

Toelichting

Betreft Opdrachtgever: CV Projectbureau Grensmaas
Project: Sterkteberekening verleggen WML drinkwaterleiding
Onderdeel: Sterkteberekening gietijzeren buis fabrikant Saint Gobain type Natural Tyton DN100

Ons kenmerk CGM006-0002

Datum 08 april 2022

Behandeld door

Kader

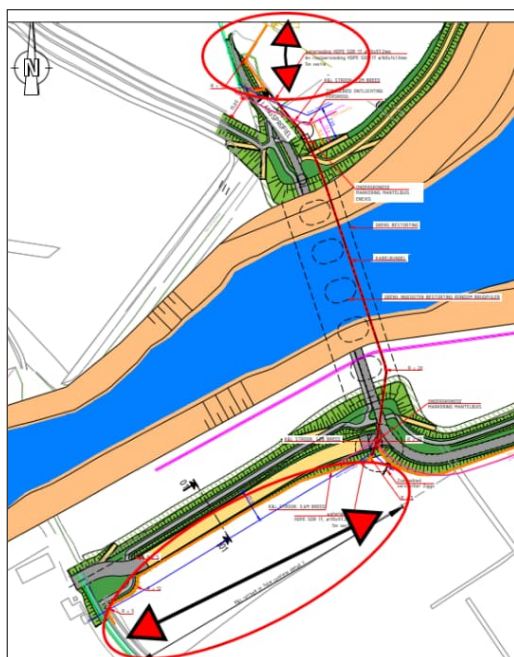
In de kern Maasband, in gemeente Stein, wordt een hoogwatergeul gegraven waarmee extra berging wordt gecreëerd. Voor de aanleg van de geul moeten verschillende leidingen verlegd worden onder de hoogwatergeul, ter plaatse van de kruisingen met de primaire waterkeringen en parallel aan de primaire waterkeringen.

In het rapport "20220408-RAP-SB-Maasband HW geul - verlegging WML waterleiding versie 1.2 Definitief" d.d. 08 april 2022, zijn sterkteberekeningen opgenomen uitgaande van een HDPE-buis en wordt aangetoond dat de nieuwe leidingen voldoen aan de NEN 3650/ 3651. Voor de te verleggen drinkwaterleiding parallel aan de primaire waterkeringen is door WML aangegeven om nodulair gietijzeren buizen van fabrikant Saint Gobain, type Natural met Tyton verbindingen DN100 klasse C50, toe te passen.

Deze toelichting is een addendum op het voornoemde rapport en presenteert sterkteberekeningen voor de nodulair gietijzeren buis om aan te tonen dat eveneens wordt voldaan aan de NEN 3650 /3651 en NEN 545.

Tracé

In afbeelding 1 zijn schematisch de tracés aangegeven waar de nodulair gietijzeren leiding zal worden gelegd. Het betreft de leidingen die parallel aan de primaire waterkeringen ten zuiden en ten noorden van de hoogwatergeul komen te liggen.



Afbeelding 1: Tracés gietijzeren leiding (rode pijlen)

Uitgangspunten

De uitgangspunten zijn vermeld in het rapport "20220408-RAP-SB-Maasband HW geul - verlegging WML waterleiding versie 1.2 Definitief" d.d. 08 april 2022 en gelden in principe ook voor de sterkteberekeningen en beoordeling van de nodulair gietijzeren buizen. De belangrijkste zijn navolgend vermeld:

o Normen

Voor het beoordelen van de leiding en de sterkteberekeningen is gebruik gemaakt van de NEN-EN 3650 serie uitgave 2020, de NEN-EN 3651 uitgave 2020 en de NEN-EN 545 uitgave 2010.

o Ontwerptekening

Tekening 2022-0546 Definitief ontwerp kabels en leidingen tracé's Variant 3, versie 0, d.d. 21-03-2022

o Ontwerpgegevens

1. Ontwerpdruk

Er wordt gerekend met een ontwerpdruk van 0,8 N/mm² (8 bar)

2. Materiaal

Voor de nodulair gietijzeren leiding zijn de materiaaleigenschappen van nodulair gietijzer in tabel 1 vermeld en de leidingeigenschappen van het type buis "Saint Gobain Natural Zinalium met Tyton verbinding DN100 sterkteklasse C50 in tabel 2. Deze buis is door WML voorgeschreven.

Tabel 1: Materiaaleigenschappen nodulair gietijzer (bron Saint Gobain)

Kenmerk	Waarde	Eenheid
Corrosietoeslag	0	mm
E-modulus	170.000	N/mm ²
Uitzettingscoëfficiënt	$1,15 \times 10^{-5}$	mm/mm per °C
Constante van Poisson	0,28	-
Rekgrens minimaal	270	N/mm ²
Treksterkte minimaal	420	N/mm ²

Tabel 2: Leidingeigenschappen Natural-Tyton DN100-C50 (bron Saint Gobain)

Kenmerk	Waarde	Eenheid
Type buis	Saint Gobain Natural Tyton	
Diameter uitwendig (DE)	118	mm
Diameter inwendig (DN)	100	mm
Tolerantie diameter uitwendig (DE)	-2,8/+1	mm
Sterkteklasse	C50	
Maximale werkdruk	50	bar
Wanddikte NGIJ nominaal (e_{nom})	4,4	mm
Wanddikte NGIJ minimaal (e_{min})	3,5	mm
Wanddikte NGIJ e_{stiff}	4,2	mm
Verbinding	Tyton	niet trekvast
Toelaatbare ovalisatie	3	%
Toelaatbare hoekverdraaiing	5	graden
Ringstijfheid (S) minimaal	481	kN/m ²
Verlenging bij breuk	>10	%

Belastingen

- **Grondbelasting**

De leiding wordt in een sleuf voor kabels en leidingen gelegd, ter hoogte van de verwervingsgrens. De dekking van de waterleiding is 1,25 meter. Uit het bodemonderzoek blijkt dat de bodem boven en onder de leiding uit zandige leem en sterk siltig zand is opgebouwd.

- **Uitvoeringszakking**

Bij het leggen van de nodulair gietijzeren leiding hoeft niet dieper ontgraven te worden dan de onderzijde van de leiding. Uitvoeringzakking is niet aan de orde.

- **Uitvoeringszakningsverschil**

Ter plaatse van de koppelingen aan het bestaande waterleidingnetwerk is geen uitvoeringszakningsverschil te verwachten. De grond onder de nodulair gietijzeren leiding wordt namelijk niet geroerd en de grondbelasting verandert niet.

- **Zetting sleuf noordzijde hoogwatergeul**

De ontgraven grond wordt weer terug aangebracht en er wordt geen grond afgevoerd. De overtollige grond wordt gespreid over een breedte van 2 meter, behoudens op de locaties waar de gietijzeren buis op het bestaande persleiding wordt aangekoppeld. Er is een geringe belastingtoename, namelijk het overschot aan grond dat door de buis wordt ingenomen. Per meter buis komt $0,0113 \text{ m}^3$ grond vrij met een gewicht van $0,226 \text{ kN}$ ($0,0113 \text{ m}^3 \times 20 \text{ kN}$). Gespreid over 2 m^2 is dat $0,113 \text{ kN/m}^2$ en dermate gering dat geen zetting te verwachten is.

- **Zetting sleuf zuidzijde hoogwatergeul**

De leiding aan de zuidzijde komt deels onder het talud te liggen van de te verleggen weg Oeverendijk. Voor de rekensommen wordt een ophoging van 1 meter aangehouden. Een ophoging kan mogelijk zettingen teweeg brengen. In het rapport "20220408-RAP-SB-Maasband HW geul - verlegging WML waterleiding versie 1.2 Definitief" d.d. 08 april 2022 is in bijlage 3 een zettingsberekening opgenomen. Voor een ophoging van 3 meter op een pakket leem van 2 meter, gevolgd door een pakket grind van 10 meter is een zetting berekend van 35 mm. Een ophoging van 1 meter leidt tot minder zetting namelijk afgerond 12 mm ($35 \text{ mm}/3$). Voor het toetsen van de hoekverdraaiing wordt zodoende 12 mm gehanteerd.

- **Verkeersbelasting**

Conform NEN-EN 545 bijlage F dient rekening te worden gehouden met verkeersbelasting. In de NEN worden drie typen verkeersbelasting onderscheiden. Voor de onderhavige situatie is een verkeersfactor van 1,5 van toepassing. De situatie aan de zuidzijde van de hoogwatergeul is maatgevend gesteld. De leiding ligt in de berm van de Oeverendijk waarover vrachtverkeer rijdt.

Berekeningen

In dit hoofdstuk wordt de leiding NGIJ Natural Tyton DN100 klasse C50 op een aantal aspecten sterkte technisch getoetst om aan te tonen dat de leiding voldoet aan de NEN 3650 /3651 en NEN 545.

o *Verkeersbelasting*

Conform NEN-EN 545 bijlage F dient de verkeersbelasting met de volgende formule te worden berekend.

$$P_t = 40 \cdot (1 - 2 \cdot 10^{-4} \cdot DN)^{\frac{\beta}{H}}$$

P_t = verkeersbelasting [kN/m²]

DN = nominale middellijn buis [m], rekenwaarde 0,1 m

β = verkeersfactor [-], rekenwaarde 1,5

H = dekking leiding [m], rekenwaarde 1,25 m

Na het invullen van de voornoemde rekenwaarden volgt een verkeersbelasting van afgerond 48 kN/m²

o *Grondbelasting*

Conform NEN-EN 545 bijlage F dient de grondbelasting met de volgende formule te worden berekend.

$$P_e = \gamma H$$

P_e = bovenbelasting grond [kN/m²]

γ = volumegewicht grond [kN/m³], rekenwaarde 20 kN/m³

H = dekking leiding [m], rekenwaarde 1,25 m

Na het invullen van de voornoemde rekenwaarden volgt een grondbelasting van 25 kN/m²

o *Ringstijfheid*

De ringstijfheid van de NGIJ buis Natural Tyton DN100 C50 is minimaal 481 kN/m² (opgave leverancier).

o *Toets deflectie in omtreksrichting*

Er is alleen getoetst op toelaatbare ovalisatie met behulp van de gescheiden spanningstoets. Deze toets mag gebruikt worden wanneer de rek bij breuk groter is dan 10%. De toe te passen nodulair gietijzeren buis voldoet aan dat criterium.

Conform NEN-EN 545 bijlage F dient de ovalisatie met de volgende formule te worden berekend.

$$\Delta = \frac{100K (P_e + P_t)}{8S + (f \cdot E')}$$

Δ = ovalisatie [%]

K = beddingsconstante [-], rekenwaarde = 0,11 (F.1.4 NEN-545)

P_e = bovenbelasting grond [kN/m²], rekenwaarde = 27,5 kN/m² (25 kN/m² x partiële factor 1,1)
 P_t = verkeersbelasting [kN/m²], rekenwaarde = 48 kN/m²
 E' = elasticiteitsmodulus [kN/m²], rekenwaarde = 5000 kN/m² maatgevend voor een goed verdichte sleuf (F.1.6 NEN-545)
 S = ringstijfheid [kN/m²], rekenwaarde = 481 kN/m²
 f = factor laterale druk [-], rekenwaarde = 0,061 (F.1.5 NEN-545)

Na het invullen van de voornoemde rekenwaarden volgt een ovalisatie van 0,20 %.

De conclusie is dat de berekende ovalisatie van 0,20 % kleiner is dan de maximaal toegestane ovalisatie van 3%. De leiding voldoet daarmee aan de eisen van de NEN 3650-5.

o **Toets bovenbelasting**

In de NEN-545 zijn in tabel F.1 hoogtes van toegestane bovenbelastingen vermeld. Deze tabel mag gebruikt worden zonder berekeningen te maken. Voor DN100 zijn tot en met sterkteklasse C40 waarden berekend. Voor sterkteklasse C40 is, uitgaande van een E-modulus van de ondergrond van 0 (zeer lage waarde), een bovenbelasting van 11,9 meter mogelijk. De toe te passen buis met sterkteklasse C50 kan een hogere bovenbelasting aan. De totale berekende bovenbelasting is 73 kN/m² bestaande uit de verkeersbelasting van 48 kN/m² en de grondbelasting van 25 kN/m². Een grondkolom van 11,9 meter geeft een bovenbelasting van 238 kN/m² (11,9 m x 20 kN).

De conclusie is dat de berekende bovenbelasting veel lager ligt dan de maximaal toegestane bovenbelasting en de leiding daarmee voldoet.

o **Toets toegelaten trekspanning uit inwendige druk**

De spanning in de omtrekrichting door inwendige druk moet conform de NEN 3650-5 worden berekend en getoetst aan de grenswaarde voor de spanning met behulp van de volgende formule:

$$\sigma_p = \frac{p_d \times D_g}{2 \times d} \leq \sigma_t = \frac{R_m}{\gamma_m \times \gamma_p}$$

σ_p = spanning als gevolg van de inwendige druk [N/mm²]

p_d = ontwerpdruk [N/mm²], rekenwaarde = 0,8 N/mm²

D_g = gemiddelde diameter (DE - e)[mm], rekenwaarde = 113,6 mm

d = minimale wanddikte [mm], rekenwaarde = 3,5 mm

R_m = treksterkte [N/mm²], rekenwaarde = 420 N/mm²

σ_t = toetsspanning [N/mm²]

$\gamma_m \times \gamma_p$ = veiligheidsfactor conform NEN 3650-5 [-], rekenwaarde = 3

Na het invullen van de voornoemde rekenwaarden volgt voor σ_p = 13 N/mm².

De toetswaarde σ_t = 140 N/mm²

De conclusie is dat de berekende spanning als gevolg van inwendige druk (13 N/mm²) veel lager ligt dan de maximaal toegestane waarde (140 N/mm²). De leiding voldoet daarmee aan de NEN 3650-5 en NEN 3651.

- **Toetsen momenten in axiale richting**

Toetsing van leidingen op buigende momenten in axiale richting is alleen nodig bij leidingen die zijn onderheid en indien er sprake is van grote zettingen of zettingsverschillen en/of uitvoeringszakkingen kunnen optreden. Omdat de bestaande leiding niet is onderheid en er geen grote zettingen, zettingsverschillen of uitvoeringszakkingen optreden, worden momenten in de axiale richting niet additioneel getoetst.

- **Toetsen van de hoekverdraaiing**

Per buisverbinding mag een maximale hoekverdraaiing optreden van 5° . Conform de NEN 3650-5 wordt aanbevolen om in ieder geval tijdens het leggen niet meer dan 50 % van de toegelaten hoekverdraaiing te gebruiken. Dit betreft maximaal $2,5^\circ$. Daarnaast is de importantiefactor van 0,75 van toepassing op de maximale hoekverdraaiing. Bij het toetsen van de hoekverdraaiing door zetting is een maximale hoekverdraaiing van $0,75 \times 2,5^\circ = 1,9^\circ$ aangehouden.

Aan de zuidzijde van de hoogwatergeul is de lengte van de leiding afgerond 180 meter. Uitgaande van buislengtes van 6 meter zijn dat 30 verbindingen. Per verbinding is bij $1,9^\circ$ een hoekverdraaiing met een hoogteverschil van 20 mm toelaatbaar. De leidinglengte kan een maximaal hoogteverschil overbruggen van 600 mm (30 x 20 mm).

De berekende zetting bedraagt 12 mm. Conform NEN 3650-1 tabel B.4 moet een partiële factor van 2 worden toegepast. Voor de toets moet daardoor een zetting van 24 mm worden gehanteerd (12 mm x 2).

De conclusie is dat een zetting van 24 mm binnen de maximaal toelaatbare hoekverdraaiing van de leidinglengte blijft (maximaal hoogteverschil 600 mm) waardoor de leiding voldoet.



HOOGWATERGEUL GRENSMAAS BIJ MAASBAND

STERKTEBEREKENING VOOR VERLEGGING WML WATERLEIDING

Opdrachtgever:
Projectnr:
Datum:

CV Projectbureau Grensmaas
CGM006-0002
8 april 2022

HOOGWATERGEUL GRENSMAAS BIJ MAASBAND

STERKTEBEREKENING VOOR VERLEGGING WML WATERLEIDING

Opdrachtgever:	CV Projectbureau Grensmaas
Projectnr:	CGM006-0002
Rapportnr:	20220408-RAP-SB-Maasband HW geul – verlegging WML leiding
Status:	Definitief
Datum:	8 april 2022

Opsteller:

Verificatie:

Validatie:

T 088 - 33 66 333
F 088 - 33 66 099
E info@kragten.nl



© 2019 Kragten
Niets uit dit rapport mag worden veeleenvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van Kragten. Het is tevens verboden informatie en kennis verwerkt in dit rapport ter beschikking te stellen aan derden of op andere wijze toe te passen dan waaraan in de overeenkomst toestemming wordt verleend.



INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	7
1.1	Aanleiding	7
1.2	Doelstelling	7
2	UITGANGSPUNTEN EN RANDVOORWAARDEN.....	9
2.1	Normen en standaarden.....	9
2.2	Tracébeschrijving	9
2.3	Tekeningen	10
2.4	Ligging t.o.v. primaire waterkering.....	10
2.5	Eisen NEN 3650/51.....	11
2.5.1	Veiligheidszone	11
2.5.2	Importatiefactor.....	11
2.5.3	Relatieve sterkte-eis	11
2.6	Ontwerpgegevens	11
2.7	Materialen.....	12
2.8	Grondgegevens	12
2.8.1	Grondgesteldheid.....	12
2.8.2	Grondwaterstand	12
2.9	Belastingen	13
2.9.1	Uitvoeringszakking.....	13
2.9.2	Zetting	13
2.9.3	Verkeersbelasting	13
2.10	Uitgangspunten voor de spanningsberekeningen	14
2.10.1	Toepassing methodiek vereenvoudigde sterkteberekening conform NEN 3651	14
2.10.2	Opleghoek	14
2.10.3	Horizontale steundruk.....	14
2.10.4	Toelaatbare spanningen	14
2.10.5	Toelaatbare vervormingen	15
2.11	Te onderzoeken doorsneden	16
3	STERKTEBEREKENINGEN	19
3.1	Veiligheidszone	19
3.2	Vervangende waterkering.....	20
3.3	Inwendige druk	20
3.4	Relatieve sterkte-eis	20
3.5	Belastingcombinaties.....	21
3.5.1	Belastingcombinatie I	22
3.5.2	Belastingcombinatie II	22
3.6	Toetsing minimale ringstijfheid	23
3.7	Instabiliteit	23
3.7.1	Implosie.....	23
3.7.2	Instabiliteit door ovalisatie ten gevolge van bovenbelasting	24
3.7.3	Plooi en knik door buiging in langsrichting	24
3.8	Scheurstopcapaciteit.....	24
3.9	Verticale stabiliteit	24
4	AANVULLENDE EISEN TEN BEHOEVE VAN DE UITVOERING.....	27
4.1	Aanvulmateriaal leidingsleuf.....	27
4.2	Hydrostatische beproeving.....	27
5	CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN.....	29

BIJLAGEN

B1	TEKENINGEN
B2	BODEMONDERZOEK
B3	BEREKENING ZETTING
B4	SIGMA-BEREKENINGEN
B5	BEREKENING VAN HET EIGENGEWICHT

TABELLEN

Tabel 1	Normen en standaarden	9
Tabel 2	Tekening ten behoeve van de sterkteberekening	10
Tabel 3	Ontwerpparameters leiding	11
Tabel 4	Toegepaste materialen voor de leidingen	12
Tabel 5	Toegepaste leidingeigenschappen voor sterkteberekening (zie NEN3650-3)	12
Tabel 6	Te onderzoeken doorsnedes	18
Tabel 7	Belastingcombinaties	21
Tabel 8	Berekeningsresultaten voor belastingcombinatie I	22
Tabel 9	Berekeningsresultaten voor belastingcombinatie II	22

AFBEELDINGEN

Afbeelding 1: Tracé leiding en nieuwe locatie hoogwatergeul	9
Afbeelding 2: Satellietbeeld van augustus 2020	10
Afbeelding 3: Locatie werkzaamheden (rode lijn) in relatie tot primaire waterkeringen langs de Maas	10
Afbeelding 4: In rekening te brengen aslaststelsels conform [1]	13
Afbeelding 5: In rekening te brengen doorsnedes voor mediumvoerende waterleiding Ø110 PE SDR11	16
Afbeelding 6: In rekening te brengen doorsnedes voor de mantelbuis Ø250 PE SDR11	17
Afbeelding 7: Bepaling H waarde voor waterkering t.p.v. kruising met nieuwe nutsvoorzieningen en km. 34	19
Afbeelding 8: Principeveergave van de erosiekraater bij 8 bar (ontgrondingsstraal)	19

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding

In Maasband, gemeente Stein, wordt een hoogwatergeul aangelegd om tijdens hoogwater in de Maas extra water te kunnen bergen. Hierdoor moeten verschillende leidingen verlegd worden onder de hoogwatergeul en door twee hoogwaterkeringen. Voor de nieuwe leidingsecties zijn NEN 3650-sterkteberekeningen noodzakelijk.

1.2 Doelstelling

In dit rapport worden voor de onderstaande leidingen de sterkteberekeningen beschreven en de resultaten gepresenteerd:

- | | |
|---|-----------------|
| - Drinkwaterleiding WML | Ø110 HDPE SDR11 |
| - Mantelbuis om de waterleiding in de waterkering en onder de hoogwatergeul | Ø250 HDPE SDR11 |

De sterkteberekeningen zijn met behulp van het softwareprogramma Sigma gemaakt. De rapportage voor de naastgelegen gasleiding van Enexis wordt in een aparte rapportage gepresenteerd. Zie hiervoor de rapportage "Hoogwatergeul Grensmaas bij Maasband – sterkteberekening voor verlegging Enexis gasleiding".

2 UITGANGSPUNTEN EN RANDVOORWAARDEN

2.1 Normen en standaarden

Voor het beoordelen van het ontwerp zijn de normen uit tabel 1 van toepassing.

Tabel 1 Normen en standaarden

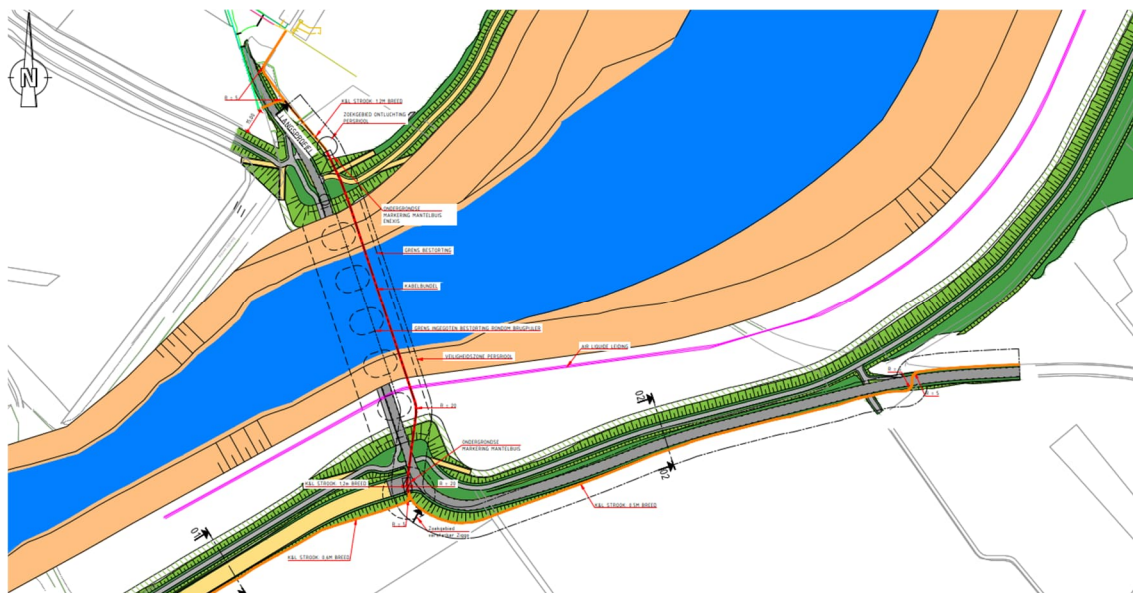
Ref.	Norm/standaard	Versie	Omschrijving
[1]	NEN 3650-1	2020	Eisen voor buisleidingsystemen – Deel 1: Algemene eisen
[2]	NEN 3650-1	2020	Eisen voor buisleidingsystemen – Deel 3: Aanvullende eisen voor leidingen van kunststof
[3]	NEN 3651	2020	Aanvullende eisen voor buisleidingen in of nabij belangrijke waterstaatswerken

In dit rapport worden in het vervolg de versienummer en jaar van uitgaven van de normen niet herhaald.

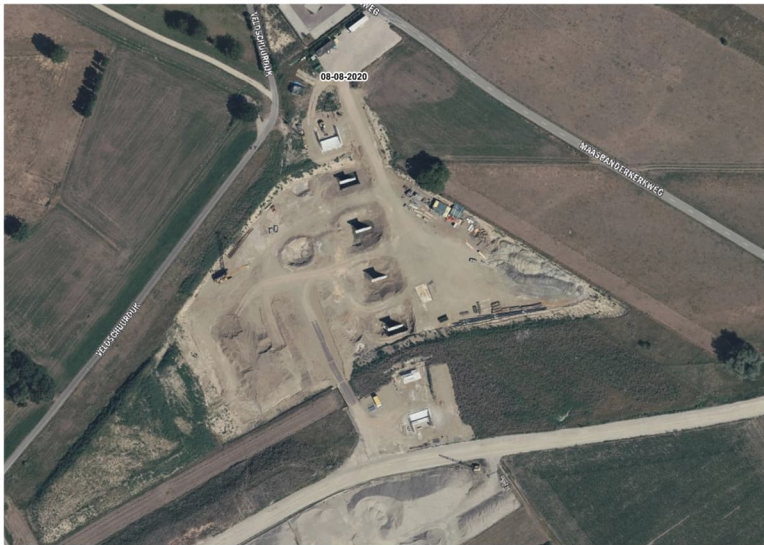
2.2 Tracébeschrijving

Het tracé van de leidingen ligt parallel aan de nieuw te bouwen hoogwaterbrug tussen Maasband en Stein in de gemeente Stein. De leidingen liggen door de nieuw aan te leggen hoogwatergeul en kruisen daarbij aan beide kanten van de geul een primaire waterkering.

Hieronder is een uitsnede te zien van het tracé van de verlegde waterleiding. In de tweede afbeelding is te zien wat de situatie in 2020 was vanuit een satellietbeeld.



Afbeelding 1: Tracé leiding en nieuwe locatie hoogwatergeul



Afbeelding 2: Satellietbeeld van augustus 2020

2.3 Tekeningen

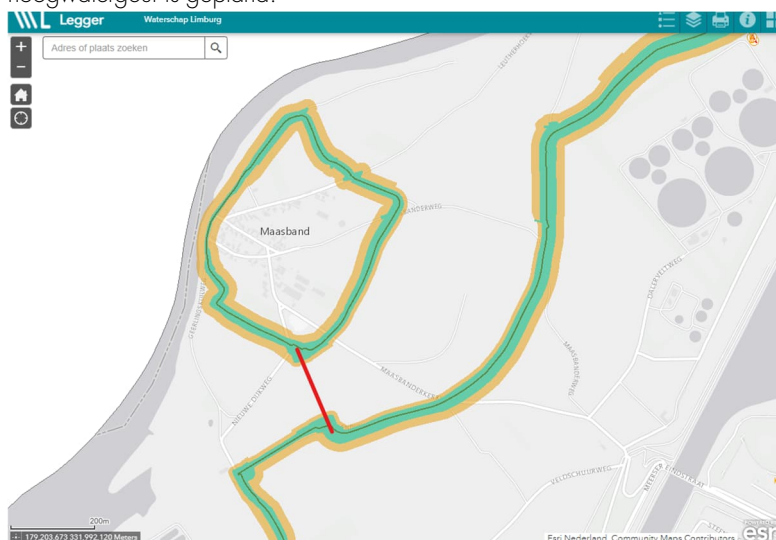
Een overzicht van de tekeningen die gebruikt zijn voor de beoordeling van de configuratie is weergegeven in tabel 2. De tekeningen zijn opgenomen in bijlage B.1.

Tabel 2 Tekening ten behoeve van de sterkteberekening

Tekeningnummer	Titel	Versie	Datum
2022-0546	Definitief ontwerp kabels en leidingen tracé's Variant 3	0	21-03-2022

2.4 Ligging t.o.v. primaire waterkering

Zoals in de onderstaande doorsnede te zien is, kruisen de nutsleidingen de strook waar de nieuw te maken hoogwatergeul is gepland.



Afbeelding 3: Locatie werkzaamheden (rode lijn) in relatie tot primaire waterkeringen langs de Maas

2.5 Eisen NEN 3650/51

Formeel dienen alle leidingen die binnen de veiligheidszone van een waterkering liggen te voldoen aan de eisen van de NEN 3651:2020 en NEN 3650-serie (ook uit 2020).

2.5.1 Veiligheidszone

De veiligheidszone wordt gevormd door de stabiliteitszone en de helft van de maximale erosiekrater. De erosiekrater is o.a. drukafhankelijk en leiding/locatie-specifiek. Het tracé van de nieuwe leidingen doorkruist de veiligheidszones van de dijken van de hoogwatergeul. De veiligheidszones worden in hoofdstuk 3 berekend en zijn aangeduid op de routekaarten in bijlage B.1.

2.5.2 Importantiefactor

De toetswaarde van een te berekenen spanning of vervorming van de leiding in de veiligheidszone wordt bepaald door de toetswaarde met de importantiefactor te vermenigvuldigen. De importantiefactor geeft het belang van een waterstaatswerk weer. Dit belang is gebaseerd op de immateriële (mensenlevens) en materiële (economisch) schade die wordt veroorzaakt indien een waterstaatswerk faalt. NEN 3651 [3] geeft aan welke importantiefactor dient te worden toegepast.

De importantiefactor is op aangeven van Waterschap Limburg op 0,75 gesteld. Dit leidt voor deze projectlocatie, kijkend naar NEN 3651 [3], tot een conservatieve berekening.

2.5.3 Relatieve sterkte-eis

Conform paragraaf 6.6 van NEN 3651 [3] dient de leiding in de waterkering en veiligheidszones 20% sterker te zijn voor inwendige druk dan de aansluitende leidingdelen. Aan deze eis kan in dit project voor de waterleiding voldaan worden door buiten de veiligheidszones een Ø110 SDR17 HDPE leidingsectie toe te passen op de overgang naar de bestaande leidingen. Deze heeft een kleinere wanddikte dan de Ø110 SDR11 leiding die wordt toegepast binnen de veiligheidszones en de waterkeringen. In hoofdstuk 3 is dit uitgewerkt.

2.6 Ontwerpgegevens

WML heeft aangegeven de volgende soorten leidingen te willen toepassen:

- Drinkwaterleiding Ø110 HDPE PE100 SDR11
- Mantelbuis om de waterleiding in waterkering Ø250 HDPE PE100 SDR11

WML heeft een ontwerpdruk van 16 bar aangegeven, hetgeen de maximale druk van de leidingklasse betreft. Een druk van 16 bar zou erg hoog zijn voor de leidingen in dit gebied. Bovendien voldoet het druk-diameter criterium ($25.5 \leq 40$ bij zelfs 16 bar) goed. Zodoende is aan het waterschap Limburg voorgelegd om met een ontwerpdruk van 8 bar te rekenen. Dit is voorgelegd aan het waterschap Limburg en zij hebben hiermee ingestemd. Zodoende wordt gerekend met een ontwerpdruk van 8 bar.

Tabel 3 Ontwerpparameters leiding

Type leiding	Ontwerpdruk	Δ Temperatuur
	[N/mm ²]	[°C]
Mediumvoerende leiding WML	0,8	10

Conform NEN3650-1 deel 1, paragraaf 8.2.7 moet de mantelbuis alle uitwendige belasting kunnen opnemen.

2.7 Materialen

Voor de sterkteberekening zijn de eigenschappen en materialen uit tabellen 4 en 5 toegepast.

Tabel 4 Toegepaste materialen voor de leidingen

Parameter	Symbool	Eenheid	Ø110	Ø250
Materiaal en klasse	-	-	PE100 SDR11 en 17	PE100 SDR11
Uitwendige diameter	D_e	[mm]	110	250
Wanddikte	d	[mm]	10,0 en 6,4	22,7

Tabel 5 Toegepaste leidingeigenschappen voor sterkteberekening (zie NEN3650-3)

Parameter	Symbool	Eenheid	PE100
Minimal required strength	MRS	N/mm ²	10,0
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	N/mm ²	975
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	N/mm ²	350
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	mm/mm°C	0,00016
Poisson factor	ν	-	0,40
Verhouding zuivere trek/buigtrek	α_σ	-	0,65
Dichtheid	-	kg/m ³	950

Er is reeds in 2018 een berekening gemaakt voor de rioolpersleiding die parallel gelegd waarin gekeken is of ook een SDR 13.6 leiding toegepast kan worden in het gedeelte tussen de waterkeringen. Maar aangezien in dit gedeelte de leiding de waterdruk van een hoogwatersituatie moet kunnen weerstaan, bleek een SDR13.6 leiding niet te voldoen. Daarom is verder in dit rapport niet meer nagegaan of lagere sterkteklassen zoals SDR13.6 toepasbaar is in dit project. In hoofdstuk 3 is de sterkteberekening verder beschreven.

2.8 Grondgegevens

2.8.1 Grondgesteldheid

Door Geonius is bodemonderzoek uitgevoerd ter plaatse van de nieuw te leggen leidingen. Dit onderzoek is opgenomen in bijlage B.2.

Uit de boorprofielen in dit onderzoek blijkt dat de grond, ter hoogte van de leidingen, voornamelijk bestaat uit leem (matig/sterk zandig) en zand (matig tot sterk siltig). Op de diepste punten (tussen de beide waterkeringen) bestaat de grond voornamelijk uit grind (matig/sterk zandig) en leem zoals in de profielen B05 en B06 te zien is.

De representatieve waarden van de grondeigenschappen zijn bepaald conform tabel 2b van de NEN 9997-1+C2:2017.

De grondmechanische parameters zijn in het programma Sigma bepaald aan de hand van de ingevoerde grondtype en dekking. Voor belastingcombinatie I is de reële grondlast toegepast, voor belastingcombinatie II de neutrale grondlast.

2.8.2 Grondwaterstand

Voor de grondwaterstand is een hoogte van 32,5 m+NAP aangehouden. Dit is een waterhoogte in de Maas (t.h.v. km 34 – Maasband) die meer dan 300 dagen per jaar aanwezig is. Daarom nemen we in deze berekening aan dat deze waterhoogte zal optreden. Uit de boringen blijkt dat de grondwaterstand veel dieper ligt, echter zodra de waterkering in gebruik is zal het geheel gebruikt worden om water te keren. Dan is het aannemelijk dat ook de grondwaterstand in de keringen zelf zal stijgen.

2.9 Belastingen

2.9.1 Uitvoeringszakking

De nieuwe leidingen en mantelbuizen worden op de bodem van de hoogwatergeul in een sleuf aangelegd, echter hoeft hier niet dieper ontgraven te worden dan de onderkant van de leiding. Er is daar dan ook geen uitvoeringszakking te verwachten.

Nadat de leidingen in de mantelbuizen worden ingetrokken zijn uitvoeringszakkingen van de mediumvoerende leiding te verwachten aan weerszijden van de mantelbuis.

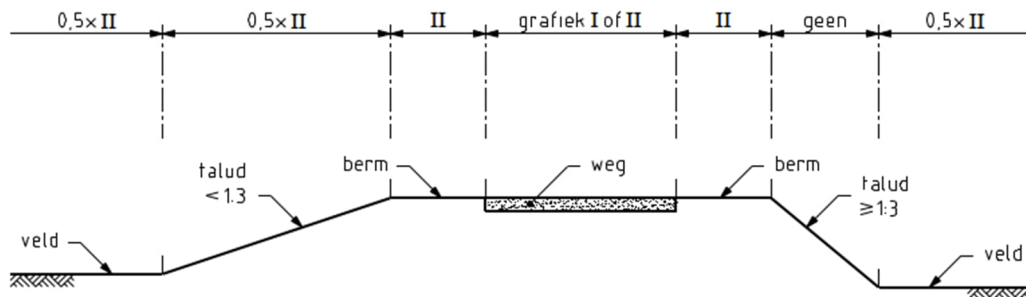
De delen van de leidingen die ter plaatse van de nieuwe waterkeringen worden gelegd, worden niet in een sleuf aangebracht, omdat het gehele omliggende grondpakket nieuw aangelegd wordt. Hierdoor is ook voor deze delen geen uitvoeringszakking van toepassing. Wel kan er zetting plaatsvinden in de waterkeringen.

2.9.2 Zetting

Door een nieuw grondlichaam te plaatsen (de beide waterkeringen) zal de ondergrond zetting ondervinden. Ook zullen de nieuwe waterkeringen zelf zetting ondervinden. Er is een inschatting gemaakt van de totale te verwachten zetting, zodat de invloed op aan te leggen leiding ook bepaald kan worden. De zetting is in 2018 door Tebodin voor de rioolpersleiding bepaald op 20 mm. Deze zetting is toegepast op de mantelbuis ter plaatse van de waterkering. De berekening van deze zetting is te vinden in bijlage B.3.

2.9.3 Verkeersbelasting

Voor de verkeersbelasting ter plaatse van de kruising van de weg (ter hoogte van de dijk/hoge dekking) is gerekend met verkeersklasse type grafiek II volgens NEN 3650 [1]. Ter plaatse van de lage dekking en ter plaatse van de aansluiting op de bestaande leiding is gerekend met een halve grafiek I. Zie hieronder figuur C.16 van [1].



Afbeelding 4: In rekening te brengen aslaststelsels conform [1]

Daarnaast is er, conservatief, geen rekening gehouden met de ontlastende invloed van wegconstructies.

2.10 Uitgangspunten voor de spanningsberekeningen

De spanningsberekeningen zijn gebaseerd op gegevens en criteria uit NEN 3650 [1, 2] en NEN 3651 [3]. De punten in de volgende subparagrafen zijn van belang als basis voor de spanningsberekeningen of als toetsingscriterium van de uitkomsten van de spanningsberekeningen.

2.10.1 Toepassing methodiek vereenvoudigde sterkteberekening conform NEN 3651

Conform paragraaf 8.5 van [3] mogen vloeistofleidingen vereenvoudigd worden berekend indien zij aan een aantal voorwaarden voldoen.

Dit betreft de volgende criteria:

- De ontwerpdruk dient kleiner of gelijk te zijn aan 1 MPa,
- De te verwachten zettingsverschillen < 100 mm,
- De leiding wordt niet door bestuurbaar horizontaal boren aangelegd,
- Het verschil in aanlegtemperatuur en bedrijfstemperatuur is niet meer dan 35 K,
- Ook wat betreft de druk/diameter eis blijft de betreffende leiding onder de grens van de 40 m⁸.
Het druk-diameter criterium = 25,5 (bij 16 bar druk)

De drinkwaterleiding die WML wil toepassen in de verlegging voldoet geheel aan deze eisen, met uitzondering van de ontwerpdruk. WML heeft een ontwerpdruk van 16 bar aangegeven. Deze waarde betreft echter de maximale druk van de leidingklasse. Een druk van 16 bar zou erg hoog zijn voor de leidingen in dit gebied. Bovendien voldoet het druk-diameter criterium ($25,5 \ll 40$ bij zelfs 16 bar) goed. Zodoende is aan het waterschap Limburg voorgelegd om met een ontwerpdruk van 8 bar te rekenen. Het waterschap heeft hiermee ingestemd.

Zodoende wordt gerekend met 8 bar en mag de methodiek van de vereenvoudigde sterkteberekening conform NEN3651 worden toegepast.

2.10.2 Opleghoek

Voor de opleghoek van de PE100 SDR11 buizen is rekening gehouden met 70° omdat alle buizen een ringstijfheid (SN-waarde) bezitten in de korte duur die hoger is dan 60 kN/m².

Voor de lange duur en voor SDR17 buizen kan worden gerekend met een opleghoek van 120° omdat de ringstijfheid kleiner is dan 60 kN/m². Zie hiervoor paragraaf C.4.1.3 van [1].

2.10.3 Horizontale steundruk

Voor drukloze leidingen in zandgronden is het, naast het toepassen van horizontale steundruk, ook toegestaan om de steundruk toe te passen die volgt uit de IOWA formule. Zie hiervoor paragraaf C.4.2.5.2.2 uit [1]. Voor leidingen onder druk mag de IOWA formule toegepast worden onder bepaalde voorwaarden. Aan deze voorwaarde wordt hier voldaan. Zie hiervoor de resultaten van de sterkteberekeningen in bijlage B.4A t/m B.4F.

2.10.4 Toelaatbare spanningen

Voor korte duur (belastingcombinatie I) is de maximaal toelaatbare trekspanning gelijk aan de MRS-waarde (10 N/mm²).

Voor lange duur (belastingcombinatie II) is de maximaal toelaatbare trekspanning gelijk aan de MRS-waarde gedeeld door de materiaalfactor 1,25, dus $10,0 / 1,25 = 8,0$ N/mm².

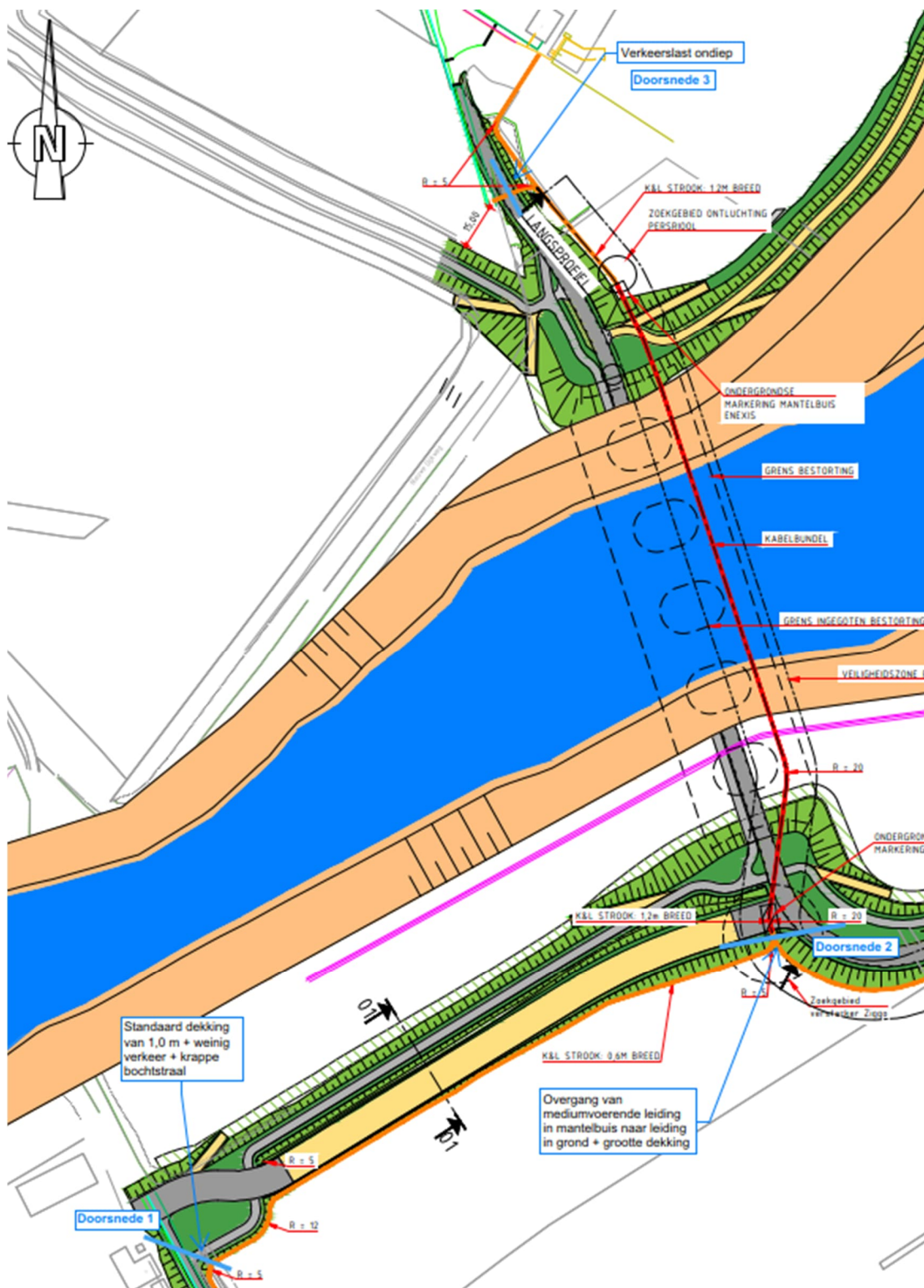
In verband met de importantiefactor 0,75 is de maximale toelaatbare trekspanning voor korte duur gelijk aan $10,0 \times 0,75 = 7,5$ N/mm² en voor lange duur $8,0 \times 0,75 = 6,0$ N/mm².

2.10.5 Toelaatbare vervormingen

Conform [2] is de maximaal toegestane vervorming (deflectie) voor de lange duur 8%. In verband met de importantiefactor van 0,75 wordt de toelaatbare deflectie gereduceerd tot 6%.

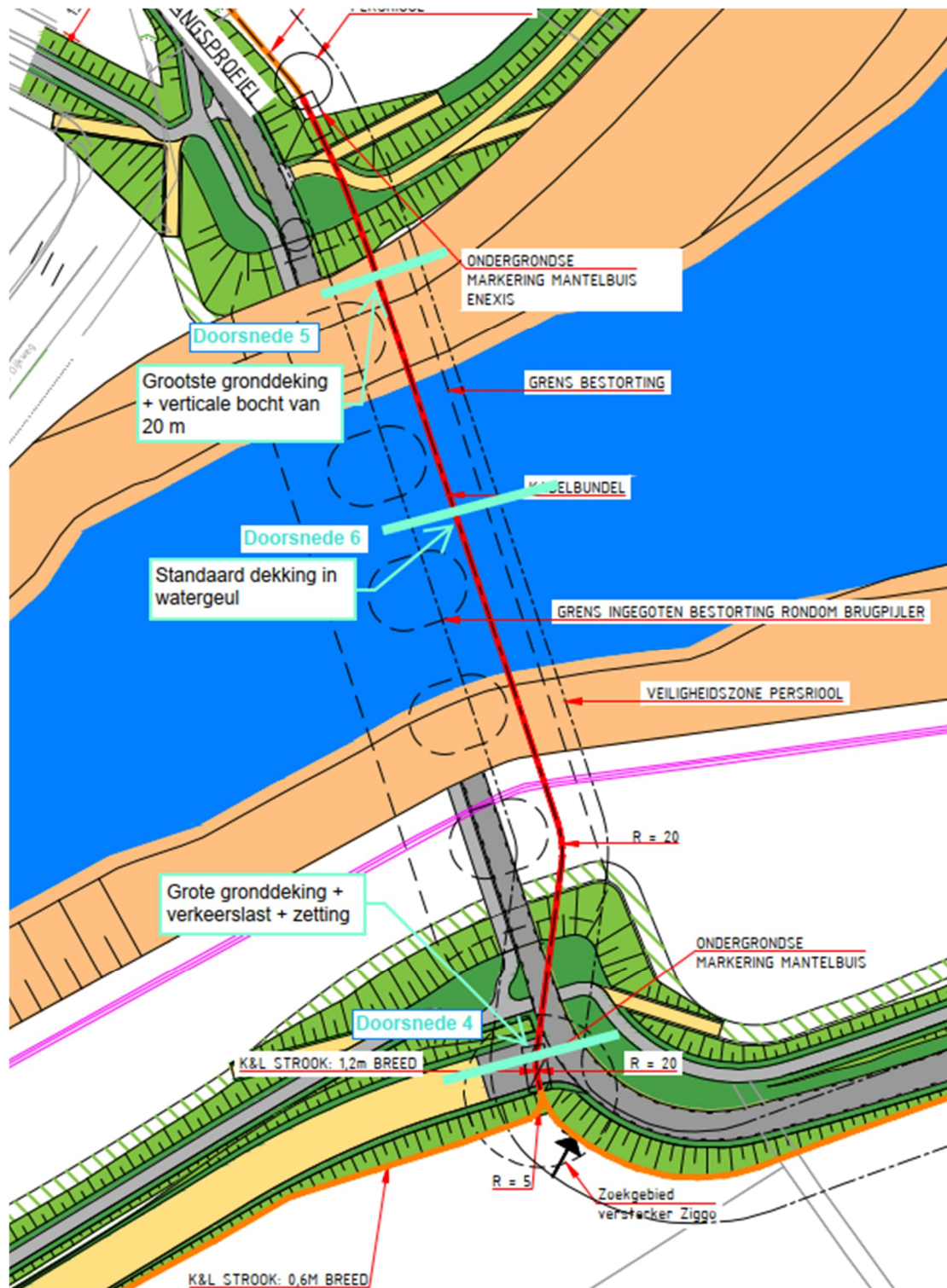
2.11 Te onderzoeken doorsneden

In het kader van deze sterkteberekening worden de maatgevende doorsneden in het softwarepakket Sigma apart berekend voor de mediumvoerende leiding, respectievelijk voor de mantelbuis. In afbeelding 5 zijn de door te rekenen doorsnedes voor de mediumvoerende leiding aangeduid.



Afbeelding 5: In rekening te brengen doorsneden voor mediumvoerende waterleiding Ø110 PE SDR11

In afbeelding 6 zijn de door te rekenen doorsneden voor de mantelbuis van de waterleiding aangegeven.



Afbeelding 6: In rekening te brengen doorsneden voor de mantelbuis Ø250 PE SDR11

De volgende doorsneden worden berekend:

Tabel 6 Te onderzoeken doorsnedes

Doorsnede	Diameter [mm]	Gronddekking [m]	Grond	Niveau leiding [m + NAP]	Verkeersbelasting	Bochtstraal [m]
Mediumvoerende drinkwaterleiding						
1	Ø110	1,00	Leem	34,1	0,5 x Grafiek II	5,0
2 ^A	Ø110	4,40	Leem	34,1	Geen	5,0
3	Ø110	1,20	Grind	34,1	Grafiek II	n.v.t.
Mantelbuis						
4	Ø250	4,40	Zand	34,1	Grafiek II	20,0
5	Ø250	4,85	Grind	28,3	Geen	20,0
6	Ø250	2,00	Grind	27,4	0,5 x Grafiek II	n.v.t.

Doorsnede 2A is genomen op de plaats waar de mediumvoerende waterleidingbuis de mantelbuis verlaat.

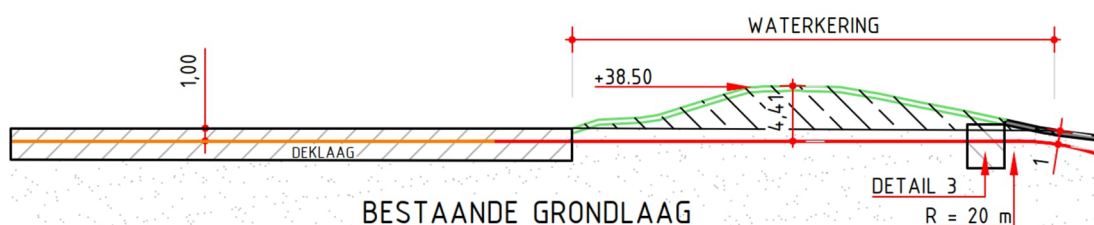
3 STERKTEBEREKENINGEN

De sterkteberekeningen zijn uitgevoerd volgens de methodiek van de vereenvoudigde sterkteberekening conform NEN 3650-1, NEN 3650-3 en NEN 3651. Deze berekeningen zijn gemaakt met behulp van het softwarepakket Sigma, versie 3.0 uit 2021.

3.1 Veiligheidszone

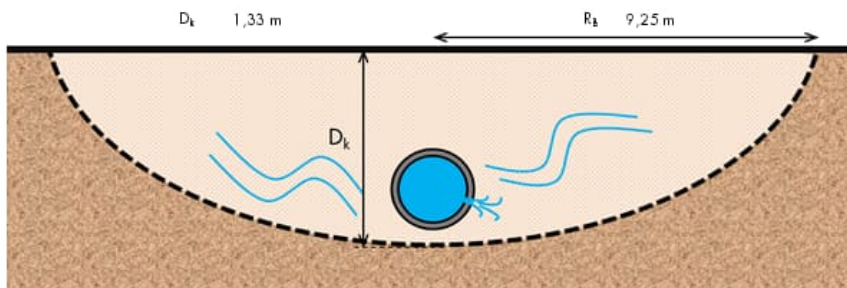
De veiligheidszone wordt gevormd door de stabiliteitszone en de helft van de maximale erosiekrater.

De stabiliteitszone is in deze situatie op basis van de NEN 3651 gelijk aan viermaal de hoogte van de waterkering. Rekening houdend met eventuele glijvlakken, is H in deze situatie bepaald op 3,40 m aan de binnendijkse zijde van de waterkering. Hiermee wordt de stabiliteitszone 13,4 m. Zie hiervoor ook afbeelding 7.



Afbeelding 7: Bepaling H waarde voor waterkering t.p.v. kruising met nieuwe nutsvoorzieningen en km. 34

De straal van de erosiekrater is dan 9,25 m bij de gerekende druk van 8 bar in de waterleiding. De diepte bedraagt ca. 1,33 meter.



Afbeelding 8: Principeweergave van de erosiekrater bij 8 bar (ontgrondingsstraal)

Deze verkregen waarden zijn berekend met de vereenvoudigde formule voor de erosiekrater en zodoende conservatief.

De veiligheidszone wordt aldus 22,85 m. Deze geldt vanaf de teen van het talud van de waterkering.

Alle buizen die binnen de grenzen van de veiligheidszone vallen dienen aan de eisen gesteld in de NEN 3650 en NEN 3651 te worden getoetst.

3.2 Vervangende waterkering

NEN 3651 schrijft voor dat er onder bepaalde condities bij leidingkruisingen met primaire waterkeringen als waterstaatkundige voorziening een enkelvoudige stalen damwandconstructie moet worden aangebracht. De functie is beperking van het risico op falen van de waterkering als gevolg van erosie, in het geval de leiding lekt raakt of breekt. In dit geval wordt de waterleiding in een doorgaande mantelbuis Ø 250mm aangebracht die begint en eindigt buiten de veiligheidszones. De mantelbuis vervult hier de functie van extra vloeistofkering. In de plantekening in bijlage 1 zijn de ligging van de mantelbuis en de grenzen van de veiligheidszone aangeduid. Aan de zuidzijde waar een deel van de waterleiding langs de rand van de weg ligt, wordt nog als extra voorziening een folie naast de leidingsleuf toegepast.

3.3 Inwendige druk

De omtrekspanning in de leiding ten gevolge van inwendige druk wordt getoetst aan 90% van de MRS-waarde van het materiaal conform NEN 3651 paragraaf 8.5.2.1. De toetswaarde is $0,9 \times 10 \text{ N/mm}^2 = 9 \text{ N/mm}^2$.

Conform NEN 3651 paragraaf 8.5.2.1 dient de ringspanning door inwendige druk bepaald te worden. Onderstaand worden de waardes bepaald voor de Ø110 SDR11 mediumvoerende leiding, voor een druk van 8 bar.

Bij dikwandige buisleidingen SDR11 ($D_g/d < 20$) moet de ringspanning door inwendige druk worden bepaald volgens:

$$\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \times p_a = \frac{55^2 + 45^2}{55^2 - 45^2} \times 0,8 = 4,04 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Hiermee voldoet de leiding in klasse SDR 11 bij de bedrijfsdruk van 8 bar aan de toetswaarde voor inwendige druk.

3.4 Relatieve sterkte-eis

Aan de relatieve sterkte-eis kan in dit project voldaan worden door buiten de veiligheidszones op de overgang naar de bestaande leidingen een SDR17 PE leidingsectie toe te passen in de Ø110 SDR11 PE waterleiding. Deze Ø110 SDR17 PE sectie heeft een kleinere wanddikte dan de Ø110 SDR11 leiding. Hierbij moet aangetoond worden dat de leiding in de waterkering 20% sterker is dan de SDR17 sectie.

Voor de SDR17 buis buiten de waterkering is de ringspanning gelijk aan:

$$\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \times p_a = \frac{55^2 + 48,5^2}{55^2 - 48,5^2} \times 0,8 = 6,4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Hiermee voldoet de SDR 17 leidingsectie bij de druk van 8 bar aan de toetswaarde voor inwendige druk.

De verhouding tussen de ringspanning in de SDR 17 sectie op de aansluiting buiten de veiligheidszone en de ringspanning in de waterleiding in de waterkering is 1,59. Er wordt voldaan aan de eis dat de leiding in de kruising meer dan 20% (factor 1,2) sterker moet zijn dan de SDR17 sectie buiten de kruising.

3.5 Belastingcombinaties

Een tweetal combinaties van externe belastingen moet worden onderzocht. Belastingcombinatie I treedt de eerste jaren na de aanleg van de leiding op. Combinatie II treedt daarna op (lange duur).

Belastingcombinatie I (BC I) bestaat uit:

- Reële grondbelasting;
- Uitvoeringszakingsverschil;
- Verkeersbelasting;
- Verhinderde expansie door temperatuurverschil tussen aanleg en bedrijfsvoering.

Belastingcombinatie II (BC II) bestaat uit:

- Neutrale grondbelasting;
- Uitvoeringszakingsverschil;
- Zettingsbelasting;
- Verkeersbelasting;
- Verhinderde expansie door temperatuurverschil tussen aanleg en bedrijfsvoering.

Voor alle genoemde belastingen dient de spanning in axiale en tangentiële richting te worden bepaald. Voor belastingcombinatie I kan worden uitgegaan van de elasticiteitsmodulus voor korte duur (E). Voor belastingcombinatie II kan worden uitgegaan van de elasticiteitsmodulus voor lange duur (E').

Voor leidingen vervaardigd uit thermoplasten is het niet nodig de berekende omtrekspanningen door inwendige druk en de berekende omtrekspanningen ten gevolge van uitwendige belastingen (grond, verkeer enz.) samen te stellen. De toetsing aan de toegelaten spanning mag in dit geval voor beide belastinggevallen, d.w.z. inwendige druk alléén enerzijds en uitwendige belastingen zonder inwendige druk anderzijds, afzonderlijk worden uitgevoerd.

In tabel 7 is een overzicht gegeven van de door te rekenen belastingcombinaties.

Tabel 7 Belastingcombinaties

	Belastingcombinatie I	Belastingcombinatie II
Toetswaarde trekspanning	MRS-waarde	MRS-waarde / γ_m
Inwendige druk	✗	✗
Grondlast	Reëel	Neutraal
Elasticiteitsmodulus	E	E'
Verkeerslast	✓	✓
Uitvoeringszakking	✓	✓
Zettingsbelasting	✗	✓
Verhinderde expansie	✓	✓

De berekende gesommeerde spanningen moeten worden getoetst aan de toetswaarde. De trekspanning in axiale richting σ_x en omtreksrichting σ_y worden conform de spanningscriteria in NEN 3650-3 paragraaf 8.5.4.4.1 separaat getoetst aan de MRS-waarde (voor BC I) of de MRS-waarde / γ_m (voor BC II).

Voor de toelaatbare buigtrekspanning geldt dat de toelaatbare zuivere trekspanning door de α_s -waarde uit tabel 5 mag worden gedeeld. Om buigtrekspanning en zuivere trekspanning aan dezelfde toetswaarde voor trekspanning te kunnen toetsen, wordt de berekende buigtrekspanning vermenigvuldigd met α_s . De invoer in het Sigma model is terug te vinden in bijlage B.4.

3.5.1 Belastingcombinatie I

In tabel 8 worden de berekende maximale trekspanningen en ovalisatie weergegeven voor belastingcombinatie I. De output van Sigma is opgenomen in bijlage B.4.

Tabel 8 Berekeningsresultaten voor belastingcombinatie I

Drns ^B	Maximaal berekende axiale spanning ^C [N/mm ²]	Spannings-ratio	Maximaal berekende omtrek-spanning ^D [N/mm ²]	Spannings-ratio	Deflectie [%]	Deflectie-ratio
1	3,19	39,9%	2,54	31,8%	0,7%	11,7%
2	3,19	51,9%	5,33	66,6%	3,7%	61,7%
3	3,19	39,9%	4,97	62,1%	0,9%	15,0%
4	0,09	1,1%	4,77	59,6%	3,4%	56,7%
5	0,10	1,3%	6,00	75,0%	0,9% ^E	15,0%
6	0,10	1,3%	2,60	32,5%	0,8%	13,3%

Uit de berekeningsresultaten blijkt dat in belastingcombinatie I de maximale berekende trekspanning 6,0 N/mm² bedraagt. Deze maximale trekspanning is berekend in de mantelbuis ter plaatse van de onderbocht in de waterkering aan zijde Maasband, bij de grootste gronddekking. De spanning bedraagt hier 75,0 % van de maximaal toelaatbare trekspanning, zijnde 7,5 N/mm² incl. importantiefactor. De leiding voldoet sterktechnisch in belastingcombinatie I.

De maximale berekende deflectie van 3,7% is lager dan 6,0 % en voldoet dus ook aan de eis.

3.5.2 Belastingcombinatie II

In tabel 9 worden de berekende maximale trekspanningen en ovalisatie weergegeven voor belastingcombinatie II. De output van Sigma is opgenomen in bijlage B.4.

Tabel 9 Berekeningsresultaten voor belastingcombinatie II

Drns ^F	Maximaal berekende axiale spanning ^G [N/mm ²]	Spannings-ratio	Maximaal berekende omtrek-spanning [N/mm ²]	Spannings-ratio	Deflectie [%]	Deflectie-ratio
1	3,19	53,2%	1,58	26,3%	0,7%	11,7%
2	3,95	65,8%	4,34	72,3%	3,7%	61,7%
3	3,19	53,2%	2,02	33,7%	0,9%	15,0%
4	0,81	13,5%	4,16	69,3%	3,4%	56,7%
5	0,10	1,3%	1,81	30,2%	0,9% ^H	15,0%
6	0,10	1,3%	1,07	17,8%	0,8%	13,3%

Uit de berekeningsresultaten blijkt dat de maximale berekende trekspanning in belastingcombinatie II niet hoger is dan 4,34 N/mm². De maximale trekspanning in belastingcombinatie II is berekend in de mediumvoerende leiding in doorsnede 2. Dit is op de plaats waar de mediumvoerende buis aan de zuidzijde uit de mantelbuis komt (zie de berekening "geperst /gelegd" in bijlage 4).

De spanning bedraagt hier 72,3 % van de maximaal toelaatbare trekspanning zijnde 6,0 N/mm² incl. importantiefactor. De leiding voldoet sterktechnisch in belastingcombinatie II.

De maximale berekende deflectie van 3,7% is lager dan 6,0 % en voldoet dus ook aan de eis.

^B Voor doorsnedes 1 t/m 3 is de maatgevende waarde gekozen tussen de berekening met druk en de berekening zonder druk.

^C Toelaatbare spanning is $10 \times 0,75 = 7,5$ N/mm².

^D Idem.

^E Met toepassing van de IOWA formule

^F Voor doorsnedes 1 t/m 3 is de maatgevende waarde gekozen tussen de berekening met druk en de berekening zonder druk.

^G Toelaatbare spanning is $(10/1,25) \times 0,75 = 6,0$ N/mm².

^H Met toepassen van IOWA formule

3.6 Toetsing minimale ringstijfheid

Conform [3] paragraaf 11.2.1.3 en [2] paragraaf 8.5.2 moet de minimale ringstijfheid gelijk aan of groter zijn dan 2,0 kN/m². Voor de PE100-buizen is de controleberekening onderstaand nader toegelicht. De ringstijfheid wordt als volgt berekend:

$$S = \frac{E_t \times I_w}{D_g^3}$$

Waarin:

S	= specifieke ringstijfheid	[N/mm ²];
E_t	= elasticiteitsmodulus lange duur bij buiging in tangentiële richting	[N/mm ²]
I_w	= traagheidsmoment buiswand	[mm ⁴ /mm], met: $I_w = \frac{d_g^3}{12}$
D_g	= gemiddelde buismiddellijn over de dwarsdoorsnede	[mm]
d_g	= gemiddelde wanddikte	[mm]

SDR11:

Invullen voor de leiding voor de korte duur geeft:

$$S = \frac{E_t \times I_w}{D_g^3} = \frac{975 \times 83,33}{100^3} = 0,0812 \frac{N}{mm^2} = 81,2 \frac{kN}{m^2}$$

Invullen voor de leiding voor de lange duur geeft:

$$S = \frac{E_t \times I_w}{D_g^3} = \frac{350 \times 83,33}{100^3} = 0,0292 \frac{N}{mm^2} = 29,2 \frac{kN}{m^2}$$

SDR17:

Invullen voor de leiding voor de korte duur geeft:

$$S = \frac{E_t \times I_w}{D_g^3} = \frac{975 \times 22,57}{103,53^3} = 0,0198 \frac{N}{mm^2} = 19,8 \frac{kN}{m^2}$$

Invullen voor de leiding voor de lange duur geeft:

$$S = \frac{E_t \times I_w}{D_g^3} = \frac{350 \times 22,57}{103,53^3} = 0,00712 \frac{N}{mm^2} = 7,12 \frac{kN}{m^2}$$

Hieruit blijkt dat de ringstijfheid van zowel de SDR11 als van de SDR17 buis PE100 voldoet aan de eis.

3.7 Instabiliteit

3.7.1 Implosie

Bij hoogwater in de Maas zal de situatie voorkomen dat er een alzijdige hydrostatische overdruk rond de leiding heerst. Conform NEN 3651 dient de leiding in de kruising daarom op implosie getoetst te worden. Het toelaatbare drukverschil p_0 kan als volgt worden berekend:

$$p_0 = \frac{24 \times S}{\gamma(1 - \nu^2)}$$

Waarin:

p_0	= drukverschil tussen uitwendige alzijdige overdruk en druk in de leiding	[N/mm ²];
-------	---	-----------------------

S	= specifieke ringstijfheid	$[N/mm^2];$
γ	= Veiligheidsfactor voor langdurige onderdruk: $\gamma=3$	$[-]$

Invullen voor de HDPE SDR11 buis (lange duur) geeft:

$$p_0 = \frac{24 \times S}{\gamma(1 - \nu^2)} = \frac{24 \times 0,0292}{3(1 - 0,3^2)} = 0,2564 \frac{N}{mm^2}$$

Dit komt overeen met 25,6 m waterkolom druk op een lege leiding.

Dat is veel hoger dan kan optreden bij de kruinhoogte van de waterkeringen binnen dit projectgebied. Indien de leiding leeg is, zal deze dus bestand zijn tegen de alzijdige hydrostatische overdruk die zou ontstaan bij hoogwater (waterstand maximaal gelijk aan de kruin van de dijk).

Bij technisch laagst mogelijke druk in de leiding: vacuüm (onderdruk -1 bar = -10 mwk) is de maximaal toelaatbare waterhoogte boven de onderkant van de leiding gelijk aan $25,6 - 10 = 15,6$ mwk. Dit is ook ruimschoots hoger dan de hoogste waterstand die kan optreden.

De leiding voldoet dus.

3.7.2 Instabiliteit door ovalisatie ten gevolge van bovenbelasting

Uit de berekening blijkt dat de ovalisatie beperkt is tot maximaal 3,7% en dermate beperkt is, dat instabiliteit door ovalisatie niet verder is getoetst.

3.7.3 Plooi en knik door buiging in langsrichting

De kritieke kromtestraal R_b waarbij in de plastisch gebogen leiding plooi ontstaat is conform NEN 3650-3 berekend:

$$\frac{R_B}{D_e} = \frac{D_g}{1,12 \times d_g}$$

Bij een SDR11 buis treedt de krapste kritieke straal op. Deze bedraagt:

$$\rightarrow R_B = \frac{D_e \times D_g}{1,12 \times d_g} = \frac{110 \times 100}{1,12 \times 10} = 982,1 \text{ mm} \rightarrow 0,98 \text{ m}$$

Er mogen dus in de leiding geen plastisch gebogen leidingen voorkomen met een straal kleiner dan 1,0 m.

De kleinste radius van de toegepaste bochten is 5,0 m. Er wordt dus voldaan aan de eis.

3.8 Scheurstopcapaciteit

Het toegepaste PE materiaal binnen de kruising en veiligheidszones moet voldoen aan NEN-EN 1555-1 t/m -5 en NPR-CEN/TS 1555-7 om voldoende scheurstopcapaciteit te waarborgen.

3.9 Verticale stabiliteit

De verticale stabiliteit is geborgd als de neutrale grondbelasting op een leiding groter is dan het opdrijvend vermogen van de ongevlude leiding.

Uit de berekening van het eigengewicht in bijlage B.5 blijkt het opdrijvend vermogen van 1 strekkende mm leiding gelijk te zijn aan 0,33 N (mantelbuis) en 0,064 N (mediumvoerende leiding).

Uitgaande van een dekking van 1,0 meter leem ($\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$) is de neutrale grondbelasting als volgt berekend:

Volume grond boven 1 strekkende m leiding van de mantelbuis:

$$V = h \times b \times l = 1,0 \times 0,25 \times 1,0 = 0,25 \text{ m}^3 \text{ (mantelbuis)}$$

$$V = h \times b \times l = 1,0 \times 0,11 \times 1,0 = 0,11 \text{ m}^3 \text{ (mediumvoerende leiding)}$$

Het gewicht hiervan is:

$$G = \gamma \times V = 20 \times 0,25 = 5,0 \text{ kN/m} = 5,0 \text{ N/mm} \text{ (mantelbuis)}$$

$$G = \gamma \times V = 20 \times 0,11 = 2,2 \text{ kN/m} = 2,2 \text{ N/mm} \text{ (mediumvoerende leiding)}$$

Voor de mantelbuis geldt:

- | | |
|--|-------------------------------|
| - Oprijvende kracht: | 0,33 N/mm (opwaarts) |
| - Gewicht grond x veiligheidsfactor (0,9): | <u>4,50 N/mm</u> (neerwaarts) |
| - Resulterende kracht | 4,17 N/mm (neerwaarts) |

Voor de mediumvoerende leiding geldt:

- | | |
|--|-------------------------------|
| - Oprijvende kracht: | 0,06 N/mm (opwaarts) |
| - Gewicht grond x veiligheidsfactor (0,9): | <u>1,98 N/mm</u> (neerwaarts) |
| - Resulterende kracht | 1,92 N/mm (neerwaarts) |

Het gewicht van de grond boven de leiding inclusief veiligheidsfactor is groter dan het oprijvend vermogen van de leiding. De leiding is dus verticaal stabiel.

4 AANVULLENDE EISEN TEN BEHOEVE VAN DE UITVOERING

In dit hoofdstuk zijn aanvullende eisen gespecificeerd die moeten worden uitgevoerd om de waterleiding conform NEN 3650 en 3651 te laten voldoen.

4.1 Aanvulmateriaal leidingsleuf

Om uitvoeringszakkingen tot een minimum te beperken, dient de grond ter plaatse van de aansluitingen tussen bestaande en nieuwe leiding, goed verdicht te worden na het aanvullen. Om dit te bewerkstelligen dient de grond in lagen van maximaal 30 cm te worden aangevuld en verdicht tot een waarde van 94% à 95% van de proctordichtheid conform de NEN3650-1 [1].

Om schade aan de kunststof leiding te voorkomen is het van belang dat het vulzand vrij is van stenen.

4.2 Hydrostatische beproeving

Conform NEN 3650 en NEN 3651 moeten buisleidingen worden beproefd op sterkte en dichtheid voordat ze worden opgeleverd. Voor de sterktebeproeving van een kruising met een waterstaatswerk moet de beproevingsdruk 15 minuten worden aangehouden.

De sterktebeproevingsdruk wordt bepaald op basis van twee voorwaarden:

1. $p_t = 1,5 \times p_d$
2. $p_t = p_t \geq 0,4 \text{ MPa}$

Uit voorwaarde 1 volgt een testdruk van $1,2 \text{ N/mm}^2$ (12 barg).

$$p_t = 1,5 \times p_d = 1,5 \times 0,8 = 1,2 \text{ bar}$$

Omdat voorwaarde 1 maatgevend is betreft de minimale sterktebeproevingsdruk $1,2 \text{ N/mm}^2$ (12 barg).

Voor de dichtheidsbeproeving van een kruising met een waterstaatswerk moet de beproevingsdruk 24 uur conform NEN 3650-3 worden aangehouden. De dichtheidsbeproevingsdruk is groter of gelijk aan de ontwerpdruk: $0,8 \text{ N/mm}^2$ (8,0 barg).

Voorafgaande aan de ingebruikname van de leiding moet zowel de sterkte- als de dichtheidsbeproeving worden uitgevoerd conform de eisen van NEN 3650 en NEN 3651.

5 CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

De nieuwe waterleiding en mantelbuis voor de verlegging ter plaatse van de hoogwatergeul bij Maasband zijn getoetst conform NEN 3650-serie en NEN 3651 op basis van de in dit rapport beschreven uitgangspunten. Uit de rekenresultaten blijkt dat een drinkwaterleiding Ø110 HDPE PE100 SDR11 en de mantelbuis Ø250 HDPE PE100 SDR11 sterkte technisch voldoen aan de eisen van NEN 3650-serie en NEN 3651.

Binnen de veiligheidszones van de waterkering, d.w.z. een afstand van 22,85 meter uit de teen van de dijken is de NEN3650 en NEN 3651 van toepassing op de nieuwe waterleiding. Deze zone is aangeduid in de tekening in bijlage B.1.

De waterleiding wordt in een doorgaande mantelbuis Ø 250mm aangebracht die begint en eindigt buiten de veiligheidszones. De mantelbuis vervult hier de functie van extra vloeistofkering. In de plantekening in bijlage 1 zijn de ligging van de mantelbuis en de grenzen van de veiligheidszone aangeduid. Aan de zuidzijde waar een deel van de waterleiding langs de rand van de weg ligt, wordt nog als extra voorziening een folie naast de leidingsleuf toegepast.

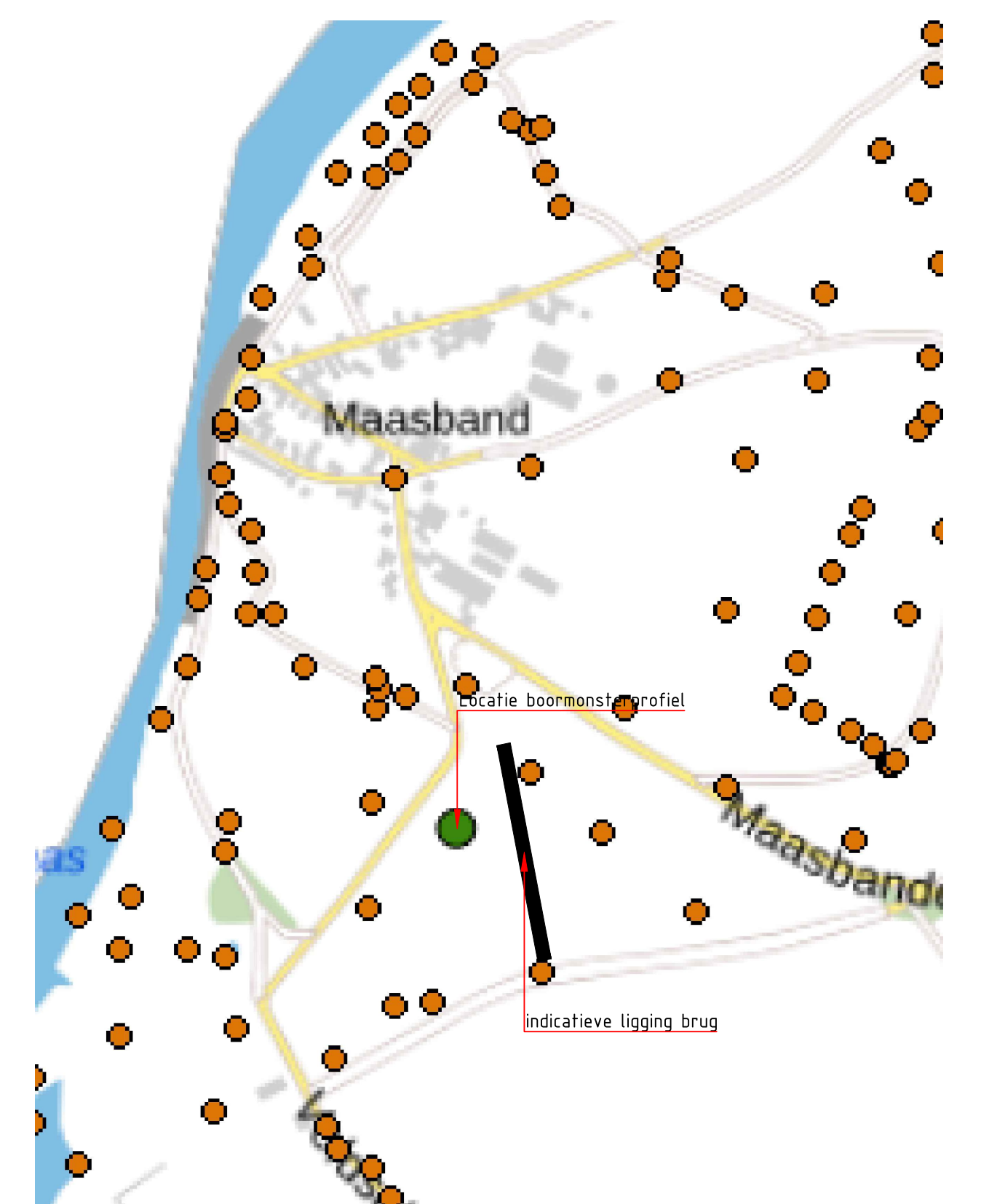
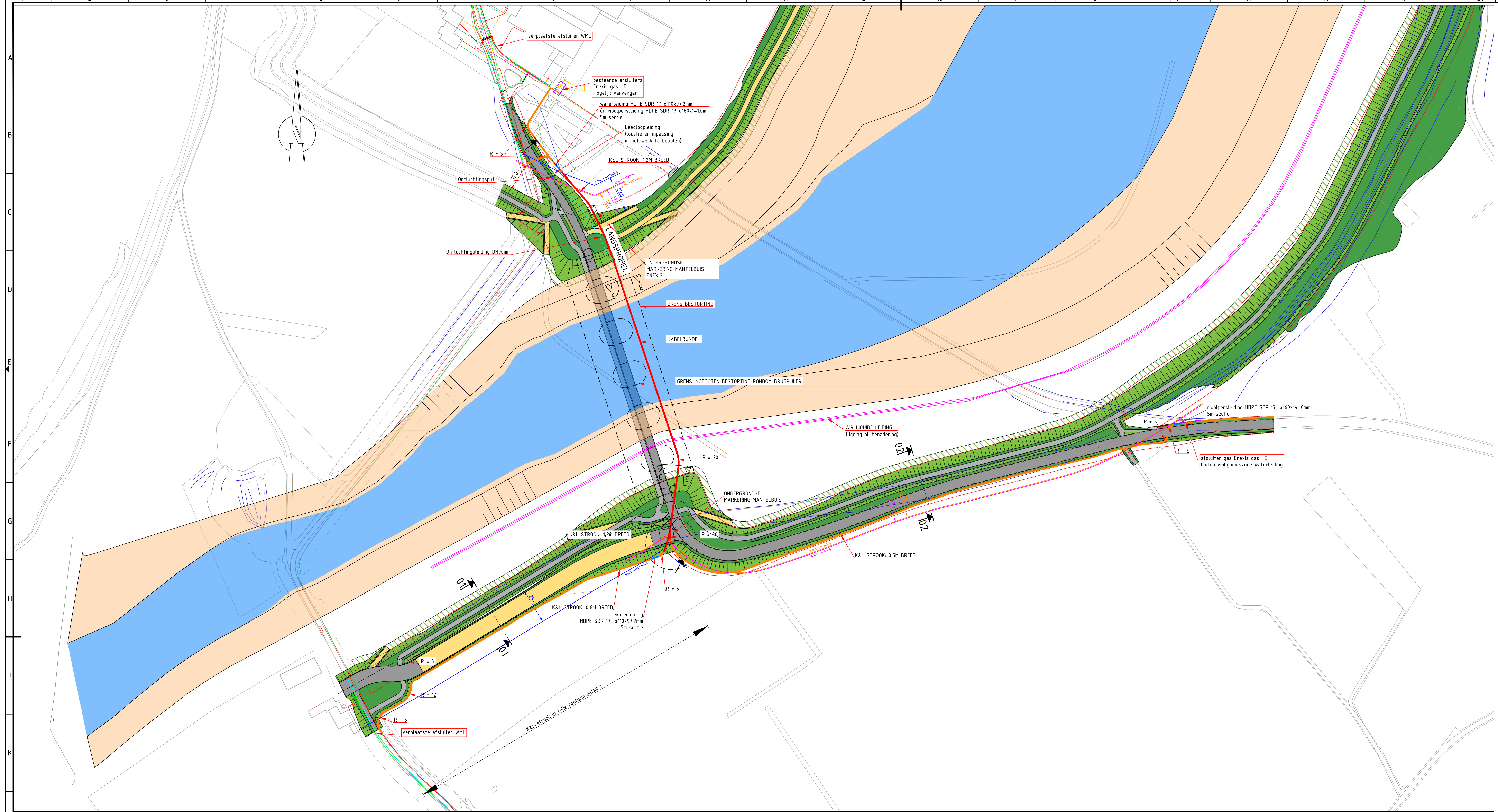
In verband met de relatieve sterkte-eis is direct buiten de veiligheidszones de toepassing van een korte leidingsectie van HDPE PE100 SDR17 noodzakelijk. Deze secties zijn eveneens in de tekening in bijlage B.1 aangeduid.

Ten aanzien van de uitvoering worden de volgende aanbevelingen gedaan:

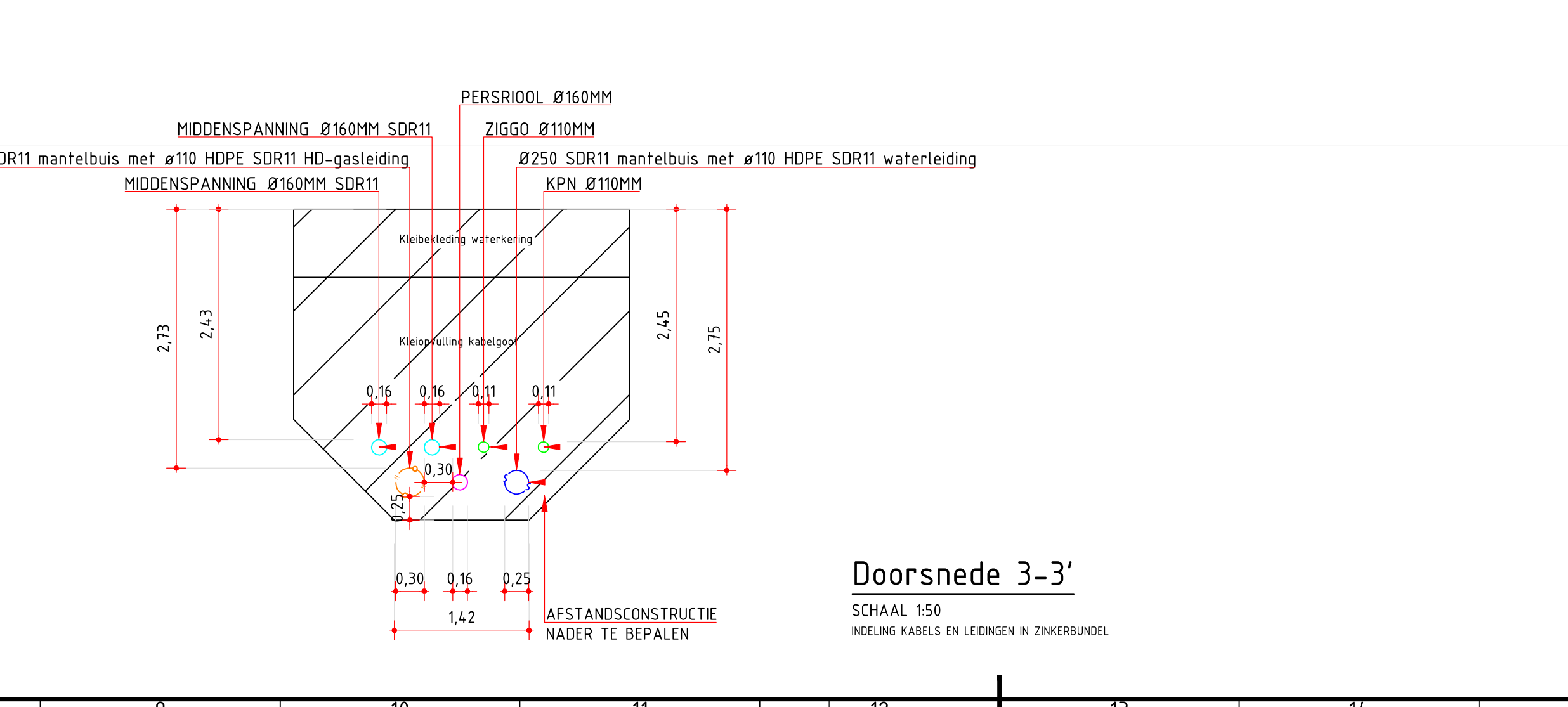
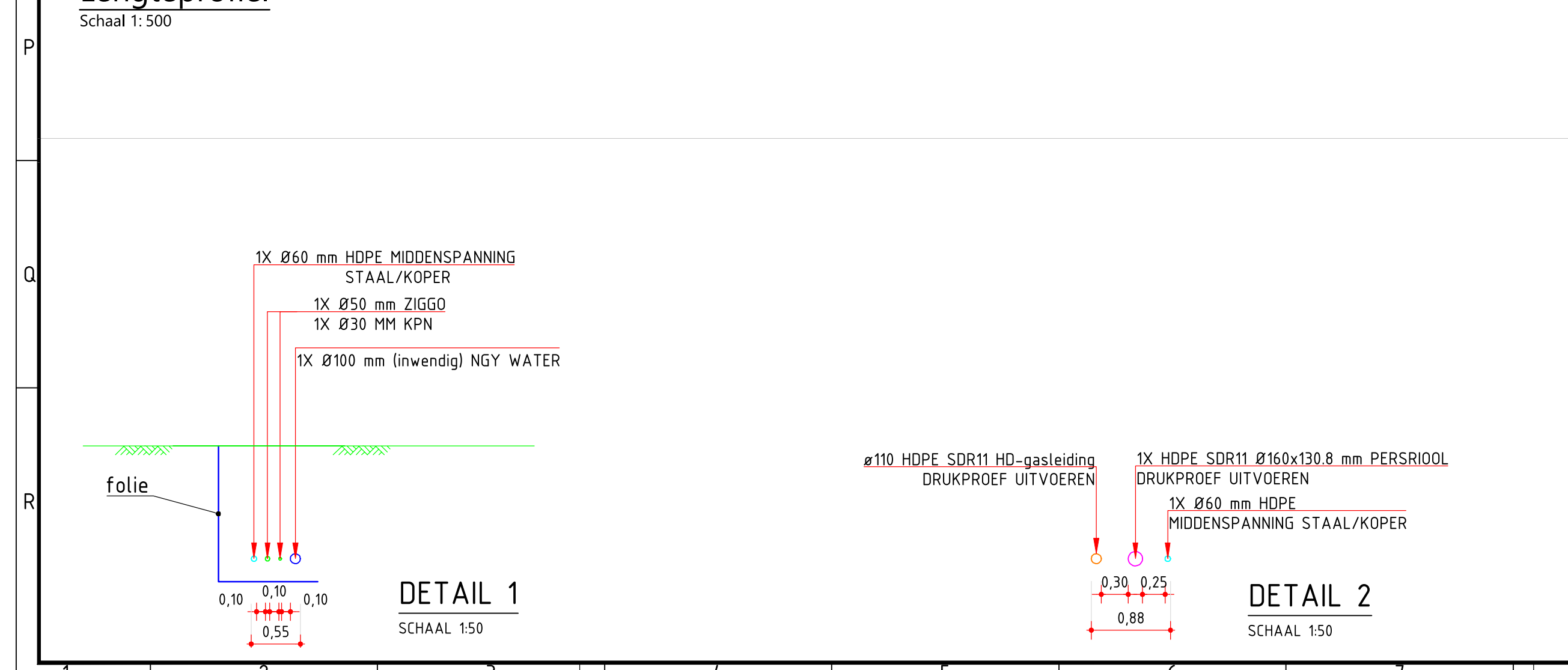
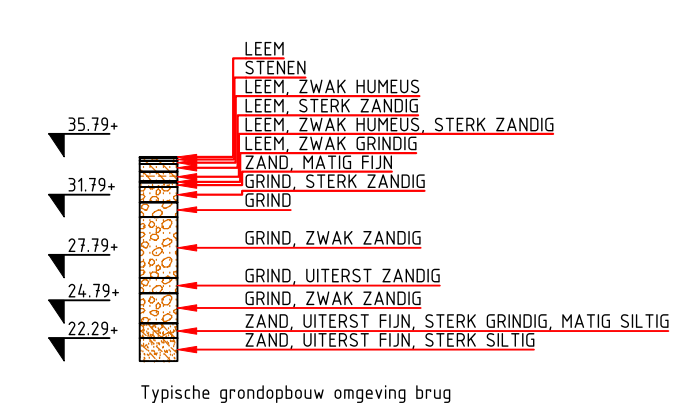
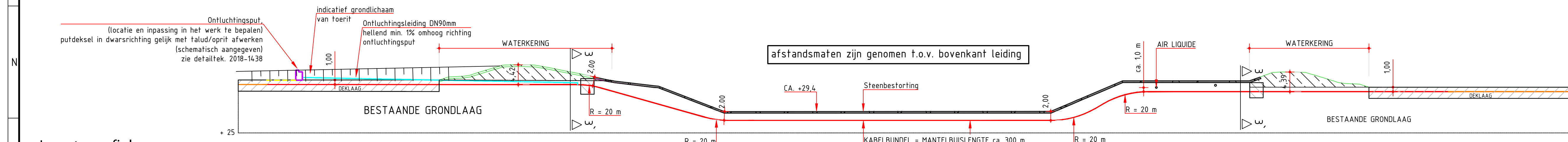
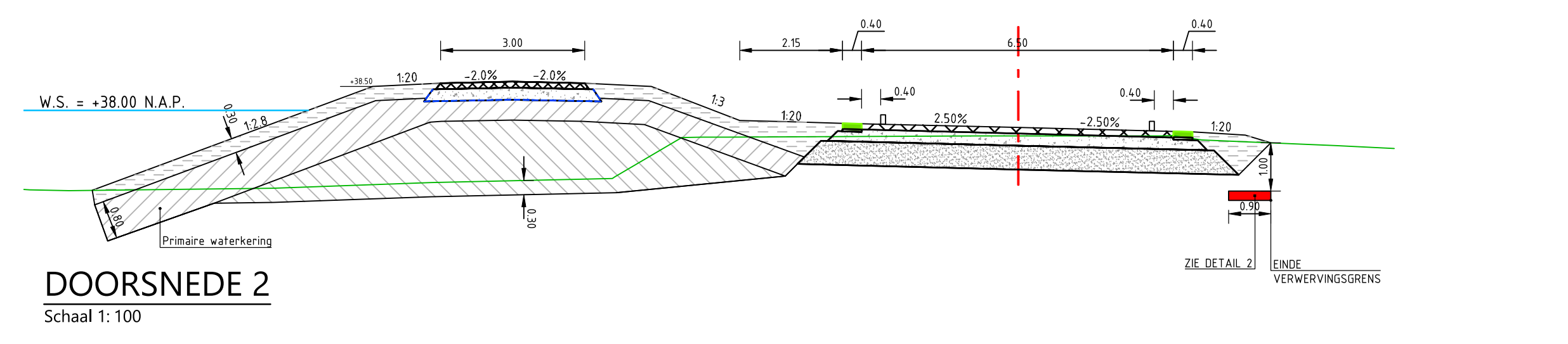
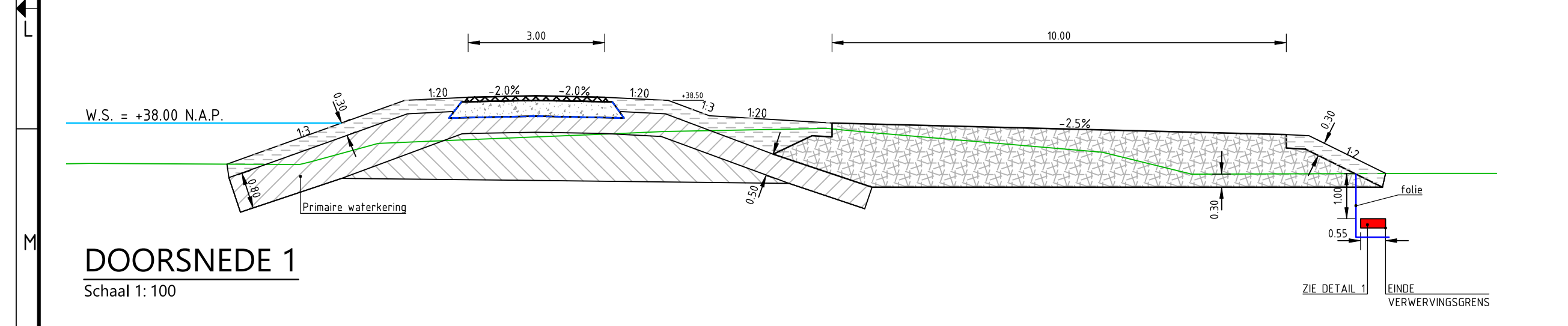
- a. Er dient niet meer te worden ontgraven dan strikt noodzakelijk, dit om uitvoeringszakkingen te voorkomen.
- b. De gehele leiding dient in den droge te worden aangebracht. Aanvulling van sleuven en verdichting van de aanvulling dient eveneens in een droge sleuf plaats te vinden.
- c. Aansluiting op bestaande leidingdelen gebeurt buiten de veiligheidszone van de waterkering (zie bijlage B.1).
- d. Om uitvoeringszakkingen tot een minimum te beperken, dient de grond ter plaatse van de aansluitingen tussen bestaande en nieuwe leiding, goed verdicht te worden na het aanvullen. Om dit te bewerkstelligen dient de grond in lagen van maximaal 30 cm te worden aangevuld en verdicht tot een waarde van 94% à 95% van de proctordichtheid conform de NEN3650-1 [1].
- e. Om schade aan de kunststof leiding te voorkomen is het van belang dat het vulzand vrij is van stenen.
- f. De rillen aan de binnenkant van de mantelbuis dienen zoveel mogelijk weggehaald te worden om de mediumvoerende leiding in te kunnen trekken.
- g. Aan de uiteinden van de mantelbuis dient de mediumvoerende leiding omhoog gelegd te worden (lichte "katterug") om de uitvoeringszakking en eventuele zetting op te kunnen vangen. Ook dient er rekening te worden gehouden met voldoende ondersteuning door insulators om de mediumvoerende buis, om koudlegging van buis op buis te voorkomen, vooral aan de uiteinden van de mantelbuis.

BIJLAGEN

B1 TEKENINGEN



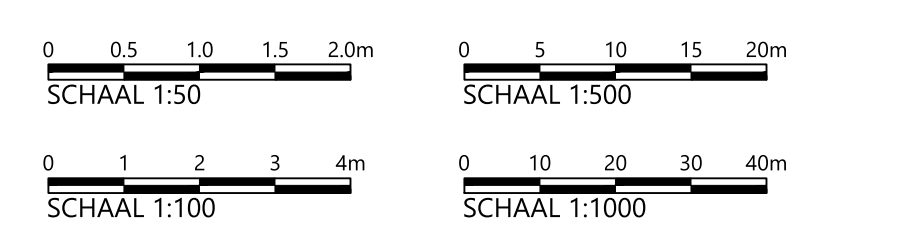
LOCATIE BOORMONSTERPROFIEL



LEGENDA

OPMERKINGEN

- Maten in meters (m), tenzij anders vermeld.
- Hoogtematen in meters (m) ten opzichte van N.A.P., tenzij anders vermeld.
- Hoekmaten in graden (360°), tenzij anders vermeld.
- Coördinaten in meters (m) in het RD-stelsel (Netherlands-RD, oblique stereographic projection).
- Legenda verder verklaard in tekeningen 105925-2021-2035 DO dijkluchten.
- Grondopbouw op basis van DINOloket data, identificatie boommonsterprofiel B59H0348.
- Ten zuiden van de parkeerplaats is het nog onzeker of deze grond kan worden aangekocht.
- Indien dit niet mogelijk is dienen de K&L onder de taluds van de oprijt te worden gelegd.
- De aanduiding bij het bedrijventerrein van L'ortye dient nader te worden uitgewerkt.



0 21-03-2022		Opsteller Par. Verificatie Par. Validatie Par.				
versie	datum	omschrijving				
Verlegging persleiding HW-geul Maasband						
Onderdeel						
Definitief ontwerp kabels en leidingen tracé's						
Variant 3						
Opdrachtgever						
CV Projectbureau Grensmaas						
Projectnummer						
CGM006-0001						
Tekeningsnummer						
2022-0546						
Behorende bij doc. nr.						
Schaal						
1: 1000						
088 - 3366333						
info@kragten.nl						
www.kragten.nl						
kragten						

B2 BODEMONDERZOEK

**Rapportage grondonderzoek
t.b.v. Hoogwaterbrug
Aan de Maasbanderkerkweg
Te Maasband
In de gemeente Stein**

Opdrachtnummer: GC160191
Rapportage: R01
Versie: V1.0

Datum rapport: 16 december 2016

Opdrachtgever: C.V. Projectbureau Grensmaas
Postbus 36
6120 AA Born

Functie:	Naam:	Gezien en akkoord:
geotechnisch adviseur		
Controle		



INHOUDSOPGAVE

1.0	INLEIDING	1
2.0	GRONDONDERZOEK.....	2
2.1	Algemeen	2
2.2	Boring	2
2.3	Inmeting	2

Bijlagen:

Bijlage 1	Situatietekening
Bijlage 2	Boorstaten
Bijlage 3	Fotobijlage boringen



1.0 INLEIDING

Door C.V. Projectbureau Grensmaas werd aan Geonius Geotechniek BV opdracht gegeven om een geotechnisch grondonderzoek uit te voeren. Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van project Grensmaas en was nodig voor de geplande fundaties van de Hoogwaterbrug aan de Maasbanderkerkweg te Maasband.

In voorliggende rapportage zijn de resultaten van het grondonderzoek opgenomen.



2.0 GRONDONDERZOEK

2.1 Algemeen

Ten behoeve van het grondonderzoek zijn in december 2016 in totaal 11 machinale boringen uitgevoerd. De opzet en de locaties van het onderzoek zijn door de opdrachtgever bepaald. Gepland waren 9 boringen tot ca. 6 m- mv en 2 boringen tot ca. 25 m- mv.

2.2 Boring

Om een duidelijk inzicht te krijgen in de scheiding tussen deklaag en grind en de gelaagdheid van het grindpakket zijn op locatie machinale boringen uitgevoerd (genummerd GC160191 B01 t/m B11). Er zijn 9 machinale boringen uitgevoerd tot een diepte van ca. 6 m- maaiveld of tenminste 2 m in het grindpakket. Tevens zijn 2 boringen uitgevoerd tot een diepte van ca. 20 m- en 19 m- maaiveld. Vanwege de aangetroffen grondslag en kleef op de boorstangen was het niet mogelijk dieper te boren.

Tijdens de boorwerkzaamheden is het bodemmateriaal lithologisch onderzocht. Bij het lithologisch onderzoek worden de grondsoorten geclassificeerd volgens NEN 5104. De boorstaten zijn uitgetekend ten opzichte van maaiveld en NAP en zijn opgenomen in bijlage 2 van deze rapportage.

Op verzoek van opdrachtgever is het bij de boringen uitkomende materiaal ook per diepte gefotografeerd. De foto's per boring zijn opgenomen in bijlage 3.

2.3 Inmeting

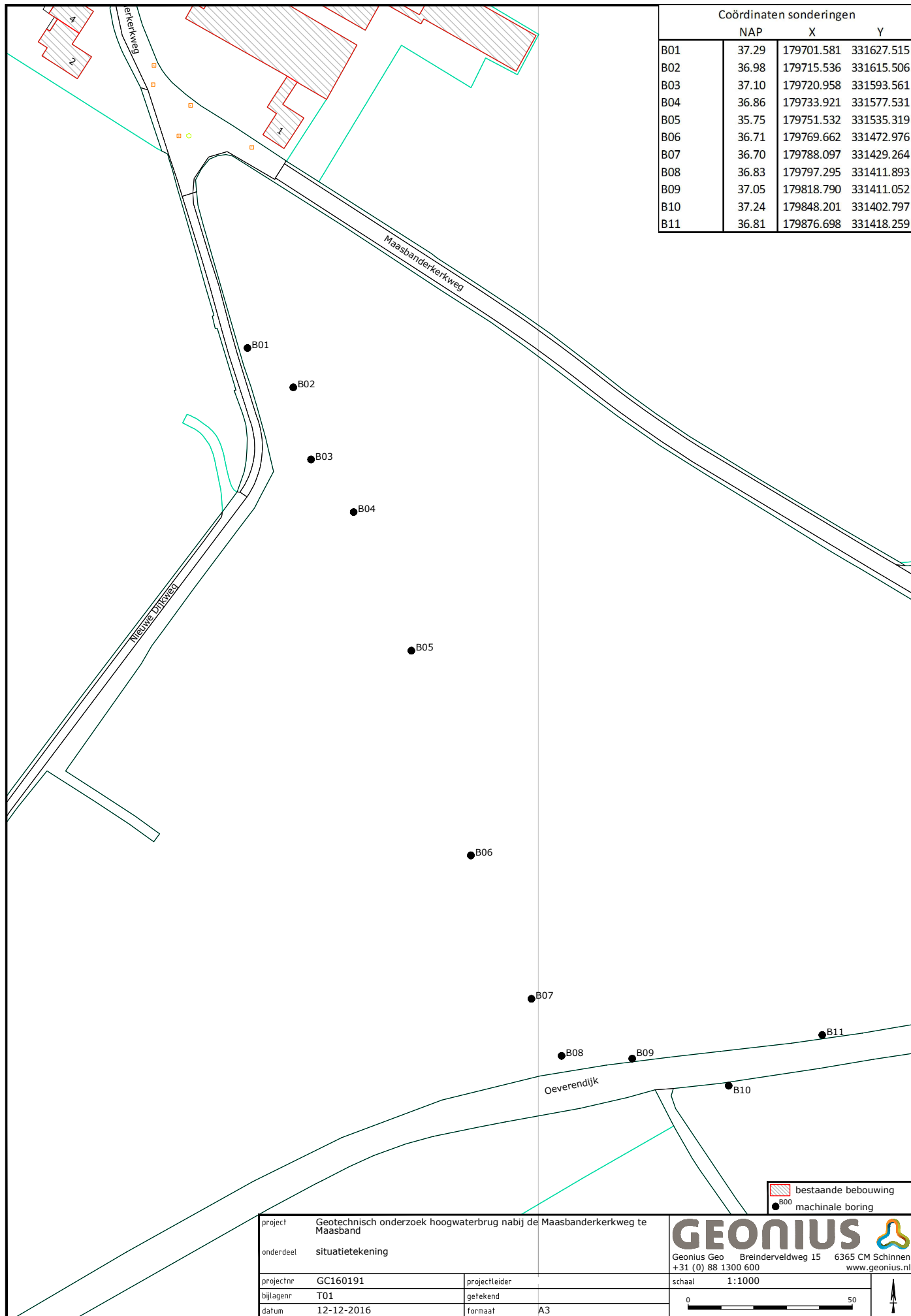
De ligging van de onderzoekspunten is op situatietekening GC160191.T01 weergegeven. De resultaten van het grondonderzoek zijn in de bijlagen toegevoegd. De onderzoekspunten zijn met behulp van 06-gps ingemeten t.o.v. het Rijksdriehoekstelsel en NAP (nauwkeurigheid ca. 0,05 m). Alle gegevens van de inmetingen zijn een momentopname en zijn alleen te gebruiken voor voorliggend onderzoek.



Bijlage 1:

Situatietekening

GC160191.T01



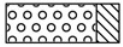
Bijlage 2

Boringen

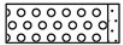
GC160191 B01 t/m B11

Legenda (conform NEN 5104)

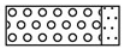
grind



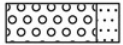
Grind, siltig



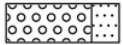
Grind, zwak zandig



Grind, matig zandig



Grind, sterk zandig



Grind, uiterst zandig

zand



Zand, kleiïg



Zand, zwak siltig



Zand, matig siltig



Zand, sterk siltig



Zand, uiterst siltig

veen



Veen, mineraalarm



Veen, zwak kleiïg



Veen, sterk kleiïg



Veen, zwak zandig

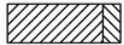


Veen, sterk zandig

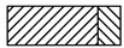
klei



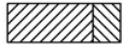
Klei, zwak siltig



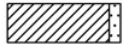
Klei, matig siltig



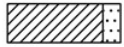
Klei, sterk siltig



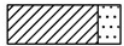
Klei, uiterst siltig



Klei, zwak zandig



Klei, matig zandig



Klei, sterk zandig

leem



Leem, zwak zandig



Leem, sterk zandig

overige toevoegingen



zwak humeus



matig humeus



sterk humeus



zwak grindig



matig grindig



sterk grindig

geur

- geen geur
- ◐ zwakke geur
- ◑ matige geur
- ◒ sterke geur
- ◓ uiterste geur

olie

- geen olie-water reactie
- ◐ zwakke olie-water reactie
- ◑ matige olie-water reactie
- ◒ sterke olie-water reactie
- ◓ uiterste olie-water reactie

p.i.d.-waarde

- ◐ >0
- ◑ >1
- ◒ >10
- ◓ >100
- ◔ >1000
- ◕ >10000

monsters

- ◐ geroerd monster
- ◑ ongeroerd monster

overig

- ▲ bijzonder bestanddeel
- ◐ Gemiddeld hoogste grondwaterstand
- ◑ grondwaterstand
- ◒ Gemiddeld laagste grondwaterstand

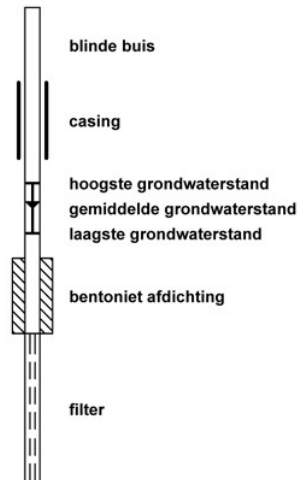


slib



water

peilbuis



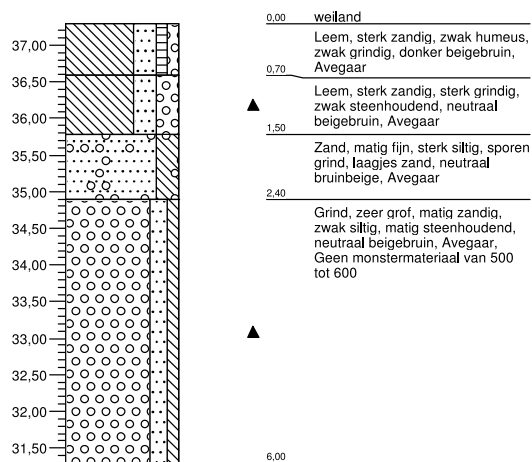
opdrachtnummer : GC160191

projectomschrijving : Geotechnisch onderzoek hoogwaterbrug nabij de Maasbanderkerkweg te Maasband

boring:

B01

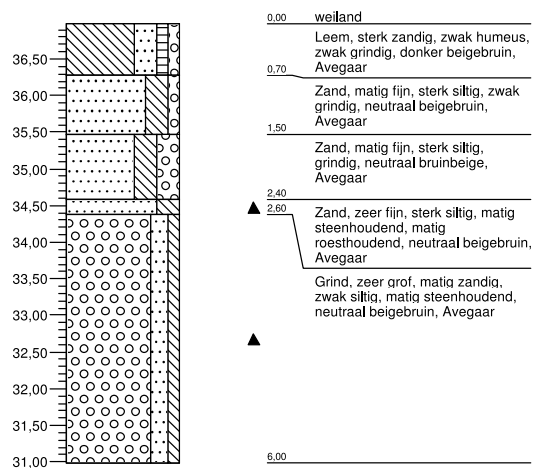
Maaiveldhoogte : 37,29 m, t.o.v. N.A.P. X:coördinaat : 179701,58
cm, - mv. Y:coördinaat : 331627,52
Datum : 07-12-2016



boring:

B02

Maaiveldhoogte : 36,98 m, t.o.v. N.A.P. X:coördinaat : 179715,54
cm, - mv. Y:coördinaat : 331615,51
Datum : 07-12-2016

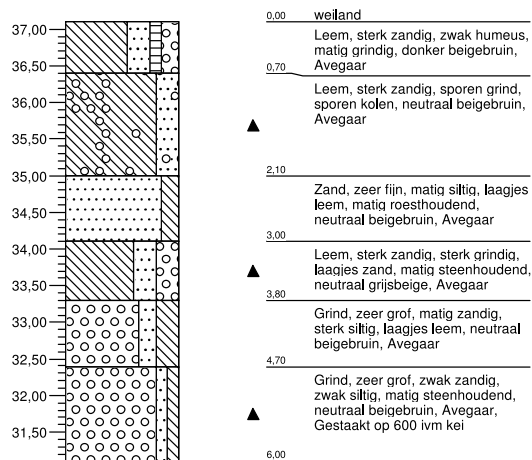


opdrachtnummer : GC160191

projectomschrijving : Geotechnisch onderzoek hoogwaterbrug nabij de Maasbanderkerkweg te Maasband

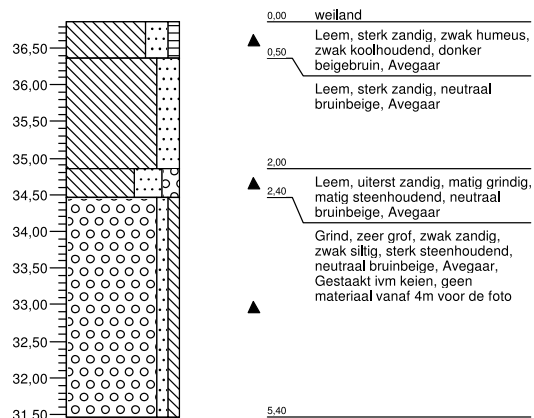
boring: B03

Maaiveldhoogte : 37,1 m, t.o.v. N.A.P. X:coördinaat : 179720,96
cm, - mv. Y:coördinaat : 331593,56
Datum : 07-12-2016



boring: B04

Maaiveldhoogte : 36,86 m, t.o.v. N.A.P. X:coördinaat : 179733,92
cm, - mv. Y:coördinaat : 331577,53
Datum : 12-12-2016



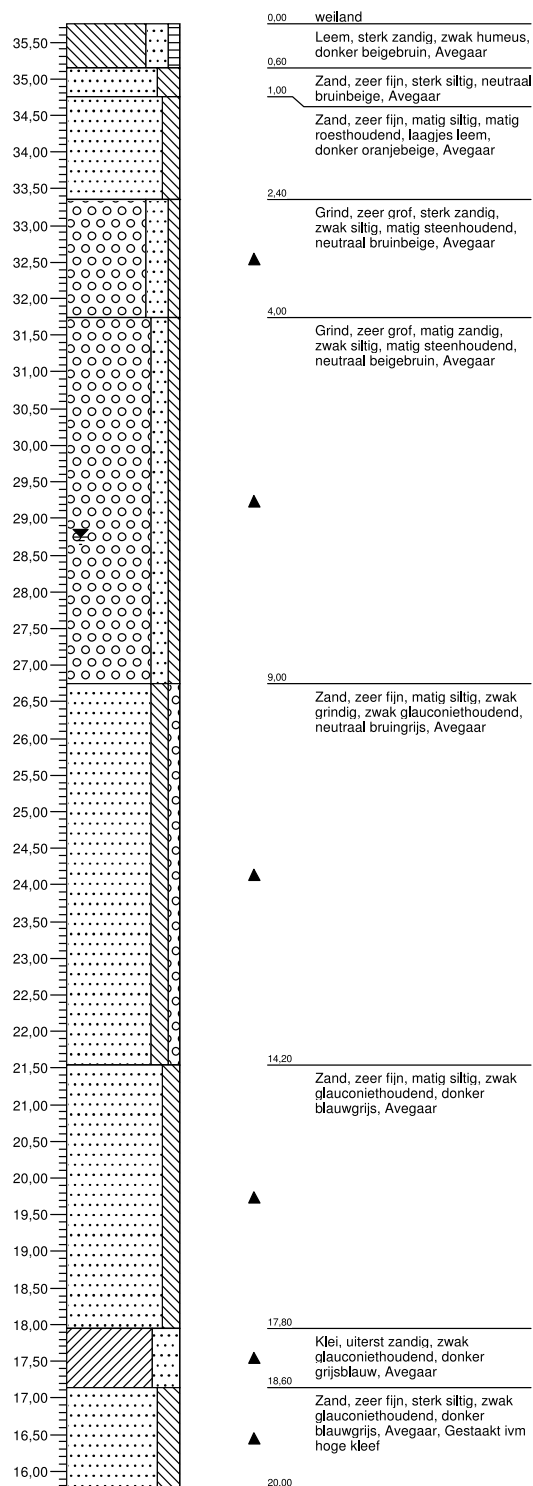
opdrachtnummer : GC160191

projectomschrijving : Geotechnisch onderzoek hoogwaterbrug nabij de Maasbanderkerkweg te Maasband

boring:

B05

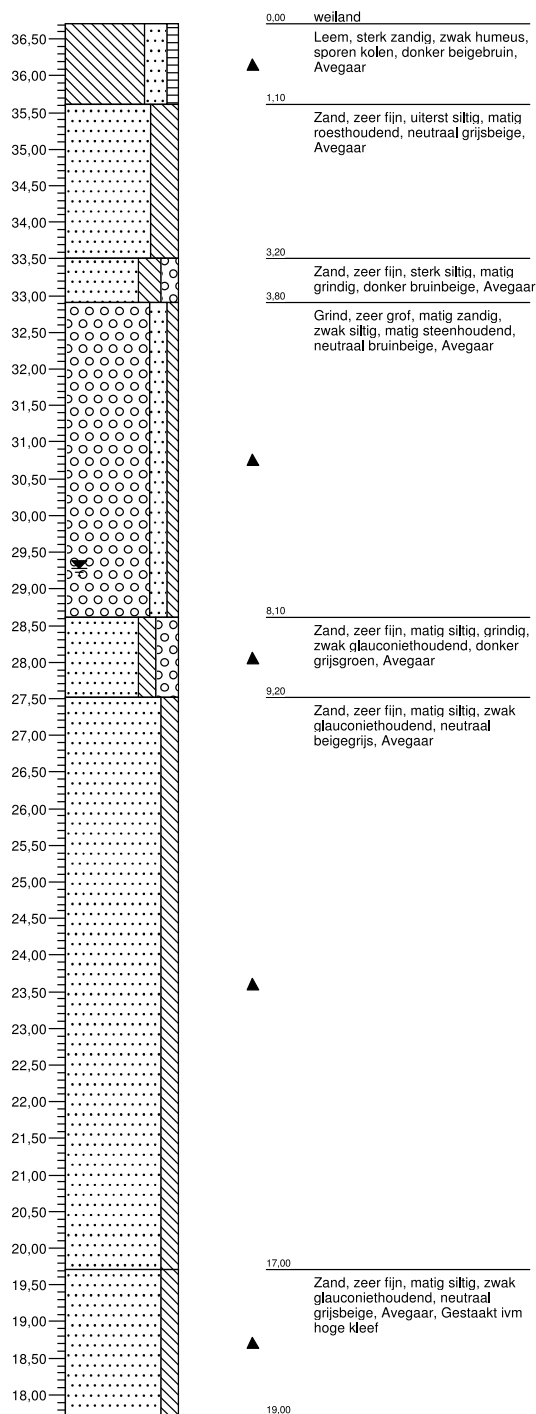
Maaiveldhoogte : 35,75 m, t.o.v. N.A.P. X:coördinaat : 179751,53
GWS : 700 cm, - mv. Y:coördinaat : 331535,32
Datum : 09-12-2016



boring:

B06

Maaiveldhoogte : 36,71 m, t.o.v. N.A.P. X:coördinaat : 179769,66
GWS : 743 cm, - mv. Y:coördinaat : 331472,98
Datum : 08-12-2016

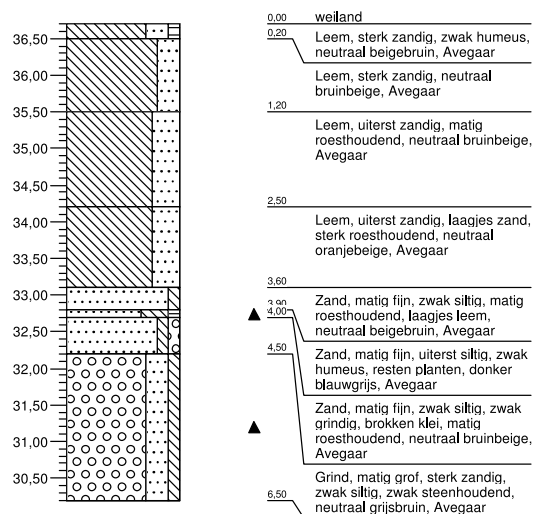


opdrachtnummer : GC160191

projectomschrijving : Geotechnisch onderzoek hoogwaterbrug nabij de Maasbanderkerkweg te Maasband

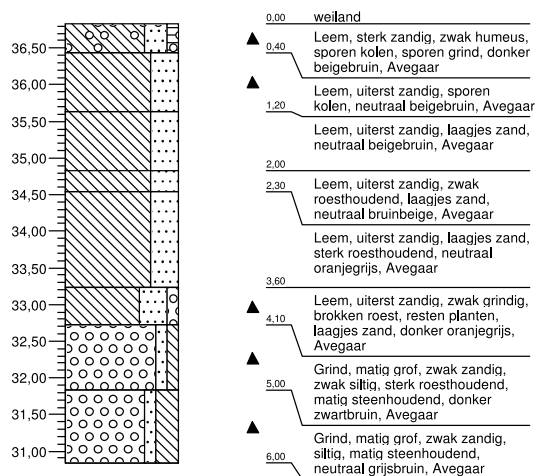
boring: B07

Maaiveldhoogte : 36,7 m, t.o.v. N.A.P. X:coördinaat : 179788,10
cm, - mv. Y:coördinaat : 331429,26
Datum : 12-12-2016



boring: B08

Maaiveldhoogte : 36,83 m, t.o.v. N.A.P. X:coördinaat : 179797,30
cm, - mv. Y:coördinaat : 331411,89
Datum : 12-12-2016



opdrachtnummer : GC160191

projectomschrijving : Geotechnisch onderzoek hoogwaterbrug nabij de Maasbanderkerkweg te Maasband

boring:

B09

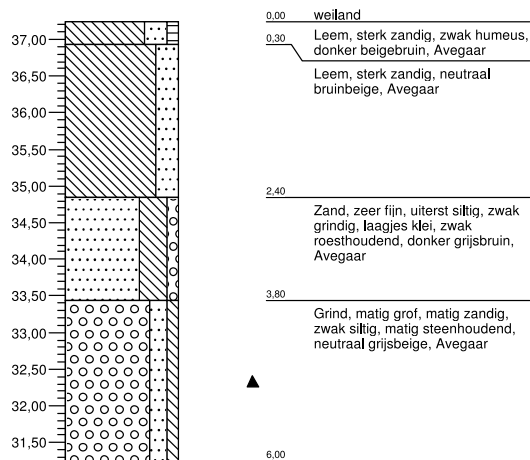
Maaiveldhoogte : 37,05 m, t.o.v. N.A.P. X:coördinaat : 179818,79
cm, - mv. Y:coördinaat : 331411,05
Datum : 12-12-2016



boring:

B10

Maaiveldhoogte : 37,24 m, t.o.v. N.A.P. X:coördinaat : 179848,20
cm, - mv. Y:coördinaat : 331402,80
Datum : 12-12-2016



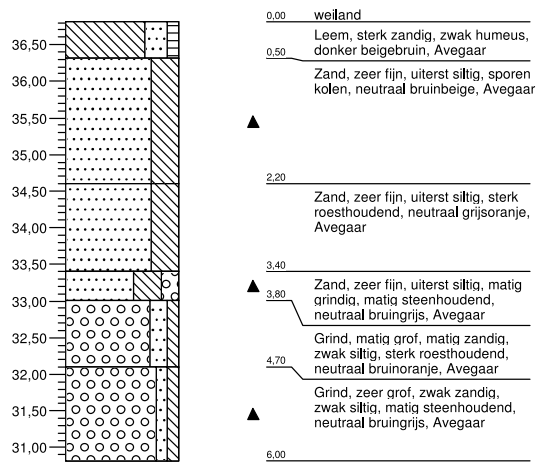
opdrachtnummer : GC160191

projectomschrijving : Geotechnisch onderzoek hoogwaterbrug nabij de Maasbanderkerkweg te Maasband

boring: B11

Maaiveldhoogte : 36,81 m, t.o.v. N.A.P. X:coördinaat : 179876,70
cm, - mv. Y:coördinaat : 331418,26

Datum : 12-12-2016



Bijlage 3

Fotobijlage boringen



project Geotechnisch onderzoek hoogwaterbrug nabij de
Maasbanderkerkweg te Maasband, gemeente Stein

onderdeel fotobijlage Boring 1

projectnr GC160191

projectleider

bijlagenr T3.1

getekend

datum 14-12-2016

formaat A4

GEONIUS 
Geonius Geotechniek De Asselen Kuil 20 6161 RD Geleen
+31 (0) 88 1300 600 www.geonius.nl



project Geotechnisch onderzoek hoogwaterbrug nabij de Maasbinderkerkweg te Maasband, gemeente Stein

onderdeel fotobijlage Boring 2

GEONIUS
Geonius Geotechniek De Asselen Kuil 20 6161 RD Geleen
+31 (0) 88 1300 600 www.geonius.nl

projectnr	GC160191	projectleider	
bijlagenr	T3.2	getekend	
datum	14-12-2016	formaat	A4



project Geotechnisch onderzoek hoogwaterbrug nabij de Maasbinderkerkweg te Maasband, gemeente Stein

onderdeel fotobijlage Boring 3

GEONIUS 
Geonius Geotechniek De Asselen Kuil 20 6161 RD Geleen
+31 (0) 88 1300 600 www.geonius.nl

projectnr	GC160191	projectleider	
bijlagenr	T3.3	getekend	
datum	14-12-2016	formaat	A4



project Geotechnisch onderzoek hoogwaterbrug nabij de
Maasbanderkerkweg te Maasband, gemeente Stein

onderdeel fotobijlage Boring 4

projectnr GC160191

bijlagenr T3.4

datum 14-12-2016

projectleider

getekend

formaat

A4

GEONIUS 
Geonius Geotechniek De Asselen Kuil 20 6161 RD Geleen
+31 (0) 88 1300 600 www.geonius.nl



project Geotechnisch onderzoek hoogwaterbrug nabij de Maasbinderkerkweg te Maasband, gemeente Stein

onderdeel fotobijlage Boring 5 deel 1

GEONIUS
Geonius Geotechniek De Asselen Kuil 20 6161 RD Geleen
+31 (0) 88 1300 600 www.geonius.nl

projectnr	GC160191	projectleider	
bijlagenr	T3.5.1	getekend	
datum	14-12-2016	formaat	A4



project Geotechnisch onderzoek hoogwaterbrug nabij de
Maasbanderkerkweg te Maasband, gemeente Stein

onderdeel fotobijlage Boring 5 deel 2

projectnr GC160191

bijlagenr T3.5.2

datum 14-12-2016

projectleider

getekend

formaat A4

GEONIUS 
Geonius Geotechniek De Asselen Kuil 20 6161 RD Geleen
+31 (0) 88 1300 600 www.geonius.nl



project Geotechnisch onderzoek hoogwaterbrug nabij de
Maasbanderkerkweg te Maasband, gemeente Stein

onderdeel fotobijlage Boring 5 deel 3

GEONIUS 
Geonius Geotechniek De Asselen Kuil 20 6161 RD Geleen
+31 (0) 88 1300 600 www.geonius.nl

projectnr	GC160191	projectleider	
bijlagenr	T3.5.3	getekend	
datum	14-12-2016	formaat	A4



project Geotechnisch onderzoek hoogwaterbrug nabij de
Maasbenderkerkweg te Maasband, gemeente Stein

onderdeel fotobijlage Boring 6 deel 1

projectnr GC160191

projectleider

bijlagenr T3.6.1

getekend

datum 14-12-2016

formaat A4

GEONIUS 
Geonius Geotechniek De Asselen Kuil 20 6161 RD Geleen
+31 (0) 88 1300 600 www.geonius.nl



project Geotechnisch onderzoek hoogwaterbrug nabij de Maasbanderkerkweg te Maasband, gemeente Stein

onderdeel fotobijlage Boring 6 deel 2

projectnr GC160191

bijlagenr T3.6.2

datum 14-12-2016

projectleider

getekend

formaat A4

GEONIUS
Geonius Geotechniek De Asselen Kuil 20 6161 RD Geleen
+31 (0) 88 1300 600
www.geonius.nl





project Geotechnisch onderzoek hoogwaterbrug nabij de
Maasbinderkerkweg te Maasband, gemeente Stein

onderdeel fotobijlage Boring 6 deel 3

GEONIUS 
Geonius Geotechniek De Asselen Kuil 20 6161 RD Geleen
+31 (0) 88 1300 600 www.geonius.nl

projectnr	GC160191	projectleider	
bijlagenr	T3.6.3	getekend	
datum	14-12-2016	formaat	A4



project Geotechnisch onderzoek hoogwaterbrug nabij de
Maasbanderkerkweg te Maasband, gemeente Stein

onderdeel fotobijlage Boring 7

projectnr	GC160191	projectleider	
bijlagenr	T3.7	getekend	
datum	14-12-2016	formaat	A4

GEONIUS 
Geonius Geotechniek De Asselen Kuil 20 6161 RD Geleen
+31 (0) 88 1300 600 www.geonius.nl



project Geotechnisch onderzoek hoogwaterbrug nabij de
Maasbanderkerkweg te Maasband, gemeente Stein

onderdeel fotobijlage Boring 8

GEONIUS 
Geonius Geotechniek De Asselen Kuil 20 6161 RD Geleen
+31 (0) 88 1300 600 www.geonius.nl

projectnr	GC160191	projectleider	
bijlagenr	T3.8	getekend	
datum	14-12-2016	formaat	A4



project Geotechnisch onderzoek hoogwaterbrug nabij de Maasbinderkerkweg te Maasband, gemeente Stein

onderdeel fotobijlage Boring 9

GEONIUS
Geonius Geotechniek De Asselen Kuil 20 6161 RD Geleen
+31 (0) 88 1300 600
www.geonius.nl

projectnr	GC160191	projectleider	
bijlagenr	T3.9	getekend	
datum	14-12-2016	formaat	A4



project Geotechnisch onderzoek hoogwaterbrug nabij de Maasbinderkerkweg te Maasband, gemeente Stein

onderdeel fotobijlage Boring 10

GEONIUS 
Geonius Geotechniek De Asselen Kuil 20 6161 RD Geleen
+31 (0) 88 1300 600 www.geonius.nl

projectnr	GC160191	projectleider	
bijlagenr	T3.10	getekend	
datum	14-12-2016	formaat	A4



project Geotechnisch onderzoek hoogwaterbrug nabij de Maasbinderkerkweg te Maasband, gemeente Stein

onderdeel fotobijlage Boring 11

GEONIUS
Geonius Geotechniek De Asselen Kuil 20 6161 RD Geleen
+31 (0) 88 1300 600 www.geonius.nl

projectnr	GC160191	projectleider	
bijlagenr	T3.11	getekend	
datum	14-12-2016	formaat	A4

B3 BEREKENING ZETTING

Inschatting zetting grond

Conform NEN3650-1:2012

Versie 3.0, d.d. 03-07-2014



Project: Verlegging persriool Maasband
Opdrachtgever: Consortium Grensmaas B.V.
Ordernummer: T52524.00
Case: Maatgevende zetting
Datum: 9 augustus 2018

Uitgangspunten

Grondwaterstand: 0 meter minus maaiveld
Tijdsduur zetting: 10000 dagen
Diameter leiding: 160 mm

	Beschrijving laag	dikte laag (m)	h_{totaal} (m)	$h_{0,\text{droog}}$ (m)	$h_{0,\text{nat}}$ (m)	γ_d (kN/m ³)	γ_n (kN/m ³)	C' _p (-)	C' _s (-)	p (kN/m ²)	Δp (kN/m ²)	p+ Δp (kN/m ²)	ΔZ (m)
Aanvulling	Leem, zwak zandig	3		-	-	-	22	-	-	-	-	-	-
laag 1	Leem, zwak zandig	2	2	0	2	22	22	100	2500	24	66,0	90,0	0,031
laag 2	Grind, zwak siltig, vast	10	12	0	10	20	22	1000	100000	144	66,0	210,0	0,004
laag 3													
laag 4													
laag 5													

Totale zetting: 0,035 m

B4 SIGMA-BEREKENINGEN

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2020 3.0 ©
Algemene gegevens			
Naam van het project : Grensmaas Project Projectonderdeel : WML 110 SDR11 mediumvoerend 34,2 m NAP incl. bocht 5m Importantiefactor S : 0,75			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm ²
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentieel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Toelaatbare deflectie	δ	= 8,00	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 110,00	mm
Wanddikte	d _n	= 10	mm
Wanddikte bocht	t	= 10	mm
Bochtstraal	R	= 5.000,00	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)	= Vloeistof		
Ontwerpdruk	p _d	= 0,8	N/mm ²
Volumieke massa medium	ρ	= 1000	kg/m ³
Temperatuurverschil	Δt	= 10	°
Aanleggegevens			
Ligging: Evenwijdig aan een waterstaatswerk			
Aangepaste zettingslengte	L	= 20.000	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 1,0	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 5	mm
Zettingsverschil	f _z	= 0	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,02	%
Marstonfactor	f _m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld	H _{werk}	= 3,4	m
			10-12-2021 09:07:17

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2020 3.0 ©	
Grondmechanische gegevens				
Grondsoort			= Leem	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 20		kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	ϕ	= 35		°
Effectieve cohesie	c'	= 1		kN/m ²
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 100		kN/m ²
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,04		N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,045		N/mm ³
E-modulus ondergrond	E_{100}	= 5		MN/m ²
Niet rekenen met horizontale steundruk				
Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1		
Verkeersbelasting				
Grafiek ½ x II:			½ · Fatigue Load Model 2, Lorry 4	
Niet rekenen met ontlastende invloed wegdek				

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2020 3.0 ©
1. Eigenschappen van de leiding			
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 90,00	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i) / 2$	= 100,00	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 110,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 55,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 45,00	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 50,00	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 3.966.260,73	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 72.113,83	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 83,33	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 16,67	mm ³ /mm ¹
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan			
Voor vloeistofleidingen geldt: $H^3 \cdot D_i^5$ moet kleiner dan 40 m⁸ zijn. H is de druk in meters vloeistofkolom. Rekening houdende met $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ volgt: $H = \frac{p_d}{\rho \cdot g}$ $H = \frac{800.000}{1.000 \cdot 9,81} = 81,55 \text{ m} \rightarrow H^3 \cdot D_i^5 = 81,55^3 \cdot 0,09^5 = 3,20 \text{ m}^8$			
3. Berekening van de veiligheidszone			
$R_B = 8 \cdot \sqrt[3]{H^3 \cdot D_i^5}$ $R_B = 8 \cdot \sqrt[3]{81,55^3 \cdot 0,09^5} = 9,25 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_B = 4 \cdot 3,40 + 9,25 = 22,85 \text{ m}$ $D_K = 1,2 \cdot (D_o + H) = 1,2 \cdot (0,11 + 1,0) = 1,33 \text{ m}$			
4. Berekening van de spanningen s_p en s_{pl} t.g.v. inwendige druk			
$D_g/d_n = 100,00/10,00 = 10,00 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow \text{Dikwandige leiding}$ $\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$ $\sigma_p = \frac{55,00^2 + 45,00^2}{55,00^2 - 45,00^2} \cdot 0,8 = 4,04 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_p = 4,04 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 4,04 = 1,62 \text{ N/mm}^2$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$			
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}			
$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w} \right)$ $f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot 0,8 \cdot 50^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 83,33} \right) = 0,80$			

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2020 3.0 ©
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n	
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 20 \cdot 1,0 = 22,00 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 22,00 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 2,42 \text{ N/mm}^1$	
7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p	
$q_p = q_n \cdot \left(1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o}\right)$ $q_p = 22,00 \cdot \left(1 + 0,3 \cdot \frac{1,0}{0,11}\right) = 82,00 \text{ kN/m}^2$ $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 82,00 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 9,02 \text{ N/mm}^1$	
8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k	
$\kappa = 1 - \sin(\varphi) = 1 - \sin(35) = 0,426$ $\nu = \frac{\kappa}{1 + \kappa} = \frac{0,426}{1 + 0,426} = 0,30$ $E_{100, \text{norm}} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,5} = 5 \cdot (22,00/100)^{0,5} = 2,35 \text{ MN/m}^2$ $E_1 = E_{100, \text{norm}} / \frac{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu}$ $E_1 = 2,35 / \frac{1 - 0,30 - 2 \cdot 0,30^2}{1 - 0,30} = 3,15 \text{ MN/m}^2$ $z_{\max} = 0,25 \cdot \frac{D_o}{E_1^{1,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$ $z_{\max} = 0,25 \cdot \frac{0,11}{3,15^{1,5} \cdot \sqrt{1,0/0,11}} = 0,0016 \text{ m}$ $q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_o}{z_{\max}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\max} \cdot k_{v, \min}}}$ $q_k = 22,00 + \frac{\frac{0,02 \cdot 0,11}{0,0016} \cdot (82,00 - 22,00)}{1 + \frac{82,00 - 22,00}{0,0016 \cdot 0,0400 \cdot 10^6}} = 64,13 \text{ kN/m}^2$ $Q_k = q_k \cdot D_o$ $Q_k = 64,13 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 7,05 \text{ N/mm}^1$	
9. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Grafiek ½ x II NEN 3650-1:C.17	
Niet rekenen met ontlastende invloed $q_v = 19,33 \text{ kN/m}^2$ $Q_v = q_v \cdot D_o$ $Q_v = 19,33 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 2,13 \text{ N/mm}^1$	
	10-12-2021 09:07:17

10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding I

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{110 \cdot 0,045}{4 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}} = 0,0042 \text{ mm}^{-1}$$

11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1^e en 2^e jaar)Aangepaste zettingslengte $L = 20.000 \text{ mm}$

$$\lambda \cdot L = 0,0042 \cdot 20.000 = 84,59$$

 $i = 0,976$ (= 97,6 % inklemming) $B_z = 0,00000171$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)

$$Q_z = B_z \cdot f_v \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$$

$$Q_z = 0,00000171 \cdot 5 \cdot 110 \cdot 0,045 = 0,000042 \text{ N/mm}^1$$

$$Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$$

$$Q_d = 0,000042 \cdot 0,0042 \cdot 20.000 \cdot \left(0,976 + \frac{0,976 \cdot 0,0042 \cdot 20.000}{6}\right) = 0,05 \text{ N/mm}^1$$

12. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (na 2 jaar)

$$Q_z = B_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$$

$$Q_z = 0,00000171 \cdot (5 + 2,0 \cdot 0) \cdot 110 \cdot 0,045 = 0,000042 \text{ N/mm}^1$$

$$Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$$

$$Q_d = 0,000042 \cdot 0,0042 \cdot 20.000 \cdot \left(0,976 + \frac{0,976 \cdot 0,0042 \cdot 20.000}{6}\right) = 0,05 \text{ N/mm}^1$$

13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen*Berekening evenwichtsdraagvermogen*

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

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 1,00 + 0,11 / 2 = 1,06 \text{ m}$$

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

$$d_c = 0,4 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 0,4 \cdot \tan^{-1}(1,06/0,11) = 0,59$$

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

$$P_{we} = 0,85 \cdot 100 \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + 0,02 + 0,59)$$

$$P_{we} = 702,21 \text{ kN/m}^2 = 0,70 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 0,70 \cdot 110,00 = 77,24 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen

Situatie 1 ^e en 2 ^e jaar	Conclusie:	Situatie na 2 jaar	Conclusie:
$Q_k = 7,05 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_n = 2,42 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig
$Q_v = 2,13 \text{ N/mm}^1$		$Q_v = 2,13 \text{ N/mm}^1$	
$Q_d = 0,05 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 0,05 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 9,23 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 4,60 \text{ N/mm}^1$	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 3.0 ©
14. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (1^e en 2^e jaar)		
<i>Moment t.g.v. Q_k en Q_v</i> $M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,177 \cdot (7,05 + 2,13) \cdot 50,00$ $M_q = 81,25 \text{ Nmm/mm}^1$		<i>Moment t.g.v. Q_d</i> $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,05 \cdot 50,00$ $M_{qd} = 0,32 \text{ Nmm/mm}^1$
<i>Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}</i> $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 0,80 \cdot (81,25 + 0,32) / 16,67 = \mathbf{3,91 \text{ N/mm}^2}$		
15. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (na 2 jaar)		
<i>Moment t.g.v. Q_n en Q_v</i> $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,177 \cdot (2,42 + 2,13) \cdot 50,00$ $M_q = 40,23 \text{ Nmm/mm}^1$		<i>Moment t.g.v. Q_d</i> $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,05 \cdot 50,00$ $M_{qd} = 0,32 \text{ Nmm/mm}^1$
<i>Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}</i> $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 0,80 \cdot (40,23 + 0,32) / 16,67 = \mathbf{1,94 \text{ N/mm}^2}$		
16. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,00159 \cdot 5 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,045}{10}} = \mathbf{0,02 \text{ N/mm}^2}$		
17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,00159 \cdot (5 + 2,0 \cdot 0) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,045}{10}} = \mathbf{0,02 \text{ N/mm}^2}$		
18. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil		
$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$ $\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,00016 \cdot 975 = \mathbf{1,56 \text{ N/mm}^2}$		

19. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bochtBerekening van de factoren i_x , i_{xp} , i_y en i_{yp} van de bocht:

$$r = \left(\frac{D_e}{2} + \frac{D_e - 2 \cdot t}{2} \right) / 2 = 50,00 \text{ mm}$$

$$h = \frac{t \cdot R}{r^2} = \frac{10 \cdot 5000,00}{50^2} = 20,00$$

$$k = \frac{1,65}{h} = \frac{1,65}{20,00} = 0,082$$

$$i_x = \frac{0,9}{h^{(2/3)}} = \frac{0,9}{20,00^{(2/3)}} = 0,12$$

$$c_2 = 1 + 3,25 \cdot (p_d/E) \cdot (r/t)^{(5/2)} \cdot (R/r)^{(2/3)}$$

$$c_2 = 1 + 3,25 \cdot (0,8/975) \cdot (50,00/10)^{(5/2)} \cdot (5.000,00/50)^{(2/3)} = 4,21$$

$$i_{xp} = \frac{i_x}{c_2} = \frac{0,12}{4,21} = 0,03$$

$$i_y = 2 \cdot i_x = 2 \cdot 0,12 = 0,24$$

$$i_{yp} = 2 \cdot i_{xp} = 2 \cdot 0,03 = 0,06$$

$$i_x < 1 \rightarrow i_x = 1,00$$

$$i_{xp} < 1 \rightarrow i_{xp} = 1,00$$

20. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100^3} = 0,0812 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,25 \text{ kN/m}^2}$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = **2 kN/m²****21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk**Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$

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

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **27,78 m** grondwater boven de leiding**22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie**

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

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (2,42 + \frac{1}{2} \cdot 2,13) - 0,095 \cdot (1 - \sin(35^\circ)) \cdot (2,42 + \frac{1}{2} \cdot 2,13) + 0,048 \cdot 0,05) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33} = \mathbf{0,73 \text{ mm}} (= 0,73\%)$$

Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor $S \cdot D_g = 0,08 \cdot 0,75 \cdot 100,00 = \mathbf{6,00 \text{ mm}}$

23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

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

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (3,91 + 0,06 \cdot 0,02) = \mathbf{2,54 \text{ N/mm}^2}$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

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

$$\sigma_x = 1,62 + 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,02 + 1,56 = \mathbf{3,19 \text{ N/mm}^2}$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$$

24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

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

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (1,94 + 0,06 \cdot 0,02) = \mathbf{1,26 \text{ N/mm}^2}$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

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

$$\sigma_x = 1,62 + 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,02 + 1,56 = \mathbf{3,19 \text{ N/mm}^2}$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$$

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 3.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Grensmaas Project Projectonderdeel : WML 110 SDR11 mediumvoerend 34,2 m NAP incl. bocht 5m Importantiefactor S : 0,75			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm ²
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentieel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Toelaatbare deflectie	δ	= 8,00	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 110,00	mm
Wanddikte	d _n	= 10	mm
Wanddikte bocht	t	= 10	mm
Bochtstraal	R	= 5.000,00	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	
Aanleggegevens			
Ligging: Evenwijdig aan een waterstaatswerk			
Aangepaste zettingslengte	L	= 20.000	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 1,0	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 5	mm
Zettingsverschil	f _z	= 0	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,02	%
Marstonfactor	f _m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld	H _{werk}	= 3,4	m
		10-12-2021 09:08:33	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2020 3.0 ©	
Grondmechanische gegevens				
Grondsoort			= Leem	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 20		kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	ϕ	= 35		°
Effectieve cohesie	c'	= 1		kN/m ²
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 100		kN/m ²
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,04		N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,045		N/mm ³
E-modulus ondergrond	E_{100}	= 5		MN/m ²
Niet rekenen met horizontale steundruk				
Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1		
Verkeersbelasting				
Grafiek ½ x II:			½ · Fatigue Load Model 2, Lorry 4	
Niet rekenen met ontlastende invloed wegdek				

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2020 3.0 ©
1. Eigenschappen van de leiding			
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 90,00	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 100,00	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 110,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 55,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 45,00	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 50,00	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 3.966.260,73	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 72.113,83	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 83,33	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 16,67	mm ³ /mm ¹
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan			
Leiding is drukloos: Controle is niet mogelijk.			
3. Berekening van de veiligheidszone			
Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} = 4 \cdot 3,40 = 13,60$ m			
4. Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pl} t.g.v. inwendige druk			
Leiding is drukloos: $\sigma_p = 0,00$ N/mm ²			
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}			
Leiding is drukloos: $f_{rr} = 1,00$			
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n			
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 20 \cdot 1,0 = 22,00$ kN/m ² $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 22,00 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 2,42$ N/mm ¹			
7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p			
$q_p = q_n \cdot (1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o})$ $q_p = 22,00 \cdot (1 + 0,3 \cdot \frac{1,0}{0,11}) = 82,00$ kN/m ² $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 82,00 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 9,02$ N/mm ¹			
			10-12-2021 09:08:33

8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k

$$\kappa = 1 - \sin(\varphi) = 1 - \sin(35) = 0,426$$

$$\nu = \frac{\kappa}{1 + \kappa} = \frac{0,426}{1 + 0,426} = 0,30$$

$$E_{100, \text{norm}} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,5} = 5 \cdot (22,00/100)^{0,5} = 2,35 \text{ MN/m}^2$$

$$E_1 = E_{100, \text{norm}} / \frac{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu}$$

$$E_1 = 2,35 / \frac{1 - 0,30 - 2 \cdot 0,30^2}{1 - 0,30} = 3,15 \text{ MN/m}^2$$

$$z_{\text{max}} = 0,25 \cdot \frac{D_o}{E_1^{1,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$$

$$z_{\text{max}} = 0,25 \cdot \frac{0,11}{3,15^{1,5} \cdot \sqrt{1,0/0,11}} = 0,0016 \text{ m}$$

$$q_k = q_n + \frac{\mu \cdot D_o}{z_{\text{max}}} \cdot (q_p - q_n)$$

$$1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\text{max}} \cdot k_{v, \text{min}}}$$

$$q_k = 22,00 + \frac{0,02 \cdot 0,11}{0,0016} \cdot (82,00 - 22,00)$$

$$q_k = 22,00 + \frac{0,0016}{1 + \frac{82,00 - 22,00}{0,0016 \cdot 0,0400 \cdot 10^6}} = 64,13 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 64,13 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 7,05 \text{ N/mm}^1$$

9. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Grafiek ½ x II NEN 3650-1:C.17

Niet rekenen met ontlastende invloed

$$q_v = 19,33 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_v = q_v \cdot D_o$$

$$Q_v = 19,33 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 2,13 \text{ N/mm}^1$$

10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{110 \cdot 0,045}{4 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}} = 0,0042 \text{ mm}^{-1}$$

11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1^e en 2^e jaar)

Aangepaste zettingslengte $L = 20.000 \text{ mm}$

$$\lambda \cdot L = 0,0042 \cdot 20.000 = 84,59$$

$i = 0,976$ (= 97,6 % inklemming)

$B_z = 0,00000171$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)

$$Q_z = B_z \cdot f_v \cdot D_o \cdot k_{v, \text{gem}}$$

$$Q_z = 0,00000171 \cdot 5 \cdot 110 \cdot 0,045 = 0,000042 \text{ N/mm}^1$$

$$Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$$

$$Q_d = 0,000042 \cdot 0,0042 \cdot 20.000 \cdot \left(0,976 + \frac{0,976 \cdot 0,0042 \cdot 20.000}{6}\right) = 0,05 \text{ N/mm}^1$$

12. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (na 2 jaar)

$$Q_z = B_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v, \text{gem}}$$

$$Q_z = 0,00000171 \cdot (5 + 2,0 \cdot 0) \cdot 110 \cdot 0,045 = 0,000042 \text{ N/mm}^1$$

$$Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6} \right)$$

$$Q_d = 0,000042 \cdot 0,0042 \cdot 20.000 \cdot \left(0,976 + \frac{0,976 \cdot 0,0042 \cdot 20.000}{6} \right) = 0,05 \text{ N/mm}^1$$

13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen

Berekening evenwichtsdraagvermogen

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

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 1,00 + 0,11 / 2 = 1,06 \text{ m}$$

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

$$d_c = 0,4 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 0,4 \cdot \tan^{-1}(1,06/0,11) = 0,59$$

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

$$P_{we} = 0,85 \cdot 100 \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + 0,02 + 0,59)$$

$$P_{we} = 702,21 \text{ kN/m}^2 = 0,70 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weD_o} = P_{we} \cdot D_o = 0,70 \cdot 110,00 = 77,24 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen

Situatie 1 ^e en 2 ^e jaar	Conclusie:	Situatie na 2 jaar	Conclusie:
$Q_k = 7,05 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_n = 2,42 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig
$Q_v = 2,13 \text{ N/mm}^1$		$Q_v = 2,13 \text{ N/mm}^1$	
$Q_d = 0,05 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 0,05 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 9,23 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 4,60 \text{ N/mm}^1$	

14. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (1^e en 2^e jaar)Moment t.g.v. Q_k en Q_v

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

$$M_q = 0,177 \cdot (7,05 + 2,13) \cdot 50,00$$

$$M_q = 81,25 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,05 \cdot 50,00$$

$$M_{qd} = 0,32 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 1,00 \cdot (81,25 + 0,32) / 16,67 = 4,89 \text{ N/mm}^2$$

15. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (na 2 jaar)Moment t.g.v. Q_n en Q_v

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

$$M_q = 0,177 \cdot (2,42 + 2,13) \cdot 50,00$$

$$M_q = 40,23 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,05 \cdot 50,00$$

$$M_{qd} = 0,32 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 1,00 \cdot (40,23 + 0,32) / 16,67 = 2,43 \text{ N/mm}^2$$

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2020 3.0 ©
16. Berekening van de spanning S_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v	
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,00159 \cdot 5 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,045}{10}} = \mathbf{0,02 \text{ N/mm}^2}$	
17. Berekening van de spanning S_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z	
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,00159 \cdot (5 + 2,0 \cdot 0) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,045}{10}} = \mathbf{0,02 \text{ N/mm}^2}$	
18. Berekening van de spanning S_{ax} t.g.v. temperatuurverschil	
Leiding is drukloos $\sigma_{ax} = \mathbf{0 \text{ N/mm}^2}$	
19. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht	
Berekening van de factoren i_x , i_{xp} , i_y en i_{yp} van de bocht: $r = \left(\frac{D_e}{2} + \frac{D_e - 2 \cdot t}{2} \right) / 2 = 50,00 \text{ mm}$ $h = \frac{t \cdot R}{r^2} = \frac{10 \cdot 5000,00}{50^2} = 20,00$ $k = \frac{1,65}{h} = \frac{1,65}{20,00} = 0,082$ $i_x = \frac{0,9}{h^{(2/3)}} = \frac{0,9}{20,00^{(2/3)}} = 0,12$ $i_y = 2 \cdot i_x = 2 \cdot 0,12 = 0,24$ $i_x < 1 \rightarrow i_x = 1,00$	
20. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N	
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100^3} = 0,0812 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,25 \text{ kN/m}^2}$ Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²	
21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk	
Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij 27,78 m grondwater boven de leiding	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2020 3.0 ©
22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (2,42 + \frac{1}{2} \cdot 2,13) - 0,095 \cdot (1 - \sin(35^\circ)) \cdot (2,42 + \frac{1}{2} \cdot 2,13) + 0,048 \cdot 0,05) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33} = \mathbf{0,73 \text{ mm}} (= 0,73\%)$ Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · D_g = 0,08 · 0,75 · 100,00 = 6,00 mm	
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + i_y \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (4,89 + 0,24 \cdot 0,02) = \mathbf{3,18 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot i_x \cdot \sigma_{bx}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,02 = \mathbf{0,01 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$	
24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + i_y \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (2,43 + 0,24 \cdot 0,02) = \mathbf{1,58 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot i_x \cdot \sigma_{bx}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,02 = \mathbf{0,01 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$	
	10-12-2021 09:08:34

Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 3.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Grensmaas Project Projectonderdeel : WML 110 SDR11 doorsnede 2 leem Importantiefactor S : 0,75			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm ²
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentieel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Toelaatbare deflectie	δ	= 8,00	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 110,00	mm
Wanddikte	d _n	= 10	mm
Geen bocht aanwezig			
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Ontwerpdruk	p _d	= 0,8	N/mm ²
Volumieke massa medium	ρ	= 1000	kg/m ³
Temperatuurverschil	Δ_t	= 10	°
Aanleggegevens			
Belastinghoek (Geperst deel)	α	= 180	°
Belastinghoek (Gelegd deel)	α	= 180	°
Ondersteuningshoek (Geperst deel)	β	= 70	°
Ondersteuningshoek (Gelegd deel)	β	= 70	°
Horizontale steundrukhoek (Geperst deel)	γ	= 120	°
Horizontale steundrukhoek (Gelegd deel)	γ	= 120	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 5	mm
Zettingsverschil	f _z	= 0,0	mm
Berekeningsmethode	k-sprong methode		
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld	H _{werk}	= 3,4	m

Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Grondsoort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]	Wrijvingshoek grond [°]	Gem. vert. bedding- constante [N/mm ³]
Geperst deel	0,00	Leem	20,00	35,00	0,0550
Gelegd deel	4,40	Leem	20,00	35,00	0,0220

Locatie	Hor. steundruk	Effectieve cohesie [kN/m ²]	Schuif-sterkte [kN/m ²]	Verkeersbelasting
Geperst deel	✓	1,00	100,00	Geen
Gelegd deel	✓	1,00	100,00	Geen

Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2020 3.0 ©
1. Eigenschappen van de leiding			
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 90,00	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 100,00	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 110,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 55,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 45,00	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 50,00	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 3.966.260,73	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 72.113,83	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 83,33	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 16,67	mm ³ /mm ¹
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan			
Voor vloeistofleidingen geldt: $H^3 \cdot D_i^5$ moet kleiner dan 40 m⁸ zijn. H is de druk in meters vloeistofkolom. Rekening houdende met $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ volgt: $H = \frac{p_d}{\rho \cdot g}$ $H = \frac{800.000}{1.000 \cdot 9,81} = 81,55 \text{ m} \rightarrow H^3 \cdot D_i^5 = 81,55^3 \cdot 0,09^5 = 3,20 \text{ m}^8$			
3. Berekening van de veiligheidszone			
$R_B = 8 \cdot \sqrt[3]{H^3 \cdot D_i^5}$ $R_B = 8 \cdot \sqrt[3]{81,55^3 \cdot 0,09^5} = 9,25 \text{ m}$ Indien er sprake is van een klein gat: $R_{L1} = 0,5 \cdot R_B = 4,63 \text{ m}$ Indien er sprake is van een groot gat: $R_{L2} = R_B = 9,25 \text{ m}$ Indien er sprake is van niet-trekvaste verbindingen: $R_{L3} = 2 \cdot R_B = 18,51 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L1} = 4 \cdot 3,40 + 4,63 = 18,23 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L2} = 4 \cdot 3,40 + 9,25 = 22,85 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L3} = 4 \cdot 3,40 + 18,51 = 32,11 \text{ m}$ $D_K = 1,2 \cdot (D_0 + H) = 1,2 \cdot (0,11 + 0,0) = 0,13 \text{ m}$			
4. 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 $\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$ $\sigma_p = \frac{55,00^2 + 45,00^2}{55,00^2 - 45,00^2} \cdot 0,8 = 4,04 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_p = 4,04 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 4,04 = 1,62 \text{ N/mm}^2$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$			
			13-12-2021 12:36:30

Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2020 3.0 ©
5. Berekening reroundingfactor f_{rr} (Geperst deel)	
$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w} \right)$ $f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot 0,8 \cdot 50^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 83,33} \right) = 0,80$	
6. Berekening reroundingfactor f_{rr} (Gelegd deel)	
$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w} \right)$ $f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot 0,8 \cdot 50^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 83,33} \right) = 0,80$	
7. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n (Geperst deel)	
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 20,0 \cdot 0,0 = 0,00 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 0,00 \cdot 10^{-3} \cdot 110,0 = 0,00 \text{ N/mm}^1$	
8. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n (Gelegd deel)	
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 20 \cdot 4,4 = 96,80 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 96,80 \cdot 10^{-3} \cdot 110,0 = 10,65 \text{ N/mm}^1$	
	13-12-2021 12:36:30

9. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p (Gelegd deel)

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d$$

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{20}{1,1} \cdot 4,4 = 80,00 \text{ kN/m}^2$$

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

$$\sigma_{\text{hor}} = 80,00 \cdot (1 - \sin(35)) = 34,11 \text{ kN/m}^2$$

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

$$\sigma_o' = \frac{80,00 + 34,11}{2} = 57,06 \text{ kN/m}^2$$

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

$$p_f' = 57,06 \cdot (1 + \sin(35)) + 1 \cdot \cos(35) = 90,60 \text{ kN/m}^2$$

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

$$\kappa = 1 - \sin(35) = 0,426$$

$$\nu = \frac{\kappa}{1 + \kappa}$$

$$\nu = \frac{0,426}{1 + 0,426} = 0,30$$

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

$$G = \frac{5}{2 \cdot (1 + 0,30)} = 2,54$$

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

$$Q = \frac{57,06 \cdot \sin(35) + 1 \cdot \cos(35)}{2,54 \cdot 10^3} = 0,013$$

$$p_{\text{max}}' = (p_f' + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{0,5 \cdot D_0^2}{0,5 \cdot D_0 + H} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi)$$

$$p_{\text{max}}' = (90,60 + 35 \cdot \cot(1)) \cdot \left(\frac{0,5 \cdot 0,11^2}{0,5 \cdot 0,11 + 4,4} + 0,01 \right)^{\frac{-\sin 35}{1 + \sin 35}} - 1 \cdot \cot(35)$$

$$p_{\text{max}}' = \mathbf{442,38 \text{ kN/m}^2}$$

$$Q_p = p_{\text{max}}' \cdot D_0$$

$$Q_p = 442,38 \cdot 10^{-3} \cdot 110,0 = 48,66 \text{ N/mm}^1$$

$$q_0 = \frac{Q_p}{D_0}$$

$$q_0 = \frac{48,66}{110,0} = 0,44 \text{ N/mm}^2$$

10. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Geen NEN 3650-1:C.17 (Geperst deel)

Geen verkeersbelasting ingevoerd

$$Q_v = 0 \text{ N/mm}^1$$

11. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Geen NEN 3650-1:C.17 (Gelegd deel)

Geen verkeersbelasting ingevoerd

$$Q_v = 0 \text{ N/mm}^1$$

12. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding | (Geperst deel)

$$\lambda_1 = \sqrt[4]{\frac{D_0 \cdot k_1}{4 \cdot E \cdot I_b}}$$

$$\lambda_1 = \sqrt[4]{\frac{110,0 \cdot 0,055}{4 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}} = 0,0044 \text{ mm}^{-1}$$

13. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding | (Gelegd deel)

$$\lambda_2 = \sqrt[4]{\frac{D_0 \cdot k_2}{4 \cdot E \cdot I_b}}$$

$$\lambda_2 = \sqrt[4]{\frac{110,0 \cdot 0,022}{4 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}} = 0,0035 \text{ mm}^{-1}$$

14. Bepaling van de relevante berekeningsmethode (k-sprong/z-sprong)

$$k_2/k_1 = 0,4$$

$$a = \frac{\sqrt{k_2/k_1} - k_2/k_1}{1 + k_2/k_1 + 2\sqrt{k_2/k_1} + 2\sqrt[4]{(k_2/k_1)^3} + 2\sqrt[4]{k_2/k_1}} = 0,044$$

$$b = \frac{k_2/k_1 - \sqrt[4]{(k_2/k_1)^3}}{1 + k_2/k_1 + 2\sqrt{k_2/k_1} + 2\sqrt[4]{(k_2/k_1)^3} + 2\sqrt[4]{k_2/k_1}} = 0,17$$

$$\lambda x = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a+b}\right) = 0,67$$

$$A_{\lambda x} = e^{-\lambda x} \cdot (\cos \lambda x + \sin \lambda x) = 0,72$$

$$B_{\lambda x} = e^{-\lambda x} \cdot \sin \lambda x = 0,32$$

$$\alpha = \left(\frac{0,5 \cdot a \cdot A_{\lambda x} + b \cdot B_{\lambda x}}{0,08}\right)^2 = \left(\frac{0,5 \cdot 0,044 \cdot 0,72 + 0,17 \cdot 0,32}{0,08}\right)^2 = 0,77$$

$$\frac{(f_k + 1,5 \cdot f_z) \cdot k_1 \cdot \alpha}{q_0} = \frac{(5 + 2,0 \cdot 0,0) \cdot 0,055 \cdot 0,77}{0,44} = 0,48$$

$$\text{Toetswaarde} = \frac{\alpha}{2 \cdot b \cdot \sqrt[4]{k_2/k_1} - a \cdot \sqrt{k_2/k_1}} = \frac{0,77}{2 \cdot 0,17 \cdot \sqrt[4]{0,4} - 0,044 \cdot \sqrt{0,4}} = 3,16$$

0,48 < 3,16 → **k-sprong methode**

15. Systeemberekening: Bepaling van moment |M| en dwarskracht |P| t.p.v. overgang gelegd/geperst

$$F_0 = k_1 + k_2 + 2\sqrt{k_1 \cdot k_2} + 2\sqrt[4]{k_1 \cdot k_2^3} + 2\sqrt[4]{k_1^3 \cdot k_2} = 0,29$$

$$F_1 = k_1 \cdot \sqrt{k_2} - k_2 \cdot \sqrt{k_1} = 0,0030$$

$$F_2 = k_1 \cdot \sqrt[4]{k_2^3} + k_2 \cdot \sqrt[4]{k_1^3} = 0,0056$$

$$|M| = \frac{F_1}{F_0} \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt{D_e \cdot E \cdot I_b} = 33.789,30 \text{ Nmm}$$

$$|P| = \frac{F_2}{F_0} \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt[4]{4 \cdot D_e^3 \cdot E \cdot I_b} = 1.167,41 \text{ N}$$

16. Bepaling plaats en grootte van de maximale momenten*16.1 Geperst deel*

$$x_1 = \frac{1}{\lambda_1} \cdot \tan^{-1}\left(\frac{|P|}{2 \cdot |M| \cdot \lambda_1 + |P|}\right) = 151,08$$

$$\lambda_1 x_1 = 0,0044 \cdot 151,08 = 0,67$$

$$A_{\lambda_1 x_1} = e^{-\lambda_1 x_1} \cdot (\cos \lambda_1 x_1 + \sin \lambda_1 x_1) = 0,72$$

$$B_{\lambda_1 x_1} = e^{-\lambda_1 x_1} \cdot \sin \lambda_1 x_1 = 0,32$$

$$M_{\max 1} = -|M| \cdot A_{\lambda_1 x_1} - \frac{|P|}{\lambda_1} \cdot B_{\lambda_1 x_1} = 107.705,78 \text{ Nmm}$$

16.2 Gelegd deel

$$x_2 = \frac{1}{\lambda_2} \cdot \tan^{-1}\left(\frac{|P|}{|P| - 2 \cdot |M| \cdot \lambda_2}\right) = 254,18$$

$$\lambda_2 x_2 = 0,0035 \cdot 254,18 = 0,90$$

$$A_{\lambda_2 x_2} = e^{-\lambda_2 x_2} \cdot (\cos \lambda_2 x_2 + \sin \lambda_2 x_2) = 0,57$$

$$B_{\lambda_2 x_2} = e^{-\lambda_2 x_2} \cdot \sin \lambda_2 x_2 = 0,32$$

$$M_{\max 2} = -|M| \cdot A_{\lambda_2 x_2} + \frac{|P|}{\lambda_2} \cdot B_{\lambda_2 x_2} = 85.824,80 \text{ Nmm}$$

17. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting*17.1 Geperst deel*

$$Q_d = 2 \cdot |M| \cdot \lambda_1^2 + 2 \cdot |P| \cdot \lambda_1$$

$$Q_d = 2 \cdot 33.789,30 \cdot 0,0044^2 + 2 \cdot 1.167,41 \cdot 0,0044 = 11,72 \text{ N/mm}^1$$

17.2 Gelegd deel

$$Q_d = |2 \cdot |M| \cdot \lambda_2^2 - 2 \cdot |P| \cdot \lambda_2|$$

$$Q_d = |2 \cdot 33.789,30 \cdot 0,0035^2 - 2 \cdot 1.167,41 \cdot 0,0035| = 7,41 \text{ N/mm}^1$$

18. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen (Geperst deel)*Berekening evenwichtsdraagvermogen*

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

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 0,00 + 0,11 / 2 = 0,06 \text{ m}$$

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

$$d_c = 0,4 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 0,4 \cdot \tan^{-1}(0,06/0,11) = 0,19$$

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

$$P_{we} = 0,85 \cdot 100 \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + 0,02 + 0,19)$$

$$P_{we} = 526,83 \text{ kN/m}^2 = 0,53 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weD_o} = P_{we} \cdot D_o = 0,53 \cdot 110,00 = 57,95 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen

Q_n	=	0,00	N/mm ¹	Conclusie:
Q_v	=	0,00	N/mm ¹	Geen aanpassing
Q_d	=	11,72	N/mm ¹ +	van Q_d nodig
Σ	=	11,72	N/mm ¹	

19. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen (Gelegd deel)*Berekening evenwichtsdraagvermogen*

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

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 4,40 + 0,11 / 2 = 4,46 \text{ m}$$

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

$$d_c = 0,4 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 0,4 \cdot \tan^{-1}(4,46/0,11) = 0,62$$

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

$$P_{we} = 0,85 \cdot 100 \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + 0,02 + 0,62)$$

$$P_{we} = 716,06 \text{ kN/m}^2 = 0,72 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 0,72 \cdot 110,00 = 78,77 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen

Q_n	=	10,65 N/mm ¹	Conclusie:
Q_v	=	0,00 N/mm ¹	Geen aanpassing
Q_d	=	7,41 N/mm ¹ +	van Q_d nodig
Σ	=	18,06 N/mm ¹	

20. Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen (Geperst deel)*Moment t.g.v. Q_n en Q_v*

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

$$M_q = 0,177 \cdot (0,00 + 0,00) \cdot 50,00 - 0,143 \cdot (1 - \sin(35^\circ)) \cdot \sin(1/2 \cdot 120^\circ) \cdot (0,00 + 0,00) \cdot 50,00$$

$$M_q = 0,00 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 11,72 \cdot 50,00$$

$$M_{qd} = 71,49 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 0,80 \cdot (0,00 + 71,49) / 16,67 = \mathbf{3,43 \text{ N/mm}^2}$$

Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2020 3.0 ©
21. Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen (Gelegd deel)	
<i>Moment t.g.v. Q_n en Q_v</i> $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,177 \cdot (10,65 + 0,00) \cdot 50,00 - 0,143 \cdot (1 - \sin(35^\circ)) \cdot \sin(1/2 \cdot 120^\circ) \cdot (10,65 + 0,00) \cdot 50,00$ $M_q = 66,12 \text{ Nmm/mm}^1$ <i>Moment t.g.v. Q_d</i> $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 7,41 \cdot 50,00$ $M_{qd} = 45,21 \text{ Nmm/mm}^1$ <i>Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}</i> $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 1,00 \cdot (66,12 + 45,21) / 16,67 = \mathbf{6,68 \text{ N/mm}^2}$	
22. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z (Geperst deel)	
$\sigma_{bx} = \frac{M_{max1}}{W_b}$ $\sigma_{bx} = \frac{107.705,78}{72.113,83} = \mathbf{1,49 \text{ N/mm}^2}$	
23. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z (Gelegd deel)	
$\sigma_{bx} = \frac{M_{max2}}{W_b}$ $\sigma_{bx} = \frac{85.824,80}{72.113,83} = \mathbf{1,19 \text{ N/mm}^2}$	
24. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil	
$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$ $\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,00016 \cdot 975 = \mathbf{1,56 \text{ N/mm}^2}$	
25. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht	
Aangezien er geen bocht wordt toegepast volgt: $i_x = 1, i_y = 0, i_{xp} = 1, i_{yp} = 0$	
26. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N	
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100^3} = 0,0812 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,25 \text{ kN/m}^2}$ Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²	
	13-12-2021 12:36:30

27. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

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

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

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

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **27,78** m grondwater boven de leiding

28. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie (Geperst deel)

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

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (0,00 + \frac{1}{2} \cdot 0,00) - 0,095 \cdot (1 - \sin(35^\circ)) \cdot (0,00 + \frac{1}{2} \cdot 0,00) + 0,048 \cdot 11,72) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33} = \mathbf{2,41 \text{ mm}} (= 2,41\%)$$

Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · $D_g = 0,08 \cdot 0,75 \cdot 100,00 = \mathbf{6,00 \text{ mm}}$

29. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie (Gelegd deel)

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

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (10,65 + \frac{1}{2} \cdot 0,00) - 0,095 \cdot (1 - \sin(35^\circ)) \cdot (10,65 + \frac{1}{2} \cdot 0,00) + 0,048 \cdot 7,41) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33} = \mathbf{3,74 \text{ mm}} (= 3,74\%)$$

Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · $D_g = 0,08 \cdot 0,75 \cdot 100,00 = \mathbf{6,00 \text{ mm}}$

30. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (Geperst deel)

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

$$\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$$

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 3,43 = \mathbf{2,23 \text{ N/mm}^2}$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

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

$$\sigma_x = 1,62 + 0,65 \cdot 1,49 + 1,56 = \mathbf{4,15 \text{ N/mm}^2}$$

Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$

31. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (Gelegd deel)

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

$$\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$$

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 6,68 = \mathbf{4,34 \text{ N/mm}^2}$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

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

$$\sigma_x = 1,62 + 0,65 \cdot 1,19 + 1,56 = \mathbf{3,95 \text{ N/mm}^2}$$

Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$

Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020				Sigma 2020 3.0 ©	
Algemene gegevens					
Naam van het project : Grensmaas Project Projectonderdeel : WML 110 SDR11 doorsnede 2 leem Importantiefactor S : 0,75					
Materiaalgegevens					
Materiaalsoort:	PE				
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11				
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm ²		
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-		
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm ²		
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm ²		
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm ²		
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)		
Alfa Tangentieel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-		
Toelaatbare deflectie	δ	= 8,00	%		
Leidinggegevens					
Uitwendige middellijn	D _e	= 110,00	mm		
Wanddikte	d _n	= 10	mm		
Geen bocht aanwezig					
Procesgegevens					
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos			
Aanleggegevens					
Belastinghoek (Geperst deel)	α	= 180	°		
Belastinghoek (Gelegd deel)	α	= 180	°		
Ondersteuningshoek (Geperst deel)	β	= 70	°		
Ondersteuningshoek (Gelegd deel)	β	= 70	°		
Horizontale steundrukhoek (Geperst deel)	γ	= 120	°		
Horizontale steundrukhoek (Gelegd deel)	γ	= 120	°		
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 5	mm		
Zettingsverschil	f _z	= 0,0	mm		
Berekeningsmethode	k-sprong methode				
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone					
Waterstaatswerk: Niet Verheeld					
Hoogteverschil kruin-maaiveld		H _{werk}	= 3,4	m	
Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting					
Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Grondsoort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]	Wrijvingshoek grond [°]	Gem. vert. bedding-constante [N/mm ³]
Geperst deel	0,00	Leem	20,00	35,00	0,0550
Gelegd deel	4,40	Leem	20,00	35,00	0,0220
13-12-2021 12:40:07					

Locatie	Hor. steundruk	Effectieve cohesie [kN/m ²]	Schuif-sterkte [kN/m ²]	Verkeersbelasting
Geperst deel	✓	1,00	100,00	Geen
Gelegd deel	✓	1,00	100,00	Geen

Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2020 3.0 ©
1. Eigenschappen van de leiding			
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 90,00	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 100,00	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 110,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 55,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 45,00	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 50,00	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 3.966.260,73	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 72.113,83	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 83,33	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 16,67	mm ³ /mm ¹
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan			
Leiding is drukloos: Controle is niet mogelijk.			
3. Berekening van de veiligheidszone			
Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} = 4 \cdot 3,40 = 13,60$ m			
4. Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pl} t.g.v. inwendige druk			
Leiding is drukloos: $\sigma_p = 0,00$ N/mm ²			
5. Berekening reroundingfactor f_{rr} (Geperst deel)			
Leiding is drukloos: $f_{rr} = 1,00$			
6. Berekening reroundingfactor f_{rr} (Gelegd deel)			
Leiding is drukloos: $f_{rr} = 1,00$			
7. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n (Geperst deel)			
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 20,0 \cdot 0,0 = 0,00$ kN/m ² $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 0,00 \cdot 10^{-3} \cdot 110,0 = 0,00$ N/mm ¹			
8. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n (Gelegd deel)			
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 20 \cdot 4,4 = 96,80$ kN/m ² $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 96,80 \cdot 10^{-3} \cdot 110,0 = 10,65$ N/mm ¹			
			13-12-2021 12:40:07

9. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p (Gelegd deel)

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d$$

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{20}{1,1} \cdot 4,4 = 80,00 \text{ kN/m}^2$$

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

$$\sigma_{\text{hor}} = 80,00 \cdot (1 - \sin(35)) = 34,11 \text{ kN/m}^2$$

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

$$\sigma_o' = \frac{80,00 + 34,11}{2} = 57,06 \text{ kN/m}^2$$

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

$$p_f' = 57,06 \cdot (1 + \sin(35)) + 1 \cdot \cos(35) = 90,60 \text{ kN/m}^2$$

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

$$\kappa = 1 - \sin(35) = 0,426$$

$$\nu = \frac{\kappa}{1 + \kappa}$$

$$\nu = \frac{0,426}{1 + 0,426} = 0,30$$

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

$$G = \frac{5}{2 \cdot (1 + 0,30)} = 2,54$$

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

$$Q = \frac{57,06 \cdot \sin(35) + 1 \cdot \cos(35)}{2,54 \cdot 10^3} = 0,013$$

$$p_{\text{max}}' = (p_f' + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{0,5 \cdot D_0^2}{0,5 \cdot D_0 + H} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi)$$

$$p_{\text{max}}' = (90,60 + 35 \cdot \cot(1)) \cdot \left(\frac{0,5 \cdot 0,11^2}{0,5 \cdot 0,11 + 4,4} + 0,01 \right)^{\frac{-\sin 35}{1 + \sin 35}} - 1 \cdot \cot(35)$$

$$p_{\text{max}}' = 442,38 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = p_{\text{max}}' \cdot D_o$$

$$Q_p = 442,38 \cdot 10^{-3} \cdot 110,0 = 48,66 \text{ N/mm}^1$$

$$q_o = \frac{Q_p}{D_o}$$

$$q_o = \frac{48,66}{110,0} = 0,44 \text{ N/mm}^2$$

10. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Geen NEN 3650-1:C.17 (Geperst deel)

Geen verkeersbelasting ingevoerd

$$Q_v = 0 \text{ N/mm}^1$$

11. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Geen NEN 3650-1:C.17 (Gelegd deel)

Geen verkeersbelasting ingevoerd

$$Q_v = 0 \text{ N/mm}^1$$

12. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding | (Geperst deel)

$$\lambda_1 = \sqrt[4]{\frac{D_0 \cdot k_1}{4 \cdot E \cdot I_b}}$$

$$\lambda_1 = \sqrt[4]{\frac{110,0 \cdot 0,055}{4 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}} = 0,0044 \text{ mm}^{-1}$$

13. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding | (Gelegd deel)

$$\lambda_2 = \sqrt[4]{\frac{D_0 \cdot k_2}{4 \cdot E \cdot I_b}}$$

$$\lambda_2 = \sqrt[4]{\frac{110,0 \cdot 0,022}{4 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}} = 0,0035 \text{ mm}^{-1}$$

14. Bepaling van de relevante berekeningsmethode (k-sprong/z-sprong)

$$k_2/k_1 = 0,4$$

$$a = \frac{\sqrt{k_2/k_1} - k_2/k_1}{1 + k_2/k_1 + 2\sqrt{k_2/k_1} + 2\sqrt[4]{(k_2/k_1)^3} + 2\sqrt[4]{k_2/k_1}} = 0,044$$

$$b = \frac{k_2/k_1 - \sqrt[4]{(k_2/k_1)^3}}{1 + k_2/k_1 + 2\sqrt{k_2/k_1} + 2\sqrt[4]{(k_2/k_1)^3} + 2\sqrt[4]{k_2/k_1}} = 0,17$$

$$\lambda x = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a+b}\right) = 0,67$$

$$A_{\lambda x} = e^{-\lambda x} \cdot (\cos \lambda x + \sin \lambda x) = 0,72$$

$$B_{\lambda x} = e^{-\lambda x} \cdot \sin \lambda x = 0,32$$

$$\alpha = \left(\frac{0,5 \cdot a \cdot A_{\lambda x} + b \cdot B_{\lambda x}}{0,08}\right)^2 = \left(\frac{0,5 \cdot 0,044 \cdot 0,72 + 0,17 \cdot 0,32}{0,08}\right)^2 = 0,77$$

$$\frac{(f_k + 1,5 \cdot f_z) \cdot k_1 \cdot \alpha}{q_0} = \frac{(5 + 2,0 \cdot 0,0) \cdot 0,055 \cdot 0,77}{0,44} = 0,48$$

$$\text{Toetswaarde} = \frac{\alpha}{2 \cdot b \cdot \sqrt[4]{k_2/k_1} - a \cdot \sqrt{k_2/k_1}} = \frac{0,77}{2 \cdot 0,17 \cdot \sqrt[4]{0,4} - 0,044 \cdot \sqrt{0,4}} = 3,16$$

0,48 < 3,16 → **k-sprong methode**

15. Systeemberekening: Bepaling van moment |M| en dwarskracht |P| t.p.v. overgang gelegd/geperst

$$F_0 = k_1 + k_2 + 2\sqrt{k_1 \cdot k_2} + 2\sqrt[4]{k_1 \cdot k_2^3} + 2\sqrt[4]{k_1^3 \cdot k_2} = 0,29$$

$$F_1 = k_1 \cdot \sqrt{k_2} - k_2 \cdot \sqrt{k_1} = 0,0030$$

$$F_2 = k_1 \cdot \sqrt[4]{k_2^3} + k_2 \cdot \sqrt[4]{k_1^3} = 0,0056$$

$$|M| = \frac{F_1}{F_0} \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt{D_e \cdot E \cdot I_b} = 33.789,30 \text{ Nmm}$$

$$|P| = \frac{F_2}{F_0} \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt[4]{4 \cdot D_e^3 \cdot E \cdot I_b} = 1.167,41 \text{ N}$$

16. Bepaling plaats en grootte van de maximale momenten*16.1 Geperst deel*

$$x_1 = \frac{1}{\lambda_1} \cdot \tan^{-1}\left(\frac{|P|}{2 \cdot |M| \cdot \lambda_1 + |P|}\right) = 151,08$$

$$\lambda_1 x_1 = 0,0044 \cdot 151,08 = 0,67$$

$$A_{\lambda_1 x_1} = e^{-\lambda_1 x_1} \cdot (\cos \lambda_1 x_1 + \sin \lambda_1 x_1) = 0,72$$

$$B_{\lambda_1 x_1} = e^{-\lambda_1 x_1} \cdot \sin \lambda_1 x_1 = 0,32$$

$$M_{\max 1} = -|M| \cdot A_{\lambda_1 x_1} - \frac{|P|}{\lambda_1} \cdot B_{\lambda_1 x_1} = 107.705,78 \text{ Nmm}$$

16.2 Gelegd deel

$$x_2 = \frac{1}{\lambda_2} \cdot \tan^{-1}\left(\frac{|P|}{|P| - 2 \cdot |M| \cdot \lambda_2}\right) = 254,18$$

$$\lambda_2 x_2 = 0,0035 \cdot 254,18 = 0,90$$

$$A_{\lambda_2 x_2} = e^{-\lambda_2 x_2} \cdot (\cos \lambda_2 x_2 + \sin \lambda_2 x_2) = 0,57$$

$$B_{\lambda_2 x_2} = e^{-\lambda_2 x_2} \cdot \sin \lambda_2 x_2 = 0,32$$

$$M_{\max 2} = -|M| \cdot A_{\lambda_2 x_2} + \frac{|P|}{\lambda_2} \cdot B_{\lambda_2 x_2} = 85.824,80 \text{ Nmm}$$

17. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting*17.1 Geperst deel*

$$Q_d = 2 \cdot |M| \cdot \lambda_1^2 + 2 \cdot |P| \cdot \lambda_1$$

$$Q_d = 2 \cdot 33.789,30 \cdot 0,0044^2 + 2 \cdot 1.167,41 \cdot 0,0044 = 11,72 \text{ N/mm}^1$$

17.2 Gelegd deel

$$Q_d = |2 \cdot |M| \cdot \lambda_2^2 - 2 \cdot |P| \cdot \lambda_2|$$

$$Q_d = |2 \cdot 33.789,30 \cdot 0,0035^2 - 2 \cdot 1.167,41 \cdot 0,0035| = 7,41 \text{ N/mm}^1$$

18. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen (Geperst deel)*Berekening evenwichtsdraagvermogen*

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

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 0,00 + 0,11 / 2 = 0,06 \text{ m}$$

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

$$d_c = 0,4 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 0,4 \cdot \tan^{-1}(0,06/0,11) = 0,19$$

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

$$P_{we} = 0,85 \cdot 100 \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + 0,02 + 0,19)$$

$$P_{we} = 526,83 \text{ kN/m}^2 = 0,53 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weD_o} = P_{we} \cdot D_o = 0,53 \cdot 110,00 = 57,95 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen

Q_n	=	0,00	N/mm ¹	Conclusie:
Q_v	=	0,00	N/mm ¹	Geen aanpassing
Q_d	=	11,72	N/mm ¹ +	van Q_d nodig
Σ	=	11,72	N/mm ¹	

19. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen (Gelegd deel)*Berekening evenwichtsdraagvermogen*

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

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 4,40 + 0,11 / 2 = 4,46 \text{ m}$$

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

$$d_c = 0,4 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 0,4 \cdot \tan^{-1}(4,46/0,11) = 0,62$$

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

$$P_{we} = 0,85 \cdot 100 \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + 0,02 + 0,62)$$

$$P_{we} = 716,06 \text{ kN/m}^2 = 0,72 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 0,72 \cdot 110,00 = 78,77 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen

Q_n	=	10,65 N/mm ¹	Conclusie:
Q_v	=	0,00 N/mm ¹	Geen aanpassing
Q_d	=	7,41 N/mm ¹ +	van Q_d nodig
Σ	=	18,06 N/mm ¹	

20. Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen (Geperst deel)*Moment t.g.v. Q_n en Q_v*

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

$$M_q = 0,177 \cdot (0,00 + 0,00) \cdot 50,00 - 0,143 \cdot (1 - \sin(35^\circ)) \cdot \sin(1/2 \cdot 120^\circ) \cdot (0,00 + 0,00) \cdot 50,00$$

$$M_q = 0,00 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 11,72 \cdot 50,00$$

$$M_{qd} = 71,49 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 1,00 \cdot (0,00 + 71,49) / 16,67 = 4,29 \text{ N/mm}^2$$

Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2020 3.0 ©
21. Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen (Gelegd deel)	
<i>Moment t.g.v. Q_n en Q_v</i> $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,177 \cdot (10,65 + 0,00) \cdot 50,00 - 0,143 \cdot (1 - \sin(35^\circ)) \cdot \sin(1/2 \cdot 120^\circ) \cdot (10,65 + 0,00) \cdot 50,00$ $M_q = 66,12 \text{ Nmm/mm}^1$ <i>Moment t.g.v. Q_d</i> $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 7,41 \cdot 50,00$ $M_{qd} = 45,21 \text{ Nmm/mm}^1$ <i>Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}</i> $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 1,00 \cdot (66,12 + 45,21) / 16,67 = \mathbf{6,68 \text{ N/mm}^2}$	
22. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z (Geperst deel)	
$\sigma_{bx} = \frac{M_{max1}}{W_b}$ $\sigma_{bx} = \frac{107.705,78}{72.113,83} = \mathbf{1,49 \text{ N/mm}^2}$	
23. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z (Gelegd deel)	
$\sigma_{bx} = \frac{M_{max2}}{W_b}$ $\sigma_{bx} = \frac{85.824,80}{72.113,83} = \mathbf{1,19 \text{ N/mm}^2}$	
24. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil	
Leiding is drukloos $\sigma_{ax} = \mathbf{0 \text{ N/mm}^2}$	
25. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht	
Aangezien er geen bocht wordt toegepast volgt: $i_x = 1, i_y = 0, i_{xp} = 1, i_{yp} = 0$	
26. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N	
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100^3} = 0,0812 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,25 \text{ kN/m}^2}$ Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²	
	13-12-2021 12:40:07

Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2020 3.0 ©
27. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk	
Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij 27,78 m grondwater boven de leiding	
28. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie (Geperst deel)	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (0,00 + \frac{1}{2} \cdot 0,00) - 0,095 \cdot (1 - \sin(35^\circ)) \cdot (0,00 + \frac{1}{2} \cdot 0,00) + 0,048 \cdot 11,72) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33} = \mathbf{2,41 \text{ mm}} (= 2,41\%)$ Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · D _g = 0,08 · 0,75 · 100,00 = 6,00 mm	
29. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie (Gelegd deel)	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (10,65 + \frac{1}{2} \cdot 0,00) - 0,095 \cdot (1 - \sin(35^\circ)) \cdot (10,65 + \frac{1}{2} \cdot 0,00) + 0,048 \cdot 7,41) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33} = \mathbf{3,74 \text{ mm}} (= 3,74\%)$ Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · D _g = 0,08 · 0,75 · 100,00 = 6,00 mm	
30. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (Geperst deel)	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 4,29 = \mathbf{2,79 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 1,49 = \mathbf{0,97 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$	
31. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (Gelegd deel)	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 6,68 = \mathbf{4,34 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 1,19 = \mathbf{0,77 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$	
	13-12-2021 12:40:07

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 3.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Grensmaas Project Projectonderdeel : WML 110 SDR11 mediumvoerend 34,2 m NAP incl. bocht 5m Importantiefactor S : 0,75			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm ²
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentieel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Toelaatbare deflectie	δ	= 8,00	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 110,00	mm
Wanddikte	d _n	= 10	mm
Wanddikte bocht	t	= 10	mm
Bochtstraal	R	= 5.000,00	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Ontwerpdruk	p _d	= 0,8	N/mm ²
Volumieke massa medium	ρ	= 1000	kg/m ³
Temperatuurverschil	Δt	= 10	°
Aanleggegevens			
Ligging: Evenwijdig aan een waterstaatswerk			
Aangepaste zettingslengte	L	= 20.000	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 4,4	m
Gronddekking boven de grondwaterstand	H _d	= 0,5	m
Gronddekking onder de grondwaterstand	H _n	= 3,90	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 5,0	mm
Zettingsverschil	f _z	= 0	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,02	%
Marstonfactor	f _m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Verheeld			
		10-12-2021 09:16:39	

Grondsoort		= Leem	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 20	kN/m ³
Volumiek gewicht natte grond	γ_n	= 20	kN/m ³
Volumiek gewicht water	γ_w	= 10	kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	φ	= 35	°
Effectieve cohesie	c'	= 1	kN/m ²
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 100	kN/m ²
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,04	N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,045	N/mm ³
E-modulus ondergrond	E_{100}	= 5	MN/m ²
Niet rekenen met horizontale steundruk			
Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	

Geen verkeersbelasting ingevoerd

Rekenen met ontlastende invloed wegdek: Geen ontlastende invloed

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2020 3.0 ©
1. Eigenschappen van de leiding			
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 90,00	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i) / 2$	= 100,00	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 110,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 55,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 45,00	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 50,00	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 3.966.260,73	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 72.113,83	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 83,33	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 16,67	mm ³ /mm ¹
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan			
Voor vloeistofleidingen geldt: $H^3 \cdot D_i^5$ moet kleiner dan 40 m⁸ zijn. H is de druk in meters vloeistofkolom. Rekening houdende met $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ volgt: $H = \frac{p_d}{\rho \cdot g}$ $H = \frac{800.000}{1.000 \cdot 9,81} = 81,55 \text{ m} \rightarrow H^3 \cdot D_i^5 = 81,55^3 \cdot 0,09^5 = 3,20 \text{ m}^8$			
3. Berekening van de veiligheidszone			
$R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{H^3 \cdot D_i^5}$ $R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{81,55^3 \cdot 0,09^5} = 9,25 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_B = 4 \cdot 0,00 + 9,25 = 9,25 \text{ m}$ $D_K = 1,2 \cdot (D_o + H) = 1,2 \cdot (0,11 + 4,4) = 5,41 \text{ m}$			
4. 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 $\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$ $\sigma_p = \frac{55,00^2 + 45,00^2}{55,00^2 - 45,00^2} \cdot 0,8 = 4,04 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_p = 4,04 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 4,04 = 1,62 \text{ N/mm}^2$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$			
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}			
$f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w})$ $f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot 0,8 \cdot 50^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 83,33}) = 0,80$			

6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

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

$$q_n = 1,1 \cdot 20 \cdot 0,5 + 1,1 \cdot 20 \cdot 3,9 - 10 \cdot 3,9 = 57,80 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_n = q_n \cdot D_o$$

$$Q_n = 57,80 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 6,36 \text{ N/mm}^1$$

7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p

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

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{20}{1,1} \cdot 0,5 + \frac{20}{1,1} \cdot 3,9 - 10 \cdot 3,9 = 41,00 \text{ kN/m}^2$$

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

$$\sigma_{\text{hor}} = 41,00 \cdot (1 - \sin(35)) = 17,48 \text{ kN/m}^2$$

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

$$\sigma_o' = \frac{41,00 + 17,48}{2} = 29,24 \text{ kN/m}^2$$

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

$$p_f' = 29,24 \cdot (1 + \sin(35)) + 1 \cdot \cos(35) = 46,83 \text{ kN/m}^2$$

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

$$\kappa = 1 - \sin(35) = 0,426$$

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

$$v = \frac{0,426}{1 + 0,426} = 0,30$$

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

$$G = \frac{5}{2 \cdot (1 + 0,30)} = 1,96$$

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

$$Q = \frac{29,24 \cdot \sin(35) + 1 \cdot \cos(35)}{1,96 \cdot 10^3} = 0,009$$

$$p_{\text{max}}' = (p_f' + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{0,5 \cdot D_o^2}{0,5 \cdot D_o + H} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi)$$

$$p_{\text{max}}' = (46,83 + 35 \cdot \cot(1)) \cdot \left(\frac{0,5 \cdot 0,11^2}{0,5 \cdot 0,11 + 4,4} + 0,01 \right)^{\frac{-\sin 35}{1 + \sin 35}} - 1 \cdot \cot(35)$$

$$p_{\text{max}}' = \mathbf{266,10 \text{ kN/m}^2}$$

$$Q_p = p_{\text{max}}' \cdot D_o$$

$$Q_p = 266,10 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 29,27 \text{ N/mm}^1$$

8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k

$$E_{100, \text{norm}} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,5} = 5 \cdot (57,80/100)^{0,5} = 3,80 \text{ MN/m}^2$$

$$E_1 = E_{100, \text{norm}} / \frac{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu}$$

$$E_1 = 3,80 / \frac{1 - 0,30 - 2 \cdot 0,30^2}{1 - 0,30} = 5,10 \text{ MN/m}^2$$

$$z_{\text{max}} = 0,25 \cdot \frac{D_o}{E_1^{1,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$$

$$z_{\text{max}} = 0,25 \cdot \frac{0,11}{5,10^{1,5} \cdot \sqrt{4,4/0,11}} = 0,00038 \text{ m}$$

$$q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_o}{z_{\text{max}}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\text{max}} \cdot k_{v, \text{min}}}}$$

$$q_k = 57,80 + \frac{\frac{0,02 \cdot 0,11}{0,00038} \cdot (266,10 - 57,80)}{1 + \frac{266,10 - 57,80}{0,00038 \cdot 0,0400 \cdot 10^6}} = 139,86 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 139,86 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 15,38 \text{ N/mm}^1$$

9. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Geen NEN 3650-1:C.17

Geen verkeersbelasting ingevoerd

$$Q_v = 0 \text{ N/mm}^1$$

10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{110 \cdot 0,045}{4 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}} = 0,0042 \text{ mm}^{-1}$$

11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1^e en 2^e jaar)

Aangepaste zettingslengte $L = 20.000 \text{ mm}$

$$\lambda \cdot L = 0,0042 \cdot 20.000 = 84,59$$

$i = 0,976$ (= 97,6 % inklemming)

$B_z = 0,00000171$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)

$$Q_z = B_z \cdot f_v \cdot D_o \cdot k_{v, \text{gem}}$$

$$Q_z = 0,00000171 \cdot 5,0 \cdot 110 \cdot 0,045 = 0,000042 \text{ N/mm}^1$$

$$Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$$

$$Q_d = 0,000042 \cdot 0,0042 \cdot 20.000 \cdot \left(0,976 + \frac{0,976 \cdot 0,0042 \cdot 20.000}{6}\right) = 0,05 \text{ N/mm}^1$$

12. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (na 2 jaar)

$$Q_z = B_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v, \text{gem}}$$

$$Q_z = 0,00000171 \cdot (5,0 + 2,0 \cdot 0) \cdot 110 \cdot 0,045 = 0,000042 \text{ N/mm}^1$$

$$Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6} \right)$$

$$Q_d = 0,000042 \cdot 0,0042 \cdot 20.000 \cdot \left(0,976 + \frac{0,976 \cdot 0,0042 \cdot 20.000}{6} \right) = 0,05 \text{ N/mm}^1$$

13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen

Berekening evenwichtsdraagvermogen

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

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 4,40 + 0,11 / 2 = 4,46 \text{ m}$$

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

$$d_c = 0,4 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 0,4 \cdot \tan^{-1}(4,46/0,11) = 0,62$$

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

$$P_{we} = 0,85 \cdot 100 \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + 0,02 + 0,62)$$

$$P_{we} = 716,06 \text{ kN/m}^2 = 0,72 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weD_o} = P_{we} \cdot D_o = 0,72 \cdot 110,00 = 78,77 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen

Situatie 1 ^e en 2 ^e jaar	Conclusie:	Situatie na 2 jaar	Conclusie:
$Q_k = 15,38 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_n = 6,36 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig
$Q_v = 0,00 \text{ N/mm}^1$		$Q_v = 0,00 \text{ N/mm}^1$	
$Q_d = 0,05 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 0,05 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 15,44 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 6,41 \text{ N/mm}^1$	

14. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (1^e en 2^e jaar)

Moment t.g.v. Q_k en Q_v

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

$$M_q = 0,177 \cdot (15,38 + 0,00) \cdot 50,00$$

$$M_q = 136,15 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,05 \cdot 50,00$$

$$M_{qd} = 0,32 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 0,80 \cdot (136,15 + 0,32) / 16,67 = 6,54 \text{ N/mm}^2$$

15. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (na 2 jaar)

Moment t.g.v. Q_n en Q_v

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

$$M_q = 0,177 \cdot (6,36 + 0,00) \cdot 50,00$$

$$M_q = 56,27 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,05 \cdot 50,00$$

$$M_{qd} = 0,32 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 0,80 \cdot (56,27 + 0,32) / 16,67 = 2,71 \text{ N/mm}^2$$

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 3.0 ©
16. Berekening van de spanning S_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,00159 \cdot 5,0 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,045}{10}} = \mathbf{0,02 \text{ N/mm}^2}$		
17. Berekening van de spanning S_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,00159 \cdot (5,0 + 2,0 \cdot 0) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,045}{10}} = \mathbf{0,02 \text{ N/mm}^2}$		
18. Berekening van de spanning S_{ax} t.g.v. temperatuurverschil		
$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$ $\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,00016 \cdot 975 = \mathbf{1,56 \text{ N/mm}^2}$		
19. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht		
Berekening van de factoren i_x, i_{xp}, i_y en i_{yp} van de bocht: $r = \left(\frac{D_e}{2} + \frac{D_e - 2 \cdot t}{2} \right) / 2 = 50,00 \text{ mm}$ $h = \frac{t \cdot R}{r^2} = \frac{10 \cdot 5000,00}{50^2} = 20,00$ $k = \frac{1,65}{h} = \frac{1,65}{20,00} = 0,082$ $i_x = \frac{0,9}{h^{(2/3)}} = \frac{0,9}{20,00^{(2/3)}} = 0,12$ $c_2 = 1 + 3,25 \cdot (p_d/E) \cdot (r/t)^{(5/2)} \cdot (R/r)^{(2/3)}$ $c_2 = 1 + 3,25 \cdot (0,8/975) \cdot (50,00/10)^{(5/2)} \cdot (5.000,00/50)^{(2/3)} = 4,21$ $i_{xp} = \frac{i_x}{c_2} = \frac{0,12}{4,21} = 0,03$ $i_y = 2 \cdot i_x = 2 \cdot 0,12 = 0,24$ $i_{yp} = 2 \cdot i_{xp} = 2 \cdot 0,03 = 0,06$ $i_x < 1 \rightarrow i_x = 1,00$ $i_{xp} < 1 \rightarrow i_{xp} = 1,00$		
20. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N		
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100^3} = 0,0812 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,25 \text{ kN/m}^2}$ Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²		
		10-12-2021 09:16:40

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2020 3.0 ©
21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk	
Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij 27,78 m grondwater boven de leiding	
22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (6,36 + \frac{1}{2} \cdot 0,00) - 0,095 \cdot (1 - \sin(35^\circ)) \cdot (6,36 + \frac{1}{2} \cdot 0,00) + 0,048 \cdot 0,05) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33} = \mathbf{1,33 \text{ mm}} (= 1,33\%)$ Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · D _g = 0,08 · 0,75 · 100,00 = 6,00 mm	
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + i_{yp} \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (6,54 + 0,06 \cdot 0,02) = \mathbf{4,25 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_\sigma \cdot i_{xp} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 1,62 + 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,02 + 1,56 = \mathbf{3,19 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$	
24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + i_{yp} \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (2,71 + 0,06 \cdot 0,02) = \mathbf{1,76 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_\sigma \cdot i_{xp} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 1,62 + 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,02 + 1,56 = \mathbf{3,19 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$	
	10-12-2021 09:16:40

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 3.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Grensmaas Project Projectonderdeel : WML 110 SDR11 mediumvoerend 34,2 m NAP incl. bocht 5m Importantiefactor S : 0,75			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm ²
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentieel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Toelaatbare deflectie	δ	= 8,00	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 110,00	mm
Wanddikte	d _n	= 10	mm
Wanddikte bocht	t	= 10	mm
Bochtstraal	R	= 5.000,00	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	
Aanleggegevens			
Ligging: Evenwijdig aan een waterstaatswerk			
Aangepaste zettingslengte	L	= 20.000	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 4,4	m
Gronddekking boven de grondwaterstand	H _d	= 0,5	m
Gronddekking onder de grondwaterstand	H _n	= 3,90	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 5,0	mm
Zettingsverschil	f _z	= 0	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,02	%
Marstonfactor	f _m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Verheeld			

[illegible]

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020				Sigma 2020 3.0 ©
1. Eigenschappen van de leiding				
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 90,00	mm	
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 100,00	mm	
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 110,00	mm	
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 55,00	mm	
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 45,00	mm	
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 50,00	mm	
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 3.966.260,73	mm ⁴	
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 72.113,83	mm ³	
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 83,33	mm ⁴ /mm ¹	
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 16,67	mm ³ /mm ¹	
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan				
Leiding is drukloos: Controle is niet mogelijk.				
3. Berekening van de veiligheidszone				
Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} = 4 \cdot 0,00 = 0,00$ m				
4. Berekening van de spanningen s_p en s_{pl} t.g.v. inwendige druk				
Leiding is drukloos: $\sigma_p = 0,00$ N/mm ²				
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}				
Leiding is drukloos: $f_{rr} = 1,00$				
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n				
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$ $q_n = 1,1 \cdot 20 \cdot 0,5 + 1,1 \cdot 20 \cdot 3,9 - 10 \cdot 3,9 = 57,80$ kN/m ² $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 57,80 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 6,36$ N/mm ¹				
				10-12-2021 09:17:41

7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p

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

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{20}{1,1} \cdot 0,5 + \frac{20}{1,1} \cdot 3,9 - 10 \cdot 3,9 = 41,00 \text{ kN/m}^2$$

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

$$\sigma_{\text{hor}} = 41,00 \cdot (1 - \sin(35)) = 17,48 \text{ kN/m}^2$$

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

$$\sigma_o' = \frac{41,00 + 17,48}{2} = 29,24 \text{ kN/m}^2$$

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

$$p_f' = 29,24 \cdot (1 + \sin(35)) + 1 \cdot \cos(35) = 46,83 \text{ kN/m}^2$$

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

$$\kappa = 1 - \sin(35) = 0,426$$

$$\nu = \frac{\kappa}{1 + \kappa}$$

$$\nu = \frac{0,426}{1 + 0,426} = 0,30$$

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

$$G = \frac{5}{2 \cdot (1 + 0,30)} = 1,96$$

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

$$Q = \frac{29,24 \cdot \sin(35) + 1 \cdot \cos(35)}{1,96 \cdot 10^3} = 0,009$$

$$p_{\text{max}}' = (p_f' + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{0,5 \cdot D_0^2}{0,5 \cdot D_0 + H} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi)$$

$$p_{\text{max}}' = (46,83 + 35 \cdot \cot(1)) \cdot \left(\frac{0,5 \cdot 0,11^2}{0,5 \cdot 0,11 + 4,4} + 0,01 \right)^{\frac{-\sin 35}{1 + \sin 35}} - 1 \cdot \cot(35)$$

$$p_{\text{max}}' = \mathbf{266,10 \text{ kN/m}^2}$$

$$Q_p = p_{\text{max}}' \cdot D_0$$

$$Q_p = 266,10 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 29,27 \text{ N/mm}^1$$

8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k

$$E_{100, \text{norm}} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,5} = 5 \cdot (57,80/100)^{0,5} = 3,80 \text{ MN/m}^2$$

$$E_1 = E_{100, \text{norm}} / \frac{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu}$$

$$E_1 = 3,80 / \frac{1 - 0,30 - 2 \cdot 0,30^2}{1 - 0,30} = 5,10 \text{ MN/m}^2$$

$$z_{\text{max}} = 0,25 \cdot \frac{D_o}{E_1^{1,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$$

$$z_{\text{max}} = 0,25 \cdot \frac{0,11}{5,10^{1,5} \cdot \sqrt{4,4/0,11}} = 0,00038 \text{ m}$$

$$q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_o}{z_{\text{max}}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\text{max}} \cdot k_{v, \text{min}}}}$$

$$q_k = 57,80 + \frac{\frac{0,02 \cdot 0,11}{0,00038} \cdot (266,10 - 57,80)}{1 + \frac{266,10 - 57,80}{0,00038 \cdot 0,0400 \cdot 10^6}} = 139,86 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 139,86 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 15,38 \text{ N/mm}^1$$

9. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Geen NEN 3650-1:C.17

Geen verkeersbelasting ingevoerd

$$Q_v = 0 \text{ N/mm}^1$$

10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{110 \cdot 0,045}{4 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}} = 0,0042 \text{ mm}^{-1}$$

11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1^e en 2^e jaar)

Aangepaste zettingslengte $L = 20.000 \text{ mm}$

$$\lambda \cdot L = 0,0042 \cdot 20.000 = 84,59$$

$i = 0,976$ (= 97,6 % inklemming)

$B_z = 0,00000171$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)

$$Q_z = B_z \cdot f_v \cdot D_o \cdot k_{v, \text{gem}}$$

$$Q_z = 0,00000171 \cdot 5,0 \cdot 110 \cdot 0,045 = 0,000042 \text{ N/mm}^1$$

$$Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$$

$$Q_d = 0,000042 \cdot 0,0042 \cdot 20.000 \cdot \left(0,976 + \frac{0,976 \cdot 0,0042 \cdot 20.000}{6}\right) = 0,05 \text{ N/mm}^1$$

12. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (na 2 jaar)

$$Q_z = B_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v, \text{gem}}$$

$$Q_z = 0,00000171 \cdot (5,0 + 2,0 \cdot 0) \cdot 110 \cdot 0,045 = 0,000042 \text{ N/mm}^1$$

$$Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6} \right)$$

$$Q_d = 0,000042 \cdot 0,0042 \cdot 20.000 \cdot \left(0,976 + \frac{0,976 \cdot 0,0042 \cdot 20.000}{6} \right) = 0,05 \text{ N/mm}^1$$

13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen

Berekening evenwichtsdraagvermogen

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

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 4,40 + 0,11 / 2 = 4,46 \text{ m}$$

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

$$d_c = 0,4 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 0,4 \cdot \tan^{-1}(4,46/0,11) = 0,62$$

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

$$P_{we} = 0,85 \cdot 100 \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + 0,02 + 0,62)$$

$$P_{we} = 716,06 \text{ kN/m}^2 = 0,72 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weD_o} = P_{we} \cdot D_o = 0,72 \cdot 110,00 = 78,77 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen

Situatie 1 ^e en 2 ^e jaar	Conclusie:	Situatie na 2 jaar	Conclusie:
$Q_k = 15,38 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_n = 6,36 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig
$Q_v = 0,00 \text{ N/mm}^1$		$Q_v = 0,00 \text{ N/mm}^1$	
$Q_d = 0,05 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 0,05 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 15,44 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 6,41 \text{ N/mm}^1$	

14. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (1^e en 2^e jaar)

Moment t.g.v. Q_k en Q_v

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

$$M_q = 0,177 \cdot (15,38 + 0,00) \cdot 50,00$$

$$M_q = 136,15 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,05 \cdot 50,00$$

$$M_{qd} = 0,32 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 1,00 \cdot (136,15 + 0,32) / 16,67 = 8,19 \text{ N/mm}^2$$

15. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (na 2 jaar)

Moment t.g.v. Q_n en Q_v

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

$$M_q = 0,177 \cdot (6,36 + 0,00) \cdot 50,00$$

$$M_q = 56,27 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,05 \cdot 50,00$$

$$M_{qd} = 0,32 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 1,00 \cdot (56,27 + 0,32) / 16,67 = 3,40 \text{ N/mm}^2$$

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 3.0 ©
16. Berekening van de spanning S_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,00159 \cdot 5,0 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,045}{10}} = \mathbf{0,02 \text{ N/mm}^2}$		
17. Berekening van de spanning S_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,00159 \cdot (5,0 + 2,0 \cdot 0) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,045}{10}} = \mathbf{0,02 \text{ N/mm}^2}$		
18. Berekening van de spanning S_{ax} t.g.v. temperatuurverschil		
Leiding is drukloos $\sigma_{ax} = \mathbf{0 \text{ N/mm}^2}$		
19. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht		
Berekening van de factoren i_x , i_{xp} , i_y en i_{yp} van de bocht: $r = \left(\frac{D_e}{2} + \frac{D_e - 2 \cdot t}{2} \right) / 2 = 50,00 \text{ mm}$ $h = \frac{t \cdot R}{r^2} = \frac{10 \cdot 5000,00}{50^2} = 20,00$ $k = \frac{1,65}{h} = \frac{1,65}{20,00} = 0,082$ $i_x = \frac{0,9}{h^{(2/3)}} = \frac{0,9}{20,00^{(2/3)}} = 0,12$ $i_y = 2 \cdot i_x = 2 \cdot 0,12 = 0,24$ $i_x < 1 \rightarrow i_x = 1,00$		
20. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N		
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100^3} = 0,0812 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,25 \text{ kN/m}^2}$ Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²		
21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk		
Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij 27,78 m grondwater boven de leiding		
		10-12-2021 09:17:41

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2020 3.0 ©
22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (6,36 + \frac{1}{2} \cdot 0,00) - 0,095 \cdot (1 - \sin(35^\circ)) \cdot (6,36 + \frac{1}{2} \cdot 0,00) + 0,048 \cdot 0,05) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33} = \mathbf{1,33 \text{ mm}} (= 1,33\%)$ Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · D_g = 0,08 · 0,75 · 100,00 = 6,00 mm	
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + i_y \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (8,19 + 0,24 \cdot 0,02) = \mathbf{5,33 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot i_x \cdot \sigma_{bx}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,02 = \mathbf{0,01 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$	
24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + i_y \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (3,40 + 0,24 \cdot 0,02) = \mathbf{2,21 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot i_x \cdot \sigma_{bx}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,02 = \mathbf{0,01 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$	
	10-12-2021 09:17:41

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2020 3.0 ©
Algemene gegevens			
Naam van het project : Grensmaas Project Projectonderdeel : WML 110 SDR11 mediumvoerend 34,1 m NAP - Grind Importantiefactor S : 0,75			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm ²
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentieel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Toelaatbare deflectie	δ	= 8,00	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 110,00	mm
Wanddikte	d _n	= 10	mm
Geen bocht aanwezig			
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)	= Vloeistof		
Ontwerpdruk	p _d	= 0,8	N/mm ²
Volumieke massa medium	ρ	= 1000	kg/m ³
Temperatuurverschil	Δ_t	= 10	°
Aanleggegevens			
Ligging: Evenwijdig aan een waterstaatswerk			
Aangepaste zettingslengte	L	= 20.000	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 1,2	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 5	mm
Zettingsverschil	f _z	= 0	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,02	%
Marstonfactor	f _m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld	H _{werk}	= 3,4	m
			10-12-2021 09:12:38

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2020 3.0 ©	
Grondmechanische gegevens				
Grondsoort		= Grind		
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 18	kN/m ³	
Inwendige wrijvingshoek grond	ϕ	= 35	°	
Effectieve cohesie	c'	= 0	kN/m ²	
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 0	kN/m ²	
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,1	N/mm ³	
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,158	N/mm ³	
E-modulus ondergrond	E_{100}	= 75	MN/m ²	
Niet rekenen met horizontale steundruk				
Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1		
Verkeersbelasting				
Grafiek II:		Fatigue Load Model 2, Lorry 4		
Niet rekenen met ontlastende invloed wegdek				
			10-12-2021 09:12:38	

1. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 90,00	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i) / 2$	= 100,00	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 110,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 55,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 45,00	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 50,00	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 3.966.260,73	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 72.113,83	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 83,33	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 16,67	mm ³ /mm ¹

2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan

Voor vloeistofleidingen geldt: $H^3 \cdot D_i^5$ moet kleiner dan 40 m⁸ zijn.

H is de druk in meters vloeistofkolom.

Rekening houdende met $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ volgt:

$$H = \frac{p_d}{\rho \cdot g}$$

$$H = \frac{800.000}{1.000 \cdot 9,81} = 81,55 \text{ m} \rightarrow H^3 \cdot D_i^5 = 81,55^3 \cdot 0,09^5 = 3,20 \text{ m}^8$$

3. Berekening van de veiligheidszone

$$R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{H^3 \cdot D_i^5}$$

$$R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{81,55^3 \cdot 0,09^5} = 9,25 \text{ m}$$

$$\text{Veiligheidszone} = 4 \cdot H_{\text{werk}} + R_B = 4 \cdot 3,40 + 9,25 = 22,85 \text{ m}$$

$$D_K = 1,2 \cdot (D_o + H) = 1,2 \cdot (0,11 + 1,2) = 1,57 \text{ m}$$

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

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

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

$$\sigma_p = \frac{55,00^2 + 45,00^2}{55,00^2 - 45,00^2} \cdot 0,8 = 4,04 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{y1} = \sigma_p = 4,04 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 4,04 = 1,62 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$$

5. Berekening reroundingfactor f_{rr}

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

$$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot 0,8 \cdot 50^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 83,33} \right) = 0,80$$

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 3.0 ©
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n		
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 18 \cdot 1,2 = 23,76 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 23,76 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 2,61 \text{ N/mm}^1$		
7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p		
$q_p = q_n \cdot \left(1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o}\right)$ $q_p = 23,76 \cdot \left(1 + 0,3 \cdot \frac{1,2}{0,11}\right) = 101,52 \text{ kN/m}^2$ $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 101,52 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 11,17 \text{ N/mm}^1$		
8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k		
$\kappa = 1 - \sin(\varphi) = 1 - \sin(35) = 0,426$ $\nu = \frac{\kappa}{1 + \kappa} = \frac{0,426}{1 + 0,426} = 0,30$ $E_{100, \text{norm}} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,5} = 75 \cdot (23,76/100)^{0,5} = 36,56 \text{ MN/m}^2$ $E_1 = E_{100, \text{norm}} / \frac{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu}$ $E_1 = 36,56 / \frac{1 - 0,30 - 2 \cdot 0,30^2}{1 - 0,30} = 49,07 \text{ MN/m}^2$ $z_{\text{max}} = 0,2 \cdot \frac{D_o}{E_1^{0,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$ $z_{\text{max}} = 0,2 \cdot \frac{0,11}{49,07^{0,5} \cdot \sqrt{1,2/0,11}} = 0,00095 \text{ m}$ $q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_o}{z_{\text{max}}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\text{max}} \cdot k_{v, \text{min}}}}$ $q_k = 23,76 + \frac{\frac{0,02 \cdot 0,11}{0,00095} \cdot (101,52 - 23,76)}{1 + \frac{101,52 - 23,76}{0,00095 \cdot 0,1000 \cdot 10^6}} = 122,73 \text{ kN/m}^2$ $Q_k = q_k \cdot D_o$ $Q_k = 122,73 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 13,50 \text{ N/mm}^1$ Aanpassing van Q_k nodig $\rightarrow Q_k > Q_p \rightarrow Q_k = Q_p = 11,17 \text{ N/mm}^1$		
9. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Grafiek II NEN 3650-1:C.17		
Niet rekenen met ontlastende invloed $q_v = 28,84 \text{ kN/m}^2$ $Q_v = q_v \cdot D_o$ $Q_v = 28,84 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 3,17 \text{ N/mm}^1$		

10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding I

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{110 \cdot 0,158}{4 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}} = 0,0058 \text{ mm}^{-1}$$

11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1^e en 2^e jaar)Aangepaste zettingslengte $L = 20.000 \text{ mm}$

$$\lambda \cdot L = 0,0058 \cdot 20.000 = 115,79$$

 $i = 0,983$ (= 98,3 % inklemming) $B_z = 0,000000499$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)

$$Q_z = B_z \cdot f_v \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$$

$$Q_z = 0,000000499 \cdot 5 \cdot 110 \cdot 0,158 = 0,000043 \text{ N/mm}^1$$

$$Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$$

$$Q_d = 0,000043 \cdot 0,0058 \cdot 20.000 \cdot \left(0,983 + \frac{0,983 \cdot 0,0058 \cdot 20.000}{6}\right) = 0,10 \text{ N/mm}^1$$

12. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (na 2 jaar)

$$Q_z = B_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$$

$$Q_z = 0,000000499 \cdot (5 + 2,0 \cdot 0) \cdot 110 \cdot 0,158 = 0,000043 \text{ N/mm}^1$$

$$Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$$

$$Q_d = 0,000043 \cdot 0,0058 \cdot 20.000 \cdot \left(0,983 + \frac{0,983 \cdot 0,0058 \cdot 20.000}{6}\right) = 0,10 \text{ N/mm}^1$$

13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen*Berekening evenwichtsdraagvermogen*

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan(\varphi)} \cdot \tan^2(45^\circ + \varphi/2) = 33,30$$

$$N_y = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi) = 33,92$$

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

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 1,20 + 0,11 / 2 = 1,26 \text{ m}$$

$$S_y = 1 - 0,4 \cdot B/L = 0,96$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 1,38$$

$$\gamma'_{gem} = (q_n + \gamma \cdot \gamma_d \cdot D_o / 2) / Z = 19,80 \text{ kN/m}^3$$

$$P_{we} = 0,95 \cdot (0,5 \cdot \gamma'_{gem} \cdot D_o \cdot N_y \cdot S_y \cdot d_y + S_q \cdot N_q \cdot d_q \cdot (q_n + c' \cdot \cot(\varphi)) - c' \cdot \cot(\varphi))$$

$$P_{we} = 1.128,53 \text{ kN/m}^2 = 1,13 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 1,13 \cdot 110,00 = 124,14 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen

Situatie 1 ^e en 2 ^e jaar	Conclusie:	Situatie na 2 jaar	Conclusie:
$Q_k = 11,17 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_n = 2,61 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig
$Q_v = 3,17 \text{ N/mm}^1$		$Q_v = 3,17 \text{ N/mm}^1$	
$Q_d = 0,10 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 0,10 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 14,44 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 5,89 \text{ N/mm}^1$	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 3.0 ©
14. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (1^e en 2^e jaar)		
Moment t.g.v. Q_k en Q_v		Moment t.g.v. Q_d
$M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$		$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$
$M_q = 0,177 \cdot (11,17 + 3,17) \cdot 50,00$		$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,10 \cdot 50,00$
$M_q = 126,91 \text{ Nmm/mm}^1$		$M_{qd} = 0,61 \text{ Nmm/mm}^1$
Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}		
$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$		
$\sigma_q = 0,80 \cdot (126,91 + 0,61) / 16,67 = \mathbf{6,12 \text{ N/mm}^2}$		
15. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (na 2 jaar)		
Moment t.g.v. Q_n en Q_v		Moment t.g.v. Q_d
$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$		$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$
$M_q = 0,177 \cdot (2,61 + 3,17) \cdot 50,00$		$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,10 \cdot 50,00$
$M_q = 51,21 \text{ Nmm/mm}^1$		$M_{qd} = 0,61 \text{ Nmm/mm}^1$
Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}		
$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$		
$\sigma_q = 0,80 \cdot (51,21 + 0,61) / 16,67 = \mathbf{2,49 \text{ N/mm}^2}$		
16. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$		
$\sigma_{bx} = 0,000875 \cdot 5 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,158}{10}} = \mathbf{0,02 \text{ N/mm}^2}$		
17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$		
$\sigma_{bx} = 0,000875 \cdot (5 + 2,0 \cdot 0) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,158}{10}} = \mathbf{0,02 \text{ N/mm}^2}$		
18. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil		
$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$		
$\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,00016 \cdot 975 = \mathbf{1,56 \text{ N/mm}^2}$		
19. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht		
Aangezien er geen bocht wordt toegepast volgt:		
$i_x = 1, i_y = 0, i_{xp} = 1, i_{yp} = 0$		
20. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N		
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$		
$S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100^3} = 0,0812 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,25 \text{ kN/m}^2}$		
Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²		
		10-12-2021 09:12:38

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2020 3.0 ©
21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk	
Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij 27,78 m grondwater boven de leiding	
22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (2,61 + \frac{1}{2} \cdot 3,17) - 0,095 \cdot (1 - \sin(35^\circ)) \cdot (2,61 + \frac{1}{2} \cdot 3,17) + 0,048 \cdot 0,10) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33} = \mathbf{0,89 \text{ mm}} (= 0,89\%)$ Toelaatbare deflectie = $8\% \cdot \text{importantiefactor } S \cdot D_g = 0,08 \cdot 0,75 \cdot 100,00 = \mathbf{6,00 \text{ mm}}$	
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 6,12 = \mathbf{3,98 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 1,62 + 0,65 \cdot 0,02 + 1,56 = \mathbf{3,19 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$	
24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 2,49 = \mathbf{1,62 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 1,62 + 0,65 \cdot 0,02 + 1,56 = \mathbf{3,19 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$	
	10-12-2021 09:12:38

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 3.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Grensmaas Project Projectonderdeel : WML 110 SDR11 mediumvoerend 34,1 m NAP - Grind Importantiefactor S : 0,75			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm ²
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentieel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Toelaatbare deflectie	δ	= 8,00	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 110,00	mm
Wanddikte	d _n	= 10	mm
Geen bocht aanwezig			
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	
Aanleggegevens			
Ligging: Evenwijdig aan een waterstaatswerk			
Aangepaste zettingslengte	L	= 20.000	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 1,2	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 5	mm
Zettingsverschil	f _z	= 0	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,02	%
Marstonfactor	f _m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld	H _{werk}	= 3,4	m
		10-12-2021 09:13:27	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2020 3.0 ©	
Grondmechanische gegevens				
Grondsoort		= Grind		
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 18		kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	ϕ	= 35		°
Effectieve cohesie	c'	= 0		kN/m ²
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 0		kN/m ²
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,1		N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,158		N/mm ³
E-modulus ondergrond	E_{100}	= 75		MN/m ²
Niet rekenen met horizontale steundruk				
Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1		
Verkeersbelasting				
Grafiek II:		Fatigue Load Model 2, Lorry 4		
Niet rekenen met ontlastende invloed wegdek				
			10-12-2021 09:13:27	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2020 3.0 ©
1. Eigenschappen van de leiding			
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 90,00	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 100,00	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 110,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 55,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 45,00	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 50,00	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 3.966.260,73	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 72.113,83	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 83,33	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 16,67	mm ³ /mm ¹
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan			
Leiding is drukloos: Controle is niet mogelijk.			
3. Berekening van de veiligheidszone			
Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} = 4 \cdot 3,40 = 13,60$ m			
4. Berekening van de spanningen s_p en s_{pl} t.g.v. inwendige druk			
Leiding is drukloos: $\sigma_p = 0,00$ N/mm ²			
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}			
Leiding is drukloos: $f_{rr} = 1,00$			
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n			
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 18 \cdot 1,2 = 23,76$ kN/m ² $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 23,76 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 2,61$ N/mm ¹			
7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p			
$q_p = q_n \cdot (1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o})$ $q_p = 23,76 \cdot (1 + 0,3 \cdot \frac{1,2}{0,11}) = 101,52$ kN/m ² $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 101,52 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 11,17$ N/mm ¹			
			10-12-2021 09:13:27

8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k

$$\kappa = 1 - \sin(\varphi) = 1 - \sin(35) = 0,426$$

$$\nu = \frac{\kappa}{1 + \kappa} = \frac{0,426}{1 + 0,426} = 0,30$$

$$E_{100, \text{norm}} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,5} = 75 \cdot (23,76/100)^{0,5} = 36,56 \text{ MN/m}^2$$

$$E_1 = E_{100, \text{norm}} / \frac{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu}$$

$$E_1 = 36,56 / \frac{1 - 0,30 - 2 \cdot 0,30^2}{1 - 0,30} = 49,07 \text{ MN/m}^2$$

$$z_{\text{max}} = 0,2 \cdot \frac{D_0}{E_1^{0,5} \cdot \sqrt{H/D_0}}$$

$$z_{\text{max}} = 0,2 \cdot \frac{0,11}{49,07^{0,5} \cdot \sqrt{1,2/0,11}} = 0,00095 \text{ m}$$

$$q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_0}{z_{\text{max}}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\text{max}} \cdot k_{v, \text{min}}}}$$

$$q_k = 23,76 + \frac{\frac{0,02 \cdot 0,11}{0,00095} \cdot (101,52 - 23,76)}{1 + \frac{101,52 - 23,76}{0,00095 \cdot 0,1000 \cdot 10^6}} = 122,73 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_0$$

$$Q_k = 122,73 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 13,50 \text{ N/mm}^1$$

Aanpassing van Q_k nodig $\rightarrow Q_k > Q_p \rightarrow Q_k = Q_p = 11,17 \text{ N/mm}^1$

9. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Grafiek II NEN 3650-1:C.17

Niet rekenen met ontlastende invloed

$$q_v = 28,84 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_v = q_v \cdot D_0$$

$$Q_v = 28,84 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 3,17 \text{ N/mm}^1$$

10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_0 \cdot k_{v, \text{gem}}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{110 \cdot 0,158}{4 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}} = 0,0058 \text{ mm}^{-1}$$

11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1^e en 2^e jaar)Aangepaste zettingslengte $L = 20.000 \text{ mm}$

$$\lambda \cdot L = 0,0058 \cdot 20.000 = 115,79$$

$$i = 0,983 \text{ (= 98,3 \% inklemming)}$$

$$B_z = 0,000000499 \text{ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)}$$

$$Q_z = B_z \cdot f_v \cdot D_o \cdot k_{v, \text{gem}}$$

$$Q_z = 0,000000499 \cdot 5 \cdot 110 \cdot 0,158 = 0,000043 \text{ N/mm}^1$$

$$Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$$

$$Q_d = 0,000043 \cdot 0,0058 \cdot 20.000 \cdot \left(0,983 + \frac{0,983 \cdot 0,0058 \cdot 20.000}{6}\right) = 0,10 \text{ N/mm}^1$$

12. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (na 2 jaar)

$$Q_z = B_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v, \text{gem}}$$

$$Q_z = 0,000000499 \cdot (5 + 2,0 \cdot 0) \cdot 110 \cdot 0,158 = 0,000043 \text{ N/mm}^1$$

$$Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$$

$$Q_d = 0,000043 \cdot 0,0058 \cdot 20.000 \cdot \left(0,983 + \frac{0,983 \cdot 0,0058 \cdot 20.000}{6}\right) = 0,10 \text{ N/mm}^1$$

13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen*Berekening evenwichtsdraagvermogen*

$$N_q = e^{\pi \tan(\varphi)} \cdot \tan^2(45^\circ + \varphi/2) = 33,30$$

$$N_y = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi) = 33,92$$

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

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 1,20 + 0,11 / 2 = 1,26 \text{ m}$$

$$S_y = 1 - 0,4 \cdot B/L = 0,96$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 1,38$$

$$\gamma'_{\text{gem}} = (q_n + \gamma \cdot \gamma_d \cdot D_o / 2) / Z = 19,80 \text{ kN/m}^3$$

$$P_{we} = 0,95 \cdot (0,5 \cdot \gamma'_{\text{gem}} \cdot D_o \cdot N_y \cdot S_y \cdot d_y + S_q \cdot N_q \cdot d_q \cdot (q_n + c' \cdot \cot(\varphi)) - c' \cdot \cot(\varphi))$$

$$P_{we} = 1.128,53 \text{ kN/m}^2 = 1,13 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weD_o} = P_{we} \cdot D_o = 1,13 \cdot 110,00 = 124,14 \text{ N/mm}^1$$

*Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen**Situatie 1^e en 2^e jaar*

$$Q_k = 11,17 \text{ N/mm}^1$$

$$Q_v = 3,17 \text{ N/mm}^1$$

$$Q_d = 0,10 \text{ N/mm}^1 +$$

$$\Sigma = 14,44 \text{ N/mm}^1$$

Conclusie:

Geen aanpassing

van Q_d nodig*Situatie na 2 jaar*

$$Q_n = 2,61 \text{ N/mm}^1$$

$$Q_v = 3,17 \text{ N/mm}^1$$

$$Q_d = 0,10 \text{ N/mm}^1 +$$

$$\Sigma = 5,89 \text{ N/mm}^1$$

Conclusie:

Geen aanpassing

van Q_d nodig

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 3.0 ©
14. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (1^e en 2^e jaar)		
Moment t.g.v. Q_k en Q_v		Moment t.g.v. Q_d
$M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$		$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$
$M_q = 0,177 \cdot (11,17 + 3,17) \cdot 50,00$		$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,10 \cdot 50,00$
$M_q = 126,91 \text{ Nmm/mm}^1$		$M_{qd} = 0,61 \text{ Nmm/mm}^1$
Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}		
$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$		
$\sigma_q = 1,00 \cdot (126,91 + 0,61) / 16,67 = \mathbf{7,65 \text{ N/mm}^2}$		
15. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (na 2 jaar)		
Moment t.g.v. Q_n en Q_v		Moment t.g.v. Q_d
$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$		$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$
$M_q = 0,177 \cdot (2,61 + 3,17) \cdot 50,00$		$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,10 \cdot 50,00$
$M_q = 51,21 \text{ Nmm/mm}^1$		$M_{qd} = 0,61 \text{ Nmm/mm}^1$
Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}		
$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$		
$\sigma_q = 1,00 \cdot (51,21 + 0,61) / 16,67 = \mathbf{3,11 \text{ N/mm}^2}$		
16. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$		
$\sigma_{bx} = 0,000875 \cdot 5 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,158}{10}} = \mathbf{0,02 \text{ N/mm}^2}$		
17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$		
$\sigma_{bx} = 0,000875 \cdot (5 + 2,0 \cdot 0) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,158}{10}} = \mathbf{0,02 \text{ N/mm}^2}$		
18. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil		
Leiding is drukloos		
$\sigma_{ax} = \mathbf{0 \text{ N/mm}^2}$		
19. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht		
Aangezien er geen bocht wordt toegepast volgt:		
$i_x = 1, i_y = 0, i_{xp} = 1, i_{yp} = 0$		
20. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N		
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$		
$S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100^3} = 0,0812 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,25 \text{ kN/m}^2}$		
Minimaal vereiste ringstijfheid = $\mathbf{2 \text{ kN/m}^2}$		
		10-12-2021 09:13:27

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2020 3.0 ©
21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk	
Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij 27,78 m grondwater boven de leiding	
22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (2,61 + \frac{1}{2} \cdot 3,17) - 0,095 \cdot (1 - \sin(35^\circ)) \cdot (2,61 + \frac{1}{2} \cdot 3,17) + 0,048 \cdot 0,10) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33} = \mathbf{0,89 \text{ mm}} (= 0,89\%)$ Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · D _g = 0,08 · 0,75 · 100,00 = 6,00 mm	
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 7,65 = \mathbf{4,97 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 0,02 = \mathbf{0,01 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$	
24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 3,11 = \mathbf{2,02 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 0,02 = \mathbf{0,01 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$	
	10-12-2021 09:13:27

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 3.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Grensmaas Project Projectonderdeel : WML 250 SDR11 doorsnede 4 zand Importantiefactor S : 0,75			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm ²
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentieel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Toelaatbare deflectie	δ	= 8,00	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 250,00	mm
Wanddikte	d _n	= 22,8	mm
Wanddikte bocht	t	= 22,8	mm
Bochtstraal	R	= 20.000,00	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	
Aanleggegevens			
Ligging: Kruising met een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 8.959	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 4,4	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 70	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 5,0	mm
Zettingsverschil	f _z	= 20,0	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,02	%
Marstonfactor	f _m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld	H _{werk}	= 3,4	m

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2020 3.0 ©	
Grondmechanische gegevens				
Grondsoort			= Zand	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 18		kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	ϕ	= 32,5		°
Effectieve cohesie	c'	= 0		kN/m ²
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 0		kN/m ²
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,019		N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,049		N/mm ³
E-modulus ondergrond	E_{100}	= 45		MN/m ²
Rekenen met horizontale steundruk				
Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1		
Verkeersbelasting				
Grafiek ½ x II:			½ · Fatigue Load Model 2, Lorry 4	
Niet rekenen met ontlastende invloed wegdek				

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2020 3.0 ©
1. Eigenschappen van de leiding			
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 204,40	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 227,20	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 250,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 125,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 102,20	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 113,60	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 106.064.835,12	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 848.518,68	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 987,70	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 86,64	mm ³ /mm ¹
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan			
Leiding is drukloos: Controle is niet mogelijk.			
3. Berekening van de veiligheidszone			
Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} = 4 \cdot 3,40 = 13,60$ m			
4. Berekening van de spanningen s_p en s_{pl} t.g.v. inwendige druk			
Leiding is drukloos: $s_p = 0,00$ N/mm ²			
5. Berekening reroundingfactor f_r			
Leiding is drukloos: $f_r = 1,00$			
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n			
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 18 \cdot 4,4 = 87,12$ kN/m ² $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 87,12 \cdot 10^{-3} \cdot 250 = 21,78$ N/mm ¹			
7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p			
$q_p = q_n \cdot (1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o})$ $q_p = 87,12 \cdot (1 + 0,3 \cdot \frac{4,4}{0,25}) = 547,11$ kN/m ² $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 547,11 \cdot 10^{-3} \cdot 250 = 136,78$ N/mm ¹			
			14-12-2021 21:42:16

8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k

$$\kappa = 1 - \sin(\varphi) = 1 - \sin(32,5) = 0,463$$

$$\nu = \frac{\kappa}{1 + \kappa} = \frac{0,463}{1 + 0,463} = 0,32$$

$$E_{100, \text{norm}} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,5} = 45 \cdot (87,12/100)^{0,5} = 42,00 \text{ MN/m}^2$$

$$E_1 = E_{100, \text{norm}} / \frac{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu}$$

$$E_1 = 42,00 / \frac{1 - 0,32 - 2 \cdot 0,32^2}{1 - 0,32} = 59,39 \text{ MN/m}^2$$

$$z_{\text{max}} = 0,2 \cdot \frac{D_o}{E_1^{0,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$$

$$z_{\text{max}} = 0,2 \cdot \frac{0,25}{59,39^{0,5} \cdot \sqrt{4,4/0,25}} = 0,0015 \text{ m}$$

$$q_k = q_n + \frac{\mu \cdot D_o}{z_{\text{max}}} \cdot (q_p - q_n)$$

$$1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\text{max}} \cdot k_{v, \text{min}}}$$

$$\frac{0,02 \cdot 0,25}{0,0015} \cdot (547,11 - 87,12)$$

$$q_k = 87,12 + \frac{0,02 \cdot 0,25}{0,0015} \cdot (547,11 - 87,12) = 176,42 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 176,42 \cdot 10^{-3} \cdot 250 = 44,10 \text{ N/mm}^1$$

9. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Grafiek ½ x II NEN 3650-1:C.17

Niet rekenen met ontlastende invloed

$$q_v = 2,35 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_v = q_v \cdot D_o$$

$$Q_v = 2,35 \cdot 10^{-3} \cdot 250 = 0,59 \text{ N/mm}^1$$

10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding I

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{250 \cdot 0,049}{4 \cdot 975 \cdot 106.064.835,12}} = 0,0023 \text{ mm}^{-1}$$

11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1^e en 2^e jaar)

$$\text{Zettingslengte } L = 8.959 \text{ mm}$$

$$\lambda \cdot L = 0,0023 \cdot 8.959 = 20,90$$

$$i = 0,900 \text{ (= 90,0 \% inklemming)}$$

$$B_z = 0,000360 \text{ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)}$$

$$Q_z = B_z \cdot f_v \cdot D_o \cdot k_{v, \text{gem}}$$

$$Q_z = 0,000360 \cdot 5,0 \cdot 250 \cdot 0,049 = 0,022 \text{ N/mm}^1$$

$$Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$$

$$Q_d = 0,022 \cdot 0,0023 \cdot 8.959 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0023 \cdot 8.959}{6}\right) = 1,86 \text{ N/mm}^1$$

12. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (na 2 jaar)

$$Q_z = B_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$$

$$Q_z = 0,000360 \cdot (5,0 + 2,0 \cdot 20,0) \cdot 250 \cdot 0,049 = 0,20 \text{ N/mm}^1$$

$$Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$$

$$Q_d = 0,20 \cdot 0,0023 \cdot 8.959 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0023 \cdot 8.959}{6}\right) = 16,72 \text{ N/mm}^1$$

13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen

Berekening evenwichtsdraagvermogen

$$N_q = e^{\pi \tan(\varphi)} \cdot \tan^2(45^\circ + \varphi/2) = 24,58$$

$$N_y = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi) = 22,54$$

$$B = D_o = 0,25 \text{ m}$$

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 4,40 + 0,25 / 2 = 4,53 \text{ m}$$

$$S_y = 1 - 0,4 \cdot B/L = 0,96$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 1,41$$

$$\gamma'_{gem} = (q_n + \gamma \cdot \gamma_d \cdot D_o / 2) / Z = 19,80 \text{ kN/m}^3$$

$$P_{we} = 0,95 \cdot (0,5 \cdot \gamma'_{gem} \cdot D_o \cdot N_y \cdot S_y \cdot d_y + S_q \cdot N_q \cdot d_q \cdot (q_n + c' \cdot \cot(\varphi)) - c' \cdot \cot(\varphi))$$

$$P_{we} = 3.081,32 \text{ kN/m}^2 = 3,08 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weD_o} = P_{we} \cdot D_o = 3,08 \cdot 250,00 = 770,33 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen

Situatie 1 ^e en 2 ^e jaar	Conclusie:	Situatie na 2 jaar	Conclusie:
$Q_k = 44,10 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_n = 21,78 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig
$Q_v = 0,59 \text{ N/mm}^1$		$Q_v = 0,59 \text{ N/mm}^1$	
$Q_d = 1,86 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 16,72 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 46,55 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 39,08 \text{ N/mm}^1$	

14. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (1^e en 2^e jaar)

Moment t.g.v. Q_k en Q_v

$$M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$$

$$M_q = 0,177 \cdot (44,10 + 0,59) \cdot 113,60 - 0,143 \cdot (1 - \sin(32,5^\circ)) \cdot \sin(1/2 \cdot 120^\circ) \cdot (44,10 + 0,59) \cdot 113,60$$

$$M_q = 607,71 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 1,86 \cdot 113,60$$

$$M_{qd} = 25,74 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 1,00 \cdot (607,71 + 25,74) / 86,64 = 7,31 \text{ N/mm}^2$$

15. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (na 2 jaar)*Moment t.g.v. Q_n en Q_v*

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

$$M_q = 0,177 \cdot (21,78 + 0,59) \cdot 113,60 - 0,143 \cdot (1 - \sin(32,5^\circ)) \cdot \sin(1/2 \cdot 120^\circ) \cdot (21,78 + 0,59) \cdot 113,60$$

$$M_q = 304,15 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 16,72 \cdot 113,60$$

$$M_{qd} = 231,66 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 1,00 \cdot (304,15 + 231,66) / 86,64 = \mathbf{6,18 \text{ N/mm}^2}$$

16. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v

$$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$$

$$\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot 5,0 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,049}{22,8}} = \mathbf{0,14 \text{ N/mm}^2}$$

17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z

$$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$$

$$\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot (5,0 + 2,0 \cdot 20,0) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,049}{22,8}} = \mathbf{1,25 \text{ N/mm}^2}$$

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

Leiding is drukloos

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

19. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bochtBerekening van de factoren i_x , i_{xp} , i_y en i_{yp} van de bocht:

$$r = \left(\frac{D_e}{2} + \frac{D_e - 2 \cdot t}{2} \right) / 2 = 113,60 \text{ mm}$$

$$h = \frac{t \cdot R}{r^2} = \frac{22,8 \cdot 20000,00}{113,6^2} = 35,34$$

$$k = \frac{1,65}{h} = \frac{1,65}{35,34} = 0,047$$

$$i_x = \frac{0,9}{h^{(2/3)}} = \frac{0,9}{35,34^{(2/3)}} = 0,08$$

$$i_y = 2 \cdot i_x = 2 \cdot 0,08 = 0,17$$

$$i_x < 1 \rightarrow i_x = 1,00$$

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 3.0 ©
20. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N		
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{987,70}{227,2^3} = 0,0821 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{82,11 \text{ kN/m}^2}$ Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²		
21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk		
Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 987,70}{227,20^3} = 1,56 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 987,70}{227,20^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij 28,07 m grondwater boven de leiding		
22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie		
$\delta_y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_y = \frac{(0,089 \cdot (21,78 + \frac{1}{2} \cdot 0,59) - 0,095 \cdot (1 - \sin(32,5^\circ)) \cdot (21,78 + \frac{1}{2} \cdot 0,59) + 0,048 \cdot 16,72) \cdot 113,60^3}{350 \cdot 987,70} = \mathbf{7,62 \text{ mm} (= 3,35\%)}$ Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · $D_g = 0,08 \cdot 0,75 \cdot 227,20 = \mathbf{13,63 \text{ mm}}$		
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)		
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + i_y \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (7,31 + 0,17 \cdot 0,14) = \mathbf{4,77 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot i_x \cdot \sigma_{bx}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,14 = \mathbf{0,09 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$		
24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)		
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + i_y \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (6,18 + 0,17 \cdot 1,25) = \mathbf{4,16 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot i_x \cdot \sigma_{bx}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 1,00 \cdot 1,25 = \mathbf{0,81 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$		
		14-12-2021 21:42:17

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 3.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Grensmaas Project Projectonderdeel : WML 250 SDR11 doorsnede 5 grind Importantiefactor S : 0,75			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm ²
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentieel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Toelaatbare deflectie	δ	= 8,00	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 250,00	mm
Wanddikte	d _n	= 22,8	mm
Wanddikte bocht	t	= 22,8	mm
Bochtstraal	R	= 20.000,00	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	
Aanleggegevens			
Ligging: Kruising met een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 8.414	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 4,85	m
Gronddekking boven de grondwaterstand	H _d	= 0	m
Gronddekking onder de grondwaterstand	H _n	= 4,85	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 70	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 5	mm
Zettingsverschil	f _z	= 0	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,02	%
Marstonfactor	f _m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld	H _{werk}	= 3,4	m
		13-12-2021 11:08:15	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2020 3.0 ©	
Grondmechanische gegevens				
Grondsoort			= Grind	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 18		kN/m ³
Volumiek gewicht natte grond	γ_n	= 20		kN/m ³
Volumiek gewicht water	γ_w	= 10		kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	ϕ	= 35		°
Effectieve cohesie	c'	= 0		kN/m ²
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 0		kN/m ²
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,04		N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,063		N/mm ³
Horizontale beddingconstante	k_h	= 0,0242		N/mm ³
Kruipfactor	D	= 1		-
E-modulus ondergrond	E_{100}	= 75		MN/m ²
Rekenen met neutrale horizontale steundruk en IOWA				
Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1		
Verkeersbelasting				
Geen verkeersbelasting ingevoerd				
Rekenen met ontlastende invloed wegdek:		Geen ontlastende invloed		

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2020 3.0 ©
1. Eigenschappen van de leiding			
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 204,40	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 227,20	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 250,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 125,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 102,20	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 113,60	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 106.064.835,12	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 848.518,68	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 987,70	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 86,64	mm ³ /mm ¹
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan			
Leiding is drukloos: Controle is niet mogelijk.			
3. Berekening van de veiligheidszone			
Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} = 4 \cdot 3,40 = 13,60$ m			
4. Berekening van de spanningen s_p en s_{pl} t.g.v. inwendige druk			
Leiding is drukloos: $s_p = 0,00$ N/mm ²			
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}			
Leiding is drukloos: $f_{rr} = 1,00$			
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n			
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$ $q_n = 1,1 \cdot 18 \cdot 0 + 1,1 \cdot 20 \cdot 4,85 - 10 \cdot 4,85 = 58,20$ kN/m ² $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 58,20 \cdot 10^{-3} \cdot 250 = 14,55$ N/mm ¹			
7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p			
$q_p = q_n \cdot (1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o})$ $q_p = 58,20 \cdot (1 + 0,3 \cdot \frac{4,85}{0,25}) = 396,92$ kN/m ² $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 396,92 \cdot 10^{-3} \cdot 250 = 99,23$ N/mm ¹			
			13-12-2021 11:08:15

8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k

$$\kappa = 1 - \sin(\varphi) = 1 - \sin(35) = 0,426$$

$$\nu = \frac{\kappa}{1 + \kappa} = \frac{0,426}{1 + 0,426} = 0,30$$

$$E_{100, \text{norm}} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,5} = 75 \cdot (58,20/100)^{0,5} = 57,22 \text{ MN/m}^2$$

$$E_1 = E_{100, \text{norm}} / \frac{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu}$$

$$E_1 = 57,22 / \frac{1 - 0,30 - 2 \cdot 0,30^2}{1 - 0,30} = 76,80 \text{ MN/m}^2$$

$$z_{\text{max}} = 0,2 \cdot \frac{D_o}{E_1^{0,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$$

$$z_{\text{max}} = 0,2 \cdot \frac{0,25}{76,80^{0,5} \cdot \sqrt{4,85/0,25}} = 0,0013 \text{ m}$$

$$q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_o}{z_{\text{max}}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\text{max}} \cdot k_{v, \text{min}}}}$$

$$q_k = 58,20 + \frac{\frac{0,02 \cdot 0,25}{0,0013} \cdot (396,92 - 58,20)}{1 + \frac{396,92 - 58,20}{0,0013 \cdot 0,0400 \cdot 10^6}} = 231,66 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 231,66 \cdot 10^{-3} \cdot 250 = 57,92 \text{ N/mm}^1$$

9. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Geen NEN 3650-1:C.17

Geen verkeersbelasting ingevoerd

$$Q_v = 0 \text{ N/mm}^1$$

10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{250 \cdot 0,063}{4 \cdot 975 \cdot 106.064.835,12}} = 0,0025 \text{ mm}^{-1}$$

11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1^e en 2^e jaar)

$$\text{Zettingslengte } L = 8.414 \text{ mm}$$

$$\lambda \cdot L = 0,0025 \cdot 8.414 = 20,90$$

$$i = 0,900 \text{ (= 90,0 \% inklemming)}$$

$$B_z = 0,000360 \text{ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)}$$

$$Q_z = B_z \cdot f_v \cdot D_o \cdot k_{v, \text{gem}}$$

$$Q_z = 0,000360 \cdot 5 \cdot 250 \cdot 0,063 = 0,028 \text{ N/mm}^1$$

$$Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$$

$$Q_d = 0,028 \cdot 0,0025 \cdot 8.414 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0025 \cdot 8.414}{6}\right) = 2,39 \text{ N/mm}^1$$

12. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (na 2 jaar)

$$Q_z = B_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$$

$$Q_z = 0,000360 \cdot (5 + 2,0 \cdot 0) \cdot 250 \cdot 0,063 = 0,028 \text{ N/mm}^1$$

$$Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$$

$$Q_d = 0,028 \cdot 0,0025 \cdot 8.414 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0025 \cdot 8.414}{6}\right) = 2,39 \text{ N/mm}^1$$

13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen

Berekening evenwichtsdraagvermogen

$$N_q = e^{\pi \tan(\varphi)} \cdot \tan^2(45^\circ + \varphi/2) = 33,30$$

$$N_y = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi) = 33,92$$

$$B = D_o = 0,25 \text{ m}$$

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 4,85 + 0,25 / 2 = 4,98 \text{ m}$$

$$S_y = 1 - 0,4 \cdot B/L = 0,96$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 1,39$$

$$\gamma'_{gem} = (q_n + (\gamma \gamma_n - \gamma_w) \cdot D_o / 2) / Z = 12,00 \text{ kN/m}^3$$

$$P_{we} = 0,95 \cdot (0,5 \cdot \gamma'_{gem} \cdot D_o \cdot N_y \cdot S_y \cdot d_y + S_q \cdot N_q \cdot d_q \cdot (q_n + c' \cdot \cot(\varphi)) - c' \cdot \cot(\varphi))$$

$$P_{we} = 2.746,66 \text{ kN/m}^2 = 2,75 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weD_o} = P_{we} \cdot D_o = 2,75 \cdot 250,00 = 686,67 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen

Situatie 1 ^e en 2 ^e jaar	Conclusie:	Situatie na 2 jaar	Conclusie:
$Q_k = 57,92 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_n = 14,55 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig
$Q_v = 0,00 \text{ N/mm}^1$		$Q_v = 0,00 \text{ N/mm}^1$	
$Q_d = 2,39 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 2,39 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 60,30 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 16,94 \text{ N/mm}^1$	

14. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

$$\delta_{Y,IOWA} = D \cdot \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w + 0,061 \cdot k_h \cdot r_g^4}$$

$$\delta_{Y,IOWA} = D \cdot \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w + 0,061 \cdot k_h \cdot r_g^4}$$

$$\delta_{Y,IOWA} = 1 \cdot \frac{(0,089 \cdot (14,55 + \frac{1}{2} \cdot 0,00) - 0,095 \cdot (1 - \sin(35^\circ)) \cdot (14,55 + \frac{1}{2} \cdot 0,00) + 0,048 \cdot 2,39) \cdot 113,60^3}{350 \cdot 987,70 + 0,061 \cdot 0,0242 \cdot 113,60^4}$$

$$\delta_{Y,IOWA} = 2,03 \text{ mm} (= 0,89\%)$$

$$\text{Toelaatbare deflectie} = 8\% \cdot \text{importantiefactor } S \cdot D_g = 0,08 \cdot 0,75 \cdot 227,20 = 13,63 \text{ mm}$$

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 3.0 ©
15. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (1^e en 2^e jaar)		
<i>Moment t.g.v. Q_k en Q_v</i> $M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot (Q_{h,n} + Q_{h,IOWA}) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot r_g$ $M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot ((1 - \sin \varphi) \cdot (Q_k + Q_v) + \frac{2}{3} \cdot r_g \cdot \delta_{Y,IOWA} \cdot k_h) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot r_g$ $M_q = 0,177 \cdot (57,92 + 0,00) \cdot 113,60 - 0,143 \cdot ((1 - \sin(35)) \cdot (57,92 + 0,00) + \frac{2}{3} \cdot 113,60 \cdot 2,03 \cdot 0,0242) \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot 113,60$ $M_q = 764,68 \text{ Nmm/mm}^1$ <i>Moment t.g.v. Q_d</i> $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 2,39 \cdot 113,60$ $M_{qd} = 33,09 \text{ Nmm/mm}^1$ <i>Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}</i> $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 1,00 \cdot (764,68 + 33,09) / 86,64 = \mathbf{9,21 \text{ N/mm}^2}$		
16. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (na 2 jaar)		
<i>Moment t.g.v. Q_n en Q_v</i> $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot (Q_{h,n} + Q_{h,IOWA}) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot r_g$ $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot ((1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + \frac{2}{3} \cdot r_g \cdot \delta_{Y,IOWA} \cdot k_h) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot r_g$ $M_q = 0,177 \cdot (14,55 + 0,00) \cdot 113,60 - 0,143 \cdot ((1 - \sin(35)) \cdot (14,55 + 0,00) + \frac{2}{3} \cdot 113,60 \cdot 2,03 \cdot 0,0242) \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot 113,60$ $M_q = 152,87 \text{ Nmm/mm}^1$ <i>Moment t.g.v. Q_d</i> $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 2,39 \cdot 113,60$ $M_{qd} = 33,09 \text{ Nmm/mm}^1$ <i>Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}</i> $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 1,00 \cdot (152,87 + 33,09) / 86,64 = \mathbf{2,75 \text{ N/mm}^2}$		
17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot 5 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,063}{22,8}} = \mathbf{0,16 \text{ N/mm}^2}$		
18. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot (5 + 2,0 \cdot 0) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,063}{22,8}} = \mathbf{0,16 \text{ N/mm}^2}$		
		13-12-2021 11:08:16

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2020 3.0 ©
19. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil	
Leiding is drukloos $\sigma_{ax} = 0 \text{ N/mm}^2$	
20. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht	
Berekening van de factoren i_x , i_{xp} , i_y en i_{yp} van de bocht: $r = \left(\frac{D_e}{2} + \frac{D_e - 2 \cdot t}{2} \right) / 2 = 113,60 \text{ mm}$ $h = \frac{t \cdot R}{r^2} = \frac{22,8 \cdot 20000,00}{113,6^2} = 35,34$ $k = \frac{1,65}{h} = \frac{1,65}{35,34} = 0,047$ $i_x = \frac{0,9}{h^{(2/3)}} = \frac{0,9}{35,34^{(2/3)}} = 0,08$ $i_y = 2 \cdot i_x = 2 \cdot 0,08 = 0,17$ $i_x < 1 \rightarrow i_x = 1,00$	
21. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N	
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{987,70}{227,2^3} = 0,0821 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{82,11 \text{ kN/m}^2}$ Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²	
22. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk	
Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 987,70}{227,20^3} = 1,56 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 987,70}{227,20^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij 28,07 m grondwater boven de leiding	
	13-12-2021 11:08:16

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2020 3.0 ©
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot (\sigma_q + i_y \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (9,21 + 0,17 \cdot 0,16) = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_{\sigma} \cdot i_x \cdot \sigma_{bx}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,16 = \mathbf{0,10 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$	
24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot (\sigma_q + i_y \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (2,75 + 0,17 \cdot 0,16) = \mathbf{1,81 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_{\sigma} \cdot i_x \cdot \sigma_{bx}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,16 = \mathbf{0,10 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$	
	13-12-2021 11:08:16

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 3.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Grensmaas Project Projectonderdeel : WML 250 SDR11 doorsnede 5 grind Importantiefactor S : 0,75			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm ²
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentieel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Toelaatbare deflectie	δ	= 8,00	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 250,00	mm
Wanddikte	d _n	= 22,8	mm
Wanddikte bocht	t	= 22,8	mm
Bochtstraal	R	= 20.000,00	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	
Aanleggegevens			
Ligging: Kruising met een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 8.414	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 2,00	m
Gronddekking boven de grondwaterstand	H _d	= 0	m
Gronddekking onder de grondwaterstand	H _n	= 2,00	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 70	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 5	mm
Zettingsverschil	f _z	= 0	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,02	%
Marstonfactor	f _m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld	H _{werk}	= 3,4	m
		13-12-2021 11:19:04	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2020 3.0 ©	
Grondmechanische gegevens				
Grondsoort		= Grind		
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 18	kN/m ³	
Volumiek gewicht natte grond	γ_n	= 20	kN/m ³	
Volumiek gewicht water	γ_w	= 10	kN/m ³	
Inwendige wrijvingshoek grond	ϕ	= 35	°	
Effectieve cohesie	c'	= 0	kN/m ²	
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 0	kN/m ²	
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,04	N/mm ³	
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,063	N/mm ³	
E-modulus ondergrond	E_{100}	= 75	MN/m ²	
Rekenen met horizontale steundruk				
Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1		
Verkeersbelasting				
Grafiek ½ x II:		½ · Fatigue Load Model 2, Lorry 4		
Niet rekenen met ontlastende invloed wegdek				
			13-12-2021 11:19:04	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020				Sigma 2020 3.0 ©
1. Eigenschappen van de leiding				
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 204,40	mm	
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 227,20	mm	
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 250,00	mm	
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 125,00	mm	
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 102,20	mm	
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 113,60	mm	
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 106.064.835,12	mm ⁴	
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 848.518,68	mm ³	
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 987,70	mm ⁴ /mm ¹	
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 86,64	mm ³ /mm ¹	
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan				
Leiding is drukloos: Controle is niet mogelijk.				
3. Berekening van de veiligheidszone				
Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} = 4 \cdot 3,40 = 13,60$ m				
4. Berekening van de spanningen s_p en s_{pl} t.g.v. inwendige druk				
Leiding is drukloos: $s_p = 0,00$ N/mm ²				
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}				
Leiding is drukloos: $f_{rr} = 1,00$				
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n				
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$ $q_n = 1,1 \cdot 18 \cdot 0 + 1,1 \cdot 20 \cdot 2,00 - 10 \cdot 2,00 = 24,00$ kN/m ² $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 24,00 \cdot 10^{-3} \cdot 250 = 6,00$ N/mm ¹				
7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p				
$q_p = q_n \cdot (1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o})$ $q_p = 24,00 \cdot (1 + 0,3 \cdot \frac{2,00}{0,25}) = 81,60$ kN/m ² $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 81,60 \cdot 10^{-3} \cdot 250 = 20,40$ N/mm ¹				
				13-12-2021 11:19:04

8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k

$$\kappa = 1 - \sin(\varphi) = 1 - \sin(35) = 0,426$$

$$\nu = \frac{\kappa}{1 + \kappa} = \frac{0,426}{1 + 0,426} = 0,30$$

$$E_{100, \text{norm}} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,5} = 75 \cdot (24,00/100)^{0,5} = 36,74 \text{ MN/m}^2$$

$$E_1 = E_{100, \text{norm}} / \frac{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu}$$

$$E_1 = 36,74 / \frac{1 - 0,30 - 2 \cdot 0,30^2}{1 - 0,30} = 49,32 \text{ MN/m}^2$$

$$z_{\text{max}} = 0,2 \cdot \frac{D_o}{E_1^{0,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$$

$$z_{\text{max}} = 0,2 \cdot \frac{0,25}{49,32^{0,5} \cdot \sqrt{2,00/0,25}} = 0,0025 \text{ m}$$

$$q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_o}{z_{\text{max}}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\text{max}} \cdot k_{v, \text{min}}}}$$

$$q_k = 24,00 + \frac{\frac{0,02 \cdot 0,25}{0,0025} \cdot (81,60 - 24,00)}{1 + \frac{81,60 - 24,00}{0,0025 \cdot 0,0400 \cdot 10^6}} = 96,78 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 96,78 \cdot 10^{-3} \cdot 250 = 24,19 \text{ N/mm}^1$$

Aanpassing van Q_k nodig $\rightarrow Q_k > Q_p \rightarrow Q_k = Q_p = 20,40 \text{ N/mm}^1$

9. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Grafiek 1/2 x II NEN 3650-1:C.17

Niet rekenen met ontlastende invloed

$$q_v = 6,55 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_v = q_v \cdot D_o$$

$$Q_v = 6,55 \cdot 10^{-3} \cdot 250 = 1,64 \text{ N/mm}^1$$

10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{250 \cdot 0,063}{4 \cdot 975 \cdot 106.064.835,12}} = 0,0025 \text{ mm}^{-1}$$

11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1^e en 2^e jaar)Zettingslengte $L = 8.414 \text{ mm}$

$$\lambda \cdot L = 0,0025 \cdot 8.414 = 20,90$$

 $i = 0,900$ (= 90,0 % inklemming) $B_z = 0,000360$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)

$$Q_z = B_z \cdot f_v \cdot D_o \cdot k_{v, \text{gem}}$$

$$Q_z = 0,000360 \cdot 5 \cdot 250 \cdot 0,063 = 0,028 \text{ N/mm}^1$$

$$Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$$

$$Q_d = 0,028 \cdot 0,0025 \cdot 8.414 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0025 \cdot 8.414}{6}\right) = 2,39 \text{ N/mm}^1$$

12. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (na 2 jaar)

$$Q_z = B_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v, \text{gem}}$$

$$Q_z = 0,000360 \cdot (5 + 2,0 \cdot 0) \cdot 250 \cdot 0,063 = 0,028 \text{ N/mm}^1$$

$$Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$$

$$Q_d = 0,028 \cdot 0,0025 \cdot 8.414 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0025 \cdot 8.414}{6}\right) = 2,39 \text{ N/mm}^1$$

13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen*Berekening evenwichtsdraagvermogen*

$$N_q = e^{\pi \tan(\varphi)} \cdot \tan^2(45^\circ + \varphi/2) = 33,30$$

$$N_y = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi) = 33,92$$

$$B = D_o = 0,25 \text{ m}$$

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 2,00 + 0,25 / 2 = 2,13 \text{ m}$$

$$S_y = 1 - 0,4 \cdot B/L = 0,96$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 1,37$$

$$\gamma'_{\text{gem}} = (q_n + (\gamma' \gamma_n - \gamma_w) \cdot D_o / 2) / Z = 12,00 \text{ kN/m}^3$$

$$P_{we} = 0,95 \cdot (0,5 \cdot \gamma'_{\text{gem}} \cdot D_o \cdot N_y \cdot S_y \cdot d_y + S_q \cdot N_q \cdot d_q \cdot (q_n + c' \cdot \cot(\varphi)) - c' \cdot \cot(\varphi))$$

$$P_{we} = 1.146,24 \text{ kN/m}^2 = 1,15 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weD_o} = P_{we} \cdot D_o = 1,15 \cdot 250,00 = 286,56 \text{ N/mm}^1$$

*Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen**Situatie 1^e en 2^e jaar*

$$Q_k = 20,40 \text{ N/mm}^1$$

$$Q_v = 1,64 \text{ N/mm}^1$$

$$Q_d = 2,39 \text{ N/mm}^1 +$$

$$\Sigma = 24,43 \text{ N/mm}^1$$

Conclusie:

Geen aanpassing

van Q_d nodig*Situatie na 2 jaar*

$$Q_n = 6,00 \text{ N/mm}^1$$

$$Q_v = 1,64 \text{ N/mm}^1$$

$$Q_d = 2,39 \text{ N/mm}^1 +$$

$$\Sigma = 10,03 \text{ N/mm}^1$$

Conclusie:

Geen aanpassing

van Q_d nodig

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 3.0 ©
14. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (1^e en 2^e jaar)		
<i>Moment t.g.v. Q_k en Q_v</i> $M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,177 \cdot (20,40 + 1,64) \cdot 113,60 - 0,143 \cdot (1 - \sin(35^\circ)) \cdot \sin(1/2 \cdot 120^\circ) \cdot (20,40 + 1,64) \cdot 113,60$ $M_q = 310,91 \text{ Nmm/mm}^1$ <i>Moment t.g.v. Q_d</i> $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 2,39 \cdot 113,60$ $M_{qd} = 33,09 \text{ Nmm/mm}^1$ <i>Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}</i> $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 1,00 \cdot (310,91 + 33,09) / 86,64 = \mathbf{3,97 \text{ N/mm}^2}$		
15. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (na 2 jaar)		
<i>Moment t.g.v. Q_n en Q_v</i> $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,177 \cdot (6,00 + 1,64) \cdot 113,60 - 0,143 \cdot (1 - \sin(35^\circ)) \cdot \sin(1/2 \cdot 120^\circ) \cdot (6,00 + 1,64) \cdot 113,60$ $M_q = 107,75 \text{ Nmm/mm}^1$ <i>Moment t.g.v. Q_d</i> $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 2,39 \cdot 113,60$ $M_{qd} = 33,09 \text{ Nmm/mm}^1$ <i>Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}</i> $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 1,00 \cdot (107,75 + 33,09) / 86,64 = \mathbf{1,63 \text{ N/mm}^2}$		
16. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot 5 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,063}{22,8}} = \mathbf{0,16 \text{ N/mm}^2}$		
17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot (5 + 2,0 \cdot 0) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,063}{22,8}} = \mathbf{0,16 \text{ N/mm}^2}$		
		13-12-2021 11:19:04

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2020 3.0 ©
18. Berekening van de spanning s_{ax} t.g.v. temperatuurverschil	
Leiding is drukloos $\sigma_{ax} = 0 \text{ N/mm}^2$	
19. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht	
Berekening van de factoren i_x , i_{xp} , i_y en i_{yp} van de bocht: $r = \left(\frac{D_e}{2} + \frac{D_e - 2 \cdot t}{2} \right) / 2 = 113,60 \text{ mm}$ $h = \frac{t \cdot R}{r^2} = \frac{22,8 \cdot 20000,00}{113,6^2} = 35,34$ $k = \frac{1,65}{h} = \frac{1,65}{35,34} = 0,047$ $i_x = \frac{0,9}{h^{(2/3)}} = \frac{0,9}{35,34^{(2/3)}} = 0,08$ $i_y = 2 \cdot i_x = 2 \cdot 0,08 = 0,17$ $i_x < 1 \rightarrow i_x = 1,00$	
20. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N	
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{987,70}{227,2^3} = 0,0821 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{82,11 \text{ kN/m}^2}$ Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²	
21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk	
Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 987,70}{227,20^3} = 1,56 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 987,70}{227,20^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij 28,07 m grondwater boven de leiding	
22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (6,00 + \frac{1}{2} \cdot 1,64) - 0,095 \cdot (1 - \sin(35^\circ)) \cdot (6,00 + \frac{1}{2} \cdot 1,64) + 0,048 \cdot 2,39) \cdot 113,60^3}{350 \cdot 987,70} = \mathbf{1,89 \text{ mm}} (= 0,83\%)$ Toelaatbare deflectie = $8\% \cdot \text{importantiefactor } S \cdot D_g = 0,08 \cdot 0,75 \cdot 227,20 = \mathbf{13,63 \text{ mm}}$	
	13-12-2021 11:19:04

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2020 3.0 ©
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot (\sigma_q + i_y \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (3,97 + 0,17 \cdot 0,16) = \mathbf{2,60 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_{\sigma} \cdot i_x \cdot \sigma_{bx}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,16 = \mathbf{0,10 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$	
24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot (\sigma_q + i_y \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (1,63 + 0,17 \cdot 0,16) = \mathbf{1,07 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_{\sigma} \cdot i_x \cdot \sigma_{bx}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,16 = \mathbf{0,10 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$	
	13-12-2021 11:19:04

B5 BEREKENING VAN HET EIGENGEWICHT

Deadweight berekening

Project Consortium Grensmaas
Datum 18-11-2021

Leiding

Diameter	250	mm		
Wanddikte	22,7	mm		
Dichtheid	950	kg/m ³		
Massa leiding			0,151	N/mm

☐ **Inhoud leiding**

Dichtheid inhoud	1000	kg/m ³		
Massa inhoud			0,000	N/mm

☐ **PUR isolatie**

Wanddikte	50	mm		
Dichtheid	75	kg/m ³		
Massa isolatie			0,000	N/mm

☐ **Externe betonlaag**

Wanddikte	116	mm		
Dichtheid	2400	kg/m ³		
Massa isolatie			0,000	N/mm

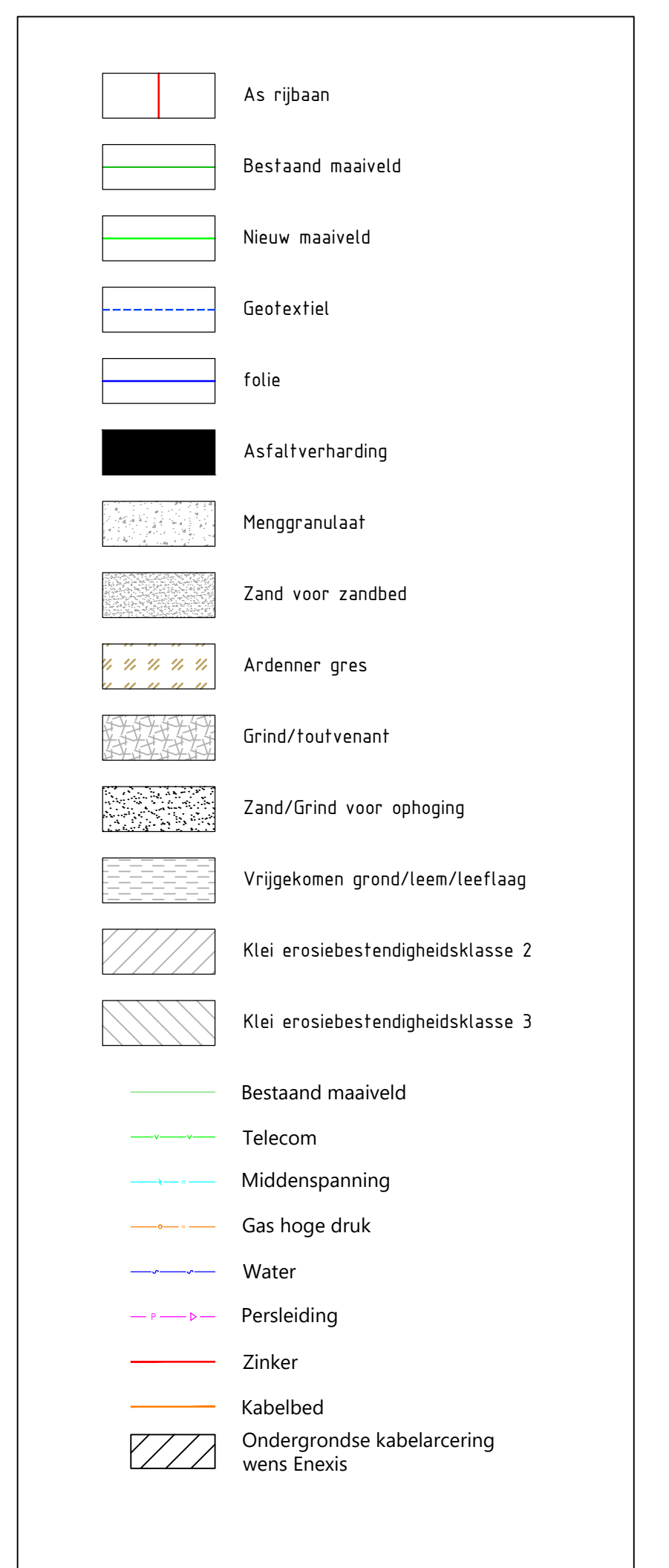
☐ **Interne betonlaag**

Wanddikte	30	mm		
Dichtheid	2400	kg/m ³		
Massa isolatie			0,000	N/mm

☒ **Opdrijvend vermogen**

Dichtheid water	1000	kg/m ³		
Massa opdrijf			-0,482	N/mm

Massa totaal			-0,330	N/mm
---------------------	--	--	---------------	-------------



LEGENDA

OPMERKINGEN

- Maten in meters (m), tenzij anders vermeld;
- Hoogtematen in meters (m) ten opzichte van N.A.P., tenzij anders vermeld;
- Hoekmaten in graden (360°), tenzij anders vermeld;
- Coördinaten in meters (m) in het RD-stelsel (Netherlands-RD, oblique stereographic projection);
- Legendevorbeelden verklaard in tekeningen 105925-2031-2035 DO dijklichamen;
- Grondopbouw op basis van DIN00oket data, identificatie boomstomprofiel 859H340C;
- Het gebruik van de paragraafs is het resultaat van de afstemming van deze grond kan worden aangepast;
- Indien dit niet mogelijk is dienen de K8I, onder de taluds van de oprit te worden gelegd;
- De aansluiting bij het bedrijventerrein van L'ortie dient nog nader te worden uitgewerkt.

