

ONDERWERP

Sterkteberekeningen persleidingen kruisend met Primaire waterkering

PROJECTNUMMER

C03011.000505

DATUM

22-6-2017

ONZE REFERENTIE

079423885 D

VAN

Linda Bouwman

AAN

Marijn Arts / Ploegam BV

KOPIE AAN

Hans Wismans

Adriaan Berkhof

Inleiding:

Een deel van de waterkeringen in Limburg voldoet momenteel niet aan de norm uit de waterwet. Hierdoor heeft het waterschap opdracht gegeven om de waterkering zodanig te verbeteren dat de dijkkring voldoet aan het wettelijke beschermingsniveau. Hiertoe is het project Prioritaire Dijkversterkingen gestart. De aannemerscombinatie Ploegam-Dura Vermeer heeft opdracht gekregen voor de dijkversterking van Perceel 2, waaronder de dijkringen dijkkring 66 Lottum en dijkkring 67 Grubbenvorst in de gemeente Horst aan de Maas vallen.

In dit perceel liggen, parallel en kruisend, met de waterkering twee persleidingen van het Waterbedrijf Limburg. Het betreffende de leidingtracés:

- Lottum - Grubbenvorst en;
- Grubbenvorst – RWZI Venlo.

De leiding vanuit gemaal Lottum, kruist tweemaal de waterkering met een AC Ø250 mm inwendig, eenmaal ter hoogte van het gemaal en gaat vervolgens richting het zuiden naar het gemaal Grubbenvorst, waar de waterkering nogmaals gekruist wordt. Vanuit het gemaal Grubbenvorst gaat vervolgens een AC Ø500 mm (inwendig) richting de RWZI in Venlo. Deze leiding kruist ter hoogte van gemaal Grubbenvorst de waterkering. In het kader van de dijkversterking worden deze leidingstracés aangepast en voor een deel vervangen. De bestaande AC-leidingen worden vervangen voor PE-leidingen. De leidingen dienen berekend te worden op sterkte ten gevolge van de vervanging door een ander materiaal en de extra belasting volgend uit de ophoging ten behoeve van de versterking van de waterkering. De leidingen worden berekend overeenkomstig de NEN3650, NEN3651 en aan de richtlijnen van uit het waterschap.

Ten behoeve van het kruisen van de te versterken waterkering worden van de leidingen sterkteberekeningen en uitvoeringsontwerptekeningen gemaakt. Tevens wordt bekeken of er volgens de richtlijnen een vervangende waterkering benodigd is. Uitgangspunt voor de uitvoeringsontwerptekeningen zijn de definitieve ontwerptekeningen Versie 6.0 van Movares.

De uitvoeringstekeningen van de “vervangen” leidingen (inclusief aansluitingen op het gemaal) zijn als bijlage 1 en 2 opgenomen in deze memo.

Uitgangspunten voor leidingberekeningen

Voor de leidingberekeningen is uitgegaan van de volgende uitgangspunten en randvoorwaarden.

Algemeen:

- De waterkeringen heeft de juridische status “primaire waterkering”.
 - De ophoging van de bestaande waterkering is beperkt (circa 1,2 m).
 - De berekeningen van de leidingen ter plaatse van de kruisingen worden uitgevoerd met het programma
-

Sigma 2012 van Adviesbureau Schrijvers BV. De berekening van de veiligheidszone wordt uitgevoerd volgens de 4H methode met programma Sigma 2012 van Adviesbureau Schrijvers BV.

- In par. 6.5 van NEN 3651 is aangegeven, dat bij het berekenen van leidingen in kruisingen en binnen de veiligheidszone een schade factor S in rekening moet worden gebracht op de toelaatbare spanningen. Voor direct water kerende keringen geldt $0,75 < S < 1,0$ en kan worden bepaald volgens bijlage B van NEN3651. In bijlage B is aangegeven dat de schadefactor geldt voor primaire keringen en boezemkaden. Het betreft hier een primaire waterkering er wordt voor de berekening van de leidingen een schade factor van 0,75 gehanteerd.
- De vervangende leiding onder de “nieuwe” waterkering mag niet worden getoetst volgens bijlage E van NEN3651, omdat de omstandigheden van de leiding veranderen. Voor de nieuwe leidingen gelden nieuwe eisen met betrekking tot veiligheidszones en berekening van de leiding in de kruising en binnen de veiligheidszones van de nieuwe waterkering.
- In par. 8.7.1.1 van NEN3651 tabel 2 is de noodzaak tot en de breedte van een vervangende waterkering in (direct waterkerende) primaire en boezemwaterkeringen aangegeven. De vervangende waterkeringen worden berekend met de gegevens aangeleverd door Waterleidingbedrijf Limburg. Deze zijn onder de leiding gegevens opgenomen.

Leiding gegevens

De persleidingen wordt op twee locaties door de waterkering aangelegd. Voor de berekeningen van de leidingen zijn de door het Waterleidingbedrijf Limburg aan geleverde gegevens gebruikt, deze gegevens zijn, per leidingkruising, op 19 mei 2017 door de heer T. Boonen van WBL aangeleverd en hieronder weergegeven:

Kruising 1: Aansluiting gemaal Lottum:

- Diepte ligging vervangende leiding is gelijk aan diepte ligging nieuwe leiding.
- Leidingen worden in open ontgraving aangebracht.
- Bestaande AC leiding Ø250 mm (inwendig) wordt vervangen door een PE leiding Ø315 mm (uitwendig).
- Uitstroom niveau 15,70 m+NAP.
- $Q_{max} = 100 \text{ m}^3/\text{uur}$.
- De maximale druk (bij het gemaal Lottum) bedraagt 0,85 Bar.

Kruising 2a en 2b: Aansluitingen op gemaal Grubbenvorst

- Bestaande AC leiding Ø250 mm (inwendig) wordt vervangen door een PE leiding Ø315 mm (uitwendig). (kruising 2a).
 - Bestaande AC leiding Ø500 mm (inwendig) wordt vervangen door een PE leiding Ø630 mm (uitwendig) (kruising 2b).
 - Diepte ligging vervangende leidingen zijn gelijk aan diepte ligging bestaande leidingen:
 - B.o.b. PE Ø315 mm ligt op circa NAP +14,76 m.
 - B.o.b. PE Ø630 mm ligt op circa NAP +14,50 m.
 - Leidingen worden ter gelijk in open ontgraving aangebracht, de tussenruimte tussen de leidingen dient minimaal 0,40 m te zijn.
 - Uitstroom niveau 17,70 m+NAP.
 - $Q_{max} = 470 \text{ m}^3/\text{uur}$.
 - Maximale druk (bij gemaal) bedraagt 0,87 Bar Ø630 mm en 0,5 Bar Ø315 mm.
-

Grondmechanische gegevens

Ter plaatse van de kruisingen zijn twee handboringen gemaakt. Eén bij gemaal Grubbenvorst (HB11) en één ter plaatse van gemaal Lottum (HB15). De boringen zijn opgenomen in bijlage 5.

De dijkversterking is uitgegaan van een ophoging van een klei/leemlaag. Voor de sterkteberekening van de leidingen zijn de gegevens aangehouden zoals in weergegeven in de Rapportage: DO Geotechnische rapportage Fase 1B Dijkkring 67, Grubbenvorst, Prioritaire Dijkversterkingen - Perceel 2 d.d. 25-5-2016-Versie 3.0:

- $\gamma = 19-19 \text{ kN/m}^3$.
- $\psi = 30^\circ$.
- $c = 2,5 \text{ kN/m}^2$.

In de berekening van de leiding is een maximaal zettingsverschil, als gevolg van het aanbrengen van de kade, van 50 mm (5 cm) aangehouden.

Verkeersbelastingen:

De verkeersbelastingen worden uitgerekend aan de hand van de as-modellen uit ENV 1991-3: 1995.

De volgende verkeersbelastingen zijn aangehouden:

- Verkeersbelasting voor de kruin van de kades: grafiek II (maatgevende belasting).

Leiding berekeningen:

De sterkte berekeningen van de leiding in de kruisingen binnen de veiligheidszones zijn uitgevoerd met het programma Sigma 2012 van de Adviesbureau Schrijvers BV. De berekeningsresultaten zijn in bijlage per kruising opgenomen en hieronder kort samengevat. De berekeningen van de veiligheidszone van de boezemkade volgens is in bijlage 3 en 4 opgenomen.

Algemeen:

Uit de eerste toetsingsberekening blijkt dat de sterkteberekeningen volgens de vereenvoudigde sterkteberekeningen kan worden uitgevoerd. Randvoorwaarde is:

Voor vloeistofleidingen geldt $h^3 * Di^3 \leq \text{dan } 40 \text{ m}^8$.

h = is de maximale drukhoogte (in m).

Di = inwendige middellijn van de leiding (in m).

Leidingen	<40 m ⁸
PE Ø315 mm (0,85 BAR maatgevend)	0,74 m ⁸
PE Ø630 mm	25,37 m ⁸

Veiligheidszone en toets op relatieve sterkte

Voor de aansluiting van de vervangende PE-leiding op de bestaande AC-leiding zijn zodanig gekozen dat deze buiten de veiligheidszone van de waterkeringen liggen (art. 8.6.1 van NEN3651). De veiligheidszone is voor een niet verheelde waterkering berekend met de 4H methode.

Door de aansluiting buiten de veiligheidszones te realiseren wordt voldaan aan de in artikel 6.6 van NEN 3651. Hierin is opgenomen dat de leiding in de kruising met een waterkering voor inwendige druk tenminste 20% sterker moet zijn als de aansluitende veldstrekking buiten de veiligheidszone. De leiding in de kruising wordt uitgevoerd in PE100, PN16 (SDR11) (trekvast) en de aansluitende veldstrekkingen zijn uitgevoerd in AC-leidingen (niet trekvast). Hiermee wordt voldaan aan de 20% eis voor de kruising.

Vervangende waterkering:

In paragraaf 8.1.7.1 van NEN3651, is de noodzaak voor een vervangende waterkering aangegeven. Voor lagedruk vloeistofleidingen ($p_a < 1\text{MPa}$) geldt:

<p>a) Indien: $h^3 \times D_i^5 < 1\text{ m}^8$ dan geldt: Geen damwand nodig</p>
<p>b) Indien: $1\text{ m}^8 \leq h^3 \times D_i^5 < 40\text{ m}^8$ dan geldt: $B = 6 \times \sqrt[3]{h^3 \times D_i^5}\text{ m}$</p>

Tabel 3: NEN3651

Voor de leiding PE Ø315 mm geldt: a) $0,74\text{ m}^8 \leq 1\text{ m}^8 \rightarrow$ geen damwand nodig.

Voor de leiding PE Ø630 mm geldt: b) $1\text{ m}^8 \leq 25,37\text{ m}^8 \leq 40\text{ m}^8 \rightarrow$ damwand nodig.

Voor deze leiding dient een vervangende waterkering te worden aangebracht over een afstand van 0,5 B aan weerszijde van de leiding. De vervangende waterkering moet een minimale lengte hebben van:

$$B = 9,0\text{ m} + 0,63 = 9,6\text{ m}.$$

De constructieve berekening van damwand is niet beschouwd in deze memo. Deze wordt beschouwd de UO-berekeningen putten en damwanden

Sterkte berekening:

Kruising 1: PE100 SDR 11, Ø315 mm

De kade is een primaire waterkering. Er wordt daarom een Schadefactor in rekening gebracht van $S = 0,75$ op de toelaatbare spanning. Samengevat zijn de berekende spanningen van de berekeningen:

Fase	Optredende spanning N/mm ²	Toelaatbare spanning N/mm ²
1 ^e en 2 ^e jaar	$\sigma_x = 1,67$ $\sigma_y = 4,80$	6
Na 2 ^e jaar	$\sigma_x = 2,09$ $\sigma_y = 2,36$	6

De optredende maximale deflectie bedraagt 4,41 mm. Dit is kleiner dan de toelaatbare deflectie van 17,18 mm. De leidingsterkte en vervormingen voor kruising 1 voldoen voor beide fasen aan de eisen gesteld in NEN3650/3651.

Kruising 2a: PE100 SDR 11, Ø630 mm

De kade is een primaire waterkering. Er wordt daarom een Schadefactor in rekening gebracht van $S = 0,75$ op de toelaatbare spanning. Samengevat zijn de berekende spanningen van de berekeningen:

<i>Fase</i>	<i>Optredende spanning N/mm²</i>	<i>Toelaatbare spanning N/mm²</i>
<i>1^e en 2^e jaar</i>	$\sigma_x = 1,66$ $\sigma_y = 5,86$	6
<i>Na 2^e jaar</i>	$\sigma_x = 1,96$ $\sigma_y = 2,76$	6

De optredende maximale deflectie bedraagt 10,28 mm. Dit is kleiner dan de toelaatbare deflectie van 34,37 mm. De leidingsterkte en vervormingen voor kruising 2a voldoen voor beide fasen aan de eisen gesteld in NEN3650/3651.

Kruising 02b: PE100 SDR 11, Ø315 mm

De kade is een primaire waterkering. Er wordt daarom een Schadefactor in rekening gebracht van $S = 0,75$ op de toelaatbare spanning. Samengevat zijn de berekende spanningen van de berekeningen:

<i>Fase</i>	<i>Optredende spanning N/mm²</i>	<i>Toelaatbare spanning N/mm²</i>
<i>1^e en 2^e jaar</i>	$\sigma_x = 1,67$ $\sigma_y = 5,53$	6
<i>Na 2^e jaar</i>	$\sigma_x = 2,83$ $\sigma_y = 2,09$	6

De optredende maximale deflectie bedraagt 5,21 mm. Dit is kleiner dan de toelaatbare deflectie van 17,18 mm. De leidingsterkte en vervormingen voor kruising 2b voldoen voor beide fasen aan de eisen gesteld in NEN3650/3651.

Conclusie

De gekozen leidingen PE 100, SDR11, PN 16, voldoen voor leidingen, zowel tijdens de uitvoerings- als de bedrijfsfase van de leiding. Ter plaatste van de leiding PE Ø630 mm dient er een vervangende waterkering te worden aangebracht. Parallel aan deze leiding ligt op een afstand van 0,40 m de PE Ø315 mm leiding. Deze dient tevens in de vervangende waterkering te worden opgenomen. Bij de kruisingen met de vervangende waterkering dienen de sporingen te zijn afgedicht met een kleikist inclusief kwelscherm conform de in de bijlage 2 opgenomen tekeningen.

Uitvoering

Uit de berekeningsresultaten blijkt, dat beide leidingen voldoen aan de eisen gesteld in NEN3650/3651 en dat beide leidingen sterktechnisch geen probleem vormen voor de te versterken waterkeringen.

Aanleg leidingen:

Voor de koppeling nieuwe op de bestaande leidingen en voor het aanvullen van de sleuven dienen alle lassen gekeurd te worden, door een door de Waterschapsbedrijf Limburg en het waterschap goedgekeurde instantie.

Vóór de koppeling op de bestaande leiding (en voor ingebruikname) wordt de kruising op sterkte en dichtheid beproefd volgens artikel 9.7 en 9.7.3 van NEN 3651:

- De sterktebeproevingdruk bedraagt is $1,5 \times \text{ontwerpdruk} (= 1,5 \times 0,87)$ met een minimum van 0,4 MPA $\rightarrow = 0,40$ MPa.
- De dichtheidsbeproevingdruk bedraagt $1,5 \times 0,87 = 1,3$ MPa (aansluitingen op AC-leidingen mee beproeven).

Sleufaanvulling:

Om de spanningen ten gevolge van zettingsverschil ter plaatse van de gelegde leiding zoveel mogelijk te beperken, moet de ondergrond ter plaatse goed verdicht worden zodat de uitvoeringszettingen, en daardoor de spanningsverhogingen, minimaal zullen zijn. Het uitkomende zand dient rond de leidingen te worden aangebracht en overig materiaal kan worden hergebruikt voor de afdichting van de sleuf. Hierbij dient voldoende aandacht dient te worden besteed aan het laagsgewijs verdichten van de sleufaanvulling. De verdichtingsgraad van de sleuf aanvulling dient hetzelfde de zijn als de omringende grondslag.

Kleikist met kwelscherm:

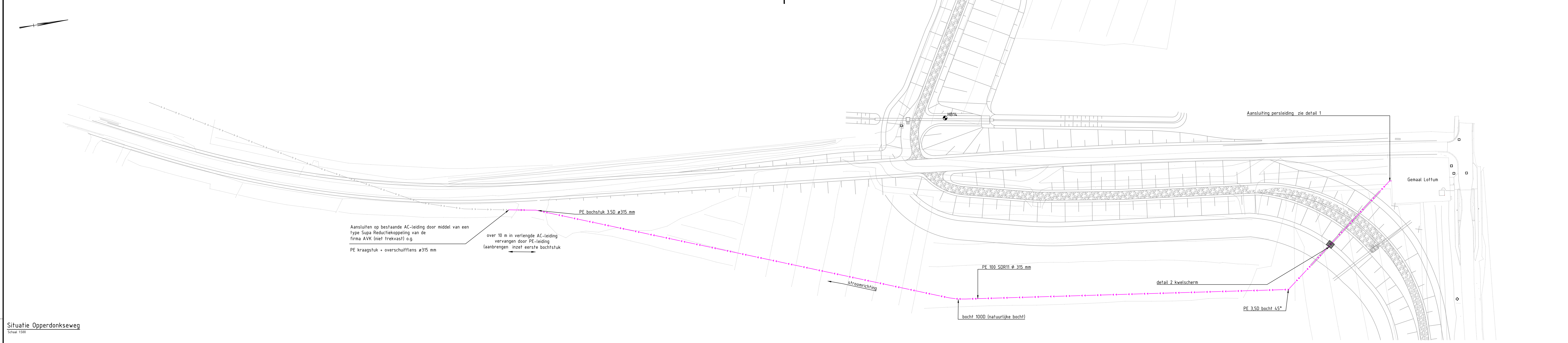
Voor zowel de leiding door de damwand als de leidingen zonder benodigde waterkering dient er een kleikist met kwelscherm te worden aangebracht conform NEN3651 en de in de bijlage opgenomen tekeningen.

Koppeling op bestaande leidingen:

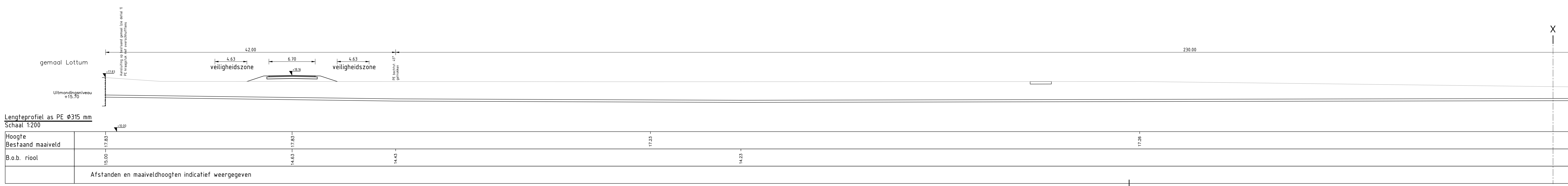
Uitvoering methode behoeft de goedkeuring van de directie, waarbij voor de uitvoering de volgende randvoorwaarden, voor de koppeling, van het Waterschapsbedrijf Limburg gehanteerd worden:

- Aannemer stelt een ombouwplan op.
 - Voor het koppelen van de nieuwe op de bestaande leidingen kunnen de volgende rioolgemalen tijdelijk buiten bedrijf te worden gesteld.
 - Lottum (8:00 uur).
 - Grubbenvorst (6:30 uur).
 - Deel toe te passen RVS flensklemmen voor AC Ø250 mm respectievelijk Ø500 mm, fabricaat Huwa type T, drukklasse PN10 en voorzien van flensaansluiting ten behoeve van het plaatsen van een ballonafsluiter Ø250 mm respectievelijk Ø500 mm.
 - De exacte maatvoering van de bestaande buizen ten behoeve van de juiste passing van toe te passen hulpstukken wordt vooraf door de aannemer in het werk ingemeten te worden.
 - De flensklemmen beproeven met een afpersdruk 0,6 MPa.
 - Via genoemde flensklemmen bij aanvang ombouw een ballonafsluiter plaatsen in de leiding.
 - Controle op basis van de gronddekking of de afsluiter gehandhaafd kan blijven. Kan dat dan wordt op de flensaansluiting van de genoemde flensklemmen een GIJ schuifafsluiter aan gebracht (met korte bouwlengte), fabricaat AVK serie 06/84. De afsluiter voorzien van een GIJ blindflens.
 - De flensklemmen, afsluiter en blindflenzen dienen na uitvoering van het werk gehandhaafd te blijven, en te worden ingetapet met Denso vetband.
 - Indien de afsluiter niet gehandhaafd kan blijven, wordt deze verwijderd en (onder druk) een stop in de flensklemmen plaatsen alvorens de blindflens te monteren.
 - Alle bevestigingsmiddelen zijn van thermisch verzinkt staal, klasse 8.8.
-

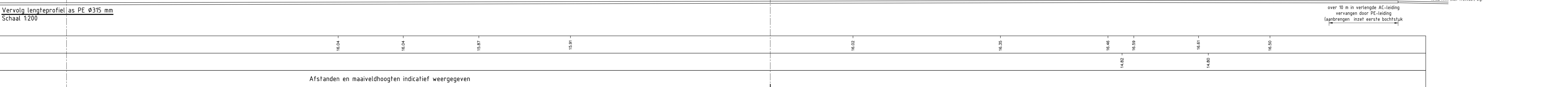
BIJLAGE 1 TEKENING PERSLEIDING LOTTUM - GRUBBENVORST



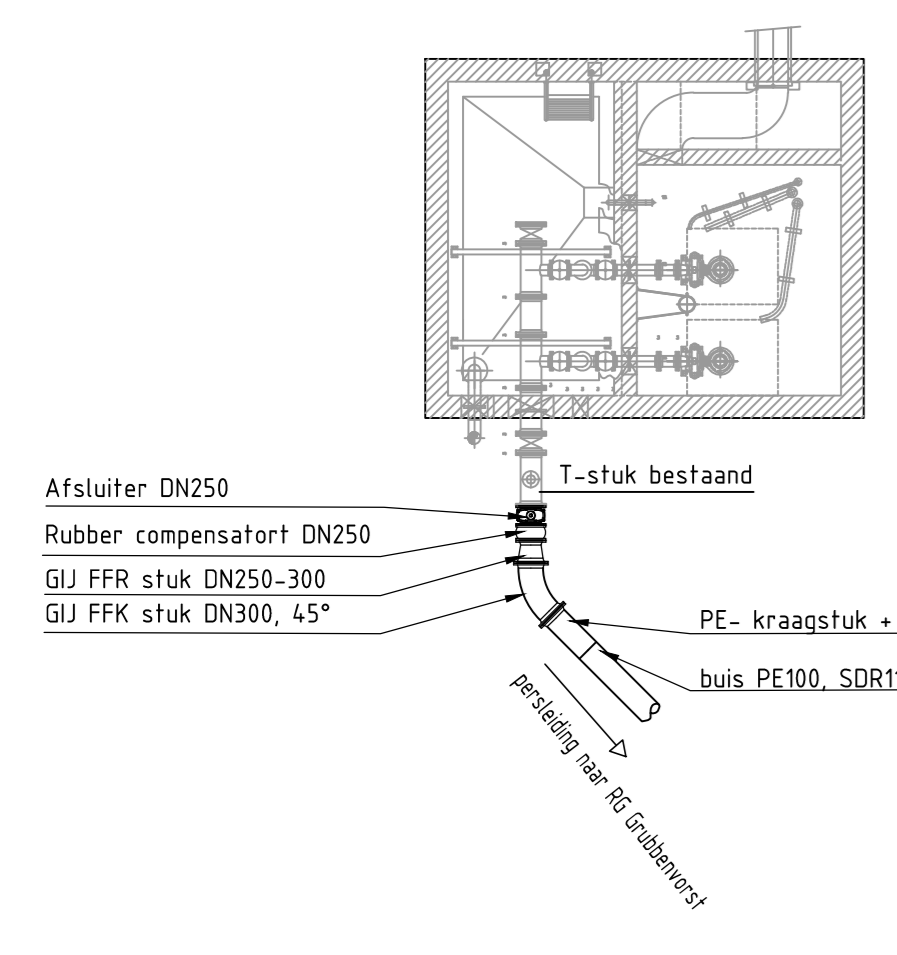
Situatie Opperdonkseweg
Schaal 1:500



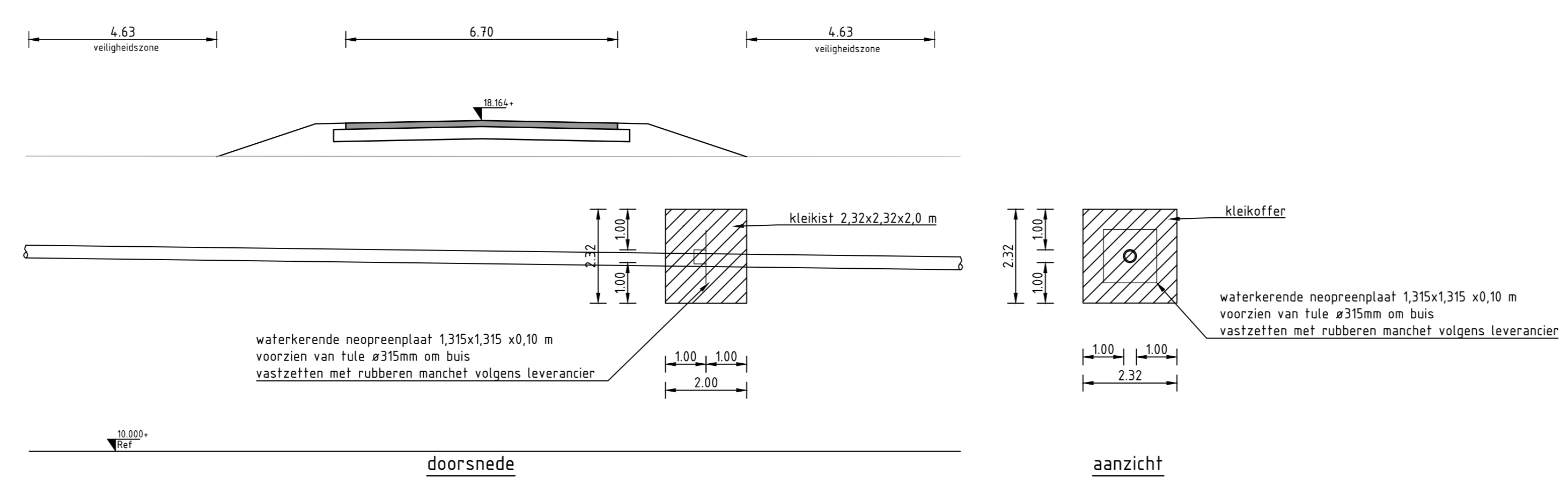
Lengteprofiel as PE Ø315 mm
Schaal 1:200



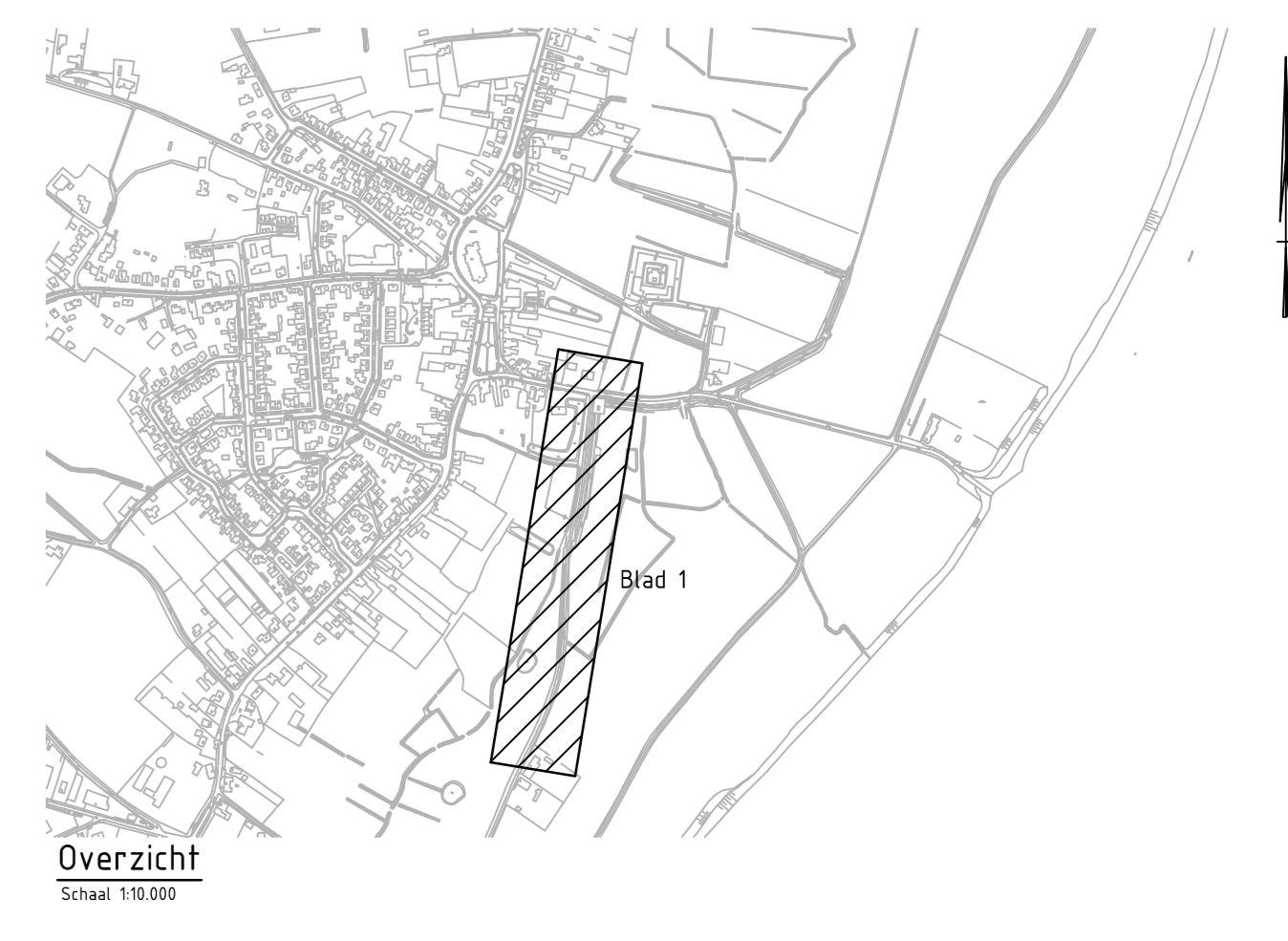
Vervolg lengteprofiel as PE Ø315 mm
Schaal 1:200



detail 1 aansluiting gemaal Lottum
Schaal 1:50



principe detail 2 kwelsscherm
Schaal 1:50



Overzicht
Schaal 1:10.000

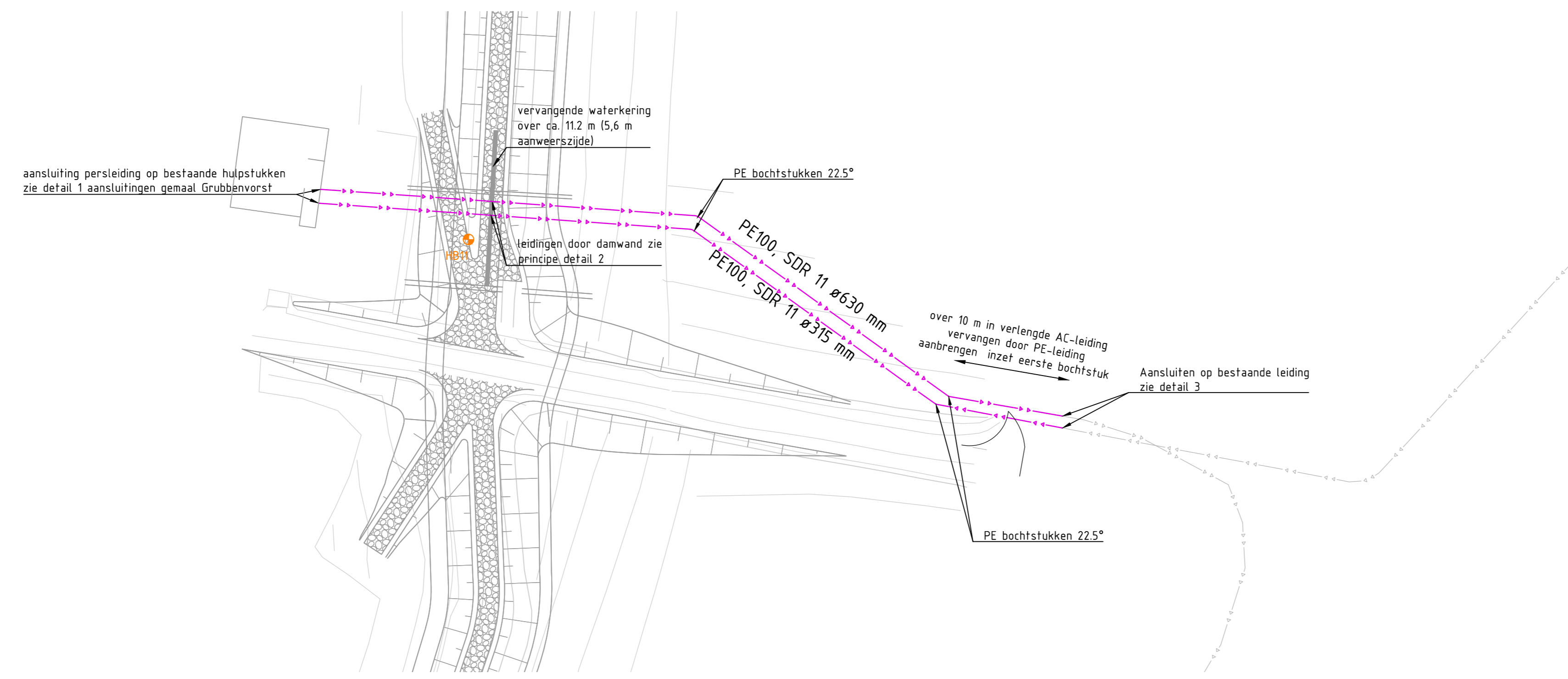
WIJZIGINGSBEHEER DOCUMENT HISTORIE				
Gecontroleerd:	ARCADIS	Vrijgegeven:	ARCADIS	
Ontworpen:	ARCADIS	Goedgekeurd:	ARCADIS	

Opdrachtgever: Ploegam BV
Project: Prio 2 Engineeringsfase
Onderwerp: Uitvoeringsontwerp Lottum - Opperdonkseweg Leidingwerk

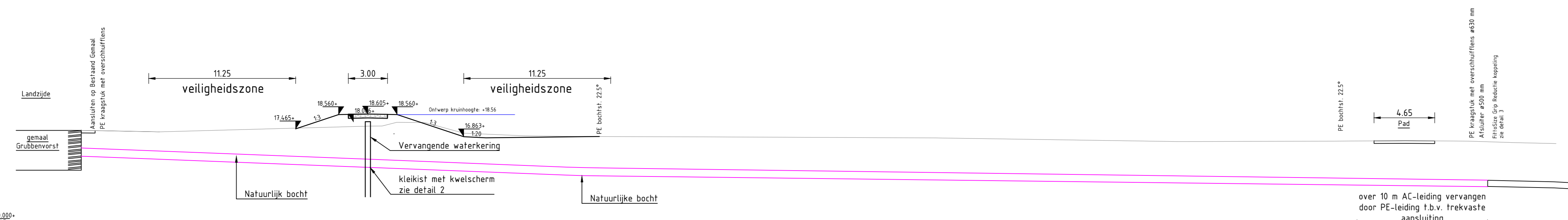
Projectnummer: C0301100595-04-00	Divisie: Water & Milieu	Schaal: 1:2e tekening
Fase: Definitief	Status: Definitief	Bladformaat: A0
Projectleider: Berkhof, AH (Adriaan)	Contractor: Ploegam	Bladnr: 1 van 2
Tekeningnummer: RM193104-DKN-UO-WBL-001	Contractor: Ploegam	Bladnr: 1 van 2
		Bladnr: 1 van 2
		Bladnr: 1 van 2

- Legenda situatie
- Bestaande situatie - conform vooropnamen
 - Dijkontwerp 22-09-2016
 - Aan te brengen persriool
 - Uitgevoerde handboringen
- Legenda dwarsprofiel
- Bestaand maaiveld - conform vooropnamen
 - Grondwerk

BIJLAGE 2 TEKENING PERSLEIDING GRUBBENVORST – RWZI VENLO

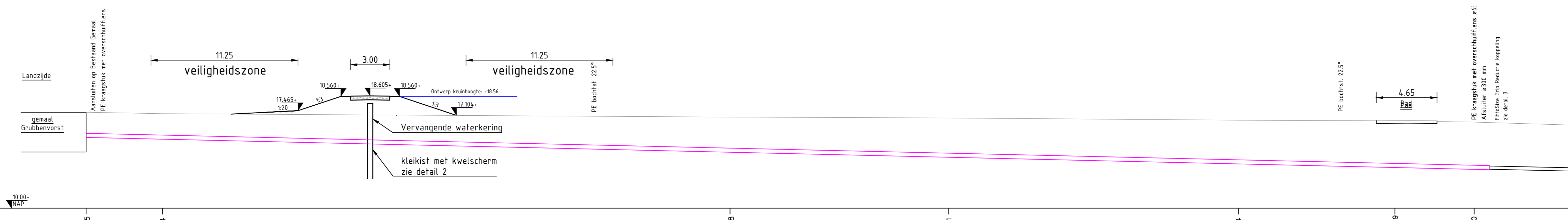


Situatie Kerkstraat
Schaal 1:500



Lengteprofiel as PE ϕ 630 mm
Schaal 1:200

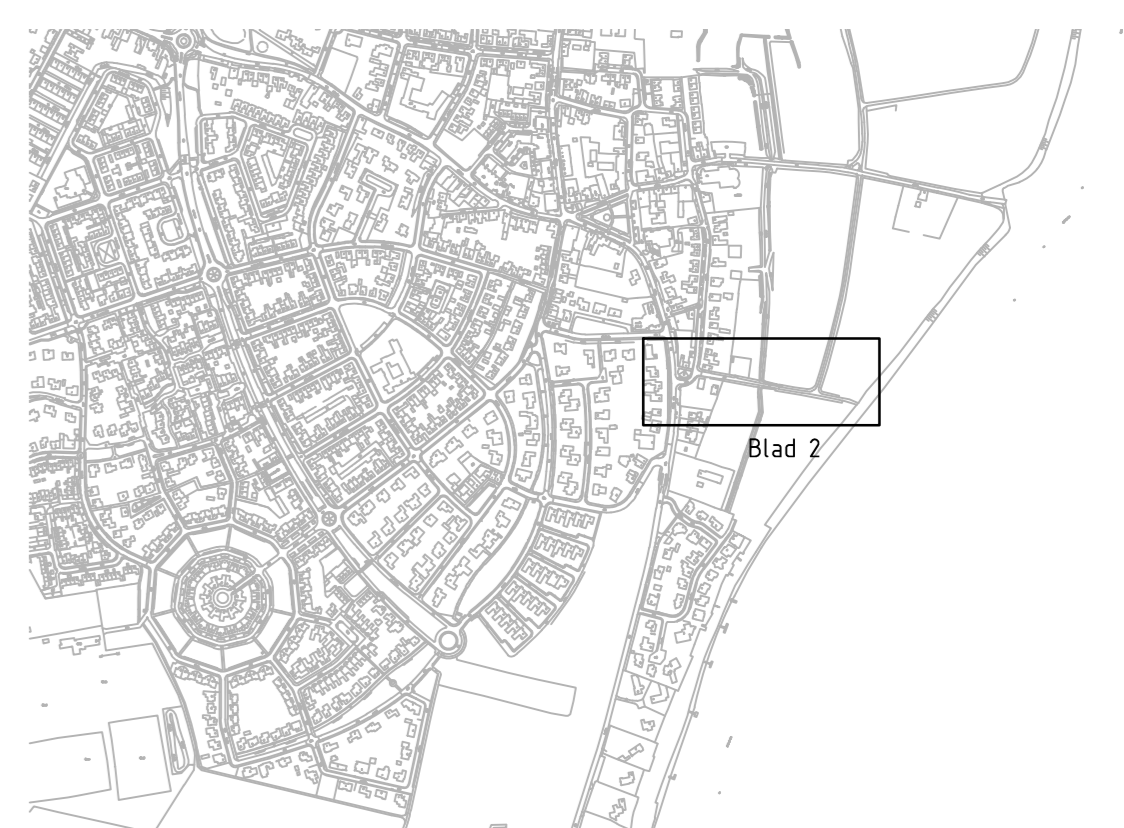
Hoogte Bestaand maaienveld	17.35	17.24	17.49	17.25	17.59	17.97	17.95	17.14	16.83	16.89	16.85	16.77	16.49	16.53	16.55	16.56	16.54	16.52	16.41
B.o.b. riool	15.50				14.50								13.49						12.01
Afstanden en maaienveldhoogten indicatief weergegeven																			



Lengteprofiel as PE ϕ 315 mm
Schaal 1:200

Hoogte Bestaand maaienveld	17.35	17.24	16.98	16.91	16.74	16.69	16.60
B.o.b. riool	15.45					13.10	
Afstanden en maaienveldhoogten indicatief weergegeven							

- Legenda situatie**
- Bestaande situatie - conform vooropnamen
 - Dijkontwerp 22-09-2016
 - Aan te brengen oersriool
 - Lichtgeverde handboringen
- Legenda dwarsprofiel**
- Bestaand maaienveld - conform vooropnamen
 - Grondwerk



Overzicht
Schaal 1:500

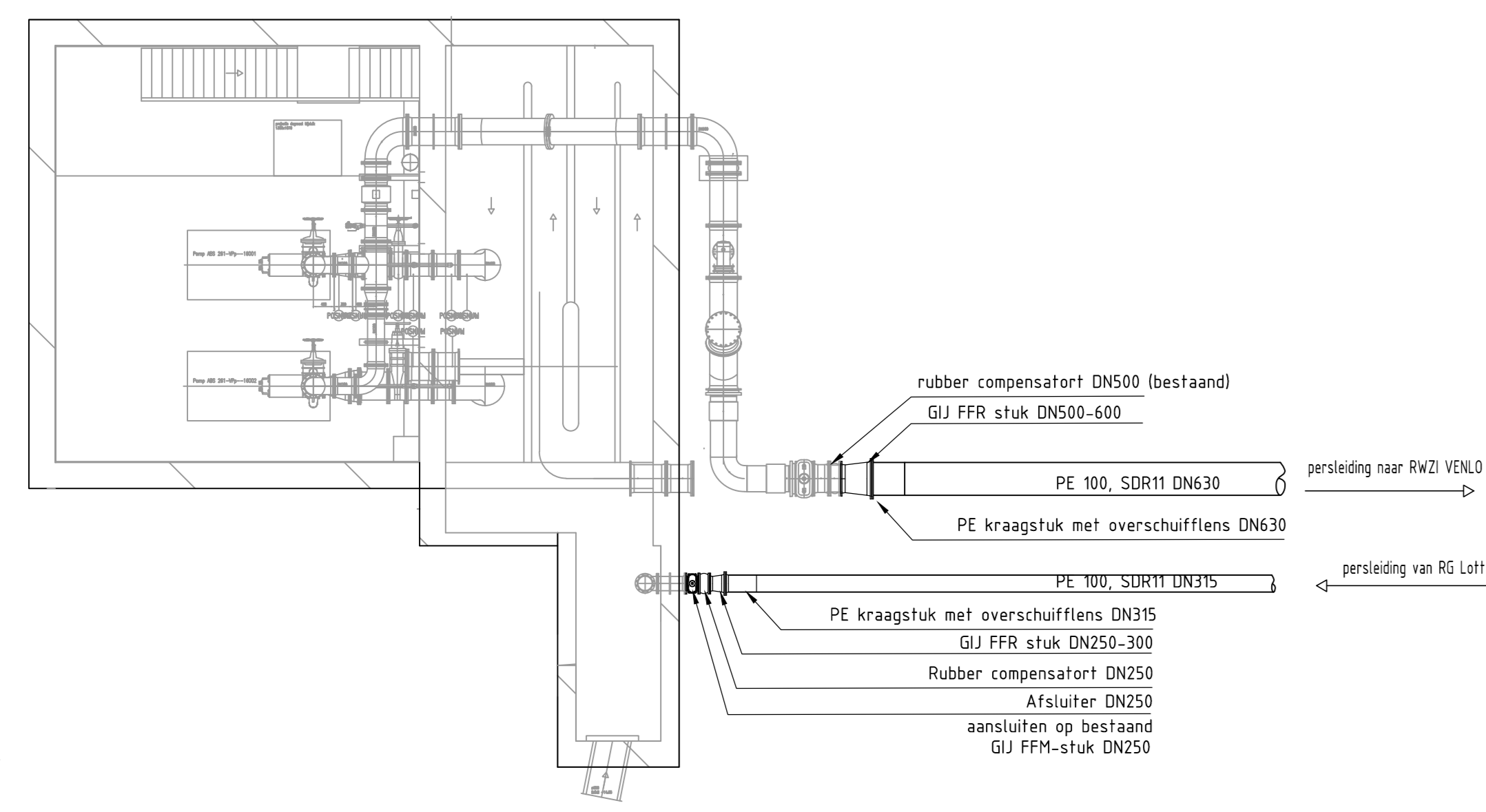
№	Datum	Gevoerd	Gecontroleerd	Uitgevoerd	Opgeleverd
8	10-06-2017	Bouwenst	H. Minnen	H. Wiersma	Definitief

WIJZIGINGSBEHEER DOCUMENT HISTORIE

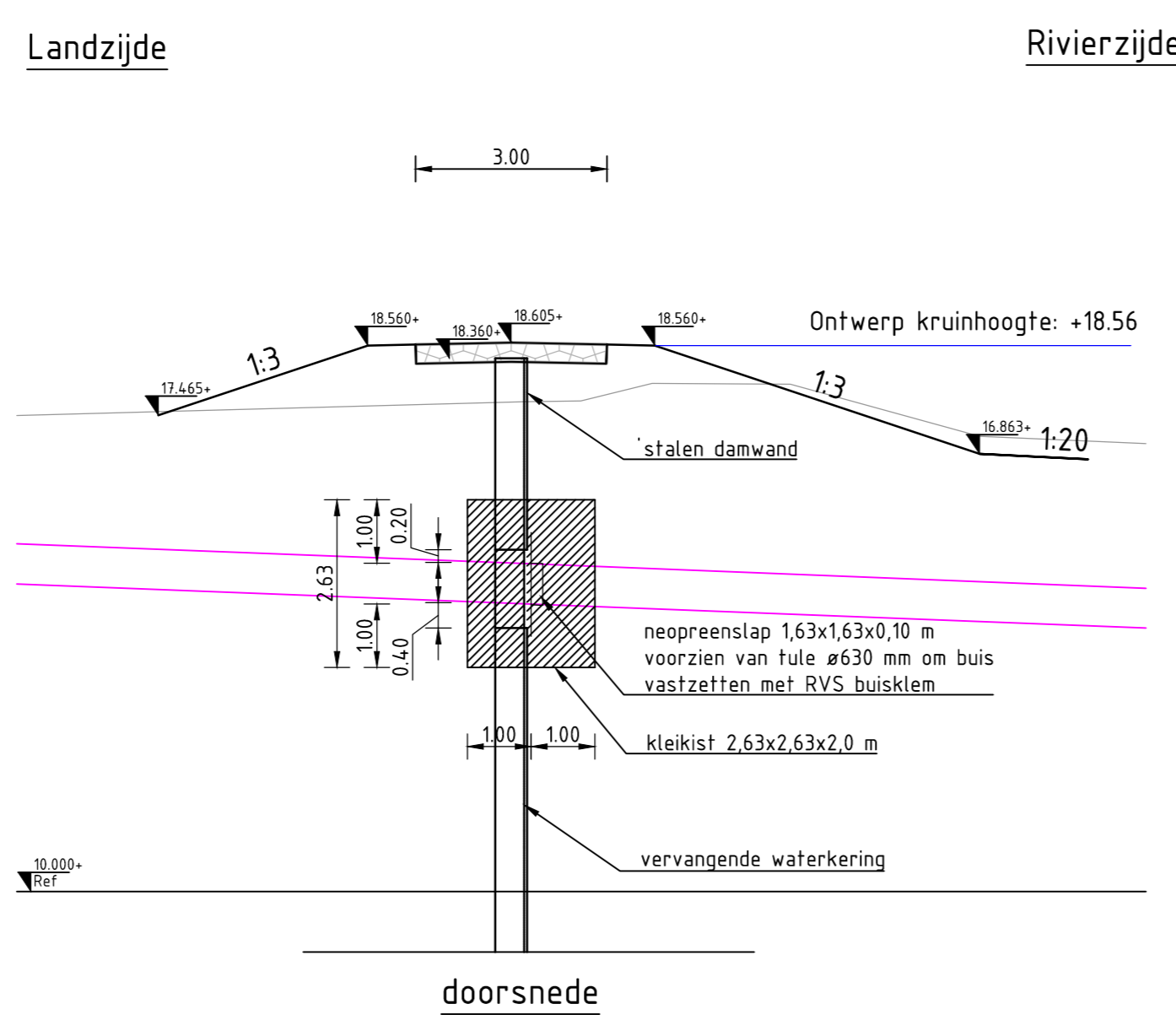
Gecontroleerd	Vrijgegeven
ARCADIS	ARCADIS

Opdrachtgever: Ploegam BV
Project: Prio 2 Engineeringsfase
Onderwerp: Uitvoeringsontwerp Grubbenvorst - Kerkstraat Leidingwerk

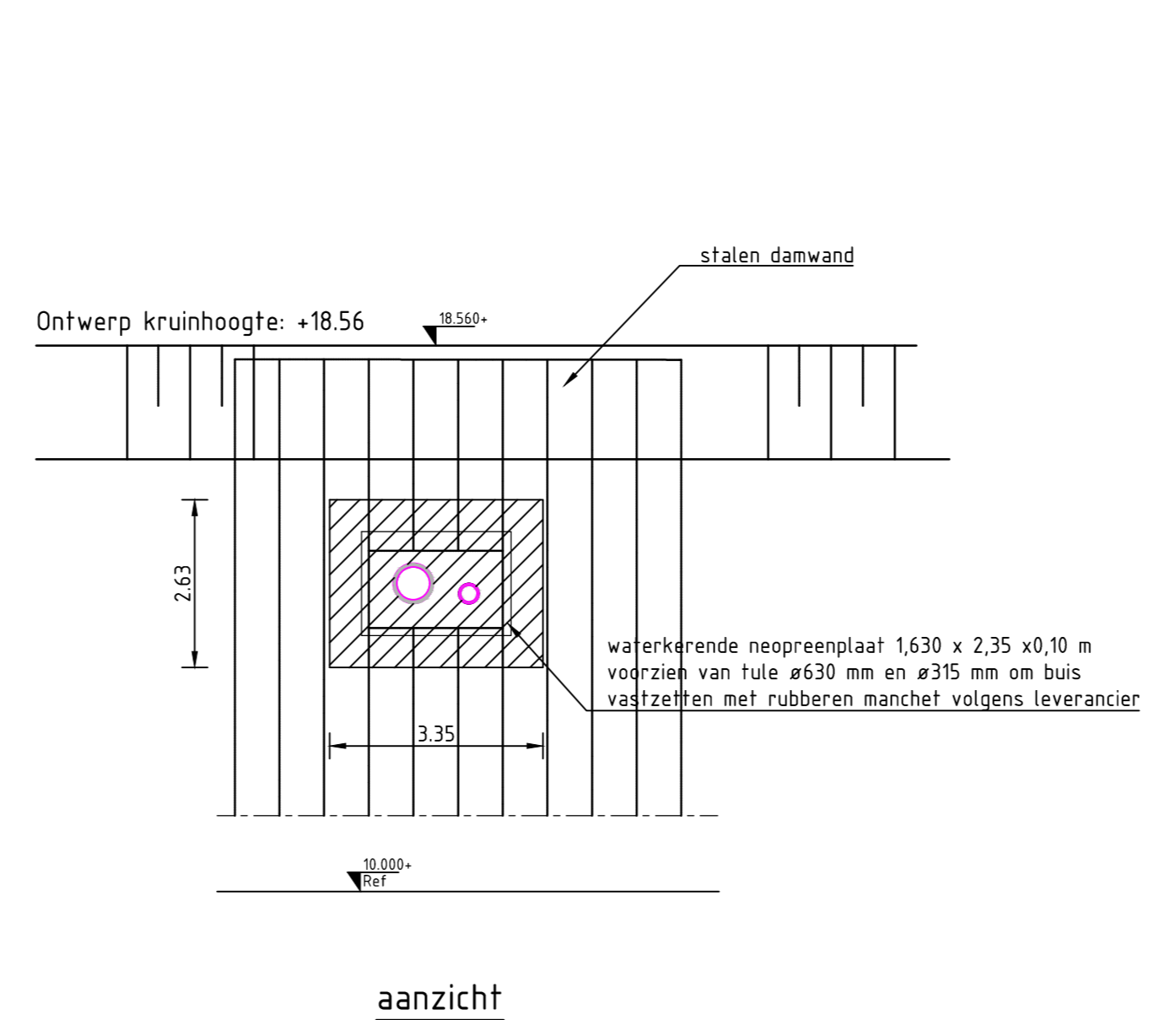
Projectnummer: C0301100595-04-00
Divisie: Water & Milieu
Fase: Status Definitief
Tekeningsnummer: RM193104-DKN-UO-WBL-002



detail 1 aansluiting gemaal Grubbenvorst
Schaal 1:100



principe detail 2 doorvoer damwand
Schaal 1:100



detail 3 aansluiting op bestaande leiding
Schaal 1:100

BIJLAGE 3 VEILIGHEIDSZONE KRUISING 1, Ø315 MM (MAATGEVEND)

Berekening van de veiligheidszone conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project	: Persleiding Lottum – Grubbenvorst		
Projectonderdeel	: Veiligheidszone kruising 1, ø315 mm (maatgevend)		
Gegevens van de leiding			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Ontwerpdruk	p_d	= 0,085	N/mm ²
Volumieke massa vloeistof	ρ	= 1000	kg/m ³
Maximaal debiet	Q_m	= 100	m ³ /uur
Maximale opvoerhoogte	H_m	= 7	mvk
Afmetingen van de leiding			
Uitwendige middellijn	D_e	= 315	mm
Wanddikte	d_n	= 28,7	mm
Inwendige middellijn	D_i	= 257,6	mm
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld		= 0,5	m
Berekening van de halve breedte van de erosiekrater R_B			
$Q = 0,578 \cdot Q_m = 0,578 \cdot 100,00/3.600 = 0,016 \text{ m}^3/\text{s}$ $h = 0,67 \cdot H_m = 0,67 \cdot 7 = 4,69 \text{ mvk}$ $P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,016 \cdot 4,69 = 691,26 \text{ W}$ $\mu = 0,0002 \cdot h^2 - 0,02 \cdot h + 1 = 0,0002 \cdot 4,69^2 - 0,02 \cdot 4,69 + 1 = 0,91$ $R_B = 7,8 \cdot D_i \cdot \left(\frac{P}{\rho \cdot g^{1,5} \cdot \mu \cdot D_i^{3,5}} \right)^{0,243}$ $R_B = 7,8 \cdot 0,2576 \cdot \left(\frac{691,26}{1000 \cdot 9,81^{1,5} \cdot 0,91 \cdot 0,2576^{3,5}} \right)^{0,243} = 2,63 \text{ m}$			
Berekening van de halve lengte van de erosiekrater R_L			
Indien er sprake is van een klein gat: $R_{L1} = 0,5 \cdot R_B = 1,32 \text{ m}$			
Indien er sprake is van een groot gat: $R_{L2} = R_B = 2,63 \text{ m}$			
Indien er sprake is van niet-trekvraste verbindingen: $R_{L3} = 2 \cdot R_B = 5,27 \text{ m}$			
Berekening van de veiligheidszone			
<i>Indien er sprake is van een evenwijdige ligging met een waterkering:</i>			
Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_B = 4 \cdot 0,50 + 2,63 = 4,63 \text{ m}$			
<i>Indien er sprake is van een kruising met een waterkering:</i>			
Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L1} = 4 \cdot 0,50 + 1,32 = 3,32 \text{ m}$			
Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L2} = 4 \cdot 0,50 + 2,63 = 4,63 \text{ m}$			
Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L3} = 4 \cdot 0,50 + 5,27 = 7,27 \text{ m}$			
		28-05-2017 11:05:16	

BIJLAGE 4 VEILIGHEIDSZONE KRUISING 1, Ø630 MM (MAATGEVEND)

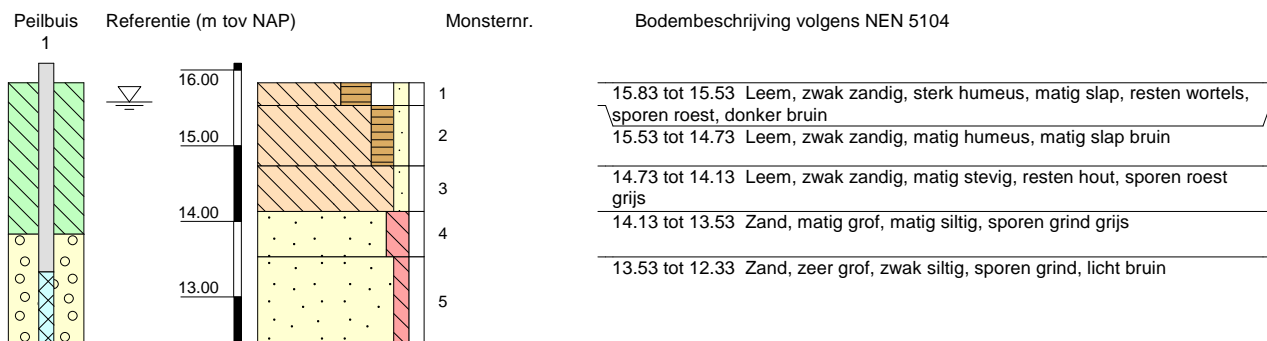
Berekening van de veiligheidszone conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project	: Naam van het project		
Projectonderdeel	: Veiligheidszone kruising 2a, ø630 mm (maatgevend)		
Gegevens van de leiding			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Ontwerpdruk	p_d	= 0,087	N/mm ²
Volumieke massa vloeistof	ρ	= 1000	kg/m ³
Maximaal debiet	Q_m	= 470	m ³ /uur
Maximale opvoerhoogte	H_m	= 7	mvk
Afmetingen van de leiding			
Uitwendige middellijn	D_e	= 630	mm
Wanddikte	d_n	= 57,3	mm
Inwendige middellijn	D_i	= 515,4	mm
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld		= 1,75	m
Berekening van de halve breedte van de erosiekrater R_B			
$Q = 0,578 \cdot Q_m = 0,578 \cdot 470,00/3.600 = 0,075 \text{ m}^3/\text{s}$ $h = 0,67 \cdot H_m = 0,67 \cdot 7 = 4,69 \text{ mvk}$ $P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,075 \cdot 4,69 = 3.248,92 \text{ W}$ $\mu = 0,0002 \cdot h^2 - 0,02 \cdot h + 1 = 0,0002 \cdot 4,69^2 - 0,02 \cdot 4,69 + 1 = 0,91$ $R_B = 7,8 \cdot D_i \cdot \left(\frac{P}{\rho \cdot g^{1,5} \cdot \mu \cdot D_i^{3,5}} \right)^{0,243}$ $R_B = 7,8 \cdot 0,5154 \cdot \left(\frac{3.248,92}{1000 \cdot 9,81^{1,5} \cdot 0,91 \cdot 0,5154^{3,5}} \right)^{0,243} = 4,25 \text{ m}$			
Berekening van de halve lengte van de erosiekrater R_L			
Indien er sprake is van een klein gat: $R_{L1} = 0,5 \cdot R_B = 2,13 \text{ m}$			
Indien er sprake is van een groot gat: $R_{L2} = R_B = 4,25 \text{ m}$			
Indien er sprake is van niet-trekvraste verbindingen: $R_{L3} = 2 \cdot R_B = 8,51 \text{ m}$			
Berekening van de veiligheidszone			
<i>Indien er sprake is van een evenwijdige ligging met een waterkering:</i>			
Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_B = 4 \cdot 1,75 + 4,25 = 11,25 \text{ m}$			
<i>Indien er sprake is van een kruising met een waterkering:</i>			
Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L1} = 4 \cdot 1,75 + 2,13 = 9,13 \text{ m}$			
Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L2} = 4 \cdot 1,75 + 4,25 = 11,25 \text{ m}$			
Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L3} = 4 \cdot 1,75 + 8,51 = 15,51 \text{ m}$			
		28-05-2017 11:06:23	

BIJLAGE 5 BORINGEN

Boring: HB15

Veldclassificatie

Pagina 1 van 1



Algemene opmerking:

X: 209045.8

GWS (m tov NAP): 15.58

MV (m tov NAP): 15.83

bk PB1 (m tov NAP): 16.09

Boorloeistof:

WS PB1 (m tov NAP):

Datum uitvoering: 30-03-2017

Y: 385967.7

GHG (m tov NAP):

bk PB2 (m tov NAP):

WS PB2 (m tov NAP):

Boormeester: jmn

Coördinatenstelsel: RD

GLG (m tov NAP):

bk PB3 (m tov NAP):

WS PB3 (m tov NAP):

Geclassificeerd door: jmn

bk PB4 (m tov NAP):

WS PB4 (m tov NAP):

BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1

Fugro GeoServices B.V.

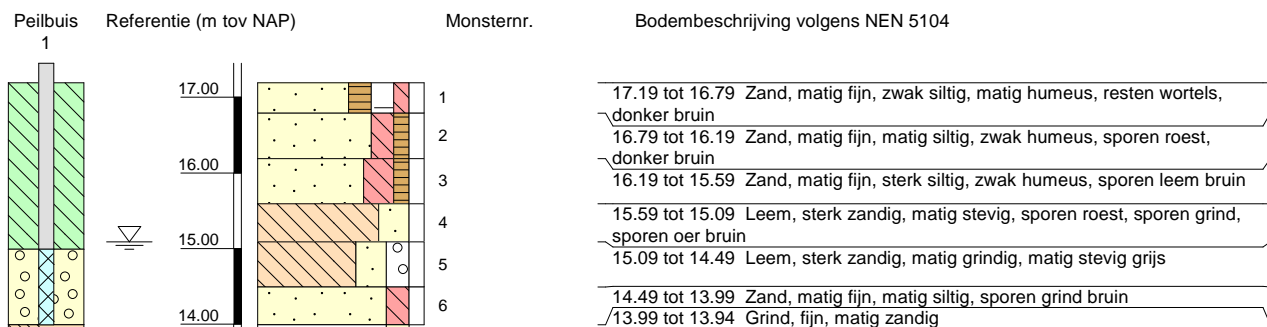
Prio 2 - grondonderzoek

1216-0098-130

Boring: HB11

Veldclassificatie

Pagina 1 van 1



Algemene opmerking:

X: 208136.1

GWS (m tov NAP): 15.09

MV (m tov NAP): 17.19

Boorloeistof:

Y: 381234.7

GHG (m tov NAP):

bk PB1 (m tov NAP): 17.45

WS PB1 (m tov NAP):

Datum uitvoering: 03-04-2017

Coördinatenstelsel: RD

GLG (m tov NAP):

bk PB2 (m tov NAP):

WS PB2 (m tov NAP):

Boormeester: jmn

bk PB3 (m tov NAP):

WS PB3 (m tov NAP):

Geclassificeerd door: jmn

bk PB4 (m tov NAP):

WS PB4 (m tov NAP):

BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1

Fugro GeoServices B.V.

Prio 2 - grondonderzoek

1216-0098-130

BIJLAGE 6 STERKTEBEREKENING KRUISING 1, Ø315 MM

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project	: Persleiding Lottum – Grubbenvorst		
Projectonderdeel	: Sterkteberekening kruising 1 ø315 mm.		
Importatiefactor 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 Tangentiël / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Toelaatbare deflectie	δ	= 8	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 315,00	mm
Wanddikte	d _n	= 28,7	mm
Geen bocht aanwezig			
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Volumieke massa vloeistof	ρ	= 1000	kg/m ³
Maximale opvoerhoogte	H _m	= 7	mvk
Temperatuurverschil	Δ_t	= 10	°
Ontwerpdruk	p _d	= 0,085	N/mm ²
Maximaal debiet	Q _m	= 100	m ³ /uur
Aanleggegevens			
Ligging: Kruising met een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 18.009	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 3,20	m
Gronddekking boven de grondwaterstand	H _d	= 1,0	m
Gronddekking onder de grondwaterstand	H _n	= 2,20	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 20	mm
Zettingsverschil	f _z	= 50	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,075	%
Marstonfactor	f _m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld		= 0,5	m
		28-05-2017 11:52:05	

Grondmechanische gegevens

Grondsoort		= Klei	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 19	kN/m ³
Volumiek gewicht natte grond	γ_n	= 19	kN/m ³
Volumiek gewicht water	γ_w	= 10	kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	ϕ	= 30	°
Effectieve cohesie	c'	= 2,5	kN/m ²
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 200	kN/m ²
E-modulus sleufmateriaal	E_1	= 2	MN/m ²
Minimale verticale beddingsconstante	$k_{v,min}$	= 0,004	N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingsconstante	$k_{v,gem}$	= 0,006	N/mm ³
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

1. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 257,60	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 286,30	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 315,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 157,50	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 128,80	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 143,15	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 267.145.739,35	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 1.696.163,42	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 1.969,99	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 137,28	mm ³ /mm ¹

2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan

Voor vloeistofleidingen geldt: $H^3 \cdot D_i^5$ moet kleiner dan 40 m^8 zijn.

H is de druk in meters vloeistofkolom.

Rekening houdende met $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ volgt:

$$H = \frac{p_d}{\rho \cdot g}$$

$$H = \frac{85.000}{1.000 \cdot 9,81} = 8,66 \text{ m} \rightarrow H^3 \cdot D_i^5 = 8,66^3 \cdot 0,26^5 = 0,74 \text{ m}^8$$

3. Berekening van de veiligheidszone

$$Q = 0,578 \cdot Q_m = 0,578 \cdot 100,00/3.600 = 0,016 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$h = 0,67 \cdot H_m = 0,67 \cdot 7 = 4,69 \text{ mvk}$$

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,016 \cdot 4,69 = 691,26 \text{ W}$$

$$\mu = 0,0002 \cdot h^2 - 0,02 \cdot h + 1 = 0,0002 \cdot 4,69^2 - 0,02 \cdot 4,69 + 1 = 0,91$$

$$R_B = 7,8 \cdot D_i \cdot \left(\frac{P}{\rho \cdot g^{1,5} \cdot \mu \cdot D_i^{3,5}} \right)^{0,243}$$

$$R_B = 7,8 \cdot 0,2576 \cdot \left(\frac{691,26}{1000 \cdot 9,81^{1,5} \cdot 0,91 \cdot 0,2576^{3,5}} \right)^{0,243} = 2,63 \text{ m}$$

$$\text{Indien er sprake is van een klein gat: } R_{L1} = 0,5 \cdot R_B = 1,32 \text{ m}$$

$$\text{Indien er sprake is van een groot gat: } R_{L2} = R_B = 2,63 \text{ m}$$

$$\text{Indien er sprake is van niet-trekvraste verbindingen: } R_{L3} = 2 \cdot R_B = 5,27 \text{ m}$$

$$\text{Veiligheidszone} = 4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L1} = 4 \cdot 0,50 + 1,32 = 3,32 \text{ m}$$

$$\text{Veiligheidszone} = 4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L2} = 4 \cdot 0,50 + 2,63 = 4,63 \text{ m}$$

$$\text{Veiligheidszone} = 4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L3} = 4 \cdot 0,50 + 5,27 = 7,27 \text{ m}$$

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

$$D_g/d_n = 286,30/28,70 = 9,98 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow \text{Dikwandige leiding}$$

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

$$\sigma_p = \frac{157,50^2 + 128,80^2}{157,50^2 - 128,80^2} \cdot 0,085 = 0,43 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{y1} = \sigma_p = 0,43 \text{ N/mm}^2$$

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

5. Berekening reroundingfactor f_{rr}

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

$$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot 0,085 \cdot 143,15^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 1.969,99} \right) = 0,97$$

6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

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

$$q_n = 1,1 \cdot 19 \cdot 1,0 + 1,1 \cdot 19 \cdot 2,20 - 10 \cdot 2,20 = 44,88 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_n = q_n \cdot D_o$$

$$Q_n = 44,88 \cdot 10^{-3} \cdot 315 = 14,14 \text{ N/mm}^1$$

7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p

$$q_p = q_n \cdot \left(1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o} \right)$$

$$q_p = 44,88 \cdot \left(1 + 0,3 \cdot \frac{3,20}{0,315} \right) = 181,66 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = q_p \cdot D_o$$

$$Q_p = 181,66 \cdot 10^{-3} \cdot 315 = 57,22 \text{ N/mm}^1$$

8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k

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

$$z_{max} = 0,25 \cdot \frac{0,315}{2^{1,5} \cdot \sqrt{3,20/0,315}} = 0,0087 \text{ m}$$

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

$$q_k = 44,88 + \frac{\frac{0,075 \cdot 0,315}{0,0087} \cdot (181,66 - 44,88)}{1 + \frac{181,66 - 44,88}{0,0087 \cdot 0,0040 \cdot 10^6}} = 120,15 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 120,15 \cdot 10^{-3} \cdot 315 = 37,85 \text{ N/mm}^1$$

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

Niet rekenen met ontlastende invloed

$$q_v = 6,99 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_v = q_v \cdot D_o$$

$$Q_v = 6,99 \cdot 10^{-3} \cdot 315 = 2,20 \text{ N/mm}^1$$

10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{315 \cdot 0,006}{4 \cdot 975 \cdot 267.145.739,35}} = 0,0012 \text{ mm}^{-1}$$

11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1^e en 2^e jaar)Zettingslengte $L = 18.009$ mm

$$\lambda \cdot L = 0,0012 \cdot 18.009 = 20,90$$

 $i = 0,900$ (= 90,0 % inklemming) $B_z = 0,000360$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 4)

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

$$Q_z = 0,000360 \cdot 20 \cdot 315 \cdot 0,006 = 0,014 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,014 \cdot 0,0012 \cdot 18.009 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0012 \cdot 18.009}{6}\right) = 1,15 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_z = B_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$$

$$Q_z = 0,000360 \cdot (20 + 1,5 \cdot 50) \cdot 315 \cdot 0,006 = 0,065 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,065 \cdot 0,0012 \cdot 18.009 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0012 \cdot 18.009}{6}\right) = 5,44 \text{ N/mm}^1$$

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

$$B = D_o = 0,32 \text{ m}$$

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 3,20 + 0,32 / 2 = 3,36 \text{ m}$$

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

$$d_c = 0,4 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 0,4 \cdot \tan^{-1}(3,36/0,32) = 0,59$$

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

$$P_{we} = 0,85 \cdot 200 \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + 0,02 + 0,59)$$

$$P_{we} = 1.408,04 \text{ kN/m}^2 = 1,41 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 1,41 \cdot 315,00 = 443,53 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen

<i>Situatie 1^e en 2^e jaar</i>	<i>Conclusie:</i>	<i>Situatie na 2 jaar</i>	<i>Conclusie:</i>
$Q_k = 37,85 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing	$Q_n = 14,14 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing
$Q_v = 2,20 \text{ N/mm}^1$	van Q_d nodig	$Q_v = 2,20 \text{ N/mm}^1$	van Q_d nodig
$Q_d = 1,15 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 5,44 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 41,19 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 21,78 \text{ N/mm}^1$	

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*

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

$$M_q = 0,178 \cdot (37,85 + 2,20) \cdot 143,15$$

$$M_q = 1.020,45 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 0,97 \cdot (1.020,45 + 20,02) / 137,28 = \mathbf{7,38 \text{ N/mm}^2}$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 1,15 \cdot 143,15$$

$$M_{qd} = 20,02 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$M_q = 0,178 \cdot (14,14 + 2,20) \cdot 143,15$$

$$M_q = 416,30 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 5,44 \cdot 143,15$$

$$M_{qd} = 95,08 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 0,97 \cdot (416,30 + 95,08) / 137,28 = \mathbf{3,63 \text{ N/mm}^2}$$

16. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v

$$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$$

$$\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot 20 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,006}{28,7}} = \mathbf{0,17 \text{ N/mm}^2}$$

17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z

$$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$$

$$\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot (20 + 1,5 \cdot 50) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,006}{28,7}} = \mathbf{0,82 \text{ N/mm}^2}$$

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

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{1.969,99}{286,3^3} = 0,08 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,85 \text{ kN/m}^2}$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = **0,5 kN/m²**

21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdrukVeiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$

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

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 1.969,99}{286,30^3} = 1,56 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 1.969,99}{286,30^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **27,98 m** grondwater boven de leiding

22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (14,14 + 2,20) - 0,083 \cdot (1 - \sin(30^\circ)) \cdot (14,14 + 2,20) + 0,048 \cdot 5,44) \cdot 143,15^3}{350 \cdot 1.969,99} = \mathbf{4,41 \text{ mm}} (= 1,54\%)$$

$$\text{Toelaatbare deflectie} = 8\% \cdot \text{importantiefactor } S \cdot D_g = 0,08 \cdot 0,75 \cdot 286,30 = \mathbf{17,18 \text{ mm}}$$

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

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

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

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 7,38 = \mathbf{4,80 \text{ N/mm}^2}$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

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

$$\sigma_x = 0,65 \cdot 0,17 + 1,56 = \mathbf{1,67 \text{ N/mm}^2}$$

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

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

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

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

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 3,63 = \mathbf{2,36 \text{ N/mm}^2}$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

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

$$\sigma_x = 0,65 \cdot 0,82 + 1,56 = \mathbf{2,09 \text{ N/mm}^2}$$

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

BIJLAGE 7 STERKTEBEREKENING KRUISING 2A, Ø630MM

Grondmechanische gegevens

Grondsoort		= Klei	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 19	kN/m ³
Volumiek gewicht natte grond	γ_n	= 19	kN/m ³
Volumiek gewicht water	γ_w	= 10	kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	ϕ	= 30	°
Effectieve cohesie	c'	= 2,5	kN/m ²
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 200	kN/m ²
E-modulus sleufmateriaal	E_1	= 2	MN/m ²
Minimale verticale beddingsconstante	$k_{v,min}$	= 0,004	N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingsconstante	$k_{v,gem}$	= 0,006	N/mm ³
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

1. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 515,40	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 572,70	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 630,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 315,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 257,70	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 286,35	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 4.268.958.539,00	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 13.552.249,33	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 15.677,71	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 547,22	mm ³ /mm ¹

2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan

Voor vloeistofleidingen geldt: $H^3 \cdot D_i^5$ moet kleiner dan 40 m^8 zijn.

H is de druk in meters vloeistofkolom.

Rekening houdende met $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ volgt:

$$H = \frac{p_d}{\rho \cdot g}$$

$$H = \frac{87.000}{1.000 \cdot 9,81} = 8,87 \text{ m} \rightarrow H^3 \cdot D_i^5 = 8,87^3 \cdot 0,52^5 = 25,37 \text{ m}^8$$

3. Berekening van de veiligheidszone

$$Q = 0,578 \cdot Q_m = 0,578 \cdot 470,00/3.600 = 0,075 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$h = 0,67 \cdot H_m = 0,67 \cdot 0 = 0,00 \text{ mvk}$$

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,075 \cdot 0,00 = 0,00 \text{ W}$$

$$\mu = 0,0002 \cdot h^2 - 0,02 \cdot h + 1 = 0,0002 \cdot 0,00^2 - 0,02 \cdot 0,00 + 1 = 1,00$$

$$R_B = 7,8 \cdot D_i \cdot \left(\frac{P}{\rho \cdot g^{1,5} \cdot \mu \cdot D_i^{3,5}} \right)^{0,243}$$

$$R_B = 7,8 \cdot 0,5154 \cdot \left(\frac{0,00}{1000 \cdot 9,81^{1,5} \cdot 1,00 \cdot 0,5154^{3,5}} \right)^{0,243} = 0,00 \text{ m}$$

$$\text{Indien er sprake is van een klein gat: } R_{L1} = 0,5 \cdot R_B = 0,00 \text{ m}$$

$$\text{Indien er sprake is van een groot gat: } R_{L2} = R_B = 0,00 \text{ m}$$

$$\text{Indien er sprake is van niet-trekvaste verbindingen: } R_{L3} = 2 \cdot R_B = 0,00 \text{ m}$$

$$\text{Veiligheidszone} = 4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L1} = 4 \cdot 1,75 + 0,00 = 7,00 \text{ m}$$

$$\text{Veiligheidszone} = 4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L2} = 4 \cdot 1,75 + 0,00 = 7,00 \text{ m}$$

$$\text{Veiligheidszone} = 4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L3} = 4 \cdot 1,75 + 0,00 = 7,00 \text{ m}$$

4. Berekening van de spanningen s_p en s_{p1} t.g.v. inwendige druk

$$D_g/d_n = 572,70/57,30 = 9,99 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow \text{Dikwandige leiding}$$

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

$$s_p = \frac{315,00^2 + 257,70^2}{315,00^2 - 257,70^2} \cdot 0,087 = 0,44 \text{ N/mm}^2$$

$$s_{y1} = s_p = 0,44 \text{ N/mm}^2$$

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

5. Berekening reroundingfactor f_{rr}

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

$$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot 0,087 \cdot 286,35^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 15.677,71} \right) = 0,97$$

6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

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

$$q_n = 1,1 \cdot 19 \cdot 1,75 + 1,1 \cdot 19 \cdot 1,75 - 10 \cdot 1,75 = 55,65 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_n = q_n \cdot D_o$$

$$Q_n = 55,65 \cdot 10^{-3} \cdot 630 = 35,06 \text{ N/mm}^1$$

7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p

$$q_p = q_n \cdot \left(1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o} \right)$$

$$q_p = 55,65 \cdot \left(1 + 0,3 \cdot \frac{3,5}{0,63} \right) = 148,40 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = q_p \cdot D_o$$

$$Q_p = 148,40 \cdot 10^{-3} \cdot 630 = 93,49 \text{ N/mm}^1$$

8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k

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

$$z_{max} = 0,25 \cdot \frac{0,63}{2^{1,5} \cdot \sqrt{3,5/0,63}} = 0,024 \text{ m}$$

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

$$q_k = 55,65 + \frac{\frac{0,075 \cdot 0,63}{0,024} \cdot (148,40 - 55,65)}{1 + \frac{148,40 - 55,65}{0,024 \cdot 0,0040 \cdot 10^6}} = 149,27 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 149,27 \cdot 10^{-3} \cdot 630 = 94,04 \text{ N/mm}^1$$

Aanpassing van Q_k nodig $\rightarrow Q_k > Q_p \rightarrow Q_k = Q_p = 93,49 \text{ N/mm}^1$

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

Niet rekenen met ontlastende invloed

$$q_v = 6,22 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_v = q_v \cdot D_o$$

$$Q_v = 6,22 \cdot 10^{-3} \cdot 630 = 3,92 \text{ N/mm}^1$$

10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding I

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{630 \cdot 0,006}{4 \cdot 975 \cdot 4.268.958.539,00}} = 0,00069 \text{ mm}^{-1}$$

11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1^e en 2^e jaar)Zettingslengte $L = 30.277 \text{ mm}$

$$\lambda \cdot L = 0,00069 \cdot 30.277 = 20,90$$

 $i = 0,900$ (= 90,0 % inklemming) $B_z = 0,000360$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 4)

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

$$Q_z = 0,000360 \cdot 25 \cdot 630 \cdot 0,006 = 0,034 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,034 \cdot 0,00069 \cdot 30.277 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,00069 \cdot 30.277}{6}\right) = 2,87 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_z = B_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$$

$$Q_z = 0,000360 \cdot (25 + 1,5 \cdot 50) \cdot 630 \cdot 0,006 = 0,14 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,14 \cdot 0,00069 \cdot 30.277 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,00069 \cdot 30.277}{6}\right) = 11,46 \text{ N/mm}^1$$

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

$$B = D_o = 0,63 \text{ m}$$

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 3,50 + 0,63 / 2 = 3,82 \text{ m}$$

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

$$d_c = 0,4 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 0,4 \cdot \tan^{-1}(3,82/0,63) = 0,56$$

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

$$P_{we} = 0,85 \cdot 200 \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + 0,02 + 0,56)$$

$$P_{we} = 1.383,53 \text{ kN/m}^2 = 1,38 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weD_o} = P_{we} \cdot D_o = 1,38 \cdot 630,00 = 871,62 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen

Situatie 1 ^e en 2 ^e jaar	Conclusie:	Situatie na 2 jaar	Conclusie:
$Q_k = 93,49 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_n = 35,06 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig
$Q_v = 3,92 \text{ N/mm}^1$		$Q_v = 3,92 \text{ N/mm}^1$	
$Q_d = 2,87 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 11,46 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 100,28 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 50,44 \text{ N/mm}^1$	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 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>		<i>Moment t.g.v. Q_d</i>
$M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$		$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$
$M_q = 0,178 \cdot (93,49 + 3,92) \cdot 286,35$		$M_{qd} = 0,122 \cdot 2,87 \cdot 286,35$
$M_q = 4.965,14 \text{ Nmm/mm}^1$		$M_{qd} = 100,11 \text{ Nmm/mm}^1$
<i>Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}</i>		
$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$		
$\sigma_q = 0,97 \cdot (4.965,14 + 100,11) / 547,22 = \mathbf{9,01 \text{ N/mm}^2}$		
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>		<i>Moment t.g.v. Q_d</i>
$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$		$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$
$M_q = 0,178 \cdot (35,06 + 3,92) \cdot 286,35$		$M_{qd} = 0,122 \cdot 11,46 \cdot 286,35$
$M_q = 1.986,82 \text{ Nmm/mm}^1$		$M_{qd} = 400,42 \text{ Nmm/mm}^1$
<i>Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}</i>		
$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$		
$\sigma_q = 0,97 \cdot (1.986,82 + 400,42) / 547,22 = \mathbf{4,25 \text{ N/mm}^2}$		
16. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$		
$\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot 25 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,006}{57,3}} = \mathbf{0,15 \text{ N/mm}^2}$		
17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$		
$\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot (25 + 1,5 \cdot 50) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,006}{57,3}} = \mathbf{0,61 \text{ N/mm}^2}$		
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		
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$		
$S_N = 975 \cdot \frac{15.677,71}{572,7^3} = 0,08 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,38 \text{ kN/m}^2}$		
Minimaal vereiste ringstijfheid = 0,5 kN/m²		
		28-05-2017 11:43:53

21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

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

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

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

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 15.677,71}{572,70^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 15.677,71}{572,70^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **27,82** m grondwater boven de leiding

22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (35,06 + 3,92) - 0,083 \cdot (1 - \sin(30^\circ)) \cdot (35,06 + 3,92) + 0,048 \cdot 11,46) \cdot 286,35^3}{350 \cdot 15.677,71} = \mathbf{10,28 \text{ mm}} (= 1,79\%)$$

Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · $D_g = 0,08 \cdot 0,75 \cdot 572,70 = \mathbf{34,36 \text{ mm}}$

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

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

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

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 9,01 = \mathbf{5,86 \text{ N/mm}^2}$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

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

$$\sigma_x = 0,65 \cdot 0,15 + 1,56 = \mathbf{1,66 \text{ N/mm}^2}$$

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

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

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 4,25 = \mathbf{2,76 \text{ N/mm}^2}$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

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

$$\sigma_x = 0,65 \cdot 0,61 + 1,56 = \mathbf{1,96 \text{ N/mm}^2}$$

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

BIJLAGE 8 STERKTEBEREKENING KRUISING 2B, Ø315MM

Grondmechanische gegevens

Grondsoort		= Klei	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 19	kN/m ³
Volumiek gewicht natte grond	γ_n	= 19	kN/m ³
Volumiek gewicht water	γ_w	= 10	kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	ϕ	= 30	°
Effectieve cohesie	c'	= 2,5	kN/m ²
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 200	kN/m ²
E-modulus sleufmateriaal	E_1	= 2	MN/m ²
Minimale verticale beddingsconstante	$k_{v,min}$	= 0,004	N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingsconstante	$k_{v,gem}$	= 0,006	N/mm ³
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

1. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 257,60	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 286,30	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 315,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 157,50	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 128,80	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 143,15	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 267.145.739,35	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 1.696.163,42	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 1.969,99	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 137,28	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:

$$H = \frac{p_d}{\rho \cdot g}$$

$$H = \frac{50.000}{1.000 \cdot 9,81} = 5,10 \text{ m} \rightarrow H^3 \cdot D_i^5 = 5,10^3 \cdot 0,26^5 = 0,15 \text{ m}^8$$

3. Berekening van de veiligheidszone

$Q = 0,578 \cdot Q_m = 0,578 \cdot 470,00/3.600 = 0,075 \text{ m}^3/\text{s}$
 $h = 0,67 \cdot H_m = 0,67 \cdot 7 = 4,69 \text{ mvk}$
 $P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,075 \cdot 4,69 = 3.248,92 \text{ W}$
 $\mu = 0,0002 \cdot h^2 - 0,02 \cdot h + 1 = 0,0002 \cdot 4,69^2 - 0,02 \cdot 4,69 + 1 = 0,91$
 $R_B = 7,8 \cdot D_i \cdot \left(\frac{P}{\rho \cdot g^{1,5} \cdot \mu \cdot D_i^{3,5}} \right)^{0,243}$
 $R_B = 7,8 \cdot 0,2576 \cdot \left(\frac{3.248,92}{1000 \cdot 9,81^{1,5} \cdot 0,91 \cdot 0,2576^{3,5}} \right)^{0,243} = 3,84 \text{ m}$
 Indien er sprake is van een klein gat: $R_{L1} = 0,5 \cdot R_B = 1,92 \text{ m}$
 Indien er sprake is van een groot gat: $R_{L2} = R_B = 3,84 \text{ m}$
 Indien er sprake is van niet-trekvraste verbindingen: $R_{L3} = 2 \cdot R_B = 7,67 \text{ m}$
 Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L1} = 4 \cdot 1,75 + 1,92 = 8,92 \text{ m}$
 Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L2} = 4 \cdot 1,75 + 3,84 = 10,84 \text{ m}$
 Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L3} = 4 \cdot 1,75 + 7,67 = 14,67 \text{ m}$

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

$D_g/d_n = 286,30/28,70 = 9,98 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow$ Dikwandige leiding
 $\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$
 $\sigma_p = \frac{157,50^2 + 128,80^2}{157,50^2 - 128,80^2} \cdot 0,05 = 0,25 \text{ N/mm}^2$
 $\sigma_{y1} = \sigma_p = 0,25 \text{ N/mm}^2$
 Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = 6,00 \text{ N/mm}^2$

3.0.10.0/12-2012/10-10243302

© Adviesbureau Schrijvers BV Hellevoetsluis

5. Berekening reroundingfactor f_{rr}

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

$$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot 0,05 \cdot 143,15^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 1.969,99} \right) = 0,98$$

6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

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

$$q_n = 1,1 \cdot 19 \cdot 1,75 + 1,1 \cdot 19 \cdot 1,95 - 10 \cdot 1,95 = 57,83 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_n = q_n \cdot D_o$$

$$Q_n = 57,83 \cdot 10^{-3} \cdot 315 = 18,22 \text{ N/mm}^1$$

7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p

$$q_p = q_n \cdot \left(1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o} \right)$$

$$q_p = 57,83 \cdot \left(1 + 0,3 \cdot \frac{3,7}{0,315} \right) = 261,61 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = q_p \cdot D_o$$

$$Q_p = 261,61 \cdot 10^{-3} \cdot 315 = 82,41 \text{ N/mm}^1$$

8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k

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

$$z_{max} = 0,25 \cdot \frac{0,315}{2^{1,5} \cdot \sqrt{3,7/0,315}} = 0,0081 \text{ m}$$

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

$$q_k = 57,83 + \frac{\frac{0,075 \cdot 0,315}{0,0081} \cdot (261,61 - 57,83)}{1 + \frac{261,61 - 57,83}{0,0081 \cdot 0,0040 \cdot 10^6}} = 139,33 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 139,33 \cdot 10^{-3} \cdot 315 = 43,89 \text{ N/mm}^1$$

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

Niet rekenen met ontlastende invloed

$$q_v = 5,82 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_v = q_v \cdot D_o$$

$$Q_v = 5,82 \cdot 10^{-3} \cdot 315 = 1,83 \text{ N/mm}^1$$

10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{315 \cdot 0,006}{4 \cdot 975 \cdot 267.145.739,35}} = 0,0012 \text{ mm}^{-1}$$

11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1^e en 2^e jaar)Zettingslengte $L = 18.009$ mm

$$\lambda \cdot L = 0,0012 \cdot 18.009 = 20,90$$

 $i = 0,900$ (= 90,0 % inklemming) $B_z = 0,000360$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 4)

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

$$Q_z = 0,000360 \cdot 20 \cdot 315 \cdot 0,006 = 0,014 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,014 \cdot 0,0012 \cdot 18.009 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0012 \cdot 18.009}{6}\right) = 1,15 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_z = B_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$$

$$Q_z = 0,000360 \cdot (20 + 1,5 \cdot 50) \cdot 315 \cdot 0,006 = 0,065 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,065 \cdot 0,0012 \cdot 18.009 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0012 \cdot 18.009}{6}\right) = 5,44 \text{ N/mm}^1$$

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

$$B = D_o = 0,32 \text{ m}$$

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 3,70 + 0,32 / 2 = 3,86 \text{ m}$$

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

$$d_c = 0,4 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 0,4 \cdot \tan^{-1}(3,86/0,32) = 0,60$$

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

$$P_{we} = 0,85 \cdot 200 \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + 0,02 + 0,60)$$

$$P_{we} = 1.412,26 \text{ kN/m}^2 = 1,41 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weD_o} = P_{we} \cdot D_o = 1,41 \cdot 315,00 = 444,86 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen

<i>Situatie 1^e en 2^e jaar</i>	<i>Conclusie:</i>	<i>Situatie na 2 jaar</i>	<i>Conclusie:</i>
$Q_k = 43,89 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing	$Q_n = 18,22 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing
$Q_v = 1,83 \text{ N/mm}^1$	van Q_d nodig	$Q_v = 1,83 \text{ N/mm}^1$	van Q_d nodig
$Q_d = 1,15 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 5,44 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 46,87 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 25,50 \text{ N/mm}^1$	

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*

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

$$M_q = 0,178 \cdot (43,89 + 1,83) \cdot 143,15$$

$$M_q = 1.165,09 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 0,98 \cdot (1.165,09 + 20,02) / 137,28 = \mathbf{8,50 \text{ N/mm}^2}$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 1,15 \cdot 143,15$$

$$M_{qd} = 20,02 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$M_q = 0,178 \cdot (18,22 + 1,83) \cdot 143,15$$

$$M_q = 510,91 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 5,44 \cdot 143,15$$

$$M_{qd} = 95,08 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 0,98 \cdot (510,91 + 95,08) / 137,28 = \mathbf{4,35 \text{ N/mm}^2}$$

16. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v

$$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$$

$$\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot 20 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,006}{28,7}} = \mathbf{0,17 \text{ N/mm}^2}$$

17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z

$$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$$

$$\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot (20 + 1,5 \cdot 50) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,006}{28,7}} = \mathbf{0,82 \text{ N/mm}^2}$$

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

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{1.969,99}{286,3^3} = 0,08 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,85 \text{ kN/m}^2}$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = **0,5 kN/m²**

21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdrukVeiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$

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

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 1.969,99}{286,30^3} = 1,56 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 1.969,99}{286,30^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **27,98 m** grondwater boven de leiding

22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (18,22 + 1,83) - 0,083 \cdot (1 - \sin(30^\circ)) \cdot (18,22 + 1,83) + 0,048 \cdot 5,44) \cdot 143,15^3}{350 \cdot 1.969,99} = \mathbf{5,16 \text{ mm}} (= 1,80\%)$$

$$\text{Toelaatbare deflectie} = 8\% \cdot \text{importantiefactor } S \cdot D_g = 0,08 \cdot 0,75 \cdot 286,30 = \mathbf{17,18 \text{ mm}}$$

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

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

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

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 8,50 = \mathbf{5,53 \text{ N/mm}^2}$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

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

$$\sigma_x = 0,65 \cdot 0,17 + 1,56 = \mathbf{1,67 \text{ N/mm}^2}$$

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

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

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

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

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 4,35 = \mathbf{2,83 \text{ N/mm}^2}$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

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

$$\sigma_x = 0,65 \cdot 0,82 + 1,56 = \mathbf{2,09 \text{ N/mm}^2}$$

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