BOORPLAN HORIZONTAAL GESTUURDE BORING

Gestuurde boringen Arcen

Project:	Aanleg nieuwe Middenspannings- en Laagspanningskabels, data, water, riool en gas
Locatie:	Kruisweg 50, 5944EN Arcen
Opdrachtgever:	BAM Energie en Water
Vergunninghouder:	BAM Energie en Water
Projectnummer:	26-20143
Kenmerk opdrachtgever:	nvt
Documentnummer:	26-20143-B01A-B01B-01
Versie:	1.0
Status:	Definitief

Auteur:	Gecontroleerd door:	Datum:	Paraaf
		20 april 2026	Goedgekeurd

Holland Drilling B.V.
Simon Homburgstraat 17, 5431 NN Cuijk
Postbus 176, 5430 AD Cuijk

T 0485 745 040
E info@hollanddrilling.nl
W www.hollanddrilling.nl

KvK: 67002706
BTW: NL856789409B01
IBAN: NL30 INGB 0007 3611 51

INHOUDSOPGAVE

Versiebeheer **4**

1. Inleiding **5**

2. Projectspecificaties **6**

2.1. Samenvatting boring *6*

2.2. Specificaties buismateriaal *7*

3. Situatiebeschrijving **8**

3.1. Locatie intredepunt *8*

3.2. Locatie uittredepunt *8*

3.3. Omvang en indeling werkterrein *9*

3.4. Uitleg- en laslocatie *9*

3.5. Verkeersmaatregelen *9*

3.6. Bereikbaarheid verkeer *9*

3.7. Hulpdiensten *9*

4. Werkmethode **10**

4.1. Algemene werkomschrijving *10*

4.2. Voorbereidende werkzaamheden *10*

4.3. Stappen tijdens uitvoering *10*

4.4. Stappen na uitvoering *10*

4.5. Registratie boorgegevens *11*

4.6. Toelaatbare afwijkingen boring *11*

5. Materieel **12**

5.1. Boorrig *12*

5.2. Overig materieel *12*

5.3. Boorspoeling *12*

5.4. Meetsysteem *13*

6. Boorontwerp **13**

6.1. Bestaande kabels en leidingen *13*

7. Berekeningen **14**

7.1. Geotechnisch grondonderzoek *14*

7.2. Grondwaterstand *14*

8. Planning en personeel **15**

9. Risicobeheersing **16**

9.1. Inzicht in bestaande K&L *16*

9.2. Uitvoeringstechnische risico's *16*
9.3. Afwijkingen van de KLIC-melding *16*
9.4. Blow-out *16*

Bijlage 1: Ontwerptekening(en) **17**

Bijlage 2: Geotechnisch grondonderzoek **18**

Bijlage 3: Specificaties boorrig **19**

Bijlage 4: Sterkte- en boorspoeldrukberekening **20**

Bijlage 5: Certificaat bentoniet **21**

Bijlage 6: Boorstaat **22**

Bijlage 7: Afwijkingen Richtlijn Boortechnieken **23**

Bijlage 8: Drill Control Rapportage ontwerp boring **25**

Versiebeheer

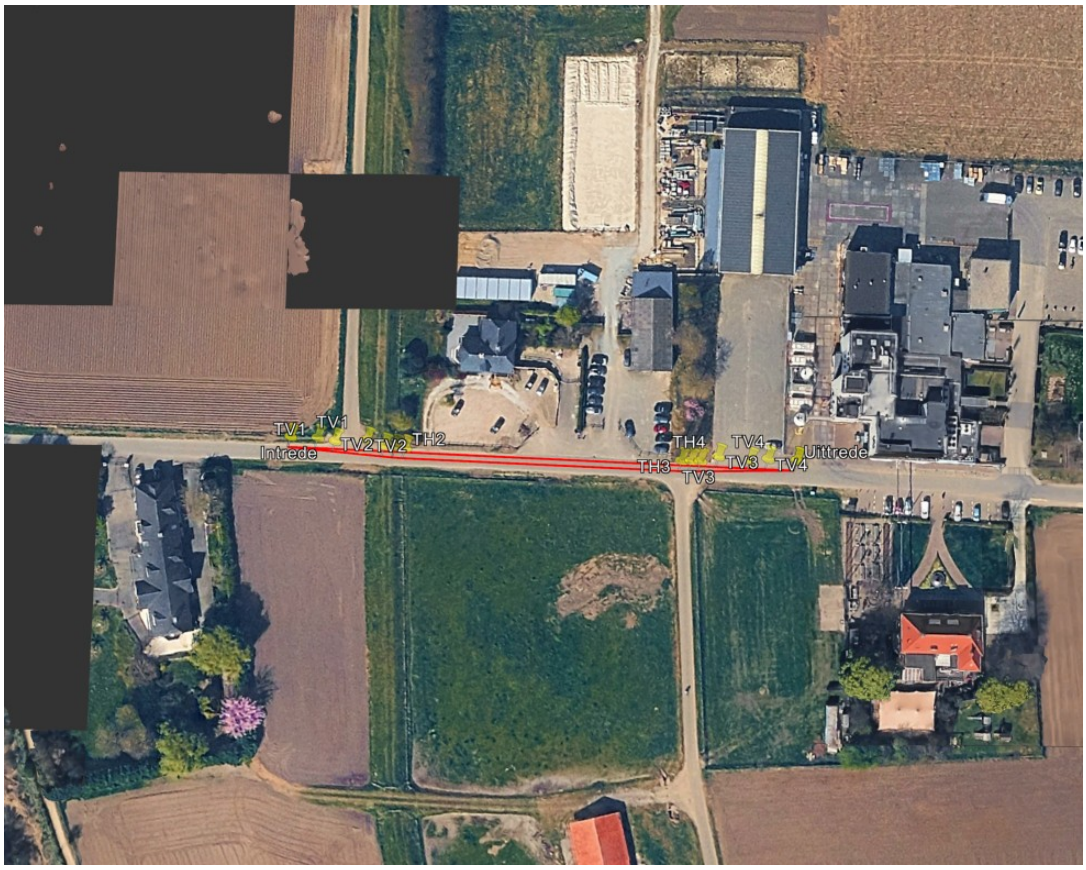
Versie:	Auteur:	Gecontroleerd door:	Datum:	Wijziging(en):
1.0			20-4-26	n.v.t.

1. Inleiding

Bam Water en Energie heeft Holland Drilling B.V. opdracht gegeven voor de engineering en uitvoering van horizontaal gestuurde boringen (HDD). Dit project is onderdeel van de aanleg van Middenspannings- en Laagspanningskabels, data, water, riool en gas in Arcen.
Op verzoek van Bam Water en Energie zal een bundel van 4x Ø 160 mm HDPE mantelbuizen worden ingetrokken ten behoeve van de doorvoer van Middenspannings- en Laagspanningskabels en een bundel van 1x Ø 125 mm SLA en 3x Ø 110 mm en 2x Ø 63 mm HDPE mantelbuizen worden ingetrokken ten behoeve van de doorvoer van data, water, riool en gas.

Om dit te kunnen realiseren zal Holland Drilling B.V. 2 gestuurde boringen uitvoeren onder de Kruisweg te Arcen.

Holland Drilling B.V. heeft vooraf een boorplan opgesteld, waarmee de benodigde vergunning(en) aangevraagd kunnen worden bij de betrokken vergunningverlenende instanties. Het boorplan bevat toelichting over onder andere het boorontwerp, werkmethode en de te bereiken kwaliteit.



Figuur 1: boorlocatie (Kruisweg 50, 5944EN Arcen)

2. Projectspecificaties

2.1. Samenvatting boring

Opdrachtgever	BAM Water en Energie
Vergunninghouder	BAM Water en Energie
Gemeente	Venlo
Exacte locatie	Kruisweg 50, 5944EN Arcen
Planning uitvoering	n.t.b.
Tekeningnummer	26-20143-B01A-B01B-01
Boornummer	B01A en B01B
KLIC-nummer	26O0051231
Aantal boringen	2 stuks
Boorlengte	B01A: 139 meter / B01B: 139 meter
Maximale diepte buis	B01A: 5,08 meter -MV / +11,84 m NAP B01B: 6,26 meter -MV / +10,50 m NAP
Diameter/materiaal buis	B01A: 4x Ø 160 mm HDPE SDR11 (mantelbuis) B01B: 1x Ø 125 SLA, 3x Ø 110, 2x Ø 63 mm HDPE SDR11 (mantelbuis)
Ruimer	B01A: Conisch Ø 500 mm / B01B: Conisch Ø 398 mm
Meetsysteem	Walk-over

2.2. Specificaties buismateriaal

Onderstaande gegevens hebben betrekking op de in te voeren buis/buizen. Het in te voeren product of medium is hierin buiten beschouwing gelaten.

Materiaal	HDPE (PE100)
Klasse	SDR11
Diameter	Ø 160 mm HDPE SDR11
Wanddikte	15 mm
Aantal buizen	4 stuks
Max. toelaatbare treksterkte	=> 66,69 kN ≈ 6,6 ton
Diameter bundel	Ø 386

Materiaal	SLA (drinkwaterleiding)
Klasse	SDR11
Diameter	Ø 125 mm HDPE SDR11
Wanddikte	11,4 mm
Aantal buizen	1 stuk
Max. toelaatbare treksterkte	40,68 kN ≈ 4,0 ton
Materiaal	HDPE (PE100)
Klasse	SDR11
Diameter	Ø 110 mm HDPE SDR11
Wanddikte	10 mm
Aantal buizen	3 stuks
Max. toelaatbare treksterkte	31,41 kN ≈ 3,1 ton
Materiaal	HDPE (PE100)
Klasse	SDR11
Diameter	Ø 63 mm HDPE SDR11
Wanddikte	5,7 mm
Aantal buizen	2 stuks
Max. toelaatbare treksterkte	10,30 kN ≈ 1,0 ton
Diameter bundel	Ø 306

Keurmerk
De toegepaste PE-leiding wordt door Holland Drilling B.V. geleverd en is voorzien van een keurmerk. Het keurmerk wordt door de leverancier van de PE-leiding gegarandeerd en kan indien gewenst geleverd worden.

3. Situatiebeschrijving

3.1. Locatie intredepunt

Het intredepunt bevindt zich op de Kruisweg. De boringen zullen parallel aan de reeds aanwezige kabels en leidingen worden uitgevoerd.



Figuur 2: Situatie intredepunt (Kruisweg 47, 5944EM Arcen)

3.2. Locatie uittredepunt

Het uittredepunt bevindt zich op de Kruisweg.



Figuur 3: Situatie uittredepunt (Kruisweg 44, 5944EN Arcen)

3.3. Omvang en indeling werkterrein

Voor het realiseren van de boringen wordt van een midi-rig opstelling gebruik gemaakt. Ervaringsgewijs kan met een opstellocatie van 80 m² worden volstaan. De benodigde ruimte voor een midi-rig bedraagt bij het intrede punt circa 20 m². Binnen een straal van 30 meter moet er een opstellocatie van circa 50 m² zijn, voor de bijhorende werkplaats en mudset. Plaatsing van apparatuur aangepast aan de plaatselijke omstandigheden. Bij het uittredepunt kan worden volstaan met een ruimte van circa 20 m^2 excl. benodigde ruimte voor het uitleggen van de in te brengen leidingen.
Zowel in- als uittredepunt dienen goed bereikbaar zijn (zwaar verkeer).

3.4. Uitleg- en laslocatie

Het intrekken van de buis geschiedt door het uitleggen van de buizen achter het uittredepunt.

3.5. Verkeersmaatregelen

Zowel het in- als uittredepunt bevinden zich op de wegverharding. Ten behoeve van het opstellen van een zuigwagen dient een halve rijbaan te worden afgezet. Vanuit veiligheidsoogpunt kan een verkeersregelaar worden ingezet.
Een eventueel verkeersplan opstellen komt voor rekening van de opdrachtgever.

3.6. Bereikbaarheid verkeer

- Er is een halve rijbaan beschikbaar om het doorgaande verkeer te laten passeren.

3.7. Hulpdiensten

- Hulpdiensten kunnen gebruikmaken van de beschikbare rijbaan.

4. Werkmethode

4.1. Algemene werkomschrijving

De uitvoering van een horizontaal gestuurde boring bestaat uit drie delen, een pilotboring, één of meerdere ruimgangen en het intrekken van de leidingen. Bij de pilotboring wordt vanaf het intredepunt naar het uittredepunt geboord. In het uittredepunt wordt de ruimer bevestigt en kan het ruimen starten. Indien de in te voeren leiding klein genoeg is dan kan deze meteen worden meegetrokken. De leidingen worden bevestigd aan een swivel zodat voorkomen wordt dat de leidingen gaan draaien. Indien er meerdere ruimgangen nodig zijn worden bij de laatste ruimgang de leidingen meegetrokken.

4.2. Voorbereidende werkzaamheden

Voordat men kan starten met de uitvoering dienen eerst de volgende punten te zijn doorlopen.

- Er dient een bezoek gebracht te worden aan de locatie. Zo kan men de toegankelijkheid bepalen, welke machine er ingezet kan worden, hoe groot het werkterrein moet worden en wat de standplaats wordt van de machine. De standplaats van de machine bepaalt het boorgat voor het intredepunt.
- De bestaande kabels en leidingen dienen opgezocht te worden door middel van een KLIC melding en/ of door het graven van proefsleuven.
- Indien mogelijk dienen de boorgaten klaar te liggen voordat er met boren wordt begonnen.
- De boorploeg is op de hoogte van de gegevens in dit rapport en de situatie ter plaatse door middel van tekeningen en/of eventuele foto's.

4.3. Stappen tijdens uitvoering

- Er dient een kick-off meeting plaats te vinden waarin de laatste zaken worden besproken omtrent de horizontaal gestuurde boring.
- De toegang tot en het inrichten van de werkterreinen t.b.v. het materieel en van de opleggers.
- Aanvoeren van de boormachine op de boorlocatie.
- Waar nodig verkeersmaatregelen treffen volgens de C.R.O.W. richtlijnen.
- Ligging van de kabels en leidingen opzoeken.
- Indien dit nog nodig is het ontgraven van het in- en uittredepunt.
- Het uitvoeren van de pilotboring.
- Tijdens de uitvoering van de pilotboring de boorkop volgen met een walk-over meetsysteem en de wijzigingen noteren op een boorstaat.
- Hoeveelheid te gebruiken boorspoeling is afhankelijk van de voortgang van de boring. De boormeester voert hiervoor tijdens het boren metingen uit.
- De druk en hoeveelheid boorspoeling wordt door de boormeester/machinist afgelezen van de meters op de machine. Deze waarden worden genoteerd in een logboek.
- Na de pilotboring het boorgat ruimen met één of meerdere ruimgangen.
- Na de laatste ruimgang de betreffende buis intrekken.
- Machine en materiaal opruimen en afvoeren.
- Boorspoeling afvoeren.

Indien er zich wijzigingen voordoen waardoor de horizontaal gestuurde boring veranderd ten opzichte van het rapport, wordt dit door de boorploeg doorgegeven aan de project coördinatie.

4.4. Stappen na uitvoering

- De ontwerpafdeling krijgt van de boorploeg de boorgegevens en eventuele wijzigingen retour en verwerkt dit in een revisietekening.
- De opgestelde revisietekening wordt aan de opdrachtgever verstrekt.

4.5. Registratie boorgegevens

Tijdens de pilotboring, het ruimen van het boorgat en het intrekken van de leiding zal een aantal gegevens, zoals de positie van de boorkop, op vastgestelde afstanden opgemeten en geregistreerd worden in een logboek. Dit logboek is toegevoegd in dit rapport *(zie bijlage 6)*.

Tevens registreert de boormeester de intrede- en uittredehoek in procenten en de volgende gegevens tijdens het ruimen en het intrekken van de leiding:

- Duwkracht aan de boorinstallatie (kN)
- Trekkracht aan de boorinstallatie (kN)
- Rotatie aan de boorinstallatie (rpm)
- Pomp opbrengst aan de boorinstallatie (l/min)
- Pompdruk aan de boorinstallatie (bar)

De geregistreerde gegevens van de boorploeg worden door de ontwerpafdeling verwerkt in de revisie. Alle gegevens worden bij Holland Drilling B.V. gearchiveerd. Bovendien zal er een kopie van de revisie naar de opdrachtgever verstuurd worden.

4.6. Toelaatbare afwijkingen boring

De toelaatbare afwijking van de boring is conform afwijkingen richtlijn Boortechnieken (juni 2019-v1.0), welke als **bijlage 7** is opgenomen in dit rapport.

Tijdens het boren kunnen kleine afwijkingen in de boorlijn optreden, bijvoorbeeld na 25 m1 ca. 0,25 m rechts van de boorlijn. De surveyor zal deze afwijking voorzichtig corrigeren door naar links te sturen. Bij een dergelijke boring kan het zo zijn dat de afwijking eerst nog iets groter wordt bijvoorbeeld 0,75 meter voordat de boring terug op de geprojecteerde lijn komt. Deze geringe afwijking wordt uiteraard in de revisie meegenomen. Als een afwijking te groot wordt zal contact worden opgenomen met de opdrachtgever.
Als er sterk gestuurd wordt om de afwijkingen minimaal te houden, geeft dit een kwalitatief mindere boring dan dat er iets grotere afwijkingen geaccepteerd worden (extra spanningen in de leiding). Dit geldt ook in verticale zin.

Het belangrijkste is dat de boorlijn die gevolgd is geen extra spanningen in de leiding geeft en goed gereviseerd wordt.

Volgens de NEN 3650-01 en Richtlijn Boortechnieken mag de afwijking in de lengte-, breedte- en diepteligging van de hartlijn van de leiding niet groter zijn dan aangegeven in onderstaande tabel.

Richting	**Maximale afwijking**
Verticaal	+1m / -1m
Horizontaal (in lengterichting t.p.v. uittredepunt)	+5m / -2m
Horizontaal (in dwarsrichting t.p.v. uittredepunt)	+1m / -1m
Horizontaal (in dwarsrichting tracé tussen in-/uittredepunt	+5m / -5m
Bochtstralen	<10%

5. Materieel

Tijdens de boorwerkzaamheden worden er diverse installaties en producten ingezet waarmee de boring tot stand komt. Denk hierbij aan de in te zetten boorinstallatie, boorspoeling en meetapparatuur.

5.1. Boorrig

Middels sterkte- en boorspoeldrukberekeningen wordt de te verwachte trekkracht berekend. Dit is mede bepalend voor de in te zetten boormachine. Naast de benodigde trekkracht kan ook de lengte van de boring of het in te zetten meetsysteem bepalend zijn voor de grootte van de machine. Een minirig is bijvoorbeeld niet geschikt om een boring van enkele honderden meters uit te voeren.

Op basis van de uitgevoerde engineering wordt onderstaande boorrig met de bijbehorende specificaties ingezet voor deze boring. De uitgebreide specificaties zijn toegevoegd in **bijlage 3** van dit rapport.

Boorrig	**Midi-Rig 15 Tonner**
Leverancier/type	AT-Boretech MT15
Afmetingen (LxBxH)	5900x1950x2500 mm
Gewicht	11 ton
Boorstang	67 mm
Boorgat pilotfase	125 mm
Gewicht	22 ton
Boorstang	127 mm
Boorgat pilotfase	300 mm

5.2. Overig materieel

Naast de boorrig bestaat het in te zetten materieel uit:

- Mobiele kraan
- Zuigwagen
- Boorwagen met aanhanger
- Vrachtwagen met mixsysteem
- Haspelwagen

5.3. Boorspoeling

De te gebruiken boorvloeistof bestaat uit met water vermengde bentoniet. De hiervoor te gebruiken bentoniet (Tunnel-gel) zal zijn voorzien van een certificaat. Tijdens de uitvoering van de werkzaamheden wordt bekeken of de samenstelling van de boorspoeling verder aangepast dient/kan worden aan de lokale bodemopbouw. Uitgangspunt daarbij is dat een boorspoeling wordt verkregen die voldoende steun geeft aan het boorgat in de plaatselijke ondergrond.

De gemiddelde samenstelling van de boorspoeling bedraagt 50/70 kg bentoniet per 1.000 liter water. Het soortelijk gewicht van de boorspoeling bedraagt circa 1.150/1.200 kg/m^3 afhankelijk van de omstandigheden. Aan de hand van de bevindingen tijdens het boorproces kunnen er toeslagstoffen (polymeren) aan de boorspoeling worden toegevoegd om een stabiel boorgat te creëren.

Transport van de boorspoeling tijdens het boorproces vindt plaats met vloeistofdichte zuigwagens. In sommige gevallen wordt een retourleiding toegepast. De overtollige boorspoeling zal na afloop van het boorproces worden afgevoerd met vloeistofdichte tankwagens. De uitkomende en evt. gerecyclede grond wordt afhankelijk van de samenstelling zoveel mogelijk in het terrein verwerkt.

De specificatie/certificaten van de toe te passen bentoniet zijn in **bijlage 5** opgenomen.

5.4. Meetsysteem

Er zijn diverse meetsystemen beschikbaar waarmee horizontaal gestuurde boringen kunnen worden uitgevoerd, ieder systeem heeft voor- en nadelen. In navolgende alinea's worden de systemen per stuk omschreven.

Voor deze boring adviseren wij het gebruik van een **Walk-over** meetsysteem. De boordiepte bedraagt maximaal 6,26 meter minus maaiveld, waardoor een walk-over meetsysteem nog voldoende bereik heeft om de boring te volgen.

Walk-over meetsysteem
Een 'Walk-over' meetsysteem maakt gebruik een sonde die vanuit de boorkop een signaal uitzendt. Deze signalen bevatten gegevens over de richting, de diepte en de hellingshoek van de boorkop. De signalen van de sonde kunnen beïnvloed worden door omgevingsfactoren zoals damwanden, (tram)rails en andere kabels en leidingen in de nabijheid van de boring. Dit meetsysteem is gelimiteerd aan bepaalde boordieptes. Het voordeel van een walk-over meetsysteem is dat deze goedkoop en snel is, maar ook flexibel. Bij een onverwachte situatie kan de boring zonder veel moeite gewoon uitgevoerd worden. Daarnaast is dit meetsysteem bij beperkte invloed van buitenaf ook nauwkeurig te noemen.

6. Boorontwerp

Het boorontwerp is tot stand gekomen door rekening te houden met de omgeving, bovengrondse obstakels, bestaande kabels en leidingen, benodigde boorrig en welke meetapparatuur wordt toegepast.

6.1. Bestaande kabels en leidingen

Er is voor aanvang van de engineering door Holland Drilling B.V. informatie verkregen over de ligging van bestaande infrastructuren door middel van een KLIC-melding. Bij ontbrekende of onduidelijke informatie op de KLIC zijn aanvullende gegevens opgevraagd bij de betreffende netbeheerder(s).
Eventuele obstakels, zoals bestaande gestuurde boringen, kunstwerken of funderingen, staan hieronder vermeld.

7. Berekeningen

Voor de gestuurde boring zijn berekeningen uitgevoerd met betrekking tot de sterkte van de buis en toelaatbare boorspoeldrukken. De parameters voor deze berekeningen zijn onder andere:

- Het boorontwerp
- De toe te passen boorrig
- De in te voeren leidingen
- De grondgesteldheid
- De toe te passen boorspoeling

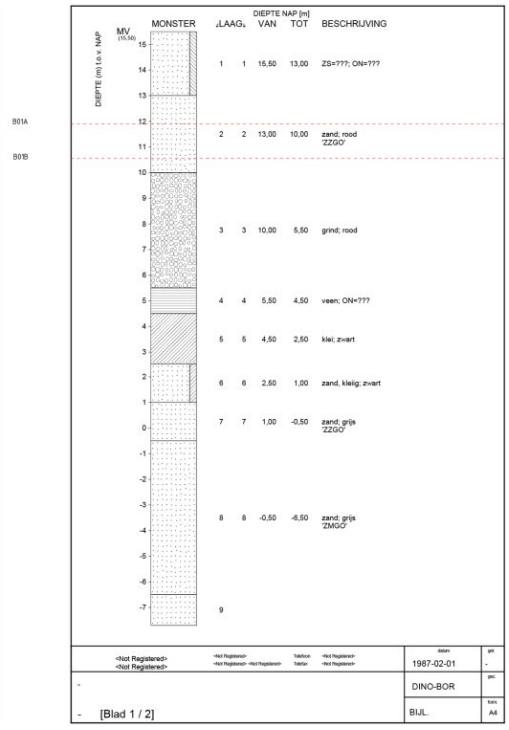
De berekeningen zijn uitgevoerd met het programma Sigma 2025, conform NEN 3650 en 3651. NEN 3650 en 3651. Het complete berekeningsrapport is toegevoegd in **bijlage 4**.

7.1. Geotechnisch grondonderzoek

Om tot zorgvuldige berekeningen te komen is geotechnisch grondonderzoek geraadpleegd. Daarnaast geeft het inzicht van het verloop van de grondlagen en de geohydrologische omstandigheden ook de gelegenheid om tot een goed eindresultaat te komen zonder al te veel complicaties.

De samenstelling en eigenschappen van een grondpakket kunnen over zeer korte afstanden variëren, daarom wordt geadviseerd om op een tracé meerdere sonderingen en boringen te verrichten.
Aan de hand van de grondgegevens wordt de toe te passen boorspoeldrukken en de plastische zone bepaald. De parameters die benodigd zijn voor de berekeningen zijn gebaseerd op gegevens afkomstig uit het geotechnisch grondonderzoek afkomstig van DINOloket, welke in **bijlage 2** zijn toegevoegd.

Uit het grondonderzoek blijkt dat de te doorboren grondlaag hoofdzakelijk bestaat uit zand.



Figuur 4: Projectie maximale boordiepte in grondonderzoek

De te doorboren diepte bedraagt voor B01A 11,84m NAP en voor B01B 10,50m NAP , waardoor de maximale boordiepte zich in de zandlaag bevindt. De gemeten conusweerstanden zijn op deze diepte beduidend lager dan 30 MPa, waardoor bij de sterkte- en boorspoeldrukberekeningen geen totaalfactor (2,0) bij moeilijke omstandigheden is aangehouden.

7.2. Grondwaterstand

Actuele metingen van de grondwaterstand ter plekke zijn niet beschikbaar. Op basis van bestaande gegevens die beschikbaar zijn in DINOloket is een grondwaterstand van 13,82 meter t.o.v NAP vastgesteld.

8. Planning en personeel

De planning die hier wordt aangegeven is een voorlopige planning. De werkelijke tijdsduur kan hiervan afwijken.

Minirig:

Boring	Mobiliseren (uur)	Pilotboring (uur)	Ruimen boortunnel (uur)	Intrekken PE-leiding(en) (uur)	Demobilisatie (uur)
B01A	1	2	2	2	1

Boring	Mobiliseren (uur)	Pilotboring (uur)	Ruimen boortunnel (uur)	Intrekken PE-leiding(en) (uur)	Demobilisatie (uur)
B01B	1	2	2	2	1

Boorploeg HDD	**Boormeester**	**Surveyor**	**Boorhulp(en)**	**Overige**
Rig 15 tonner	1	1	1	-

De verwachte tijdsduur van de boring bedraagt 2 dagen.

De start van de werkzaamheden is in overleg met de opdrachtgever en wanneer de benodigde vergunningen afgegeven zijn door de betrokken instanties.

Werktijden kunnen aangepast worden aan de werkzaamheden welke moeten worden uitgevoerd en de voortgang van het boorproces goed te laten verlopen. Werkdagen van 07.00 tot 20.00 uur komen hierbij regelmatig voor. Het intrekken van de boorstreng zal in één aaneengesloten fase plaatsvinden.

Wanneer het onderbreken van de werkzaamheden een onaanvaardbaar verhoogd risico voor de uitvoering van de boring veroorzaakt kan er door Holland Drilling B.V. besloten worden om ’s nachts en in het weekend door te werken. Dit zal altijd in goed overleg met de opdrachtgever en de gemeente (omwonenden) plaatsvinden.

9. Risicobeheersing

9.1. Inzicht in bestaande K&L

Voor uitvoering wordt door Holland Drilling B.V. een KLIC melding gedaan om de ligging van de bestaande ondergrondse infrastructuur in kaart te brengen. Tevens zal indien nodig met de betreffende leidingbeheerders contact worden opgenomen. Voor aanvang van de boringen worden er door Holland Drilling B.V. proefsleuven gemaakt nabij de begin en einde van de boringen. Aan de hand van deze proefsleuven worden vervolgens de in- en uittredeputten gegraven. De KLIC-melding zal tijdens de uitvoering op het werk aanwezig zijn.

Indien blijkt dat er een obstakel aanwezig is wat niet te doorboren is, kan het boortracé in verticale en/of horizontale richting worden aangepast. In eerste instantie binnen de grenzen van het reeds afgesloten zakelijk recht. Indien dit niet mogelijk is zal in overleg met de opdrachtgever een alternatief tracé worden gekozen, waarbij de opdrachtgever het zakelijk recht afsluit met de betrokken eigenaren.

9.2. Uitvoeringstechnische risico's

Uit het grondonderzoek blijkt dat de te doorboren grondlaag hoofdzakelijk bestaat uit zand.
Door de keuze van de te gebruiken bentoniet is het risico van instorten van het boorgat nihil. Mocht echter tijdens het boorproces blijken dat de boorspoeling onvoldoende steun aan het boorgat geeft, dan kan de samenstelling van de boorspoeling worden aangepast. Daarbij wordt gebruik gemaakt van de kennis en ervaring binnen Holland Drilling B.V.

9.3. Afwijkingen van de KLIC-melding

Uit ervaring blijkt dat een KLIC-melding niet altijd de complete informatie bevat om een passend boorontwerp te kunnen maken. Bij onduidelijkheden of incomplete informatie in de KLIC-melding is navraag gedaan bij de betreffende eigenaren. Voorbeelden hiervan zijn:

- Een bestaande HDPE leiding dient te worden gekruist. Op de KLIC-melding staat niet aangegeven of deze leiding middels een gestuurde boring is aangebracht of dat deze leiding in open sleuf is aangelegd.
- Een bijlagen van een gestuurde boring is niet (juist) meegeleverd met de KLIC.
- De diameters en diepteligging van het riool vrijverval is niet meegeleverd met de KLIC.

9.4. Blow-out

Voor alle betrokkenen is een blow-out op het maaiveldniveau onwenselijk. Tijdens de engineeringsfase zijn de risico's geminimaliseerd door de volgende factoren in acht te nemen:

- Het in kaart brengen van de lokale grondgesteldheid
- Het uitvoeren van boorspoeldrukberekeningen
- Het boorontwerp afstemmen op een veilige diepte

Tevens worden tijdens de uitvoeringsfase de risico's op een blow-out geminimaliseerd door de volgende factoren te monitoren:

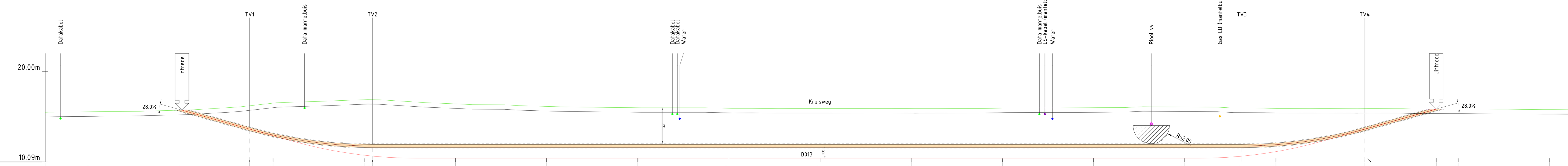
- Het afstemmen van de boorspoeldruk op de boorspoeldrukberekening
- Het monitoren van een constante retourstroom
- Het visueel inspecteren en monitoren van het maaiveld op een blow-out, zodat de mudpomp direct kan worden uitgezet

Bijlage 1: Ontwerptekening(en)

Doorsnede tekening
Schaal 1: 250

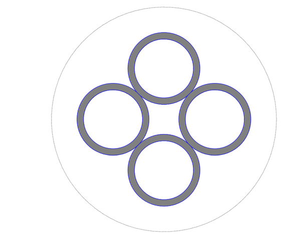
Boring 1A

Hoogte t.o.v. N.A.P.
Boringtype: Bundel
Totale boorlengte: 138.52m



Hor. afstand t.o.v. Intredepunt (m)	Werkelijk te boren lengte (m)	Hoogte maaiveld t.o.v. N.A.P. (m)	Hartlijn boring t.o.v. N.A.P. (m)	Hartlijn boring t.o.v. maaiveld (m)	Dekking t.o.v. maaiveld (m)
-10.00		15.60			
0.00	0.00	15.77	15.77	0.00	
7.41	7.70	16.25	13.70	2.56	2.36
10.00	10.37	16.54	13.04	3.50	3.30
20.00	20.45	16.92	11.85	5.07	4.88
20.89	21.35	16.93	11.84	5.08	4.89
30.00	30.45	16.46	11.84	4.62	4.43
40.00	40.45	16.18	11.84	4.34	4.15
50.00	50.45	16.05	11.84	4.20	4.01
60.00	60.45	15.98	11.84	4.14	3.94
70.00	70.45	15.95	11.84	4.11	3.91
80.00	80.45	15.94	11.84	4.10	3.91
90.00	90.45	16.00	11.84	4.15	3.96
100.00	100.45	16.04	11.84	4.20	4.00
110.00	110.45	16.13	11.84	4.28	4.09
116.26	116.71	16.01	11.84	4.16	3.97
120.00	120.46	15.96	11.98	3.98	3.79
129.74	130.36	15.94	13.70	2.25	2.05
130.00	130.63	15.95	13.77	2.18	1.98
137.60	138.52	15.90	15.90	0.00	
140.00		15.89			
150.00		15.84			

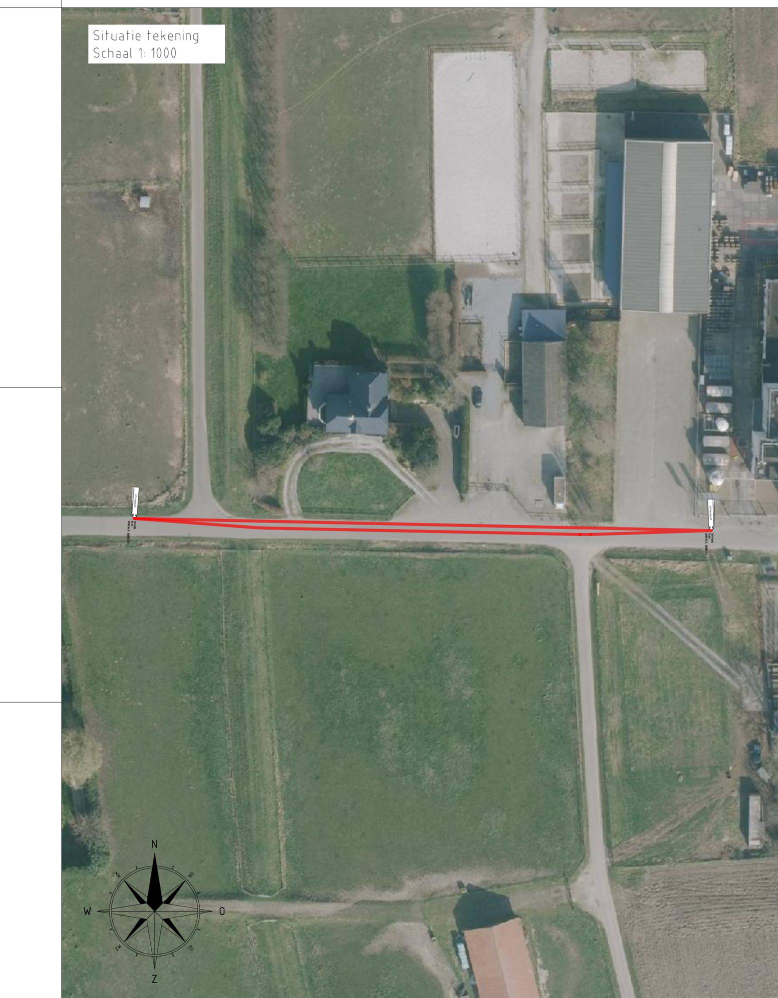
Verticale hoek/radius	Verticale lengte (m)
∠-28.00%	7.70
Rv=50.00	13.65
∠0.00%	95.37
Rv=50.00	13.65
∠28.00%	8.16



Bundeldiameter Ø 386 mm
Boorgatdiameter Ø 500 mm
HDPE buis 4x Ø 160 mm PE 100 SDR 11
mantelbuis t.b.v. Laagspanning en Middenspanning

Tangentpunten lijst			
Naam	X	Y	Z
Intrede	209434.90	388849.92	15.77
TV1	209442.31	388849.77	13.70
TV2	209455.79	388849.49	11.84
TV3	209551.13	388847.49	11.84
TV4	209564.61	388847.20	13.70
Uittrede	209572.47	388847.04	15.90

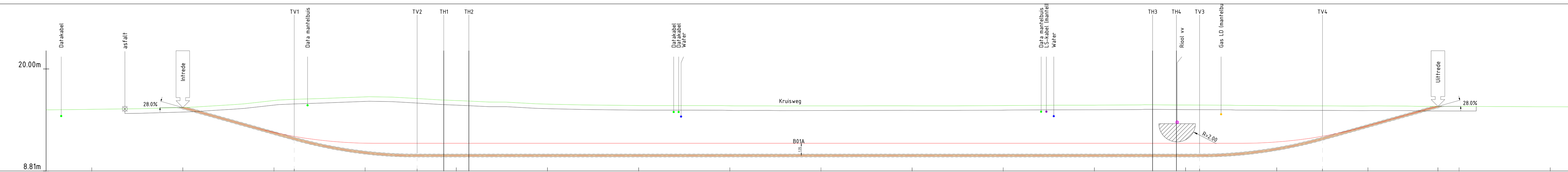
Situatie tekening
Schaal 1: 1000



Doorsnede tekening
Schaal 1: 250

Boring 1B

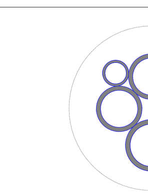
Hoogte t.o.v. N.A.P.
Boringtype: Bundel
Totale boorlengte: 138.98m



Hor. afstand t.o.v. Intredepunt (m)	Werkelijk te boren lengte (m)	Hoogte maaiveld t.o.v. N.A.P. (m)	Hartlijn boring t.o.v. N.A.P. (m)	Hartlijn boring t.o.v. maaiveld (m)	Dekking t.o.v. maaiveld (m)
-10.00		15.57			
0.00	0.00	15.77	15.77	0.00	
10.00	10.38	16.54	12.97	3.57	3.42
12.22	12.69	16.67	12.35	4.32	4.17
20.00	20.63	16.94	10.82	6.12	5.97
25.71	26.34	16.76	10.50	6.26	6.12
28.63	29.27	16.59	10.50	6.09	5.95
30.00	30.64	16.54	10.50	6.04	5.89
31.37	32.01	16.47	10.50	5.98	5.83
40.00	40.64	16.14	10.50	5.64	5.50
50.00	50.64	15.99	10.50	5.49	5.35
60.00	60.64	15.96	10.50	5.46	5.32
70.00	70.64	15.95	10.50	5.45	5.31
80.00	80.64	15.95	10.50	5.46	5.31
90.00	90.64	15.98	10.50	5.49	5.34
100.00	100.64	16.03	10.50	5.53	5.39
106.38	107.02	16.06	10.50	5.57	5.42
108.99	109.63	16.05	10.50	5.55	5.41
110.00	110.64	16.04	10.50	5.55	5.40
111.53	112.17	16.04	10.50	5.54	5.40
120.00	120.68	15.97	11.22	4.75	4.61
125.01	125.82	15.95	12.35	3.60	3.45
130.00	131.00	15.94	13.74	2.19	2.04
137.68	138.98	15.90	15.90	0.00	
140.00		15.89			
150.00		15.85			

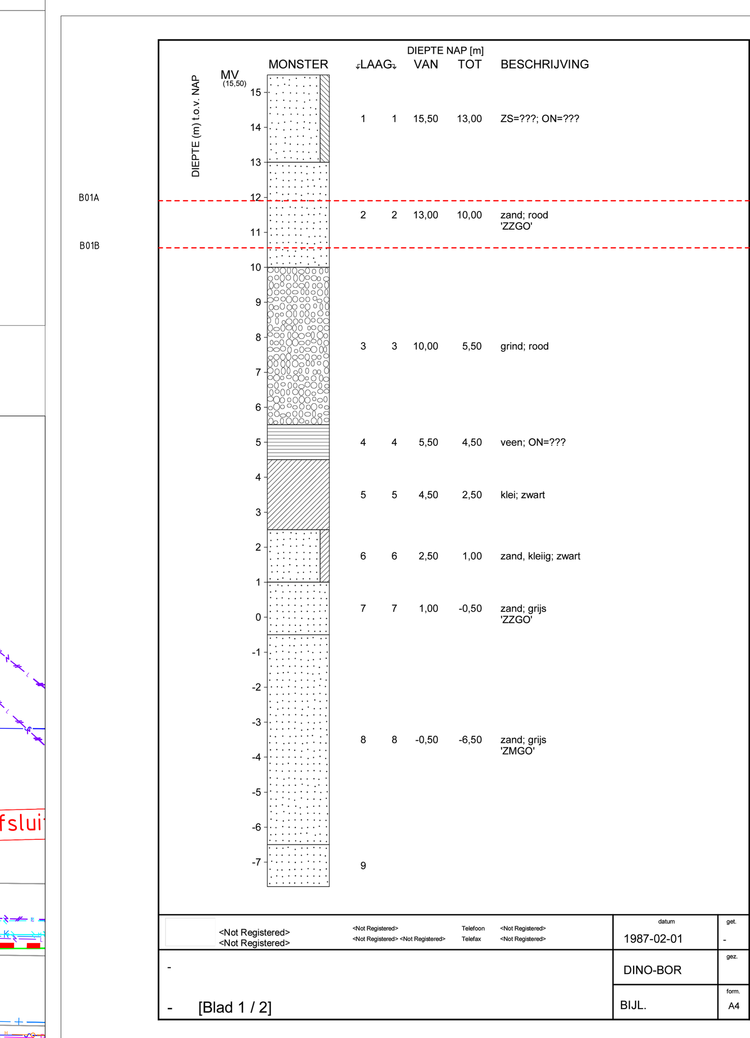
Verticale hoek/radius	Verticale lengte (m)
∠-28.00%	12.69
Rv=50.00	13.65
∠0.00%	85.83
Rv=50.00	13.65
∠28.00%	13.16

Horizontale radius	Horizontale lengte (m)
Rh=50.00	2.75
Rh=50.00	2.61

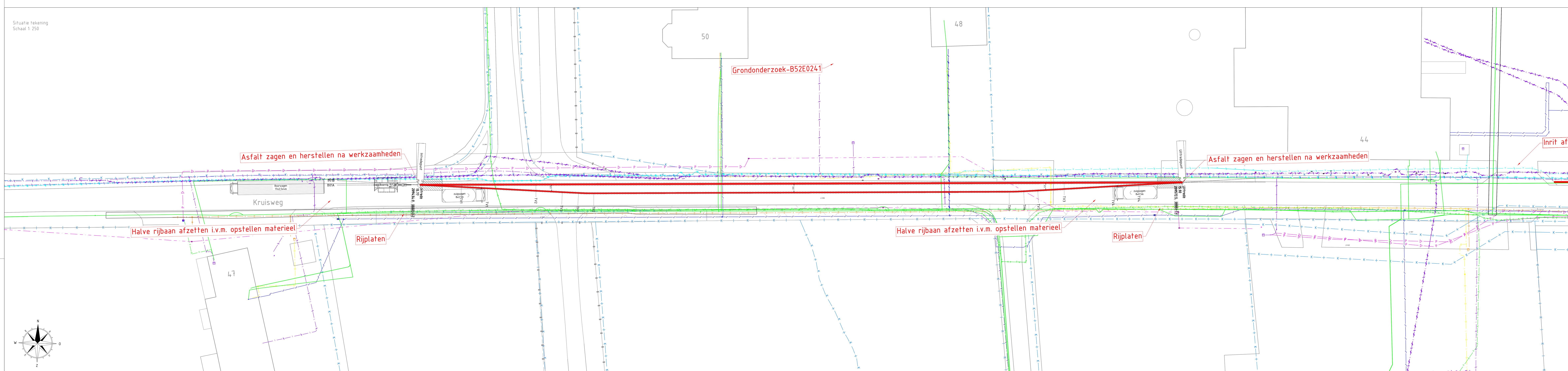


Bundeldiameter Ø 306 mm
Boorgatdiameter Ø 398 mm
SLA buis 1x Ø 125 mm PE 100 SDR 11
HDPE buis 3x Ø 110 mm PE 100 SDR 11
HDPE buis 2x Ø 63 mm PE 100 SDR 11
mantelbuis t.b.v. Water, Data, Riool en Gas

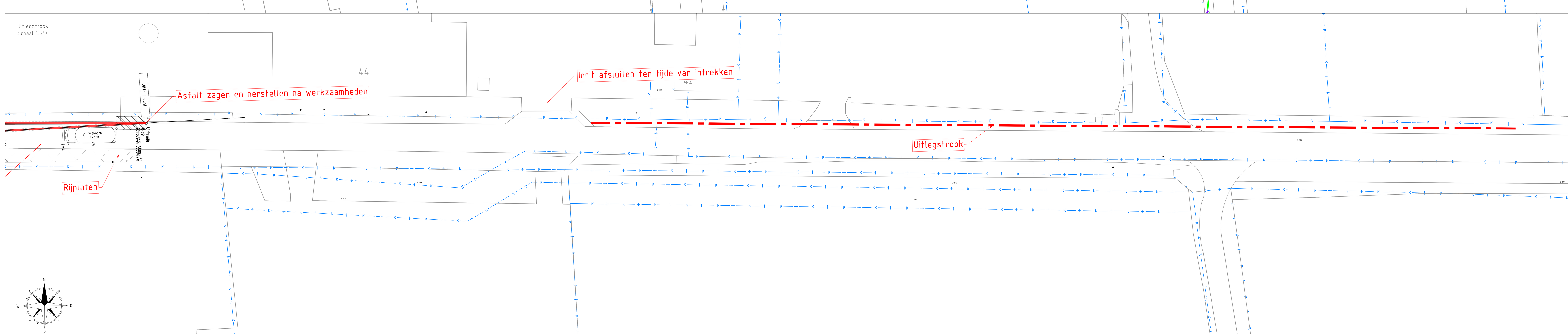
Tangentpunten lijst			
Naam	X	Y	Z
Intrede	209434.90	388849.92	15.77
TV1	209447.09	388849.00	12.35
TV2	209460.53	388847.99	10.50
TH1	209463.44	388847.77	10.50
TH2	209466.19	388847.64	10.50
TH3	209541.18	388846.11	10.50
TH4	209543.79	388846.12	10.50
TV3	209546.33	388846.21	10.50
TV4	209559.80	388846.64	12.35
Uittrede	209572.47	388847.04	15.90



Situatie tekening
Schaal 1: 250



Uitlegstrook
Schaal 1: 250



Legenda

Geometrie	Omschrijving	Status
	Buisleiding gevaarlijke inhoud	Bestaand
	Datatransport	Bestaand
	Laagspanning	Bestaand
	Middenspanning	Bestaand
	Middenspanning 10 kV	Bestaand
	Gas hoge druk	Bestaand
	Gas lage druk	Bestaand
	Warmtenet	Bestaand
	Water	Bestaand
	Weesleiding	Bestaand
	Drukriolering	Bestaand
	Riolering vrijverval	Bestaand
	Landelijk hoogspanningsnet	Bestaand

OPMERKINGEN:
- K&L bij in- en uittrede vooraf inzichtelijk maken d.m.v. proefsleuven
- Verkeersmaatregelen treffen

Wijz.	Omschrijving	Getekend	Goedgekeurd	Datum	Vrijgave
4					
3					
2					
1					

Projectomschrijving:
2 losse boring Arcen

Locatie:
Kruisweg 50, 5944EN Arcen

Onderdeel:
B01a - 4xØ160mm, 139m¹ / B01b - 1xØ125mm 3xØ110mm 2xØ63mm, 139m¹

Tekeningnummer: 26-20143-B01-01-P
Projectnummer: 26-20143

Opdrachtgever: BAM Energie en Water
Projectnummer opdrachtgever:

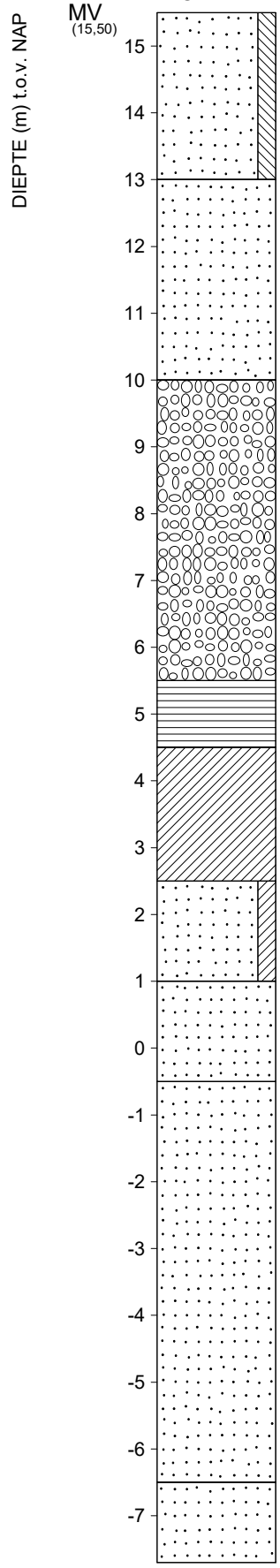
bam energie & water

holland drilling
Simon Homburgstraat 17
5431 NN Cuijk
www.hollanddrilling.nl
info@hollanddrilling.nl
Tel: 0485 - 74 50 40

Getekend:
Formaat: A0+
Datum: 02-04-2026
Status: Werktekening
Vrijgave voor uitvoering:
Goedgekeurd

Dit document is eigendom van Holland Drilling BV of diens opdrachtgever. Alle rechten zijn voorbehouden. Zonder schriftelijke toestemming mag dit document niet worden verveelvoudigd, openbaar gemaakt of anders worden gebruikt door derden.

Bijlage 2: Geotechnisch grondonderzoek



DIEPTE NAP [m]

MONSTER	LAAG		VAN	TOT	BESCHRIJVING
	1	1	15,50	13,00	ZS=???; ON=???
	2	2	13,00	10,00	zand; rood 'ZZGO'
	3	3	10,00	5,50	grind; rood
	4	4	5,50	4,50	veen; ON=???
	5	5	4,50	2,50	klei; zwart
	6	6	2,50	1,00	zand, kleiig; zwart
	7	7	1,00	-0,50	zand; grijs 'ZZGO'
	8	8	-0,50	-6,50	zand; grijs 'ZMGO'
	9				

<Not Registered>
<Not Registered>
<Not Registered>
<Not Registered> <Not Registered>
Telefoon <Not Registered>
Telefax <Not Registered>

datum 1987-02-01

get. -

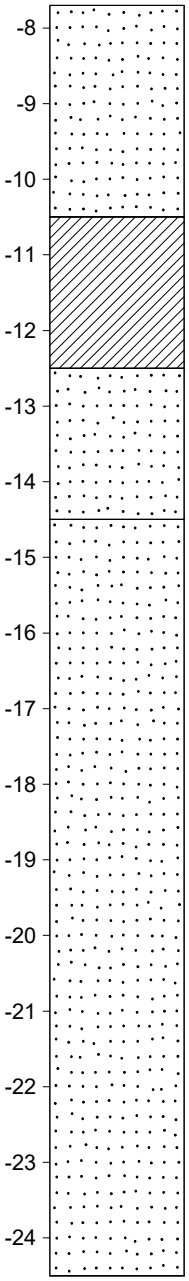
gez. DINO-BOR

form. BIJL. A4

-

- [Blad 1 / 2]

DIEPTE (m) t.o.v. NAP



Geboord tot
NAP -24,50 m

MONSTER	LAAG		DIEPTE NAP [m] VAN	TOT	BESCHRIJVING
	9	9	-6,50	-10,50	zand; grijs 'ZZGO'
	10	10	-10,50	-12,50	klei; grijs
	11	11	-12,50	-14,50	zand; ON=??? 'ZMGO'
	12	12	-14,50	-24,50	zand; donker-, grijs 'ZZGO'
					Einde Boring B52E0241

maaiveld: NAP 15,50 m
X = 209510 m Y = 388870 m (RD)

<Not Registered>
<Not Registered>
<Not Registered>
<Not Registered> <Not Registered>
Telefoon <Not Registered>
Telefax <Not Registered>

	datum 1987-02-01	get. -
-	DINO-BOR	gez.
- [Blad 2 / 2]	BIJL.	form. A4

Bijlage 3: Specificaties boorrig

Midi-Rig 15 Tonner



Algemeen

Leverancier:	AT-Boretech MT15
Gewicht:	11 ton
Afmeting (LxBxH):	5900x1.950x2500 mm
Rijwerk:	Rubberen rupsbanden

Capaciteiten

Max. te boren lengte:	216 m (Gyro 216m)
Max. te boren buisdiameter:	Ø 355 mm
Min. boorstraal:	R = 36 m; gyro R = 100 m;
Materiaal/diameter/lengte boorstang:	staal / Ø 67 mm / 3005 mm
Trekkracht:	150 kN
Drukkracht:	150 kN
Torque:	5000 Nm
Pompcapaciteit:	400 liter/minuut

Overige gegevens

Intrede hoek:	11.3º - 19.3º
Uittredehoek:	11.3º - 25º
Boorkop:	Jet bit with nozzle
Plaatsbepalingssysteem:	Walk Over meetsysteem Sub Site / Radio Detection Gyroscoop meetsysteem
Barrel/conische ruimer	Ø 110, 160, 225, 270, 340, 440, 500 mm
Transport methode:	vrachtwagen met aanhanger
Mudpomp/Mengunit:	in vrachtwagen
Overig transport:	evt. bus met haspelwagen en zuigwagen voor afvoer bentonietspoeling Wagen voor afvoer bentonietspoeling

Bijlage 4: Sterkte- en boorspoeldrukberekening

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2025 1.4 ©

Algemene gegevens

Naam van het project : B01A project Arcen
Projectonderdeel : 4x Ø160 HDPE SDR11

Materiaalgegevens

Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100		
Gegarandeerde minimale treksterkte	MRS	= 10	N/mm^2
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare lange duur zuivere trekspanning	$\overline{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm^2
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm^2
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm^2
Lineaire uitzettingscoefficiënt	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	= **160,00**	mm
Wanddikte	d_n	= **15**	mm

Procesgegevens

Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos) = Drukloos

Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken

Totale lengte	L	= 138,52	m
Totale horizontale lengte	L_{hor}	= 137,60	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R_r	= 100,00	m
Intredehoek (bij boorstelling)	α_1	= 15,64 / 28	° / %
Uittredehoek (bij rollenbaan)	α_2	= 15,64 / 28	° / %
Belastinghoek	α	= 30	°
Ondersteuningshoek	β	= 30	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
MV intrede t.o.v. NAP	MV_{in}	= 15,77	m
MV uittrede t.o.v. NAP	MV_{uit}	= 15,90	m

Beschrijving	Lengte langs buis [m]	Horizontale lengte [m]	Cumulatieve lengte langs buis [m]	Cumulatieve horizontale lengte [m]	Verticale straal [m]
Intrede-TV1	7,70	7,41	7,70	7,41	-
TV1-TV2	13,65	13,48	21,35	20,89	50,00
TV2-TV3	95,37	95,37	116,71	116,26	-
TV3-TV4	13,65	13,48	130,36	129,74	50,00
TV4-Uittrede	8,16	7,86	138,52	137,60	-

Uitvoeringsaspecten

Diameter boorstang	D_b	= 67	mm
Tijdens pilot			
Diameter boorkop/boorgat	D_p	= 125	mm
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_{m,p}$	= 11,5	kN/m^3
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_{y,p}$	= 14,4	Pa
Plastische viscositeit boorvloeistof	η_p	= 0,009	Pa·s
Debiet boorvloeistof	$Q_{m,p}$	= 400	l/min
Tijdens intrekken			
Gecombineerd ruimen/intrekken			
Diameter ruimer/boorgat	$D_{g,i}$	= 500	mm
Equivalente diameter bundel	D_{eq}	= 320	mm
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_{m,i}$	= 11,5	kN/m^3
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_{y,i}$	= 14,4	Pa
Plastische viscositeit boorvloeistof	η_i	= 0,009	Pa·s
Debiet boorvloeistof	$Q_{m,i}$	= 400	l/min
Aantal buizen in de bundel	n	= 4	

De bundelbuizen worden niet gekoppeld
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang

Onzekerheids- en wrijvingsfactoren

Totaalfactor bij boring met bundels	f	= 1,8	
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	
Partiële factor grondbelasting	γ	= 1,1	

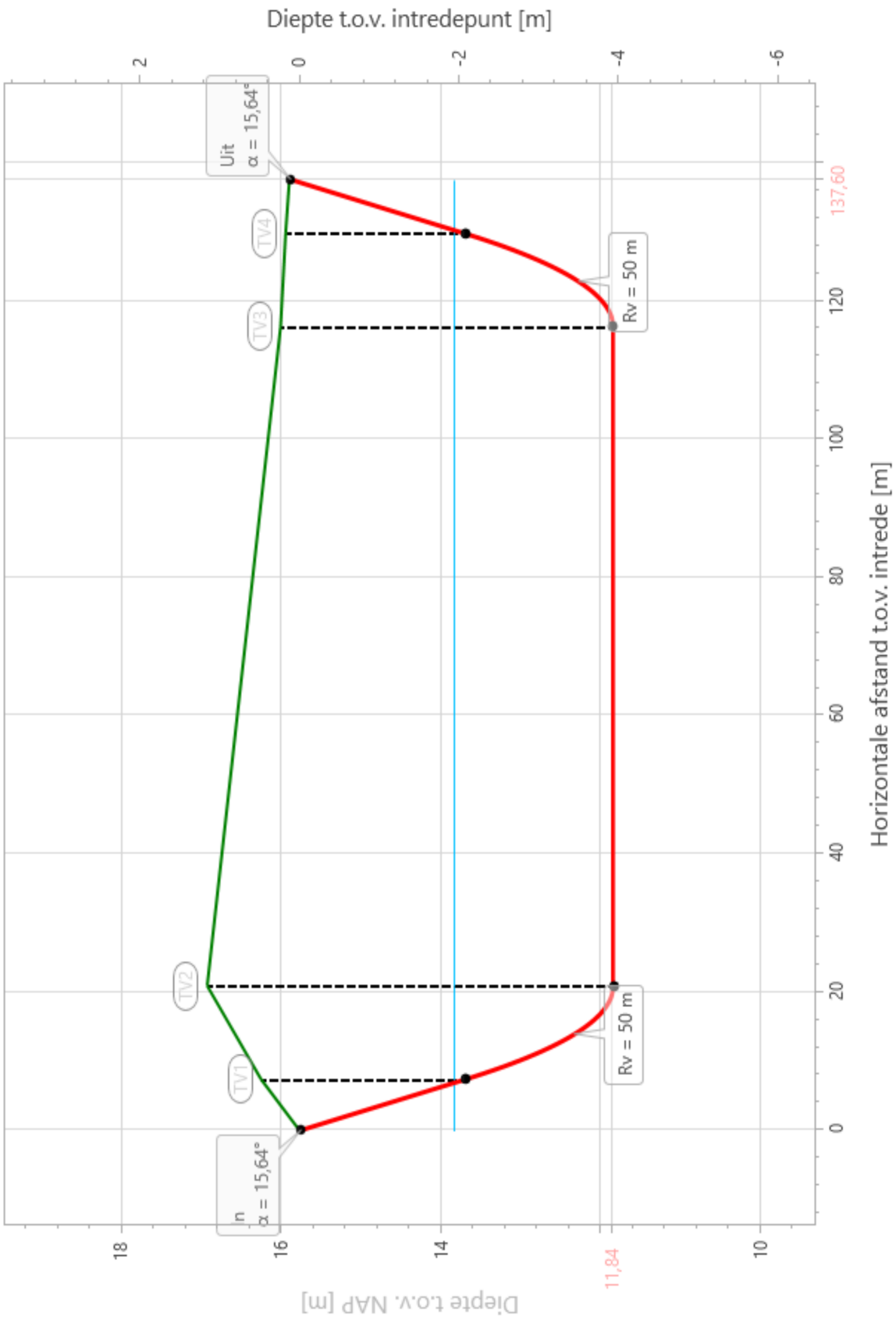
Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting

Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grondsoort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m³]	Wrijvingshoek grond [°]
TV1	7,70	2,56	2,43	Klei	18,00	18,00	22,50
TV2	21,35	5,08	3,11	Zand	18,00	20,00	30,00
TV3	116,71	4,16	2,19	Zand	18,00	20,00	30,00
TV4	130,36	2,25	2,12	Klei	18,00	18,00	22,50

Locatie	Hor. steundruk	Effectieve cohesie [kN/m²]	E-modulus ondergrond [MN/m²]	Neutrale grond-druk [kN/m²]	Verkeersbelasting
TV1	✓	5,00	2,00	100	Grafiek I
TV2	✓	0,00	35,00	100	Grafiek I
TV3	✓	0,00	35,00	100	Grafiek I
TV4	✓	5,00	2,00	100	Grafiek I

Locatie	Gereduceerde grondbelasting
TV1	Homogeen (zand)
TV2	Homogeen (zand)
TV3	Homogeen (zand)
TV4	Homogeen (zand)

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl



* Niet op schaal

1.4.4.0/02-2025/23-5365123-1

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

2. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 130,00	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 145,00	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 160,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 80,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 65,00	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 72,50	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 18.150.060,68	mm^4
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 226.875,76	mm^3
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 281,25	mm^4/mm^1
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 37,50	mm^3/mm^1
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 6.832,96	mm^2
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,0653	N/mm^1

3. Berekening van het gewicht van de leiding tijdens het intrekken van de leiding

	Leiding op rollenbaan/maaiveld		*Leiding in boorgat*	
Gewicht mediumleiding	g = 0,0653 N/mm^1		g = 0,0653 N/mm^1	
Gewicht vulling	g_{vul} = N.v.t.	+	g_{vul} = N.v.t.	+
Totaal gewicht	g_{rol} = 0,0653 N/mm^1		g_{gat} = 0,0653 N/mm^1	

4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds

4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld

Trekkracht T_1 tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_1 [N] (f = 1,8)	T_1 [N] (f = 1)
Starten met trekken	138,52	**4.881**	**2.712**
Na intrekken van TV4-Uittrede	130,36	**4.594**	**2.552**
Na intrekken van TV3-TV4	116,71	**4.113**	**2.285**
Na intrekken van TV2-TV3	21,35	**752**	**418**
Na intrekken van TV1-TV2	7,70	**271**	**151**

$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = f \cdot L \cdot 0{,}0653 \cdot 0{,}3$

4.2 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm^2]	T_1 [N] (f = 1,8)	σ_t [N/mm^2]
Starten met trekken	4.881	**0,71**
Na intrekken van TV4-Uittrede	4.594	**0,67**
Na intrekken van TV3-TV4	4.113	**0,60**
Na intrekken van TV2-TV3	752	**0,11**
Na intrekken van TV1-TV2	271	**0,04**

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{6.832{,}96}$$

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

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

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

$$M_b = 1{,}1 \cdot 975 \cdot \frac{18.150.061}{100.000} = 194.659{,}40 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{194.659{,}40}{226.876} = \mathbf{0{,}86} \text{ N/mm}^2$$

4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm^2]	σ_t [N/mm^2]	σ_a [N/mm^2]
Starten met trekken	0,71	**1,27**
Na intrekken van TV4-Uittrede	0,67	**1,23**
Na intrekken van TV3-TV4	0,60	**1,16**
Na intrekken van TV2-TV3	0,11	**0,67**
Na intrekken van TV1-TV2	0,04	**0,60**

$\sigma_a = \alpha_\sigma \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0{,}65 \cdot 0{,}86 + \sigma_t$

Toelaatbare spanning: σ_{kd} = MRS = **10,00** N/mm^2

$\sigma_a \leq \sigma_{kd} \rightarrow 1{,}27 \leq 10{,}00 \rightarrow$ Voldoet

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

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

5.1 Berekening van de vereiste trekkracht T_2 en T_{3a} in verband met wrijving tussen leiding en boorvloeistof/boorgangwand

Aantal buizen in de bundel n = 4

De bundelbuizen worden niet gekoppeld $\rightarrow f_b = 1/n^{0,3} = 0,660$

Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof.

66,0% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet.

Hieruit volgt: $D_{e,omtrek} = 331,63$ mm[1]

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,0653$ N/mm[1]

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

Gelet hierop is $g_{eff} = | g_{gat} - g_{opw} | = 0,166$ N/mm[1]

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L_2 / L_b [m]	T_2 [N] (f = 1,8)	T_{3a} [N] (f = 1,8)	T_2 [N] (f = 1)	T_{3a} [N] (f = 1)
Na intrekken van TV4-Uittrede	138,52	**731**	-	**406**	-
Na intrekken van TV3-TV4	130,36	-	**1.954**	-	**1.086**
Na intrekken van TV2-TV3	116,71	**10.498**	-	**5.832**	-
Na intrekken van TV1-TV2	21,35	-	**11.721**	-	**6.512**
Na intrekken van Intrede-TV1	7,70	**12.411**	-	**6.895**	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L_2 \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = f \cdot L_2 \cdot (331,63 \cdot 0,00005 + 0,166 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_b \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = f \cdot L_b \cdot (331,63 \cdot 0,00005 + 0,166 \cdot 0,2)$

5.2 Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding I en beddingsconstanten in de bochten k_v

Leidingdeel (Doorsnede)	E_{100} [N/mm^2]	q_n [kN/m^2]	$E_{100,norm}$ [N/mm^2]	υ [-]	l [mm]	m [-]	λ [mm^{-1}]	k_v [N/mm^3]
TV3-TV4 ..	35,00	100,00	35,00	0,3333	577,0	0,65	**0,00544**	**0,38875**
TV3-TV4 ..	2,00	100,00	2,00	0,3817	1.212,5	0,52	**0,00259**	**0,01994**
TV1-TV2 ..	2,00	100,00	2,00	0,3817	1.212,5	0,52	**0,00259**	**0,01994**
TV1-TV2 ..	35,00	100,00	35,00	0,3333	577,0	0,65	**0,00544**	**0,38875**

$E_{100,norm} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,5}$ (Zand/Leem/Grind) of $E_{100,norm} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,8}$ (Veen/Klei)

$K = 1 - \sin(\varphi)$ $\quad \upsilon = \dfrac{K}{1 + K}$

$l = \dfrac{\pi}{\lambda}$ $\quad A = l \cdot b$ $\quad b = \beta \cdot r_e = 30^o \cdot 80 = 41,89$ mm

$\lambda = \sqrt[4]{\dfrac{D_o \cdot k_v}{4 \cdot E \cdot I_b}}$

$k_v = \dfrac{E_{100,norm}}{m \cdot (1 - \upsilon^2) \cdot \sqrt{A}}$ (m volgens tabel C.5 NEN3650-1 C.4.3.3c)

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

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

Leidingdeel (Doorsnede)	R_v [m]	q_r [N/mm^2]	Q_r [N/mm^1]	T_{3b} [N] (f = 1,8)	T_{3b} [N] (f = 1)
TV3-TV4 (TV3)	50,00	0,023	3,76	**1.561**	**867**
TV3-TV4 (TV4)	50,00	0,0053	0,85	743	413
TV1-TV2 (TV1)	50,00	0,0053	0,85	743	413
TV1-TV2 (TV2)	50,00	0,023	3,76	**1.561**	**867**

$$q_r = e^{(-\pi/4)} \cdot \sin(\pi/4) \cdot \frac{\lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot f_{r,o} \cdot R} = 0{,}322 \cdot \frac{\lambda^2 \cdot 975 \cdot 18.150.060{,}68}{160 \cdot 0{,}9 \cdot R}$$

$$Q_r = q_r \cdot D_o = q_r \cdot 160$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = f \cdot 4 \cdot \frac{q_r}{2} \cdot 160 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0{,}2$$

5.4 Trekkracht T_{bocht} tijdens verschillende stadia

Trekkracht T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N] (f = 1)	T_2 / T_{3a} [N] (f = 1)	$T_{3b,max}$ [N] (f = 1)	ΣT_{3b} [N] (f = 1)	T_{bocht} [N]
TV3-TV4	2.285	1.086	867	867	**4.238**
TV1-TV2	151	6.512	867	1.735	**8.397**

$$T_{bocht} = T_1 + T_2 + T_{3a} + \Sigma T_{3b}$$

5.5 Berekening van de wrijving door bochtkracht T_{3c}

Trekkracht T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N] (f = 1,8)	T_{3c} [N] (f = 1)
TV3-TV4	7,82	4.238	**415**	**231**
TV1-TV2	7,82	8.397	**823**	**457**

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

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

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

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

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

5.6 Totalisatie van de trekkrachten in fase II

Wanneer een totaalfactor van f=1,8 wordt toegepast gelden de volgende waarden voor de trekkrachten.

Trekkracht T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 [N]	T_{3a} [N]	ΣT_{3b} [N]	ΣT_{3c} [N]	T_{tot} [N]	T_{tot} [ton]
Na intrekken van TV4-Uittrede	4.594	731	-	-	-	**5.325**	**0,53**
Na intrekken van TV3-TV4	4.113	-	1.954	1.561	415	**8.043**	**0,80**
Na intrekken van TV2-TV3	752	10.498	-	1.561	415	**13.227**	**1,32**
Na intrekken van TV1-TV2	271	-	11.721	3.123	1.238	**16.353**	**1,64**
Na intrekken van Intrede-TV1	0	12.411	-	3.123	1.238	**16.772**	**1,68**

$T_{tot} = T_1 + T_2 + T_{3a} + \Sigma T_{3b} + \Sigma T_{3c}$

5.7 Karakteristieke waarden van de benodigde trekkrachten in fase II

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

Trekkracht T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 [N]	T_{3a} [N]	ΣT_{3b} [N]	ΣT_{3c} [N]	T_{tot} [N]	T_{tot} [ton]
Na intrekken van TV4-Uittrede	2.552	406	-	-	-	**2.958**	**0,30**
Na intrekken van TV3-TV4	2.285	-	1.086	867	231	**4.468**	**0,45**
Na intrekken van TV2-TV3	418	5.832	-	867	231	**7.348**	**0,73**
Na intrekken van TV1-TV2	151	-	6.512	1.735	688	**9.085**	**0,91**
Na intrekken van Intrede-TV1	0	6.895	-	1.735	688	**9.318**	**0,93**

De maximale karakteristieke waarde voor de benodigde trekkracht bedraagt **9.318 N (» 0,93 ton)**.
Volgens de richtlijnen van de Drilling Contractors Association (DCA-Europe) wordt een boormachine geadviseerd met een trekkracht van minimaal 2 tot 3 keer deze maximale waarde. De aannemers moet bij zijn keuze van de boormachine uiteraard ook uitgaan van o.a. zijn ervaringen met HDD's én zijn kennis van het gebied.

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

5.8 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 TV4-Uittrede	5.325	**0,78**
Na intrekken van TV3-TV4	8.043	**1,18**
Na intrekken van TV2-TV3	13.227	**1,94**
Na intrekken van TV1-TV2	16.353	**2,39**
Na intrekken van Intrede-TV1	16.772	**2,45**

$$\sigma_t = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{6.832,96}$$

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

Trekkracht T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	R [m]	M_b [Nmm]	σ_b [N/mm^2]
TV3-TV4	50,00	550.551,84	**2,43**
TV1-TV2	50,00	550.551,84	**2,43**

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{f_{r,o} \cdot R} = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{18.150.060,68}{0,9 \cdot R}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} = \frac{M_b}{226.875,76}$$

5.10 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 TV4-Uittrede	5.325	0,78	-	**0,78**
Na intrekken van TV3-TV4	8.043	1,18	2,43	**2,75**
Na intrekken van TV2-TV3	13.227	1,94	-	**1,94**
Na intrekken van TV1-TV2	16.353	2,39	2,43	**3,97**
Na intrekken van Intrede-TV1	16.772	2,45	-	**2,45**

Rechte delen: $\sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{6.832,96} = \sigma_t$

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

Toelaatbare spanning: σ_{kd} = MRS = **10,00** N/mm^2

$\sigma_a \leq \sigma_{kd} \rightarrow 3,97 \leq 10,00 \rightarrow$ Voldoet

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

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

6.1 Berekening van de spanningen s_p en s_{pl} t.g.v. inwendige druk

Leiding is drukloos:

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

6.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

Leiding is drukloos:

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

6.3.1 Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grondsoort	q_{droog} [kN/m^2]	q_{nat} [kN/m^2]	q_n [kN/m^2]	Q_n [N/mm^1]
TV1	2,56	2,43	Klei	48,17	1,22	100,00	16,00
TV2	5,08	3,11	Zand	61,50	23,72	100,00	16,00
TV3	4,16	2,19	Zand	43,28	23,72	100,00	16,00
TV4	2,25	2,12	Klei	42,03	1,22	100,00	16,00

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

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

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

$Q_n = q_n \cdot D_o = (1{,}1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1{,}1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot 160$

6.3.2 Berekening van de gereduceerde neutrale grondbelasting Q_{nr}

Locatie	h [m]	GWS [m]	γ' [kN/m^3]
TV1	2,56	2,43	19,31
TV2	5,08	3,11	16,77
TV3	4,16	2,19	16,10
TV4	2,25	2,12	19,25

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

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	B_1 [m]	$8 \cdot B_1$ [m]	$q_{n,r}$ [kN/m^2]	$Q_{n,r}$ [N/mm^1]
TV1	Homogeen (zand)	0,25	2,00	100,00(1)	16,00
TV2	Homogeen (zand)	0,25	2,00	100,00(1)	16,00
TV3	Homogeen (zand)	0,25	2,00	100,00(1)	16,00
TV4	Homogeen (zand)	0,25	2,00	100,00(1)	16,00

$$R = \frac{D_{g,i}}{2} = \frac{500}{2} = 250 \text{ mm}$$

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

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

Indien gereduceerde grondbelasting volgens berekeningswijze 'Homogeen (zand)': ($h \geq 8 \cdot B_1$):

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

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

$Q_{n,r} = q_{n,r} \cdot D_o = q_{n,r} \cdot 160$

6.3.3 Overzicht berekende (gereduceerde) neutrale gronddrukken

Locatie	q_n [kN/m^2]	Q_n [N/mm^1]	$q_{n,r}$ [kN/m^2]	$Q_{n,r}$ [N/mm^1]
TV1	100,00	16,00	100,00	16,00
TV2	100,00	16,00	100,00	16,00
TV3	100,00	16,00	100,00	16,00
TV4	100,00	16,00	100,00	16,00

6.4 Berekening van de verkeersbelasting Q_v

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeersbelasting	q_v [kN/m^2]	Q_v [N/mm^1]
TV1	2,56	Grafiek I	19,79	3,17
TV2	5,08	Grafiek I	10,02	1,60
TV3	4,16	Grafiek I	12,33	1,97
TV4	2,25	Grafiek I	22,40	3,58

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

7. Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	Hor. steundruk	Q_n [N/mm^1]	$Q_{n,r}$ [N/mm^1]	Q_v [N/mm^1]	Q_{boven} [N/mm^1]	M_q [Nmm]	σ_q [N/mm^2]
TV1	✓	16,00	16,00	3,17	19,17	250,90(1)	**6,69**
TV2	✓	16,00	16,00	1,60	17,60	248,96(1)	**6,64**
TV3	✓	16,00	16,00	1,97	17,97	254,19(1)	**6,78**
TV4	✓	16,00	16,00	3,58	19,58	256,34(1)	**6,84**

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

$M_q = 0{,}257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 72{,}50 - 0{,}143 \cdot (1 - \sin\varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 72{,}50$

$$M_q = K_b \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot \frac{1 - \sin\varphi}{1 + \sin\varphi} \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g \quad (2)$$

$$M_q = 0{,}257 \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 72{,}50 - 0{,}143 \cdot \frac{1 - \sin\varphi}{1 + \sin\varphi} \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 72{,}50$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1{,}00 \cdot \frac{M_q}{37{,}50}$$

8. Optredende spanning s_{qr} tgv. grondreactie in de bochten

Locatie	R [m]	q_r [N/mm^2]	σ_{qr} [N/mm^2]
TV1	50,00	0,0053	0,33
TV2	50,00	0,023	1,44
TV3	50,00	0,023	1,44
TV4	50,00	0,0053	0,33

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0{,}179 \cdot q_r \cdot 160 \cdot \frac{80{,}00}{37{,}50}$$

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

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

Leiding is drukloos

σ_{ax} = **0** N/mm^2

10. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{281{,}25}{145^3} = 0{,}0899 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{89{,}95} \text{ kN/m}^2$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = **2** kN/m^2

11. Toetsing op implosie (bedrijfsfase): berekening van de alzijdige overdruk

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

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

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0{,}4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350{,}00 \cdot 281{,}25}{145{,}00^3} = 0{,}31 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **30,75** m grondwater boven de leiding

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld H [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld GWS [m]	Grondwater boven de leiding H_n [m]
TV1	2,56	2,43	**0,12**
TV2	5,08	3,11	**1,98**
TV3	4,16	2,19	**1,98**
TV4	2,25	2,12	**0,12**

$H_n < p_{o,lang} \rightarrow 1{,}98 < 30{,}75 \rightarrow$ Voldoet

12. Berekening van het totaal aan optredende spanningen

12.1 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]
TV1	6,69	0,33	0,65	**4,56**
TV2	6,64	1,44	0,65	**5,25**
TV3	6,78	1,44	0,65	**5,34**
TV4	6,84	0,33	0,65	**4,65**

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

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

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

$\sigma_{y2} \leq \sigma_{ld} \rightarrow 5{,}34 \leq 8{,}00 \rightarrow$ Voldoet

12.2 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]
TV1	0,00	0,00	2,43	0,65	**1,58**
TV2	0,00	0,00	2,43	0,65	**1,58**
TV3	0,00	0,00	2,43	0,65	**1,58**
TV4	0,00	0,00	2,43	0,65	**1,58**

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

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

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

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

$\sigma_x \leq \sigma_{ld} \rightarrow 1{,}58 \leq 8{,}00 \rightarrow$ Voldoet

13. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q_n [N/mm^1]	$Q_{n,r}$ [N/mm^1]	Q_v [N/mm^1]	Q_r [N/mm^1]	δ_Y [mm]	δ_Y/D_g [%]
TV1	16,00	16,00	3,17	0,85	**2,07**(1)	1,43
TV2	16,00	16,00	1,60	3,76	**2,70**(1)	1,86
TV3	16,00	16,00	1,97	3,76	**2,73**(1)	1,89
TV4	16,00	16,00	3,58	0,85	**2,09**(1)	1,44

$$\delta_Y = \frac{(0{,}089 \cdot Q - 0{,}095 \cdot Q_{n;h} + 0{,}048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (1)$$

$$\delta_Y = \frac{(0{,}089 \cdot (Q_n + \tfrac{1}{2} \cdot Q_v) - 0{,}095 \cdot (1 - \sin\varphi) \cdot (Q_n + \tfrac{1}{2} \cdot Q_v) + 0{,}048 \cdot Q_r) \cdot 72{,}50^3}{350 \cdot 281{,}25}$$

$$\delta_Y = \frac{(0{,}089 \cdot Q - 0{,}095 \cdot Q_{h;r} + 0{,}048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (2)$$

$$\delta_Y = \frac{(0{,}089 \cdot (Q_{n,r} + \tfrac{1}{2} \cdot Q_v) - 0{,}095 \cdot {}^{(1 - \sin\varphi)}/_{(1 + \sin\varphi)} \cdot (Q_{n,r} + \tfrac{1}{2} \cdot Q_v) + 0{,}048 \cdot Q_r) \cdot 72{,}50^3}{350 \cdot 281{,}25}$$

Toelaatbare deflectie: $\delta_{Y,max} = 8{,}00\% \cdot D_g = 0{,}08 \cdot 145{,}00 =$ **11,60** mm

$\delta_Y \leq \delta_{Y,max} \rightarrow 2{,}73 \leq 11{,}60 \rightarrow$ Voldoet

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

14. 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]	$E_{100,norm}$ [MN/m^2]
TV1	2,56	40,60	25,07	32,83	50,02	2
TV2	5,08	67,00	33,50	50,25	75,37	35
TV3	4,16	51,94	25,97	38,96	58,43	35
TV4	2,25	35,53	21,93	28,73	44,35	2

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

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

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

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

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

Locatie	G [MN/m^2]	Q [-]	u [N/mm^2]	υ [-]	p_{lim} [N/mm^2]	90% p_{lim} [bar] 1
TV1	0,72	0,024	0,0012	0,3817	0,16	**1,48**
TV2	13,13	0,0019	0,0198	0,3333	0,63	**5,64**
TV3	13,13	0,0015	0,0198	0,3333	0,53	**4,79**
TV4	0,72	0,022	0,0012	0,3817	0,15	**1,37**

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

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

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

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

14.1 Tijdens pilot

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	$R_{p,min}$ [m]	Δh_{in} [m]	p_{max} [N/mm^2]	p_{max} [bar] 2	p_{min} [N/mm^2]	p_{min} [bar] 3
TV1	1,28	0,06	2,08	0,16	**1,59**	0,03	**0,26**
TV2	0,45	0,02	3,93	0,29	**2,93**	0,05	**0,51**
TV3	0,51	0,06	3,93	0,25	**2,50**	0,08	**0,78**
TV4	1,12	0,06	2,08	0,15	**1,46**	0,06	**0,60**

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

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

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

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

$$v_{m,p} = \frac{Q_{m,p}}{A_p} = \frac{400}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - D_b^2)} = \frac{400}{1/4 \cdot \pi \cdot (125^2 - 67^2)} = 0{,}762\ \text{m/s}$$

$$p_{min} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_p \cdot v_{m,p}}{(D_p - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,p}}{(D_p - D_b)}\right) \cdot L + \rho_{m,p} \cdot \Delta h_{in} = \left(\frac{14580 \cdot 0{,}009 \cdot 0{,}762}{(125 - 67)^2} + \frac{14{,}4}{(125 - 67)}\right) \cdot L + 11{,}5 \cdot \Delta h_{in}$$

$$R_{p,min} = R_o \Big/ \sqrt{\frac{p'_f + c \cdot \cot(\varphi)}{p_{min} + u + c \cdot \cot(\varphi)}^{(1+\sin(\varphi)) \cdot \csc(\varphi)} - Q}$$

14.2 Tijdens intrekken

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	$R_{p,min}$ [m]	Δh_{uit} [m]	p_{max} [N/mm²]	p_{max} [bar] 4	p_{min} [N/mm²]	p_{min} [bar] 5
TV4	1,12	0,12	2,20	0,11	**1,06**	0,03(1)	**0,26**
TV3	2,05	0,09	4,06	0,25	**2,50**	0,05(1)	**0,48**
TV2	1,81	0,08	4,06	0,29	**2,93**	0,05(2)	**0,54**
TV1	1,28	0,10	2,20	0,12	**1,23**	0,03(2)	**0,27**

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

$$D_{eq} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} D_{o;i}^2} = 320 \text{ mm}$$

$$R_o = \frac{D_{g,i}}{2} = \frac{500}{2} = 250 \text{ mm}$$

$$v_{m,i,uit} = \frac{Q_{m,i}}{A_i} = \frac{400}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_{eq}^2)} = \frac{400}{1/4 \cdot \pi \cdot (500^2 - 320^2)} = 0{,}058 \text{ m/s}$$

$$v_{m,i,in} = \frac{Q_{m,i}}{A_i} = \frac{400}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_b^2)} = \frac{400}{1/4 \cdot \pi \cdot (500^2 - 67^2)} = 0{,}762 \text{ m/s}$$

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

$$p_{min,uit} = \left(\frac{14580 \cdot 0{,}009 \cdot 0{,}058}{(500 - 320)^2} + \frac{14{,}4}{(500 - 320)} \right) \cdot (138{,}52 - L) + 11{,}5 \cdot \Delta h_{uit} \quad (1)$$

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

$$p_{min,in} = \left(\frac{14580 \cdot 0{,}009 \cdot 0{,}762}{(406{,}4 - 67)^2} + \frac{14{,}4}{(406{,}4 - 67)} \right) \cdot L + 11{,}5 \cdot \Delta h_{in} \quad (2)$$

15. Toetsing op implosie tijdens intrekken leiding(en)

Locatie	p_{min} [N/mm^2]	$p_{o,kort}$ [N/mm^2]
TV4	0,03	1,71
TV3	0,05	1,71
TV2	0,05	1,71
TV1	0,03	1,71

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

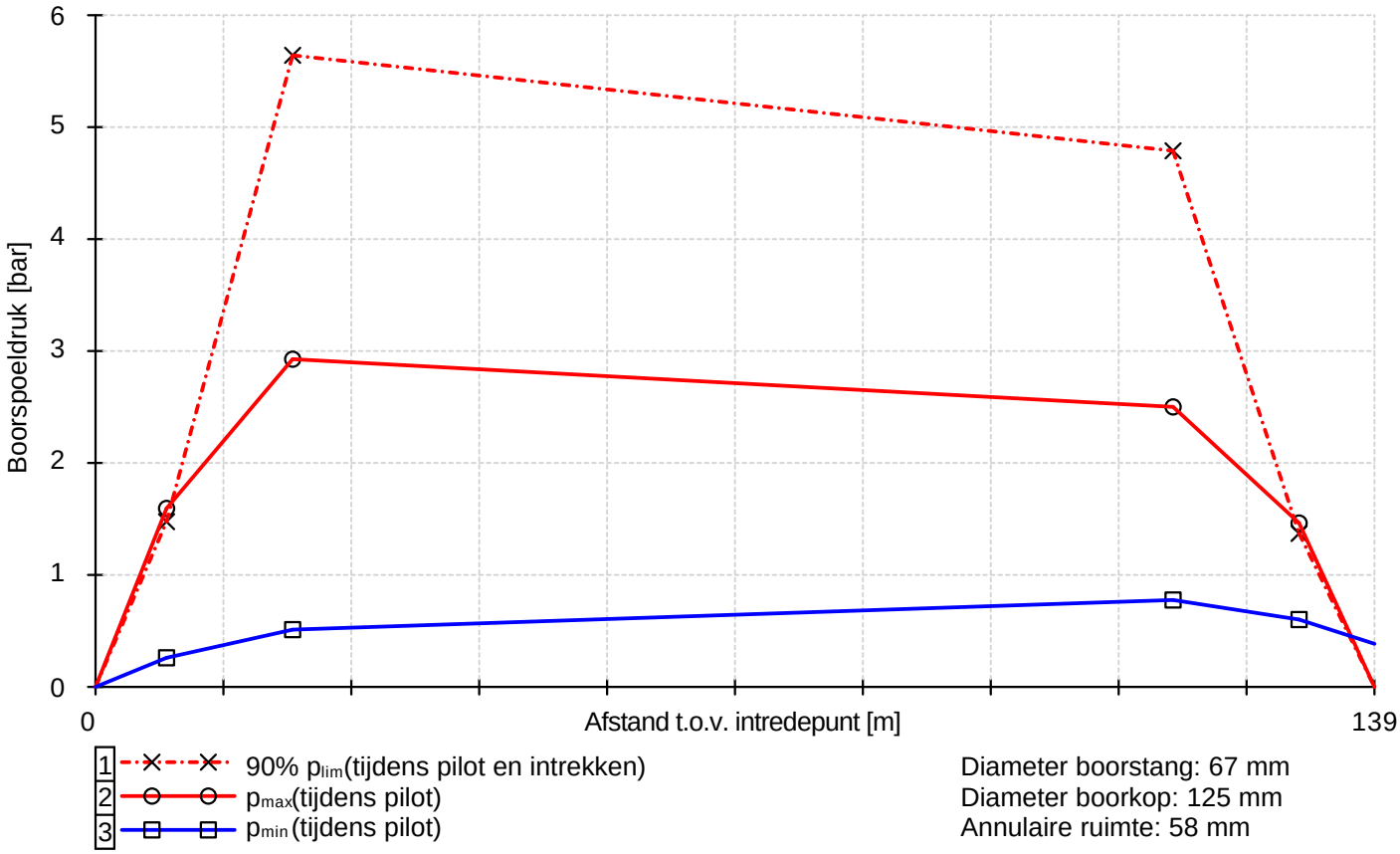
$$p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \upsilon^2)} \cdot \frac{24 \cdot E_{tan} \cdot I_w}{D_g^3}$$

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1{,}5 \cdot (1 - 0{,}4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975{,}00 \cdot 281{,}25}{145{,}00^3} = 1{,}71 \text{ N/mm}^2$$

$p_{min} \leq p_{o,kort} \rightarrow 0{,}05 \leq 1{,}71 \rightarrow$ Voldoet

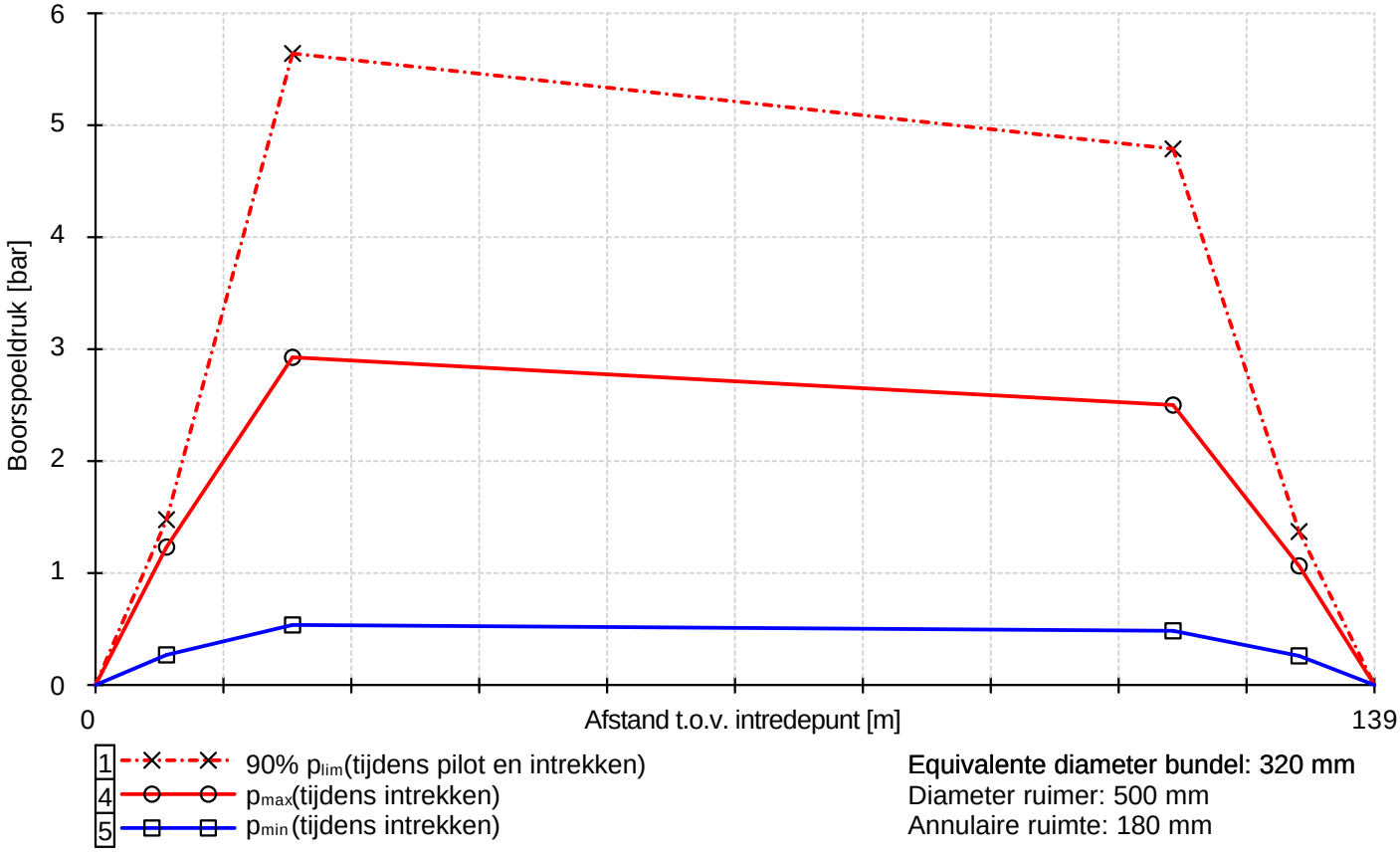
© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

16.1 Boorspoeldrukken tijdens pilot ($\rho_{m,p}$ = 11,5 kN/m³ / $\tau_{y,p}$ = 14,4 Pa / η_p = 0,009 Pas / $Q_{m,p}$ = 400 l/min)



Diameter boorstang: 67 mm
Diameter boorkop: 125 mm
Annulaire ruimte: 58 mm

16.2 Boorspoeldrukken tijdens intrekken ($\rho_{m,i}$ = 11,5 kN/m³ / $\tau_{y,i}$ = 14,4 Pa / η_i = 0,009 Pas / $Q_{m,i}$ = 400 l/min)



Equivalente diameter bundel: 320 mm
Diameter ruimer: 500 mm
Annulaire ruimte: 180 mm

1.4.4.0/02-2025/23-5365123-1

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2025 1.4 ©

Algemene gegevens

Naam van het project : B01B project Arcen
Projectonderdeel : 1x Ø125 HDPE SDR11

Materiaalgegevens

Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Gegarandeerde minimale treksterkte	MRS	= 10	N/mm^2
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare lange duur zuivere trekspanning	$\overline{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm^2
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm^2
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm^2
Lineaire uitzettingscoefficiënt	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	= **125,00**	mm
Wanddikte	d_n	= **11,4**	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	Δ_t	= 10	°

Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken

Totale lengte	L	= 138,98	m
Totale horizontale lengte	L_{hor}	= 137,68	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R_r	= 100,00	m
Intredehoek (bij boorstelling)	α_1	= 15,64 / 28	° / %
Uittredehoek (bij rollenbaan)	α_2	= 15,64 / 28	° / %
Belastinghoek	α	= 30	°
Ondersteuningshoek	β	= 30	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
MV intrede t.o.v. NAP	MV_{in}	= 15,77	m
MV uittrede t.o.v. NAP	MV_{uit}	= 15,90	m

Beschrijving	Lengte langs buis [m]	Horizontale lengte [m]	Cumulatieve lengte langs buis [m]	Cumulatieve horizontale lengte [m]	Verticale straal [m]	Horizontale straal [m]
Intrede-TV1	12,69	12,22	12,69	12,22	-	-
TV1-TV2	13,65	13,48	26,34	25,70	50,00	-
TV2-TH1	2,92	2,92	29,27	28,63	-	-
TH1-TH2	2,75	2,75	32,01	31,37	-	50,00
TH2-TH3	75,00	75,00	107,02	106,38	-	-
TH3-TH4	2,61	2,61	109,63	108,99	-	50,00
TH4-TV3	2,54	2,54	112,17	111,53	-	-
TV3-TV4	13,65	13,48	125,82	125,01	50,00	-
TV4-Uittrede	13,16	12,67	138,98	137,68	-	-

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

17-04-2026 11:57:42

Uitvoeringsaspecten

Diameter boorstang	D_b	= 67	mm
Tijdens pilot			
Diameter boorkop/boorgat	D_p	= 125	mm
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_{m,p}$	= 11,5	kN/m^3
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_{y,p}$	= 14,4	Pa
Plastische viscositeit boorvloeistof	η_p	= 0,009	Pa·s
Debiet boorvloeistof	$Q_{m,p}$	= 400	l/min
Tijdens intrekken			
Gecombineerd ruimen/intrekken			
Diameter ruimer/boorgat	$D_{g,i}$	= 398	mm
Equivalente diameter bundel	D_{eq}	= 244,67	mm
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_{m,i}$	= 11,5	kN/m^3
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_{y,i}$	= 14,4	Pa
Plastische viscositeit boorvloeistof	η_i	= 0,009	Pa·s
Debiet boorvloeistof	$Q_{m,i}$	= 400	l/min
Aantal buizen in de bundel	n	= 6	

De bundelbuizen worden niet gekoppeld
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang

Onzekerheids- en wrijvingsfactoren

Totaalfactor bij boring met bundels	f	= 1,8	
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	
Partiële factor grondbelasting	γ	= 1,1	

Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting

Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grondsoort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m³]	Wrijvingshoek grond [°]
TV1	12,69	4,32	2,85	Zand	18,00	20,00	30,00
TV2	26,34	6,26	2,94	Zand	18,00	20,00	30,00
TH1	29,27	6,09	2,77	Zand	18,00	20,00	30,00
TH2	32,01	5,98	2,65	Zand	18,00	20,00	30,00
TH3	107,02	5,57	2,24	Zand	18,00	20,00	30,00
TH4	109,63	5,55	2,23	Zand	18,00	20,00	30,00
TV3	112,17	5,54	2,22	Zand	18,00	20,00	30,00
TV4	125,82	3,60	2,13	Zand	18,00	20,00	30,00

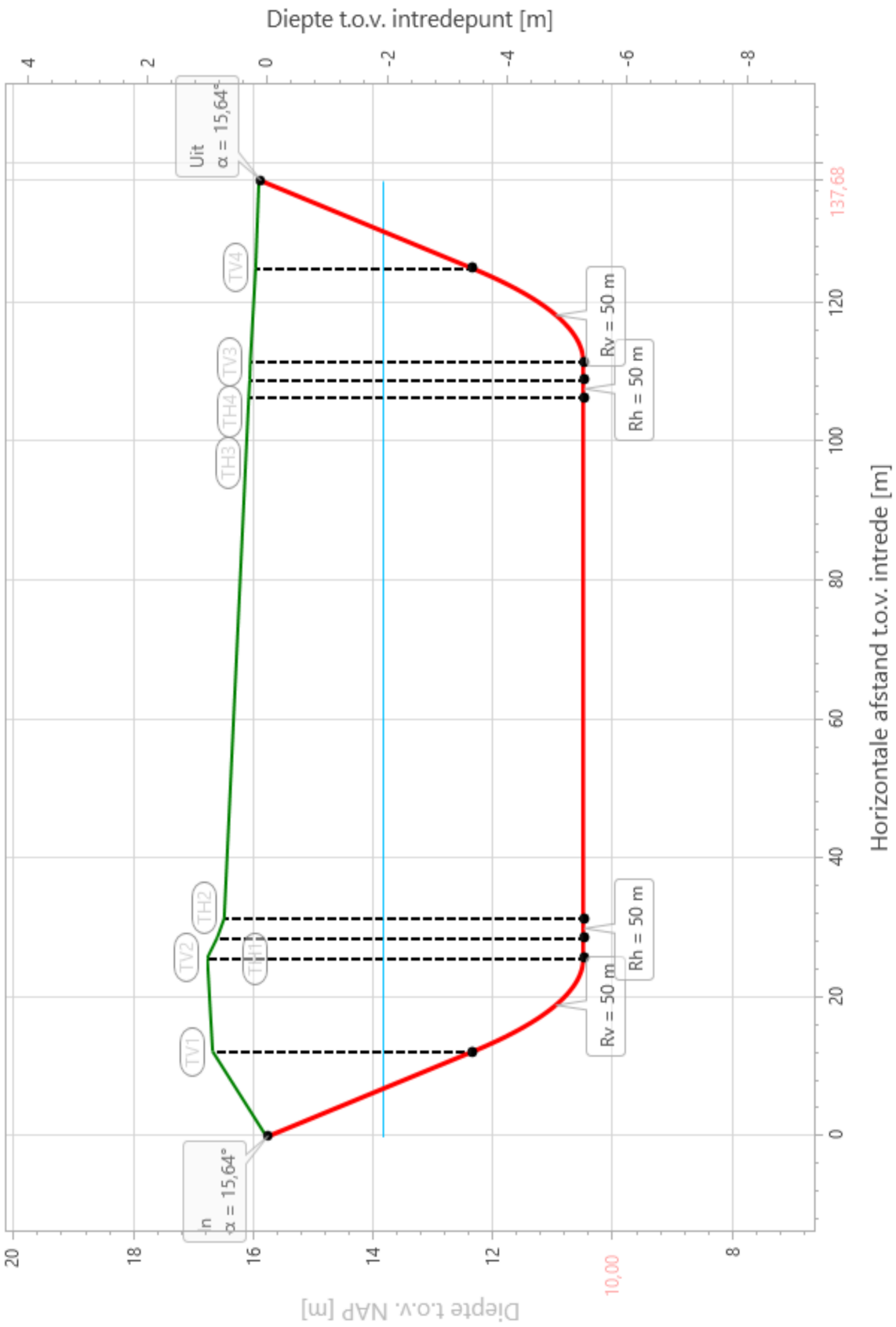
1.4.4.0/02-2025/23-5365123-1

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

Locatie	Hor. steundruk	Effectieve cohesie [kN/m²]	E-modulus ondergrond [MN/m²]	Neutrale grond-druk [kN/m²]	Verkeersbelasting
TV1	✓	0,00	35,00	100	Grafiek I
TV2	✓	0,00	35,00	100	Grafiek I
TH1	✓	0,00	35,00	100	Grafiek I
TH2	✓	0,00	35,00	100	Grafiek I
TH3	✓	0,00	35,00	100	Grafiek I
TH4	✓	0,00	35,00	100	Grafiek I
TV3	✓	0,00	35,00	100	Grafiek I
TV4	✓	0,00	35,00	100	Grafiek I

Locatie	Gereduceerde grondbelasting
TV1	Homogeen (zand)
TV2	Homogeen (zand)
TH1	Homogeen (zand)
TH2	Homogeen (zand)
TH3	Homogeen (zand)
TH4	Homogeen (zand)
TV3	Homogeen (zand)
TV4	Homogeen (zand)

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl



* Niet op schaal

1.4.4.0/02-2025/23-5365123-1

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

2. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 102,20	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 113,60	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 125,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 62,50	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 51,10	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 56,80	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 6.629.052,19	mm^4
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 106.064,84	mm^3
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 123,46	mm^4/mm^1
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 21,66	mm^3/mm^1
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 4.068,49	mm^2
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,0389	N/mm^1

3. Berekening van het gewicht van de leiding tijdens het intrekken van de leiding

	Leiding op rollenbaan/maaiveld		*Leiding in boorgat*	
Gewicht mediumleiding	g = 0,0389 N/mm^1		g = 0,0389 N/mm^1	
Gewicht vulling	g_{vul} = N.v.t.	+	g_{vul} = N.v.t.	+
Totaal gewicht	g_{rol} = 0,0389 N/mm^1		g_{gat} = 0,0389 N/mm^1	

4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds

4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld

Trekkracht T_1 tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_1 [N] (f = 1,8)	T_1 [N] (f = 1)
Starten met trekken	138,98	**2.916**	**1.620**
Na intrekken van TV4-Uittrede	125,82	**2.640**	**1.467**
Na intrekken van TV3-TV4	112,17	**2.353**	**1.307**
Na intrekken van TH4-TV3	109,63	**2.300**	**1.278**
Na intrekken van TH3-TH4	107,02	**2.245**	**1.247**
Na intrekken van TH2-TH3	32,01	**672**	**373**
Na intrekken van TH1-TH2	29,27	**614**	**341**
Na intrekken van TV2-TH1	26,34	**553**	**307**
Na intrekken van TV1-TV2	12,69	**266**	**148**

$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = f \cdot L \cdot 0{,}0389 \cdot 0{,}3$

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

4.2 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm^2]	T_1 [N] (f = 1,8)	σ_t [N/mm^2]
Starten met trekken	2.916	**0,72**
Na intrekken van TV4-Uittrede	2.640	**0,65**
Na intrekken van TV3-TV4	2.353	**0,58**
Na intrekken van TH4-TV3	2.300	**0,57**
Na intrekken van TH3-TH4	2.245	**0,55**
Na intrekken van TH2-TH3	672	**0,17**
Na intrekken van TH1-TH2	614	**0,15**
Na intrekken van TV2-TH1	553	**0,14**
Na intrekken van TV1-TV2	266	**0,07**

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{4.068,49}$$

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{6.629.052}{100.000} = 71.096,58 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{71.096,58}{106.065} = \mathbf{0,67} \text{ N/mm}^2$$

4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm^2]	σ_t [N/mm^2]	σ_a [N/mm^2]
Starten met trekken	0,72	**1,15**
Na intrekken van TV4-Uittrede	0,65	**1,08**
Na intrekken van TV3-TV4	0,58	**1,01**
Na intrekken van TH4-TV3	0,57	**1,00**
Na intrekken van TH3-TH4	0,55	**0,99**
Na intrekken van TH2-TH3	0,17	**0,60**
Na intrekken van TH1-TH2	0,15	**0,59**
Na intrekken van TV2-TH1	0,14	**0,57**
Na intrekken van TV1-TV2	0,07	**0,50**

$$\sigma_a = \alpha_\sigma \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 0,67 + \sigma_t$$

Toelaatbare spanning: σ_{kd} = MRS = **10,00** N/mm^2

$\sigma_a \leq \sigma_{kd} \rightarrow 1,15 \leq 10,00 \rightarrow$ Voldoet

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

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

5.1 Berekening van de vereiste trekkracht T_2 en T_{3a} in verband met wrijving tussen leiding en boorvloeistof/boorgangwand

Aantal buizen in de bundel n = 6

De bundelbuizen worden niet gekoppeld $\rightarrow f_b = 1/n^{0,3} = 0,584$

Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof.

58,4% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet.

Hieruit volgt: $D_{e,omtrek} = 229,41$ mm[1]

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,0389$ N/mm[1]

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof: $g_{opw} = \rho_{m,i} \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 125,00^2 \cdot \pi/4 = 0,141$ N/mm[1]

Gelet hierop is $g_{eff} = | g_{gat} - g_{opw} | = 0,102$ N/mm[1]

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L_2 / L_b [m]	T_2 [N] (f = 1,8)	T_{3a} [N] (f = 1,8)	T_2 [N] (f = 1)	T_{3a} [N] (f = 1)
Na intrekken van TV4-Uittrede	138,98	**756**	-	**420**	-
Na intrekken van TV3-TV4	125,82	-	**1.540**	-	**856**
Na intrekken van TH4-TV3	112,17	**1.686**	-	**937**	-
Na intrekken van TH3-TH4	109,63	-	**1.837**	-	**1.020**
Na intrekken van TH2-TH3	107,02	**6.147**	-	**3.415**	-
Na intrekken van TH1-TH2	32,01	-	**6.305**	-	**3.503**
Na intrekken van TV2-TH1	29,27	**6.472**	-	**3.596**	-
Na intrekken van TV1-TV2	26,34	-	**7.257**	-	**4.032**
Na intrekken van Intrede-TV1	12,69	**7.986**	-	**4.437**	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L_2 \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = f \cdot L_2 \cdot (229,41 \cdot 0,00005 + 0,102 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_b \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = f \cdot L_b \cdot (229,41 \cdot 0,00005 + 0,102 \cdot 0,2)$

5.2 Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding I en beddingsconstanten in de bochten k_v

Leidingdeel (Doorsnede)	E_{100} [N/mm^2]	q_n [kN/m^2]	$E_{100,norm}$ [N/mm^2]	υ [-]	I [mm]	m [-]	λ [mm^{-1}]	k_v [N/mm^3]
TV3-TV4 ..	35,00	100,00	35,00	0,3333	448,4	0,65	**0,00701**	**0,49817**
TV3-TV4 ..	35,00	100,00	35,00	0,3333	448,4	0,65	**0,00701**	**0,49817**
TH3-TH4 ..	35,00	100,00	35,00	0,3333	448,4	0,65	**0,00701**	**0,49817**
TH3-TH4 ..	35,00	100,00	35,00	0,3333	448,4	0,65	**0,00701**	**0,49817**
TH1-TH2 ..	35,00	100,00	35,00	0,3333	448,4	0,65	**0,00701**	**0,49817**
TH1-TH2 ..	35,00	100,00	35,00	0,3333	448,4	0,65	**0,00701**	**0,49817**
TV1-TV2 ..	35,00	100,00	35,00	0,3333	448,4	0,65	**0,00701**	**0,49817**
TV1-TV2 ..	35,00	100,00	35,00	0,3333	448,4	0,65	**0,00701**	**0,49817**

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

$E_{100,norm} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,5}$ (Zand/Leem/Grind) of $E_{100,norm} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,8}$ (Veen/Klei)

$K = 1 - \sin(\varphi)$ $\upsilon = \frac{K}{1 + K}$

$I = \frac{\pi}{\lambda}$ $A = I \cdot b$ $b = \beta \cdot r_e = 30^o \cdot 62,5 = 32,72$ mm

$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_v}{4 \cdot E \cdot I_b}}$

$k_v = \frac{E_{100,norm}}{m \cdot (1 - \upsilon^2) \cdot \sqrt{A}}$ (m volgens tabel C.5 NEN3650-1 C.4.3.3c)

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

Leidingdeel (Doorsnede)	R_v [m]	R_h [m]	q_r [N/mm^2]	Q_r [N/mm^1]	T_{3b} [N] (f = 1,8)	T_{3b} [N] (f = 1)
TV3-TV4 (TV3)	50,00	-	0,018	2,27	**734**	**408**
TV3-TV4 (TV4)	50,00	-	0,018	2,27	**734**	**408**
TH3-TH4 (TH3)	-	50,00	0,018	2,27	**734**	**408**
TH3-TH4 (TH4)	-	50,00	0,018	2,27	**734**	**408**
TH1-TH2 (TH1)	-	50,00	0,018	2,27	**734**	**408**
TH1-TH2 (TH2)	-	50,00	0,018	2,27	**734**	**408**
TV1-TV2 (TV1)	50,00	-	0,018	2,27	**734**	**408**
TV1-TV2 (TV2)	50,00	-	0,018	2,27	**734**	**408**

$q_r = e^{(-\pi/4)} \cdot \sin(\pi/4) \cdot \frac{\lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot f_{r,o} \cdot R} = 0,322 \cdot \frac{\lambda^2 \cdot 975 \cdot 6.629.052,19}{125 \cdot 0,9 \cdot R}$

$Q_r = q_r \cdot D_o = q_r \cdot 125$

$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = f \cdot 4 \cdot \frac{q_r}{2} \cdot 125 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$

5.4 Trekkracht T_{bocht} tijdens verschillende stadia

Trekkracht T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N] (f = 1)	T_2 / T_{3a} [N] (f = 1)	$T_{3b,max}$ [N] (f = 1)	ΣT_{3b} [N] (f = 1)	T_{bocht} [N]
TV3-TV4	1.307	856	408	408	**2.571**
TH3-TH4	1.247	1.020	408	815	**3.083**
TH1-TH2	341	3.503	408	1.223	**5.067**
TV1-TV2	148	4.032	408	1.631	**5.810**

$T_{bocht} = T_1 + T_2 + T_{3a} + \Sigma T_{3b}$

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

5.5 Berekening van de wrijving door bochtkracht T_{3c}

Trekkracht T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N] (f = 1,8)	T_{3c} [N] (f = 1)
TV3-TV4	7,82	2.571	**252**	**140**
TH3-TH4	1,50	3.083	**58**	**32**
TH1-TH2	1,57	5.067	**100**	**56**
TV1-TV2	7,82	5.810	**569**	**316**

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

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

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

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

5.6 Totalisatie van de trekkrachten in fase II

Wanneer een totaalfactor van f=1,8 wordt toegepast gelden de volgende waarden voor de trekrachten.

Trekkracht T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 [N]	T_{3a} [N]	ΣT_{3b} [N]	ΣT_{3c} [N]	T_{tot} [N]	T_{tot} [ton]
Na intrekken van TV4-Uittrede	2.640	756	-	-	-	**3.396**	**0,34**
Na intrekken van TV3-TV4	2.353	-	1.540	734	252	**4.880**	**0,49**
Na intrekken van TH4-TV3	2.300	1.686	-	734	252	**4.972**	**0,50**
Na intrekken van TH3-TH4	2.245	-	1.837	1.468	310	**5.859**	**0,59**
Na intrekken van TH2-TH3	672	6.147	-	1.468	310	**8.596**	**0,86**
Na intrekken van TH1-TH2	614	-	6.305	2.201	410	**9.530**	**0,95**
Na intrekken van TV2-TH1	553	6.472	-	2.201	410	**9.637**	**0,96**
Na intrekken van TV1-TV2	266	-	7.257	2.935	979	**11.438**	**1,14**
Na intrekken van Intrede-TV1	0	7.986	-	2.935	979	**11.901**	**1,19**

$T_{tot} = T_1 + T_2 + T_{3a} + \Sigma T_{3b} + \Sigma T_{3c}$

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

5.7 Karakteristieke waarden van de benodigde trekkrachten in fase II

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

Trekkracht T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 [N]	T_{3a} [N]	ΣT_{3b} [N]	ΣT_{3c} [N]	T_{tot} [N]	T_{tot} [ton]
Na intrekken van TV4-Uittrede	1.467	420	-	-	-	**1.887**	**0,19**
Na intrekken van TV3-TV4	1.307	-	856	408	140	**2.711**	**0,27**
Na intrekken van TH4-TV3	1.278	937	-	408	140	**2.762**	**0,28**
Na intrekken van TH3-TH4	1.247	-	1.020	815	172	**3.255**	**0,33**
Na intrekken van TH2-TH3	373	3.415	-	815	172	**4.775**	**0,48**
Na intrekken van TH1-TH2	341	-	3.503	1.223	228	**5.294**	**0,53**
Na intrekken van TV2-TH1	307	3.596	-	1.223	228	**5.354**	**0,54**
Na intrekken van TV1-TV2	148	-	4.032	1.631	544	**6.354**	**0,64**
Na intrekken van Intrede-TV1	0	4.437	-	1.631	544	**6.612**	**0,66**

De maximale karakteristieke waarde voor de benodigde trekkracht bedraagt **6.612 N (» 0,66 ton)**.
Volgens de richtlijnen van de Drilling Contractors Association (DCA-Europe) wordt een boormachine geadviseerd met een trekkracht van minimaal 2 tot 3 keer deze maximale waarde. De aannemers moet bij zijn keuze van de boormachine uiteraard ook uitgaan van o.a. zijn ervaringen met HDD's én zijn kennis van het gebied.

5.8 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 TV4-Uittrede	3.396	**0,83**
Na intrekken van TV3-TV4	4.880	**1,20**
Na intrekken van TH4-TV3	4.972	**1,22**
Na intrekken van TH3-TH4	5.859	**1,44**
Na intrekken van TH2-TH3	8.596	**2,11**
Na intrekken van TH1-TH2	9.530	**2,34**
Na intrekken van TV2-TH1	9.637	**2,37**
Na intrekken van TV1-TV2	11.438	**2,81**
Na intrekken van Intrede-TV1	11.901	**2,93**

$$\sigma_t = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{4.068,49}$$

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

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

Trekkracht T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	R [m]	M_b [Nmm]	σ_b [N/mm^2]
TV3-TV4	50,00	201.081,25	**1,90**
TH3-TH4	50,00	201.081,25	**1,90**
TH1-TH2	50,00	201.081,25	**1,90**
TV1-TV2	50,00	201.081,25	**1,90**

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{f_{r,o} \cdot R} = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{6.629.052,19}{0,9 \cdot R}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} = \frac{M_b}{106.064,84}$$

5.10 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 TV4-Uittrede	3.396	0,83	-	**0,83**
Na intrekken van TV3-TV4	4.880	1,20	1,90	**2,43**
Na intrekken van TH4-TV3	4.972	1,22	-	**1,22**
Na intrekken van TH3-TH4	5.859	1,44	1,90	**2,67**
Na intrekken van TH2-TH3	8.596	2,11	-	**2,11**
Na intrekken van TH1-TH2	9.530	2,34	1,90	**3,57**
Na intrekken van TV2-TH1	9.637	2,37	-	**2,37**
Na intrekken van TV1-TV2	11.438	2,81	1,90	**4,04**
Na intrekken van Intrede-TV1	11.901	2,93	-	**2,93**

Rechte delen: $\sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{4.068,49} = \sigma_t$

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

Toelaatbare spanning: σ_{kd} = MRS = **10,00** N/mm^2

$\sigma_a \leq \sigma_{kd} \rightarrow 4,04 \leq 10,00 \rightarrow$ Voldoet

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

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

6.1 Berekening van de spanningen s_p en s_{pl} t.g.v. inwendige druk

$D_g/d_n = 113,60/11,40 = 9,96 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow$ Dikwandige leiding

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

$$\sigma_p = \frac{62,50^2 + 51,10^2}{62,50^2 - 51,10^2} \cdot 0,3 = 1,51 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{y1} = \sigma_p = 1,51$ N/mm²

$\sigma_{pl} = \upsilon \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 1,51 = 0,60$ N/mm²

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

$\sigma_p \leq \bar{\sigma}_t \rightarrow 1,51 \leq 8,00 \rightarrow$ Voldoet

$\sigma_{pl} \leq \bar{\sigma}_t \rightarrow 0,60 \leq 8,00 \rightarrow$ Voldoet

6.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

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

$$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 56,8^3 \cdot 0,143}{975 \cdot 123,46} \right) = 0,88$$

6.3.1 Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grondsoort	q_{droog} [kN/m²]	q_{nat} [kN/m²]	q_n [kN/m²]	Q_n [N/mm¹]
TV1	4,32	2,85	Zand	56,37	17,66	100,00	12,50
TV2	6,26	2,94	Zand	58,14	39,89	100,00	12,50
TH1	6,09	2,77	Zand	54,84	39,89	100,00	12,50
TH2	5,98	2,65	Zand	52,56	39,89	100,00	12,50
TH3	5,57	2,24	Zand	44,43	39,89	100,00	12,50
TH4	5,55	2,23	Zand	44,09	39,89	100,00	12,50
TV3	5,54	2,22	Zand	43,92	39,89	100,00	12,50
TV4	3,60	2,13	Zand	42,15	17,66	100,00	12,50

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

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

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

$Q_n = q_n \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot 125$

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

6.3.2 Berekening van de gereduceerde neutrale grondbelasting Q_{nr}

Locatie	h [m]	GWS [m]	γ' [kN/m³]
TV1	4,32	2,85	17,14
TV2	6,26	2,94	15,66
TH1	6,09	2,77	15,55
TH2	5,98	2,65	15,46
TH3	5,57	2,24	15,14
TH4	5,55	2,23	15,13
TV3	5,54	2,22	15,12
TV4	3,60	2,13	16,61

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

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	B_1 [m]	$8 \cdot B_1$ [m]	$q_{n,r}$ [kN/m²]	$Q_{n,r}$ [N/mm¹]
TV1	Homogeen (zand)	0,20	1,59	100,00(1)	12,50
TV2	Homogeen (zand)	0,20	1,59	100,00(1)	12,50
TH1	Homogeen (zand)	0,20	1,59	100,00(1)	12,50
TH2	Homogeen (zand)	0,20	1,59	100,00(1)	12,50
TH3	Homogeen (zand)	0,20	1,59	100,00(1)	12,50
TH4	Homogeen (zand)	0,20	1,59	100,00(1)	12,50
TV3	Homogeen (zand)	0,20	1,59	100,00(1)	12,50
TV4	Homogeen (zand)	0,20	1,59	100,00(1)	12,50

$$R = \frac{D_{g,i}}{2} = \frac{398}{2} = 199 \text{ mm}$$

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

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

Indien gereduceerde grondbelasting volgens berekeningswijze 'Homogeen (zand)': ($h \geq 8 \cdot B_1$):

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

$Q_{n,r} = q_{n,r} \cdot D_o = q_{n,r} \cdot 125$

6.3.3 Overzicht berekende (gereduceerde) neutrale gronddrukken

Locatie	q_n [kN/m²]	Q_n [N/mm¹]	$q_{n,r}$ [kN/m²]	$Q_{n,r}$ [N/mm¹]
TV1	100,00	12,50	100,00	12,50
TV2	100,00	12,50	100,00	12,50
TH1	100,00	12,50	100,00	12,50
TH2	100,00	12,50	100,00	12,50
TH3	100,00	12,50	100,00	12,50
TH4	100,00	12,50	100,00	12,50
TV3	100,00	12,50	100,00	12,50
TV4	100,00	12,50	100,00	12,50

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

6.4 Berekening van de verkeersbelasting Q_v

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeersbelasting	q_v [kN/m^2]	Q_v [N/mm^1]
TV1	4,32	Grafiek I	11,87	1,48
TV2	6,26	Grafiek I	7,92	0,99
TH1	6,09	Grafiek I	8,18	1,02
TH2	5,98	Grafiek I	8,36	1,05
TH3	5,57	Grafiek I	9,07	1,13
TH4	5,55	Grafiek I	9,10	1,14
TV3	5,54	Grafiek I	9,11	1,14
TV4	3,60	Grafiek I	14,24	1,78

$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 125$

7. Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	Hor. steundruk	Q_n [N/mm^1]	$Q_{n,r}$ [N/mm^1]	Q_v [N/mm^1]	Q_{boven} [N/mm^1]	M_q [Nmm]	σ_q [N/mm^2]
TV1	✓	12,50	12,50	1,48	13,98	154,95(1)	**7,15**
TV2	✓	12,50	12,50	0,99	13,49	149,48(1)	**6,90**
TH1	✓	12,50	12,50	1,02	13,52	149,83(1)	**6,92**
TH2	✓	12,50	12,50	1,05	13,55	150,09(1)	**6,93**
TH3	✓	12,50	12,50	1,13	13,63	151,06(1)	**6,97**
TH4	✓	12,50	12,50	1,14	13,64	151,11(1)	**6,98**
TV3	✓	12,50	12,50	1,14	13,64	151,13(1)	**6,98**
TV4	✓	12,50	12,50	1,78	14,28	158,22(1)	**7,30**

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

$M_q = 0{,}257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 56{,}80 - 0{,}143 \cdot (1 - \sin\varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 56{,}80$

$M_q = K_b \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot \frac{1 - \sin\varphi}{1 + \sin\varphi} \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g$ (2)

$M_q = 0{,}257 \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 56{,}80 - 0{,}143 \cdot \frac{1 - \sin\varphi}{1 + \sin\varphi} \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 56{,}80$

$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1{,}00 \cdot \frac{M_q}{21{,}66}$

8. Optredende spanning σ_{qr} tgv. grondreactie in de bochten

Locatie	R [m]	q_r [N/mm^2]	σ_{qr} [N/mm^2]
TV1	50,00	0,018	1,17
TV2	50,00	0,018	1,17
TH1	50,00	0,018	1,17
TH2	50,00	0,018	1,17
TH3	50,00	0,018	1,17
TH4	50,00	0,018	1,17
TV3	50,00	0,018	1,17
TV4	50,00	0,018	1,17

$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0{,}179 \cdot q_r \cdot 125 \cdot \frac{62{,}50}{21{,}66}$

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

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

$\sigma_{ax} = \Delta_t \cdot \alpha_g \cdot E$

$\sigma_{ax} = 10 \cdot 0{,}00016 \cdot 975 =$ **1,56** N/mm²

10. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{123{,}46}{113{,}6^3} = 0{,}0821 \text{ N/mm}^2 = \textbf{82,11} \text{ kN/m}^2$$

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

11. Toetsing op implosie (bedrijfsfase): berekening van de alzijdige overdruk

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

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

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0{,}4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350{,}00 \cdot 123{,}46}{113{,}60^3} = 0{,}28 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **28,07** m grondwater boven de leiding

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld H [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld GWS [m]	Grondwater boven de leiding H_n [m]
TV1	4,32	2,85	**1,47**
TV2	6,26	2,94	**3,32**
TH1	6,09	2,77	**3,32**
TH2	5,98	2,65	**3,32**
TH3	5,57	2,24	**3,32**
TH4	5,55	2,23	**3,32**
TV3	5,54	2,22	**3,32**
TV4	3,60	2,13	**1,47**

$H_n < p_{o,lang} \rightarrow 3{,}32 < 28{,}07 \rightarrow$ Voldoet

12. Berekening van het totaal aan optredende spanningen

12.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

Locatie	σ_q [N/mm²]	σ_{qr} [N/mm²]	α_σ [-]	σ_{y2} [N/mm²]
TV1	7,15	1,17	0,65	**5,41**
TV2	6,90	1,17	0,65	**5,25**
TH1	6,92	1,17	0,65	**5,26**
TH2	6,93	1,17	0,65	**5,27**
TH3	6,97	1,17	0,65	**5,30**
TH4	6,98	1,17	0,65	**5,30**
TV3	6,98	1,17	0,65	**5,30**
TV4	7,30	1,17	0,65	**5,51**

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

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

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

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

$\sigma_{y2} \leq \sigma_{ld} \rightarrow 5{,}51 \leq 8{,}00 \rightarrow$ Voldoet

12.2 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]
TV1	0,60	1,56	1,90	0,65	**3,40**
TV2	0,60	1,56	1,90	0,65	**3,40**
TH1	0,60	1,56	1,90	0,65	**3,40**
TH2	0,60	1,56	1,90	0,65	**3,40**
TH3	0,60	1,56	1,90	0,65	**3,40**
TH4	0,60	1,56	1,90	0,65	**3,40**
TV3	0,60	1,56	1,90	0,65	**3,40**
TV4	0,60	1,56	1,90	0,65	**3,40**

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

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

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

$\sigma_x \leq \sigma_{ld} \rightarrow 3{,}40 \leq 8{,}00 \rightarrow$ Voldoet

13. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q_n [N/mm^1]	$Q_{n,r}$ [N/mm^1]	Q_v [N/mm^1]	Q_r [N/mm^1]	δ_Y [mm]	δ_Y/D_g [%]
TV1	12,50	12,50	1,48	2,27	**2,33**(1)	2,05
TV2	12,50	12,50	0,99	2,27	**2,29**(1)	2,02
TH1	12,50	12,50	1,02	2,27	**2,29**(1)	2,02
TH2	12,50	12,50	1,05	2,27	**2,30**(1)	2,02
TH3	12,50	12,50	1,13	2,27	**2,30**(1)	2,03
TH4	12,50	12,50	1,14	2,27	**2,30**(1)	2,03
TV3	12,50	12,50	1,14	2,27	**2,30**(1)	2,03
TV4	12,50	12,50	1,78	2,27	**2,36**(1)	2,08

$$\delta_Y = \frac{(0{,}089 \cdot Q - 0{,}095 \cdot Q_{n;h} + 0{,}048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \qquad (1)$$

$$\delta_Y = \frac{(0{,}089 \cdot (Q_n + \tfrac{1}{2} \cdot Q_v) - 0{,}095 \cdot (1 - \sin\varphi) \cdot (Q_n + \tfrac{1}{2} \cdot Q_v) + 0{,}048 \cdot Q_r) \cdot 56{,}80^3}{350 \cdot 123{,}46}$$

$$\delta_Y = \frac{(0{,}089 \cdot Q - 0{,}095 \cdot Q_{h;r} + 0{,}048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \qquad (2)$$

$$\delta_Y = \frac{(0{,}089 \cdot (Q_{n,r} + \tfrac{1}{2} \cdot Q_v) - 0{,}095 \cdot {}^{(1 - \sin\varphi)}/_{(1 + \sin\varphi)} \cdot (Q_{n,r} + \tfrac{1}{2} \cdot Q_v) + 0{,}048 \cdot Q_r) \cdot 56{,}80^3}{350 \cdot 123{,}46}$$

Toelaatbare deflectie: $\delta_{Y,max} = 8{,}00\% \cdot D_g = 0{,}08 \cdot 113{,}60 =$ **9,09** mm

$\delta_Y \leq \delta_{Y,max} \rightarrow 2{,}36 \leq 9{,}09 \rightarrow$ Voldoet

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

14. 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]	$E_{100,norm}$ [MN/m^2]
TV1	4,32	58,63	29,31	43,97	65,96	35
TV2	6,26	75,24	37,62	56,43	84,65	35
TH1	6,09	72,52	36,26	54,39	81,58	35
TH2	5,98	70,63	35,32	52,97	79,46	35
TH3	5,57	63,91	31,96	47,94	71,90	35
TH4	5,55	63,63	31,82	47,72	71,59	35
TV3	5,54	63,49	31,75	47,62	71,43	35
TV4	3,60	46,88	23,44	35,16	52,74	35

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

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

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

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

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

Locatie	G [MN/m^2]	Q [-]	u [N/mm^2]	υ [-]	p_{lim} [N/mm^2]	90% p_{lim} [bar] 1
TV1	13,13	0,0017	0,0147	0,3333	0,57	**5,13**
TV2	13,13	0,0021	0,0332	0,3333	0,69	**6,20**
TH1	13,13	0,0021	0,0332	0,3333	0,67	**6,06**
TH2	13,13	0,0020	0,0332	0,3333	0,66	**5,96**
TH3	13,13	0,0018	0,0332	0,3333	0,62	**5,59**
TH4	13,13	0,0018	0,0332	0,3333	0,62	**5,58**
TV3	13,13	0,0018	0,0332	0,3333	0,62	**5,57**
TV4	13,13	0,0013	0,0147	0,3333	0,49	**4,44**

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

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

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

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

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

14.1 Tijdens pilot

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	$R_{p,min}$ [m]	Δh_{in} [m]	p_{max} [N/mm²]	p_{max} [bar] 2	p_{min} [N/mm²]	p_{min} [bar] 3
TV1	0,48	0,02	3,42	0,26	**2,64**	0,04	**0,43**
TV2	0,43	0,02	5,27	0,33	**3,28**	0,07	**0,68**
TH1	0,43	0,02	5,27	0,32	**3,21**	0,07	**0,69**
TH2	0,44	0,02	5,27	0,32	**3,16**	0,07	**0,70**
TH3	0,46	0,04	5,27	0,30	**2,98**	0,09	**0,90**
TH4	0,46	0,05	5,27	0,30	**2,97**	0,09	**0,91**
TV3	0,46	0,05	5,27	0,30	**2,97**	0,09	**0,92**
TV4	0,54	0,08	3,42	0,23	**2,30**	0,07	**0,74**

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

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

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

$$v_{m,p} = \frac{Q_{m,p}}{A_p} = \frac{400}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - D_b^2)} = \frac{400}{1/4 \cdot \pi \cdot (125^2 - 67^2)} = 0{,}762\ \text{m/s}$$

$$p_{min} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_p \cdot v_{m,p}}{(D_p - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,p}}{(D_p - D_b)}\right) \cdot L + \rho_{m,p} \cdot \Delta h_{in} = \left(\frac{14580 \cdot 0{,}009 \cdot 0{,}762}{(125 - 67)^2} + \frac{14{,}4}{(125 - 67)}\right) \cdot L + 11{,}5 \cdot \Delta h_{in}$$

$$R_{p,min} = R_o \Big/ \sqrt{\frac{p'_f + c \cdot \cot(\varphi)}{p_{min} + u + c \cdot \cot(\varphi)}^{(1+\sin(\varphi)) \cdot \csc(\varphi)} - Q}$$

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

14.2 Tijdens intrekken

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	$R_{p,min}$ [m]	Δh_{uit} [m]	p_{max} [N/mm^2]	p_{max} [bar] 4	p_{min} [N/mm^2]	p_{min} [bar] 5
TV4	1,72	0,07	3,55	0,23	**2,30**	0,04(1)	**0,42**
TV3	1,48	0,06	5,40	0,30	**2,97**	0,06(1)	**0,65**
TH4	1,48	0,06	5,40	0,30	**2,97**	0,06(1)	**0,65**
TH3	1,47	0,06	5,40	0,30	**2,98**	0,07(1)	**0,65**
TH2	1,40	0,07	5,40	0,32	**3,16**	0,07(1)	**0,72**
TH1	1,38	0,07	5,40	0,32	**3,21**	0,07(2)	**0,72**
TV2	1,36	0,06	5,40	0,33	**3,28**	0,07(2)	**0,71**
TV1	1,54	0,06	3,55	0,26	**2,64**	0,04(2)	**0,44**

$$D_{eq} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} D_{o;i}^2} = 244{,}67 \text{ mm}$$

$$R_o = \frac{D_{g,i}}{2} = \frac{398}{2} = 199 \text{ mm}$$

$$v_{m,i,uit} = \frac{Q_{m,i}}{A_i} = \frac{400}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,i}^2 - D_{eq}^2)} = \frac{400}{1/4 \cdot \pi \cdot (398^2 - 245^2)} = 0{,}086 \text{ m/s}$$

$$v_{m,i,in} = \frac{Q_{m,i}}{A_i} = \frac{400}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_b^2)} = \frac{400}{1/4 \cdot \pi \cdot (398^2 - 67^2)} = 0{,}762 \text{ m/s}$$

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

$$p_{min,uit} = \left(\frac{14580 \cdot 0{,}009 \cdot 0{,}086}{(398 - 245)^2} + \frac{14{,}4}{(398 - 245)} \right) \cdot (138{,}98 - L) + 11{,}5 \cdot \Delta h_{uit} \qquad (1)$$

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

$$p_{min,in} = \left(\frac{14580 \cdot 0{,}009 \cdot 0{,}762}{(406{,}4 - 67)^2} + \frac{14{,}4}{(406{,}4 - 67)} \right) \cdot L + 11{,}5 \cdot \Delta h_{in} \qquad (2)$$

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

15. Toetsing op implosie tijdens intrekken leiding(en)

Locatie	p_{min} [N/mm^2]	$p_{o,kort}$ [N/mm^2]
TV4	0,04	1,56
TV3	0,06	1,56
TH4	0,06	1,56
TH3	0,07	1,56
TH2	0,07	1,56
TH1	0,07	1,56
TV2	0,07	1,56
TV1	0,04	1,56

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

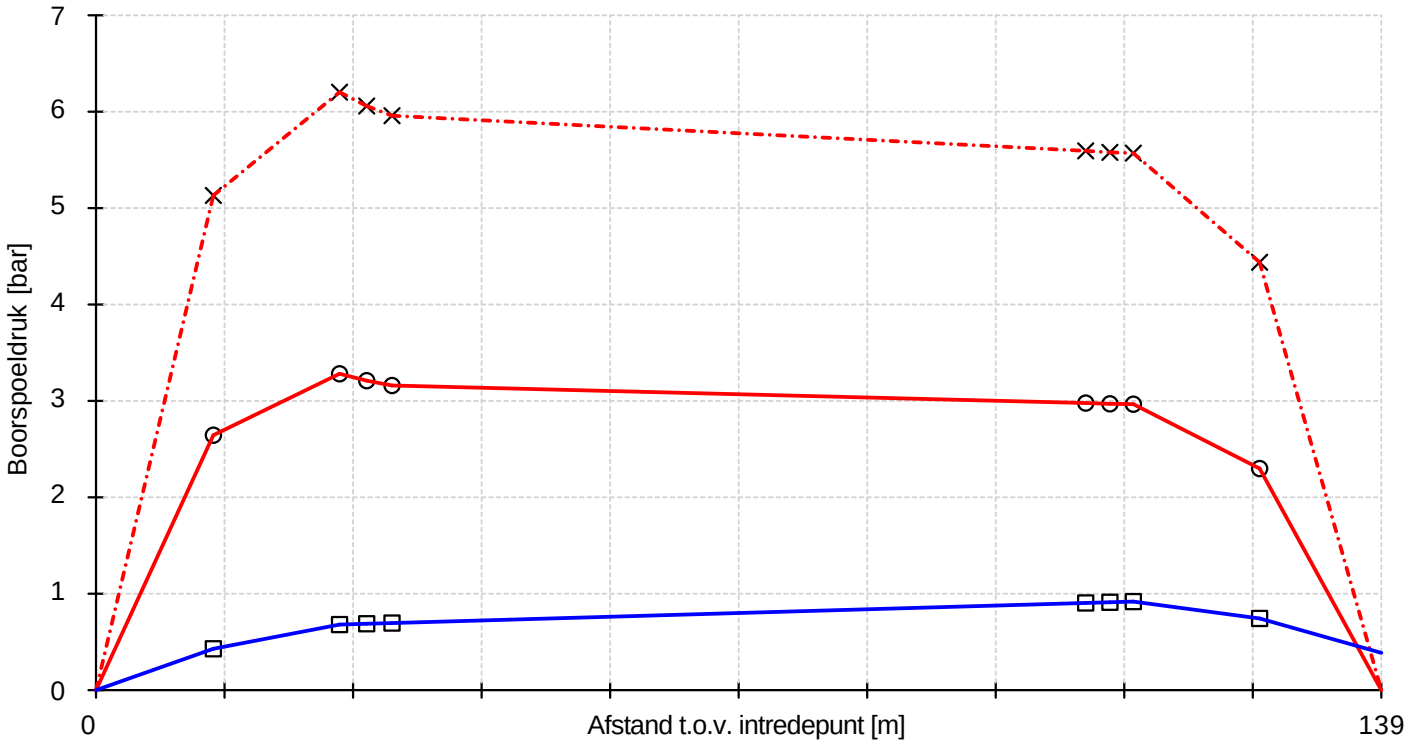
$$p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \upsilon^2)} \cdot \frac{24 \cdot E_{tan} \cdot I_w}{D_g^3}$$

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 123,46}{113,60^3} = 1,56 \text{ N/mm}^2$$

$p_{min} \leq p_{o,kort} \rightarrow 0,07 \leq 1,56 \rightarrow$ Voldoet

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

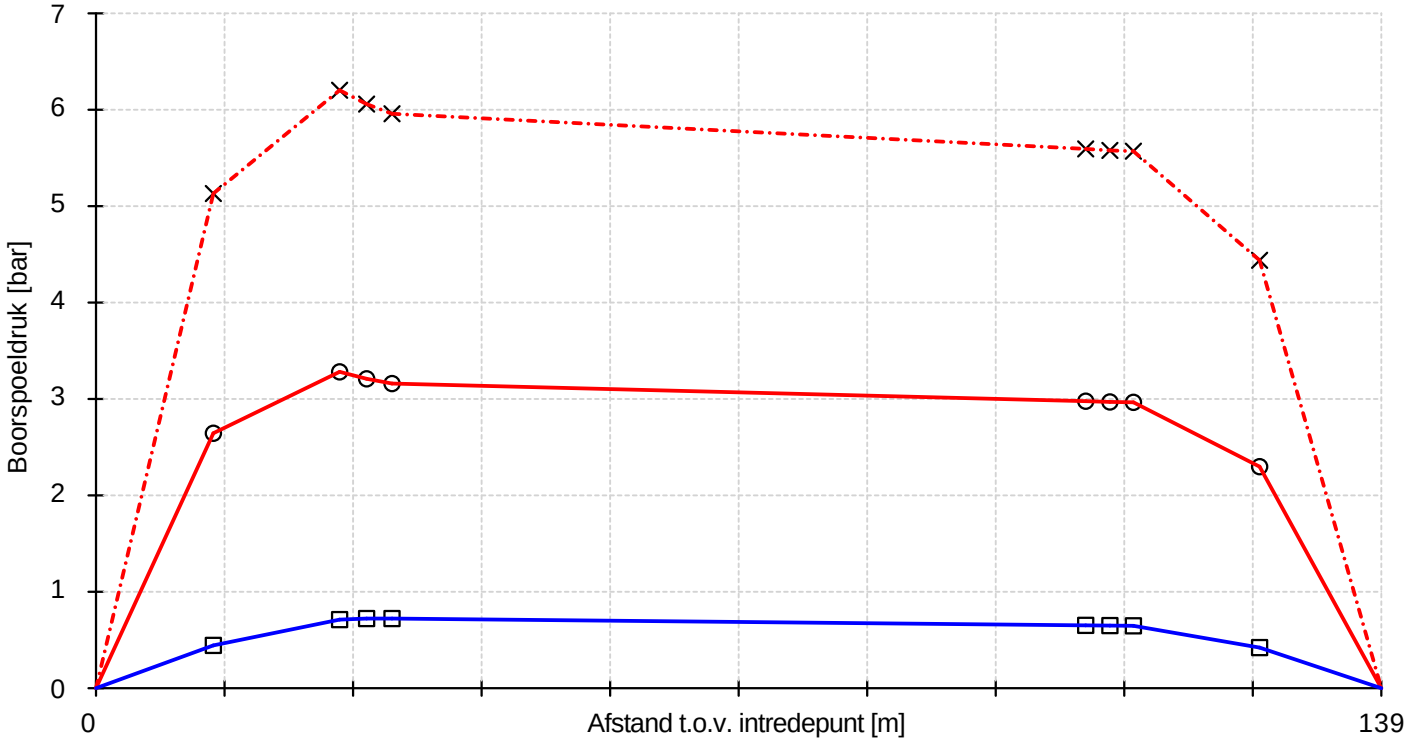
16.1 Boorspoeldrukken tijdens pilot ($\rho_{m,p}$ = 11,5 kN/m³ / $\tau_{y,p}$ = 14,4 Pa / η_p = 0,009 Pas / $Q_{m,p}$ = 400 l/min)



1 90% p_{lim}(tijdens pilot en intrekken)
2 p_{max}(tijdens pilot)
3 p_{min} (tijdens pilot)

Diameter boorstang: 67 mm
Diameter boorkop: 125 mm
Annulaire ruimte: 58 mm

16.2 Boorspoeldrukken tijdens intrekken ($\rho_{m,i}$ = 11,5 kN/m³ / $\tau_{y,i}$ = 14,4 Pa / η_i = 0,009 Pas / $Q_{m,i}$ = 400 l/min)



1 90% p_{lim}(tijdens pilot en intrekken)
4 p_{max}(tijdens intrekken)
5 p_{min} (tijdens intrekken)

Equivalente diameter bundel: 244,67 mm
Diameter ruimer: 398 mm
Annulaire ruimte: 153,33 mm

1.4.4.0/02-2025/23-5365123-1

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2025 1.4 ©

Algemene gegevens

Naam van het project : B01B project Arcen
Projectonderdeel : 2x Ø63 HDPE SDR11

Materiaalgegevens

Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100		
Gegarandeerde minimale treksterkte	MRS	= 10	N/mm^2
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare lange duur zuivere trekspanning	$\overline{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm^2
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm^2
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm^2
Lineaire uitzettingscoefficiënt	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	= **63,00**	mm
Wanddikte	d_n	= **5,7**	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	Δ_t	= 10	°

Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken

Totale lengte	L	= 138,98	m
Totale horizontale lengte	L_{hor}	= 137,68	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R_r	= 100,00	m
Intredehoek (bij boorstelling)	α_1	= 15,64 / 28	° / %
Uittredehoek (bij rollenbaan)	α_2	= 15,64 / 28	° / %
Belastinghoek	α	= 30	°
Ondersteuningshoek	β	= 30	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
MV intrede t.o.v. NAP	MV_{in}	= 15,77	m
MV uittrede t.o.v. NAP	MV_{uit}	= 15,90	m

Beschrijving	Lengte langs buis [m]	Horizontale lengte [m]	Cumulatieve lengte langs buis [m]	Cumulatieve horizontale lengte [m]	Verticale straal [m]	Horizontale straal [m]
Intrede-TV1	12,69	12,22	12,69	12,22	-	-
TV1-TV2	13,65	13,48	26,34	25,70	50,00	-
TV2-TH1	2,92	2,92	29,27	28,63	-	-
TH1-TH2	2,75	2,75	32,01	31,37	-	50,00
TH2-TH3	75,00	75,00	107,02	106,38	-	-
TH3-TH4	2,61	2,61	109,63	108,99	-	50,00
TH4-TV3	2,54	2,54	112,17	111,53	-	-
TV3-TV4	13,65	13,48	125,82	125,01	50,00	-
TV4-Uittrede	13,16	12,67	138,98	137,68	-	-

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

17-04-2026 11:52:12

Uitvoeringsaspecten

Diameter boorstang	D_b	= 67	mm
Tijdens pilot			
Diameter boorkop/boorgat	D_p	= 125	mm
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_{m,p}$	= 11,5	kN/m^3
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_{y,p}$	= 14,4	Pa
Plastische viscositeit boorvloeistof	η_p	= 0,009	Pa·s
Debiet boorvloeistof	$Q_{m,p}$	= 400	l/min
Tijdens intrekken			
Gecombineerd ruimen/intrekken			
Diameter ruimer/boorgat	$D_{g,i}$	= 398	mm
Equivalente diameter bundel	D_{eq}	= 244,67	mm
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_{m,i}$	= 11,5	kN/m^3
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_{y,i}$	= 14,4	Pa
Plastische viscositeit boorvloeistof	η_i	= 0,009	Pa·s
Debiet boorvloeistof	$Q_{m,i}$	= 400	l/min
Aantal buizen in de bundel	n	= 6	

De bundelbuizen worden niet gekoppeld
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang

Onzekerheids- en wrijvingsfactoren

Totaalfactor bij boring met bundels	f	= 1,8	
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	
Partiële factor grondbelasting	γ	= 1,1	

Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting

Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grondsoort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m³]	Wrijvingshoek grond [°]
TV1	12,69	4,32	2,85	Zand	18,00	20,00	30,00
TV2	26,34	6,26	2,94	Zand	18,00	20,00	30,00
TH1	29,27	6,09	2,77	Zand	18,00	20,00	30,00
TH2	32,01	5,98	2,65	Zand	18,00	20,00	30,00
TH3	107,02	5,57	2,24	Zand	18,00	20,00	30,00
TH4	109,63	5,55	2,23	Zand	18,00	20,00	30,00
TV3	112,17	5,54	2,22	Zand	18,00	20,00	30,00
TV4	125,82	3,60	2,13	Zand	18,00	20,00	30,00

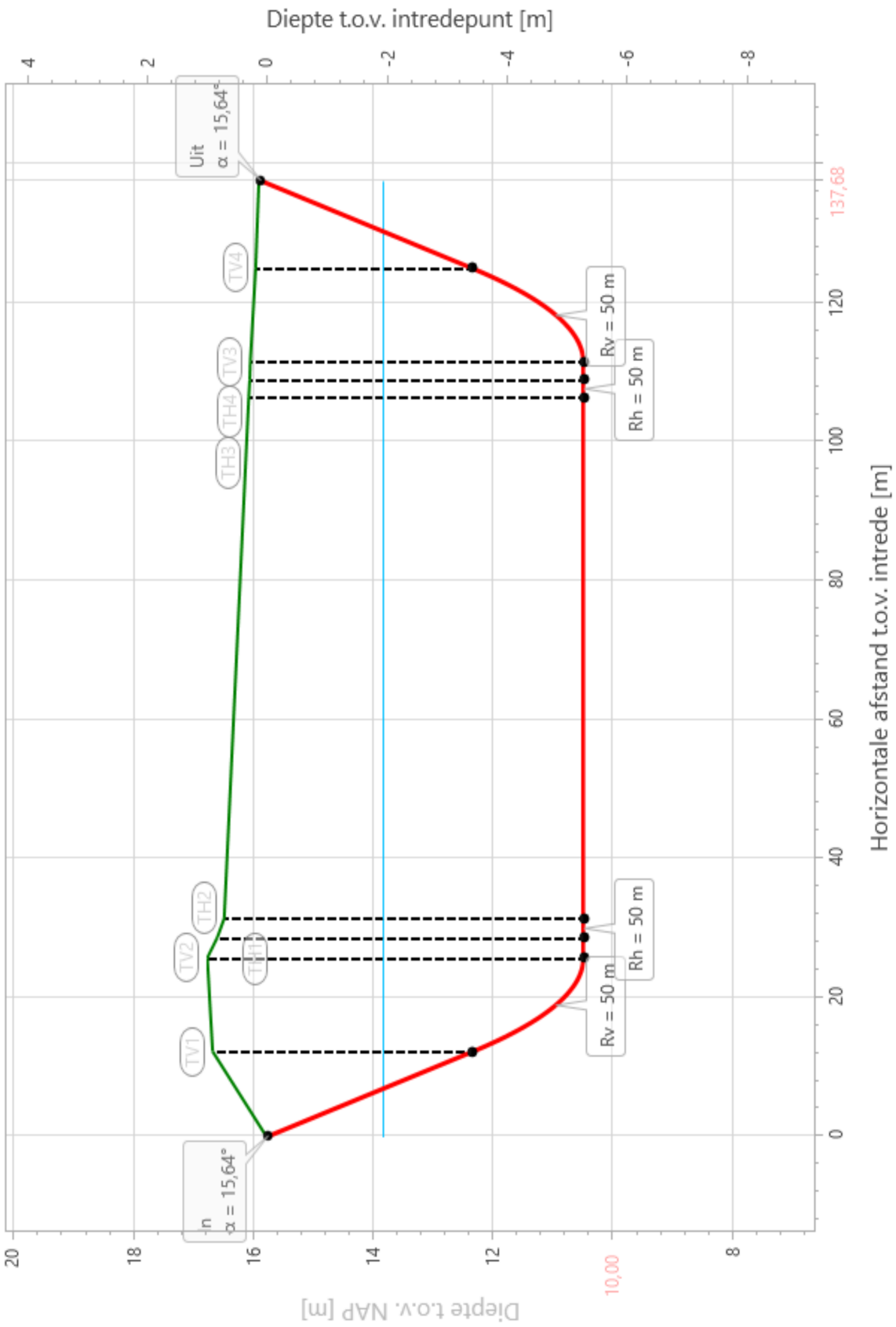
1.4.4.0/02-2025/23-5365123-1

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

Locatie	Hor. steundruk	Effectieve cohesie [kN/m²]	E-modulus ondergrond [MN/m²]	Neutrale grond-druk [kN/m²]	Verkeersbelasting
TV1	✓	0,00	35,00	100	Grafiek I
TV2	✓	0,00	35,00	100	Grafiek I
TH1	✓	0,00	35,00	100	Grafiek I
TH2	✓	0,00	35,00	100	Grafiek I
TH3	✓	0,00	35,00	100	Grafiek I
TH4	✓	0,00	35,00	100	Grafiek I
TV3	✓	0,00	35,00	100	Grafiek I
TV4	✓	0,00	35,00	100	Grafiek I

Locatie	Gereduceerde grondbelasting
TV1	Homogeen (zand)
TV2	Homogeen (zand)
TH1	Homogeen (zand)
TH2	Homogeen (zand)
TH3	Homogeen (zand)
TH4	Homogeen (zand)
TV3	Homogeen (zand)
TV4	Homogeen (zand)

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl



* Niet op schaal

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

2. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 51,60	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 57,30	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 63,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 31,50	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 25,80	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 28,65	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 425.280,11	mm^4
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 13.500,96	mm^3
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 15,43	mm^4/mm^1
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 5,42	mm^3/mm^1
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 1.026,08	mm^2
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,0098	N/mm^1

3. Berekening van het gewicht van de leiding tijdens het intrekken van de leiding

	Leiding op rollenbaan/maaiveld		*Leiding in boorgat*	
Gewicht mediumleiding	g = 0,0098 N/mm^1		g = 0,0098 N/mm^1	
Gewicht vulling	g_{vul} = N.v.t.	+	g_{vul} = N.v.t.	+
Totaal gewicht	g_{rol} = 0,0098 N/mm^1		g_{gat} = 0,0098 N/mm^1	

4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds

4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld

Trekkracht T_1 tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_1 [N] (f = 1,8)	T_1 [N] (f = 1)
Starten met trekken	138,98	**735**	**409**
Na intrekken van TV4-Uittrede	125,82	**666**	**370**
Na intrekken van TV3-TV4	112,17	**594**	**330**
Na intrekken van TH4-TV3	109,63	**580**	**322**
Na intrekken van TH3-TH4	107,02	**566**	**315**
Na intrekken van TH2-TH3	32,01	**169**	**94**
Na intrekken van TH1-TH2	29,27	**155**	**86**
Na intrekken van TV2-TH1	26,34	**139**	**77**
Na intrekken van TV1-TV2	12,69	**67**	**37**

$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = f \cdot L \cdot 0{,}0098 \cdot 0{,}3$

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

4.2 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm^2]	T_1 [N] (f = 1,8)	σ_t [N/mm^2]
Starten met trekken	735	**0,72**
Na intrekken van TV4-Uittrede	666	**0,65**
Na intrekken van TV3-TV4	594	**0,58**
Na intrekken van TH4-TV3	580	**0,57**
Na intrekken van TH3-TH4	566	**0,55**
Na intrekken van TH2-TH3	169	**0,17**
Na intrekken van TH1-TH2	155	**0,15**
Na intrekken van TV2-TH1	139	**0,14**
Na intrekken van TV1-TV2	67	**0,07**

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{1.026,08}$$

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{425.280}{100.000} = 4.561,13 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{4.561,13}{13.501} = \mathbf{0,34} \text{ N/mm}^2$$

4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm^2]	σ_t [N/mm^2]	σ_a [N/mm^2]
Starten met trekken	0,72	**0,94**
Na intrekken van TV4-Uittrede	0,65	**0,87**
Na intrekken van TV3-TV4	0,58	**0,80**
Na intrekken van TH4-TV3	0,57	**0,78**
Na intrekken van TH3-TH4	0,55	**0,77**
Na intrekken van TH2-TH3	0,17	**0,38**
Na intrekken van TH1-TH2	0,15	**0,37**
Na intrekken van TV2-TH1	0,14	**0,36**
Na intrekken van TV1-TV2	0,07	**0,29**

$$\sigma_a = \alpha_\sigma \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 0,34 + \sigma_t$$

Toelaatbare spanning: σ_{kd} = MRS = **10,00** N/mm^2

$\sigma_a \leq \sigma_{kd} \rightarrow 0,94 \leq 10,00 \rightarrow$ Voldoet

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

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

5.1 Berekening van de vereiste trekkracht T_2 en T_{3a} in verband met wrijving tussen leiding en boorvloeistof/boorgangwand

Aantal buizen in de bundel n = 6

De bundelbuizen worden niet gekoppeld $\rightarrow f_b = 1/n^{0,3} = 0,584$

Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof.

58,4% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet.

Hieruit volgt: $D_{e,omtrek} = 115,62$ mm[1]

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,00980$ N/mm[1]

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof: $g_{opw} = \rho_{m,i} \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 63,00^2 \cdot \pi/4 = 0,0358$ N/mm[1]

Gelet hierop is $g_{eff} = | g_{gat} - g_{opw} | = 0,0260$ N/mm[1]

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L_2 / L_b [m]	T_2 [N] (f = 1,8)	T_{3a} [N] (f = 1,8)	T_2 [N] (f = 1)	T_{3a} [N] (f = 1)
Na intrekken van TV4-Uittrede	138,98	**260**	-	**145**	-
Na intrekken van TV3-TV4	125,82	-	**530**	-	**295**
Na intrekken van TH4-TV3	112,17	**581**	-	**323**	-
Na intrekken van TH3-TH4	109,63	-	**632**	-	**351**
Na intrekken van TH2-TH3	107,02	**2.116**	-	**1.176**	-
Na intrekken van TH1-TH2	32,01	-	**2.171**	-	**1.206**
Na intrekken van TV2-TH1	29,27	**2.228**	-	**1.238**	-
Na intrekken van TV1-TV2	26,34	-	**2.498**	-	**1.388**
Na intrekken van Intrede-TV1	12,69	**2.750**	-	**1.528**	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L_2 \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = f \cdot L_2 \cdot (115,62 \cdot 0,00005 + 0,0260 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_b \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = f \cdot L_b \cdot (115,62 \cdot 0,00005 + 0,0260 \cdot 0,2)$

5.2 Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding I en beddingsconstanten in de bochten k_v

Leidingdeel (Doorsnede)	E_{100} [N/mm^2]	q_n [kN/m^2]	$E_{100,norm}$ [N/mm^2]	υ [-]	l [mm]	m [-]	λ [mm^{-1}]	k_v [N/mm^3]
TV3-TV4 ..	35,00	100,00	35,00	0,3333	225,7	0,65	**0,01392**	**0,98877**
TV3-TV4 ..	35,00	100,00	35,00	0,3333	225,7	0,65	**0,01392**	**0,98877**
TH3-TH4 ..	35,00	100,00	35,00	0,3333	225,7	0,65	**0,01392**	**0,98877**
TH3-TH4 ..	35,00	100,00	35,00	0,3333	225,7	0,65	**0,01392**	**0,98877**
TH1-TH2 ..	35,00	100,00	35,00	0,3333	225,7	0,65	**0,01392**	**0,98877**
TH1-TH2 ..	35,00	100,00	35,00	0,3333	225,7	0,65	**0,01392**	**0,98877**
TV1-TV2 ..	35,00	100,00	35,00	0,3333	225,7	0,65	**0,01392**	**0,98877**
TV1-TV2 ..	35,00	100,00	35,00	0,3333	225,7	0,65	**0,01392**	**0,98877**

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

$E_{100,norm} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,5}$ (Zand/Leem/Grind) of $E_{100,norm} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,8}$ (Veen/Klei)

$K = 1 - \sin(\varphi)$ $\quad \upsilon = \frac{K}{1 + K}$

$I = \frac{\pi}{\lambda}$ $\quad A = I \cdot b$ $\quad b = \beta \cdot r_e = 30^o \cdot 31,5 = 16,49$ mm

$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_v}{4 \cdot E \cdot I_b}}$

$k_v = \frac{E_{100,norm}}{m \cdot (1 - \upsilon^2) \cdot \sqrt{A}}$ (m volgens tabel C.5 NEN3650-1 C.4.3.3c)

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

Leidingdeel (Doorsnede)	R_v [m]	R_h [m]	q_r [N/mm^2]	Q_r [N/mm^1]	T_{3b} [N] (f = 1,8)	T_{3b} [N] (f = 1)
TV3-TV4 (TV3)	50,00	-	0,0091	0,58	**94**	**52**
TV3-TV4 (TV4)	50,00	-	0,0091	0,58	**94**	**52**
TH3-TH4 (TH3)	-	50,00	0,0091	0,58	**94**	**52**
TH3-TH4 (TH4)	-	50,00	0,0091	0,58	**94**	**52**
TH1-TH2 (TH1)	-	50,00	0,0091	0,58	**94**	**52**
TH1-TH2 (TH2)	-	50,00	0,0091	0,58	**94**	**52**
TV1-TV2 (TV1)	50,00	-	0,0091	0,58	**94**	**52**
TV1-TV2 (TV2)	50,00	-	0,0091	0,58	**94**	**52**

$q_r = e^{(-\pi/4)} \cdot \sin(\pi/4) \cdot \frac{\lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot f_{r,o} \cdot R} = 0,322 \cdot \frac{\lambda^2 \cdot 975 \cdot 425.280,11}{63 \cdot 0,9 \cdot R}$

$Q_r = q_r \cdot D_o = q_r \cdot 63$

$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = f \cdot 4 \cdot \frac{q_r}{2} \cdot 63 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$

5.4 Trekkracht T_{bocht} tijdens verschillende stadia

Trekkracht T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N] (f = 1)	T_2 / T_{3a} [N] (f = 1)	$T_{3b,max}$ [N] (f = 1)	ΣT_{3b} [N] (f = 1)	T_{bocht} [N]
TV3-TV4	330	295	52	52	**676**
TH3-TH4	315	351	52	104	**770**
TH1-TH2	86	1.206	52	156	**1.448**
TV1-TV2	37	1.388	52	208	**1.633**

$T_{bocht} = T_1 + T_2 + T_{3a} + \Sigma T_{3b}$

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

5.5 Berekening van de wrijving door bochtkracht T_{3c}

Trekkracht T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N] (f = 1,8)	T_{3c} [N] (f = 1)
TV3-TV4	7,82	676	**66**	**37**
TH3-TH4	1,50	770	**14**	**8**
TH1-TH2	1,57	1.448	**29**	**16**
TV1-TV2	7,82	1.633	**160**	**89**

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

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

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

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

5.6 Totalisatie van de trekkrachten in fase II

Wanneer een totaalfactor van f=1,8 wordt toegepast gelden de volgende waarden voor de trekrachten.

Trekkracht T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 [N]	T_{3a} [N]	ΣT_{3b} [N]	ΣT_{3c} [N]	T_{tot} [N]	T_{tot} [ton]
Na intrekken van TV4-Uittrede	666	260	-	-	-	**926**	**0,09**
Na intrekken van TV3-TV4	594	-	530	94	66	**1.284**	**0,13**
Na intrekken van TH4-TV3	580	581	-	94	66	**1.321**	**0,13**
Na intrekken van TH3-TH4	566	-	632	187	81	**1.466**	**0,15**
Na intrekken van TH2-TH3	169	2.116	-	187	81	**2.553**	**0,26**
Na intrekken van TH1-TH2	155	-	2.171	281	109	**2.715**	**0,27**
Na intrekken van TV2-TH1	139	2.228	-	281	109	**2.758**	**0,28**
Na intrekken van TV1-TV2	67	-	2.498	374	269	**3.209**	**0,32**
Na intrekken van Intrede-TV1	0	2.750	-	374	269	**3.393**	**0,34**

$T_{tot} = T_1 + T_2 + T_{3a} + \Sigma T_{3b} + \Sigma T_{3c}$

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

5.7 Karakteristieke waarden van de benodigde trekkrachten in fase II

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

Trekkracht T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 [N]	T_{3a} [N]	ΣT_{3b} [N]	ΣT_{3c} [N]	T_{tot} [N]	T_{tot} [ton]
Na intrekken van TV4-Uittrede	370	145	-	-	-	**514**	**0,05**
Na intrekken van TV3-TV4	330	-	295	52	37	**713**	**0,07**
Na intrekken van TH4-TV3	322	323	-	52	37	**734**	**0,07**
Na intrekken van TH3-TH4	315	-	351	104	45	**815**	**0,08**
Na intrekken van TH2-TH3	94	1.176	-	104	45	**1.419**	**0,14**
Na intrekken van TH1-TH2	86	-	1.206	156	61	**1.509**	**0,15**
Na intrekken van TV2-TH1	77	1.238	-	156	61	**1.532**	**0,15**
Na intrekken van TV1-TV2	37	-	1.388	208	150	**1.783**	**0,18**
Na intrekken van Intrede-TV1	0	1.528	-	208	150	**1.885**	**0,19**

De maximale karakteristieke waarde voor de benodigde trekkracht bedraagt **1.885 N (» 0,19 ton)**.
Volgens de richtlijnen van de Drilling Contractors Association (DCA-Europe) wordt een boormachine geadviseerd met een trekkracht van minimaal 2 tot 3 keer deze maximale waarde. De aannemers moet bij zijn keuze van de boormachine uiteraard ook uitgaan van o.a. zijn ervaringen met HDD's én zijn kennis van het gebied.

5.8 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 TV4-Uittrede	926	**0,90**
Na intrekken van TV3-TV4	1.284	**1,25**
Na intrekken van TH4-TV3	1.321	**1,29**
Na intrekken van TH3-TH4	1.466	**1,43**
Na intrekken van TH2-TH3	2.553	**2,49**
Na intrekken van TH1-TH2	2.715	**2,65**
Na intrekken van TV2-TH1	2.758	**2,69**
Na intrekken van TV1-TV2	3.209	**3,13**
Na intrekken van Intrede-TV1	3.393	**3,31**

$$\sigma_t = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{1.026{,}08}$$

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

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

Trekkracht T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	R [m]	M_b [Nmm]	σ_b [N/mm^2]
TV3-TV4	50,00	12.900,16	**0,96**
TH3-TH4	50,00	12.900,16	**0,96**
TH1-TH2	50,00	12.900,16	**0,96**
TV1-TV2	50,00	12.900,16	**0,96**

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{f_{r,o} \cdot R} = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{425.280,11}{0,9 \cdot R}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} = \frac{M_b}{13.500,96}$$

5.10 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 TV4-Uittrede	926	0,90	-	**0,90**
Na intrekken van TV3-TV4	1.284	1,25	0,96	**1,87**
Na intrekken van TH4-TV3	1.321	1,29	-	**1,29**
Na intrekken van TH3-TH4	1.466	1,43	0,96	**2,05**
Na intrekken van TH2-TH3	2.553	2,49	-	**2,49**
Na intrekken van TH1-TH2	2.715	2,65	0,96	**3,27**
Na intrekken van TV2-TH1	2.758	2,69	-	**2,69**
Na intrekken van TV1-TV2	3.209	3,13	0,96	**3,75**
Na intrekken van Intrede-TV1	3.393	3,31	-	**3,31**

Rechte delen: $\sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{1.026,08} = \sigma_t$

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

Toelaatbare spanning: σ_{kd} = MRS = **10,00** N/mm^2

$\sigma_a \leq \sigma_{kd} \rightarrow 3,75 \leq 10,00 \rightarrow$ Voldoet

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

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

6.1 Berekening van de spanningen s_p en s_{pl} t.g.v. inwendige druk

$D_g/d_n = 57,30/5,70 = 10,05 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow$ Dikwandige leiding

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

$$\sigma_p = \frac{31,50^2 + 25,80^2}{31,50^2 - 25,80^2} \cdot 0,3 = 1,52 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{y1} = \sigma_p = 1,52$ N/mm²

$\sigma_{pl} = \upsilon \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 1,52 = 0,61$ N/mm²

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

$\sigma_p \leq \bar{\sigma}_t \rightarrow 1,52 \leq 8,00 \rightarrow$ Voldoet

$\sigma_{pl} \leq \bar{\sigma}_t \rightarrow 0,61 \leq 8,00 \rightarrow$ Voldoet

6.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

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

$$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 28,65^3 \cdot 0,143}{975 \cdot 15,43} \right) = 0,88$$

6.3.1 Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grondsoort	q_{droog} [kN/m²]	q_{nat} [kN/m²]	q_n [kN/m²]	Q_n [N/mm¹]
TV1	4,32	2,85	Zand	56,37	17,66	100,00	6,30
TV2	6,26	2,94	Zand	58,14	39,89	100,00	6,30
TH1	6,09	2,77	Zand	54,84	39,89	100,00	6,30
TH2	5,98	2,65	Zand	52,56	39,89	100,00	6,30
TH3	5,57	2,24	Zand	44,43	39,89	100,00	6,30
TH4	5,55	2,23	Zand	44,09	39,89	100,00	6,30
TV3	5,54	2,22	Zand	43,92	39,89	100,00	6,30
TV4	3,60	2,13	Zand	42,15	17,66	100,00	6,30

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

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

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

$Q_n = q_n \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot 63$

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

6.3.2 Berekening van de gereduceerde neutrale grondbelasting Q_{nr}

Locatie	h [m]	GWS [m]	γ' [kN/m³]
TV1	4,32	2,85	17,14
TV2	6,26	2,94	15,66
TH1	6,09	2,77	15,55
TH2	5,98	2,65	15,46
TH3	5,57	2,24	15,14
TH4	5,55	2,23	15,13
TV3	5,54	2,22	15,12
TV4	3,60	2,13	16,61

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

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	B_1 [m]	$8 \cdot B_1$ [m]	$q_{n,r}$ [kN/m²]	$Q_{n,r}$ [N/mm¹]
TV1	Homogeen (zand)	0,20	1,59	100,00(1)	6,30
TV2	Homogeen (zand)	0,20	1,59	100,00(1)	6,30
TH1	Homogeen (zand)	0,20	1,59	100,00(1)	6,30
TH2	Homogeen (zand)	0,20	1,59	100,00(1)	6,30
TH3	Homogeen (zand)	0,20	1,59	100,00(1)	6,30
TH4	Homogeen (zand)	0,20	1,59	100,00(1)	6,30
TV3	Homogeen (zand)	0,20	1,59	100,00(1)	6,30
TV4	Homogeen (zand)	0,20	1,59	100,00(1)	6,30

$$R = \frac{D_{g,i}}{2} = \frac{398}{2} = 199 \text{ mm}$$

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

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

Indien gereduceerde grondbelasting volgens berekeningswijze 'Homogeen (zand)': ($h \geq 8 \cdot B_1$):

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

$Q_{n,r} = q_{n,r} \cdot D_o = q_{n,r} \cdot 63$

6.3.3 Overzicht berekende (gereduceerde) neutrale gronddrukken

Locatie	q_n [kN/m²]	Q_n [N/mm¹]	$q_{n,r}$ [kN/m²]	$Q_{n,r}$ [N/mm¹]
TV1	100,00	6,30	100,00	6,30
TV2	100,00	6,30	100,00	6,30
TH1	100,00	6,30	100,00	6,30
TH2	100,00	6,30	100,00	6,30
TH3	100,00	6,30	100,00	6,30
TH4	100,00	6,30	100,00	6,30
TV3	100,00	6,30	100,00	6,30
TV4	100,00	6,30	100,00	6,30

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

6.4 Berekening van de verkeersbelasting Q_v

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeersbelasting	q_v [kN/m^2]	Q_v [N/mm^1]
TV1	4,32	Grafiek I	11,87	0,75
TV2	6,26	Grafiek I	7,92	0,50
TH1	6,09	Grafiek I	8,18	0,52
TH2	5,98	Grafiek I	8,36	0,53
TH3	5,57	Grafiek I	9,07	0,57
TH4	5,55	Grafiek I	9,10	0,57
TV3	5,54	Grafiek I	9,11	0,57
TV4	3,60	Grafiek I	14,24	0,90

$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 63$

7. Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	Hor. steundruk	Q_n [N/mm^1]	$Q_{n,r}$ [N/mm^1]	Q_v [N/mm^1]	Q_{boven} [N/mm^1]	M_q [Nmm]	σ_q [N/mm^2]
TV1	✓	6,30	6,30	0,75	7,05	39,39(1)	**7,27**
TV2	✓	6,30	6,30	0,50	6,80	38,00(1)	**7,02**
TH1	✓	6,30	6,30	0,52	6,82	38,09(1)	**7,03**
TH2	✓	6,30	6,30	0,53	6,83	38,16(1)	**7,05**
TH3	✓	6,30	6,30	0,57	6,87	38,40(1)	**7,09**
TH4	✓	6,30	6,30	0,57	6,87	38,41(1)	**7,09**
TV3	✓	6,30	6,30	0,57	6,87	38,42(1)	**7,10**
TV4	✓	6,30	6,30	0,90	7,20	40,22(1)	**7,43**

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

$M_q = 0{,}257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 28{,}65 - 0{,}143 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 28{,}65$

$$M_q = K_b \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g \quad (2)$$

$$M_q = 0{,}257 \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 28{,}65 - 0{,}143 \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 28{,}65$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1{,}00 \cdot \frac{M_q}{5{,}42}$$

8. Optredende spanning σ_{qr} tgv. grondreactie in de bochten

Locatie	R [m]	q_r [N/mm^2]	σ_{qr} [N/mm^2]
TV1	50,00	0,0091	0,60
TV2	50,00	0,0091	0,60
TH1	50,00	0,0091	0,60
TH2	50,00	0,0091	0,60
TH3	50,00	0,0091	0,60
TH4	50,00	0,0091	0,60
TV3	50,00	0,0091	0,60
TV4	50,00	0,0091	0,60

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0{,}179 \cdot q_r \cdot 63 \cdot \frac{31{,}50}{5{,}42}$$

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

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

$\sigma_{ax} = \Delta_t \cdot \alpha_g \cdot E$

$\sigma_{ax} = 10 \cdot 0{,}00016 \cdot 975 =$ **1,56** N/mm²

10. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{15{,}43}{57{,}3^3} = 0{,}0800 \text{ N/mm}^2 = \textbf{79,98} \text{ kN/m}^2$$

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

11. Toetsing op implosie (bedrijfsfase): berekening van de alzijdige overdruk

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

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

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0{,}4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350{,}00 \cdot 15{,}43}{57{,}30^3} = 0{,}27 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **27,34** m grondwater boven de leiding

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld H [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld GWS [m]	Grondwater boven de leiding H_n [m]
TV1	4,32	2,85	**1,47**
TV2	6,26	2,94	**3,32**
TH1	6,09	2,77	**3,32**
TH2	5,98	2,65	**3,32**
TH3	5,57	2,24	**3,32**
TH4	5,55	2,23	**3,32**
TV3	5,54	2,22	**3,32**
TV4	3,60	2,13	**1,47**

$H_n < p_{o,lang} \rightarrow 3{,}32 < 27{,}34 \rightarrow$ Voldoet

12. Berekening van het totaal aan optredende spanningen

12.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

Locatie	σ_q [N/mm²]	σ_{qr} [N/mm²]	α_σ [-]	σ_{y2} [N/mm²]
TV1	7,27	0,60	0,65	**5,12**
TV2	7,02	0,60	0,65	**4,95**
TH1	7,03	0,60	0,65	**4,96**
TH2	7,05	0,60	0,65	**4,97**
TH3	7,09	0,60	0,65	**5,00**
TH4	7,09	0,60	0,65	**5,00**
TV3	7,10	0,60	0,65	**5,00**
TV4	7,43	0,60	0,65	**5,22**

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

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

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

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

$\sigma_{y2} \leq \sigma_{ld} \rightarrow 5{,}22 \leq 8{,}00 \rightarrow$ Voldoet

12.2 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]
TV1	0,61	1,56	0,96	0,65	**2,79**
TV2	0,61	1,56	0,96	0,65	**2,79**
TH1	0,61	1,56	0,96	0,65	**2,79**
TH2	0,61	1,56	0,96	0,65	**2,79**
TH3	0,61	1,56	0,96	0,65	**2,79**
TH4	0,61	1,56	0,96	0,65	**2,79**
TV3	0,61	1,56	0,96	0,65	**2,79**
TV4	0,61	1,56	0,96	0,65	**2,79**

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

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

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

$\sigma_x \leq \sigma_{ld} \rightarrow 2{,}79 \leq 8{,}00 \rightarrow$ Voldoet

13. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q_n [N/mm^1]	$Q_{n,r}$ [N/mm^1]	Q_v [N/mm^1]	Q_r [N/mm^1]	δ_Y [mm]	δ_Y/D_g [%]
TV1	6,30	6,30	0,75	0,58	**1,21**(1)	2,11
TV2	6,30	6,30	0,50	0,58	**1,19**(1)	2,07
TH1	6,30	6,30	0,52	0,58	**1,19**(1)	2,07
TH2	6,30	6,30	0,53	0,58	**1,19**(1)	2,07
TH3	6,30	6,30	0,57	0,58	**1,19**(1)	2,08
TH4	6,30	6,30	0,57	0,58	**1,19**(1)	2,08
TV3	6,30	6,30	0,57	0,58	**1,19**(1)	2,08
TV4	6,30	6,30	0,90	0,58	**1,22**(1)	2,13

$$\delta_Y = \frac{(0{,}089 \cdot Q - 0{,}095 \cdot Q_{n;h} + 0{,}048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (1)$$

$$\delta_Y = \frac{(0{,}089 \cdot (Q_n + \tfrac{1}{2} \cdot Q_v) - 0{,}095 \cdot (1 - \sin\varphi) \cdot (Q_n + \tfrac{1}{2} \cdot Q_v) + 0{,}048 \cdot Q_r) \cdot 28{,}65^3}{350 \cdot 15{,}43}$$

$$\delta_Y = \frac{(0{,}089 \cdot Q - 0{,}095 \cdot Q_{h;r} + 0{,}048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (2)$$

$$\delta_Y = \frac{(0{,}089 \cdot (Q_{n,r} + \tfrac{1}{2} \cdot Q_v) - 0{,}095 \cdot {}^{(1 - \sin\varphi)}/_{(1 + \sin\varphi)} \cdot (Q_{n,r} + \tfrac{1}{2} \cdot Q_v) + 0{,}048 \cdot Q_r) \cdot 28{,}65^3}{350 \cdot 15{,}43}$$

Toelaatbare deflectie: $\delta_{Y,max} = 8{,}00\% \cdot D_g = 0{,}08 \cdot 57{,}30 =$ **4,58** mm

$\delta_Y \leq \delta_{Y,max} \rightarrow 1{,}22 \leq 4{,}58 \rightarrow$ Voldoet

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

14. 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]	$E_{100,norm}$ [MN/m^2]
TV1	4,32	58,63	29,31	43,97	65,96	35
TV2	6,26	75,24	37,62	56,43	84,65	35
TH1	6,09	72,52	36,26	54,39	81,58	35
TH2	5,98	70,63	35,32	52,97	79,46	35
TH3	5,57	63,91	31,96	47,94	71,90	35
TH4	5,55	63,63	31,82	47,72	71,59	35
TV3	5,54	63,49	31,75	47,62	71,43	35
TV4	3,60	46,88	23,44	35,16	52,74	35

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

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

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

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

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

Locatie	G [MN/m^2]	Q [-]	u [N/mm^2]	υ [-]	p_{lim} [N/mm^2]	90% p_{lim} [bar] 1
TV1	13,13	0,0017	0,0147	0,3333	0,57	**5,13**
TV2	13,13	0,0021	0,0332	0,3333	0,69	**6,20**
TH1	13,13	0,0021	0,0332	0,3333	0,67	**6,06**
TH2	13,13	0,0020	0,0332	0,3333	0,66	**5,96**
TH3	13,13	0,0018	0,0332	0,3333	0,62	**5,59**
TH4	13,13	0,0018	0,0332	0,3333	0,62	**5,58**
TV3	13,13	0,0018	0,0332	0,3333	0,62	**5,57**
TV4	13,13	0,0013	0,0147	0,3333	0,49	**4,44**

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

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

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

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

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

14.1 Tijdens pilot

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	$R_{p,min}$ [m]	Δh_{in} [m]	p_{max} [N/mm²]	p_{max} [bar] 2	p_{min} [N/mm²]	p_{min} [bar] 3
TV1	0,48	0,02	3,42	0,26	**2,64**	0,04	**0,43**
TV2	0,43	0,02	5,27	0,33	**3,28**	0,07	**0,68**
TH1	0,43	0,02	5,27	0,32	**3,21**	0,07	**0,69**
TH2	0,44	0,02	5,27	0,32	**3,16**	0,07	**0,70**
TH3	0,46	0,04	5,27	0,30	**2,98**	0,09	**0,90**
TH4	0,46	0,05	5,27	0,30	**2,97**	0,09	**0,91**
TV3	0,46	0,05	5,27	0,30	**2,97**	0,09	**0,92**
TV4	0,54	0,08	3,42	0,23	**2,30**	0,07	**0,74**

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

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

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

$$v_{m,p} = \frac{Q_{m,p}}{A_p} = \frac{400}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - D_b^2)} = \frac{400}{1/4 \cdot \pi \cdot (125^2 - 67^2)} = 0{,}762\ \text{m/s}$$

$$p_{min} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_p \cdot v_{m,p}}{(D_p - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,p}}{(D_p - D_b)}\right) \cdot L + \rho_{m,p} \cdot \Delta h_{in} = \left(\frac{14580 \cdot 0{,}009 \cdot 0{,}762}{(125 - 67)^2} + \frac{14{,}4}{(125 - 67)}\right) \cdot L + 11{,}5 \cdot \Delta h_{in}$$

$$R_{p,min} = R_o \Big/ \sqrt{\frac{p'_f + c \cdot \cot(\varphi)}{p_{min} + u + c \cdot \cot(\varphi)}^{(1+\sin(\varphi)) \cdot \csc(\varphi)} - Q}$$

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

14.2 Tijdens intrekken

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	$R_{p,min}$ [m]	Δh_{uit} [m]	p_{max} [N/mm^2]	p_{max} [bar] 4	p_{min} [N/mm^2]	p_{min} [bar] 5
TV4	1,72	0,07	3,55	0,23	**2,30**	0,04(1)	**0,42**
TV3	1,48	0,06	5,40	0,30	**2,97**	0,06(1)	**0,65**
TH4	1,48	0,06	5,40	0,30	**2,97**	0,06(1)	**0,65**
TH3	1,47	0,06	5,40	0,30	**2,98**	0,07(1)	**0,65**
TH2	1,40	0,07	5,40	0,32	**3,16**	0,07(1)	**0,72**
TH1	1,38	0,07	5,40	0,32	**3,21**	0,07(2)	**0,72**
TV2	1,36	0,06	5,40	0,33	**3,28**	0,07(2)	**0,71**
TV1	1,54	0,06	3,55	0,26	**2,64**	0,04(2)	**0,44**

$$D_{eq} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} D_{o;i}^2} = 244{,}67 \text{ mm}$$

$$R_o = \frac{D_{g,i}}{2} = \frac{398}{2} = 199 \text{ mm}$$

$$v_{m,i,uit} = \frac{Q_{m,i}}{A_i} = \frac{400}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,i}^2 - D_{eq}^2)} = \frac{400}{1/4 \cdot \pi \cdot (398^2 - 245^2)} = 0{,}086 \text{ m/s}$$

$$v_{m,i,in} = \frac{Q_{m,i}}{A_i} = \frac{400}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_b^2)} = \frac{400}{1/4 \cdot \pi \cdot (398^2 - 67^2)} = 0{,}762 \text{ m/s}$$

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

$$p_{min,uit} = \left(\frac{14580 \cdot 0{,}009 \cdot 0{,}086}{(398 - 245)^2} + \frac{14{,}4}{(398 - 245)} \right) \cdot (138{,}98 - L) + 11{,}5 \cdot \Delta h_{uit} \qquad (1)$$

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

$$p_{min,in} = \left(\frac{14580 \cdot 0{,}009 \cdot 0{,}762}{(406{,}4 - 67)^2} + \frac{14{,}4}{(406{,}4 - 67)} \right) \cdot L + 11{,}5 \cdot \Delta h_{in} \qquad (2)$$

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

15. Toetsing op implosie tijdens intrekken leiding(en)

Locatie	p_{min} [N/mm^2]	$p_{o,kort}$ [N/mm^2]
TV4	0,04	1,52
TV3	0,06	1,52
TH4	0,06	1,52
TH3	0,07	1,52
TH2	0,07	1,52
TH1	0,07	1,52
TV2	0,07	1,52
TV1	0,04	1,52

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

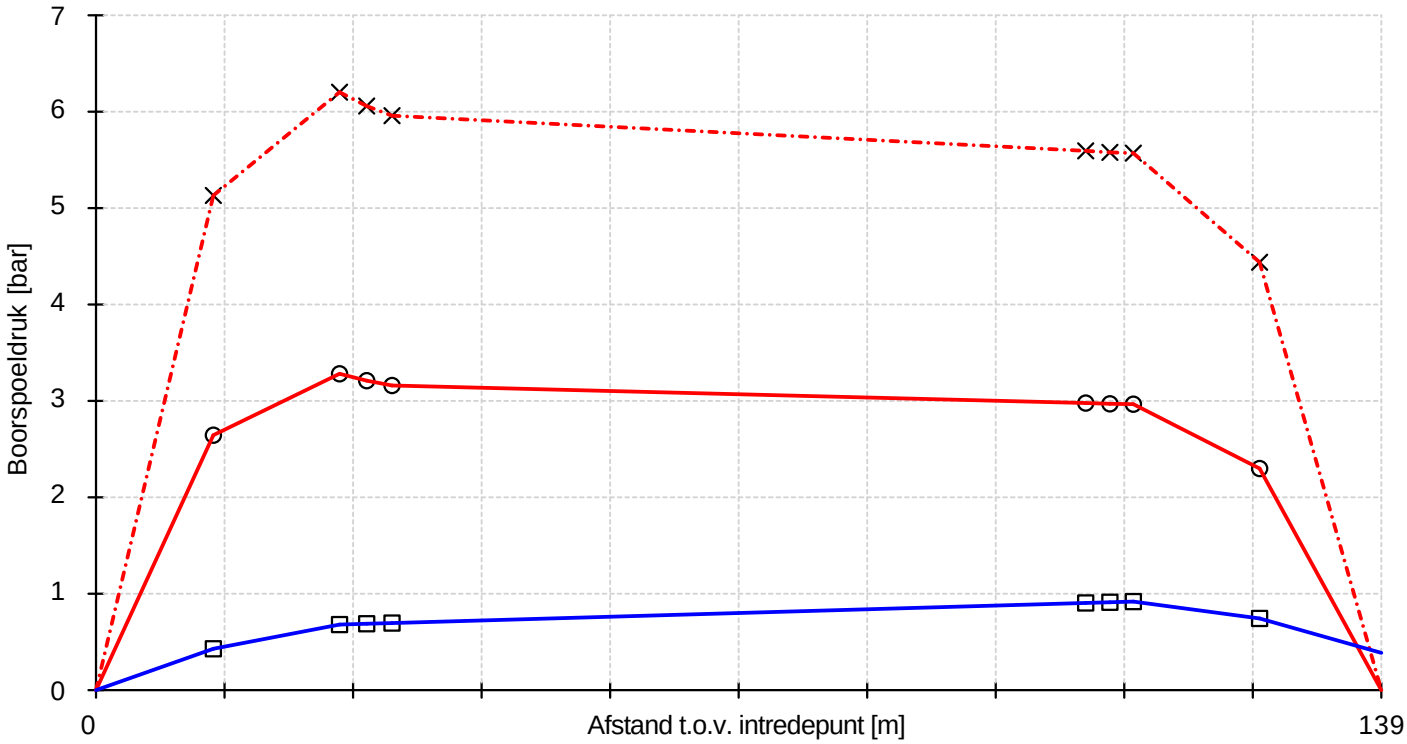
$$p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \upsilon^2)} \cdot \frac{24 \cdot E_{tan} \cdot I_w}{D_g^3}$$

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 15,43}{57,30^3} = 1,52 \text{ N/mm}^2$$

$p_{min} \leq p_{o,kort} \rightarrow 0,07 \leq 1,52 \rightarrow$ Voldoet

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

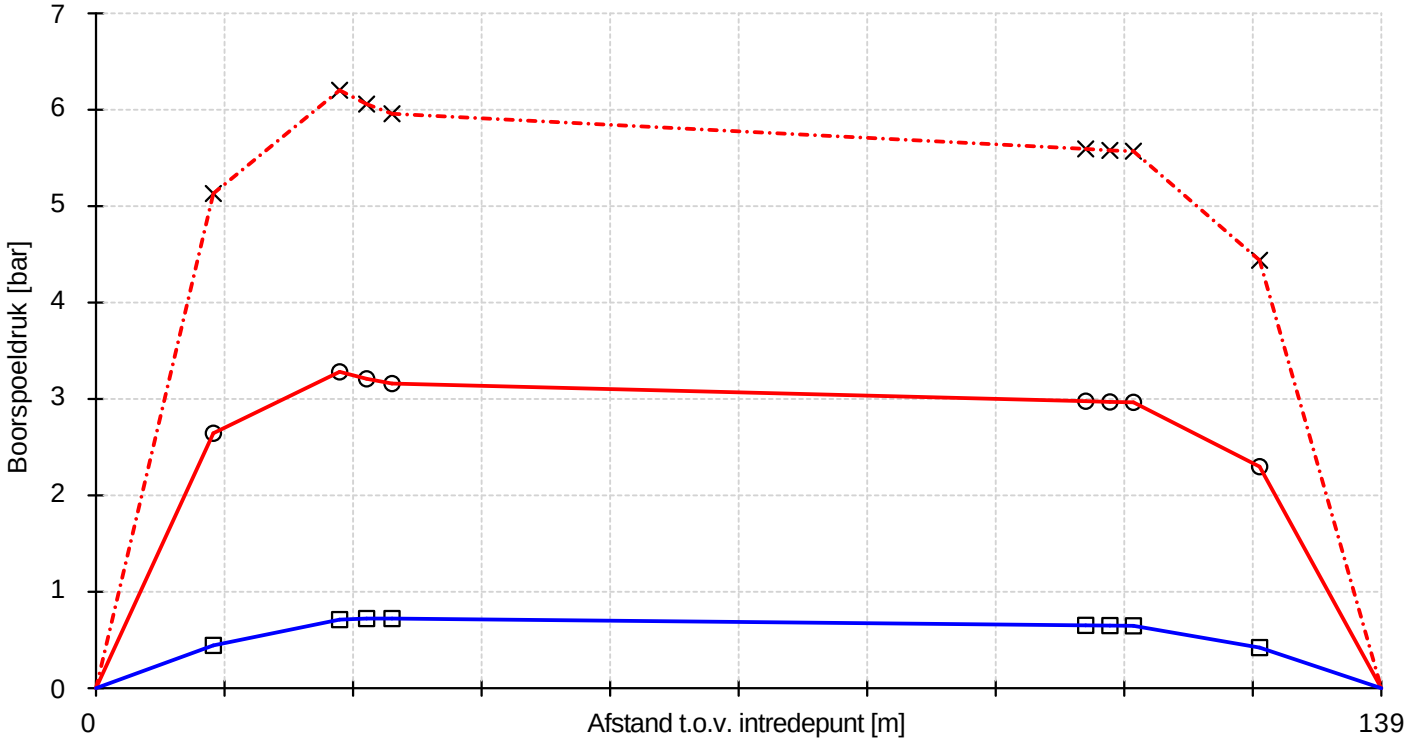
16.1 Boorspoeldrukken tijdens pilot ($\rho_{m,p}$ = 11,5 kN/m³ / $\tau_{y,p}$ = 14,4 Pa / η_p = 0,009 Pas / $Q_{m,p}$ = 400 l/min)



1 90% p_{lim}(tijdens pilot en intrekken)
2 p_{max}(tijdens pilot)
3 p_{min} (tijdens pilot)

Diameter boorstang: 67 mm
Diameter boorkop: 125 mm
Annulaire ruimte: 58 mm

16.2 Boorspoeldrukken tijdens intrekken ($\rho_{m,i}$ = 11,5 kN/m³ / $\tau_{y,i}$ = 14,4 Pa / η_i = 0,009 Pas / $Q_{m,i}$ = 400 l/min)



1 90% p_{lim}(tijdens pilot en intrekken)
4 p_{max}(tijdens intrekken)
5 p_{min} (tijdens intrekken)

Equivalente diameter bundel: 244,67 mm
Diameter ruimer: 398 mm
Annulaire ruimte: 153,33 mm

1.4.4.0/02-2025/23-5365123-1

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2025 1.4 ©

Algemene gegevens

Naam van het project : B01B project Arcen
Projectonderdeel : 3x Ø110 HDPE SDR11

Materiaalgegevens

Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Gegarandeerde minimale treksterkte	MRS	= 10	N/mm^2
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare lange duur zuivere trekspanning	$\overline{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm^2
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm^2
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm^2
Lineaire uitzettingscoefficiënt	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)		= Vloeistof	
Ontwerpdruk	p_d	= 0,3	N/mm^2
Volumieke massa medium	ρ	= 1000	kg/m^3
Temperatuurverschil	Δ_t	= 10	°

Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken

Totale lengte	L	= 138,98	m
Totale horizontale lengte	L_{hor}	= 137,68	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R_r	= 100,00	m
Intredehoek (bij boorstelling)	α_1	= 15,64 / 28	° / %
Uittredehoek (bij rollenbaan)	α_2	= 15,64 / 28	° / %
Belastinghoek	α	= 30	°
Ondersteuningshoek	β	= 30	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
MV intrede t.o.v. NAP	MV_{in}	= 15,77	m
MV uittrede t.o.v. NAP	MV_{uit}	= 15,90	m

Beschrijving	Lengte langs buis [m]	Horizontale lengte [m]	Cumulatieve lengte langs buis [m]	Cumulatieve horizontale lengte [m]	Verticale straal [m]	Horizontale straal [m]
Intrede-TV1	12,69	12,22	12,69	12,22	-	-
TV1-TV2	13,65	13,48	26,34	25,70	50,00	-
TV2-TH1	2,92	2,92	29,27	28,63	-	-
TH1-TH2	2,75	2,75	32,01	31,37	-	50,00
TH2-TH3	75,00	75,00	107,02	106,38	-	-
TH3-TH4	2,61	2,61	109,63	108,99	-	50,00
TH4-TV3	2,54	2,54	112,17	111,53	-	-
TV3-TV4	13,65	13,48	125,82	125,01	50,00	-
TV4-Uittrede	13,16	12,67	138,98	137,68	-	-

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

17-04-2026 11:55:26

Uitvoeringsaspecten

Diameter boorstang	D_b	= 67	mm
Tijdens pilot			
Diameter boorkop/boorgat	D_p	= 125	mm
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_{m,p}$	= 11,5	kN/m^3
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_{y,p}$	= 14,4	Pa
Plastische viscositeit boorvloeistof	η_p	= 0,009	Pa·s
Debiet boorvloeistof	$Q_{m,p}$	= 400	l/min
Tijdens intrekken			
Gecombineerd ruimen/intrekken			
Diameter ruimer/boorgat	$D_{g,i}$	= 398	mm
Equivalente diameter bundel	D_{eq}	= 244,67	mm
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_{m,i}$	= 11,5	kN/m^3
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_{y,i}$	= 14,4	Pa
Plastische viscositeit boorvloeistof	η_i	= 0,009	Pa·s
Debiet boorvloeistof	$Q_{m,i}$	= 400	l/min
Aantal buizen in de bundel	n	= 6	

De bundelbuizen worden niet gekoppeld
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang

Onzekerheids- en wrijvingsfactoren

Totaalfactor bij boring met bundels	f	= 1,8	
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	
Partiële factor grondbelasting	γ	= 1,1	

Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting

Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grondsoort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m³]	Wrijvingshoek grond [°]
TV1	12,69	4,32	2,85	Zand	18,00	20,00	30,00
TV2	26,34	6,26	2,94	Zand	18,00	20,00	30,00
TH1	29,27	6,09	2,77	Zand	18,00	20,00	30,00
TH2	32,01	5,98	2,65	Zand	18,00	20,00	30,00
TH3	107,02	5,57	2,24	Zand	18,00	20,00	30,00
TH4	109,63	5,55	2,23	Zand	18,00	20,00	30,00
TV3	112,17	5,54	2,22	Zand	18,00	20,00	30,00
TV4	125,82	3,60	2,13	Zand	18,00	20,00	30,00

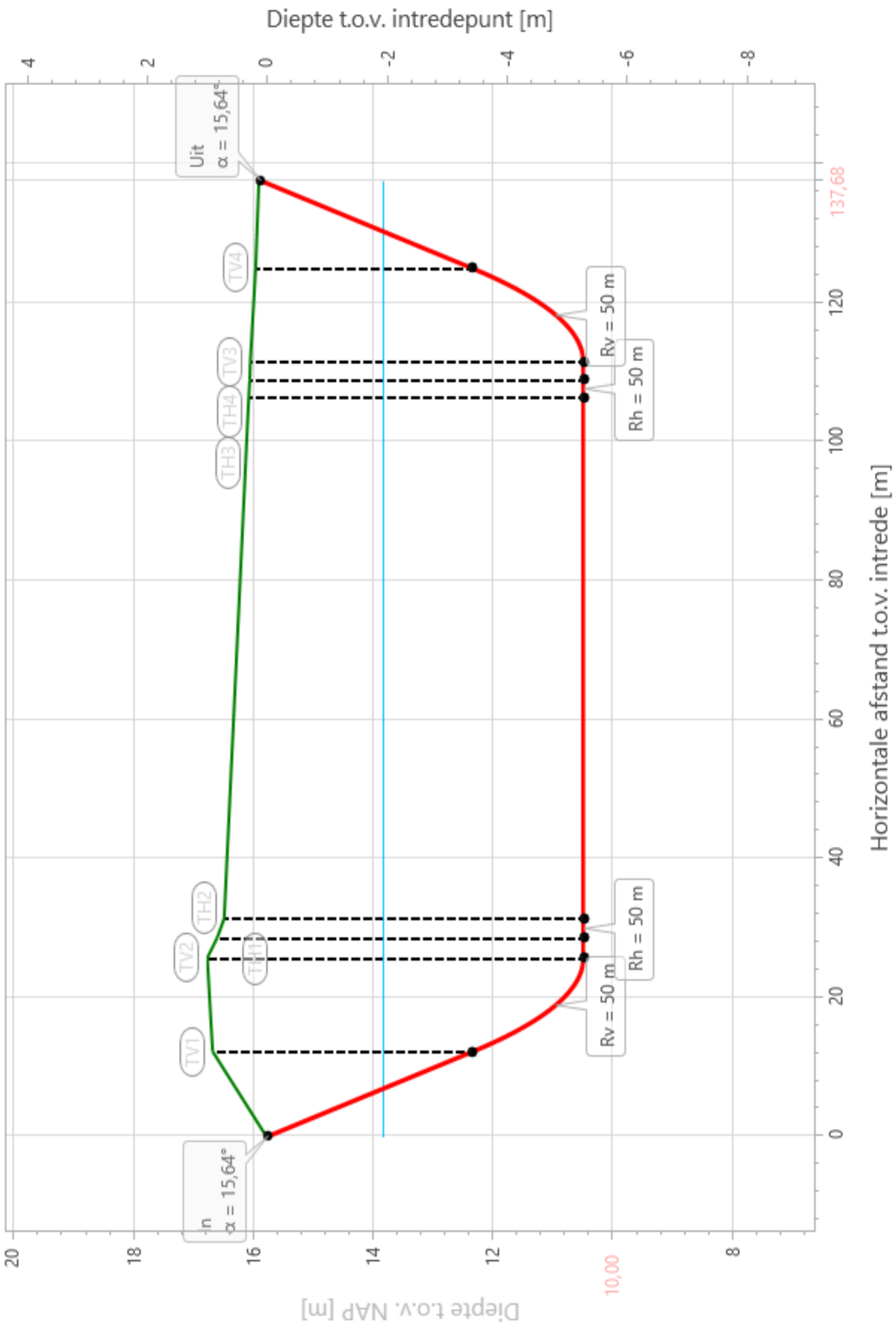
1.4.4.0/02-2025/23-5365123-1

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

Locatie	Hor. steundruk	Effectieve cohesie [kN/m²]	E-modulus ondergrond [MN/m²]	Neutrale grond-druk [kN/m²]	Verkeersbelasting
TV1	✓	0,00	35,00	100	Grafiek I
TV2	✓	0,00	35,00	100	Grafiek I
TH1	✓	0,00	35,00	100	Grafiek I
TH2	✓	0,00	35,00	100	Grafiek I
TH3	✓	0,00	35,00	100	Grafiek I
TH4	✓	0,00	35,00	100	Grafiek I
TV3	✓	0,00	35,00	100	Grafiek I
TV4	✓	0,00	35,00	100	Grafiek I

Locatie	Gereduceerde grondbelasting
TV1	Homogeen (zand)
TV2	Homogeen (zand)
TH1	Homogeen (zand)
TH2	Homogeen (zand)
TH3	Homogeen (zand)
TH4	Homogeen (zand)
TV3	Homogeen (zand)
TV4	Homogeen (zand)

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl



* Niet op schaal

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

2. 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

3. 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	

4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds

4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld

Trekkracht T_1 tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_1 [N] (f = 1,8)	T_1 [N] (f = 1)
Starten met trekken	138,98	**2.252**	**1.251**
Na intrekken van TV4-Uittrede	125,82	**2.038**	**1.132**
Na intrekken van TV3-TV4	112,17	**1.817**	**1.010**
Na intrekken van TH4-TV3	109,63	**1.776**	**987**
Na intrekken van TH3-TH4	107,02	**1.734**	**963**
Na intrekken van TH2-TH3	32,01	**519**	**288**
Na intrekken van TH1-TH2	29,27	**474**	**263**
Na intrekken van TV2-TH1	26,34	**427**	**237**
Na intrekken van TV1-TV2	12,69	**206**	**114**

$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = f \cdot L \cdot 0{,}0300 \cdot 0{,}3$

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

4.2 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm^2]	T_1 [N] (f = 1,8)	σ_t [N/mm^2]
Starten met trekken	2.252	**0,72**
Na intrekken van TV4-Uittrede	2.038	**0,65**
Na intrekken van TV3-TV4	1.817	**0,58**
Na intrekken van TH4-TV3	1.776	**0,57**
Na intrekken van TH3-TH4	1.734	**0,55**
Na intrekken van TH2-TH3	519	**0,17**
Na intrekken van TH1-TH2	474	**0,15**
Na intrekken van TV2-TH1	427	**0,14**
Na intrekken van TV1-TV2	206	**0,07**

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{3.141{,}59}$$

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

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

$$M_b = 1{,}1 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.261}{100.000} = 42.538{,}15 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{42.538{,}15}{72.114} = \mathbf{0{,}59} \text{ N/mm}^2$$

4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm^2]	σ_t [N/mm^2]	σ_a [N/mm^2]
Starten met trekken	0,72	**1,10**
Na intrekken van TV4-Uittrede	0,65	**1,03**
Na intrekken van TV3-TV4	0,58	**0,96**
Na intrekken van TH4-TV3	0,57	**0,95**
Na intrekken van TH3-TH4	0,55	**0,94**
Na intrekken van TH2-TH3	0,17	**0,55**
Na intrekken van TH1-TH2	0,15	**0,53**
Na intrekken van TV2-TH1	0,14	**0,52**
Na intrekken van TV1-TV2	0,07	**0,45**

$$\sigma_a = \alpha_\sigma \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0{,}65 \cdot 0{,}59 + \sigma_t$$

Toelaatbare spanning: σ_{kd} = MRS = **10,00** N/mm^2

$\sigma_a \leq \sigma_{kd} \rightarrow 1{,}10 \leq 10{,}00 \rightarrow$ Voldoet

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

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

5.1 Berekening van de vereiste trekkracht T_2 en T_{3a} in verband met wrijving tussen leiding en boorvloeistof/boorgangwand

Aantal buizen in de bundel n = 6

De bundelbuizen worden niet gekoppeld $\rightarrow f_b = 1/n^{0,3} = 0,584$

Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof.

58,4% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet.

Hieruit volgt: $D_{e,omtrek} = 201,88$ mm[1]

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

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

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

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L_2 / L_b [m]	T_2 [N] (f = 1,8)	T_{3a} [N] (f = 1,8)	T_2 [N] (f = 1)	T_{3a} [N] (f = 1)
Na intrekken van TV4-Uittrede	138,98	**615**	-	**341**	-
Na intrekken van TV3-TV4	125,82	-	**1.252**	-	**696**
Na intrekken van TH4-TV3	112,17	**1.371**	-	**762**	-
Na intrekken van TH3-TH4	109,63	-	**1.493**	-	**829**
Na intrekken van TH2-TH3	107,02	**4.997**	-	**2.776**	-
Na intrekken van TH1-TH2	32,01	-	**5.125**	-	**2.847**
Na intrekken van TV2-TH1	29,27	**5.261**	-	**2.923**	-
Na intrekken van TV1-TV2	26,34	-	**5.899**	-	**3.277**
Na intrekken van Intrede-TV1	12,69	**6.492**	-	**3.607**	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L_2 \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = f \cdot L_2 \cdot (201,88 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_b \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = f \cdot L_b \cdot (201,88 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

5.2 Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding I en beddingsconstanten in de bochten k_v

Leidingdeel (Doorsnede)	E_{100} [N/mm^2]	q_n [kN/m^2]	$E_{100,norm}$ [N/mm^2]	υ [-]	I [mm]	m [-]	λ [mm^{-1}]	k_v [N/mm^3]
TV3-TV4 ..	35,00	100,00	35,00	0,3333	394,4	0,65	**0,00797**	**0,56618**
TV3-TV4 ..	35,00	100,00	35,00	0,3333	394,4	0,65	**0,00797**	**0,56618**
TH3-TH4 ..	35,00	100,00	35,00	0,3333	394,4	0,65	**0,00797**	**0,56618**
TH3-TH4 ..	35,00	100,00	35,00	0,3333	394,4	0,65	**0,00797**	**0,56618**
TH1-TH2 ..	35,00	100,00	35,00	0,3333	394,4	0,65	**0,00797**	**0,56618**
TH1-TH2 ..	35,00	100,00	35,00	0,3333	394,4	0,65	**0,00797**	**0,56618**
TV1-TV2 ..	35,00	100,00	35,00	0,3333	394,4	0,65	**0,00797**	**0,56618**
TV1-TV2 ..	35,00	100,00	35,00	0,3333	394,4	0,65	**0,00797**	**0,56618**

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

$E_{100,norm} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,5}$ (Zand/Leem/Grind) of $E_{100,norm} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,8}$ (Veen/Klei)

$K = 1 - \sin(\varphi)$ $\quad \upsilon = \frac{K}{1 + K}$

$I = \frac{\pi}{\lambda}$ $\quad A = I \cdot b$ $\quad b = \beta \cdot r_e = 30^o \cdot 55 = 28{,}80$ mm

$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_v}{4 \cdot E \cdot I_b}}$

$k_v = \frac{E_{100,norm}}{m \cdot (1 - \upsilon^2) \cdot \sqrt{A}}$ (m volgens tabel C.5 NEN3650-1 C.4.3.3c)

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

Leidingdeel (Doorsnede)	R_v [m]	R_h [m]	q_r [N/mm^2]	Q_r [N/mm^1]	T_{3b} [N] (f = 1,8)	T_{3b} [N] (f = 1)
TV3-TV4 (TV3)	50,00	-	0,016	1,76	**499**	**277**
TV3-TV4 (TV4)	50,00	-	0,016	1,76	**499**	**277**
TH3-TH4 (TH3)	-	50,00	0,016	1,76	**499**	**277**
TH3-TH4 (TH4)	-	50,00	0,016	1,76	**499**	**277**
TH1-TH2 (TH1)	-	50,00	0,016	1,76	**499**	**277**
TH1-TH2 (TH2)	-	50,00	0,016	1,76	**499**	**277**
TV1-TV2 (TV1)	50,00	-	0,016	1,76	**499**	**277**
TV1-TV2 (TV2)	50,00	-	0,016	1,76	**499**	**277**

$q_r = e^{(-\pi/4)} \cdot \sin(\pi/4) \cdot \frac{\lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot f_{r,o} \cdot R} = 0{,}322 \cdot \frac{\lambda^2 \cdot 975 \cdot 3.966.260{,}73}{110 \cdot 0{,}9 \cdot R}$

$Q_r = q_r \cdot D_o = q_r \cdot 110$

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

5.4 Trekkracht T_{bocht} tijdens verschillende stadia

Trekkracht T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N] (f = 1)	T_2 / T_{3a} [N] (f = 1)	$T_{3b,max}$ [N] (f = 1)	ΣT_{3b} [N] (f = 1)	T_{bocht} [N]
TV3-TV4	1.010	696	277	277	**1.983**
TH3-TH4	963	829	277	555	**2.347**
TH1-TH2	263	2.847	277	832	**3.943**
TV1-TV2	114	3.277	277	1.109	**4.501**

$T_{bocht} = T_1 + T_2 + T_{3a} + \Sigma T_{3b}$

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

5.5 Berekening van de wrijving door bochtkracht T_{3c}

Trekkracht T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N] (f = 1,8)	T_{3c} [N] (f = 1)
TV3-TV4	7,82	1.983	**194**	**108**
TH3-TH4	1,50	2.347	**44**	**25**
TH1-TH2	1,57	3.943	**78**	**43**
TV1-TV2	7,82	4.501	**441**	**245**

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

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

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

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

5.6 Totalisatie van de trekkrachten in fase II

Wanneer een totaalfactor van f=1,8 wordt toegepast gelden de volgende waarden voor de trekrachten.

Trekkracht T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 [N]	T_{3a} [N]	ΣT_{3b} [N]	ΣT_{3c} [N]	T_{tot} [N]	T_{tot} [ton]
Na intrekken van TV4-Uittrede	2.038	615	-	-	-	**2.653**	**0,27**
Na intrekken van TV3-TV4	1.817	-	1.252	499	194	**3.763**	**0,38**
Na intrekken van TH4-TV3	1.776	1.371	-	499	194	**3.840**	**0,38**
Na intrekken van TH3-TH4	1.734	-	1.493	998	238	**4.464**	**0,45**
Na intrekken van TH2-TH3	519	4.997	-	998	238	**6.752**	**0,68**
Na intrekken van TH1-TH2	474	-	5.125	1.498	316	**7.413**	**0,74**
Na intrekken van TV2-TH1	427	5.261	-	1.498	316	**7.502**	**0,75**
Na intrekken van TV1-TV2	206	-	5.899	1.997	757	**8.859**	**0,89**
Na intrekken van Intrede-TV1	0	6.492	-	1.997	757	**9.246**	**0,92**

$T_{tot} = T_1 + T_2 + T_{3a} + \Sigma T_{3b} + \Sigma T_{3c}$

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

5.7 Karakteristieke waarden van de benodigde trekkrachten in fase II

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

Trekkracht T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 [N]	T_{3a} [N]	ΣT_{3b} [N]	ΣT_{3c} [N]	T_{tot} [N]	T_{tot} [ton]
Na intrekken van TV4-Uittrede	1.132	341	-	-	-	**1.474**	**0,15**
Na intrekken van TV3-TV4	1.010	-	696	277	108	**2.091**	**0,21**
Na intrekken van TH4-TV3	987	762	-	277	108	**2.134**	**0,21**
Na intrekken van TH3-TH4	963	-	829	555	132	**2.480**	**0,25**
Na intrekken van TH2-TH3	288	2.776	-	555	132	**3.751**	**0,38**
Na intrekken van TH1-TH2	263	-	2.847	832	176	**4.118**	**0,41**
Na intrekken van TV2-TH1	237	2.923	-	832	176	**4.168**	**0,42**
Na intrekken van TV1-TV2	114	-	3.277	1.109	421	**4.922**	**0,49**
Na intrekken van Intrede-TV1	0	3.607	-	1.109	421	**5.137**	**0,51**

De maximale karakteristieke waarde voor de benodigde trekkracht bedraagt **5.137 N (» 0,51 ton)**.
Volgens de richtlijnen van de Drilling Contractors Association (DCA-Europe) wordt een boormachine geadviseerd met een trekkracht van minimaal 2 tot 3 keer deze maximale waarde. De aannemers moet bij zijn keuze van de boormachine uiteraard ook uitgaan van o.a. zijn ervaringen met HDD's én zijn kennis van het gebied.

5.8 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 TV4-Uittrede	2.653	**0,84**
Na intrekken van TV3-TV4	3.763	**1,20**
Na intrekken van TH4-TV3	3.840	**1,22**
Na intrekken van TH3-TH4	4.464	**1,42**
Na intrekken van TH2-TH3	6.752	**2,15**
Na intrekken van TH1-TH2	7.413	**2,36**
Na intrekken van TV2-TH1	7.502	**2,39**
Na intrekken van TV1-TV2	8.859	**2,82**
Na intrekken van Intrede-TV1	9.246	**2,94**

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

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

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

Trekkracht T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	R [m]	M_b [Nmm]	σ_b [N/mm^2]
TV3-TV4	50,00	120.309,91	**1,67**
TH3-TH4	50,00	120.309,91	**1,67**
TH1-TH2	50,00	120.309,91	**1,67**
TV1-TV2	50,00	120.309,91	**1,67**

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{f_{r,o} \cdot R} = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot R}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} = \frac{M_b}{72.113,83}$$

5.10 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 TV4-Uittrede	2.653	0,84	-	**0,84**
Na intrekken van TV3-TV4	3.763	1,20	1,67	**2,28**
Na intrekken van TH4-TV3	3.840	1,22	-	**1,22**
Na intrekken van TH3-TH4	4.464	1,42	1,67	**2,51**
Na intrekken van TH2-TH3	6.752	2,15	-	**2,15**
Na intrekken van TH1-TH2	7.413	2,36	1,67	**3,44**
Na intrekken van TV2-TH1	7.502	2,39	-	**2,39**
Na intrekken van TV1-TV2	8.859	2,82	1,67	**3,90**
Na intrekken van Intrede-TV1	9.246	2,94	-	**2,94**

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

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

Toelaatbare spanning: σ_{kd} = MRS = **10,00** N/mm^2

$\sigma_a \leq \sigma_{kd} \rightarrow 3,90 \leq 10,00 \rightarrow$ Voldoet

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

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

6.1 Berekening van de spanningen s_p en s_{pl} t.g.v. inwendige druk

$D_g/d_n = 100,00/10,00 = 10,00 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow$ Dikwandige leiding

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

$$\sigma_p = \frac{55,00^2 + 45,00^2}{55,00^2 - 45,00^2} \cdot 0,3 = 1,52 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{y1} = \sigma_p = 1,52$ N/mm²

$\sigma_{pl} = \upsilon \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 1,52 = 0,61$ N/mm²

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

$\sigma_p \leq \bar{\sigma}_t \rightarrow 1,52 \leq 8,00 \rightarrow$ Voldoet

$\sigma_{pl} \leq \bar{\sigma}_t \rightarrow 0,61 \leq 8,00 \rightarrow$ Voldoet

6.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

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

$$f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 50^3 \cdot 0,143}{975 \cdot 83,33}) = 0,88$$

6.3.1 Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grondsoort	q_{droog} [kN/m²]	q_{nat} [kN/m²]	q_n [kN/m²]	Q_n [N/mm¹]
TV1	4,32	2,85	Zand	56,37	17,66	100,00	11,00
TV2	6,26	2,94	Zand	58,14	39,89	100,00	11,00
TH1	6,09	2,77	Zand	54,84	39,89	100,00	11,00
TH2	5,98	2,65	Zand	52,56	39,89	100,00	11,00
TH3	5,57	2,24	Zand	44,43	39,89	100,00	11,00
TH4	5,55	2,23	Zand	44,09	39,89	100,00	11,00
TV3	5,54	2,22	Zand	43,92	39,89	100,00	11,00
TV4	3,60	2,13	Zand	42,15	17,66	100,00	11,00

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

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

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

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

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

6.3.2 Berekening van de gereduceerde neutrale grondbelasting Q_{nr}

Locatie	h [m]	GWS [m]	γ' [kN/m³]
TV1	4,32	2,85	17,14
TV2	6,26	2,94	15,66
TH1	6,09	2,77	15,55
TH2	5,98	2,65	15,46
TH3	5,57	2,24	15,14
TH4	5,55	2,23	15,13
TV3	5,54	2,22	15,12
TV4	3,60	2,13	16,61

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

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	B_1 [m]	$8 \cdot B_1$ [m]	$q_{n,r}$ [kN/m²]	$Q_{n,r}$ [N/mm¹]
TV1	Homogeen (zand)	0,20	1,59	100,00(1)	11,00
TV2	Homogeen (zand)	0,20	1,59	100,00(1)	11,00
TH1	Homogeen (zand)	0,20	1,59	100,00(1)	11,00
TH2	Homogeen (zand)	0,20	1,59	100,00(1)	11,00
TH3	Homogeen (zand)	0,20	1,59	100,00(1)	11,00
TH4	Homogeen (zand)	0,20	1,59	100,00(1)	11,00
TV3	Homogeen (zand)	0,20	1,59	100,00(1)	11,00
TV4	Homogeen (zand)	0,20	1,59	100,00(1)	11,00

$$R = \frac{D_{g,i}}{2} = \frac{398}{2} = 199 \text{ mm}$$

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

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

Indien gereduceerde grondbelasting volgens berekeningswijze 'Homogeen (zand)': ($h \geq 8 \cdot B_1$):

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

$Q_{n,r} = q_{n,r} \cdot D_o = q_{n,r} \cdot 110$

6.3.3 Overzicht berekende (gereduceerde) neutrale gronddrukken

Locatie	q_n [kN/m²]	Q_n [N/mm¹]	$q_{n,r}$ [kN/m²]	$Q_{n,r}$ [N/mm¹]
TV1	100,00	11,00	100,00	11,00
TV2	100,00	11,00	100,00	11,00
TH1	100,00	11,00	100,00	11,00
TH2	100,00	11,00	100,00	11,00
TH3	100,00	11,00	100,00	11,00
TH4	100,00	11,00	100,00	11,00
TV3	100,00	11,00	100,00	11,00
TV4	100,00	11,00	100,00	11,00

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

6.4 Berekening van de verkeersbelasting Q_v

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeersbelasting	q_v [kN/m^2]	Q_v [N/mm^1]
TV1	4,32	Grafiek I	11,87	1,31
TV2	6,26	Grafiek I	7,92	0,87
TH1	6,09	Grafiek I	8,18	0,90
TH2	5,98	Grafiek I	8,36	0,92
TH3	5,57	Grafiek I	9,07	1,00
TH4	5,55	Grafiek I	9,10	1,00
TV3	5,54	Grafiek I	9,11	1,00
TV4	3,60	Grafiek I	14,24	1,57

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

7. Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	Hor. steundruk	Q_n [N/mm^1]	$Q_{n,r}$ [N/mm^1]	Q_v [N/mm^1]	Q_{boven} [N/mm^1]	M_q [Nmm]	σ_q [N/mm^2]
TV1	✓	11,00	11,00	1,31	12,31	120,03(1)	**7,20**
TV2	✓	11,00	11,00	0,87	11,87	115,79(1)	**6,95**
TH1	✓	11,00	11,00	0,90	11,90	116,07(1)	**6,96**
TH2	✓	11,00	11,00	0,92	11,92	116,27(1)	**6,98**
TH3	✓	11,00	11,00	1,00	12,00	117,02(1)	**7,02**
TH4	✓	11,00	11,00	1,00	12,00	117,05(1)	**7,02**
TV3	✓	11,00	11,00	1,00	12,00	117,07(1)	**7,02**
TV4	✓	11,00	11,00	1,57	12,57	122,57(1)	**7,35**

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

$M_q = 0{,}257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 50{,}00 - 0{,}143 \cdot (1 - \sin\varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 50{,}00$

$M_q = K_b \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot \frac{1 - \sin\varphi}{1 + \sin\varphi} \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g$ (2)

$M_q = 0{,}257 \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 50{,}00 - 0{,}143 \cdot \frac{1 - \sin\varphi}{1 + \sin\varphi} \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 50{,}00$

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

8. Optredende spanning σ_{qr} tgv. grondreactie in de bochten

Locatie	R [m]	q_r [N/mm^2]	σ_{qr} [N/mm^2]
TV1	50,00	0,016	1,04
TV2	50,00	0,016	1,04
TH1	50,00	0,016	1,04
TH2	50,00	0,016	1,04
TH3	50,00	0,016	1,04
TH4	50,00	0,016	1,04
TV3	50,00	0,016	1,04
TV4	50,00	0,016	1,04

$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0{,}179 \cdot q_r \cdot 110 \cdot \frac{55{,}00}{16{,}67}$

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

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

$\sigma_{ax} = \Delta_t \cdot \alpha_g \cdot E$

$\sigma_{ax} = 10 \cdot 0{,}00016 \cdot 975 =$ **1,56** N/mm²

10. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{83{,}33}{100^3} = 0{,}0812 \text{ N/mm}^2 = \textbf{81,25} \text{ kN/m}^2$$

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

11. Toetsing op implosie (bedrijfsfase): berekening van de alzijdige overdruk

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

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

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0{,}4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350{,}00 \cdot 83{,}33}{100{,}00^3} = 0{,}28 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **27,78** m grondwater boven de leiding

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld H [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld GWS [m]	Grondwater boven de leiding H_n [m]
TV1	4,32	2,85	**1,47**
TV2	6,26	2,94	**3,32**
TH1	6,09	2,77	**3,32**
TH2	5,98	2,65	**3,32**
TH3	5,57	2,24	**3,32**
TH4	5,55	2,23	**3,32**
TV3	5,54	2,22	**3,32**
TV4	3,60	2,13	**1,47**

$H_n < p_{o,lang} \rightarrow 3{,}32 < 27{,}78 \rightarrow$ Voldoet

12. Berekening van het totaal aan optredende spanningen

12.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

Locatie	σ_q [N/mm²]	σ_{qr} [N/mm²]	α_σ [-]	σ_{y2} [N/mm²]
TV1	7,20	1,04	0,65	**5,36**
TV2	6,95	1,04	0,65	**5,19**
TH1	6,96	1,04	0,65	**5,20**
TH2	6,98	1,04	0,65	**5,21**
TH3	7,02	1,04	0,65	**5,24**
TH4	7,02	1,04	0,65	**5,24**
TV3	7,02	1,04	0,65	**5,24**
TV4	7,35	1,04	0,65	**5,46**

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

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

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

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

$\sigma_{y2} \leq \sigma_{ld} \rightarrow 5{,}46 \leq 8{,}00 \rightarrow$ Voldoet

12.2 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]
TV1	0,61	1,56	1,67	0,65	**3,25**
TV2	0,61	1,56	1,67	0,65	**3,25**
TH1	0,61	1,56	1,67	0,65	**3,25**
TH2	0,61	1,56	1,67	0,65	**3,25**
TH3	0,61	1,56	1,67	0,65	**3,25**
TH4	0,61	1,56	1,67	0,65	**3,25**
TV3	0,61	1,56	1,67	0,65	**3,25**
TV4	0,61	1,56	1,67	0,65	**3,25**

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

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

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

$\sigma_x \leq \sigma_{ld} \rightarrow 3{,}25 \leq 8{,}00 \rightarrow$ Voldoet

13. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q_n [N/mm^1]	$Q_{n,r}$ [N/mm^1]	Q_v [N/mm^1]	Q_r [N/mm^1]	δ_Y [mm]	δ_Y/D_g [%]
TV1	11,00	11,00	1,31	1,76	**2,08**(1)	2,08
TV2	11,00	11,00	0,87	1,76	**2,04**(1)	2,04
TH1	11,00	11,00	0,90	1,76	**2,04**(1)	2,04
TH2	11,00	11,00	0,92	1,76	**2,04**(1)	2,04
TH3	11,00	11,00	1,00	1,76	**2,05**(1)	2,05
TH4	11,00	11,00	1,00	1,76	**2,05**(1)	2,05
TV3	11,00	11,00	1,00	1,76	**2,05**(1)	2,05
TV4	11,00	11,00	1,57	1,76	**2,10**(1)	2,10

$$\delta_Y = \frac{(0{,}089 \cdot Q - 0{,}095 \cdot Q_{n;h} + 0{,}048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (1)$$

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

$$\delta_Y = \frac{(0{,}089 \cdot Q - 0{,}095 \cdot Q_{h;r} + 0{,}048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (2)$$

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

Toelaatbare deflectie: $\delta_{Y,max} = 8{,}00\% \cdot D_g = 0{,}08 \cdot 100{,}00 =$ **8,00** mm

$\delta_Y \leq \delta_{Y,max} \rightarrow 2{,}10 \leq 8{,}00 \rightarrow$ Voldoet

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

14. 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]	$E_{100,norm}$ [MN/m^2]
TV1	4,32	58,63	29,31	43,97	65,96	35
TV2	6,26	75,24	37,62	56,43	84,65	35
TH1	6,09	72,52	36,26	54,39	81,58	35
TH2	5,98	70,63	35,32	52,97	79,46	35
TH3	5,57	63,91	31,96	47,94	71,90	35
TH4	5,55	63,63	31,82	47,72	71,59	35
TV3	5,54	63,49	31,75	47,62	71,43	35
TV4	3,60	46,88	23,44	35,16	52,74	35

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

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

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

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

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

Locatie	G [MN/m^2]	Q [-]	u [N/mm^2]	υ [-]	p_{lim} [N/mm^2]	90% p_{lim} [bar] 1
TV1	13,13	0,0017	0,0147	0,3333	0,57	**5,13**
TV2	13,13	0,0021	0,0332	0,3333	0,69	**6,20**
TH1	13,13	0,0021	0,0332	0,3333	0,67	**6,06**
TH2	13,13	0,0020	0,0332	0,3333	0,66	**5,96**
TH3	13,13	0,0018	0,0332	0,3333	0,62	**5,59**
TH4	13,13	0,0018	0,0332	0,3333	0,62	**5,58**
TV3	13,13	0,0018	0,0332	0,3333	0,62	**5,57**
TV4	13,13	0,0013	0,0147	0,3333	0,49	**4,44**

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

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

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

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

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

14.1 Tijdens pilot

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	$R_{p,min}$ [m]	Δh_{in} [m]	p_{max} [N/mm²]	p_{max} [bar] 2	p_{min} [N/mm²]	p_{min} [bar] 3
TV1	0,48	0,02	3,42	0,26	**2,64**	0,04	**0,43**
TV2	0,43	0,02	5,27	0,33	**3,28**	0,07	**0,68**
TH1	0,43	0,02	5,27	0,32	**3,21**	0,07	**0,69**
TH2	0,44	0,02	5,27	0,32	**3,16**	0,07	**0,70**
TH3	0,46	0,04	5,27	0,30	**2,98**	0,09	**0,90**
TH4	0,46	0,05	5,27	0,30	**2,97**	0,09	**0,91**
TV3	0,46	0,05	5,27	0,30	**2,97**	0,09	**0,92**
TV4	0,54	0,08	3,42	0,23	**2,30**	0,07	**0,74**

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

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

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

$$v_{m,p} = \frac{Q_{m,p}}{A_p} = \frac{400}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - D_b^2)} = \frac{400}{1/4 \cdot \pi \cdot (125^2 - 67^2)} = 0{,}762\ \text{m/s}$$

$$p_{min} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_p \cdot v_{m,p}}{(D_p - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,p}}{(D_p - D_b)}\right) \cdot L + \rho_{m,p} \cdot \Delta h_{in} = \left(\frac{14580 \cdot 0{,}009 \cdot 0{,}762}{(125 - 67)^2} + \frac{14{,}4}{(125 - 67)}\right) \cdot L + 11{,}5 \cdot \Delta h_{in}$$

$$R_{p,min} = R_o \Big/ \sqrt{\frac{p'_f + c \cdot \cot(\varphi)}{p_{min} + u + c \cdot \cot(\varphi)}^{(1+\sin(\varphi)) \cdot \csc(\varphi)} - Q}$$

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

14.2 Tijdens intrekken

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	$R_{p,min}$ [m]	Δh_{uit} [m]	p_{max} [N/mm^2]	p_{max} [bar] 4	p_{min} [N/mm^2]	p_{min} [bar] 5
TV4	1,72	0,07	3,55	0,23	**2,30**	0,04(1)	**0,42**
TV3	1,48	0,06	5,40	0,30	**2,97**	0,06(1)	**0,65**
TH4	1,48	0,06	5,40	0,30	**2,97**	0,06(1)	**0,65**
TH3	1,47	0,06	5,40	0,30	**2,98**	0,07(1)	**0,65**
TH2	1,40	0,07	5,40	0,32	**3,16**	0,07(1)	**0,72**
TH1	1,38	0,07	5,40	0,32	**3,21**	0,07(2)	**0,72**
TV2	1,36	0,06	5,40	0,33	**3,28**	0,07(2)	**0,71**
TV1	1,54	0,06	3,55	0,26	**2,64**	0,04(2)	**0,44**

$$D_{eq} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} D_{o;i}^2} = 244{,}67 \text{ mm}$$

$$R_o = \frac{D_{g,i}}{2} = \frac{398}{2} = 199 \text{ mm}$$

$$v_{m,i,uit} = \frac{Q_{m,i}}{A_i} = \frac{400}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,i}^2 - D_{eq}^2)} = \frac{400}{1/4 \cdot \pi \cdot (398^2 - 245^2)} = 0{,}086 \text{ m/s}$$

$$v_{m,i,in} = \frac{Q_{m,i}}{A_i} = \frac{400}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_b^2)} = \frac{400}{1/4 \cdot \pi \cdot (398^2 - 67^2)} = 0{,}762 \text{ m/s}$$

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

$$p_{min,uit} = \left(\frac{14580 \cdot 0{,}009 \cdot 0{,}086}{(398 - 245)^2} + \frac{14{,}4}{(398 - 245)} \right) \cdot (138{,}98 - L) + 11{,}5 \cdot \Delta h_{uit} \qquad (1)$$

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

$$p_{min,in} = \left(\frac{14580 \cdot 0{,}009 \cdot 0{,}762}{(406{,}4 - 67)^2} + \frac{14{,}4}{(406{,}4 - 67)} \right) \cdot L + 11{,}5 \cdot \Delta h_{in} \qquad (2)$$

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

15. Toetsing op implosie tijdens intrekken leiding(en)

Locatie	p_{min} [N/mm^2]	$p_{o,kort}$ [N/mm^2]
TV4	0,04	1,55
TV3	0,06	1,55
TH4	0,06	1,55
TH3	0,07	1,55
TH2	0,07	1,55
TH1	0,07	1,55
TV2	0,07	1,55
TV1	0,04	1,55

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

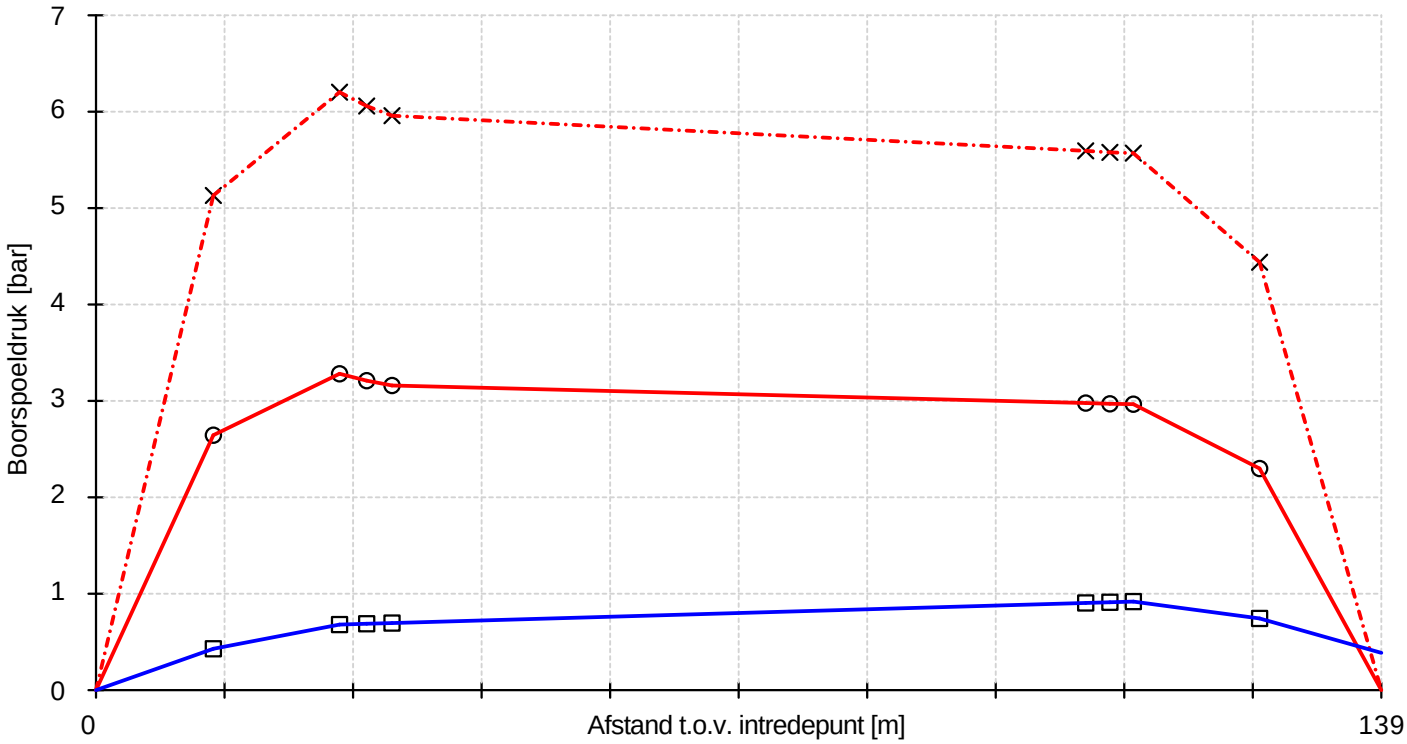
$$p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \upsilon^2)} \cdot \frac{24 \cdot E_{tan} \cdot I_w}{D_g^3}$$

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$$

$p_{min} \leq p_{o,kort} \rightarrow 0,07 \leq 1,55 \rightarrow$ Voldoet

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

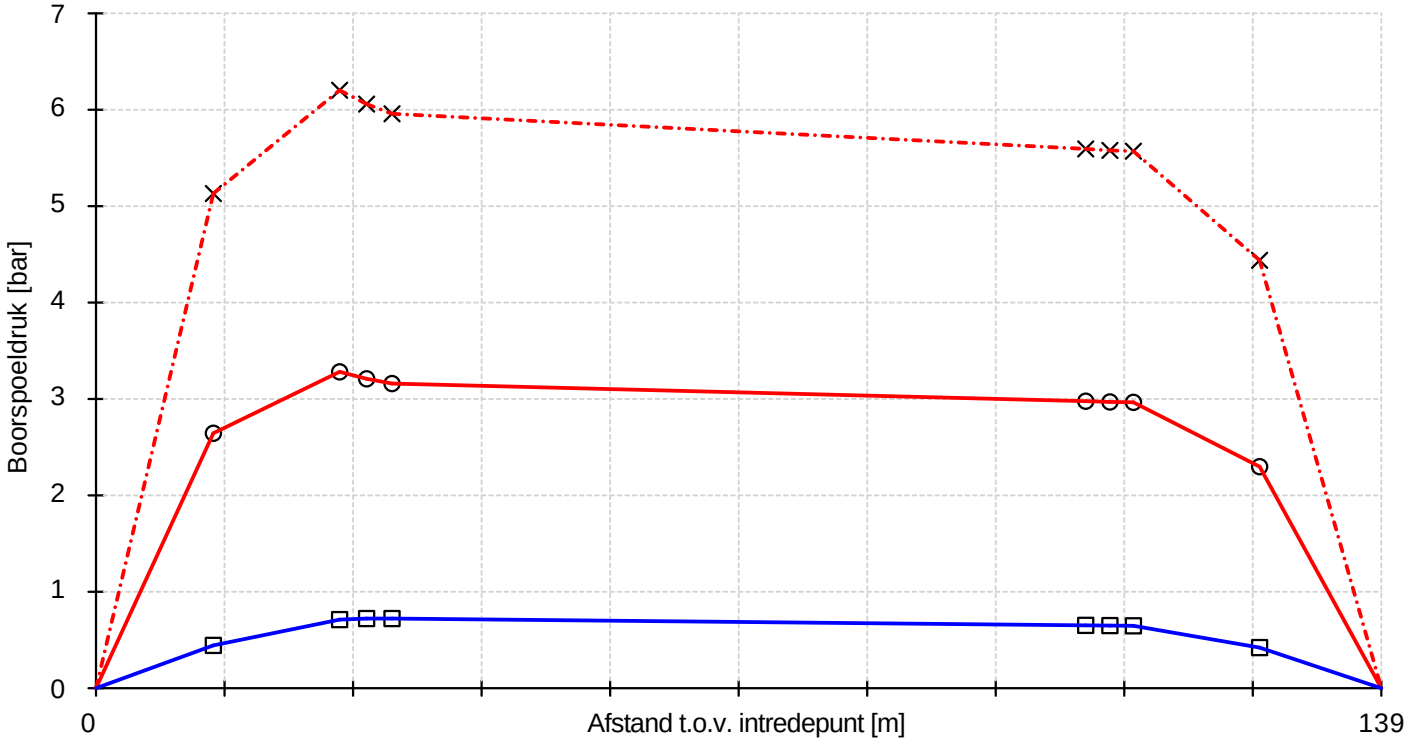
16.1 Boorspoeldrukken tijdens pilot ($\rho_{m,p}$ = 11,5 kN/m³ / $\tau_{y,p}$ = 14,4 Pa / η_p = 0,009 Pas / $Q_{m,p}$ = 400 l/min)



1 90% p_{lim}(tijdens pilot en intrekken)
2 p_{max}(tijdens pilot)
3 p_{min} (tijdens pilot)

Diameter boorstang: 67 mm
Diameter boorkop: 125 mm
Annulaire ruimte: 58 mm

16.2 Boorspoeldrukken tijdens intrekken ($\rho_{m,i}$ = 11,5 kN/m³ / $\tau_{y,i}$ = 14,4 Pa / η_i = 0,009 Pas / $Q_{m,i}$ = 400 l/min)



1 90% p_{lim}(tijdens pilot en intrekken)
4 p_{max}(tijdens intrekken)
5 p_{min} (tijdens intrekken)

Equivalente diameter bundel: 244,67 mm
Diameter ruimer: 398 mm
Annulaire ruimte: 153,33 mm

1.4.4.0/02-2025/23-5365123-1

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

Bijlage 5: Certificaat bentoniet

De Bentonietfabriek B.V.
Ampèreweg 17 | 3442 AB Woerden | +31 348 44 14 99 | debentonietfabriek.com

Description

Bentoniet - HV is a modified bentonite.

Application

Bentoniet - HV can be used in the same applications as a basic bentonite with less product needed to achieve similar rheological properties and drilling performance. An important function of a drilling fluid is the transport of cuttings, the more solids (read more bentonite) added in the base drilling fluid the lower the amount of drilled solids evacuated.

Dosage

40 - 45kg/m³

Rheology

- Plastic Viscosity 12 – 14 CP
- Yield Point 23 – 25 lb/100ft²
- March funnel 55 – 60 seconds
- Fluid loss <15 ml/30 min

Packaging

1000 kg big bag
25 kg bags

Revision date: 09-01-2018
*The above concentrations and resulting rheological values are indicative, conditions may vary and the information given is to be used as a guideline only.

Bijlage 6: Boorstaat

(Registratieformulier boorgegevens)

Opdrachtgever		holland drilling	
Projectnr.			
Uitvoeringsdatum			
Plaats			
Adres		Boormachine (ton)	9 / 11 / 15 / 17 / 22
Boormeester		Surveyor (CV)	
(Graaf) Klic aanwezig	J / N Nr:	Machinist	
Tekening aanwezig	Ja / Nee	Boringnr.	
Buis geleverd	Ja / Nee	Boorlengte	meter
Spoeling afgevoerd	Opdr.gever / Loonw. / HD	Diameter buis	Ø
Zelf grondwerk	Ja / Nee	Lengte geleverde buis	meter
Zelf digitaal ingemeten	Ja / Nee	Haspel nummer	
Buis gevuld met water	Ja / Nee	Restant lengte op haspel	
Trekkoord	Ja / Nee	Spoeling afgevoerd	m³
Materieel achtergelaten	Afzetting / rolstel / trekkop	Aantal uren loonwerker	uur
Bijzonderheden:			

Stang	Diepte	Pitch	Opdracht / bijzonderheden	Stang	Diepte	Pitch	Opdracht / bijzonderheden
1				28			
2				29			
3				30			
4				31			
5				32			
6				33			
7				34			
8				35			
9				36			
10				37			
11				38			
12				39			
13				40			
14				41			
15				42			
16				43			
17				44			
18				45			
19				46			
20				47			
21				48			
22				49			
23				50			
24				51			
25				52			
26				53			
27				54			

Bijlage 7: Afwijkingen Richtlijn Boortechnieken

Afkomstig van versie juni 2019-v1.0

Afwijkingen

Gronddekking en aanlegniveau onder wegen
Onderdeel van het aanlegniveau van een boring is de gronddekking. In deze richtlijn wordt onder gronddekking verstaan:

> *Gronddekking is de afstand tussen het diepste punt van de onderzijde van de (on)gebonden (steen)funderingslaag van de verharding en de bovenzijde van het boorgat.*

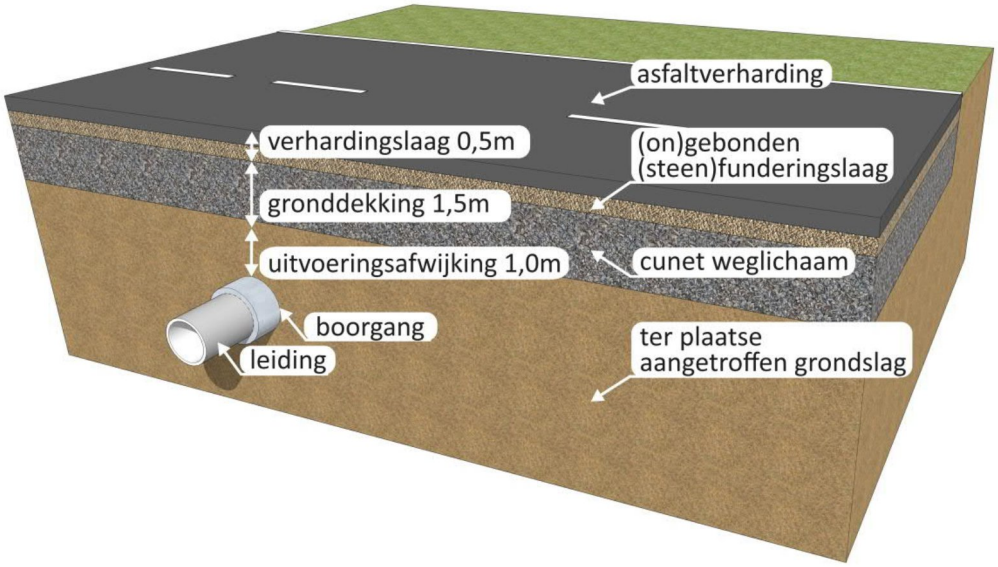
In het ontwerp dient rekening te worden gehouden met de maximaal toegestane afwijking tijdens de uitvoering.

In figuur 7 is een schematische weergave gegeven van de gronddekking voor HDD-boringen. Indien de dikte van de verhardingslaag (inclusief de [on]gebonden [steen]funderingslaag) niet bekend is en er geen aanwijzingen zijn dat de dikte van de verhardingslaag > 0,5 meter, dan dient voor deze dikte 0,5 meter aangehouden te worden. Daarnaast dient rekening gehouden te worden met eventuele afwijkingen tijdens het uitvoeren van de boring. Voor de uitvoeringsafwijking dient 1,0 meter te worden aangehouden, tenzij wordt onderbouwd dat hier een kleinere waarde voor gehanteerd kan worden.

Voor HDD-boringen geldt dat de gronddekking ter plaatse van de verharding minimaal moet voldoen aan de volgende eis:
- in cohesieve grond: minimaal 1,5 meter;
- in niet-cohesieve grond: 6 x de buitendiameter van de aan te brengen leiding met een minimum van 1,5 meter.

Een uitzondering geldt voor boringen van drukloze leidingen ≤ 160 mm ten behoeve van kabels. Hier geldt aan de rand van de weg een minimale gronddekking ≥ 1,5 meter ten opzichte van bovenkant maaiveld, waarbij geen rekening hoeft te worden gehouden met de verhardingslaag en uitvoeringsafwijking.

Op basis van de minimale gronddekking dient ook het aanlegniveau (de uitwendige onderzijde van de aan te leggen leiding) te worden bepaald. Het aanlegniveau dient te worden gebaseerd op de gronddekking, maximale uitvoeringsafwijking, de uitwendige leidingdiameter, de dikte van de funderingslaag. Het aanlegniveau dient ten opzichte van NAP te worden aangegeven.



Figuur 5: Minimale toegestane dekking onder wegverharding volgens Richtlijn Boortechnieken

Voorbeeld: De minimale eis ten aanzien van de gronddekking van 1,5 meter betekent praktisch gezien een gronddekking van minimaal 3,0 meter tussen de bovenkant verharding en de bovenkant boorgat (1,5 meter gronddekking + 0,5 meter verhardingslaag + 1,0 meter uitvoeringsafwijking).

In- en uittredepunten
De in- en uittredepunten dienen zodanig te worden gekozen dat de stabiliteit van de aardebaan blijft gewaarborgd. Indien het in- en/of uittredepunt binnen de stabiliteitszone van de aardebaan ligt, dient door berekeningen te worden aangetoond dat de stabiliteit gewaarborgd blijft. De stabiliteitszone dient te worden bepaald conform de NEN 3651 artikel 6.2.2.

Een uitzondering kan gemaakt worden voor drukloze leidingen ≤ 160 mm ten behoeve van kabels. De in- en uittredepunten (incl. eventuele ontgraving) dienen te liggen buiten de lijn welke op 1,0 meter van de rand verharding en onder een helling van 1:1,5 (vert:hor) naar beneden gaat.

Specifieke ontwerpeisen HDD-boringen onder waterwegen
Voor HDD-boringen onder waterwegen gelden:
- de voorwaarden voor HDD-boringen onder wegen (zie paragraaf 2.4);
- de voorwaarden uit NEN 3651;
- de in deze paragraaf opgenomen aanvullende bepalingen.

Bijlage 8: Drill Control Rapportage ontwerp boring

ONTWERP RAPPORT

Omschrijving :	Gestuurde boring Arcen
Nummer :	26-20143
Locatie :	Kruisweg 50, 5944EN Arcen
Opdrachtgever :	BAM Energie en Water
Tracé :	B01A
Boring :	Boring 1A
Rapportdatum :	14-04-2026

Boring 1A

Boring kenmerken

Horizontale afstand van de boring:	137.60m
3D lengte van de boring:	138.52m
Radius van de kleinste verticale boog:	50.00m
Radius van de grootste verticale boog:	50.00m
Ontwerpmethode:	Parametrisch
Afstand intredepunt vanaf begin tracé:	15.00m
Afstand uittredepunt vanaf begin tracé:	152.60m
Boring type:	Bundel
Buitendiameter:	386.0mm
Boorgat diameter:	500.0mm
Boorgat volume:	27.20m³
Toetsingswaarde bochtstraal:	33.00m
Machine specificatie:	15t

Tangentpunten tabel

Naam	X	Y	Z	Afstand	R (H)	R (V)	R (C)
Intrede	209434.90	388849.92	15.77	0.00			
TV1	209442.31	388849.77	13.70	7.41		50.00	
TV2	209455.79	388849.49	11.84	20.89			
TV3	209551.13	388847.49	11.84	116.26		50.00	
TV4	209564.61	388847.20	13.70	129.74			
Uittrede	209572.47	388847.04	15.90	137.60			

Bundeldata tabel

Aantal	Materiaal	Omschrijving	Diameter	Wanddikte
4x	PE (Polyethyleen)	SDR 11 (160mm)	160.0mm	14.5mm

Geometrie

Nummer	Type	Lengte	Hoek	Radius
1	Tangent	7.70	-28.00%	
2	Boog			50.00
3	Tangent	95.37	0.00%	
4	Boog			50.00
5	Tangent	8.16	28.00%	

Geometrie (vervolg)

Nummer	Type	Lengte	Hoek	Radius

ONTWERP RAPPORT

Omschrijving :	Gestuurde boring Arcen
Nummer :	26-20143
Locatie :	Kruisweg 50, 5944EN Arcen
Opdrachtgever :	BAM Energie en Water
Tracé :	B01B
Boring :	Boring 1B
Rapportdatum :	14-04-2026

Boring 1B

Boring kenmerken

Horizontale afstand van de boring:	137.68m
3D lengte van de boring:	138.98m
Radius van de kleinste verticale boog:	50.00m
Radius van de grootste verticale boog:	50.00m
Ontwerpmethode:	Parametrisch
Afstand intredepunt vanaf begin tracé:	15.00m
Afstand uittredepunt vanaf begin tracé:	152.68m
Boring type:	Bundel
Buitendiameter:	306.0mm
Boorgat diameter:	397.8mm
Boorgat volume:	17.27m³
Toetsingswaarde bochtstraal:	33.00m
Machine specificatie:	15t

Tangentpunten tabel

Naam	X	Y	Z	Afstand	R (H)	R (V)	R (C)
Intrede	209434.90	388849.92	15.77	0.00			
TV1	209447.09	388849.00	12.35	12.22		50.00	
TV2	209460.53	388847.99	10.50	25.71			
TH1	209463.44	388847.77	10.50	28.63	50.00		
TH2	209466.19	388847.64	10.50	31.37			
TH3	209541.18	388846.11	10.50	106.38	50.00		
TH4	209543.79	388846.12	10.50	108.99			
TV3	209546.33	388846.21	10.50	111.53		50.00	
TV4	209559.80	388846.64	12.35	125.01			
Uittrede	209572.47	388847.04	15.90	137.68			

Bundeldata tabel

Aantal	Materiaal	Omschrijving	Diameter	Wanddikte
3x	PE (Polyethyleen)	SDR 11 (110mm)	110.0mm	10.0mm
2x	PE (Polyethyleen)	SDR 11 (63mm)	63.0mm	5.8mm
1x	PE (Polyethyleen)	SDR 11 (125mm)	125.0mm	11.4mm

Geometrie

Nummer	Type	Lengte	Hoek	Radius
1	Tangent	12.69	-28.00%	
2	Boog			50.00
3	Tangent	85.83	0.00%	
4	Boog			50.00
5	Tangent	13.16	28.00%	