



Kraterberekeningen Molendijk

**Onderhoudswerkzaamheden MVOI voor
Brabant Water**

projectnummer 0478471.100
concept revisie 03
8 juli 2022

Kraterberekeningen Molendijk

Onderhoudswerkzaamheden MVOI voor Brabant Water

projectnummer 0478471.100
documentnummer 20220306-478471
concept revisie 03
8 juli 2022

Auteurs

Opdrachtgever

MVOI B.V.
Edisonweg 1
2964 LK Groot-Ammers

Gecontroleerd:

datum	beschrijving	vrijgave
8 juli 2022		

Inhoudsopgave

Blz.

1	Inleiding	1
2	Casus	2
2.1	Regionale waterkering	2
2.2	Verordening water Noord-Brabant, artikel 2.1 en 2.2	3
3	Molendijk	4
3.1	Kraterberekeningen PE 160	4
4	NEN3650 – 3651	5
5	Conclusies	7
5.1	Molendijk	7
5.2	Overall conclusie	7
6	Aanvullende maatregelen	8
7	Bijlagen	9
7.1	Kraterberekeningen Molendijk	
7.2	Routekaarten: VO_40038 X-02351-01 Moerdijk-Standaardbuiten-Molendijk	
7.3	Ligging waterleiding ten opzichte van regionale waterkering	
7.4	OS Drinkwaterleiding Ø63mm PE100 SDR11 (Molendijk 23-24)	
7.5	OS Drinkwaterleiding Ø110mm PE100 SDR11 (Molendijk 10a tm 24)	
7.6	OS Drinkwaterleiding Ø160mm PE100 SDR11 (Huizersdijk)	
7.7	OS Drinkwaterleiding Ø160mm PE100 SDR11 (Molendijk 27-33a)	
7.8	Locatie grondonderzoek Dinoloket	

1 Inleiding

MVOI vervangt jaarlijks, in opdracht van Brabant Water, een hoeveelheid waterleiding die geselecteerd wordt op lekkage en overlast. Dit jaar zijn dat o.a. Goudbloemsedijk in Heoven en de Molendijk in Moerdijk, beide leidingen liggen in een secundaire waterkering van de Mark en tegenover elkaar. Overleg met Waterschap Brabantse Delta hierover loopt al enige tijd. Op dit moment zijn de ontwerptekeningen grotendeels gereed. Een deel van de leidingen zal volledig vervangen worden en een deel van de nieuw te leggen leidingen wordt ingetrokken in de bestaande (verouderde) leidingen. Door het toepassen van de intrek methode kunnen graafwerkzaamheden in het dijklichaam tot een minimum worden beperkt.

De constructie van een ligging in de bestaande leiding geeft de mogelijkheid om de “mantelbuis” te voorzien van openingen boven het maaiveld waar, in het geval van een lekkage, uittreding van water plaats kan vinden. Deze methode mitigeert het optreden van erosiekraters. Ter plaatse van de huisaansluitingen is deze constructie niet mogelijk en blijft het risico op een erosiekrater bestaan.



2 Casus

De leidingen van Brabant Water zijn in het gebied reeds geruime tijd in of naast de dijken aanwezig en vormen een primair onderdeel van het dagelijks leven. Vanwege deformaties in een dijklichaam en de ondergrond zijn leidingen in dijken over algemeen onderhoudsgevoelig en kunnen ze van invloed zijn op de veiligheid van de waterkering. Deze casus legt de focus op het identificeren van mogelijke risico's voor een dijklichaam, van een regionale waterkering, veroorzaakt door lekkage van een waterleiding. Meer specifiek wordt er gekeken naar het (nieuwe) type leiding dat wordt aangelegd en de ontgrondingskuil (erosiekrater) die kan optreden bij een lekkage.

2.1 Regionale waterkering

"Regionale waterkeringen

Een regionale kering in het beheergebied van waterschap Brabantse Delta is een dijk langs de Mark, Vliet, Leurse Haven, Laakse Vaart, Oude Maasje en Roode Vaart. Deze dijk moet het achterland beschermen tegen overstromingen en moet ook voldoen aan een norm. In de Provinciale Waterverordening zijn drie soorten regionale keringen vastgelegd:

- *Compartimenteringskeringen: 'droge' keringen die achter een primaire waterkering liggen. Ze voorkomen dat een groot gebied direct onder water loopt bij een eventuele dijkdoorbraak.*
- *Regionale keringen langs de regionale rivieren: de Mark, Vliet, Dintel, Laakse Vaart, Leurse Haven en Steenbergse Vliet*
- *Regionale keringen langs boezemwateren: Roode Vaart Noord en Oude Maasje*

De veiligheidsnormen voor deze regionale waterkeringen staan in de Verordening Water Noord-Brabant. Op basis van die normen brengt het waterschap de regionale keringen op orde. Eens in de vijf à zes jaar worden de dijken getoetst. Uit de toetsing van de dijken in 2013 blijkt dat ruim 65 km dijk verbeterd moet worden en ruim 81 sluizen en gemalen aangepast. Binnenkort start het waterveiligheidsproject"

Bron: <https://www.brabantsedelta.nl/normen-waterveiligheid>

2.2 Verordening water Noord-Brabant, artikel 2.1 en 2.2



Legenda

- Regionale keringen (compartimenteringsdijken, niet genormeerd)
- Regionale keringen (langs regionale rivieren en/of boezemwateren)
- Primaire kering (ter indicatie)
- A Stedelijk gebied waar oevers het waterkeringssysteem completeren
- B Kering met dubbelfunctie: regionale en compartimenteringskering

Op deze kaart zijn niet de regionale keringen opgenomen waarvoor het Rijk bevoegd gezag is.

“Een regionale kering is een niet-primaire waterkering die is aangewezen op basis van een provinciale verordening en / of is opgenomen in de legger / keur van het waterschap. Daaronder vallen zowel de ‘natte’, bijvoorbeeld kades langs boezemwateren, als de ‘droge’ waterkeringen zoals langs de regionale rivieren.”

“Naast de hoofdfunctie, zorgen voor veiligheid, hebben regionale waterkeringen nog additionele functies zoals die van wegen, recreatiegebied, weiland, aanlegplaats voor de (plezier-) scheepvaart of waardevol landschapselement. Deze functies sluiten aan bij de belangen van het waterschap, provincie of gemeente. In veel gebieden vormen regionale waterkeringen een belangrijk onderdeel van het woon- en leefmilieu en is langs de keringen veel bebouwing geconcentreerd.”

Bron: Rijksoverheid - <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/regionale/>

3 Molendijk



De werkzaamheden vinden plaats vanaf Molendijk nummer 10, volgen vervolgens de Markdijk en eindigen bij de Huizersdijk nummer 23a. Het betreft een vervanging van een bestaande waterleiding over een afstand van c.a. 4000m.

Het betreft een bestaande AC 300 leiding waarin een PE 160 leiding wordt getrokken. De AC 300 leiding krijgt tijdens de aanleg een "relining". Dankzij deze methode kunnen leidingen worden gerenoveerd zonder ze open te breken. Voor het toepassen van deze techniek is echter wel toegang tot de leiding noodzakelijk. Elke 350m zal er een opening worden gemaakt om toegang tot de binnenzijde van de leiding te krijgen.

3.1 Kraterberekeningen PE 160

Het leiding tracé Molendijk bevindt zich buitendijks op een afstand van ca. 6m uit de rand van de weg over de kruin van de dijk tussen de weg en de naastgelegen watergang. Het betreft een tracé waar zich thans de bestaande AC300 leiding ligt.

Door het in brengen van de nieuwe waterleiding in de bestaande AC300 leiding wordt het grondwerk in de dijk tot een minimum beperkt. Tevens ontstaat op deze wijze een extra beveiliging tegen uitspoelen aangezien bij leidingbreuk in de AC300 leiding daar ter plaatse geen erosiekrater kan vormen. In voorkomende gevallen zal het water dan bij de intree punten uittreden maar dat gebeurt dan bij atmosferische druk aangezien de AC-leiding dan niet volledig gevuld zal zijn. Een eventuele erosiekrater zal dan minimaal zijn.

Indien er volledige leidingbreuk optreedt ter plaatse van een intree punt dan kan een erosiekrater optreden. De breedte GB conform figuur A.1.b NEN3651:2020 van de erosiekrater bedraagt 3,0m en de lengte 6,0m. De diepte bedraagt daarbij 3,35m. Een en ander impliceert dat de erosie krater in het ongunstigste geval tot aan de rand van de verharde weg kan reiken.

De berekeningen zijn opgenomen in bijlage 6.1

4 NEN3650 – 3651

NEN3650

Eisen voor buisleidingsystemen – Deel 1 Algemene eisen

Waterstaatkundige veiligheid:

“de leiding mag de functie van het waterstaatswerk niet op ontoelaatbare wijze beïnvloeden”

Leidingen die in of nabij belangrijke waterstaatswerken liggen, moeten voldoen aan de eisen die gesteld zijn in de NEN3651.

NEN3651

Geeft aanvulling op de NEN3650 “veiligheidseisen voor buisleidingen te land en gelegen in of nabij een belangrijk waterstaatswerk”

Waterstaatswerken zijn:

- Primaire waterkering
- **Regionale waterkering (boezemkade, dijken langs regionale rivieren, kanaaldijk, voorlandkering)**
- Regionale ‘droog’ waterkering (reservedijk, slaperdijk)
- Primaire weg
- Secundaire weg
- Een rijks- of provinciale vaarweg.

De ‘dijk’ met een terreinstrook aan weerszijden van het werk, de veiligheidszones, vormt het gebied waarin de NEN 3651 van kracht is.

Stabiliteitszone

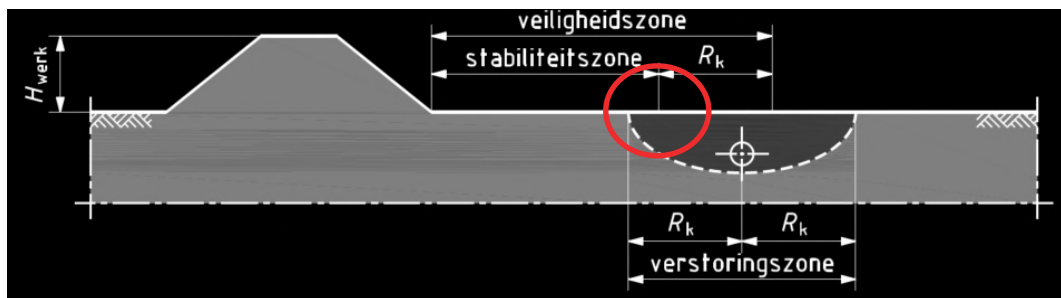
De stabiliteitszone wordt bepaald aan de hand van de grondmechanische eigenschappen van de omgeving waarin het waterstaatswerk zich bevindt. Op basis van grondmechanisch onderzoek kan deze worden bepaald. Vooralsnog zijn er geen gegevens beschikbaar waarin de stabiliteitszone wordt bepaald. Een acceptabele aanname van de veiligheidszone kan 4x hoogte van het werk (boven maaiveld) zijn. De beheerder van het waterstaatswerk kan verzoeken om rekening te houden met een grotere stabiliteitszone.

In hoofdstuk 4 zijn de verstoringszones t.o.v. de parallelligging van de leiding bepaald.

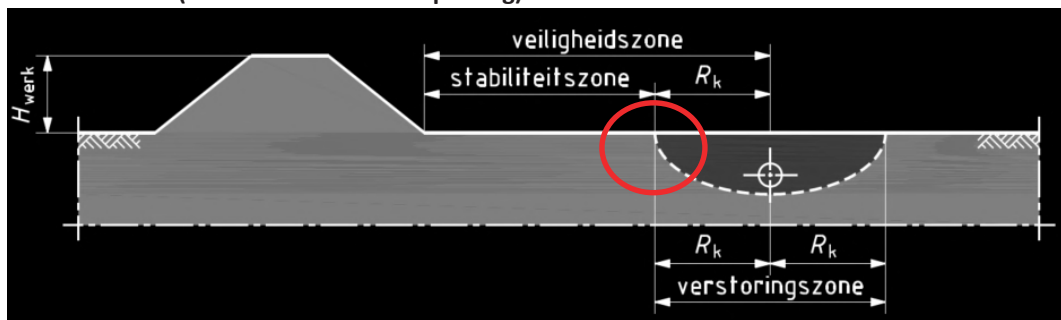
- Molendijk: $R_k = R_b = 3,00\text{m}$

Deze kunnen getoetst worden aan de door de NEN 3651 gestelde scenario's:

1. Parallele leiding ligt binnen de veiligheidszone (NEN 3651 van toepassing)



2. Verstoringzone van de parallelle leiding en stabiliteitszone van de waterkering raken elkaar (NEN 3651 niet van toepassing)



3. Verstoringzone van de parallelle leiding ligt buiten de stabiliteitszone van de waterkering (NEN3651 niet van toepassing)



Toetsing Molendijk

Op basis van de kaartgegevens "ligging waterleiding ten opzichte van regionale waterkering" (bijlage 6.3) kan geconcludeerd worden dat de PE160 in het waterstaatwerk (profiel van vrije ruimte), de beschermingszone A, beschermingszone B en daar buiten ligt.

De NEN3651 is van toepassing.

5 Conclusies

5.1 Molendijk

01. De nieuwe watertransportleiding bevindt zich op ca. 6m uit de rand van de verharde weg over de kruin van de Molendijk.
02. De leiding bevindt zich tussen een watergang en de dijk in.
03. De leiding is ondergebracht in de "vergunde ligging" van de AC300 leiding.
04. De bestaande AC300 leiding vormt een extra beveiliging tegen uitspoeling t.g.v. leidingbreuk.
05. Bij een breuk in de AC300 leiding zal er nauwelijks sprake zijn van uitspoeling omdat water via de aan te brengen lozingspunten boven maaiveld kan uitstromen.
06. Bij een volledige breuk buiten de AC leiding van de PE160 leiding gericht naar de dijk kan een erosiekrater ontstaan met een breedte R_b van 3,0m en een lengte van 6,0m overeenkomstig NEN3651:2020 en een diepte van 2,31m.
07. Onder extreme omstandigheden kan de erosiekrater tot aan de rand van de verharding reiken.
08. Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020 voldoen en zijn als bijlage toegevoegd aan dit rapport.

5.2 Overall conclusie

Het nieuwe ontwerp van het drinkwatertransportsysteem vormt een verbetering voor de dijkveiligheid t.o.v. de bestaande situatie.

Eisen functioneel ontwerp conform NEN3651:

De leidingligging buiten het profiel van de waterkering maar binnen de veiligheidszone kan in overleg met de beheerder van de waterkering worden overwogen.

Het leggen van een leiding in de lengterichting in of op het profiel van een waterkering is niet toelaatbaar. In zeer uitzonderlijke gevallen mag daarvan worden afgeweken. Hierbij wordt de noodzaak voor distributie van gas en water naar dijkwoningen als "uitzonderlijk" geaccepteerd.

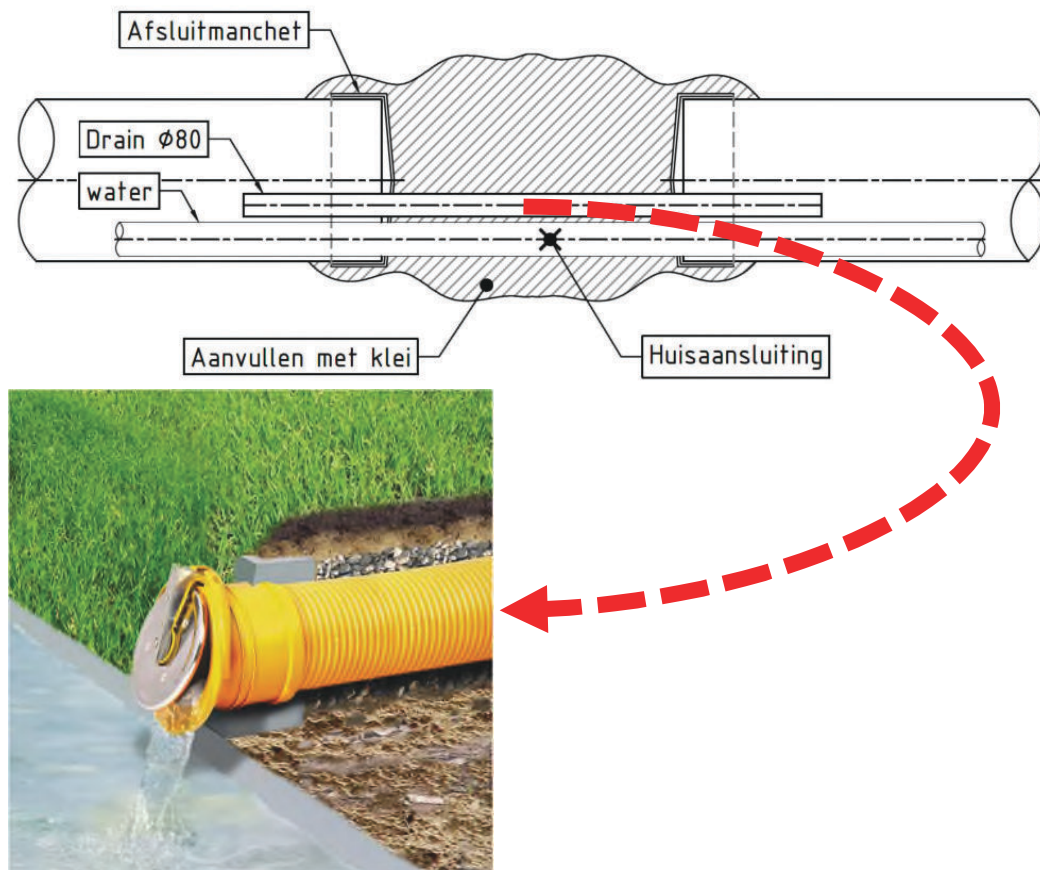
Kraterberekening:

De in de NEN3651 gestelde kraterberekening is gebaseerd op een aanname dat de leiding zich bevindt in losgepakt zand (worst case). De grondmechanische eigenschappen van de dijk zullen een positieve werking hebben op deze berekening en resulteren in een kleinere krater. Dit kan worden bevorderd door ter plaatse van de huisaansluitingen de sleuf te versterken met klei. Water wordt hierdoor sneller naar het maaiveld gedwongen waardoor de krater ingeperkt kan worden.

6 Aanvullende maatregelen

Ter plaatse van de huisaansluitingen, waar de niet te leggen waterleiding niet in een (beschermende) mantelbuis ligt worden voorzieningen getroffen om lekwater weg te geleiden waardoor het optreden van erosiekraters kan worden voorkomen.

Om een aansluiting te kunnen maken tussen de nieuwe waterleiding en de huisaansluiting wordt c.a. 1m aan asbestcement leiding verwijderd. De mantelbuizen worden afgesloten met een manchet en beide delen worden verbonden met een drain die naast de waterleiding is geplaatst. Indien er een lekkage gaat optreden in de mantelbuis kan het water via de drain worden weggeleid. Om te voorkomen dat er een erosiekrater ontstaat worden de openingen tussen de mantelbuizen ingepakt in een "kleikist" van waaruit de drain naar het oppervlak of een nabijgelegen sloot wordt gelegd. Deze drain wordt ook ingepakt in een kleikist om te voorkomen dat lekwater in het dijklichaam kan treden. Aan het uiteinde van de drain wordt een uitstroomopening gemaakt met een roestvaste (RVS) terugslagklep die knaagdier bestendig is.



7 **Bijlagen**

7.1 **Kraterberekeningen Molendijk**

Kraterberekening waterleiding conform NEN3651:2012

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

A.2.2. Breedte Ontgrondingskuil

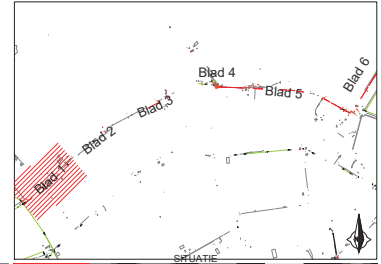
Rb	3,00	m	is de halve breedte van de ontgrondingskuil, in m;
RI	3,00	m	is de halve lengte van de ontgrondingskuil, in m;
dg	0,131	m	is de middellijn van het door lek of breuk veroorzaakte gat in de leiding ($0 \leq d_g \leq D_i$), in m;
Di	0,131	m	is de inwendige middellijn van de leiding, in m;
SDR	11,000		PE 100 SDR11
r	1100	kg/m ³	is de dichtheid van de vloeistof in kg/m ³ ;
g	9,81	m/s ²	is de versnelling van de zwaartekracht in m/s ² ;
μ	1	-	is de afvoercoëfficiënt van het door lek of breuk veroorzaakte gat
P	2301	W	is het hydraulisch vermogen van de uitstroming = $\rho \times g \times Q \times h$, in W;
h	27,27	mwk	is de maatgevende drukhoogte ter plaatse van het gat, in m;
Q	0,02	m ³ /s	is het debiet door het gat, in m ³ /s.
Du	0,16	m	is de uitwendige middellijn van de leiding, in m;
t	0,0145	m	is de wanddikte van de leiding, in m;

$$D_K = 1,2 (D_o + H)$$

A.2.4.3 Diepte ontgrondingskuil

DK	2,35	m	diepte van de ontgrondingskuil
Do	0,160	m	is de uitwendige middellijn van de leiding, in m;
H	1,8	m	is de gronddekking op de kruin van de leiding, in m.

7.2 **Routekaarten: VO_40038 X-02351-01 Moerdijk-Standdaarbuiten-Molendijk**



- LEGENDA**
- GPS METEN
 - BOVENWATER WERK
 - LOFT TE RIJZEN LIGGING
 - BUITEN GEBRUIK TE STELLEN LIGGING
 - BUITEN GEBRUIK AANSTELLEN LIGGING
 - BESTAANDE LIGGING
 - BEHOEVENDE LIGGING - PRIJZEN
 - TE RIJZEN LIGGING



300 AC 400 PVC 300 AC

- Om de 350m een gaf maken van 3m fussen

1:10.1

C	B	A

Voorontwerp

MVOI

Adres: 2, 2004 LC, 2004 LC, 2004 LC
Postcode: 2004 LC, 2004 LC, 2004 LC
Telefoon: 2004 LC, 2004 LC, 2004 LC
E-mail: 2004 LC, 2004 LC, 2004 LC

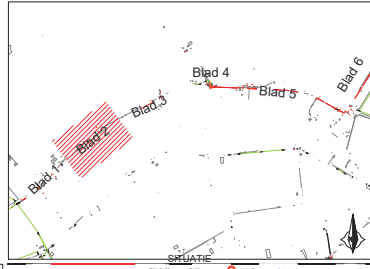
getekend door: [signature] getekend door: [signature] datum: 17-05-2022 schaal: 1:500 format: A0

projectnaam: Moerdijk Blad 1
Standdaarbuiten - Molendijk

tekeningennummer: 40038 X-02351-01

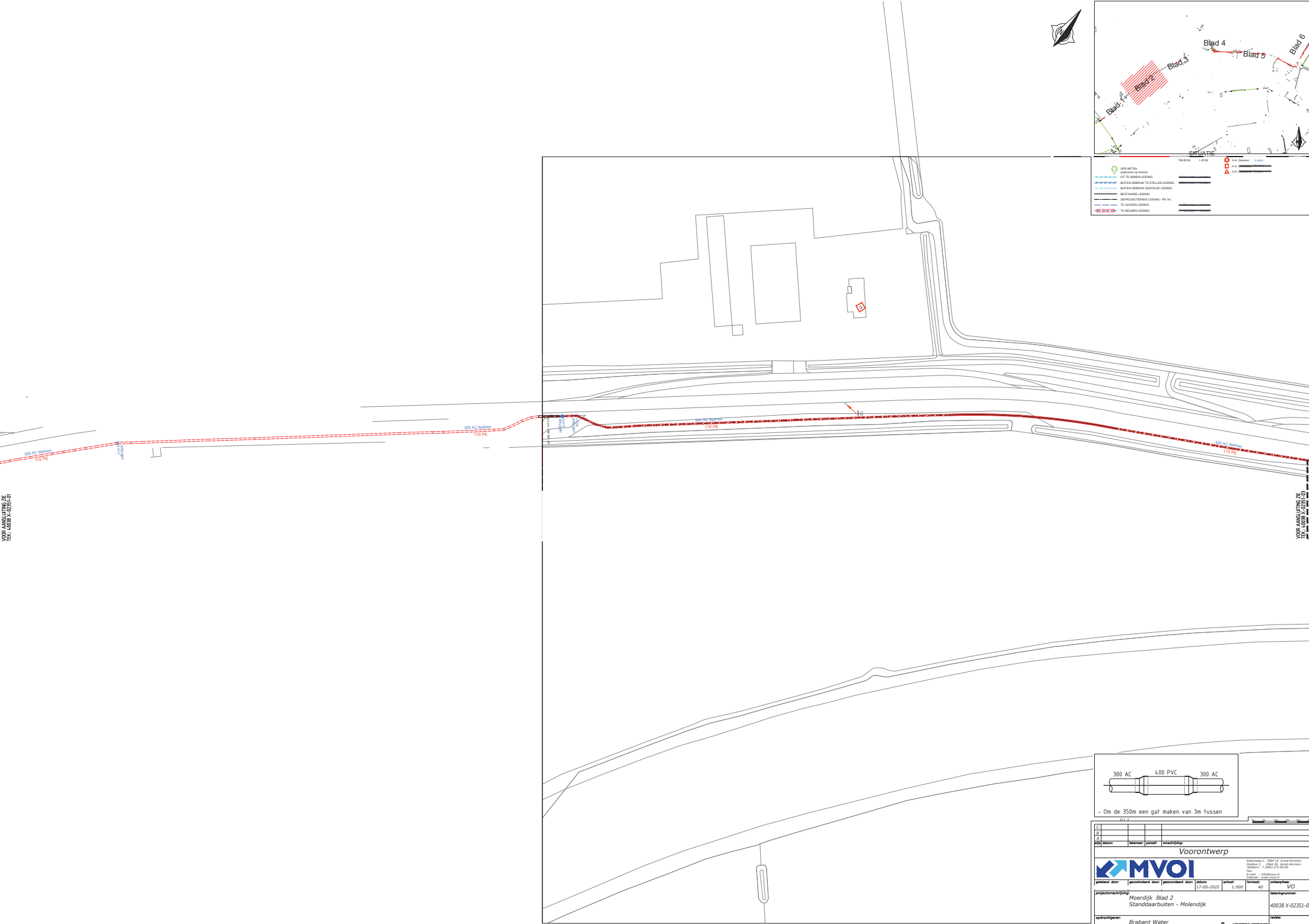
opdrachtgever: Brahmant Water

randnr:

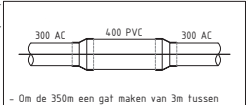


- GPS METEN
Binnenwerk te weten
LIFT TE WISSEN LIGGING
BUITEN GEBOUW TE STELEN LIGGING
BUITEN GEBOUW AANGELEGDE LIGGING
BESTAANDE LIGGING
BOPPELGEDEELTE LIGGING - PIR. N.
TE LIGGING LIGGING
TE RIJLEN LIGGING

VOOR AANSluiting ZE
TEK. 4008 X-02351-01

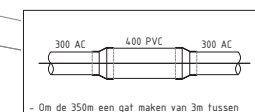
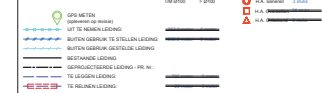
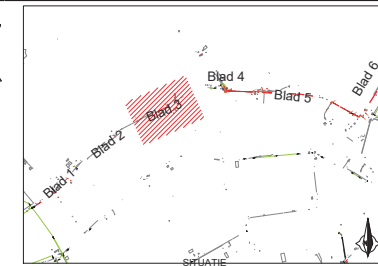


VOOR AANSluiting ZE
TEK. 4008 X-02351-01



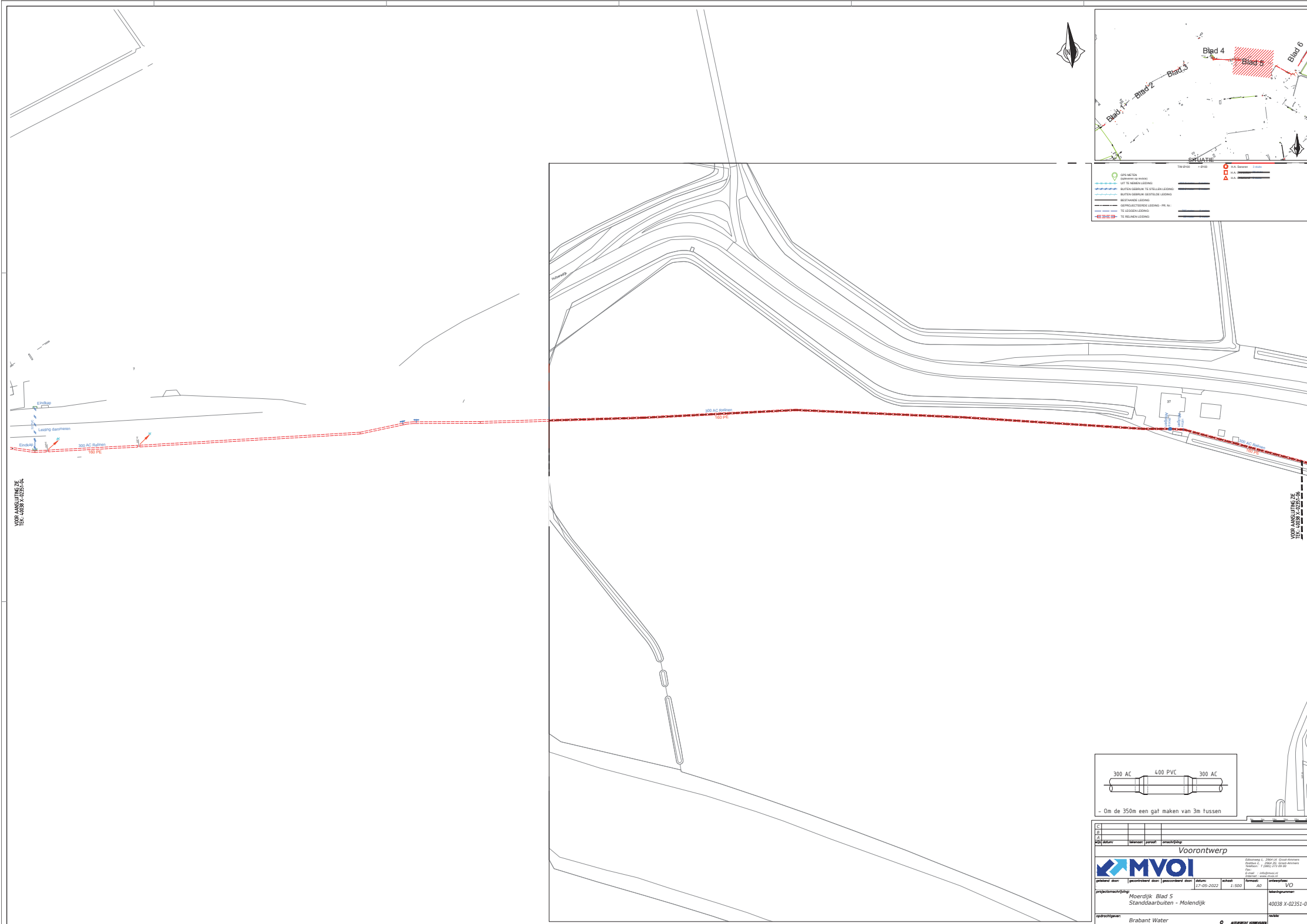
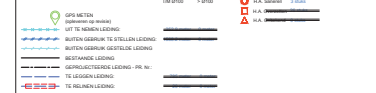
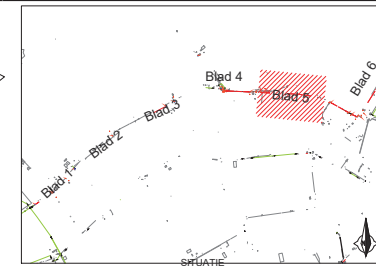
- Om de 350m een gat maken van 3m fussen

C				B			A		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M			M		
M				M					

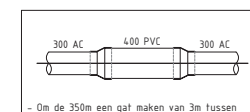


- Om de 350m een gat maken van 3m tussen

[illegible]

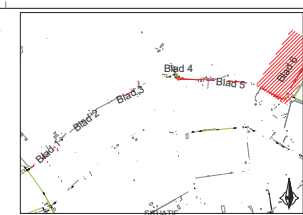


VOOR AANSLUITING ZIE
REV. 1 0028 V. 02354 04



- Om de 350m een gat maken van 3m tussen

[illegible]

[illegible]

7.3 Ligging waterleiding ten opzichte van regionale waterkering

7.4 OS Drinkwaterleiding Ø63mm PE100 SDR11 (Molendijk 23-24)

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2022 1.1 ©
Algemene gegevens			
Naam van het project : 40038a Moerdijk-Standdaarbuiten-Molendijk Projectonderdeel : Drinkwaterleiding Ø63mm PE100 SDR11 (Molendijk 23-24) 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	= 63,00	mm
Wanddikte	d _n	= 5,8	mm
Geen bocht aanwezig			
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)	= Vloeistof		
Ontwerpdruk	p _d	= 0,35	N/mm ²
Volumieke massa medium	ρ	= 1000	kg/m ³
Temperatuurverschil	Δ_t	= 10	°
Aanleggegevens			
Ligging: Evenwijdig aan een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 40.000	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 1,0	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 15	mm
Zettingsverschil	f _z	= 25	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,1	%
Marstonfactor	f _m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld	H _{werk}	= 2,89	m
			08-07-2022 08:51:25

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2022 1.1 ©
Grondmechanische gegevens			
Grondsoort		= Klei	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 17	kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	ϕ	= 17,5	°
Effectieve cohesie	c'	= 5	kN/m ²
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 50	kN/m ²
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,0044	N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,0069	N/mm ³
E-modulus ondergrond	E_{100}	= 2	MN/m ²
Niet rekenen met horizontale steundruk			
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	
Verkeersbelasting			
Grafiek 1/2 x II:		1/2 · Fatigue Load Model 2, Lorry 4	
Niet rekenen met ontlastende invloed wegdek			
			08-07-2022 08:51:25

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2022 1.1 ©
1. Eigenschappen van de leiding			
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 51,40	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 57,20	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 63,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 31,50	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 25,70	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 28,60	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 430.644,04	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 13.671,24	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 16,26	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 5,61	mm ³ /mm ¹
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan			
<p>Voor vloeistofleidingen geldt: $H^3 \cdot D_i^5$ moet kleiner dan 40 m⁸ zijn.</p> <p>H is de druk in meters vloeistofkolom.</p> <p>Rekening houdende met $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ volgt:</p> $H = \frac{p_d}{\rho \cdot g}$ $H = \frac{350.000}{1.000 \cdot 9,81} = 35,68 \text{ m} \rightarrow H^3 \cdot D_i^5 = 35,68^3 \cdot 0,05^5 = 0,016 \text{ m}^8$			
3. Berekening van de veiligheidszone			
$R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{H^3 \cdot D_i^5}$ $R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{35,68^3 \cdot 0,05^5} = 4,78 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_B = 4 \cdot 2,89 + 4,78 = 16,34 \text{ m}$ $D_K = 1,2 \cdot (D_o + H) = 1,2 \cdot (0,063 + 1,0) = 1,28 \text{ m}$			
4. Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pl} t.g.v. inwendige druk			
$D_g/d_n = 57,20/5,80 = 9,86 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow$ Dikwandige leiding $\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$ $\sigma_p = \frac{31,50^2 + 25,70^2}{31,50^2 - 25,70^2} \cdot 0,35 = 1,74 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_p = 1,74 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 1,74 = 0,70 \text{ N/mm}^2$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$			
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}			
$f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w})$ $f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot 0,35 \cdot 28,6^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 16,26}) = 0,90$			
			08-07-2022 08:51:25

6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

$$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$$

$$q_n = 1,1 \cdot 17 \cdot 1,0 = 18,70 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_n = q_n \cdot D_o$$

$$Q_n = 18,70 \cdot 10^{-3} \cdot 63 = 1,18 \text{ N/mm}^1$$

7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p

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

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{17}{1,1} \cdot 1,0 = 15,45 \text{ kN/m}^2$$

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

$$\sigma_{\text{hor}} = 15,45 \cdot (1 - \sin(17,5)) = 10,81 \text{ kN/m}^2$$

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

$$\sigma_o' = \frac{15,45 + 10,81}{2} = 13,13 \text{ kN/m}^2$$

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

$$p_f' = 13,13 \cdot (1 + \sin(17,5)) + 5 \cdot \cos(17,5) = 21,85 \text{ kN/m}^2$$

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

$$\kappa = 1 - \sin(17,5) = 0,699$$

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

$$\nu = \frac{0,699}{1 + 0,699} = 0,41$$

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

$$G = \frac{2}{2 \cdot (1 + 0,41)} = 0,44$$

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

$$Q = \frac{13,13 \cdot \sin(17,5) + 5 \cdot \cos(17,5)}{0,44 \cdot 10^3} = 0,020$$

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

$$p_{\text{max}}' = (21,85 + 17,5 \cdot \cot(5)) \cdot \left(\frac{0,5 \cdot 0,063^2}{0,5 \cdot 0,063 + 1,0} + 0,02 \right)^{\frac{-\sin 17,5}{1 + \sin 17,5}} - 5 \cdot \cot(17,5)$$

$$p_{\text{max}}' = 76,35 \text{ kN/m}^2$$

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

$$Q_p = 76,35 \cdot 10^{-3} \cdot 63 = 4,81 \text{ N/mm}^1$$

8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k

$$E_{100, \text{norm}} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,8} = 2 \cdot (18,70/100)^{0,8} = 0,52 \text{ MN/m}^2$$

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

$$E_1 = 0,52 / \frac{1 - 0,41 - 2 \cdot 0,41^2}{1 - 0,41} = 1,23 \text{ MN/m}^2$$

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

$$z_{\text{max}} = 0,25 \cdot \frac{0,063}{1,23^{1,5} \cdot \sqrt{1,0/0,063}} = 0,0029 \text{ m}$$

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

$$q_k = 18,70 + \frac{\frac{0,1 \cdot 0,063}{0,0029} \cdot (76,35 - 18,70)}{1 + \frac{76,35 - 18,70}{0,0029 \cdot 0,0044 \cdot 10^6}} = 41,41 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 41,41 \cdot 10^{-3} \cdot 63 = 2,61 \text{ N/mm}^1$$

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

Niet rekenen met ontlastende invloed

$$q_v = 19,36 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_v = q_v \cdot D_o$$

$$Q_v = 19,36 \cdot 10^{-3} \cdot 63 = 1,22 \text{ N/mm}^1$$

10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{63 \cdot 0,0069}{4 \cdot 975 \cdot 430.644,04}} = 0,0040 \text{ mm}^{-1}$$

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

Zettingslengte $L = 40.000 \text{ mm}$

$$\lambda \cdot L = 0,0040 \cdot 40.000 = 160,44$$

$i = 0,987$ (= 98,7 % inklemming)

$B_z = 0,000000138$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)

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

$$Q_z = 0,000000138 \cdot 15 \cdot 63 \cdot 0,0069 = 0,00000090 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,00000090 \cdot 0,0040 \cdot 40.000 \cdot \left(0,987 + \frac{0,987 \cdot 0,0040 \cdot 40.000}{6}\right) = 0,00 \text{ N/mm}^1$$

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

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

$$Q_z = 0,000000138 \cdot (15 + 2,0 \cdot 25) \cdot 63 \cdot 0,0069 = 0,0000039 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,0000039 \cdot 0,0040 \cdot 40.000 \cdot \left(0,987 + \frac{0,987 \cdot 0,0040 \cdot 40.000}{6} \right) = 0,02 \text{ N/mm}^1$$

13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen

Berekening evenwichtsdraagvermogen

$$B = D_o = 0,06 \text{ m}$$

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 1,00 + 0,06 / 2 = 1,03 \text{ m}$$

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

$$d_c = 0,4 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 0,4 \cdot \tan^{-1}(1,03/0,06) = 0,60$$

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

$$P_{we} = 0,85 \cdot 50 \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + 0,02 + 0,60)$$

$$P_{we} = 354,85 \text{ kN/m}^2 = 0,35 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 0,35 \cdot 63,00 = 22,36 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen

Situatie 1 ^e en 2 ^e jaar	Conclusie:	Situatie na 2 jaar	Conclusie:
$Q_k = 2,61 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_n = 1,18 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig
$Q_v = 1,22 \text{ N/mm}^1$		$Q_v = 1,22 \text{ N/mm}^1$	
$Q_d = 0,00 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 0,02 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 3,83 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 2,41 \text{ N/mm}^1$	

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

Moment t.g.v. Q_k en Q_v

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

$$M_q = 0,177 \cdot (2,61 + 1,22) \cdot 28,60$$

$$M_q = 19,38 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,00 \cdot 28,60$$

$$M_{qd} = 0,01 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 0,90 \cdot (19,38 + 0,01) / 5,61 = 3,13 \text{ N/mm}^2$$

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

Moment t.g.v. Q_n en Q_v

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

$$M_q = 0,177 \cdot (1,18 + 1,22) \cdot 28,60$$

$$M_q = 12,14 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,02 \cdot 28,60$$

$$M_{qd} = 0,06 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 0,90 \cdot (12,14 + 0,06) / 5,61 = 1,97 \text{ N/mm}^2$$

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2022 1.1 ©
16. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,000466 \cdot 15 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,0069}{5,8}} = \mathbf{0,01 \text{ N/mm}^2}$		
17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,000466 \cdot (15 + 2,0 \cdot 25) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,0069}{5,8}} = \mathbf{0,03 \text{ N/mm}^2}$		
18. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil		
$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$ $\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,00016 \cdot 975 = \mathbf{1,56 \text{ N/mm}^2}$		
19. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht		
Aangezien er geen bocht wordt toegepast volgt: $i_x = 1, i_y = 0, i_{xp} = 1, i_{yp} = 0$		
20. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N		
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{16,26}{57,2^3} = 0,0847 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{84,71 \text{ kN/m}^2}$ Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²		
21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk		
Veiligheidsfactor γ voor langdurige overdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende overdruk: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 16,26}{57,20^3} = 1,61 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 16,26}{57,20^3} = 0,29 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij 28,96 m grondwater boven de leiding		
22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie		
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (1,18 + \frac{1}{2} \cdot 1,22) - 0,095 \cdot (1 - \sin(17,5^\circ)) \cdot (1,18 + \frac{1}{2} \cdot 1,22) + 0,048 \cdot 0,02) \cdot 28,60^3}{350 \cdot 16,26} = \mathbf{0,17 \text{ mm} (= 0,30\%)}$ Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · $D_g = 0,08 \cdot 0,75 \cdot 57,20 = \mathbf{3,43 \text{ mm}}$		
		08-07-2022 08:51:25

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2022 1.1 ©
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)	
<p>Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding</p> $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 3,13 = \mathbf{2,03 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,70 + 0,65 \cdot 0,01 + 1,56 = \mathbf{2,26 \text{ N/mm}^2}$ <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> $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 1,97 = \mathbf{1,28 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,70 + 0,65 \cdot 0,03 + 1,56 = \mathbf{2,28 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$</p>	
	08-07-2022 08:51:25

7.5 OS Drinkwaterleiding Ø110mm PE100 SDR11 (Molendijk 10a tm 24)

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2022 1.1 ©
Algemene gegevens			
Naam van het project : 40038a Moerdijk-Standdaarbuiten-Molendijk Projectonderdeel : Drinkwaterleiding Ø110mm PE100 SDR11 (Molendijk 10a t/m 24) Importantiefactor S : 0,75			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm ²
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentieel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Toelaatbare deflectie	δ	= 8,00	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 110,00	mm
Wanddikte	d _n	= 10	mm
Geen bocht aanwezig			
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)	= Vloeistof		
Ontwerpdruk	p _d	= 0,35	N/mm ²
Volumieke massa medium	ρ	= 1000	kg/m ³
Temperatuurverschil	Δ_t	= 10	°
Aanleggegevens			
Ligging: Evenwijdig aan een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 40.000	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 1,0	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 15	mm
Zettingsverschil	f _z	= 25	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,1	%
Marstonfactor	f _m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld	H _{werk}	= 1,8	m
			08-07-2022 08:39:43

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2022 1.1 ©
Grondmechanische gegevens			
Grondsoort		= Klei	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 17	kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	ϕ	= 17,5	°
Effectieve cohesie	c'	= 5	kN/m ²
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 50	kN/m ²
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,0063	N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,01	N/mm ³
E-modulus ondergrond	E_{100}	= 2	MN/m ²
Niet rekenen met horizontale steundruk			
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	
Verkeersbelasting			
Grafiek 1/2 x II:		1/2 · Fatigue Load Model 2, Lorry 4	
Niet rekenen met ontlastende invloed wegdek			
			08-07-2022 08:39:44

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2022 1.1 ©
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			
<p>Voor vloeistofleidingen geldt: $H^3 \cdot D_i^5$ moet kleiner dan 40 m⁸ zijn.</p> <p>H is de druk in meters vloeistofkolom.</p> <p>Rekening houdende met $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ volgt:</p> $H = \frac{p_d}{\rho \cdot g}$ $H = \frac{350.000}{1.000 \cdot 9,81} = 35,68 \text{ m} \rightarrow H^3 \cdot D_i^5 = 35,68^3 \cdot 0,09^5 = 0,27 \text{ m}^8$			
3. Berekening van de veiligheidszone			
$R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{H^3 \cdot D_i^5}$ $R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{35,68^3 \cdot 0,09^5} = 6,79 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_B = 4 \cdot 1,80 + 6,79 = 13,99 \text{ m}$ $D_K = 1,2 \cdot (D_0 + H) = 1,2 \cdot (0,11 + 1,0) = 1,33 \text{ m}$			
4. Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pl} t.g.v. inwendige druk			
$D_g/d_n = 100,00/10,00 = 10,00 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow$ Dikwandige leiding $\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$ $\sigma_p = \frac{55,00^2 + 45,00^2}{55,00^2 - 45,00^2} \cdot 0,35 = 1,77 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_p = 1,77 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 1,77 = 0,71 \text{ N/mm}^2$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$			
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}			
$f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w})$ $f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot 0,35 \cdot 50^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 83,33}) = 0,90$			
			08-07-2022 08:39:44

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2022 1.1 ©
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n		
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 17 \cdot 1,0 = 18,70 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 18,70 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 2,06 \text{ N/mm}^1$		
7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p		
$q_p = q_n \cdot \left(1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o} \right)$ $q_p = 18,70 \cdot \left(1 + 0,3 \cdot \frac{1,0}{0,11} \right) = 69,70 \text{ kN/m}^2$ $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 69,70 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 7,67 \text{ N/mm}^1$		
8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k		
$\kappa = 1 - \sin(\varphi) = 1 - \sin(17,5) = 0,699$ $\nu = \frac{\kappa}{1 + \kappa} = \frac{0,699}{1 + 0,699} = 0,41$ $E_{100, \text{norm}} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,8} = 2 \cdot (18,70/100)^{0,8} = 0,52 \text{ MN/m}^2$ $E_1 = E_{100, \text{norm}} / \frac{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu}$ $E_1 = 0,52 / \frac{1 - 0,41 - 2 \cdot 0,41^2}{1 - 0,41} = 1,23 \text{ MN/m}^2$ $z_{\text{max}} = 0,25 \cdot \frac{D_o}{E_1^{1,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$ $z_{\text{max}} = 0,25 \cdot \frac{0,11}{1,23^{1,5} \cdot \sqrt{1,0/0,11}} = 0,0067 \text{ m}$ $q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_o}{z_{\text{max}}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\text{max}} \cdot k_{v, \text{min}}}}$ $q_k = 18,70 + \frac{\frac{0,1 \cdot 0,11}{0,0067} \cdot (69,70 - 18,70)}{1 + \frac{69,70 - 18,70}{0,0067 \cdot 0,0063 \cdot 10^6}} = 56,70 \text{ kN/m}^2$ $Q_k = q_k \cdot D_o$ $Q_k = 56,70 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 6,24 \text{ N/mm}^1$		
9. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Grafiek 1/2 x II NEN 3650-1:C.17		
Niet rekenen met ontlastende invloed $q_v = 19,33 \text{ kN/m}^2$ $Q_v = q_v \cdot D_o$ $Q_v = 19,33 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 2,13 \text{ N/mm}^1$		

10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{110 \cdot 0,01}{4 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}} = 0,0029 \text{ mm}^{-1}$$

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

Zettingslengte $L = 40.000 \text{ mm}$

$$\lambda \cdot L = 0,0029 \cdot 40.000 = 116,16$$

 $i = 0,983$ (= 98,3 % inklemming)

 $B_z = 0,000000493$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)

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

$$Q_z = 0,000000493 \cdot 15 \cdot 110 \cdot 0,01 = 0,0000081 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,0000081 \cdot 0,0029 \cdot 40.000 \cdot \left(0,983 + \frac{0,983 \cdot 0,0029 \cdot 40.000}{6}\right) = 0,02 \text{ N/mm}^1$$

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

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

$$Q_z = 0,000000493 \cdot (15 + 2,0 \cdot 25) \cdot 110 \cdot 0,01 = 0,000035 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,000035 \cdot 0,0029 \cdot 40.000 \cdot \left(0,983 + \frac{0,983 \cdot 0,0029 \cdot 40.000}{6}\right) = 0,08 \text{ N/mm}^1$$

13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen
Berekening evenwichtsdraagvermogen

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

$$B/L = 0,1$$

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

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

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

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

$$P_{we} = 0,85 \cdot 50 \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + 0,02 + 0,59)$$

$$P_{we} = 351,11 \text{ kN/m}^2 = 0,35 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 0,35 \cdot 110,00 = 38,62 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen

Situatie 1 ^e en 2 ^e jaar	Conclusie:	Situatie na 2 jaar	Conclusie:
$Q_k = 6,24 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_n = 2,06 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig
$Q_v = 2,13 \text{ N/mm}^1$		$Q_v = 2,13 \text{ N/mm}^1$	
$Q_d = 0,02 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 0,08 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 8,38 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 4,26 \text{ N/mm}^1$	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2022 1.1 ©
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 $M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,177 \cdot (6,24 + 2,13) \cdot 50,00$ $M_q = 74,01 \text{ Nmm/mm}^1$		Moment t.g.v. Q_d $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,02 \cdot 50,00$ $M_{qd} = 0,12 \text{ Nmm/mm}^1$
Spanning t.g.v. M_q en M_{qd} $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 0,90 \cdot (74,01 + 0,12) / 16,67 = \mathbf{4,01 \text{ N/mm}^2}$		
15. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (na 2 jaar)		
Moment t.g.v. Q_n en Q_v $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,177 \cdot (2,06 + 2,13) \cdot 50,00$ $M_q = 37,02 \text{ Nmm/mm}^1$		Moment t.g.v. Q_d $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,08 \cdot 50,00$ $M_{qd} = 0,50 \text{ Nmm/mm}^1$
Spanning t.g.v. M_q en M_{qd} $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 0,90 \cdot (37,02 + 0,50) / 16,67 = \mathbf{2,03 \text{ N/mm}^2}$		
16. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,000870 \cdot 15 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,01}{10}} = \mathbf{0,01 \text{ N/mm}^2}$		
17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,000870 \cdot (15 + 2,0 \cdot 25) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,01}{10}} = \mathbf{0,06 \text{ N/mm}^2}$		
18. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil		
$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$ $\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,00016 \cdot 975 = \mathbf{1,56 \text{ N/mm}^2}$		
19. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht		
Aangezien er geen bocht wordt toegepast volgt: $i_x = 1, i_y = 0, i_{xp} = 1, i_{yp} = 0$		
20. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N		
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100^3} = 0,0812 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,25 \text{ kN/m}^2}$ Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²		
		08-07-2022 08:39:44

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2022 1.1 ©
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> $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$ <p>Conclusie: Kans op implosie bij 27,78 m grondwater boven de leiding</p>	
22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (2,06 + \frac{1}{2} \cdot 2,13) - 0,095 \cdot (1 - \sin(17,5^\circ)) \cdot (2,06 + \frac{1}{2} \cdot 2,13) + 0,048 \cdot 0,08) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33} = \mathbf{0,32 \text{ mm}} (= 0,32\%)$ <p>Toelaatbare deflectie = $8\% \cdot \text{importantiefactor } S \cdot D_g = 0,08 \cdot 0,75 \cdot 100,00 = \mathbf{6,00 \text{ mm}}$</p>	
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)	
<p>Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding</p> $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 4,01 = \mathbf{2,60 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,71 + 0,65 \cdot 0,01 + 1,56 = \mathbf{2,28 \text{ N/mm}^2}$ <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> $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 2,03 = \mathbf{1,32 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,71 + 0,65 \cdot 0,06 + 1,56 = \mathbf{2,30 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$</p>	
	08-07-2022 08:39:44

7.6 OS Drinkwaterleiding Ø160mm PE100 SDR11 (Huizersdijk)

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2022 1.1 ©
Algemene gegevens			
Naam van het project : 40038a Moerdijk-Standdaarbuiten-Molendijk Projectonderdeel : Drinkwaterleiding Ø160mm PE100 SDR11 (Huizersdijk) 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	= 160,00	mm
Wanddikte	d _n	= 14,6	mm
Geen bocht aanwezig			
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Ontwerpdruk	p _d	= 0,35	N/mm ²
Volumieke massa medium	ρ	= 1000	kg/m ³
Temperatuurverschil	Δ_t	= 10	°
Aanleggegevens			
Ligging: Evenwijdig aan een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 40.000	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}	= 0,07	m
			08-07-2022 09:10:11

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2022 1.1 ©	
Grondmechanische gegevens				
Grondsoort			= Zand	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 18,0		kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	ϕ	= 27		°
Effectieve cohesie	c'	= 0		kN/m ²
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 0		kN/m ²
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,0175		N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,0175		N/mm ³
E-modulus ondergrond	E_{100}	= 35		MN/m ²
Niet rekenen met horizontale steundruk				
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1		
Verkeersbelasting				
Grafiek ½ x II:			½ · Fatigue Load Model 2, Lorry 4	
Niet rekenen met ontlastende invloed wegdek				

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2022 1.1 ©
1. Eigenschappen van de leiding			
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 130,80	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i) / 2$	= 145,40	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 160,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 80,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 65,40	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 72,70	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 17.801.758,07	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 222.521,98	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 259,34	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 35,53	mm ³ /mm ¹
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan			
<p>Voor vloeistofleidingen geldt: $H^3 \cdot D_i^5$ moet kleiner dan 40 m⁸ zijn.</p> <p>H is de druk in meters vloeistofkolom.</p> <p>Rekening houdende met $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ volgt:</p> $H = \frac{p_d}{\rho \cdot g}$ $H = \frac{350.000}{1.000 \cdot 9,81} = 35,68 \text{ m} \rightarrow H^3 \cdot D_i^5 = 35,68^3 \cdot 0,13^5 = 1,74 \text{ m}^8$			
3. Berekening van de veiligheidszone			
$R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{H^3 \cdot D_i^5}$ $R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{35,68^3 \cdot 0,13^5} = 8,57 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_B = 4 \cdot 0,07 + 8,57 = 8,85 \text{ m}$ $D_K = 1,2 \cdot (D_0 + H) = 1,2 \cdot (0,16 + 1,0) = 1,39 \text{ m}$			
4. Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pl} t.g.v. inwendige druk			
$D_g/d_n = 145,40/14,60 = 9,96 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow$ Dikwandige leiding $\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$ $\sigma_p = \frac{80,00^2 + 65,40^2}{80,00^2 - 65,40^2} \cdot 0,35 = 1,76 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_p = 1,76 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 1,76 = 0,70 \text{ N/mm}^2$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$			
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}			
$f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w})$ $f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot 0,35 \cdot 72,7^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 259,34}) = 0,90$			

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2022 1.1 ©
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n		
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 18,0 \cdot 1,0 = 19,80 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 19,80 \cdot 10^{-3} \cdot 160 = 3,17 \text{ N/mm}^1$		
7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p		
$q_p = q_n \cdot \left(1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o}\right)$ $q_p = 19,80 \cdot \left(1 + 0,3 \cdot \frac{1,0}{0,16}\right) = 56,93 \text{ kN/m}^2$ $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 56,93 \cdot 10^{-3} \cdot 160 = 9,11 \text{ N/mm}^1$		
8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k		
$\kappa = 1 - \sin(\varphi) = 1 - \sin(27) = 0,546$ $\nu = \frac{\kappa}{1 + \kappa} = \frac{0,546}{1 + 0,546} = 0,35$ $E_{100, \text{norm}} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,5} = 35 \cdot (19,80/100)^{0,5} = 15,57 \text{ MN/m}^2$ $E_1 = E_{100, \text{norm}} / \frac{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu}$ $E_1 = 15,57 / \frac{1 - 0,35 - 2 \cdot 0,35^2}{1 - 0,35} = 25,35 \text{ MN/m}^2$ $z_{\text{max}} = 0,2 \cdot \frac{D_o}{E_1^{0,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$ $z_{\text{max}} = 0,2 \cdot \frac{0,16}{25,35^{0,5} \cdot \sqrt{1,0/0,16}} = 0,0025 \text{ m}$ $q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_o}{z_{\text{max}}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\text{max}} \cdot k_{v, \text{min}}}}$ $q_k = 19,80 + \frac{\frac{0,02 \cdot 0,16}{0,0025} \cdot (56,93 - 19,80)}{1 + \frac{56,93 - 19,80}{0,0025 \cdot 0,0175 \cdot 10^6}} = 45,27 \text{ kN/m}^2$ $Q_k = q_k \cdot D_o$ $Q_k = 45,27 \cdot 10^{-3} \cdot 160 = 7,24 \text{ N/mm}^1$		
9. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Grafiek 1/2 x II NEN 3650-1:C.17		
Niet rekenen met ontlastende invloed $q_v = 19,28 \text{ kN/m}^2$ $Q_v = q_v \cdot D_o$ $Q_v = 19,28 \cdot 10^{-3} \cdot 160 = 3,08 \text{ N/mm}^1$		

10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{160 \cdot 0,0175}{4 \cdot 975 \cdot 17.801.758,07}} = 0,0025 \text{ mm}^{-1}$$

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

Zettingslengte $L = 40.000 \text{ mm}$

$$\lambda \cdot L = 0,0025 \cdot 40.000 = 100,80$$

$i = 0,980$ (= 98,0 % inklemming)

$B_z = 0,000000861$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)

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

$$Q_z = 0,000000861 \cdot 5 \cdot 160 \cdot 0,0175 = 0,000012 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,000012 \cdot 0,0025 \cdot 40.000 \cdot \left(0,980 + \frac{0,980 \cdot 0,0025 \cdot 40.000}{6}\right) = 0,02 \text{ N/mm}^1$$

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

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

$$Q_z = 0,000000861 \cdot (5 + 2,0 \cdot 0) \cdot 160 \cdot 0,0175 = 0,000012 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,000012 \cdot 0,0025 \cdot 40.000 \cdot \left(0,980 + \frac{0,980 \cdot 0,0025 \cdot 40.000}{6}\right) = 0,02 \text{ N/mm}^1$$

13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen

Berekening evenwichtsdraagvermogen

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan(\varphi)} \cdot \tan^2(45^\circ + \varphi/2) = 13,20$$

$$N_y = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi) = 9,32$$

$$B = D_o = 0,16 \text{ m}$$

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 1,00 + 0,16 / 2 = 1,08 \text{ m}$$

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

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 1,43$$

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

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

$$P_{we} = 385,28 \text{ kN/m}^2 = 0,39 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 0,39 \cdot 160,00 = 61,64 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen

Situatie 1 ^e en 2 ^e jaar	Conclusie:	Situatie na 2 jaar	Conclusie:
$Q_k = 7,24 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_n = 3,17 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig
$Q_v = 3,08 \text{ N/mm}^1$		$Q_v = 3,08 \text{ N/mm}^1$	
$Q_d = 0,02 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 0,02 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 10,35 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 6,27 \text{ N/mm}^1$	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2022 1.1 ©
14. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (1^e en 2^e jaar)		
Moment t.g.v. Q_k en Q_v $M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,177 \cdot (7,24 + 3,08) \cdot 72,70$ $M_q = 132,90 \text{ Nmm/mm}^1$		Moment t.g.v. Q_d $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,02 \cdot 72,70$ $M_{qd} = 0,19 \text{ Nmm/mm}^1$
Spanning t.g.v. M_q en M_{qd} $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 0,90 \cdot (132,90 + 0,19) / 35,53 = \mathbf{3,38 \text{ N/mm}^2}$		
15. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (na 2 jaar)		
Moment t.g.v. Q_n en Q_v $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,177 \cdot (3,17 + 3,08) \cdot 72,70$ $M_q = 80,46 \text{ Nmm/mm}^1$		Moment t.g.v. Q_d $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,02 \cdot 72,70$ $M_{qd} = 0,19 \text{ Nmm/mm}^1$
Spanning t.g.v. M_q en M_{qd} $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 0,90 \cdot (80,46 + 0,19) / 35,53 = \mathbf{2,05 \text{ N/mm}^2}$		
16. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,00114 \cdot 5 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,0175}{14,6}} = \mathbf{0,01 \text{ N/mm}^2}$		
17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,00114 \cdot (5 + 2,0 \cdot 0) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,0175}{14,6}} = \mathbf{0,01 \text{ N/mm}^2}$		
18. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil		
$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$ $\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,00016 \cdot 975 = \mathbf{1,56 \text{ N/mm}^2}$		
19. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht		
Aangezien er geen bocht wordt toegepast volgt: $i_x = 1, i_y = 0, i_{xp} = 1, i_{yp} = 0$		
20. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N		
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{259,34}{145,4^3} = 0,0823 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{82,26 \text{ kN/m}^2}$ Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²		
		08-07-2022 09:10:11

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2022 1.1 ©
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> $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 259,34}{145,40^3} = 1,57 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 259,34}{145,40^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$ <p>Conclusie: Kans op implosie bij 28,12 m grondwater boven de leiding</p>	
22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (3,17 + \frac{1}{2} \cdot 3,08) - 0,095 \cdot (1 - \sin(27^\circ)) \cdot (3,17 + \frac{1}{2} \cdot 3,08) + 0,048 \cdot 0,02) \cdot 72,70^3}{350 \cdot 259,34} = \mathbf{0,74 \text{ mm}} (= 0,51\%)$ <p>Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · $D_g = 0,08 \cdot 0,75 \cdot 145,40 = \mathbf{8,72 \text{ mm}}$</p>	
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)	
<p>Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding</p> $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 3,38 = \mathbf{2,20 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,70 + 0,65 \cdot 0,01 + 1,56 = \mathbf{2,27 \text{ N/mm}^2}$ <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> $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 2,05 = \mathbf{1,33 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,70 + 0,65 \cdot 0,01 + 1,56 = \mathbf{2,27 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$</p>	
	08-07-2022 09:10:11

7.7 OS Drinkwaterleiding Ø160mm PE100 SDR11 (Molendijk 27-33a)

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2022 1.1 ©
Algemene gegevens			
Naam van het project : 40038a Moerdijk-Standdaarbuiten-Molendijk Projectonderdeel : Drinkwaterleiding Ø160mm PE100 SDR11 (Molendijk 27-33a) 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	= 160,00	mm
Wanddikte	d _n	= 14,6	mm
Geen bocht aanwezig			
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)	= Vloeistof		
Ontwerpdruk	p _d	= 0,35	N/mm ²
Volumieke massa medium	ρ	= 1000	kg/m ³
Temperatuurverschil	Δ_t	= 10	°
Aanleggegevens			
Ligging: Evenwijdig aan een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 40.000	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 1,0	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 15	mm
Zettingsverschil	f _z	= 25	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,1	%
Marstonfactor	f _m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld	H _{werk}	= 3,59	m
			08-07-2022 08:59:35

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2022 1.1 ©
Grondmechanische gegevens			
Grondsoort		= Klei	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 17	kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	ϕ	= 17,5	°
Effectieve cohesie	c'	= 5	kN/m ²
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 50	kN/m ²
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,0043	N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,0068	N/mm ³
E-modulus ondergrond	E_{100}	= 2	MN/m ²
Niet rekenen met horizontale steundruk			
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	
Verkeersbelasting			
Grafiek 1/2 x II:		1/2 · Fatigue Load Model 2, Lorry 4	
Niet rekenen met ontlastende invloed wegdek			
			08-07-2022 08:59:36

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2022 1.1 ©
1. Eigenschappen van de leiding			
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 130,80	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 145,40	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 160,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 80,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 65,40	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 72,70	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 17.801.758,07	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 222.521,98	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 259,34	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 35,53	mm ³ /mm ¹
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan			
<p>Voor vloeistofleidingen geldt: $H^3 \cdot D_i^5$ moet kleiner dan 40 m⁸ zijn.</p> <p>H is de druk in meters vloeistofkolom.</p> <p>Rekening houdende met $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ volgt:</p> $H = \frac{p_d}{\rho \cdot g}$ $H = \frac{350.000}{1.000 \cdot 9,81} = 35,68 \text{ m} \rightarrow H^3 \cdot D_i^5 = 35,68^3 \cdot 0,13^5 = 1,74 \text{ m}^8$			
3. Berekening van de veiligheidszone			
$R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{H^3 \cdot D_i^5}$ $R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{35,68^3 \cdot 0,13^5} = 8,57 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_B = 4 \cdot 3,59 + 8,57 = 22,93 \text{ m}$ $D_K = 1,2 \cdot (D_0 + H) = 1,2 \cdot (0,16 + 1,0) = 1,39 \text{ m}$			
4. Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pl} t.g.v. inwendige druk			
$D_g/d_n = 145,40/14,60 = 9,96 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow$ Dikwandige leiding $\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$ $\sigma_p = \frac{80,00^2 + 65,40^2}{80,00^2 - 65,40^2} \cdot 0,35 = 1,76 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_p = 1,76 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 1,76 = 0,70 \text{ N/mm}^2$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$			
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}			
$f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w})$ $f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot 0,35 \cdot 72,7^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 259,34}) = 0,90$			
			08-07-2022 08:59:36

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2022 1.1 ©
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n		
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 17 \cdot 1,0 = 18,70 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 18,70 \cdot 10^{-3} \cdot 160 = 2,99 \text{ N/mm}^1$		
7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p		
$q_p = q_n \cdot \left(1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o} \right)$ $q_p = 18,70 \cdot \left(1 + 0,3 \cdot \frac{1,0}{0,16} \right) = 53,76 \text{ kN/m}^2$ $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 53,76 \cdot 10^{-3} \cdot 160 = 8,60 \text{ N/mm}^1$		
8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k		
$\kappa = 1 - \sin(\varphi) = 1 - \sin(17,5) = 0,699$ $\nu = \frac{\kappa}{1 + \kappa} = \frac{0,699}{1 + 0,699} = 0,41$ $E_{100, \text{norm}} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,8} = 2 \cdot (18,70/100)^{0,8} = 0,52 \text{ MN/m}^2$ $E_1 = E_{100, \text{norm}} / \frac{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu}$ $E_1 = 0,52 / \frac{1 - 0,41 - 2 \cdot 0,41^2}{1 - 0,41} = 1,23 \text{ MN/m}^2$ $z_{\text{max}} = 0,25 \cdot \frac{D_o}{E_1^{1,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$ $z_{\text{max}} = 0,25 \cdot \frac{0,16}{1,23^{1,5} \cdot \sqrt{1,0/0,16}} = 0,012 \text{ m}$ $q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_o}{z_{\text{max}}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\text{max}} \cdot k_{v, \text{min}}}}$ $q_k = 18,70 + \frac{\frac{0,1 \cdot 0,16}{0,012} \cdot (53,76 - 18,70)}{1 + \frac{53,76 - 18,70}{0,012 \cdot 0,0043 \cdot 10^6}} = 46,96 \text{ kN/m}^2$ $Q_k = q_k \cdot D_o$ $Q_k = 46,96 \cdot 10^{-3} \cdot 160 = 7,51 \text{ N/mm}^1$		
9. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Grafiek 1/2 x II NEN 3650-1:C.17		
Niet rekenen met ontlastende invloed $q_v = 19,28 \text{ kN/m}^2$ $Q_v = q_v \cdot D_o$ $Q_v = 19,28 \cdot 10^{-3} \cdot 160 = 3,08 \text{ N/mm}^1$		

10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{160 \cdot 0,0068}{4 \cdot 975 \cdot 17.801.758,07}} = 0,0020 \text{ mm}^{-1}$$

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

Zettingslengte $L = 40.000 \text{ mm}$

$$\lambda \cdot L = 0,0020 \cdot 40.000 = 79,59$$

 $i = 0,975$ (= 97,5 % inklemming)

 $B_z = 0,00000217$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)

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

$$Q_z = 0,00000217 \cdot 15 \cdot 160 \cdot 0,0068 = 0,000035 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,000035 \cdot 0,0020 \cdot 40.000 \cdot \left(0,975 + \frac{0,975 \cdot 0,0020 \cdot 40.000}{6}\right) = 0,04 \text{ N/mm}^1$$

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

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

$$Q_z = 0,00000217 \cdot (15 + 2,0 \cdot 25) \cdot 160 \cdot 0,0068 = 0,00015 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,00015 \cdot 0,0020 \cdot 40.000 \cdot \left(0,975 + \frac{0,975 \cdot 0,0020 \cdot 40.000}{6}\right) = 0,17 \text{ N/mm}^1$$

13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen
Berekening evenwichtsdraagvermogen

$$B = D_o = 0,16 \text{ m}$$

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 1,00 + 0,16 / 2 = 1,08 \text{ m}$$

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

$$d_c = 0,4 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 0,4 \cdot \tan^{-1}(1,08/0,16) = 0,57$$

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

$$P_{we} = 0,85 \cdot 50 \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + 0,02 + 0,57)$$

$$P_{we} = 347,33 \text{ kN/m}^2 = 0,35 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 0,35 \cdot 160,00 = 55,57 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen

Situatie 1 ^e en 2 ^e jaar	Conclusie:	Situatie na 2 jaar	Conclusie:
$Q_k = 7,51 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_n = 2,99 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig
$Q_v = 3,08 \text{ N/mm}^1$		$Q_v = 3,08 \text{ N/mm}^1$	
$Q_d = 0,04 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 0,17 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 10,64 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 6,25 \text{ N/mm}^1$	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2022 1.1 ©
14. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (1^e en 2^e jaar)		
Moment t.g.v. Q_k en Q_v $M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,177 \cdot (7,51 + 3,08) \cdot 72,70$ $M_q = 136,37 \text{ Nmm/mm}^1$		Moment t.g.v. Q_d $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,04 \cdot 72,70$ $M_{qd} = 0,35 \text{ Nmm/mm}^1$
Spanning t.g.v. M_q en M_{qd} $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 0,90 \cdot (136,37 + 0,35) / 35,53 = \mathbf{3,47 \text{ N/mm}^2}$		
15. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (na 2 jaar)		
Moment t.g.v. Q_n en Q_v $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,177 \cdot (2,99 + 3,08) \cdot 72,70$ $M_q = 78,19 \text{ Nmm/mm}^1$		Moment t.g.v. Q_d $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,17 \cdot 72,70$ $M_{qd} = 1,51 \text{ Nmm/mm}^1$
Spanning t.g.v. M_q en M_{qd} $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 0,90 \cdot (78,19 + 1,51) / 35,53 = \mathbf{2,02 \text{ N/mm}^2}$		
16. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,00179 \cdot 15 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,0068}{14,6}} = \mathbf{0,02 \text{ N/mm}^2}$		
17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,00179 \cdot (15 + 2,0 \cdot 25) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,0068}{14,6}} = \mathbf{0,08 \text{ N/mm}^2}$		
18. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil		
$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$ $\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,00016 \cdot 975 = \mathbf{1,56 \text{ N/mm}^2}$		
19. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht		
Aangezien er geen bocht wordt toegepast volgt: $i_x = 1, i_y = 0, i_{xp} = 1, i_{yp} = 0$		
20. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N		
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{259,34}{145,4^3} = 0,0823 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{82,26 \text{ kN/m}^2}$ Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²		
		08-07-2022 08:59:36

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2022 1.1 ©
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> $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 259,34}{145,40^3} = 1,57 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 259,34}{145,40^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$ <p>Conclusie: Kans op implosie bij 28,12 m grondwater boven de leiding</p>	
22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (2,99 + \frac{1}{2} \cdot 3,08) - 0,095 \cdot (1 - \sin(17,5^\circ)) \cdot (2,99 + \frac{1}{2} \cdot 3,08) + 0,048 \cdot 0,17) \cdot 72,70^3}{350 \cdot 259,34} = \mathbf{0,47 \text{ mm}} (= 0,32\%)$ <p>Toelaatbare deflectie = $8\% \cdot \text{importantiefactor } S \cdot D_g = 0,08 \cdot 0,75 \cdot 145,40 = \mathbf{8,72 \text{ mm}}$</p>	
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)	
<p>Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding</p> $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 3,47 = \mathbf{2,26 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,70 + 0,65 \cdot 0,02 + 1,56 = \mathbf{2,28 \text{ N/mm}^2}$ <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> $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 2,02 = \mathbf{1,32 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,70 + 0,65 \cdot 0,08 + 1,56 = \mathbf{2,31 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$</p>	
	08-07-2022 08:59:36

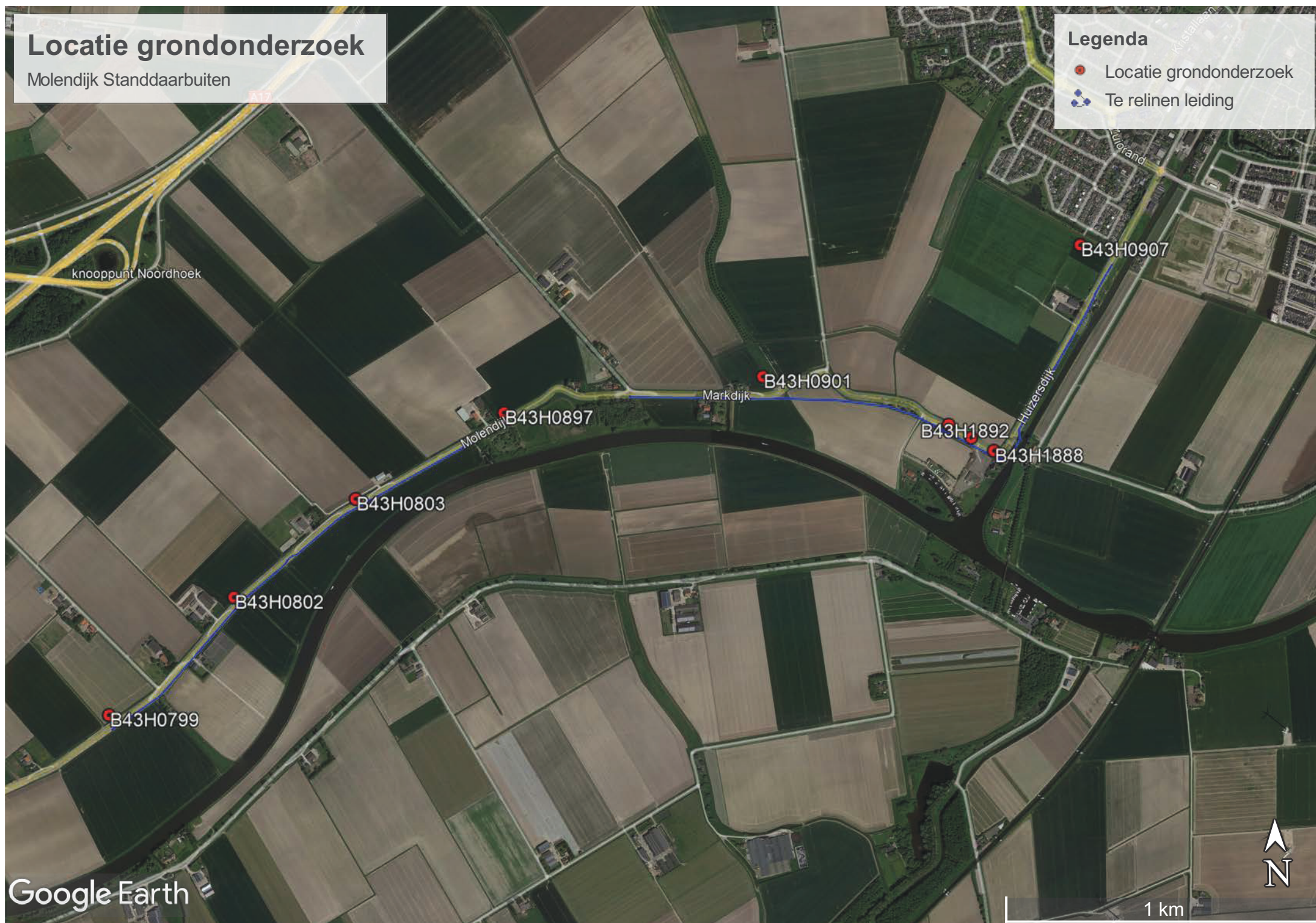
7.8 Locatie grondonderzoek Dinoloket

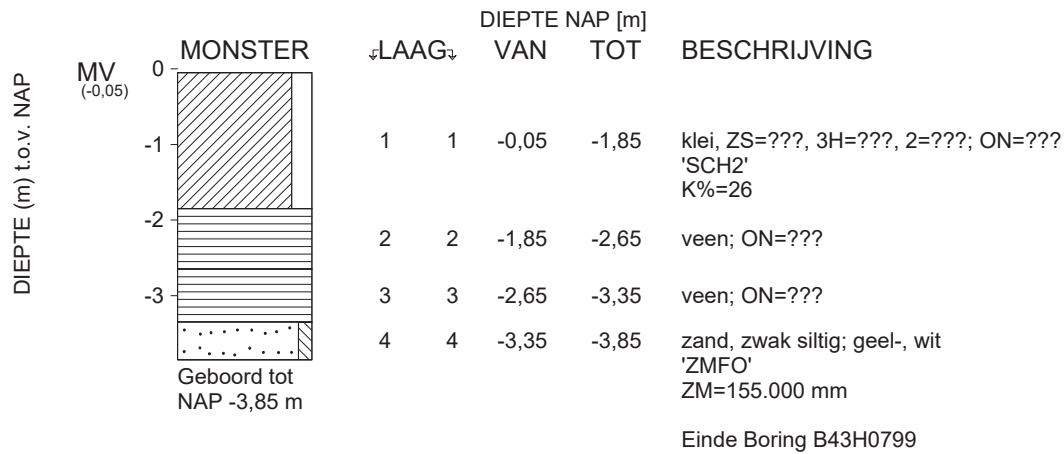
Locatie grondonderzoek

Molendijk Standdaarbuiten

Legenda

- Locatie grondonderzoek
- Te relinen leiding





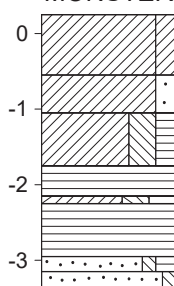
maaiveld: NAP -0,05 m
X = 96700 m Y = 404100 m (RD)

-	<Not Registered> <Not Registered>	<Not Registered> <Not Registered> <Not Registered>	Telefoon Telefax	<Not Registered> <Not Registered>	datum	get.
					DINO-BOR	gez.
-					BIJL.	form. A4

DIEPTE (m) t.o.v. NAP

MV
(0,25)

MONSTER



Geboord tot
NAP -3,35 m

↓LAAG↓

DIEPTE NAP [m]

VAN

TOT

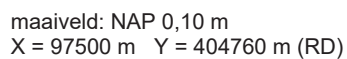
BESCHRIJVING

1	1	0,25	-0,55	KK=???; ON=???
2	2	-0,55	-1,05	KZ=???; ON=??? K%=24
3	3	-1,05	-1,75	klei, sterk siltig, matig humeus; ON=??? K%=26
4	4	-1,75	-2,15	veen; ON=???
5	5	-2,15	-2,25	klei, sterk siltig, sterk humeus; ON=??? K%=26
6	6	-2,25	-2,95	veen; ON=???
7	7	-2,95	-3,15	zand, zwak siltig, matig humeus; zwart
8	8	-3,15	-3,35	zand, zwak siltig; geel-, bruin 'ZFC'

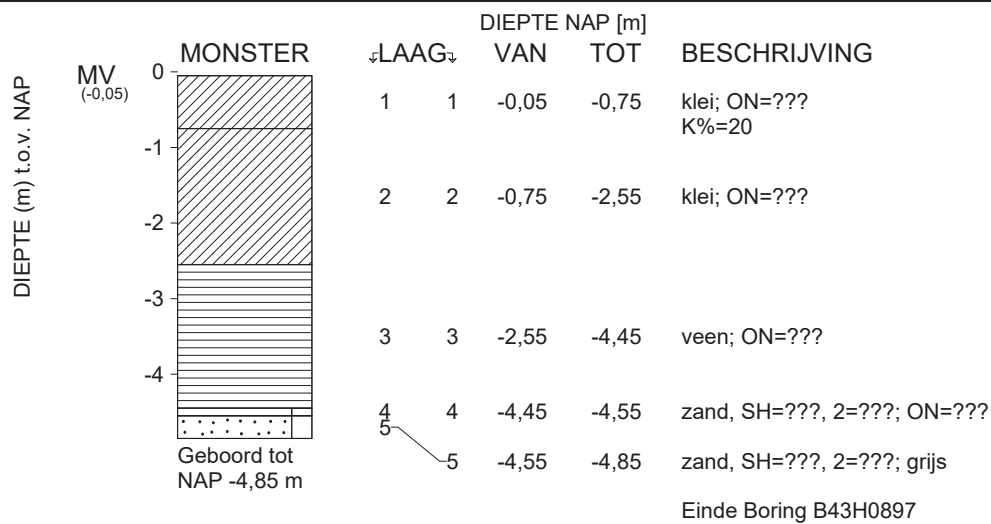
Einde Boring B43H0802

maaiveld: NAP 0,25 m
X = 97105 m Y = 404460 m (RD)

-	<Not Registered> <Not Registered>	<Not Registered> <Not Registered> <Not Registered>	Telefoon Telefax	<Not Registered> <Not Registered>	datum	get.
					DINO-BOR	gez.
-					BIJL.	form. A4

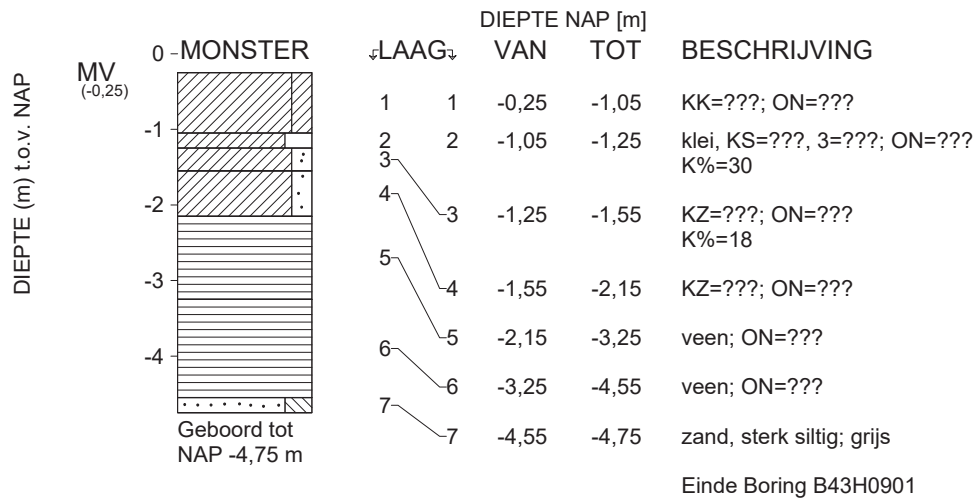


<div> <div><Not Registered></div> <div><Not Registered></div> <div>Telefoon</div> <div><Not Registered></div> </div> <div> <div><Not Registered></div> <div><Not Registered></div> <div>Telefax</div> <div><Not Registered></div> </div>				datum	get.
-				DINO-BOR	gez.
				BIJL.	form. A4



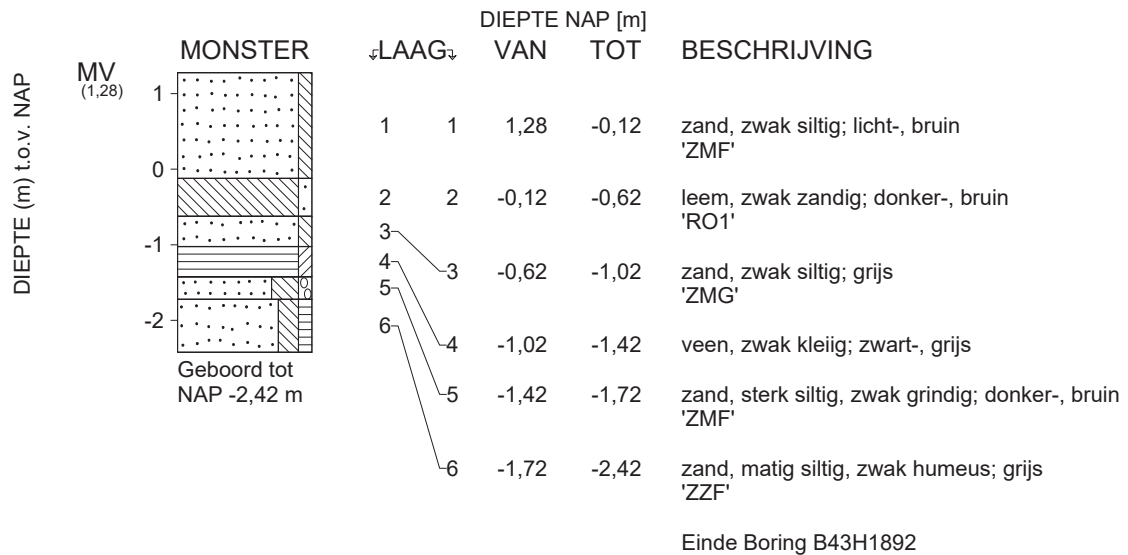
maaiveld: NAP -0,05 m
 X = 97980 m Y = 405020 m (RD)

-	<Not Registered> <Not Registered>	<Not Registered> <Not Registered> <Not Registered>	Telefoon Telefax	<Not Registered> <Not Registered>	datum	get.
					DINO-BOR	gez.
-					BIJL.	form. A4



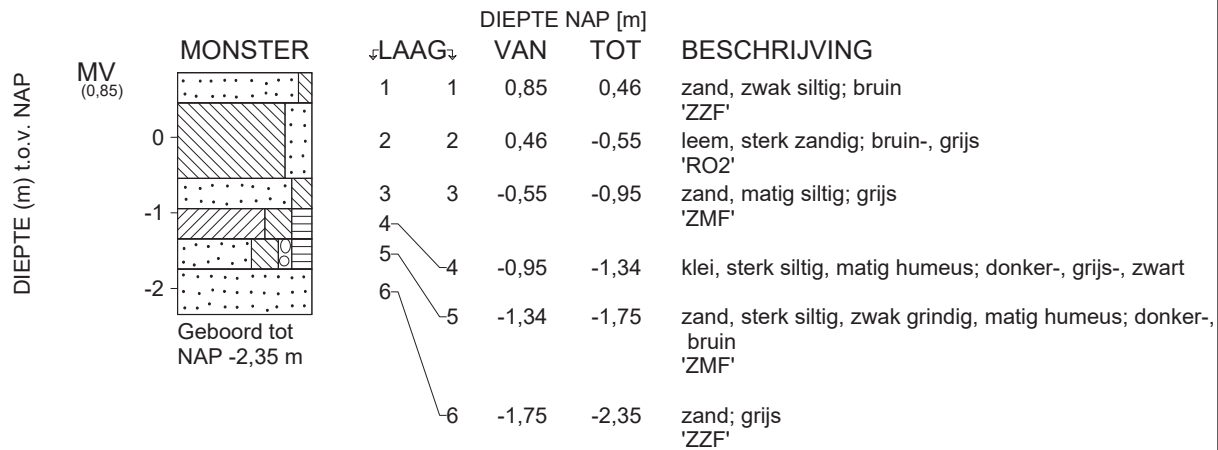
maaiveld: NAP -0,25 m
X = 98810 m Y = 405110 m (RD)

-	-	-	-	-	datum	get.
					DINO-BOR	gez.
-	-	-	-	-	BIJL.	form.
						A4



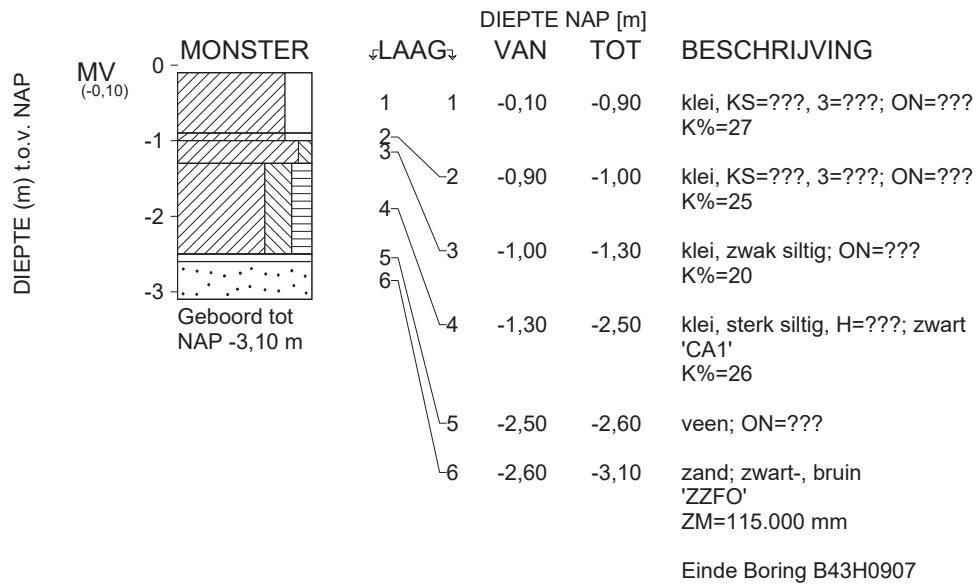
X = 99468 m Y = 404895 m (RD)

-	-	-	-	-	datum	get.
					2016-10-11	
					DINO-BOR	gez.
-	-	-	-	-	BIJL.	form.
						A4



X = 99539 m Y = 404851 m (RD)

-	-	-	-	-	datum	get.
					2016-10-11	EKN
					DINO-BOR	gez.
-	-	-	-	-	BIJL.	form.
						A4



maaiveld: NAP -0,10 m
X = 99840 m Y = 405500 m (RD)

<Not Registered> <Not Registered>		<Not Registered> <Not Registered> <Not Registered>	Telefoon Telefax	<Not Registered> <Not Registered>	datum	get.
-					DINO-BOR	gez.
					BIJL.	form. A4

De informatie die in dit rapport is opgenomen is uitsluitend bestemd voor de geadresseerde(n) en kan persoonlijke of vertrouwelijke informatie bevatten. Gebruik van deze informatie, door anderen dan de geadresseerde(n) en gebruik door hen die niet gerechtigd zijn van deze informatie kennis te nemen, is niet toegestaan. De informatie is uitsluitend bestemd om te worden gebruikt door de geadresseerde, voor het doel waarvoor dit rapport is vervaardigd. Indien u niet de geadresseerde bent of niet gerechtigd bent tot kennisneming, is openbaarmaking, vermenigvuldiging, verspreiding en/of verstrekking van deze informatie aan derden is niet toegestaan, tenzij na schriftelijke toestemming door Antea Group en wordt u verzocht de gegevens te verwijderen en direct melding te maken bij security@anteagroup.nl. Derden, zij die niet geadresseerd zijn, kunnen geen rechten aan dit rapport ontleen, tenzij na schriftelijke toestemming door Antea Group.

Over Antea Group

Antea Group is het thuis van 1500 trotse ingenieurs en adviseurs. Samen bouwen wij elke dag aan een veilige, gezonde en toekomstbestendige leefomgeving. Je vindt bij ons de allerbeste vakspecialisten van Nederland, maar ook innovatieve oplossingen op het gebied van data, sensing en IT. Hiermee dragen wij bij aan de ontwikkeling van infra, woonwijken of waterwerken. Maar ook aan vraagstukken rondom klimaatadaptatie, energietransitie en de vervangingsopgave. Van onderzoek tot ontwerp, van realisatie tot beheer: voor elke opgave brengen wij de juiste kennis aan tafel. Wij denken kritisch mee en altijd vanuit de mindset om samen voor het beste resultaat te gaan. Op deze manier anticiperen wij op de vragen van vandaag en de oplossingen voor morgen. Al 70 jaar.

Contactgegevens

Tolhuisweg 57
8443 DV HEERENVEEN
Postbus 24
8440 AA HEERENVEEN

www.anteagroup.nl

Copyright © 2022

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar worden gemaakt door middel van druk, fotokopie, elektronisch of op welke wijze dan ook, zonder schriftelijke toestemming van de auteurs.