Q_d = 2,4 \cdot L \cdot Q_p \cdot \frac{\lambda_1}{\pi}$ $Q_d = 2,4 \cdot 316,55 \cdot 5,54 \cdot \frac{0,0052}{\pi} = 6,92 \text{ N/mm}^1$ 15.2 Gelegd deel $Q_d = 1,6 \cdot L \cdot Q_p \cdot \frac{\lambda_2}{\pi}$ $Q_d = 1,6 \cdot 316,55 \cdot 5,54 \cdot \frac{0,0041}{\pi} = 3,67 \text{ N/mm}^1$	
	18-04-2023 21:28:10



Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2022 1.3 ©																				
16. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen (Geperst deel)																						
Berekening evenwichtsdraagvermogen																						
$N_q = e^{\pi \tan(\varphi)} \cdot \tan^2(45^\circ + \varphi/2) = 24,58$																						
$N_y = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi) = 22,54$																						
$B = D_o = 0,11 \text{ m}$																						
$B/L = 0,1$																						
$Z = h + D_o / 2 = 0,80 + 0,11 / 2 = 0,86 \text{ m}$																						
$S_y = 1 - 0,4 \cdot B/L = 0,96$																						
$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 1,39$																						
$\gamma'_{gem} = (q_n + \gamma \cdot \gamma_d \cdot D_o / 2) / Z = 19,80 \text{ kN/m}^3$																						
$P_{we} = 0,95 \cdot (0,5 \cdot \gamma'_{gem} \cdot D_o \cdot N_y \cdot S_y \cdot d_y + S_q \cdot N_q \cdot d_q \cdot (q_n + c' \cdot \cot(\varphi)) - c' \cdot \cot(\varphi))$																						
$P_{we} = 565,64 \text{ kN/m}^2 = 0,57 \text{ N/mm}^2$																						
$P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 0,57 \cdot 110,00 = 62,22 \text{ N/mm}^1$																						
Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen																						
<table><tr><td>Q_n</td><td>=</td><td>1,74</td><td>N/mm¹</td><td>Conclusie:</td></tr><tr><td>Q_v</td><td>=</td><td>3,01</td><td>N/mm¹</td><td>Geen aanpassing</td></tr><tr><td>Q_d</td><td>=</td><td>6,92</td><td>N/mm¹</td><td>+ van Q_d nodig</td></tr><tr><td>Σ</td><td>=</td><td>11,68</td><td>N/mm¹</td><td></td></tr></table>			Q_n	=	1,74	N/mm ¹	Conclusie:	Q_v	=	3,01	N/mm ¹	Geen aanpassing	Q_d	=	6,92	N/mm ¹	+ van Q_d nodig	Σ	=	11,68	N/mm ¹	
Q_n	=	1,74	N/mm ¹	Conclusie:																		
Q_v	=	3,01	N/mm ¹	Geen aanpassing																		
Q_d	=	6,92	N/mm ¹	+ van Q_d nodig																		
Σ	=	11,68	N/mm ¹																			
17. Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen (Geperst deel)																						
Moment t.g.v. Q_n en Q_v		Moment t.g.v. Q_d																				
$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$		$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$																				
$M_q = 0,138 \cdot (1,74 + 3,01) \cdot 50,00$		$M_{qd} = 0,083 \cdot 6,92 \cdot 50,00$																				
$M_q = 32,82 \text{ Nmm/mm}^1$		$M_{qd} = 28,73 \text{ Nmm/mm}^1$																				
Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}																						
$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$																						
$\sigma_q = 0,92 \cdot (32,82 + 28,73) / 16,67 = 3,41 \text{ N/mm}^2$																						
18. Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen (Gelegd deel)																						
Moment t.g.v. Q_n en Q_v		Moment t.g.v. Q_d																				
$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$		$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$																				
$M_q = 0,177 \cdot (1,74 + 3,01) \cdot 50,00$		$M_{qd} = 0,122 \cdot 3,67 \cdot 50,00$																				
$M_q = 42,10 \text{ Nmm/mm}^1$		$M_{qd} = 22,39 \text{ Nmm/mm}^1$																				
Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}																						
$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$																						
$\sigma_q = 0,91 \cdot (42,10 + 22,39) / 16,67 = 3,54 \text{ N/mm}^2$																						
19. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z (Geperst deel)																						
$m^- = 0,347$ (Volgens C.6 NEN3650:1992)																						
$\sigma_{bx} = m^- \cdot q_0 \cdot D_e \cdot \frac{L^2}{W_b}$																						
$\sigma_{bx} = 0,347 \cdot 0,05 \cdot 110 \cdot \frac{316,55}{72.113,83} = 2,67 \text{ N/mm}^2$																						
		18-04-2023 21:28:10																				



Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2022 1.3 ©
20. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z (Gelegd deel)	
$m^+ = 0,319$ (Volgens C.6 NEN3650:1992) $\sigma_{bx} = m^+ \cdot q_0 \cdot D_e \cdot \frac{L^2}{W_b}$ $\sigma_{bx} = 0,319 \cdot 0,05 \cdot 110 \cdot \frac{316,55}{72.113,83} = 2,46 \text{ N/mm}^2$	
21. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil	
$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$ $\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,00016 \cdot 975 = 1,56 \text{ N/mm}^2$	
22. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht	
Berekening van de factoren i_x , i_{xp} , i_y en i_{yp} van de bocht: $r = \left(\frac{D_e}{2} + \frac{D_e - 2 \cdot t}{2} \right) / 2 = 50,00 \text{ mm}$ $h = \frac{t \cdot R}{r^2} = \frac{10 \cdot 385}{50^2} = 1,54$ $k = \frac{1,65}{h} = \frac{1,65}{1,54} = 1,07$ $i_x = \frac{0,9}{h^{(2/3)}} = \frac{0,9}{1,54^{(2/3)}} = 0,67$ $c_2 = 1 + 3,25 \cdot (p_d/E) \cdot (r/t)^{(5/2)} \cdot (R/r)^{(2/3)}$ $c_2 = 1 + 3,25 \cdot (0,3/975) \cdot (50,00/10)^{(5/2)} \cdot (385,00/50)^{(2/3)} = 1,22$ $i_{xp} = \frac{i_x}{c_2} = \frac{0,67}{1,22} = 0,55$ $i_y = 2 \cdot i_x = 2 \cdot 0,67 = 1,35$ $i_{yp} = 2 \cdot i_{xp} = 2 \cdot 0,55 = 1,11$ $i_x < 1 \rightarrow i_x = 1,00$ $i_{xp} < 1 \rightarrow i_{xp} = 1,00$	
23. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N	
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100^3} = 0,0812 \text{ N/mm}^2 = 81,25 \text{ kN/m}^2$ Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m ²	
24. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk	
Veiligheidsfactor γ voor langdurige overdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende overdruk: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij 27,78 m grondwater boven de leiding	
18-04-2023 21:28:10	



Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2022 1.3 ©
25. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie (Geperst deel)	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (1,74 + \frac{1}{2} \cdot 3,01) - 0,095 \cdot (1 - \sin(32,5^\circ)) \cdot (1,74 + \frac{1}{2} \cdot 3,01) + 0,048 \cdot 6,92) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33} = \mathbf{2,05 \text{ mm}} (= 2,05\%)$ Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · D_g = 0,08 · 1 · 100,00 = 8,00 mm	
26. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie (Gelegd deel)	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (1,74 + \frac{1}{2} \cdot 3,01) - 0,095 \cdot (1 - \sin(32,5^\circ)) \cdot (1,74 + \frac{1}{2} \cdot 3,01) + 0,048 \cdot 3,67) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33} = \mathbf{1,38 \text{ mm}} (= 1,38\%)$ Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · D_g = 0,08 · 1 · 100,00 = 8,00 mm	
27. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (Geperst deel)	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot (\sigma_q + i_{yp} \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (3,41 + 1,11 \cdot 2,67) = \mathbf{4,14 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot i_{xp} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,66 + 0,65 \cdot 1,00 \cdot 2,67 + 1,56 = \mathbf{3,95 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 1,00 = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$	
28. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (Gelegd deel)	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot (\sigma_q + i_{yp} \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (3,54 + 1,11 \cdot 2,46) = \mathbf{4,07 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot i_{xp} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,66 + 0,65 \cdot 1,00 \cdot 2,46 + 1,56 = \mathbf{3,81 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 1,00 = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$	
	18-04-2023 21:28:10



Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2022 1.3 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project	: Aansluiting op HDD met Nano-Drill		
Projectonderdeel	: Sterktberekening aansluiting veldstrekking PE Ø 110 mm SDR 11 ZAND Niet goed verdicht		
Importatiefactor S	: 1		
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	-
Toelaatbare deflectie	δ	= 8,00	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 110,00	mm
Wanddikte	d _n	= 10	mm
Wanddikte bocht	t	= 10	mm
Bochtstraal	R	= 385,00	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Ontwerpdruk	p _d	= 0,3	N/mm ²
Volumieke massa medium	ρ	= 1000	kg/m ³
Temperatuurverschil	Δt	= 10	°
Aanleggegevens			
Belastinghoek (Geperst deel)	α	= 180	°
Belastinghoek (Gelegd deel)	α	= 180	°
Ondersteuningshoek (Geperst deel)	β	= 120	°
Ondersteuningshoek (Gelegd deel)	β	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 10	mm
Zettingsverschil	f _z	= 5	mm
Berekeningsmethode	z-sprong methode		
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Verheeld			
		18-04-2023 21:31:16	



Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2022 1.3 ©

Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Grondsoort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]	Wrijvingshoek grond [°]	Gem. vert. bedding- constante [N/mm ³]
Geperst deel	0,80	Zand	18,00	32,50	0,1000
Gelegd deel	0,80	Zand	18,00	32,50	0,0200

Locatie	Effectieve cohesie [kN/m ²]	Schuif- sterkte [kN/m ²]	Verkeersbelasting
Geperst deel	0,00	0,00	Grafiek ½ x II
Gelegd deel	0,00	0,00	Grafiek ½ x II

Locatie	Ontlastende invloed t.g.v. wegdek
Geperst deel	Geen ontlastende invloed
Gelegd deel	Geen ontlastende invloed



Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020				Sigma 2022 1.3 ©
1. Eigenschappen van de leiding				
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 90,00	mm	
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 100,00	mm	
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 110,00	mm	
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 55,00	mm	
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 45,00	mm	
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 50,00	mm	
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 3.966.260,73	mm ⁴	
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 72.113,83	mm ³	
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 83,33	mm ⁴ /mm ¹	
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 16,67	mm ³ /mm ¹	
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan				
Voor vloeistofleidingen geldt: $H^3 \cdot D_i^5$ moet kleiner dan 40 m⁸ zijn. H is de druk in meters vloeistofkolom. Rekening houdende met $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ volgt: $H = \frac{p_d}{\rho \cdot g}$ $H = \frac{300.000}{1.000 \cdot 9,81} = 30,58 \text{ m} \rightarrow H^3 \cdot D_i^5 = 30,58^3 \cdot 0,09^5 = 0,17 \text{ m}^8$				
3. Berekening van de veiligheidszone				
$R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{H^3 \cdot D_i^5}$ $R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{30,58^3 \cdot 0,09^5} = 6,41 \text{ m}$				
Zonder volledige afschuiving geldt: - Indien er sprake is van een klein gat: $R_L = \frac{1}{2} \cdot R_B = 3,20 \text{ m}$ - Indien er sprake is van een groot gat: $R_L = R_B = 6,41 \text{ m}$ Met volledige afschuiving geldt: $R_L = 2 \cdot R_B = 12,81 \text{ m}$				
- Indien er sprake is van een klein gat: Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_L = 4 \cdot 0,00 + 3,20 = 3,20 \text{ m}$ - Indien er sprake is van een groot gat: Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_L = 4 \cdot 0,00 + 6,41 = 6,41 \text{ m}$ - Met volledige afschuiving geldt: Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_L = 4 \cdot 0,00 + 12,81 = 12,81 \text{ m}$ $D_K = 1,2 \cdot (D_0 + H) = 1,2 \cdot (0,11 + 0,8) = 1,09 \text{ m}$				
				18-04-2023 21:31:17



Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2022 1.3 ©
4. Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pl} t.g.v. inwendige druk	
$D_g/d_n = 100,00/10,00 = 10,00 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow$ Dikwandige leiding $\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$ $\sigma_p = \frac{55,00^2 + 45,00^2}{55,00^2 - 45,00^2} \cdot 0,3 = 1,52 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{p(bi)} = \frac{2 \cdot R - 0,5 \cdot D_e}{2 \cdot R - D_e} \cdot \sigma_p$ $\sigma_{p(bi)} = \frac{2 \cdot 385 - 0,5 \cdot 110}{2 \cdot 385 - 110} \cdot 1,52 = 1,64 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{p(bu)} = \frac{2 \cdot R + 0,5 \cdot D_e}{2 \cdot R + D_e} \cdot \sigma_p$ $\sigma_{p(bu)} = \frac{2 \cdot 385 + 0,5 \cdot 110}{2 \cdot 385 + 110} \cdot 1,52 = 1,42 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_{p(bi)} = 1,64 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 1,64 = 0,66 \text{ N/mm}^2$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 1,00 = 8,00 \text{ N/mm}^2$	
5. Berekening reroundingfactor f_{rr} (Geperst deel)	
$f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w})$ $f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 50^3 \cdot 0,089}{975 \cdot 83,33}) = 0,92$	
6. Berekening reroundingfactor f_{rr} (Gelegd deel)	
$f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w})$ $f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 50^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 83,33}) = 0,91$	
7. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n (Geperst deel)	
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 18,0 \cdot 0,8 = 15,84 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 15,84 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 1,74 \text{ N/mm}^1$	
8. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n (Gelegd deel)	
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 18 \cdot 0,8 = 15,84 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 15,84 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 1,74 \text{ N/mm}^1$	
	18-04-2023 21:31:17



Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2022 1.3 ©
9. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p (Gelegd deel)		
$q_p = q_n \cdot \left(1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o} \right)$ $q_p = 15,84 \cdot \left(1 + 0,3 \cdot \frac{0,8}{0,11} \right) = 50,40 \text{ kN/m}^2$ $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 50,40 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 5,54 \text{ N/mm}^1$ $q_o = \frac{Q_p}{D_o}$ $q_o = \frac{5,54}{110} = 0,05 \text{ N/mm}^2$		
10. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Grafiek 1/2 x II NEN 3650-1:C.17 (Geperst deel)		
Niet rekenen met ontlastende invloed $q_v = 27,41 \text{ kN/m}^2$ $Q_v = q_v \cdot D_o$ $Q_v = 27,41 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 3,01 \text{ N/mm}^1$		
11. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Grafiek 1/2 x II NEN 3650-1:C.17 (Gelegd deel)		
Niet rekenen met ontlastende invloed $q_v = 27,41 \text{ kN/m}^2$ $Q_v = q_v \cdot D_o$ $Q_v = 27,41 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 3,01 \text{ N/mm}^1$		
12. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ (Geperst deel)		
$\lambda_1 = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_1}{4 \cdot E \cdot I_b}}$ $\lambda_1 = \sqrt[4]{\frac{110 \cdot 0,1}{4 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}} = 0,0052 \text{ mm}^{-1}$		
13. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ (Gelegd deel)		
$\lambda_2 = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_2}{4 \cdot E \cdot I_b}}$ $\lambda_2 = \sqrt[4]{\frac{110 \cdot 0,02}{4 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}} = 0,0035 \text{ mm}^{-1}$		
		18-04-2023 21:31:17



Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2022 1.3 ©
14. Bepaling van de relevante berekeningsmethode (k-sprong/z-sprong)	
$k_2/k_1 = 0,2$ $a = \frac{\sqrt{k_2/k_1} - k_2/k_1}{1 + k_2/k_1 + 2\sqrt{k_2/k_1} + 2\sqrt[4]{(k_2/k_1)^3} + 2\sqrt{k_2/k_1}} = 0,061$ $b = \frac{k_2/k_1 - \sqrt[4]{(k_2/k_1)^3}}{1 + k_2/k_1 + 2\sqrt{k_2/k_1} + 2\sqrt[4]{(k_2/k_1)^3} + 2\sqrt{k_2/k_1}} = 0,12$ $\lambda x = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a+b}\right) = 0,59$ $A_{\lambda x} = e^{-\lambda x} \cdot (\cos \lambda x + \sin \lambda x) = 0,77$ $B_{\lambda x} = e^{-\lambda x} \cdot \sin \lambda x = 0,31$ $\alpha = \left(\frac{0,5 \cdot a \cdot A_{\lambda x} + b \cdot B_{\lambda x}}{0,08}\right)^2 = \left(\frac{0,5 \cdot 0,061 \cdot 0,77 + 0,12 \cdot 0,77}{0,08}\right)^2 = 0,60$ $\frac{(f_k + 1,5 \cdot f_z) \cdot k_1 \cdot \alpha}{q_o} = \frac{(10 + 2,0 \cdot 5) \cdot 0,1 \cdot 0,60}{0,05} = 23,66$ $\text{Toetswaarde} = \frac{\alpha}{2 \cdot b \cdot \sqrt[4]{k_2/k_1} - a \sqrt{k_2/k_1}} = \frac{0,60}{2 \cdot 0,12 \cdot \sqrt[4]{0,2} - 0,061 \sqrt{0,2}} = 4,32$ $23,66 > 4,32 \rightarrow$ z-sprong methode	
15. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting	
$C = 2,5$ (Volgens C.6 NEN3650:1992) $L = \frac{C}{\lambda_2} = \frac{2,5}{0,0035} = 723,93 \text{ mm}$ 15.1 Geperst deel $Q_d = 2,4 \cdot L \cdot Q_p \cdot \frac{\lambda_1}{\pi}$ $Q_d = 2,4 \cdot 723,93 \cdot 5,54 \cdot \frac{0,0052}{\pi} = 15,83 \text{ N/mm}^1$ 15.2 Gelegd deel $Q_d = 1,6 \cdot L \cdot Q_p \cdot \frac{\lambda_2}{\pi}$ $Q_d = 1,6 \cdot 723,93 \cdot 5,54 \cdot \frac{0,0035}{\pi} = 7,06 \text{ N/mm}^1$	
	18-04-2023 21:31:17



Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2022 1.3 ©																				
16. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen (Geperst deel)																						
Berekening evenwichtsdraagvermogen																						
$N_q = e^{\pi \tan(\varphi)} \cdot \tan^2(45^\circ + \varphi/2) = 24,58$																						
$N_y = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi) = 22,54$																						
$B = D_o = 0,11 \text{ m}$																						
$B/L = 0,1$																						
$Z = h + D_o / 2 = 0,80 + 0,11 / 2 = 0,86 \text{ m}$																						
$S_y = 1 - 0,4 \cdot B/L = 0,96$																						
$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 1,39$																						
$\gamma'_{gem} = (q_n + \gamma \cdot \gamma_d \cdot D_o / 2) / Z = 19,80 \text{ kN/m}^3$																						
$P_{we} = 0,95 \cdot (0,5 \cdot \gamma'_{gem} \cdot D_o \cdot N_y \cdot S_y \cdot d_y + S_q \cdot N_q \cdot d_q \cdot (q_n + c' \cdot \cot(\varphi)) - c' \cdot \cot(\varphi))$																						
$P_{we} = 565,64 \text{ kN/m}^2 = 0,57 \text{ N/mm}^2$																						
$P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 0,57 \cdot 110,00 = 62,22 \text{ N/mm}^1$																						
Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen																						
<table><tr><td>Q_n</td><td>=</td><td>1,74</td><td>N/mm¹</td><td>Conclusie:</td></tr><tr><td>Q_v</td><td>=</td><td>3,01</td><td>N/mm¹</td><td>Geen aanpassing</td></tr><tr><td>Q_d</td><td>=</td><td>15,83</td><td>N/mm¹</td><td>+ van Q_d nodig</td></tr><tr><td>Σ</td><td>=</td><td>20,59</td><td>N/mm¹</td><td></td></tr></table>			Q_n	=	1,74	N/mm ¹	Conclusie:	Q_v	=	3,01	N/mm ¹	Geen aanpassing	Q_d	=	15,83	N/mm ¹	+ van Q_d nodig	Σ	=	20,59	N/mm ¹	
Q_n	=	1,74	N/mm ¹	Conclusie:																		
Q_v	=	3,01	N/mm ¹	Geen aanpassing																		
Q_d	=	15,83	N/mm ¹	+ van Q_d nodig																		
Σ	=	20,59	N/mm ¹																			
17. Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen (Geperst deel)																						
Moment t.g.v. Q_n en Q_v		Moment t.g.v. Q_d																				
$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$		$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$																				
$M_q = 0,138 \cdot (1,74 + 3,01) \cdot 50,00$		$M_{qd} = 0,083 \cdot 15,83 \cdot 50,00$																				
$M_q = 32,82 \text{ Nmm/mm}^1$		$M_{qd} = 65,71 \text{ Nmm/mm}^1$																				
Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}																						
$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$																						
$\sigma_q = 0,92 \cdot (32,82 + 65,71) / 16,67 = 5,46 \text{ N/mm}^2$																						
18. Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen (Gelegd deel)																						
Moment t.g.v. Q_n en Q_v		Moment t.g.v. Q_d																				
$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$		$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$																				
$M_q = 0,177 \cdot (1,74 + 3,01) \cdot 50,00$		$M_{qd} = 0,122 \cdot 7,06 \cdot 50,00$																				
$M_q = 42,10 \text{ Nmm/mm}^1$		$M_{qd} = 43,06 \text{ Nmm/mm}^1$																				
Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}																						
$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$																						
$\sigma_q = 0,91 \cdot (42,10 + 43,06) / 16,67 = 4,67 \text{ N/mm}^2$																						
19. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z (Geperst deel)																						
$m^- = 0,225$ (Volgens C.6 NEN3650:1992)																						
$\sigma_{bx} = m^- \cdot q_0 \cdot D_e \cdot \frac{L^2}{W_b}$																						
$\sigma_{bx} = 0,225 \cdot 0,05 \cdot 110 \cdot \frac{723,93}{72.113,83} = 9,07 \text{ N/mm}^2$																						
		18-04-2023 21:31:17																				



Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2022 1.3 ©
20. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z (Gelegd deel)		
$m^+ = 0,172$ (Volgens C.6 NEN3650:1992) $\sigma_{bx} = m^+ \cdot q_0 \cdot D_e \cdot \frac{L^2}{W_b}$ $\sigma_{bx} = 0,172 \cdot 0,05 \cdot 110 \cdot \frac{723,93}{72.113,83} = \mathbf{6,93 \text{ N/mm}^2}$		
21. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil		
$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$ $\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,00016 \cdot 975 = \mathbf{1,56 \text{ N/mm}^2}$		
22. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht		
Berekening van de factoren i_x , i_{xp} , i_y en i_{yp} van de bocht: $r = \left(\frac{D_e}{2} + \frac{D_e - 2 \cdot t}{2} \right) / 2 = 50,00 \text{ mm}$ $h = \frac{t \cdot R}{r^2} = \frac{10 \cdot 385}{50^2} = 1,54$ $k = \frac{1,65}{h} = \frac{1,65}{1,54} = 1,07$ $i_x = \frac{0,9}{h^{(2/3)}} = \frac{0,9}{1,54^{(2/3)}} = 0,67$ $c_2 = 1 + 3,25 \cdot (p_d/E) \cdot (r/t)^{(5/2)} \cdot (R/r)^{(2/3)}$ $c_2 = 1 + 3,25 \cdot (0,3/975) \cdot (50,00/10)^{(5/2)} \cdot (385,00/50)^{(2/3)} = 1,22$ $i_{xp} = \frac{i_x}{c_2} = \frac{0,67}{1,22} = 0,55$ $i_y = 2 \cdot i_x = 2 \cdot 0,67 = 1,35$ $i_{yp} = 2 \cdot i_{xp} = 2 \cdot 0,55 = 1,11$ $i_x < 1 \rightarrow i_x = 1,00$ $i_{xp} < 1 \rightarrow i_{xp} = 1,00$		
23. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N		
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100^3} = 0,0812 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,25 \text{ kN/m}^2}$ Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²		
24. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk		
Veiligheidsfactor γ voor langdurige overdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende overdruk: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - v^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij 27,78 m grondwater boven de leiding		
		18-04-2023 21:31:17



Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2022 1.3 ©
25. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie (Geperst deel)		
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (1,74 + \frac{1}{2} \cdot 3,01) - 0,095 \cdot (1 - \sin(32,5^\circ)) \cdot (1,74 + \frac{1}{2} \cdot 3,01) + 0,048 \cdot 15,83) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33} = \mathbf{3,88 \text{ mm}} (= 3,88\%)$ Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · D_g = 0,08 · 1 · 100,00 = 8,00 mm		
26. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie (Gelegd deel)		
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (1,74 + \frac{1}{2} \cdot 3,01) - 0,095 \cdot (1 - \sin(32,5^\circ)) \cdot (1,74 + \frac{1}{2} \cdot 3,01) + 0,048 \cdot 7,06) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33} = \mathbf{2,08 \text{ mm}} (= 2,08\%)$ Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · D_g = 0,08 · 1 · 100,00 = 8,00 mm		
27. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (Geperst deel)		
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + i_{yp} \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (5,46 + 1,11 \cdot 9,07) = \mathbf{10,08 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_\sigma \cdot i_{xp} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,66 + 0,65 \cdot 1,00 \cdot 9,07 + 1,56 = \mathbf{8,11 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 1,00 = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$		
28. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (Gelegd deel)		
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + i_{yp} \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (4,67 + 1,11 \cdot 6,93) = \mathbf{8,03 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_\sigma \cdot i_{xp} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,66 + 0,65 \cdot 1,00 \cdot 6,93 + 1,56 = \mathbf{6,72 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 1,00 = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$		
		18-04-2023 21:31:17



Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2022 1.3 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project	: Aansluiting op HDD met Nano-Drill		
Projectonderdeel	: Sterktberekening aansluiting veldstrekking PE Ø 110 mm SDR 11 KLEI Matig vast		
Importatiefactor S	: 1		
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	-
Toelaatbare deflectie	δ	= 8,00	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 110,00	mm
Wanddikte	d _n	= 10	mm
Wanddikte bocht	t	= 10	mm
Bochtstraal	R	= 385,00	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)	= Vloeistof		
Ontwerpdruk	p _d	= 0,3	N/mm ²
Volumieke massa medium	ρ	= 1000	kg/m ³
Temperatuurverschil	Δt	= 10	°
Aanleggegevens			
Belastinghoek (Geperst deel)	α	= 180	°
Belastinghoek (Gelegd deel)	α	= 180	°
Ondersteuningshoek (Geperst deel)	β	= 120	°
Ondersteuningshoek (Gelegd deel)	β	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 30	mm
Zettingsverschil	f _z	= 25	mm
Berekeningsmethode	k-sprong methode		
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Verheeld			
		18-04-2023 21:36:11	



Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2022 1.3 ©

Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Grondsoort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]	Wrijvingshoek grond [°]	Gem. vert. bedding- constante [N/mm ³]
Geperst deel	0,80	Klei	17,00	17,50	0,0070
Gelegd deel	0,80	Klei	17,00	17,50	0,0035

Locatie	Effectieve cohesie [kN/m ²]	Schuif- sterkte [kN/m ²]	Verkeersbelasting
Geperst deel	5,00	50,00	Grafiek ½ x II
Gelegd deel	5,00	50,00	Grafiek ½ x II

Locatie	Ontlastende invloed t.g.v. wegdek
Geperst deel	Geen ontlastende invloed
Gelegd deel	Geen ontlastende invloed



Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2022 1.3 ©
1. Eigenschappen van de leiding			
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 90,00	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 100,00	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 110,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 55,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 45,00	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 50,00	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 3.966.260,73	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 72.113,83	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 83,33	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 16,67	mm ³ /mm ¹
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan			
Voor vloeistofleidingen geldt: $H^3 \cdot D_i^5$ moet kleiner dan 40 m⁸ zijn. H is de druk in meters vloeistofkolom. Rekening houdende met $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ volgt: $H = \frac{p_d}{\rho \cdot g}$ $H = \frac{300.000}{1.000 \cdot 9,81} = 30,58 \text{ m} \rightarrow H^3 \cdot D_i^5 = 30,58^3 \cdot 0,09^5 = 0,17 \text{ m}^8$			
3. Berekening van de veiligheidszone			
$R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{H^3 \cdot D_i^5}$ $R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{30,58^3 \cdot 0,09^5} = 6,41 \text{ m}$			
Zonder volledige afschuiving geldt: - Indien er sprake is van een klein gat: $R_L = \frac{1}{2} \cdot R_B = 3,20 \text{ m}$ - Indien er sprake is van een groot gat: $R_L = R_B = 6,41 \text{ m}$ Met volledige afschuiving geldt: $R_L = 2 \cdot R_B = 12,81 \text{ m}$			
- Indien er sprake is van een klein gat: Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_L = 4 \cdot 0,00 + 3,20 = 3,20 \text{ m}$ - Indien er sprake is van een groot gat: Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_L = 4 \cdot 0,00 + 6,41 = 6,41 \text{ m}$ - Met volledige afschuiving geldt: Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_L = 4 \cdot 0,00 + 12,81 = 12,81 \text{ m}$ $D_K = 1,2 \cdot (D_0 + H) = 1,2 \cdot (0,11 + 0,8) = 1,09 \text{ m}$			
			18-04-2023 21:36:11



Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2022 1.3 ©
4. Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pl} t.g.v. inwendige druk	
$D_g/d_n = 100,00/10,00 = 10,00 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow$ Dikwandige leiding $\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$ $\sigma_p = \frac{55,00^2 + 45,00^2}{55,00^2 - 45,00^2} \cdot 0,3 = 1,52 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{p(bi)} = \frac{2 \cdot R - 0,5 \cdot D_e}{2 \cdot R - D_e} \cdot \sigma_p$ $\sigma_{p(bi)} = \frac{2 \cdot 385 - 0,5 \cdot 110}{2 \cdot 385 - 110} \cdot 1,52 = 1,64 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{p(bu)} = \frac{2 \cdot R + 0,5 \cdot D_e}{2 \cdot R + D_e} \cdot \sigma_p$ $\sigma_{p(bu)} = \frac{2 \cdot 385 + 0,5 \cdot 110}{2 \cdot 385 + 110} \cdot 1,52 = 1,42 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_{p(bi)} = 1,64 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 1,64 = 0,66 \text{ N/mm}^2$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 1,00 = 8,00 \text{ N/mm}^2$	
5. Berekening reroundingfactor f_{rr} (Geperst deel)	
$f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w})$ $f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 50^3 \cdot 0,089}{975 \cdot 83,33}) = 0,92$	
6. Berekening reroundingfactor f_{rr} (Gelegd deel)	
$f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w})$ $f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 50^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 83,33}) = 0,91$	
7. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n (Geperst deel)	
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 17 \cdot 0,8 = 14,96 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 14,96 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 1,65 \text{ N/mm}^1$	
8. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n (Gelegd deel)	
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 17 \cdot 0,8 = 14,96 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 14,96 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 1,65 \text{ N/mm}^1$	
	18-04-2023 21:36:11



Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2022 1.3 ©
9. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p (Gelegd deel)		
$q_p = q_n \cdot \left(1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o} \right)$ $q_p = 14,96 \cdot \left(1 + 0,3 \cdot \frac{0,8}{0,11} \right) = 47,60 \text{ kN/m}^2$ $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 47,60 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 5,24 \text{ N/mm}^1$ $q_o = \frac{Q_p}{D_o}$ $q_o = \frac{5,24}{110} = 0,05 \text{ N/mm}^2$		
10. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Grafiek 1/2 x II NEN 3650-1:C.17 (Geperst deel)		
Niet rekenen met ontlastende invloed $q_v = 27,41 \text{ kN/m}^2$ $Q_v = q_v \cdot D_o$ $Q_v = 27,41 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 3,01 \text{ N/mm}^1$		
11. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Grafiek 1/2 x II NEN 3650-1:C.17 (Gelegd deel)		
Niet rekenen met ontlastende invloed $q_v = 27,41 \text{ kN/m}^2$ $Q_v = q_v \cdot D_o$ $Q_v = 27,41 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 3,01 \text{ N/mm}^1$		
12. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ (Geperst deel)		
$\lambda_1 = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_1}{4 \cdot E \cdot I_b}}$ $\lambda_1 = \sqrt[4]{\frac{110 \cdot 0,007}{4 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}} = 0,0027 \text{ mm}^{-1}$		
13. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ (Gelegd deel)		
$\lambda_2 = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_2}{4 \cdot E \cdot I_b}}$ $\lambda_2 = \sqrt[4]{\frac{110 \cdot 0,0035}{4 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}} = 0,0022 \text{ mm}^{-1}$		
		18-04-2023 21:36:11



Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2022 1.3 ©
14. Bepaling van de relevante berekeningsmethode (k-sprong/z-sprong)	
$k_2/k_1 = 0,5$ $a = \frac{\sqrt{k_2/k_1 - k_2/k_1}}{1 + k_2/k_1 + 2\sqrt{k_2/k_1} + 2\sqrt[4]{(k_2/k_1)^3} + 2\sqrt{k_2/k_1}} = 0,036$ $b = \frac{k_2/k_1 - \sqrt[4]{(k_2/k_1)^3}}{1 + k_2/k_1 + 2\sqrt{k_2/k_1} + 2\sqrt[4]{(k_2/k_1)^3} + 2\sqrt{k_2/k_1}} = 0,19$ $\lambda x = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a+b}\right) = 0,70$ $A_{\lambda x} = e^{-\lambda x} \cdot (\cos \lambda x + \sin \lambda x) = 0,70$ $B_{\lambda x} = e^{-\lambda x} \cdot \sin \lambda x = 0,32$ $\alpha = \left(\frac{0,5 \cdot a \cdot A_{\lambda x} + b \cdot B_{\lambda x}}{0,08}\right)^2 = \left(\frac{0,5 \cdot 0,036 \cdot 0,70 + 0,19 \cdot 0,70}{0,08}\right)^2 = 0,83$ $\frac{(f_k + 1,5 \cdot f_z) \cdot k_1 \cdot \alpha}{q_o} = \frac{(30 + 2,0 \cdot 25) \cdot 0,007 \cdot 0,83}{0,05} = 9,81$ $\text{Toetswaarde} = \frac{\alpha}{2 \cdot b \cdot \sqrt[4]{k_2/k_1} - a \sqrt{k_2/k_1}} = \frac{0,83}{2 \cdot 0,19 \cdot \sqrt[4]{0,5} - 0,036 \sqrt{0,5}} = 2,85$ $9,81 > 2,85 \rightarrow$ z-sprong methode	
15. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting	
$C = 1,5$ (Volgens C.6 NEN3650:1992) $L = \frac{C}{\lambda_2} = \frac{1,5}{0,0022} = 671,56 \text{ mm}$ 15.1 Geperst deel $Q_d = 2,4 \cdot L \cdot Q_p \cdot \frac{\lambda_1}{\pi}$ $Q_d = 2,4 \cdot 671,56 \cdot 5,24 \cdot \frac{0,0027}{\pi} = 7,14 \text{ N/mm}^1$ 15.2 Gelegd deel $Q_d = 1,6 \cdot L \cdot Q_p \cdot \frac{\lambda_2}{\pi}$ $Q_d = 1,6 \cdot 671,56 \cdot 5,24 \cdot \frac{0,0022}{\pi} = 4,00 \text{ N/mm}^1$	
	18-04-2023 21:36:11



Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2022 1.3 ©

16. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen (Geperst deel)

Berekening evenwichtsdraagvermogen

$$B = D_o = 0,11 \text{ m}$$

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 0,80 + 0,11 / 2 = 0,86 \text{ m}$$

$$S_c = 0,2 \cdot B/L = 0,02$$

$$d_c = 0,4 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 0,4 \cdot \tan^{-1}(0,86/0,11) = 0,58$$

$$P_{we} = 0,85 \cdot c_u \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + S_c + d_c)$$

$$P_{we} = 0,85 \cdot 50 \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + 0,02 + 0,58)$$

$$P_{we} = 349,00 \text{ kN/m}^2 = 0,35 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 0,35 \cdot 110,00 = 38,39 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen

Q_n	=	1,65	N/mm ¹	Conclusie:
Q_v	=	3,01	N/mm ¹	Geen aanpassing
Q_d	=	7,14	N/mm ¹	+ van Q_d nodig
Σ	=	11,80	N/mm ¹	

17. Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen (Geperst deel)

Moment t.g.v. Q_n en Q_v

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$$

$$M_q = 0,138 \cdot (1,65 + 3,01) \cdot 50,00$$

$$M_q = 32,16 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

$$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$$

$$M_{qd} = 0,083 \cdot 7,14 \cdot 50,00$$

$$M_{qd} = 29,61 \text{ Nmm/mm}^1$$

Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$$

$$\sigma_q = 0,92 \cdot (32,16 + 29,61) / 16,67 = 3,42 \text{ N/mm}^2$$

18. Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen (Gelegd deel)

Moment t.g.v. Q_n en Q_v

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$$

$$M_q = 0,177 \cdot (1,65 + 3,01) \cdot 50,00$$

$$M_q = 41,24 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

$$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$$

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 4,00 \cdot 50,00$$

$$M_{qd} = 24,40 \text{ Nmm/mm}^1$$

Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$$

$$\sigma_q = 0,91 \cdot (41,24 + 24,40) / 16,67 = 3,60 \text{ N/mm}^2$$

19. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z (Geperst deel)

$m^- = 0,308$ (Volgens C.6 NEN3650:1992)

$$\sigma_{bx} = m^- \cdot q_0 \cdot D_e \cdot \frac{L^2}{W_b}$$

$$\sigma_{bx} = 0,308 \cdot 0,05 \cdot 110 \cdot \frac{671,56}{72.113,83} = 10,09 \text{ N/mm}^2$$



Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2022 1.3 ©
20. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z (Gelegd deel)		
$m^+ = 0,275$ (Volgens C.6 NEN3650:1992) $\sigma_{bx} = m^+ \cdot q_0 \cdot D_e \cdot \frac{L^2}{W_b}$ $\sigma_{bx} = 0,275 \cdot 0,05 \cdot 110 \cdot \frac{671,56}{72.113,83} = \mathbf{9,01 \text{ N/mm}^2}$		
21. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil		
$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$ $\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,00016 \cdot 975 = \mathbf{1,56 \text{ N/mm}^2}$		
22. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht		
Berekening van de factoren i_x , i_{xp} , i_y en i_{yp} van de bocht: $r = \left(\frac{D_e}{2} + \frac{D_e - 2 \cdot t}{2} \right) / 2 = 50,00 \text{ mm}$ $h = \frac{t \cdot R}{r^2} = \frac{10 \cdot 385}{50^2} = 1,54$ $k = \frac{1,65}{h} = \frac{1,65}{1,54} = 1,07$ $i_x = \frac{0,9}{h^{(2/3)}} = \frac{0,9}{1,54^{(2/3)}} = 0,67$ $c_2 = 1 + 3,25 \cdot (p_d/E) \cdot (r/t)^{(5/2)} \cdot (R/r)^{(2/3)}$ $c_2 = 1 + 3,25 \cdot (0,3/975) \cdot (50,00/10)^{(5/2)} \cdot (385,00/50)^{(2/3)} = 1,22$ $i_{xp} = \frac{i_x}{c_2} = \frac{0,67}{1,22} = 0,55$ $i_y = 2 \cdot i_x = 2 \cdot 0,67 = 1,35$ $i_{yp} = 2 \cdot i_{xp} = 2 \cdot 0,55 = 1,11$ $i_x < 1 \rightarrow i_x = 1,00$ $i_{xp} < 1 \rightarrow i_{xp} = 1,00$		
23. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N		
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100^3} = 0,0812 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,25 \text{ kN/m}^2}$ Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²		
24. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk		
Veiligheidsfactor γ voor langdurige overdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende overdruk: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - v^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij 27,78 m grondwater boven de leiding		
		18-04-2023 21:36:11



Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2022 1.3 ©
25. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie (Geperst deel)	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (1,65 + \frac{1}{2} \cdot 3,01) - 0,095 \cdot (1 - \sin(17,5^\circ)) \cdot (1,65 + \frac{1}{2} \cdot 3,01) + 0,048 \cdot 7,14) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33} = \mathbf{1,77 \text{ mm}} (= 1,77\%)$ Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · D_g = 0,08 · 1 · 100,00 = 8,00 mm	
26. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie (Gelegd deel)	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (1,65 + \frac{1}{2} \cdot 3,01) - 0,095 \cdot (1 - \sin(17,5^\circ)) \cdot (1,65 + \frac{1}{2} \cdot 3,01) + 0,048 \cdot 4,00) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33} = \mathbf{1,13 \text{ mm}} (= 1,13\%)$ Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · D_g = 0,08 · 1 · 100,00 = 8,00 mm	
27. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (Geperst deel)	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot (\sigma_q + i_{yp} \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (3,42 + 1,11 \cdot 10,09) = \mathbf{9,49 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot i_{xp} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,66 + 0,65 \cdot 1,00 \cdot 10,09 + 1,56 = \mathbf{8,77 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 1,00 = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$	
28. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (Gelegd deel)	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot (\sigma_q + i_{yp} \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (3,60 + 1,11 \cdot 9,01) = \mathbf{8,83 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot i_{xp} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,66 + 0,65 \cdot 1,00 \cdot 9,01 + 1,56 = \mathbf{8,07 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 1,00 = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$	
	18-04-2023 21:36:11