



HOOGWATERGEUL GRENSMAAS BIJ MAASBAND

STERKTEBEREKENING VOOR VERLEGGING ENEXIS GASLEIDING

Opdrachtgever:
Projectnr:
Datum:

CV Projectbureau Grensmaas
CGM006-0002
7 april 2022

HOOGWATERGEUL GRENSMAAS BIJ MAASBAND

STERKTEBEREKENING VOOR VERLEGGING ENEXIS GASLEIDING

Opdrachtgever:	CV Projectbureau Grensmaas
Projectnr:	CGM006-0002
Rapportnr:	20220407-RAP-SB-Maasband HW geul – verlegging gasleiding
Status:	Definitief
Datum:	7 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.....	8
2.1	Normen en standaarden.....	8
2.2	Tracébeschrijving	8
2.3	Tekeningen	9
2.4	Ligging t.o.v. primaire waterkering.....	9
2.5	Eisen NEN 3650/51.....	10
2.5.1	Veiligheidszone	10
2.5.2	Importatiefactor.....	10
2.5.3	Relatieve sterkte eis.....	10
2.6	Ontwerpgegevens	10
2.7	Materialen.....	11
2.8	Grondgegevens	11
2.8.1	Grondgesteldheid.....	11
2.8.2	Grondwaterstand	11
2.9	Belastingen	12
2.9.1	Uitvoeringszakking.....	12
2.9.2	Zetting	12
2.9.3	Verkeersbelasting	12
2.10	Uitgangspunten voor de spanningsberekeningen	13
2.10.1	Toepassing methodiek vereenvoudigde sterkteberekening conform NEN 3651	13
2.10.2	Opleghoek	13
2.10.3	Horizontale steundruk.....	13
2.10.4	Toelaatbare spanningen	13
2.10.5	Toelaatbare vervormingen	13
2.11	Te onderzoeken doorsneden	14
3	STERKTEBEREKENINGEN	17
3.1	Veiligheidszone	17
3.2	Vervangende waterkering.....	18
3.3	Inwendige druk incl. relatieve sterkte-eis	18
3.4	Belastingcombinaties.....	18
3.4.1	Belastingcombinatie I	20
3.4.2	Belastingcombinatie II	20
3.5	Toetsing minimale ringstijfheid	21
3.6	Instabiliteit	21
3.6.1	Implosie.....	21
3.6.2	Instabiliteit door ovalisatie ten gevolge van bovenbelasting	22
3.6.3	Plooi en knik door buiging in langsrichting	22
3.7	Scheurstopcapaciteit.....	22
3.8	Verticale stabiliteit (opdrijfcontrole)	22
4	AANVULLENDE EISEN TEN BEHOEVE VAN DE UITVOERING.....	24
4.1	Aanvulmateriaal leidingsleuf.....	24
4.2	Hydrostatische beproeving.....	24
5	CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN.....	25

BIJLAGEN

B1	TEKENINGEN
B2	BODEMONDERZOEK
B3	BEREKENING ZETTING
B4	SIGMA-BEREKENINGEN
B5	BEREKENING VAN HET EIGENGEWICHT
B6	BEREKENING VEILIGHEIDSZONE

TABELLEN

Tabel 1	Normen en standaarden	8
Tabel 2	Tekeningen ten behoeven van de sterkteberekening	9
Tabel 3	Ontwerpparameters leiding	10
Tabel 4	Toegepaste materialen voor de leidingen	11
Tabel 5	Toegepaste leidingeigenschappen voor sterkteberekening (zie NEN3650-3)	11
Tabel 6	Te onderzoeken doorsnedes	15
Tabel 7	Belastingcombinaties	19
Tabel 8	Berekeningsresultaten voor belastingcombinatie I	20
Tabel 9	Berekeningsresultaten voor belastingcombinatie II	20

AFBEELDINGEN

Afbeelding 1: Tracé leiding en nieuwe locatie hoogwatergeul	8
Afbeelding 2: Satellietbeeld van augustus 2020	9
Afbeelding 3: Locatie werkzaamheden (rode lijn) in relatie tot primaire waterkeringen langs de Maas	9
Afbeelding 4: In rekening te brengen aslaststelsels conform [1]	12
Afbeelding 5: In rekening te brengen doorsnedes voor mediumvoerende gasleiding Ø110 PE SDR11	14
Afbeelding 6: In rekening te brengen doorsnedes voor de mantelbuis Ø315 PE SDR11	14
Afbeelding 7: Bepaling H waarde voor waterkering t.p.v. kruising met nieuwe nutsvoorzieningen en kmr. 34	17
Afbeelding 8: principeschets bovenaanzicht erosiezone gasleiding bron: NEN 3651	17

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 volgende leidingen de sterkteberekeningen beschreven en de resultaten gepresenteerd:

- Gasleiding Enexis Ø110 HDPE SDR11
- Mantelbuis om de gasleiding in de waterkering en onder de hoogwatergeul Ø315 HDPE SDR11

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

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

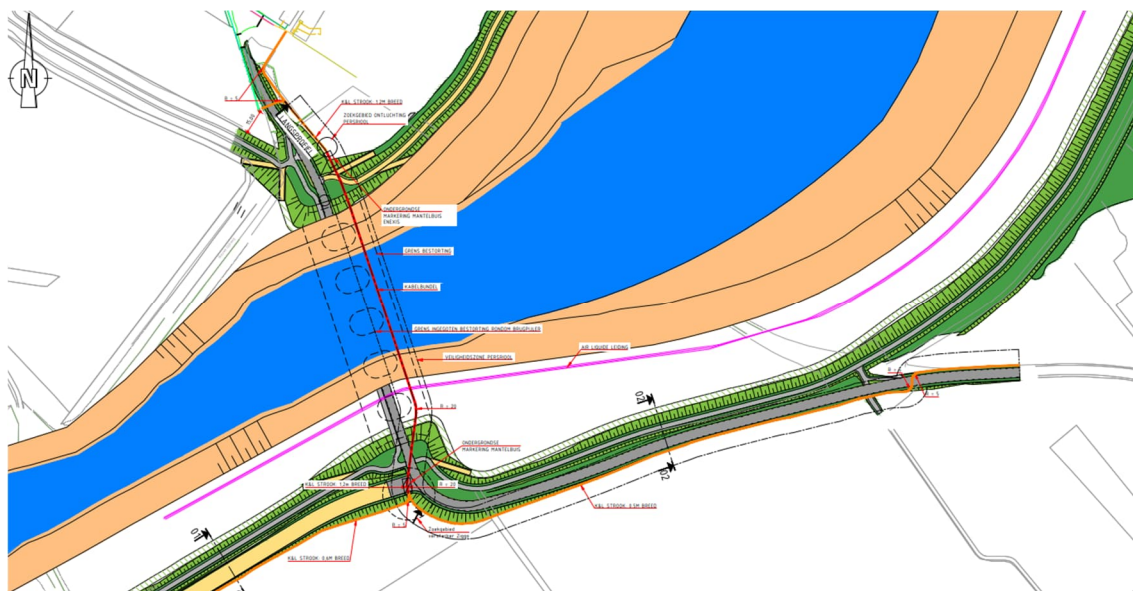
Ref.	Norm/standaard	Versie	Omschrijving
[1]	NEN 3650-1	2020	Eisen voor buisleidingsystemen – Deel 1: Algemene eisen
[2]	NEN 3650-1	2020	Eisen voor buisleidingsystemen – Deel 3: Aanvullende eisen voor leidingen van kunststof
[3]	NEN 3651	2020	Aanvullende eisen voor buisleidingen in of nabij belangrijke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

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

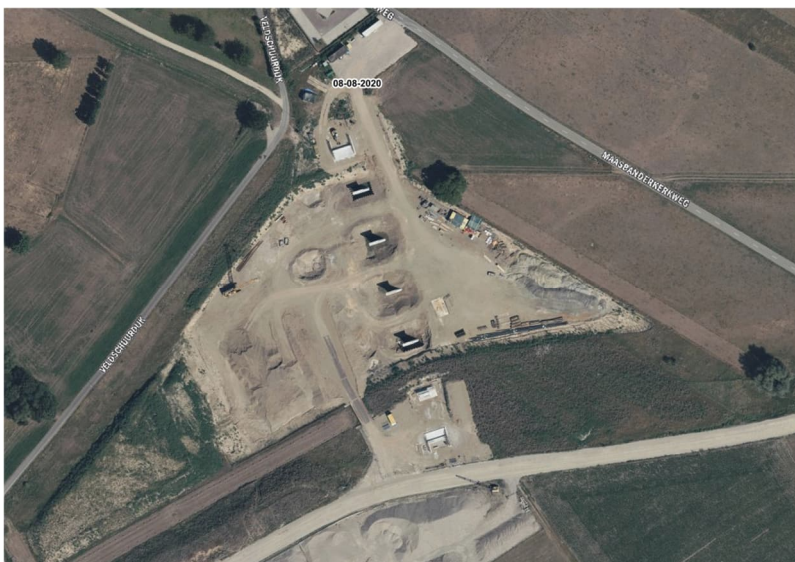
2.2 Tracébeschrijving

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 gasleiding. 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

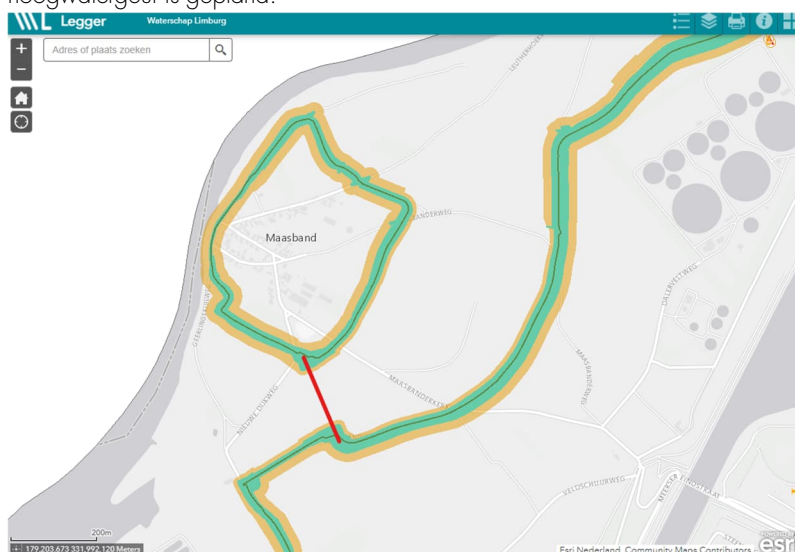
Een overzicht van de tekeningen die gebruikt zijn voor de beoordeling van de configuratie is weergegeven in tabel 2. De tekeningen zijn opgenomen in bijlage B.1.

Tabel 2 Tekeningen ten behoeven van de sterkteberekening

Tekeningnummer	Titel	Versie	Datum
2022-0546	Definitief ontwerp kabels en leidingen tracés – 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. Als uitgangspunt wordt genomen dat de toe te passen nieuwe SDR11 gasleiding binnendijs nog tenminste enkele meters voorbij de veiligheidszone doorgelegd wordt. Binnen de waterkering en veiligheidszone wordt dan conform NEN3651 de te berekenen ringspanning van de gasleiding met een factor 1,2 verhoogd en getoetst voor de relatieve sterkte. In hoofdstuk 3.3 is dit uitgewerkt.

2.6 Ontwerpgegevens

Enexis heeft aangegeven de volgende soorten leidingen te willen toepassen:

- Gasleiding Enexis Ø110 HDPE SDR11
- Mantelbuis om de gasleiding in de waterkering en onder de hoogwatergeul Ø315 HDPE SDR11

Tabel 3 Ontwerpparameters leiding

Type leiding	Ontwerpdruk	ΔTemperatuur
	[N/mm ²]	[°C]
Mediumvoerende leiding Enexis	0,8 tot 1,0	10

Conform [1] paragraaf 8.2.7 dient de mantelbuis alle uitwendige belasting te 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	Ø315
Materiaal en klasse	-	-	PE100 SDR11	PE100 SDR11
Uitwendige diameter	D_e	[mm]	110	315
Wanddikte	d	[mm]	10,0	28,7

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 rioolperleiding 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.

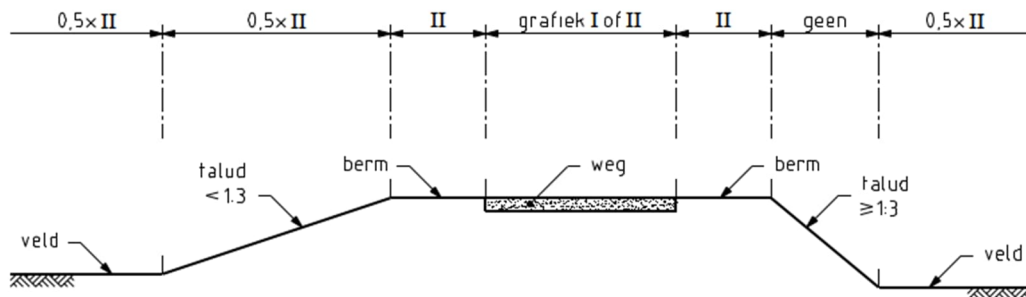
De delen van de leidingen die ter plaatse van de nieuwe waterkeringen worden gelegd, worden niet in een sleuf aangebracht, omdat het gehele omliggende grondpakket nieuw aangelegd wordt. Hierdoor is ook voor deze delen geen uitvoeringszakking van toepassing. Wel kan er zetting plaatsvinden in de waterkeringen.

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,
- Wat betreft de druk/diameter eis blijft de leiding onder de grens van de 40 m⁸.

De gasleiding van Enexis voldoet aan deze criteria. De methodiek van de vereenvoudigde sterkteberekening mag 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 kan worden gerekend met een gunstigere 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.4E.

2.10.4 Toelaatbare spanningen

Voor korte duur (belastingcombinatie I) is de maximale 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.

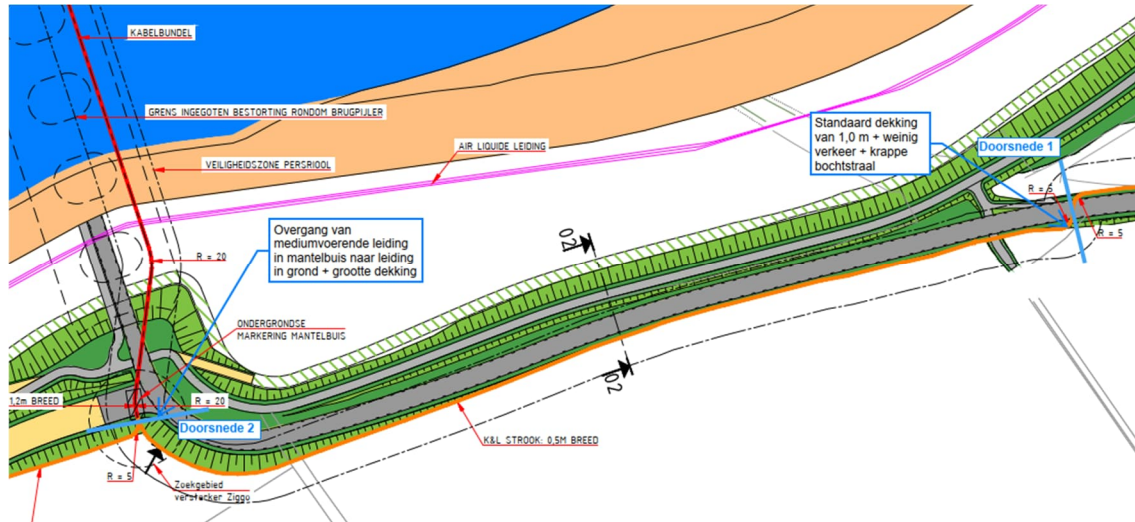
In verband met de importantiefactor 0,75 is de maximale toelaatbare trekspanning voor korte duur gelijk aan $10,0 \times 0,75 = 7,5$ N/mm² en voor lange duur $8,0 \times 0,75 = 6,0$ N/mm².

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%.

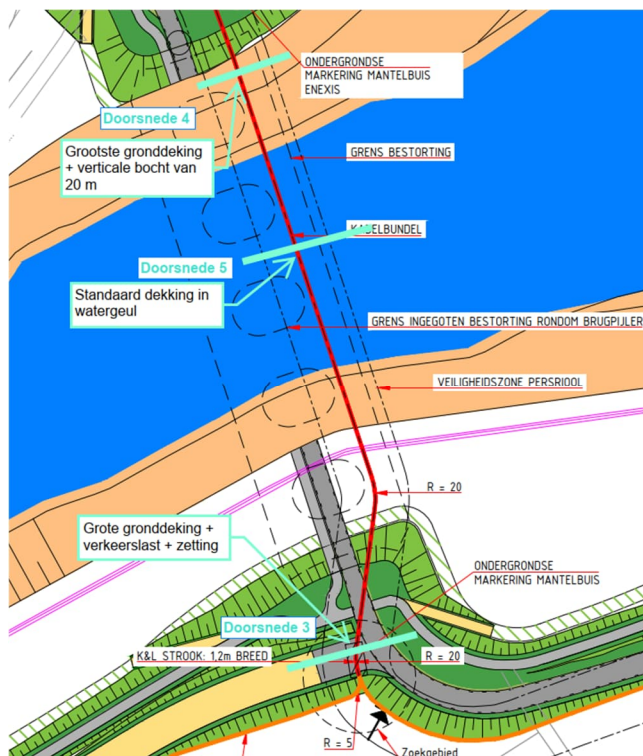
2.11 Te onderzoeken doorsneden

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 doorsneden voor de mediumvoerende leiding aangeduid.



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

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



Afbeelding 6: In rekening te brengen doorsneden voor de mantelbuis Ø315 PE SDR11

De volgende doorsneden worden berekend:

Tabel 6 Te onderzoeken doorsneden

Doorsnede	Diameter [mm]	Gronddekking [m]	Grond	Niveau leiding [m + NAP]	Verkeersbelasting	Bochtstraal [m]
Mediumvoerende gasleiding						
1	Ø110	1,00	Zand	34,1	Grafiek II	5,0
2 ^A	Ø110	4,40	leem	34,1	Geen	n.v.t.
Mantelbuis						
3	Ø315	4,40	Zand	34,1	Grafiek II	20,0
4	Ø315	4,85	Grind	28,3	Geen	20,0
5	Ø315	2,00	Grind	27,4	0,5 x Grafiek II	n.v.t.

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

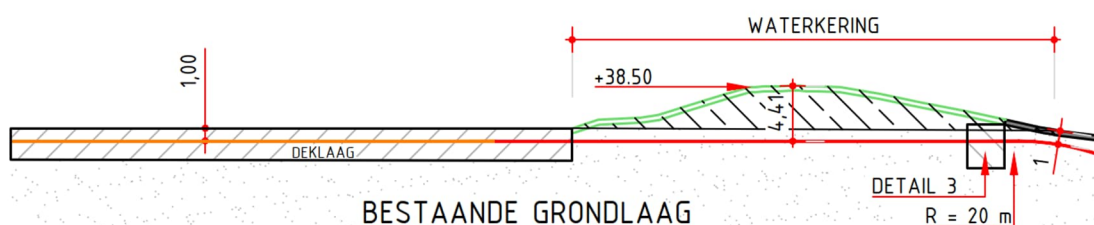
3 STERKTEBEREKENINGEN

De sterkteberekeningen zijn uitgevoerd volgens de methodiek van de vereenvoudigde sterkteberekening conform NEN 3650-1, NEN3650-3 en NEN 3651. Deze berekeningen zijn gemaakt met behulp van het softwarepakket Sigma, versie 3.0 uit 2021.

3.1 Veiligheidszone

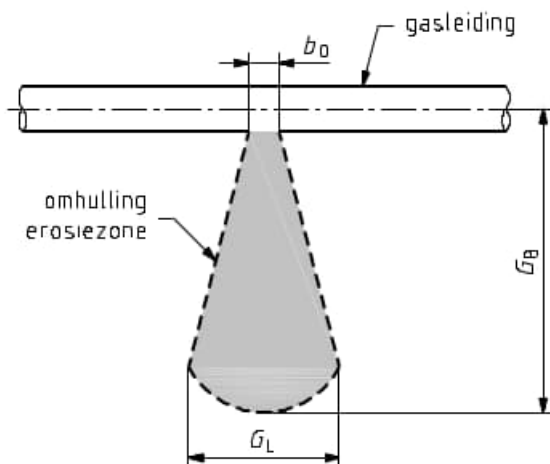
De veiligheidszone wordt gevormd door de stabiliteitszone en de helft van de maximale erosiekrater.

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 kmr. 34

De straal G_b van de erosiekrater is dan 2,82 m bij de druk van 10 bar in de gasleiding.



Afbeelding 8: principeschets bovenaanzicht erosiezone gasleiding bron: NEN 3651

De veiligheidszone voor evenwijdige ligging met een waterkering wordt dan 16,42 m en ter plaatse van de kruising met de waterkeringen is de veiligheidszone 14,30 m. De berekening is opgenomen in bijlage 6.

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 onverankerde enkelvoudige stalen damwandconstructie moet worden aangebracht. De functie is beperking van het risico op falen van de waterkering als gevolg van een erosiekrater als de leiding lekt raakt of breekt. De noodzaak en afmetingen zijn afhankelijk van het type waterkering, het medium, de druk in de leiding en de leidingdiameter.

Dit is rekenkundig getoetst en op basis van de max. bedrijfsdruk 0,8 MPa volgt uit NEN 3651 (tabel 4) dat er in dit geval géén damwand nodig is. In overleg met Waterschap Limburg wordt wel een kleikist in de waterkeringen toegepast.

3.3 Inwendige druk incl. relatieve sterkte-eis

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 $0,9 \times 10 \text{ N/mm}^2 = 9 \text{ N/mm}^2$.

De ringspanning door inwendige druk dient bepaald te worden conform NEN 3651. Onderstaand worden de waarden bepaald voor de Ø110 SDR11 mediumvoerende leiding, voor een druk van 10 bar.

Vanwege de relatieve sterkte-eis van NEN3651 dient de spanning van de leiding in de waterkering en in de veiligheidszone verhoogd te worden met een factor 1.2. De resulterende rekenwaarde dient daarna getoetst te worden aan de toetswaarde zodat vastgesteld kan worden dat de leiding in de waterkering en veiligheidszone de vereiste 20% (factor 1.2) extra belasting kan weerstaan.

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

$$\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \times p_d \times 1,2 = \frac{55^2 + 45^2}{55^2 - 45^2} \times 1,0 \times 1,2 = 6,1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Hiermee voldoet de leiding in klasse SDR11 aan de toetswaarde voor inwendige druk (9 N/mm^2) waarbij ook de 20% extra spanning voor de relatieve sterkte-eis in de rekenwaarde is meegenomen. Er wordt dus ook voldaan aan de relatieve sterkte-eis. (de rekenspanning buiten de veiligheidszone bedraagt $5,05 \text{ N/mm}^2$).

3.4 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;
- Uitvoeringszakkingsverschil;
- Verkeersbelasting;
- Verhinderde expansie door temperatuurverschil tussen aanleg en bedrijfsvoering.

Belastingcombinatie II (BC II) bestaat uit:

- Neutrale grondbelasting;
- Uitvoeringszakkingsverschil;
- 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.

3.4.1 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 ²	Maximaal berekende axiale spanning ³ [N/mm ²]	Spannings-ratio	Maximaal berekende omtrek-spanning ⁴ [N/mm ²]	Spannings-ratio	Deflectie [%]	Deflectie-ratio
1	3,59	44,9%	3,89	48,6%	0,8%	14,0%
2	4,62	57,8%	5,78	72,3%	5,0%	83,3%
3	0,08	1,0%	5,30	66,3%	3,4%	56,7%
4	0,09	1,1%	7,06	88,3%	1,5%	25,7%
5	0,09	1,1%	2,27	28,4%	0,8%	13,8%

Uit de berekeningsresultaten blijkt dat in belastingcombinatie I de maximale berekende trekspanning 7,06 N/mm² bedraagt. Deze maximale trekspanning is berekend in de mantelbuis ter plaatse van de onderbocht aan zijde Maasband, bij de grootste gronddekking. De spanning bedraagt hier 88,3 % van de maximaal toelaatbare trekspanning, zijnde 7,5 N/mm² incl. importantiefactor. De leiding voldoet sterktechnisch in belastingcombinatie I.

Gezien de verhouding diameter/dekking, is er grote kans dat hier gewelfwerking optreedt en derhalve niet het hele gewicht van de grondkolom op de leiding zal gaan werken. De hier getoonde waarde is dus conservatief.

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

3.4.2 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 II⁵

Drns ⁶	Maximaal berekende axiale spanning [N/mm ²]	Spannings-ratio	Maximaal berekende omtrek-spanning [N/mm ²]	Spannings-ratio	Deflectie [%]	Deflectie-ratio
1	3,59	59,8%	2,23	37,2%	0,8%	14,0%
2	4,62	77,0%	5,78	96,3%	5,0%	83,3%
3	0,72	12,0%	4,23	70,5%	3,4%	56,7%
4	0,09	1,1%	1,81	30,2%	1,5%	25,7%
5	0,09	1,1%	1,06	17,6%	0,8%	13,8%

Uit de berekeningsresultaten blijkt dat in belastingcombinatie II de maximale berekende trekspanning 5,78 N/mm² bedraagt. De maximale trekspanning in belastingcombinatie II is berekend in de mediumvoerende leiding in doorsnede 2. Dit is op de plaats waar de mediumvoerende buis uit de mantelbuis komt. De spanning bedraagt hier 96,3 % van de maximaal toelaatbare trekspanning van 6 N/mm² incl. importantiefactor. De leiding voldoet sterktechnisch in belastingcombinatie II.

Gezien de verhouding diameter/dekking, is er grote kans dat hier gewelfwerking optreedt en derhalve niet het hele gewicht van de grondkolom op de leiding zal gaan werken. De hier getoonde waarde is dus conservatief.

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

² Voor doorsnedes 1 t/m 3 is de maatgevende waarde gekozen tussen de berekening met druk en de berekening zonder druk.

³ Toelaatbare spanning is $10 \times 0,75 = 7,5$ N/mm².

⁴ Idem.

⁵ Toelaatbare spanning is $(10/1,25) \times 0,75 = 6,0$ N/mm².

⁶ Voor doorsnedes 1 t/m 2 is de maatgevende waarde gekozen tussen de berekening met druk en de berekening zonder druk.

3.5 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]

$$I_w = \frac{d_g^3}{12}$$

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:

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

Hieruit blijkt dat de ringstijfheid van zowel de SDR11 als van de SDR17.6 buis PE100 voldoet aan de eis.

3.6 Instabiliteit

3.6.1 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.

3.6.2 Instabiliteit door ovalisatie ten gevolge van bovenbelasting

Uit de berekening blijkt dat de ovalisatie beperkt is tot maximaal 5,0% en dermate beperkt is, dat instabiliteit door ovalisatie niet verder is getoetst.

3.6.3 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.

3.7 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.

3.8 Verticale stabiliteit (opdrijfcontrole)

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

Uit de berekening van het eigengewicht in bijlage B.5 blijkt het opdrijvend vermogen van 1 strekkende mm leiding gelijk te zijn aan 0,524 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:

$$V = h \times b \times l = 1,0 \times 0,315 \times 1,0 = 0,315 \text{ m}^3 \text{ (mantelbuis)}$$

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

Het gewicht hiervan is:

$$G = \gamma \times V = 20 \times 0,315 = 6,3 \text{ kN/m} = 6,3 \text{ N/mm} \text{ (mantelbuis)}$$

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

Voor de mantelbuis geldt:

- Opdrijvende kracht: 0,524 N/mm (opwaarts)
- Gewicht grond x veiligheidsfactor (0,9): 5,67 N/mm (neerwaarts)
- Resulterende kracht 5,146 N/mm (neerwaarts) > 0 → voldoet

Voor de mediumvoerende leiding geldt:

- Opdrijvende kracht: 0,06 N/mm (opwaarts)
- Gewicht grond x veiligheidsfactor (0,9): 1,98 N/mm (neerwaarts)
- Resulterende kracht 1,92 N/mm (neerwaarts) > 0 → voldoet

Het gewicht van de grond boven de leiding inclusief veiligheidsfactor is groter dan het opdrijvend 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 gasleiding conform NEN 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).

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

Omdat voorwaarde 1 maatgevend is betreft de minimale sterktebeproevingsdruk $1,5 \text{ N/mm}^2$ (15 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: $1,0 \text{ N/mm}^2$ (10,0 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 gasleiding 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 gasleiding Ø110 HDPE PE100 SDR11 en de mantelbuis Ø315 HDPE PE100 SDR11 sterketechnisch voldoen aan de eisen van NEN 3650-serie en NEN 3651.

Binnen de veiligheidszones van de waterkering is de NEN3650 en NEN 3651 van toepassing op de nieuwe gasleiding, d.w.z.: voor evenwijdige ligging met een waterkering tot een afstand van 16,42 m en ter plaatse van de kruising met de waterkeringen tot een afstand van 14,30 m uit de teen van de dijken. Deze zone is aangeduid in de tekening in bijlage B.1.

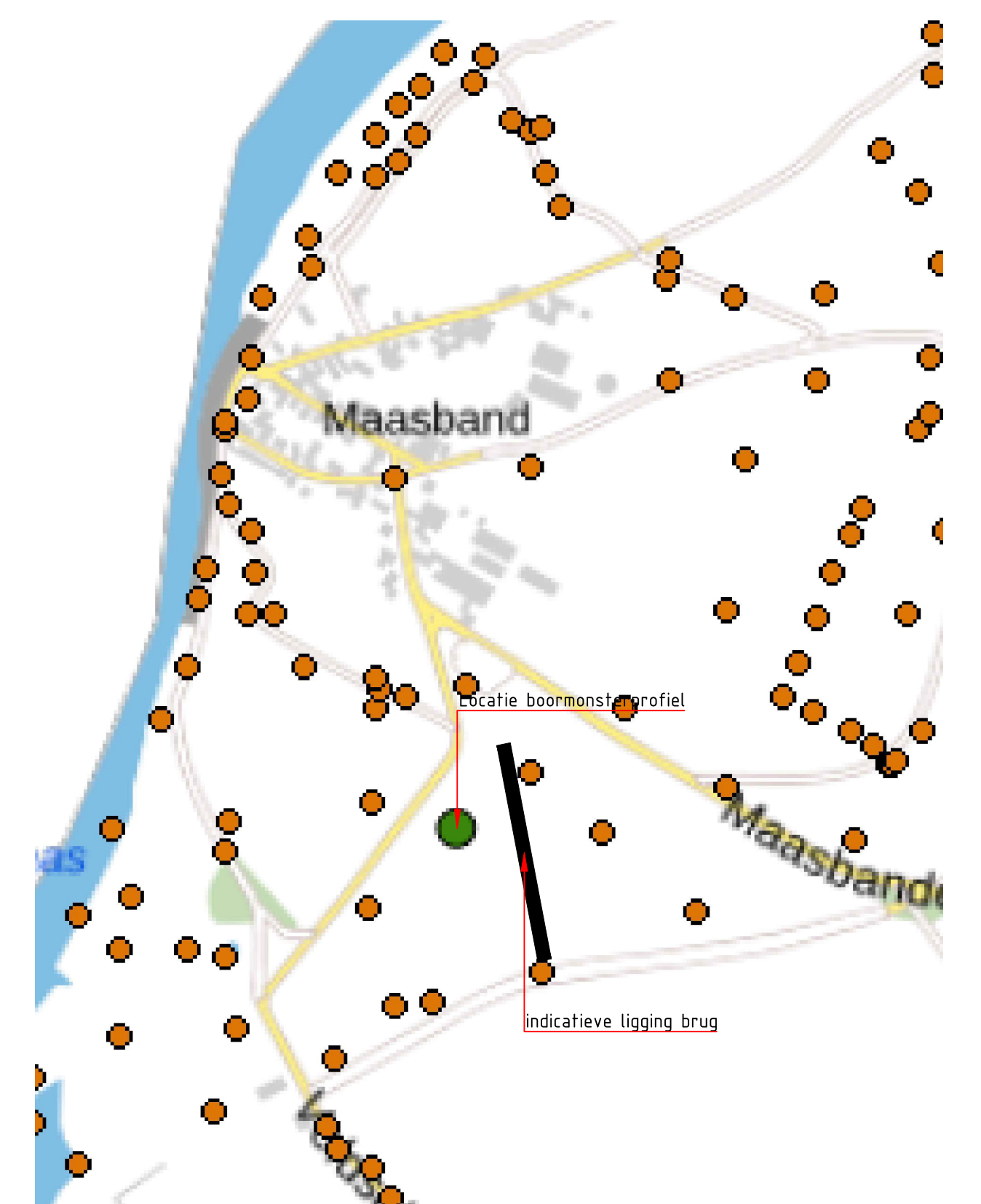
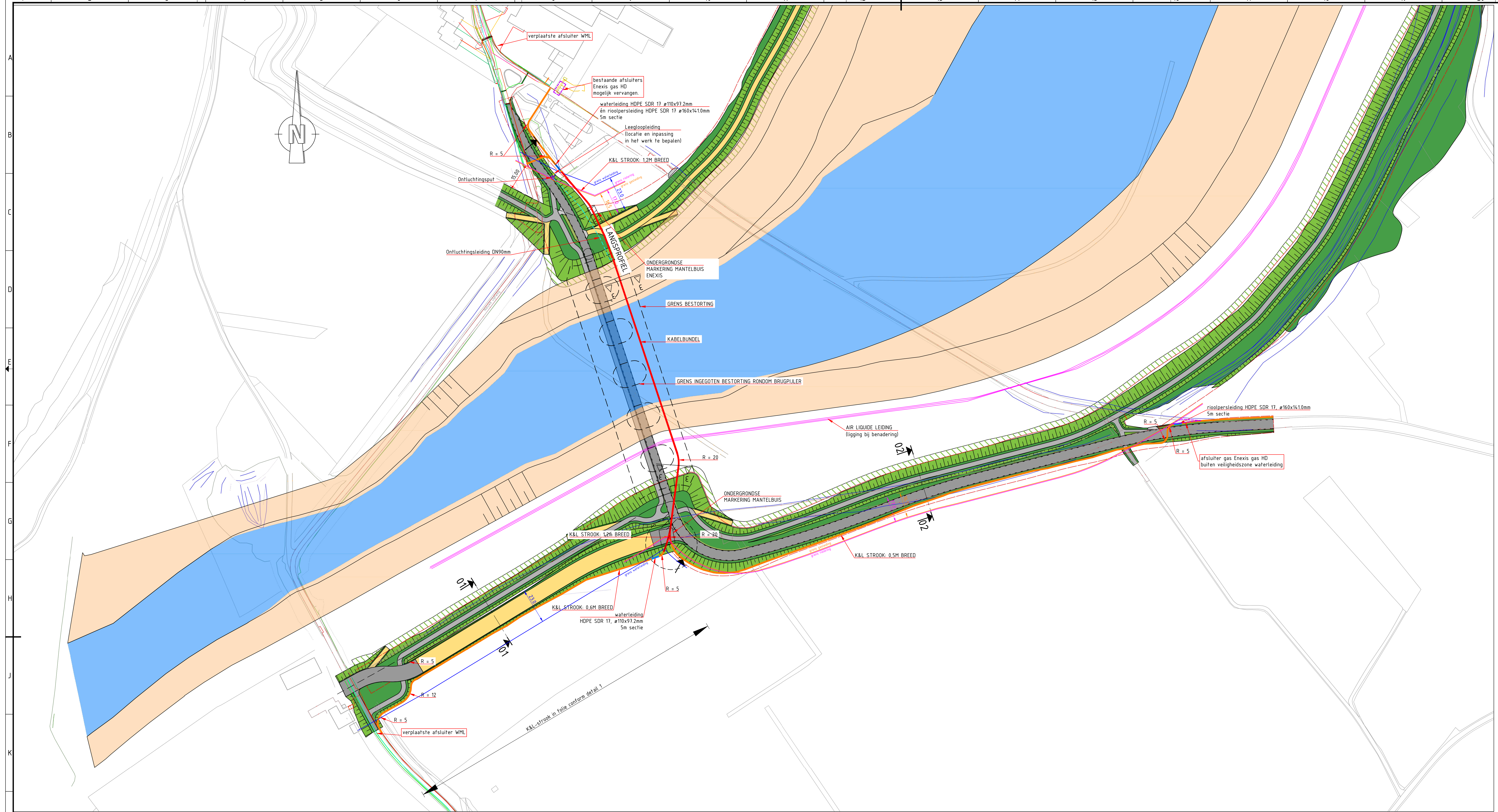
Op basis van de max. bedrijfsdruk in de gasleiding van 0,8 MPa volgt uit NEN 3651 dat er in de waterkeringen geen damwand nodig is om de leiding. In overleg met Waterschap Limburg wordt een kleikist in de waterkeringen toegepast.

Ten aanzien van de uitvoering worden de volgende aanbevelingen gedaan:

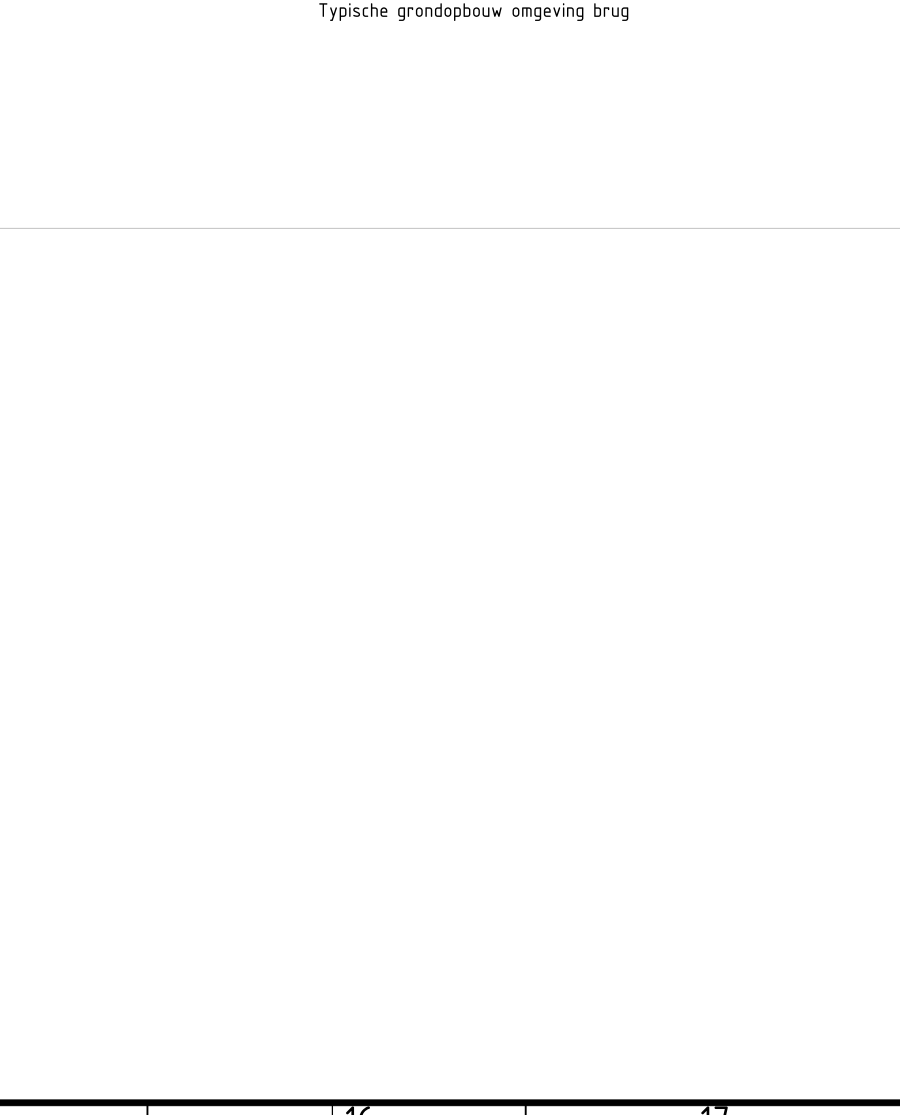
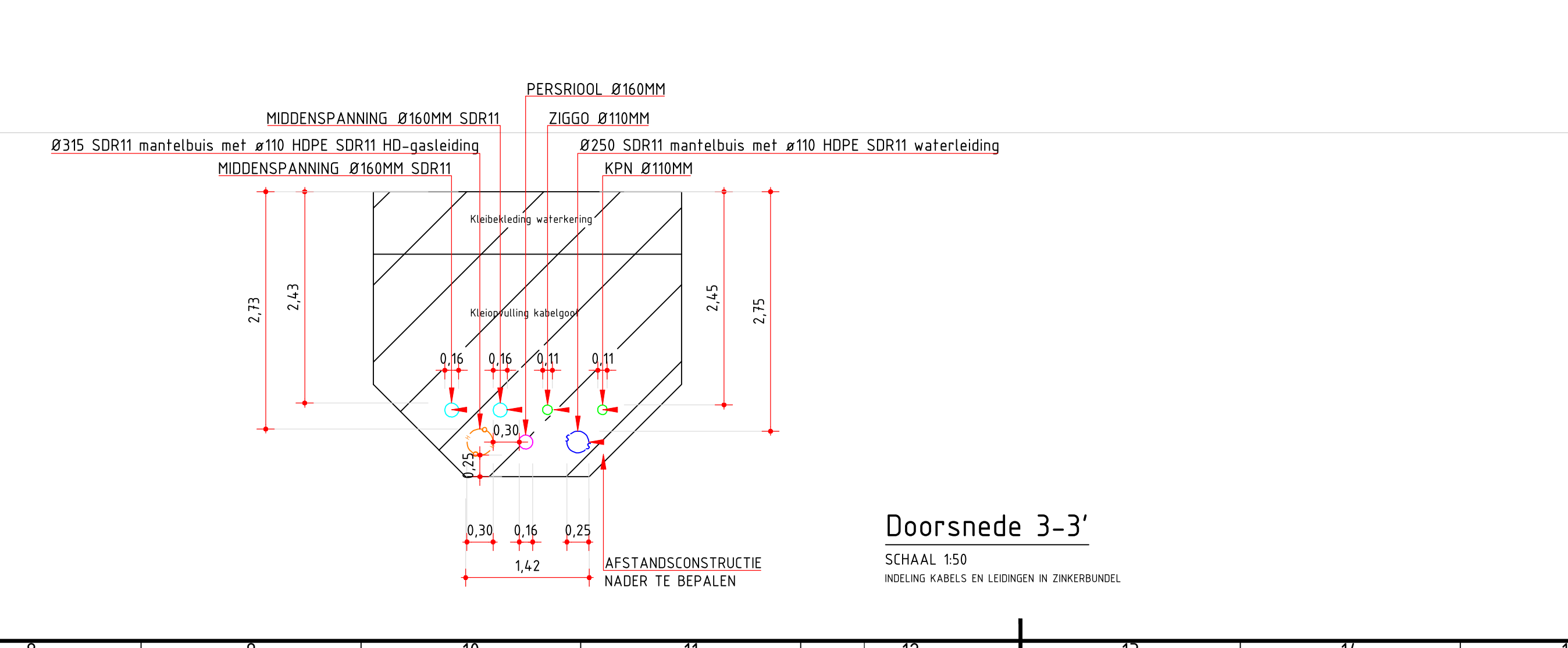
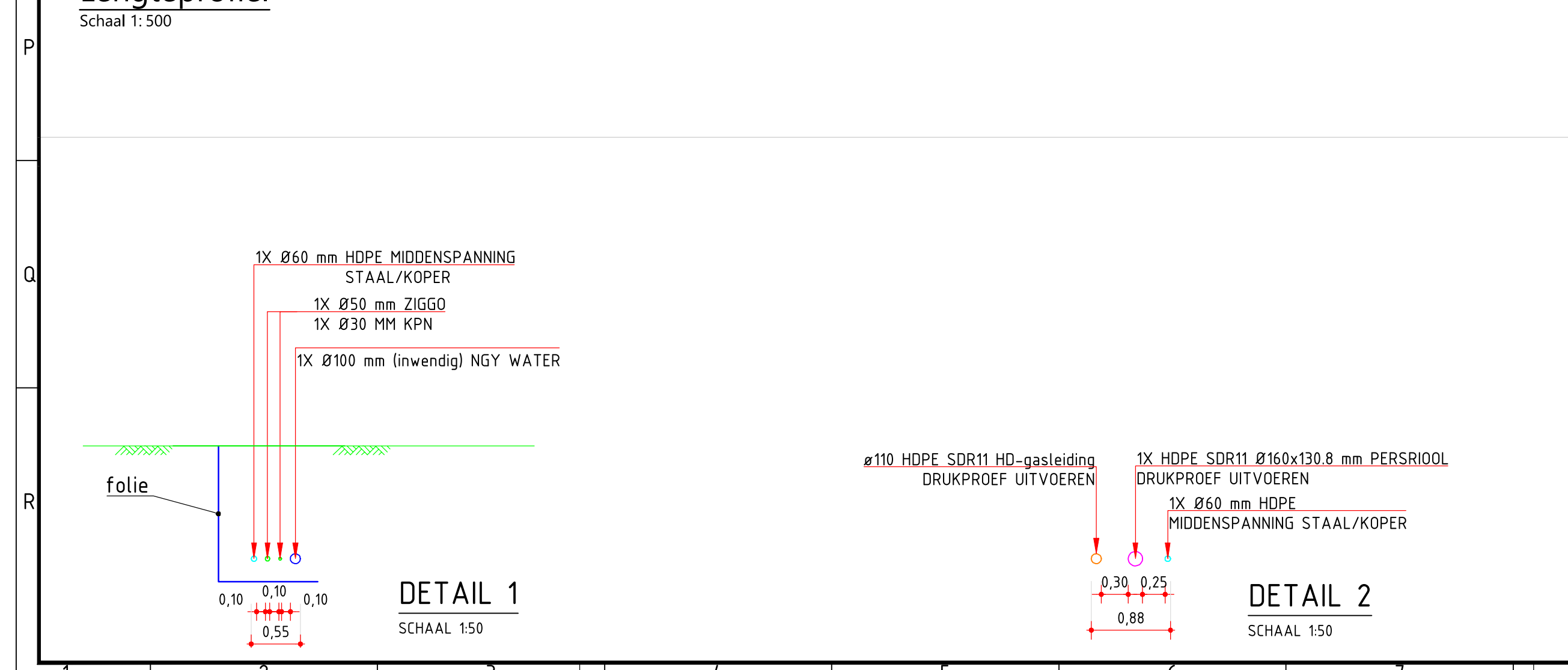
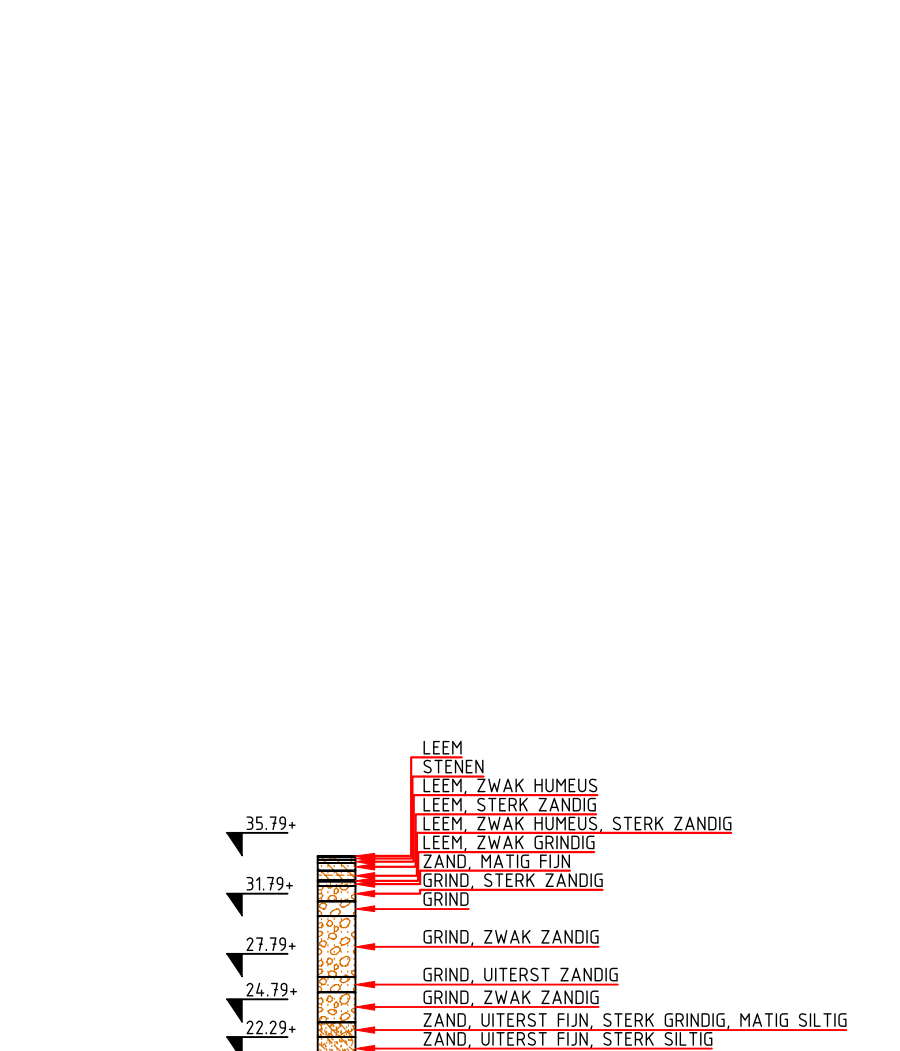
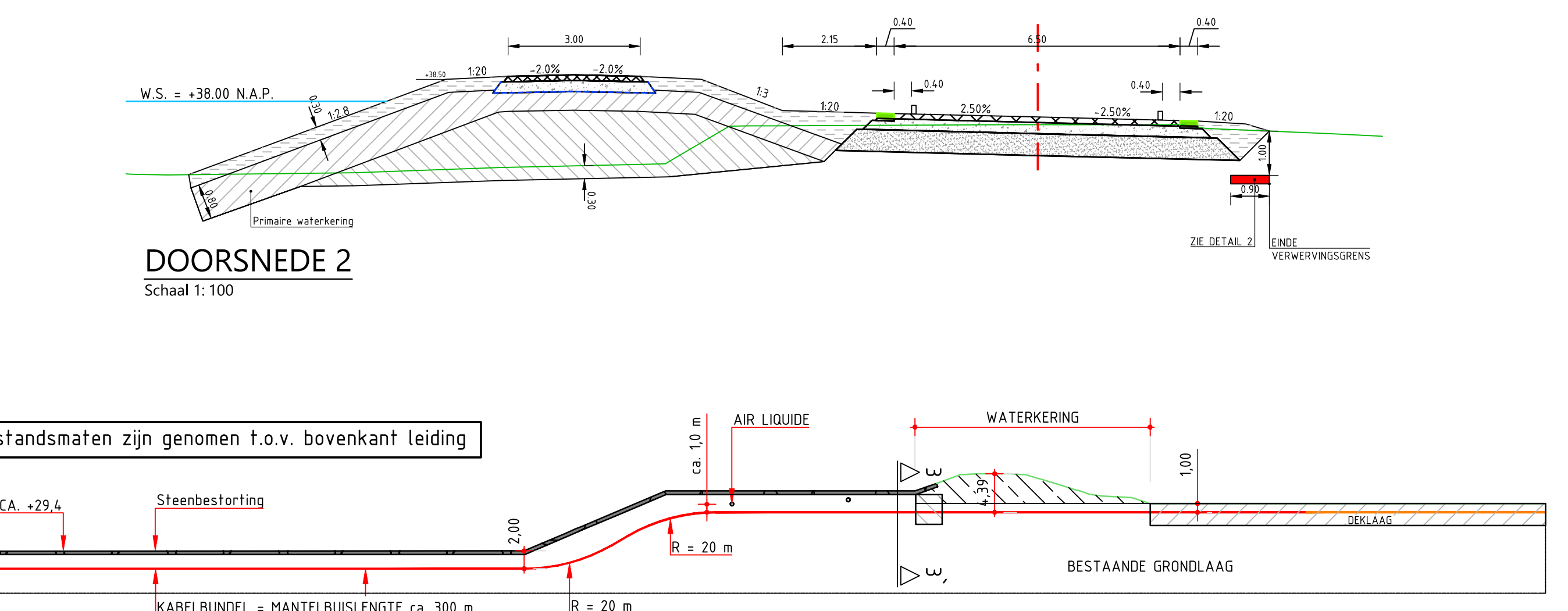
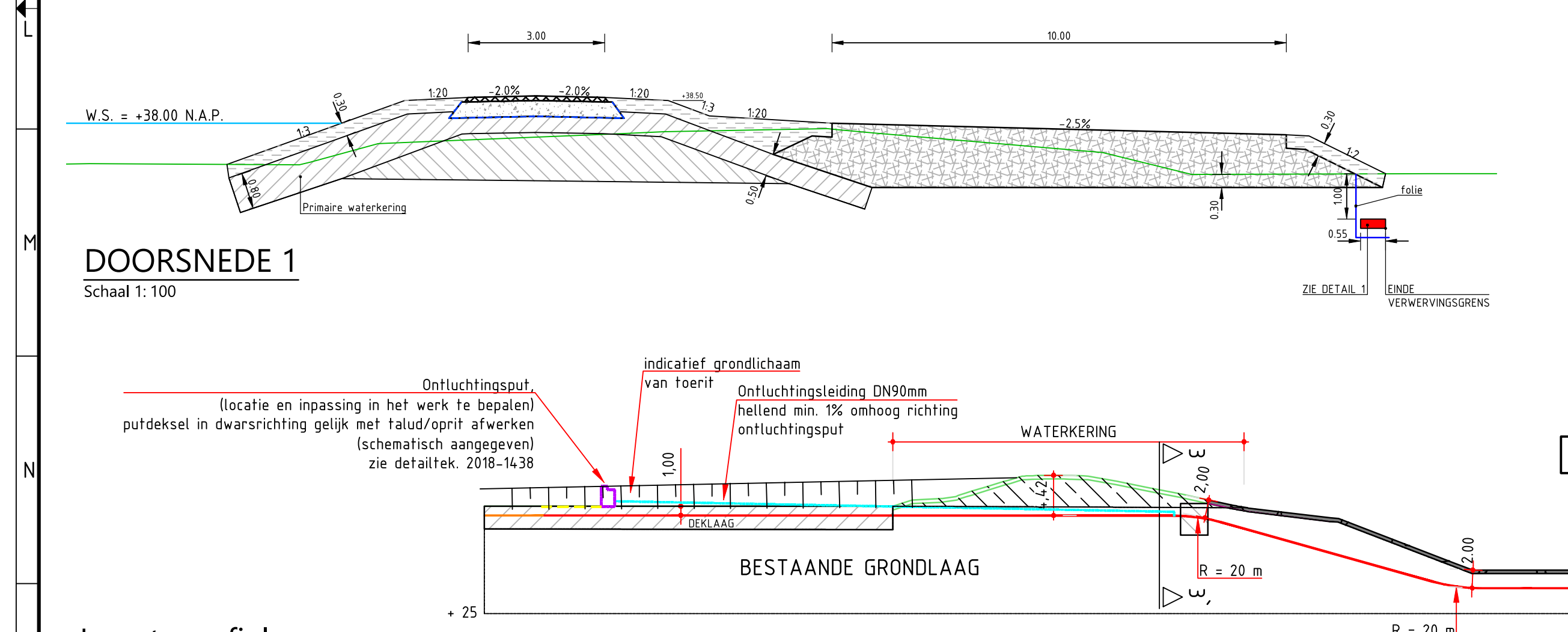
- a. Er dient niet meer te worden ontgraven dan strikt noodzakelijk, dit om uitvoeringszakkingen te voorkomen.
- b. De gehele leiding dient in den droge te worden aangebracht. Aanvulling van sleuven en verdichting van de aanvulling dient eveneens in een droge sleuf plaats te vinden.
- c. Aansluiting 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.
- h. Van de spiegellassen of elektrolasmoffen dient 100% van de lassen niet-destructief te worden onderzocht en beoordeeld.

BIJLAGEN

B1 TEKENINGEN



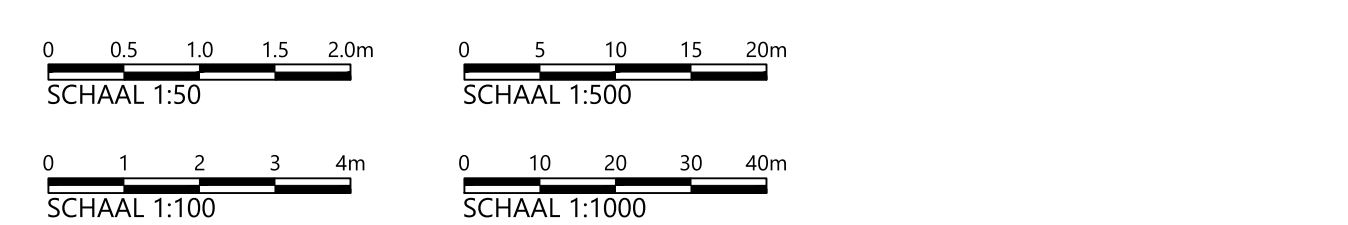
LOCATIE BOORMONSTERPROFIEL



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 verklaart in tekeningen 105925-2021-2035 DO dijkluchten.
- Grondopbouw op basis van DINOloket data, identificatie boormonsterprofiel 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'orty dient nader te worden uitgewerkt.



Verlegging persleiding HW-geul Maasband

Definitief ontwerp kabels en leidingen tracé's Variant 3

Opdrachtgever: CV Projectbureau Grensmaas

Projectnummer: CGM006-0001

Tekeningnummer: 2022-0546

Schaal: 1:1000

Behorende bij doc. nr.:

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

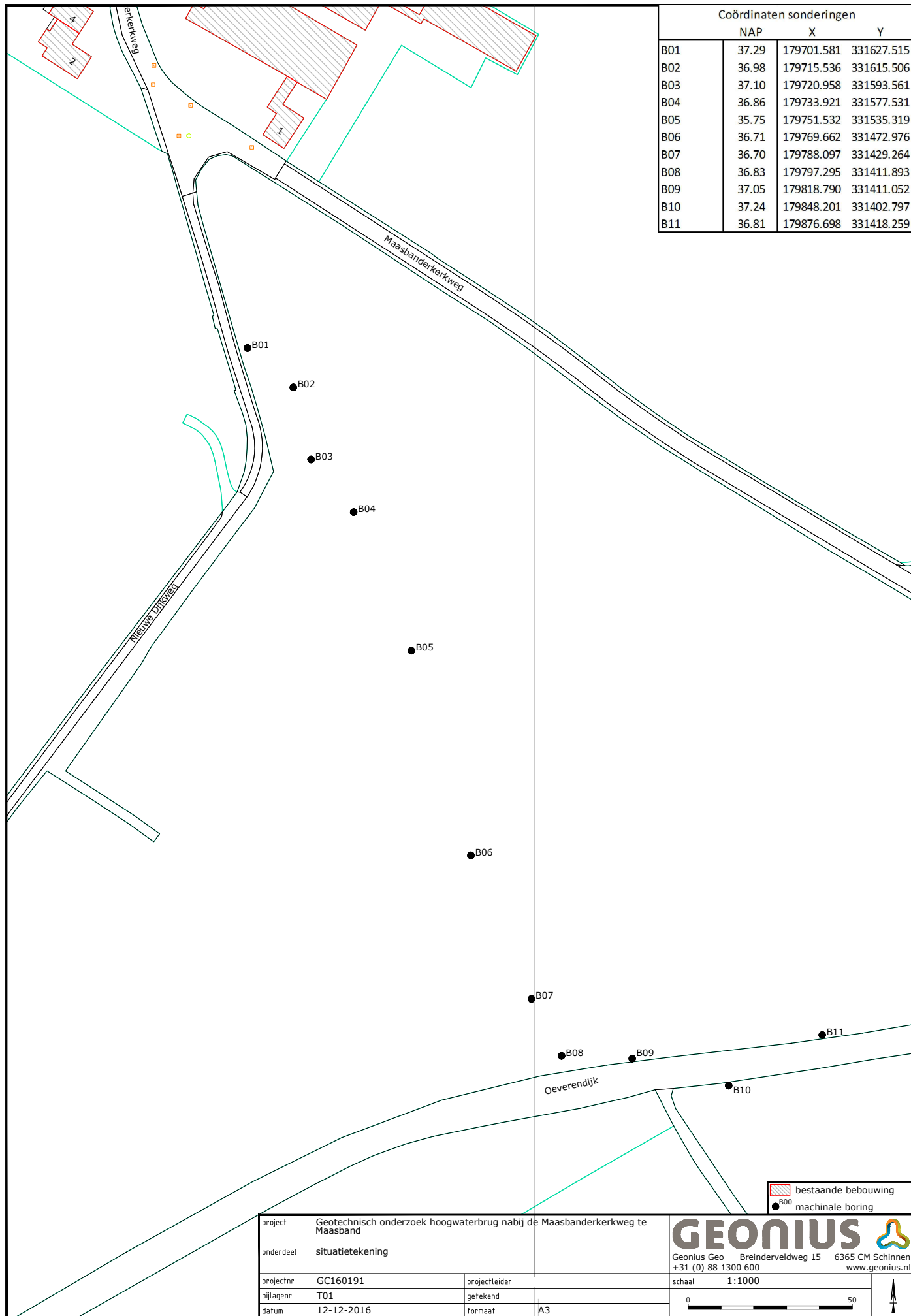
De ligging van de onderzoekspunten is op situatietekening GC160191.T01 weergegeven. De resultaten van het grondonderzoek zijn in de bijlagen toegevoegd. De onderzoekspunten zijn met behulp van 06-gps ingemeten t.o.v. het Rijksdriehoekstelsel en NAP (nauwkeurigheid ca. 0,05 m). Alle gegevens van de inmetingen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



Bijlage 1:

Situatietekening

GC160191.T01



project	Geotechnisch onderzoek hoogwaterbrug nabij de Maasbanderkerkweg te Maasband		
onderdeel	situatietekening		
projectnr	GC160191	projectleider	
bijlagenr	T01	getekend	
datum	12-12-2016	formaat	A3

bestaande bebouwing

machinale boring

GEONIUS

Geonius Geo Breinderveldweg 15 6365 CM Schinnen

+31 (0) 88 1300 600

www.geonius.nl

0

50

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

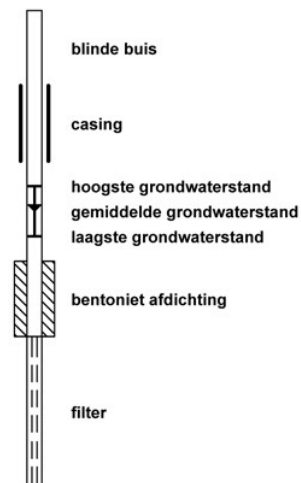
zand

	Zand, kleiig
	Zand, zwak siltig
	Zand, matig siltig
	Zand, sterk siltig
	Zand, uiterst siltig

veen

	Veen, mineraalarm
	Veen, zwak kleiig
	Veen, sterk kleiig
	Veen, zwak zandig
	Veen, sterk zandig

peilbuis



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
	ongeroid monster

overig

	bijzonder bestanddeel
	Gemiddeld hoogste grondwaterstand
	grondwaterstand
	Gemiddeld laagste grondwaterstand
	slib
	water

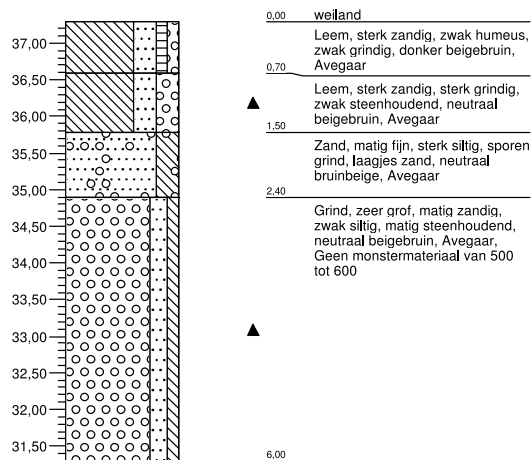
opdrachtnummer : GC160191

projectomschrijving : Geotechnisch onderzoek hoogwaterbrug nabij de Maasbanderkerkweg te Maasband

boring:

B01

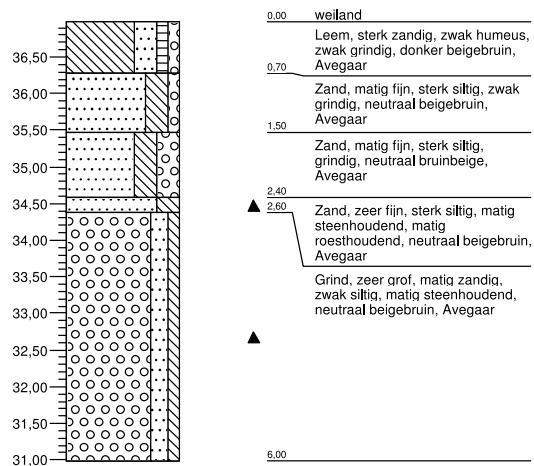
Maaiveldhoogte : 37,29 m, t.o.v. N.A.P. X:coördinaat : 179701,58
cm, - mv. Y:coördinaat : 331627,52
Datum : 07-12-2016



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

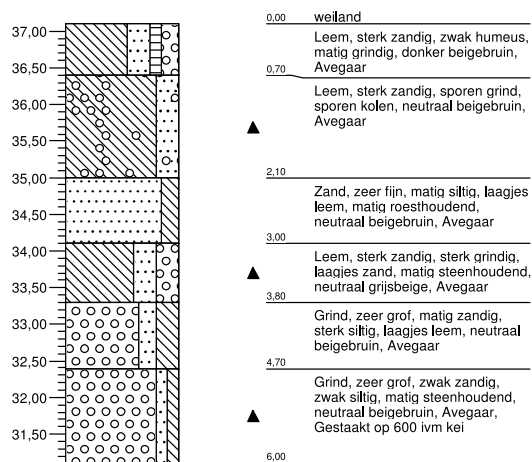


opdrachtnummer : GC160191

projectomschrijving : Geotechnisch onderzoek hoogwaterbrug nabij de Maasbanderkerkweg te Maasband

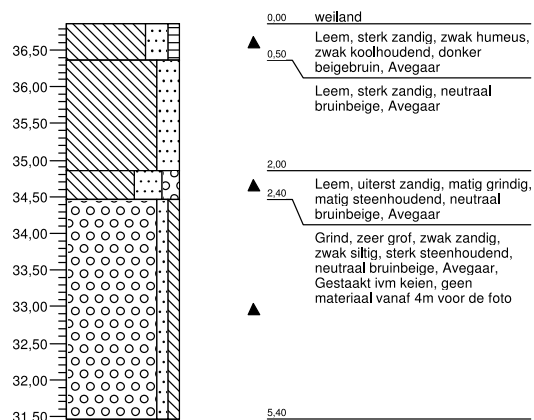
boring: B03

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



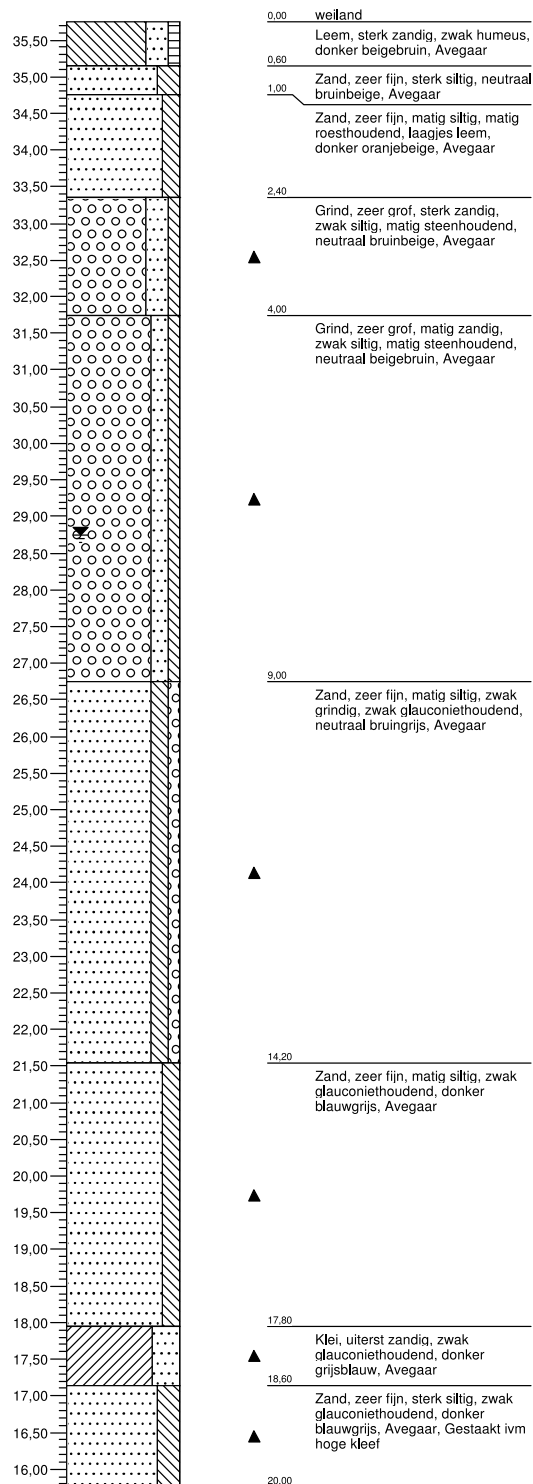
opdrachtnummer : GC160191

projectomschrijving : Geotechnisch onderzoek hoogwaterbrug nabij de Maasbanderkerkweg te Maasband

boring:

B05

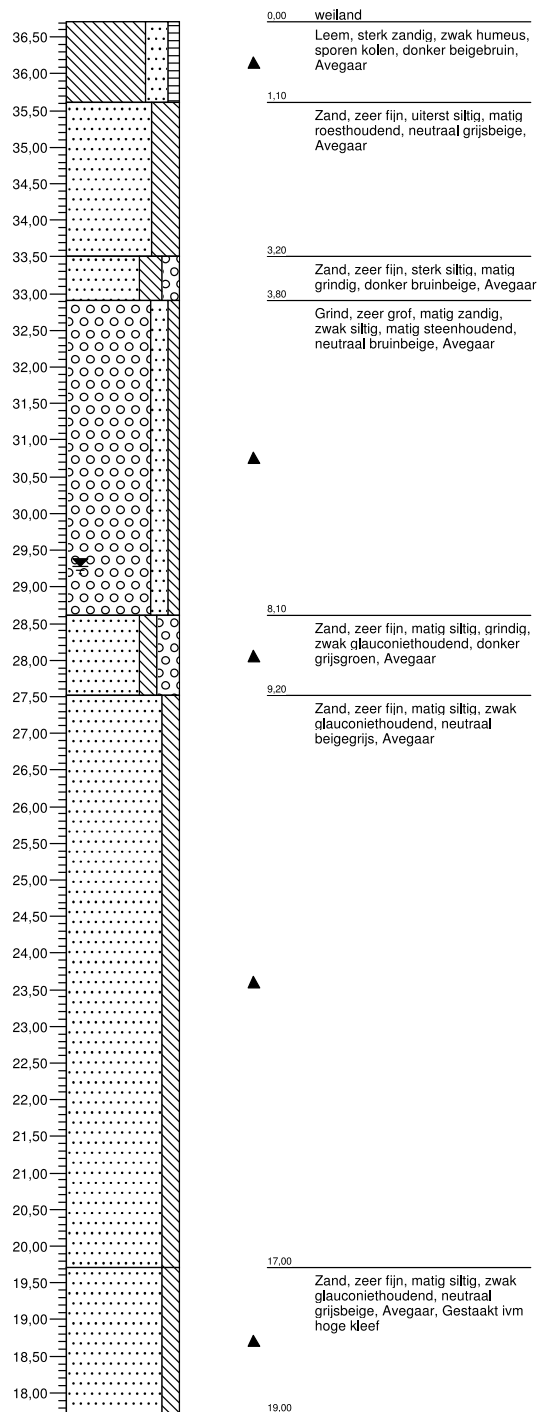
Maaiveldhoogte : 35,75 m, t.o.v. N.A.P. X:coördinaat : 179751,53
GWS : 700 cm, - mv. Y:coördinaat : 331535,32
Datum : 09-12-2016



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

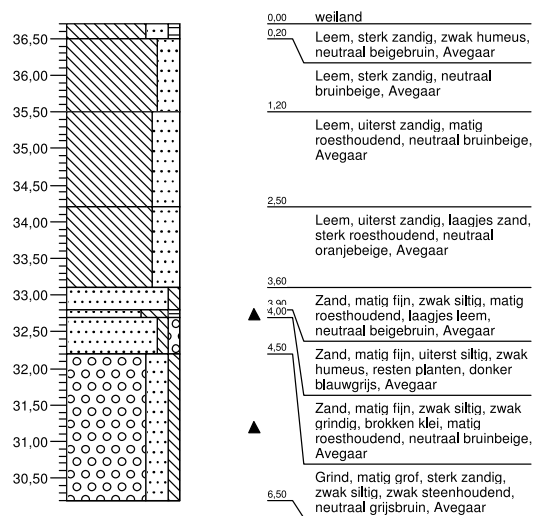


opdrachtnummer : GC160191

projectomschrijving : Geotechnisch onderzoek hoogwaterbrug nabij de Maasbanderkerkweg te Maasband

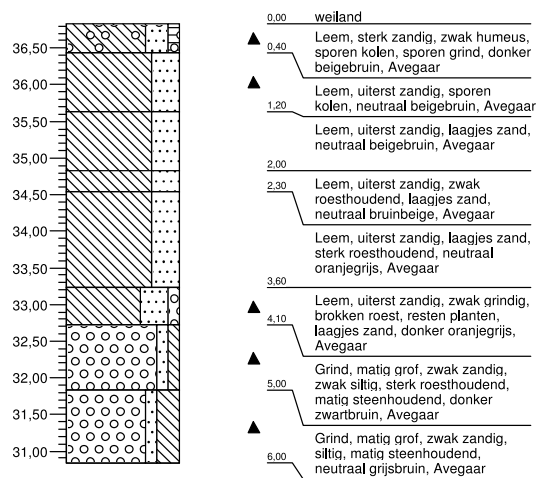
boring: B07

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

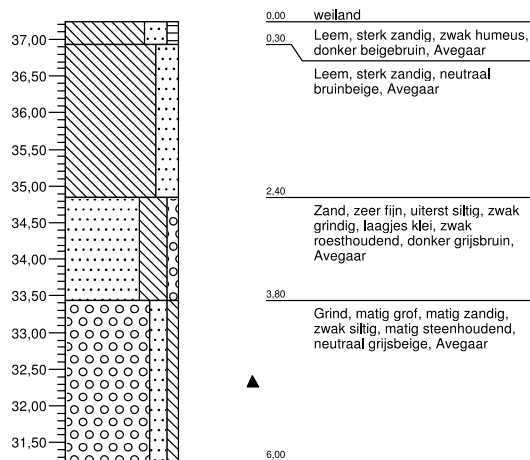
Maaiveldhoogte : 37,05 m, t.o.v. N.A.P. X:coördinaat : 179818,79
cm, - mv. Y:coördinaat : 331411,05
Datum : 12-12-2016



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



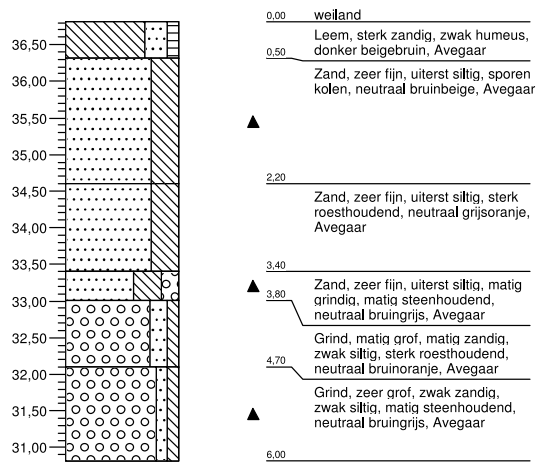
opdrachtnummer : GC160191

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

bijlagenr T3.1

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 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
Maasbanderkerkweg te Maasband, gemeente Stein

onderdeel fotobijlage Boring 3

projectnr	GC160191	projectleider	
bijlagenr	T3.3	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 4

projectnr	GC160191	projectleider	
bijlagenr	T3.4	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 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

projectnr GC160191

projectleider

bijlagenr T3.5.3

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 1

projectnr GC160191

bijlagenr T3.6.1

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 2

projectnr GC160191

projectleider

bijlagenr T3.6.2

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 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

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

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



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

onderdeel fotobijlage Boring 8

projectnr	GC160191	projectleider	
bijlagenr	T3.8	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 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 : Enexis 110 SDR11 mediumvoerend 34,1 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)		= Gas	
Ontwerpdruk	p _d	= 1,0	N/mm ²
Volumieke massa medium	p _{omg}	= 0,833	kg/m ³
Temperatuurverschil	Δt	= 10	°
Expansie constante	κ	= 1,33	
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
		15-12-2021 11:39:29	

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	$k_{v,min}$	= 0,04	N/mm ³	
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,045	N/mm ³	
E-modulus ondergrond	E_{100}	= 45	MN/m ²	
Niet rekenen met horizontale steundruk				
Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1		
Vochtgehalte	w	= 5	%	
Verkeersbelasting				
Grafiek II:		Fatigue Load Model 2, Lorry 4		
Niet rekenen met ontlastende invloed wegdek				
			15-12-2021 11:39:29	

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 gasleidingen geldt: Φ moet kleiner dan 600 zijn.

$$\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{p_a} \cdot v_1 \cdot D_i^2)^3}{(1,6 \cdot D_i + H)^2}$$

$$\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{10,00} \cdot 20 \cdot 0,09^2)^3}{(1,6 \cdot 0,09 + 1,0)^2} = 0,45$$

3. Berekening van de veiligheidszone

$$\rho_0 = \rho_{omg} \cdot \frac{p_0}{10.000} = 0,833 \cdot \frac{100000,0}{10.000} = 8,33 \text{ kg/m}^3$$

$$u^* = \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa}{\kappa+1} \cdot \frac{p_0}{\rho_0}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,33}{1,33+1} \cdot \frac{100000,0}{8,33}} = 117,07 \text{ m/s}$$

$$p^* = p_0 \cdot \left(\frac{2}{\kappa+1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} = 10,0 \cdot \left(\frac{2}{1,33+1} \right)^{\frac{1,33}{1,33-1}} = 54036,40 \text{ kg/m}^2 = 5,40 \text{ bar}$$

$$\rho^* = \rho_0 \cdot \left(\frac{p^*}{p_0} \right)^{\frac{1}{\kappa}} = 8,33 \cdot \left(\frac{54036,40}{100000,0+1} \right)^{\frac{1}{1,33}} = 5,24 \text{ kg/m}^3$$

$$Q^* = \rho^* \cdot u^* \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot D_i^2 = 5,24 \cdot 117,07 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 0,09^2 = 3,91 \text{ kg/s}$$

$$I = Q^* \cdot u^* + (p^* - p_{omg}) \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot D_i^2 = 3,91 \cdot 117,07 + 440364,02 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 0,09^2 = 3.258,68 \text{ N}$$

$$w = 5,00 \% \rightarrow R(w) = 0,022$$

$$D_k = 40 \cdot R(w) \cdot D_0 + H = 40 \cdot 0,022 \cdot 0,11 + 1,00 = 1,10 \text{ m}$$

$$G_B = R(w) \cdot \left\{ \frac{g}{D_k^2} \cdot \left(\frac{I}{\rho_{omg} \cdot g} \right)^3 \cdot t^2 \right\}^{0,125} = 0,022 \cdot \left\{ \frac{9,81}{1,10^2} \cdot \left(\frac{3.258,68}{0,83 \cdot 9,81} \right)^3 \cdot 7.200^2 \right\}^{0,125} = 2,48 \text{ m}$$

Bij hogedrukleidingen (druk groter of gelijk aan 1 MPa (10 bar)) zijn deze berekeningen indicatief.

$$\text{Veiligheidszone} = 4 \cdot H_{\text{werk}} + G_B = 4 \cdot 3,40 + 2,48 = 16,08 \text{ m}$$

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2020 3.0 ©
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 $\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$ $\sigma_p = \frac{55,00^2 + 45,00^2}{55,00^2 - 45,00^2} \cdot 1,0 = 5,05 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_p = 5,05 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 5,05 = 2,02 \text{ N/mm}^2$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$	
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}	
$f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w})$ $f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot 1,0 \cdot 50^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 83,33}) = 0,76$	
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n	
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 18 \cdot 1,0 = 19,80 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 19,80 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 2,18 \text{ N/mm}^1$	
7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p	
$q_p = q_n \cdot (1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o})$ $q_p = 19,80 \cdot (1 + 0,3 \cdot \frac{1,0}{0,11}) = 73,80 \text{ kN/m}^2$ $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 73,80 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 8,12 \text{ N/mm}^1$	
	15-12-2021 11:39:29

8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k

$$\kappa = 1 - \sin(\varphi) = 1 - \sin(32,5) = 0,463$$

$$\nu = \frac{\kappa}{1 + \kappa} = \frac{0,463}{1 + 0,463} = 0,32$$

$$E_{100, \text{norm}} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,5} = 45 \cdot (19,80/100)^{0,5} = 20,02 \text{ MN/m}^2$$

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

$$E_1 = 20,02 / \frac{1 - 0,32 - 2 \cdot 0,32^2}{1 - 0,32} = 28,31 \text{ MN/m}^2$$

$$z_{\text{max}} = 0,2 \cdot \frac{D_o}{E_1^{0,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$$

$$z_{\text{max}} = 0,2 \cdot \frac{0,11}{28,31^{0,5} \cdot \sqrt{1,0/0,11}} = 0,0014 \text{ m}$$

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

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

$$q_k = 19,80 + \frac{0,02 \cdot 0,11}{0,0014} \cdot (73,80 - 19,80)$$

$$q_k = 19,80 + \frac{0,0014}{1 + \frac{73,80 - 19,80}{0,0014 \cdot 0,0400 \cdot 10^6}} = 63,46 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 63,46 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 6,98 \text{ N/mm}^1$$

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

Niet rekenen met ontlastende invloed

$$q_v = 38,65 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_v = q_v \cdot D_o$$

$$Q_v = 38,65 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 4,25 \text{ N/mm}^1$$

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

$$N_q = e^{\pi \tan(\varphi)} \cdot \tan^2(45^\circ + \varphi/2) = 24,58$$

$$N_y = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi) = 22,54$$

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

$$B/L = 0,1$$

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

$$S_y = 1 - 0,4 \cdot B/L = 0,96$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 1,40$$

$$\gamma'_{\text{gem}} = (q_n + \gamma \cdot \gamma_d \cdot D_o / 2) / Z = 19,80 \text{ kN/m}^3$$

$$P_{we} = 0,95 \cdot (0,5 \cdot \gamma'_{\text{gem}} \cdot D_o \cdot N_y \cdot S_y \cdot d_y + S_q \cdot N_q \cdot d_q \cdot (q_n + c' \cdot \cot(\varphi)) - c' \cdot \cot(\varphi))$$

$$P_{we} = 704,65 \text{ kN/m}^2 = 0,70 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weD_o} = P_{we} \cdot D_o = 0,70 \cdot 110,00 = 77,51 \text{ N/mm}^1$$

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>
$Q_k = 6,98 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_n = 2,18 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig
$Q_v = 4,25 \text{ N/mm}^1$		$Q_v = 4,25 \text{ N/mm}^1$	
$Q_d = 0,05 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 0,05 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 11,28 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 6,48 \text{ N/mm}^1$	

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

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

$$M_q = 0,177 \cdot (6,98 + 4,25) \cdot 50,00$$

$$M_q = 99,40 \text{ Nmm/mm}^1$$

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}

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

$$\sigma_q = 0,76 \cdot (99,40 + 0,32) / 16,67 = 4,55 \text{ N/mm}^2$$

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 (na 2 jaar)		
Moment t.g.v. Q_n en Q_v		Moment t.g.v. Q_d
$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$		$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$
$M_q = 0,177 \cdot (2,18 + 4,25) \cdot 50,00$		$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,05 \cdot 50,00$
$M_q = 56,91 \text{ Nmm/mm}^1$		$M_{qd} = 0,32 \text{ Nmm/mm}^1$
Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}		
$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$		
$\sigma_q = 0,76 \cdot (56,91 + 0,32) / 16,67 = 2,61 \text{ N/mm}^2$		
16. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,00159 \cdot 5 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,045}{10}} = 0,02 \text{ N/mm}^2$		
17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,00159 \cdot (5 + 2,0 \cdot 0) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,045}{10}} = 0,02 \text{ N/mm}^2$		
18. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil		
$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$ $\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,00016 \cdot 975 = 1,56 \text{ N/mm}^2$		
19. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht		
Berekening van de factoren i_x , i_{xp} , i_y en i_{yp} van de bocht:		
$r = \left(\frac{D_e}{2} + \frac{D_e - 2 \cdot t}{2} \right) / 2 = 50,00 \text{ mm}$		
$h = \frac{t \cdot R}{r^2} = \frac{10 \cdot 5000,00}{50^2} = 20,00$		
$k = \frac{1,65}{h} = \frac{1,65}{20,00} = 0,082$		
$i_x = \frac{0,9}{h^{(2/3)}} = \frac{0,9}{20,00^{(2/3)}} = 0,12$		
$c_2 = 1 + 3,25 \cdot (p_d/E) \cdot (r/t)^{(5/2)} \cdot (R/r)^{(2/3)}$		
$c_2 = 1 + 3,25 \cdot (1,0/975) \cdot (50,00/10)^{(5/2)} \cdot (5.000,00/50)^{(2/3)} = 5,01$		
$i_{xp} = \frac{i_x}{c_2} = \frac{0,12}{5,01} = 0,02$		
$i_y = 2 \cdot i_x = 2 \cdot 0,12 = 0,24$		
$i_{yp} = 2 \cdot i_{xp} = 2 \cdot 0,02 = 0,05$		
$i_x < 1 \rightarrow i_x = 1,00$		
$i_{xp} < 1 \rightarrow i_{xp} = 1,00$		

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 3.0 ©
20. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N		
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100^3} = 0,0812 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,25 \text{ kN/m}^2}$ 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		
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (2,18 + \frac{1}{2} \cdot 4,25) - 0,095 \cdot (1 - \sin(32,5^\circ)) \cdot (2,18 + \frac{1}{2} \cdot 4,25) + 0,048 \cdot 0,05) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33} = \mathbf{0,84 \text{ mm}} (= 0,84\%)$ Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · $D_g = 0,08 \cdot 0,75 \cdot 100,00 = \mathbf{6,00 \text{ mm}}$		
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)		
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + i_{yp} \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (4,55 + 0,05 \cdot 0,02) = \mathbf{2,96 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_\sigma \cdot i_{xp} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 2,02 + 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,02 + 1,56 = \mathbf{3,59 \text{ N/mm}^2}$ 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 $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + i_{yp} \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (2,61 + 0,05 \cdot 0,02) = \mathbf{1,70 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_\sigma \cdot i_{xp} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 2,02 + 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,02 + 1,56 = \mathbf{3,59 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$		
		15-12-2021 11:39:30

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 : Enexis 110 SDR11 mediumvoerend 34,1 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
		15-12-2021 11:40:32	

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	$k_{v,min}$	= 0,04	N/mm ³	
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,045	N/mm ³	
E-modulus ondergrond	E_{100}	= 45	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				
			15-12-2021 11:40:32	

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				
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 18 \cdot 1,0 = 19,80$ kN/m ² $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 19,80 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 2,18$ N/mm ¹				
7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p				
$q_p = q_n \cdot (1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o})$ $q_p = 19,80 \cdot (1 + 0,3 \cdot \frac{1,0}{0,11}) = 73,80$ kN/m ² $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 73,80 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 8,12$ N/mm ¹				
				15-12-2021 11:40:32

8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k

$$\kappa = 1 - \sin(\varphi) = 1 - \sin(32,5) = 0,463$$

$$\nu = \frac{\kappa}{1 + \kappa} = \frac{0,463}{1 + 0,463} = 0,32$$

$$E_{100, \text{norm}} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,5} = 45 \cdot (19,80/100)^{0,5} = 20,02 \text{ MN/m}^2$$

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

$$E_1 = 20,02 / \frac{1 - 0,32 - 2 \cdot 0,32^2}{1 - 0,32} = 28,31 \text{ MN/m}^2$$

$$z_{\text{max}} = 0,2 \cdot \frac{D_o}{E_1^{0,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$$

$$z_{\text{max}} = 0,2 \cdot \frac{0,11}{28,31^{0,5} \cdot \sqrt{1,0/0,11}} = 0,0014 \text{ m}$$

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

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

$$q_k = 19,80 + \frac{0,02 \cdot 0,11}{0,0014} \cdot (73,80 - 19,80)$$

$$q_k = 19,80 + \frac{0,0014}{1 + \frac{73,80 - 19,80}{0,0014 \cdot 0,0400 \cdot 10^6}} = 63,46 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 63,46 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 6,98 \text{ N/mm}^1$$

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

Niet rekenen met ontlastende invloed

$$q_v = 38,65 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_v = q_v \cdot D_o$$

$$Q_v = 38,65 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 4,25 \text{ N/mm}^1$$

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

$$N_q = e^{\pi \tan(\varphi)} \cdot \tan^2(45^\circ + \varphi/2) = 24,58$$

$$N_y = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi) = 22,54$$

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

$$B/L = 0,1$$

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

$$S_y = 1 - 0,4 \cdot B/L = 0,96$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 1,40$$

$$\gamma'_{\text{gem}} = (q_n + \gamma \cdot \gamma_d \cdot D_o / 2) / Z = 19,80 \text{ kN/m}^3$$

$$P_{we} = 0,95 \cdot (0,5 \cdot \gamma'_{\text{gem}} \cdot D_o \cdot N_y \cdot S_y \cdot d_y + S_q \cdot N_q \cdot d_q \cdot (q_n + c' \cdot \cot(\varphi)) - c' \cdot \cot(\varphi))$$

$$P_{we} = 704,65 \text{ kN/m}^2 = 0,70 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weD_o} = P_{we} \cdot D_o = 0,70 \cdot 110,00 = 77,51 \text{ N/mm}^1$$

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>
$Q_k = 6,98 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_n = 2,18 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig
$Q_v = 4,25 \text{ N/mm}^1$		$Q_v = 4,25 \text{ N/mm}^1$	
$Q_d = 0,05 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 0,05 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 11,28 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 6,48 \text{ N/mm}^1$	

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

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

$$M_q = 0,177 \cdot (6,98 + 4,25) \cdot 50,00$$

$$M_q = 99,40 \text{ Nmm/mm}^1$$

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}

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

$$\sigma_q = 1,00 \cdot (99,40 + 0,32) / 16,67 = 5,98 \text{ N/mm}^2$$

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 (na 2 jaar)		
<i>Moment t.g.v. Q_n en Q_v</i> $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,177 \cdot (2,18 + 4,25) \cdot 50,00$ $M_q = 56,91 \text{ Nmm/mm}^1$		<i>Moment t.g.v. Q_d</i> $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,05 \cdot 50,00$ $M_{qd} = 0,32 \text{ Nmm/mm}^1$
<i>Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}</i> $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 1,00 \cdot (56,91 + 0,32) / 16,67 = \mathbf{3,43 \text{ N/mm}^2}$		
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		
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		

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	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (2,18 + \frac{1}{2} \cdot 4,25) - 0,095 \cdot (1 - \sin(32,5^\circ)) \cdot (2,18 + \frac{1}{2} \cdot 4,25) + 0,048 \cdot 0,05) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33} = \mathbf{0,84 \text{ mm}} (= 0,84\%)$ Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · $D_g = 0,08 \cdot 0,75 \cdot 100,00 = \mathbf{6,00 \text{ mm}}$	
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + i_y \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (5,98 + 0,24 \cdot 0,02) = \mathbf{3,89 \text{ N/mm}^2}$ 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 $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + i_y \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (3,43 + 0,24 \cdot 0,02) = \mathbf{2,23 \text{ N/mm}^2}$ 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 = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$	
	15-12-2021 11:40:32

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)		= Gas	
Ontwerpdruk	p _d	= 1,0	N/mm ²
Volumieke massa medium	ρ_{omg}	= 0,833	kg/m ³
Temperatuurverschil	Δ_t	= 10	°
Expansie constante	κ	= 1,33	
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	mm
Berekeningsmethode	k-sprong methode		
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld	H _{werk}	= 3,4	m
		15-12-2021 12:15:02	

Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Grondsoort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m³]	Wrijvingshoek grond [°]	Gem. vert. bedding-constante [N/mm³]
Geperst deel	0,00	Leem	20,00	35,00	0,1000
Gelegd deel	4,40	Leem	20,00	35,00	0,0400

Locatie	Hor. steundruk	Effectieve cohesie [kN/m²]	Schuif-sterkte [kN/m²]	Verkeersbelasting
Geperst deel	✓	1,00	100,00	Geen
Gelegd deel	✓	1,00	100,00	Geen

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 gasleidingen geldt: Φ moet kleiner dan 600 zijn.

$$\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{p_a} \cdot v_1 \cdot D_i^2)^3}{(1,6 \cdot D_i + H)^2}$$

$$\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{10,00} \cdot 20 \cdot 0,09^2)^3}{(1,6 \cdot 0,09 + 0,0)^2} = 28,49$$

3. Berekening van de veiligheidszone

$$\rho_0 = \rho_{omg} \cdot \frac{p_0}{10.000} = 0,833 \cdot \frac{100000,0}{10.000} = 8,33 \text{ kg/m}^3$$

$$u^* = \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa}{\kappa+1} \cdot \frac{p_0}{\rho_0}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,33}{1,33+1} \cdot \frac{100000,0}{8,33}} = 117,07 \text{ m/s}$$

$$p^* = p_0 \cdot \left(\frac{2}{\kappa+1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} = 10,0 \cdot \left(\frac{2}{1,33+1} \right)^{\frac{1,33}{1,33-1}} = 54036,40 \text{ kg/m}^2 = 5,40 \text{ bar}$$

$$\rho^* = \rho_0 \cdot \left(\frac{p^*}{p_0} \right)^{\frac{1}{\kappa}} = 8,33 \cdot \left(\frac{54036,40}{100000,0+1} \right)^{\frac{1}{1,33}} = 5,24 \text{ kg/m}^3$$

$$Q^* = \rho^* \cdot u^* \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot D_i^2 = 5,24 \cdot 117,07 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 0,09^2 = 3,91 \text{ kg/s}$$

$$I = Q^* \cdot u^* + (p^* - p_{omg}) \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot D_i^2 = 3,91 \cdot 117,07 + 440364,02 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 0,09^2 = 3.258,68 \text{ N}$$

$$w = 5,00 \% \rightarrow R(w) = 0,025$$

$$D_k = 40 \cdot R(w) \cdot D_0 + H = 40 \cdot 0,025 \cdot 0,11 + 0,00 = 0,11 \text{ m}$$

$$G_B = R(w) \cdot \left\{ \frac{g}{D_k^2} \cdot \left(\frac{I}{\rho_{omg} \cdot g} \right)^3 \cdot t^2 \right\}^{0,125} = 0,025 \cdot \left\{ \frac{9,81}{0,11^2} \cdot \left(\frac{3.258,68}{0,83 \cdot 9,81} \right)^3 \cdot 7.200^2 \right\}^{0,125} = 5,03 \text{ m}$$

Bij hogedrukleidingen (druk groter of gelijk aan 1 MPa (10 bar)) zijn deze berekeningen indicatief.

$$G_L = G_B / 4 = 5,03 / 4 = 1,26 \text{ m}$$

$$\text{Veiligheidszone} = 4 \cdot H_{\text{werk}} + G_L = 4 \cdot 3,40 + 1,26 = 14,86 \text{ m}$$

Sterkteberekening van een gelegd/geperste leiding conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2020 3.0 ©
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 $\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$ $\sigma_p = \frac{55,00^2 + 45,00^2}{55,00^2 - 45,00^2} \cdot 1,0 = 5,05 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_p = 5,05 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 5,05 = 2,02 \text{ N/mm}^2$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$	
5. Berekening reroundingfactor f_{rr} (Geperst deel)	
$f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w})$ $f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot 1,0 \cdot 50^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 83,33}) = 0,76$	
6. Berekening reroundingfactor f_{rr} (Gelegd deel)	
$f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w})$ $f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot 1,0 \cdot 50^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 83,33}) = 0,76$	
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)	
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 20 \cdot 4,4 = 96,80 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 96,80 \cdot 10^{-3} \cdot 110,0 = 10,65 \text{ N/mm}^1$	
	15-12-2021 12:15:02

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)

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

$$\lambda_1 = \sqrt[4]{\frac{110,0 \cdot 0,1}{4 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}} = 0,0052 \text{ mm}^{-1}$$

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

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

$$\lambda_2 = \sqrt[4]{\frac{110,0 \cdot 0,04}{4 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}} = 0,0041 \text{ mm}^{-1}$$

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

$$k_2/k_1 = 0,4$$

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

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

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

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

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

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

$$\frac{(f_k + 1,5 \cdot f_z) \cdot k_1 \cdot \alpha}{q_o} = \frac{(5 + 2,0 \cdot 0) \cdot 0,1 \cdot 0,77}{0,44} = 0,88$$

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

0,88 < 3,16 → **k-sprong methode**

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

$$F_0 = k_1 + k_2 + 2\sqrt{k_1 \cdot k_2} + 2\sqrt[4]{k_1 \cdot k_2^3} + 2\sqrt[4]{k_1^3 \cdot k_2} = 0,53$$

$$F_1 = k_1 \sqrt{k_2} - k_2 \sqrt{k_1} = 0,0074$$

$$F_2 = k_1 \sqrt[4]{k_2^3} + k_2 \sqrt[4]{k_1^3} = 0,016$$

$$|M| = \frac{F_1}{F_0} \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt{D_e \cdot E \cdot I_b} = 45.561,49 \text{ Nmm}$$

$$|P| = \frac{F_2}{F_0} \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt[4]{4 \cdot D_e^3 \cdot E \cdot I_b} = 1.827,89 \text{ N}$$

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

$$x_1 = \frac{1}{\lambda_1} \cdot \tan^{-1}\left(\frac{|P|}{2 \cdot |M| \cdot \lambda_1 + |P|}\right) = 130,10$$

$$\lambda_1 x_1 = 0,0052 \cdot 130,10 = 0,67$$

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

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

$$M_{\max 1} = -|M| \cdot A_{\lambda_1 x_1} - \frac{|P|}{\lambda_1} \cdot B_{\lambda_1 x_1} = 145.230,44 \text{ Nmm}$$

16.2 Gelegd deel

$$x_2 = \frac{1}{\lambda_2} \cdot \tan^{-1}\left(\frac{|P|}{|P| - 2 \cdot |M| \cdot \lambda_2}\right) = 218,89$$

$$\lambda_2 x_2 = 0,0041 \cdot 218,89 = 0,90$$

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

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

$$M_{\max 2} = -|M| \cdot A_{\lambda_2 x_2} + \frac{|P|}{\lambda_2} \cdot B_{\lambda_2 x_2} = 115.726,14 \text{ Nmm}$$

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

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

$$Q_d = 2 \cdot 45.561,49 \cdot 0,0052^2 + 2 \cdot 1.827,89 \cdot 0,0052 = 21,31 \text{ N/mm}^1$$

17.2 Gelegd deel

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

$$Q_d = |2 \cdot 45.561,49 \cdot 0,0041^2 - 2 \cdot 1.827,89 \cdot 0,0041| = 13,48 \text{ N/mm}^1$$

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	=	21,31	N/mm ¹	+ van Q_d nodig
Σ	=	21,31	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	=	13,48 N/mm ¹ +	van Q_d nodig
Σ	=	24,12 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

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 21,31 \cdot 50,00$$

$$M_{qd} = 129,98 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 0,76 \cdot (0,00 + 129,98) / 16,67 = 5,94 \text{ N/mm}^2$$

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)	
<p><i>Moment t.g.v. Q_n en Q_v</i></p> $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,177 \cdot (10,65 + 0,00) \cdot 50,00 - 0,143 \cdot (1 - \sin(35^\circ)) \cdot \sin(1/2 \cdot 120^\circ) \cdot (10,65 + 0,00) \cdot 50,00$ $M_q = 66,12 \text{ Nmm/mm}^1$ <p><i>Moment t.g.v. Q_d</i></p> $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 13,48 \cdot 50,00$ $M_{qd} = 82,21 \text{ Nmm/mm}^1$ <p><i>Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}</i></p> $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 1,00 \cdot (66,12 + 82,21) / 16,67 = \mathbf{8,90 \text{ N/mm}^2}$	
22. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z (Geperst deel)	
$\sigma_{bx} = \frac{M_{max1}}{W_b}$ $\sigma_{bx} = \frac{145.230,44}{72.113,83} = \mathbf{2,01 \text{ N/mm}^2}$	
23. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z (Gelegd deel)	
$\sigma_{bx} = \frac{M_{max2}}{W_b}$ $\sigma_{bx} = \frac{115.726,14}{72.113,83} = \mathbf{1,60 \text{ N/mm}^2}$	
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	
<p>Aangezien er geen bocht wordt toegepast volgt:</p> $i_x = 1, i_y = 0, i_{xp} = 1, i_{yp} = 0$	
26. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N	
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100^3} = 0,0812 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,25 \text{ kN/m}^2}$ <p>Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²</p>	
	15-12-2021 12:15:02

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)	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (0,00 + \frac{1}{2} \cdot 0,00) - 0,095 \cdot (1 - \sin(35^\circ)) \cdot (0,00 + \frac{1}{2} \cdot 0,00) + 0,048 \cdot 21,31) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33} = \mathbf{4,38 \text{ mm}} (= 4,38\%)$ 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)	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (10,65 + \frac{1}{2} \cdot 0,00) - 0,095 \cdot (1 - \sin(35^\circ)) \cdot (10,65 + \frac{1}{2} \cdot 0,00) + 0,048 \cdot 13,48) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33} = \mathbf{4,99 \text{ mm}} (= 4,99\%)$ 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 $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 5,94 = \mathbf{3,86 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 2,02 + 0,65 \cdot 2,01 + 1,56 = \mathbf{4,89 \text{ N/mm}^2}$ 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 $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 8,90 = \mathbf{5,78 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 2,02 + 0,65 \cdot 1,60 + 1,56 = \mathbf{4,62 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$	
	15-12-2021 12:15:02

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	0,1000
Gelegd deel	4,40	Leem	20,00	35,00	0,0400
15-12-2021 12:25:03					

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 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} (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				
				15-12-2021 12:25:03

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)

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

$$\lambda_1 = \sqrt[4]{\frac{110,0 \cdot 0,1}{4 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}} = 0,0052 \text{ mm}^{-1}$$

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

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

$$\lambda_2 = \sqrt[4]{\frac{110,0 \cdot 0,04}{4 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}} = 0,0041 \text{ mm}^{-1}$$

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

$$k_2/k_1 = 0,4$$

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

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

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

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

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

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

$$\frac{(f_k + 1,5 \cdot f_z) \cdot k_1 \cdot \alpha}{q_o} = \frac{(5 + 2,0 \cdot 0,0) \cdot 0,1 \cdot 0,77}{0,44} = 0,88$$

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

0,88 < 3,16 → **k-sprong methode**

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

$$F_0 = k_1 + k_2 + 2\sqrt{k_1 \cdot k_2} + 2\sqrt[4]{k_1 \cdot k_2^3} + 2\sqrt[4]{k_1^3 \cdot k_2} = 0,53$$

$$F_1 = k_1 \sqrt{k_2} - k_2 \sqrt{k_1} = 0,0074$$

$$F_2 = k_1 \sqrt[4]{k_2^3} + k_2 \sqrt[4]{k_1^3} = 0,016$$

$$|M| = \frac{F_1}{F_0} \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt{D_e \cdot E \cdot I_b} = 45.561,49 \text{ Nmm}$$

$$|P| = \frac{F_2}{F_0} \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt[4]{4 \cdot D_e^3 \cdot E \cdot I_b} = 1.827,89 \text{ N}$$

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

$$x_1 = \frac{1}{\lambda_1} \cdot \tan^{-1}\left(\frac{|P|}{2 \cdot |M| \cdot \lambda_1 + |P|}\right) = 130,10$$

$$\lambda_1 x_1 = 0,0052 \cdot 130,10 = 0,67$$

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

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

$$M_{\max 1} = -|M| \cdot A_{\lambda_1 x_1} - \frac{|P|}{\lambda_1} \cdot B_{\lambda_1 x_1} = 145.230,44 \text{ Nmm}$$

16.2 Gelegd deel

$$x_2 = \frac{1}{\lambda_2} \cdot \tan^{-1}\left(\frac{|P|}{|P| - 2 \cdot |M| \cdot \lambda_2}\right) = 218,89$$

$$\lambda_2 x_2 = 0,0041 \cdot 218,89 = 0,90$$

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

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

$$M_{\max 2} = -|M| \cdot A_{\lambda_2 x_2} + \frac{|P|}{\lambda_2} \cdot B_{\lambda_2 x_2} = 115.726,14 \text{ Nmm}$$

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

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

$$Q_d = 2 \cdot 45.561,49 \cdot 0,0052^2 + 2 \cdot 1.827,89 \cdot 0,0052 = 21,31 \text{ N/mm}^1$$

17.2 Gelegd deel

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

$$Q_d = |2 \cdot 45.561,49 \cdot 0,0041^2 - 2 \cdot 1.827,89 \cdot 0,0041| = 13,48 \text{ N/mm}^1$$

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	=	21,31	N/mm ¹	+ van Q_d nodig
Σ	=	21,31	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	=	13,48 N/mm ¹ +	van Q_d nodig
Σ	=	24,12 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

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 21,31 \cdot 50,00$$

$$M_{qd} = 129,98 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 1,00 \cdot (0,00 + 129,98) / 16,67 = \mathbf{7,80 \text{ N/mm}^2}$$

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)	
<p><i>Moment t.g.v. Q_n en Q_v</i></p> $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,177 \cdot (10,65 + 0,00) \cdot 50,00 - 0,143 \cdot (1 - \sin(35^\circ)) \cdot \sin(1/2 \cdot 120^\circ) \cdot (10,65 + 0,00) \cdot 50,00$ $M_q = 66,12 \text{ Nmm/mm}^1$ <p><i>Moment t.g.v. Q_d</i></p> $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 13,48 \cdot 50,00$ $M_{qd} = 82,21 \text{ Nmm/mm}^1$ <p><i>Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}</i></p> $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 1,00 \cdot (66,12 + 82,21) / 16,67 = \mathbf{8,90 \text{ N/mm}^2}$	
22. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z (Geperst deel)	
$\sigma_{bx} = \frac{M_{max1}}{W_b}$ $\sigma_{bx} = \frac{145.230,44}{72.113,83} = \mathbf{2,01 \text{ N/mm}^2}$	
23. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z (Gelegd deel)	
$\sigma_{bx} = \frac{M_{max2}}{W_b}$ $\sigma_{bx} = \frac{115.726,14}{72.113,83} = \mathbf{1,60 \text{ N/mm}^2}$	
24. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil	
<p>Leiding is drukloos</p> $\sigma_{ax} = \mathbf{0 \text{ N/mm}^2}$	
25. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht	
<p>Aangezien er geen bocht wordt toegepast volgt:</p> $i_x = 1, i_y = 0, i_{xp} = 1, i_{yp} = 0$	
26. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N	
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100^3} = 0,0812 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,25 \text{ kN/m}^2}$ <p>Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²</p>	
	15-12-2021 12:25:04

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)	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (0,00 + \frac{1}{2} \cdot 0,00) - 0,095 \cdot (1 - \sin(35^\circ)) \cdot (0,00 + \frac{1}{2} \cdot 0,00) + 0,048 \cdot 21,31) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33} = \mathbf{4,38 \text{ mm}} (= 4,38\%)$ 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)	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (10,65 + \frac{1}{2} \cdot 0,00) - 0,095 \cdot (1 - \sin(35^\circ)) \cdot (10,65 + \frac{1}{2} \cdot 0,00) + 0,048 \cdot 13,48) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33} = \mathbf{4,99 \text{ mm}} (= 4,99\%)$ 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 $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 7,80 = \mathbf{5,07 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 2,01 = \mathbf{1,31 \text{ N/mm}^2}$ 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 $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 8,90 = \mathbf{5,78 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 1,60 = \mathbf{1,04 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$	
	15-12-2021 12:25:04

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 : Enexis 315 SDR11 doorsnede 3 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	= 315,00	mm
Wanddikte	d _n	= 28,7	mm
Wanddikte bocht	t	= 28,7	mm
Bochtstraal	R	= 20.000,00	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	
Aanleggegevens			
Ligging: Kruising met een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 10.653	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 II:		Fatigue Load Model 2, Lorry 4		
Niet rekenen met ontlastende invloed wegdek				
			15-12-2021 12:35:23	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2020 3.0 ©
1. Eigenschappen van de leiding			
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 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			
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			
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 18 \cdot 4,4 = 87,12$ kN/m ² $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 87,12 \cdot 10^{-3} \cdot 315 = 27,44$ N/mm ¹			
7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p			
$q_p = q_n \cdot (1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o})$ $q_p = 87,12 \cdot (1 + 0,3 \cdot \frac{4,4}{0,315}) = 452,19$ kN/m ² $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 452,19 \cdot 10^{-3} \cdot 315 = 142,44$ N/mm ¹			
			15-12-2021 12:35:23

8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k

$$\kappa = 1 - \sin(\varphi) = 1 - \sin(32,5) = 0,463$$

$$\nu = \frac{\kappa}{1 + \kappa} = \frac{0,463}{1 + 0,463} = 0,32$$

$$E_{100, \text{norm}} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,5} = 45 \cdot (87,12/100)^{0,5} = 42,00 \text{ MN/m}^2$$

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

$$E_1 = 42,00 / \frac{1 - 0,32 - 2 \cdot 0,32^2}{1 - 0,32} = 59,39 \text{ MN/m}^2$$

$$z_{\text{max}} = 0,2 \cdot \frac{D_o}{E_1^{0,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$$

$$z_{\text{max}} = 0,2 \cdot \frac{0,315}{59,39^{0,5} \cdot \sqrt{4,4/0,315}} = 0,0022 \text{ m}$$

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

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

$$q_k = 87,12 + \frac{0,02 \cdot 0,315}{0,0022} \cdot (452,19 - 87,12)$$

$$q_k = 87,12 + \frac{452,19 - 87,12}{1 + \frac{0,0190 \cdot 10^6}{0,0022}} = 194,59 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 194,59 \cdot 10^{-3} \cdot 315 = 61,29 \text{ N/mm}^1$$

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

Niet rekenen met ontlastende invloed

$$q_v = 4,70 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_v = q_v \cdot D_o$$

$$Q_v = 4,70 \cdot 10^{-3} \cdot 315 = 1,48 \text{ N/mm}^1$$

10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{315 \cdot 0,049}{4 \cdot 975 \cdot 267.145.739,35}} = 0,0020 \text{ mm}^{-1}$$

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

$$\text{Zettingslengte } L = 10.653 \text{ mm}$$

$$\lambda \cdot L = 0,0020 \cdot 10.653 = 20,90$$

$$i = 0,900 \text{ (= 90,0 \% inklemming)}$$

$$B_z = 0,000360 \text{ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)}$$

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

$$Q_z = 0,000360 \cdot 5,0 \cdot 315 \cdot 0,049 = 0,028 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,028 \cdot 0,0020 \cdot 10.653 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0020 \cdot 10.653}{6}\right) = 2,34 \text{ N/mm}^1$$

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

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

$$Q_z = 0,000360 \cdot (5,0 + 2,0 \cdot 20,0) \cdot 315 \cdot 0,049 = 0,25 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,25 \cdot 0,0020 \cdot 10.653 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0020 \cdot 10.653}{6} \right) = 21,06 \text{ N/mm}^1$$

13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen

Berekening evenwichtsdraagvermogen

$$N_q = e^{\pi \tan(\varphi)} \cdot \tan^2(45^\circ + \varphi/2) = 24,58$$

$$N_y = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi) = 22,54$$

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

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 4,40 + 0,32 / 2 = 4,56 \text{ m}$$

$$S_y = 1 - 0,4 \cdot B/L = 0,96$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 1,41$$

$$\gamma'_{\text{gem}} = (q_n + \gamma \cdot \gamma_d \cdot D_o / 2) / Z = 19,80 \text{ kN/m}^3$$

$$P_{we} = 0,95 \cdot (0,5 \cdot \gamma'_{\text{gem}} \cdot D_o \cdot N_y \cdot S_y \cdot d_y + S_q \cdot N_q \cdot d_q \cdot (q_n + c' \cdot \cot(\varphi)) - c' \cdot \cot(\varphi))$$

$$P_{we} = 3.086,47 \text{ kN/m}^2 = 3,09 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weD_o} = P_{we} \cdot D_o = 3,09 \cdot 315,00 = 972,24 \text{ N/mm}^1$$

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>
$Q_k = 61,29 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_n = 27,44 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig
$Q_v = 1,48 \text{ N/mm}^1$		$Q_v = 1,48 \text{ N/mm}^1$	
$Q_d = 2,34 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 21,06 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 65,12 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 49,99 \text{ N/mm}^1$	

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

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

$$M_q = 0,177 \cdot (61,29 + 1,48) \cdot 143,15 - 0,143 \cdot (1 - \sin(32,5^\circ)) \cdot \sin(1/2 \cdot 120^\circ) \cdot (61,29 + 1,48) \cdot 143,15$$

$$M_q = 1.075,65 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 2,34 \cdot 143,15$$

$$M_{qd} = 40,87 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 1,00 \cdot (1.075,65 + 40,87) / 137,28 = 8,13 \text{ N/mm}^2$$

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 (na 2 jaar)	
<p><i>Moment t.g.v. Q_n en Q_v</i></p> $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,177 \cdot (27,44 + 1,48) \cdot 143,15 - 0,143 \cdot (1 - \sin(32,5^\circ)) \cdot \sin(1/2 \cdot 120^\circ) \cdot (27,44 + 1,48) \cdot 143,15$ $M_q = 495,61 \text{ Nmm/mm}^1$ <p><i>Moment t.g.v. Q_d</i></p> $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 21,06 \cdot 143,15$ $M_{qd} = 367,82 \text{ Nmm/mm}^1$ <p><i>Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}</i></p> $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 1,00 \cdot (495,61 + 367,82) / 137,28 = \mathbf{6,29 \text{ N/mm}^2}$	
16. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v	
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot 5,0 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,049}{28,7}} = \mathbf{0,12 \text{ N/mm}^2}$	
17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z	
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot (5,0 + 2,0 \cdot 20,0) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,049}{28,7}} = \mathbf{1,11 \text{ N/mm}^2}$	
18. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil	
<p>Leiding is drukloos</p> $\sigma_{ax} = \mathbf{0 \text{ N/mm}^2}$	
19. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht	
<p>Berekening van de factoren i_x, i_{xp}, i_y en i_{yp} van de bocht:</p> $r = \left(\frac{D_e}{2} + \frac{D_e - 2 \cdot t}{2} \right) / 2 = 143,15 \text{ mm}$ $h = \frac{t \cdot R}{r^2} = \frac{28,7 \cdot 20000,00}{143,15^2} = 28,01$ $k = \frac{1,65}{h} = \frac{1,65}{28,01} = 0,059$ $i_x = \frac{0,9}{h^{(2/3)}} = \frac{0,9}{28,01^{(2/3)}} = 0,10$ $i_y = 2 \cdot i_x = 2 \cdot 0,10 = 0,20$ $i_x < 1 \rightarrow i_x = 1,00$	
	15-12-2021 12:35:23

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2020 3.0 ©
20. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N	
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{1.969,99}{286,3^3} = 0,0818 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,85 \text{ kN/m}^2}$ <p>Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²</p>	
21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk	
<p>Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$</p> $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 1.969,99}{286,30^3} = 1,56 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 1.969,99}{286,30^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$ <p>Conclusie: Kans op implosie bij 27,98 m grondwater boven de leiding</p>	
22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (27,44 + \frac{1}{2} \cdot 1,48) - 0,095 \cdot (1 - \sin(32,5^\circ)) \cdot (27,44 + \frac{1}{2} \cdot 1,48) + 0,048 \cdot 21,06) \cdot 143,15^3}{350 \cdot 1.969,99} = \mathbf{9,70 \text{ mm} (= 3,39\%)}$ <p>Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · $D_g = 0,08 \cdot 0,75 \cdot 286,30 = \mathbf{17,18 \text{ mm}}$</p>	
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)	
<p>Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding</p> $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + i_y \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (8,13 + 0,20 \cdot 0,12) = \mathbf{5,30 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot i_x \cdot \sigma_{bx}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,12 = \mathbf{0,08 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$</p>	
24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)	
<p>Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding</p> $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + i_y \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (6,29 + 0,20 \cdot 1,11) = \mathbf{4,23 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot i_x \cdot \sigma_{bx}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 1,00 \cdot 1,11 = \mathbf{0,72 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$</p>	
	15-12-2021 12:35:23

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 : Enexis 315 SDR11 doorsnede 4 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	= 315,00	mm
Wanddikte	d _n	= 28,7	mm
Wanddikte bocht	t	= 28,7	mm
Bochtstraal	R	= 20.000,00	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	
Aanleggegevens			
Ligging: Kruising met een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 10.004	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
		15-12-2021 12:48:27	

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	

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	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 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				
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				
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$ $q_n = 1,1 \cdot 18 \cdot 0 + 1,1 \cdot 20 \cdot 4,85 - 10 \cdot 4,85 = 58,20$ kN/m ² $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 58,20 \cdot 10^{-3} \cdot 315 = 18,33$ N/mm ¹				
7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p				
$q_p = q_n \cdot (1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o})$ $q_p = 58,20 \cdot (1 + 0,3 \cdot \frac{4,85}{0,315}) = 327,03$ kN/m ² $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 327,03 \cdot 10^{-3} \cdot 315 = 103,01$ N/mm ¹				
				15-12-2021 12:48:27

8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k

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

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

$$E_{100, \text{norm}} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,5} = 75 \cdot (58,20/100)^{0,5} = 57,22 \text{ MN/m}^2$$

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

$$E_1 = 57,22 / \frac{1 - 0,30 - 2 \cdot 0,30^2}{1 - 0,30} = 76,80 \text{ MN/m}^2$$

$$z_{\text{max}} = 0,2 \cdot \frac{D_o}{E_1^{0,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$$

$$z_{\text{max}} = 0,2 \cdot \frac{0,315}{76,80^{0,5} \cdot \sqrt{4,85/0,315}} = 0,0018 \text{ m}$$

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

$$q_k = 58,20 + \frac{\frac{0,02 \cdot 0,315}{0,0018} \cdot (327,03 - 58,20)}{1 + \frac{327,03 - 58,20}{0,0018 \cdot 0,0400 \cdot 10^6}} = 256,22 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 256,22 \cdot 10^{-3} \cdot 315 = 80,71 \text{ N/mm}^1$$

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

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{315 \cdot 0,063}{4 \cdot 975 \cdot 267.145.739,35}} = 0,0021 \text{ mm}^{-1}$$

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

$$\text{Zettingslengte } L = 10.004 \text{ mm}$$

$$\lambda \cdot L = 0,0021 \cdot 10.004 = 20,90$$

$$i = 0,900 \text{ (= 90,0 \% inklemming)}$$

$$B_z = 0,000360 \text{ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)}$$

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

$$Q_z = 0,000360 \cdot 5 \cdot 315 \cdot 0,063 = 0,036 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,036 \cdot 0,0021 \cdot 10.004 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0021 \cdot 10.004}{6}\right) = 3,01 \text{ N/mm}^1$$

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

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

$$Q_z = 0,000360 \cdot (5 + 2,0 \cdot 0) \cdot 315 \cdot 0,063 = 0,036 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,036 \cdot 0,0021 \cdot 10.004 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0021 \cdot 10.004}{6} \right) = 3,01 \text{ N/mm}^1$$

13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen

Berekening evenwichtsdraagvermogen

$$N_q = e^{\pi \tan(\varphi)} \cdot \tan^2(45^\circ + \varphi/2) = 33,30$$

$$N_y = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi) = 33,92$$

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

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 4,85 + 0,32 / 2 = 5,01 \text{ m}$$

$$S_y = 1 - 0,4 \cdot B/L = 0,96$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 1,38$$

$$\gamma'_{\text{gem}} = (q_n + (\gamma' \gamma_n - \gamma_w) \cdot D_o / 2) / Z = 12,00 \text{ kN/m}^3$$

$$P_{we} = 0,95 \cdot (0,5 \cdot \gamma'_{\text{gem}} \cdot D_o \cdot N_y \cdot S_y \cdot d_y + S_q \cdot N_q \cdot d_q \cdot (q_n + c' \cdot \cot(\varphi)) - c' \cdot \cot(\varphi))$$

$$P_{we} = 2.752,47 \text{ kN/m}^2 = 2,75 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weD_o} = P_{we} \cdot D_o = 2,75 \cdot 315,00 = 867,03 \text{ N/mm}^1$$

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>
$Q_k = 80,71 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_n = 18,33 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig
$Q_v = 0,00 \text{ N/mm}^1$		$Q_v = 0,00 \text{ N/mm}^1$	
$Q_d = 3,01 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 3,01 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 83,72 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 21,34 \text{ N/mm}^1$	

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

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

$$M_q = 0,177 \cdot (80,71 + 0,00) \cdot 143,15 - 0,143 \cdot (1 - \sin(35^\circ)) \cdot \sin(1/2 \cdot 120^\circ) \cdot (80,71 + 0,00) \cdot 143,15$$

$$M_q = 1.434,84 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 3,01 \cdot 143,15$$

$$M_{qd} = 52,55 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 1,00 \cdot (1.434,84 + 52,55) / 137,28 = \mathbf{10,83 \text{ N/mm}^2}$$

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 (na 2 jaar)	
<p><i>Moment t.g.v. Q_n en Q_v</i></p> $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,177 \cdot (18,33 + 0,00) \cdot 143,15 - 0,143 \cdot (1 - \sin(35^\circ)) \cdot \sin(1/2 \cdot 120^\circ) \cdot (18,33 + 0,00) \cdot 143,15$ $M_q = 325,92 \text{ Nmm/mm}^1$ <p><i>Moment t.g.v. Q_d</i></p> $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 3,01 \cdot 143,15$ $M_{qd} = 52,55 \text{ Nmm/mm}^1$ <p><i>Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}</i></p> $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 1,00 \cdot (325,92 + 52,55) / 137,28 = \mathbf{2,76 \text{ N/mm}^2}$	
16. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v	
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot 5 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,063}{28,7}} = \mathbf{0,14 \text{ N/mm}^2}$	
17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z	
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot (5 + 2,0 \cdot 0) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,063}{28,7}} = \mathbf{0,14 \text{ N/mm}^2}$	
18. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil	
<p>Leiding is drukloos</p> $\sigma_{ax} = \mathbf{0 \text{ N/mm}^2}$	
19. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht	
<p>Berekening van de factoren i_x, i_{xp}, i_y en i_{yp} van de bocht:</p> $r = \left(\frac{D_e}{2} + \frac{D_e - 2 \cdot t}{2} \right) / 2 = 143,15 \text{ mm}$ $h = \frac{t \cdot R}{r^2} = \frac{28,7 \cdot 20000,00}{143,15^2} = 28,01$ $k = \frac{1,65}{h} = \frac{1,65}{28,01} = 0,059$ $i_x = \frac{0,9}{h^{(2/3)}} = \frac{0,9}{28,01^{(2/3)}} = 0,10$ $i_y = 2 \cdot i_x = 2 \cdot 0,10 = 0,20$ $i_x < 1 \rightarrow i_x = 1,00$	
	15-12-2021 12:48:27

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 3.0 ©
20. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N		
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{1.969,99}{286,3^3} = 0,0818 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,85 \text{ kN/m}^2}$ 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: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 1.969,99}{286,30^3} = 1,56 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 1.969,99}{286,30^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij 27,98 m grondwater boven de leiding		
22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie		
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (18,33 + \frac{1}{2} \cdot 0,00) - 0,095 \cdot (1 - \sin(35^\circ)) \cdot (18,33 + \frac{1}{2} \cdot 0,00) + 0,048 \cdot 3,01) \cdot 143,15^3}{350 \cdot 1.969,99} = \mathbf{4,40 \text{ mm}} (= 1,54\%)$ Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · $D_g = 0,08 \cdot 0,75 \cdot 286,30 = \mathbf{17,18 \text{ mm}}$		
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)		
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + i_y \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (10,83 + 0,20 \cdot 0,14) = \mathbf{7,06 \text{ N/mm}^2}$ 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 $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + i_y \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (2,76 + 0,20 \cdot 0,14) = \mathbf{1,81 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot i_x \cdot \sigma_{bx}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,14 = \mathbf{0,09 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$		
		15-12-2021 12:48:27

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 : Enexis 315 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	= 315,00	mm
Wanddikte	d _n	= 28,7	mm
Geen bocht aanwezig			
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	
Aanleggegevens			
Ligging: Kruising met een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 10.004	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

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				
			15-12-2021 12:57:58	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2020 3.0 ©
1. Eigenschappen van de leiding			
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 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			
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			
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$ $q_n = 1,1 \cdot 18 \cdot 0 + 1,1 \cdot 20 \cdot 2,00 - 10 \cdot 2,00 = 24,00$ kN/m ² $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 24,00 \cdot 10^{-3} \cdot 315 = 7,56$ N/mm ¹			
7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p			
$q_p = q_n \cdot (1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o})$ $q_p = 24,00 \cdot (1 + 0,3 \cdot \frac{2,00}{0,315}) = 69,71$ kN/m ² $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 69,71 \cdot 10^{-3} \cdot 315 = 21,96$ N/mm ¹			
			15-12-2021 12:57:58

8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k

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

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

$$E_{100, \text{norm}} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,5} = 75 \cdot (24,00/100)^{0,5} = 36,74 \text{ MN/m}^2$$

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

$$E_1 = 36,74 / \frac{1 - 0,30 - 2 \cdot 0,30^2}{1 - 0,30} = 49,32 \text{ MN/m}^2$$

$$z_{\text{max}} = 0,2 \cdot \frac{D_o}{E_1^{0,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$$

$$z_{\text{max}} = 0,2 \cdot \frac{0,315}{49,32^{0,5} \cdot \sqrt{2,00/0,315}} = 0,0036 \text{ m}$$

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

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

$$\frac{0,02 \cdot 0,315}{0,0036} \cdot (69,71 - 24,00)$$

$$q_k = 24,00 + \frac{0,0036}{1 + \frac{69,71 - 24,00}{0,0036 \cdot 0,0400 \cdot 10^6}} = 85,24 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 85,24 \cdot 10^{-3} \cdot 315 = 26,85 \text{ N/mm}^1$$

Aanpassing van Q_k nodig $\rightarrow Q_k > Q_p \rightarrow Q_k = Q_p = 21,96 \text{ N/mm}^1$

9. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Grafiek 1/2 x II NEN 3650-1:C.17

Niet rekenen met ontlastende invloed

$$q_v = 6,54 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_v = q_v \cdot D_o$$

$$Q_v = 6,54 \cdot 10^{-3} \cdot 315 = 2,06 \text{ N/mm}^1$$

10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding I

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{315 \cdot 0,063}{4 \cdot 975 \cdot 267.145.739,35}} = 0,0021 \text{ mm}^{-1}$$

11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1^e en 2^e jaar)Zettingslengte $L = 10.004 \text{ mm}$

$$\lambda \cdot L = 0,0021 \cdot 10.004 = 20,90$$

 $i = 0,900$ (= 90,0 % inklemming) $B_z = 0,000360$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)

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

$$Q_z = 0,000360 \cdot 5 \cdot 315 \cdot 0,063 = 0,036 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,036 \cdot 0,0021 \cdot 10.004 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0021 \cdot 10.004}{6} \right) = 3,01 \text{ N/mm}^1$$

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

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

$$Q_z = 0,000360 \cdot (5 + 2,0 \cdot 0) \cdot 315 \cdot 0,063 = 0,036 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,036 \cdot 0,0021 \cdot 10.004 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0021 \cdot 10.004}{6} \right) = 3,01 \text{ N/mm}^1$$

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

$$N_q = e^{\pi \tan(\varphi)} \cdot \tan^2(45^\circ + \varphi/2) = 33,30$$

$$N_y = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi) = 33,92$$

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

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 2,00 + 0,32 / 2 = 2,16 \text{ m}$$

$$S_y = 1 - 0,4 \cdot B/L = 0,96$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 1,36$$

$$\gamma'_{\text{gem}} = (q_n + (\gamma \cdot \gamma_n \cdot \gamma_w) \cdot D_o / 2) / Z = 12,00 \text{ kN/m}^3$$

$$P_{we} = 0,95 \cdot (0,5 \cdot \gamma'_{\text{gem}} \cdot D_o \cdot N_y \cdot S_y \cdot d_y + S_q \cdot N_q \cdot d_q \cdot (q_n + c' \cdot \cot(\varphi)) - c' \cdot \cot(\varphi))$$

$$P_{we} = 1.152,61 \text{ kN/m}^2 = 1,15 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 1,15 \cdot 315,00 = 363,07 \text{ N/mm}^1$$

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>
$Q_k = 21,96 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_n = 7,56 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig
$Q_v = 2,06 \text{ N/mm}^1$		$Q_v = 2,06 \text{ N/mm}^1$	
$Q_d = 3,01 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 3,01 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 27,03 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 12,63 \text{ N/mm}^1$	

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)	
<p><i>Moment t.g.v. Q_k en Q_v</i></p> $M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,177 \cdot (21,96 + 2,06) \cdot 143,15 - 0,143 \cdot (1 - \sin(35^\circ)) \cdot \sin(1/2 \cdot 120^\circ) \cdot (21,96 + 2,06) \cdot 143,15$ $M_q = 427,03 \text{ Nmm/mm}^1$ <p><i>Moment t.g.v. Q_d</i></p> $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 3,01 \cdot 143,15$ $M_{qd} = 52,55 \text{ Nmm/mm}^1$ <p><i>Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}</i></p> $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 1,00 \cdot (427,03 + 52,55) / 137,28 = \mathbf{3,49 \text{ N/mm}^2}$	
15. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (na 2 jaar)	
<p><i>Moment t.g.v. Q_n en Q_v</i></p> $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,177 \cdot (7,56 + 2,06) \cdot 143,15 - 0,143 \cdot (1 - \sin(35^\circ)) \cdot \sin(1/2 \cdot 120^\circ) \cdot (7,56 + 2,06) \cdot 143,15$ $M_q = 171,02 \text{ Nmm/mm}^1$ <p><i>Moment t.g.v. Q_d</i></p> $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 3,01 \cdot 143,15$ $M_{qd} = 52,55 \text{ Nmm/mm}^1$ <p><i>Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}</i></p> $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 1,00 \cdot (171,02 + 52,55) / 137,28 = \mathbf{1,63 \text{ N/mm}^2}$	
16. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v	
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot 5 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,063}{28,7}} = \mathbf{0,14 \text{ N/mm}^2}$	
17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z	
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot (5 + 2,0 \cdot 0) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,063}{28,7}} = \mathbf{0,14 \text{ N/mm}^2}$	
	15-12-2021 12:57:58

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2020 3.0 ©
18. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil	
Leiding is drukloos $\sigma_{ax} = 0 \text{ N/mm}^2$	
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	
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{1.969,99}{286,3^3} = 0,0818 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,85 \text{ kN/m}^2}$ 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: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 1.969,99}{286,30^3} = 1,56 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 1.969,99}{286,30^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij 27,98 m grondwater boven de leiding	
22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (7,56 + \frac{1}{2} \cdot 2,06) - 0,095 \cdot (1 - \sin(35^\circ)) \cdot (7,56 + \frac{1}{2} \cdot 2,06) + 0,048 \cdot 3,01) \cdot 143,15^3}{350 \cdot 1.969,99} = \mathbf{2,39 \text{ mm}} (= 0,83\%)$ Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · $D_g = 0,08 \cdot 0,75 \cdot 286,30 = \mathbf{17,18 \text{ mm}}$	
	15-12-2021 12:57:58

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

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

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

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 3,49 = \mathbf{2,27 \text{ N/mm}^2}$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

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

$$\sigma_x = 0,65 \cdot 0,14 = \mathbf{0,09 \text{ N/mm}^2}$$

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

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

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

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

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 1,63 = \mathbf{1,06 \text{ N/mm}^2}$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

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

$$\sigma_x = 0,65 \cdot 0,14 = \mathbf{0,09 \text{ N/mm}^2}$$

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

B5 BEREKENING VAN HET EIGENGEWICHT

Deadweight berekening

Project Consortium Grensmaas
Datum 30-12-2021

Leiding

Diameter	315	mm		
Wanddikte	28,7	mm		
Dichtheid	950	kg/m ³		
Massa leiding			0,241	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**

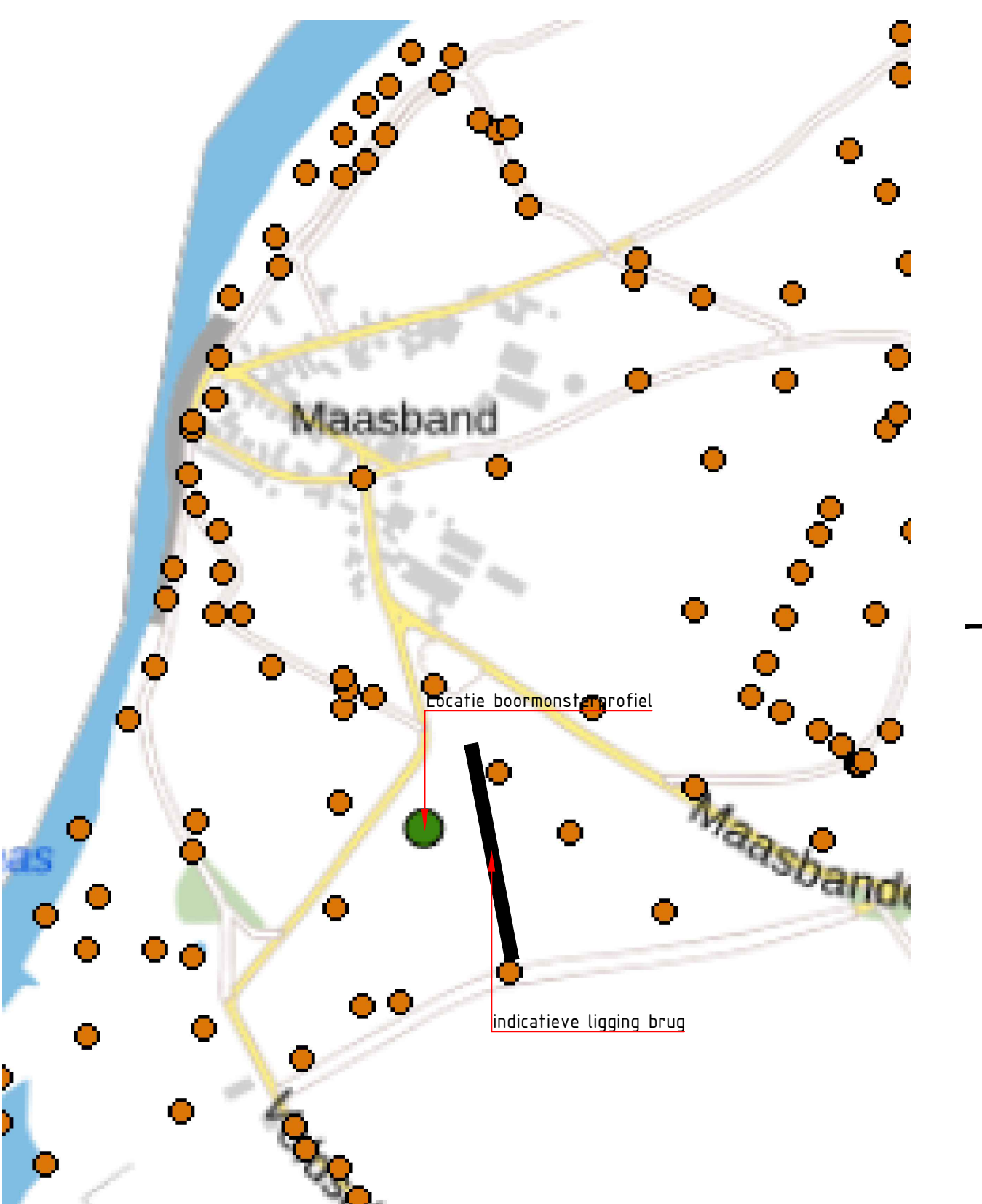
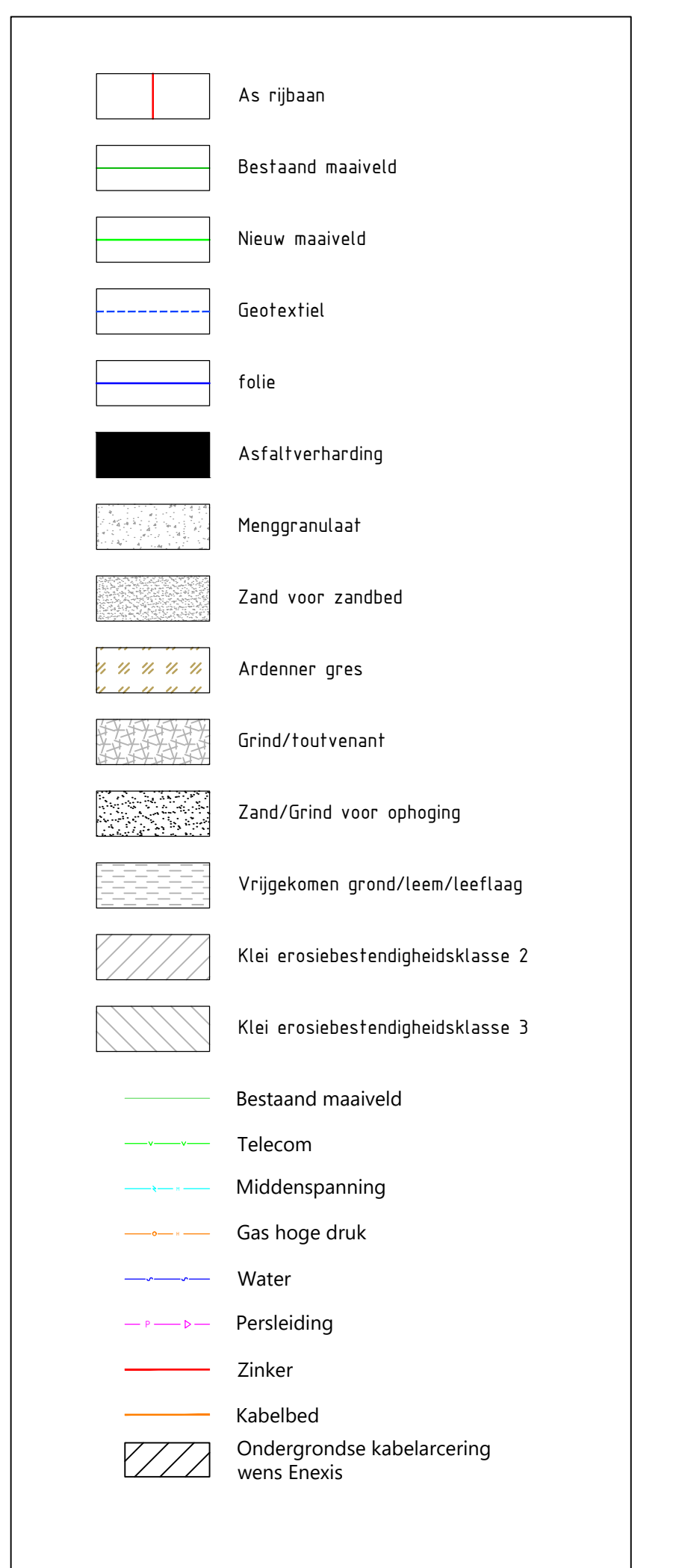
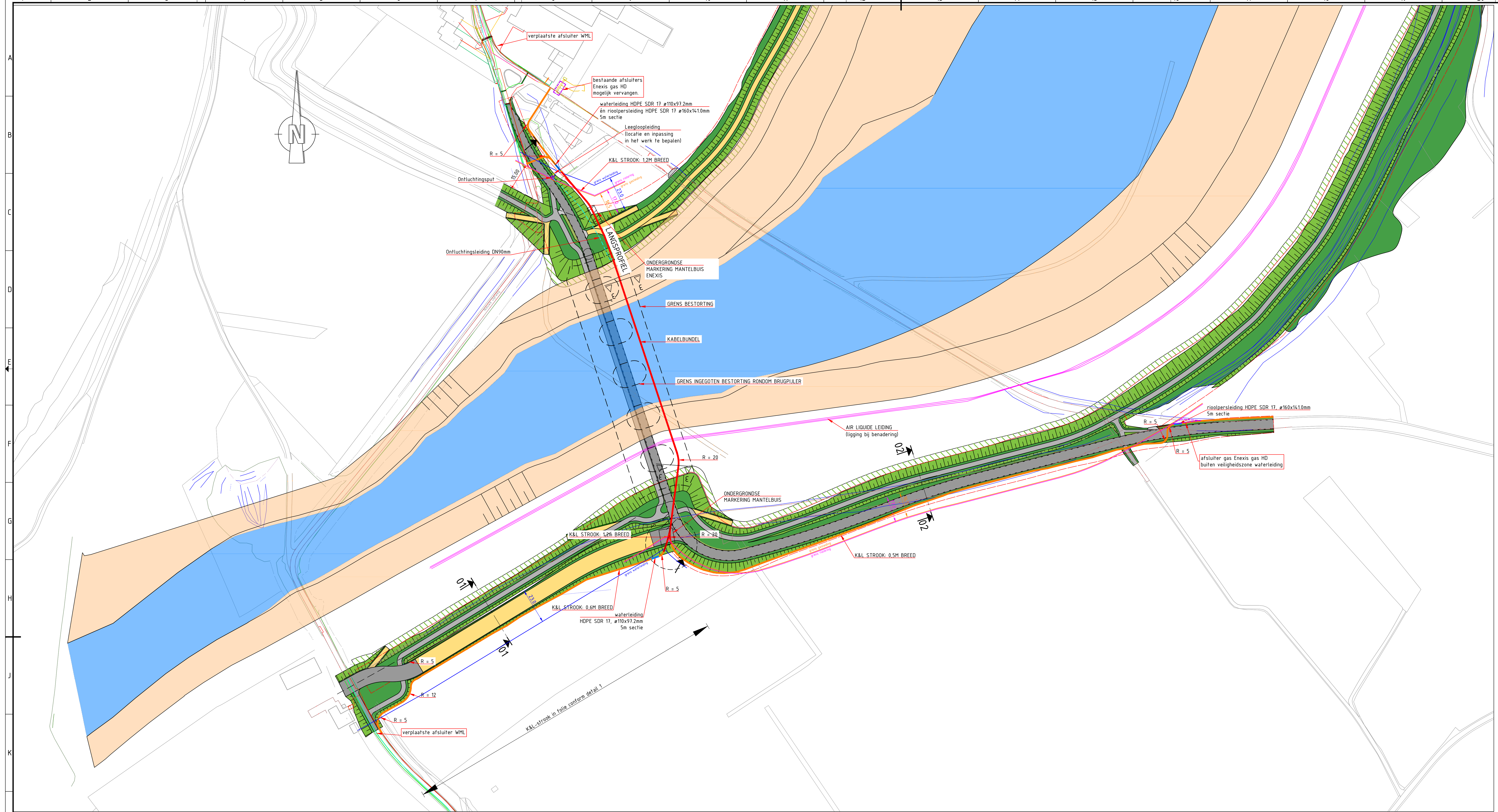
Dichtheid water	1000	kg/m ³		
Massa opdrijf			-0,765	N/mm

Massa totaal			-0,524	N/mm
---------------------	--	--	---------------	-------------

B6 BEREKENING VEILIGHEIDSZONE

Berekening van de veiligheidszone conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2020 3.0 ©
Algemene gegevens			
Naam van het project : Grensmaas Project Projectonderdeel : Enexis 110 SDR11			
Gegevens van de leiding			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Gas	
Ontwerpdruk	p_d	= 1,0	N/mm ²
Volumieke massa medium	ρ	= 0,833	kg/m ³
Expansie constante	κ	= 1,33	
Afmetingen van de leiding			
Uitwendige middellijn	D_e	= 110	mm
Wanddikte	d_n	= 10	mm
Inwendige middellijn	D_i	= 90	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 1,0	m
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld	H_{werk}	= 3,4	m
Berekening van de halve breedte van de erosiekrater G_B			
$\rho_0 = \rho_{\text{omg}} \cdot \frac{p_0}{10.000} = 0,833 \cdot \frac{100000,0}{10.000} = 8,33 \text{ kg/m}^3$			
$u^* = \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa}{\kappa + 1} \cdot \frac{p_0}{\rho_0}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,33}{1,33 + 1} \cdot \frac{100000,0}{8,33}} = 117,07 \text{ m/s}$			
$p^* = p_0 \cdot \left(\frac{2}{\kappa + 1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}} = 10,0 \cdot \left(\frac{2}{1,33 + 1} \right)^{\frac{1,33}{1,33 - 1}} = 54036,40 \text{ kg/m}^2 = 5,40 \text{ bar}$			
$\rho^* = \rho_0 \cdot \left(\frac{p^*}{p_0} \right)^{\frac{1}{\kappa}} = 8,33 \cdot \left(\frac{54036,40}{100000,0 + 1} \right)^{\frac{1}{1,33}} = 5,24 \text{ kg/m}^3$			
$Q^* = \rho^* \cdot u^* \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot D_i^2 = 5,24 \cdot 117,07 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 0,09^2 = 3,91 \text{ kg/s}$			
$I = Q^* \cdot u^* + (p^* - p_{\text{omg}}) \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot D_i^2 = 3,91 \cdot 117,07 + 440364,02 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 0,09^2 = 3.258,68 \text{ N}$			
$w = 5,00 \% \rightarrow R(w) = 0,025$			
$D_k = 40 \cdot R(w) \cdot D_0 + H = 40 \cdot 0,025 \cdot 0,11 + 1,00 = 1,11 \text{ m}$			
$G_B = R(w) \cdot \left\{ \frac{g}{D_k^2} \cdot \left(\frac{I}{\rho_{\text{omg}} \cdot g} \right)^3 \cdot t^2 \right\}^{0,125} = 0,025 \cdot \left\{ \frac{9,81}{1,11^2} \cdot \left(\frac{3.258,68}{0,83 \cdot 9,81} \right)^3 \cdot 7.200^2 \right\}^{0,125} = 2,82 \text{ m}$			
Bij hogedrukleidingen (druk groter of gelijk aan 1 MPa (10 bar)) zijn deze berekeningen indicatief.			

Berekening van de veiligheidszone conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2020 3.0 ©
Berekening van de halve lengte van de erosiekrater G_L	
$G_L = G_B / 4 = 2,82 / 4 = 0,70 \text{ m}$	
Berekening van de veiligheidszone	
<p><i>Indien er sprake is van een evenwijdige ligging met een waterkering:</i> Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + G_B = 4 \cdot 3,40 + 2,82 = 16,42 \text{ m}$</p> <p><i>Indien er sprake is van een kruising met een waterkering:</i> Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + G_L = 4 \cdot 3,40 + 0,70 = 14,30 \text{ m}$</p>	
<div>3.0.0.4/05-2021/10-8415536-1</div> <div>14-12-2021 18:42:54</div>	

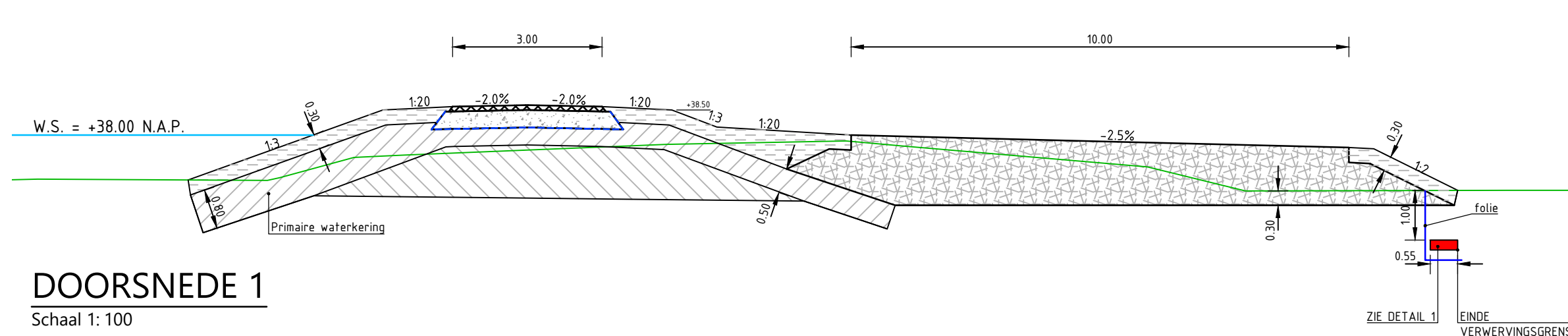
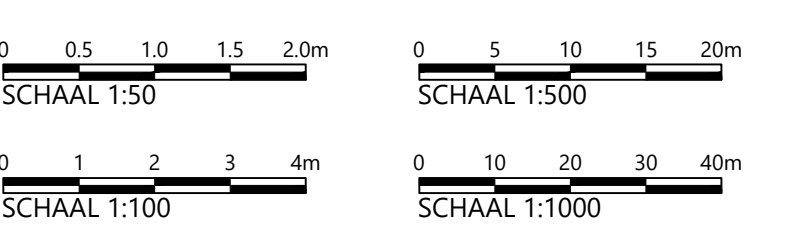


LOCATIE BOORMONSTERPROFIEL

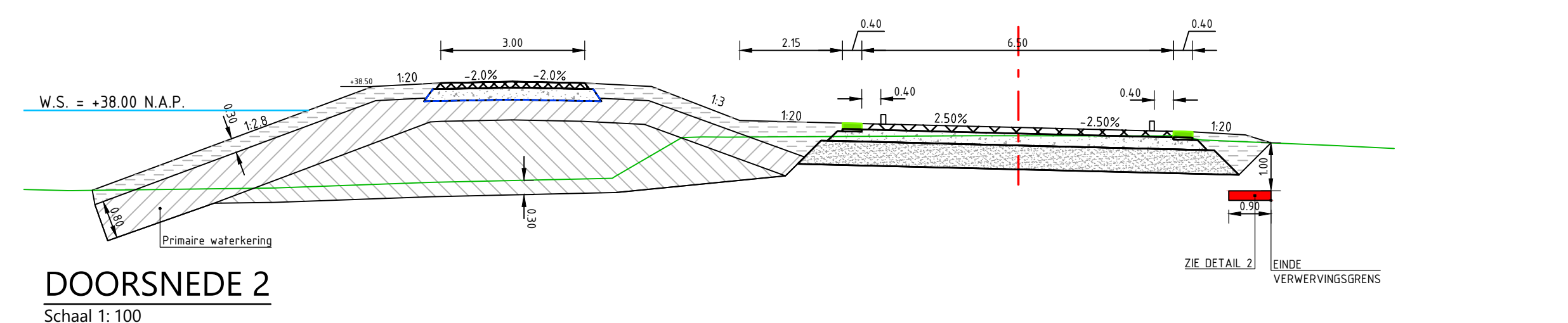
LEGENDA

OPMERKINGEN

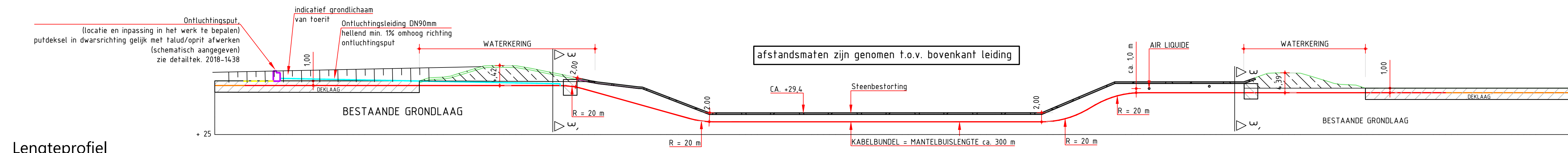
- Maten in meters (m), tenzij anders vermeld.
- Hoogtematen in meters (m) ten opzichte van N.A.P., tenzij anders vermeld.
- Hoekmaten in graden (360°), tenzij anders vermeld.
- Coördinaten in meters (m) in het RD-stelsel (Netherlands RD, oblique stereographic projection).
- Legenda verder verklaard in tekeningen 105925-2021-2035 DO dijkluchten.
- Grondopbouw op basis van DINOloket data, identificatie boormonsterprofiel 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 aansluiting bij het bedrijventerrein van L'orty dient nog nader te worden uitgewerkt.



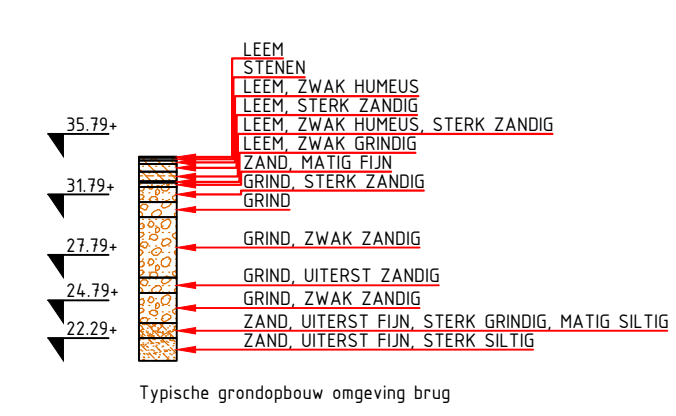
DOORSNEDE 1
Schaal 1: 100



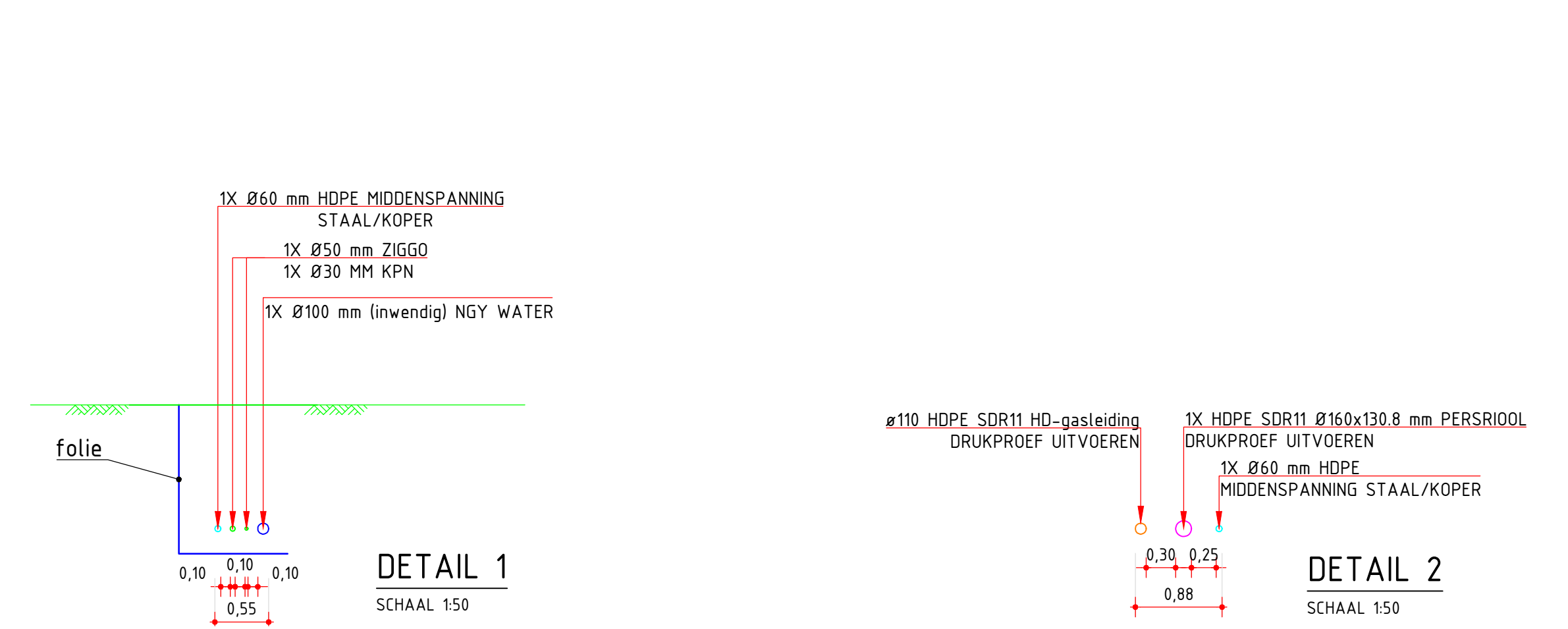
DOORSNEDE 2
Schaal 1: 100



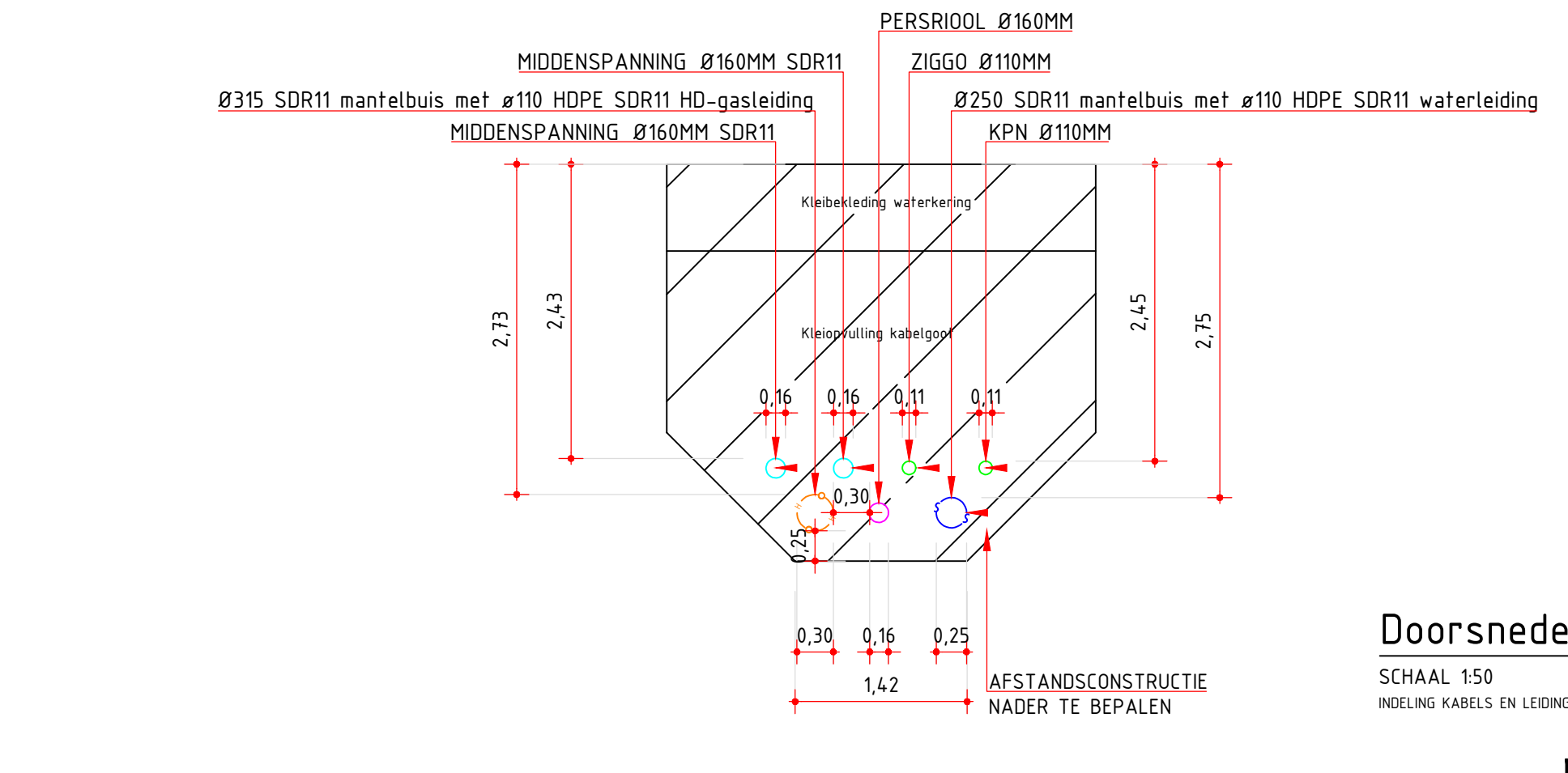
Lengteprofiel
Schaal 1: 500



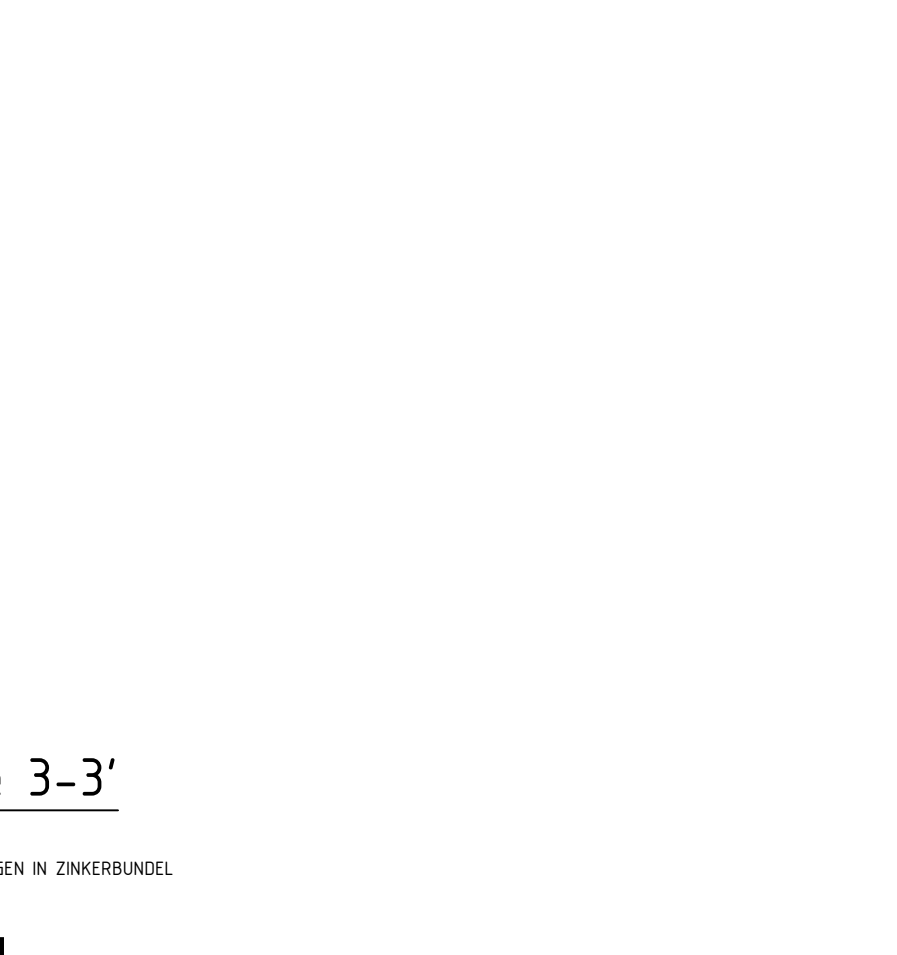
Typische grondopbouw omgeving brug



DETAIL 1
SCHAAL 150



DETAIL 2
SCHAAL 150



Doorsnede 3-3'
SCHAAL 150
INDIENING KABELS EN LEIDINGEN IN ZINKERBUNDEL

0 21-03-2022	
Versie	Datum
0	21-03-2022

Opsteller	
Par	Verificatie
Par	Verificatie

Verlegging persleiding HW-geul Maasband

Onderdeel: Definitief ontwerp kabels en leidingen tracés Variant 3

Opdrachtgever: CV Projectbureau Grensmaas

Formaat: A0

Schaal: 1: 1000

Projectnummer: CGM006-0001

Tekeningnummer: 2022-0546

Behorende bij doc. nr.:

088 - 3366333
info@kragten.nl
www.kragten.nl

kragten

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100