

**Aan:** Dhr. W. van Kruisbergen (SGS Roos+Bijl)

**CC:**

**Van:** B. Lelieveld (SGS Roos+Bijl)

**E-mail:** bart.lelieveld@sgs.com

**Telefoon:** +31(0) 10 800 1672

**Datum:** 17 april 2020

**Kenmerk:** ME-TE16353-9190

**Onderwerp:** Sterkteberekening vrijval riool Blitterswijckseweg

**Bijlage 1:** Ontwerptekening

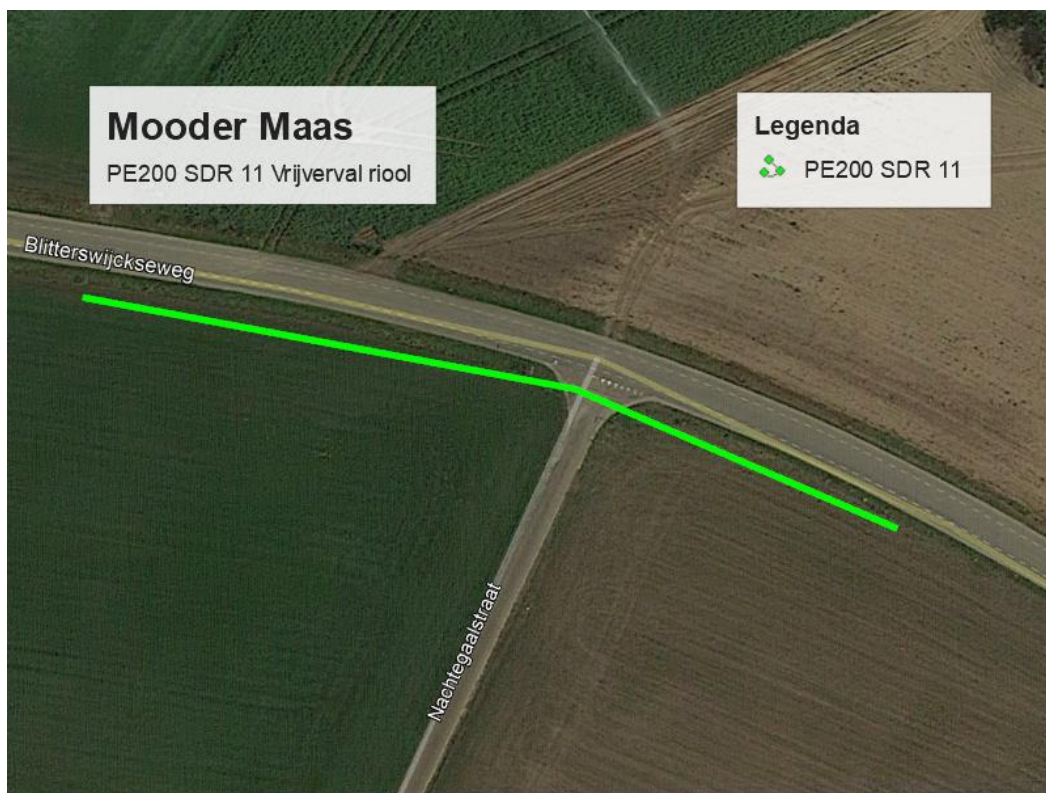
**Bijlage 2:** Grondonderzoek

**Bijlage 3:** Resultaten sterkteberekening vrijval riool, leiding drukloos

## Algemeen

Aannemerscombinatie Mooder Maas is voornemens om een bestaand vrijval riolering deels te vervangen bij de Blitterswijckseweg in Broekhuizen. Het nieuw aan te leggen vrijval riool bestaat ter plaatse van de dijk uit 200 PE100 SDR11, zie Figuur 1 voor een indicatie van het te vervangen leidingdeel. Het huidige leidingdeel bestaat uit 200 PVC.

De leiding is sterkte technisch beoordeeld conform de NEN3650:2020 en NEN3651:2020. In deze memo worden de resultaten van deze sterkteberekeningen behandeld.



**Figuur 1: Projectlocatie met indicatief leidingtracé**

### Leidinggegevens

De gegevens van het nieuwe leidingdeel staan genoemd in onderstaande Tabel 1, de afmetingen zijn overgenomen uit de ontwerptekening welke is opgenomen als Bijlage 1.

Leiding [-]	SDR klasse [-]	Uitw. diameter [mm]	Materiaal [-]	Ontwerpdruk [bar]
Persriool	11	200	PE100	Drukloos

**Tabel 1: Beoordeelde leidingen**

### Materiaalparameters

In de sterkteberekeningen van het nieuwe leidingdeel zijn de materiaalparameters gebruikt zoals gegeven in Tabel 2. Deze zijn overgenomen uit Tabel 5 van de NEN3650-3:2020.

Materiaal [-]	E [MPa]	E' [MPa]	MRS [MPa]	$\alpha_g \times 10^{-5}$ [mm/mm.K <sup>-1</sup> ]	$\gamma_m$ [-]	$\alpha_\sigma$ [-]
PE100	975	350	10,0	16	1,25	0,65

**Tabel 2: Materiaalparameters**

### Aannames voor de sterkteberekeningen

Er is een aantal aannames gedaan voor het opstellen van het rekenmodel, deze worden hieronder opgenoemd.

#### *Verkeersbelasting*

Er is uitgegaan van verkeersbelasting conform Grafiek II in figuur C.17 van de NEN3650-1 om rekening te houden met verkeersbelasting over de dijk. Hierbij is geen rekening gehouden met de ontlastende invloed van het wegdek, dit is een zeer ongunstige aanname.

#### *Bodemopbouw*

Voor de bodemopbouw is gebruik 2 boringen uit het DINOloket van TNO, deze zijn opgenomen in Bijlage 2. Op basis van dit grondonderzoek kan worden afgeleid dat de leiding wordt gelegd in zand.

#### *Gronddekking*

De huidige leiding heeft een BOB-maat van 15,47 m. Bij een maaiveldhoogte van 17,32 m geeft dit een gronddekking van  $17,32 - 15,47 - 0,20 = 1,33$ . De kruin van de dijk is verheeld met het maaiveld.

#### *Grondwaterstand*

Voor de grondwaterstand is gebruik gemaakt van 1 peilbuis uit het DINOloket van TNO met identificatienummer B52E1581-001. De grondwaterstand is maximaal afgelezen op 14,9 m + NAP. Dit betekent dat de leidingen boven de freatische grondwaterstand worden aangelegd.

### *Uitvoeringszakingsverschillen*

In de berekeningen is een uitvoeringszakingsverschil gemodelleerd van 5 mm (normaal zand) aangenomen, geldend voor een droge sleuf en goed verdichte aanvulgrond conform Tabel C.9 van de NEN3650-1:2020.

### *Temperatuur*

Er is een maximaal verschil in bedrijfstemperatuur van 10 °C aangehouden.

### *Zettingen*

De leiding heeft een BOB-maat van 15,47 m. Uit het grondonderzoek blijkt dat zich ter plaatse van het nieuwe leidingdeel enkel lagen zand bevinden. Zand heeft een zeer hoge primaire samendrukkingsconstante waarmee er een geringe elastische samendrukking kan optreden als gevolg van de ophoging in de grond boven de leiding. Secundaire zetting, en de daarmee gepaard gaande zetting op leiding-as niveau, is bij zand niet van toepassing conform tabel B.1 van de NEN3650-1:2020.

### **Importantiefactor**

Er is een importantiefactor gehanteerd van 0,75 vanwege de ligging in de (nog te realiseren) waterkering conform paragraaf 6.5 van de NEN3651:2020. Deze is toegepast op zowel de materiaalspanningen als de deflectie.

### **Beschouwde belastingcombinaties**

De volgende twee belastingcombinaties zijn beschouwd conform paragraaf 8.5.4.2 van de NEN3650-3:2020:

Combinatie 1: Situatie binnen 2 jaar na aanleg

Combinatie 2: Situatie na 2 jaar na aanleg

### **Programmatuur**

De berekeningen zijn uitgevoerd met het programma Sigma 2018 versie 1.5 van Bureau Schrijvers. Dit is een programma waarmee vereenvoudigde sterkteberekeningen gemaakt kunnen worden.

### **Toetswaarden**

De toetswaarde voor de materiaalspanningen voor Combinatie 1 en 2 is de MRS-waarde van HDPE gedeeld door de materiaalfactor en vermenigvuldigd met de importantiefactor:  $(10/1,25) \times 0,75 = 6,0 \text{ N/mm}^2$ .

De toetswaarde voor de deflectie voor Combinatie 1 en 2 is de maximale deflectie geldend voor HDPE-leidingen vermenigvuldigd met de importantiefactor:  $8 \% \times 0,75 = 6 \%$ .

### Berekeningsresultaten

De berekeningsresultaten voor de materiaalspanningen staan weergegeven in Tabel 3, voor de volledige berekening wordt verwezen naar Bijlage 3 en 4.

Belastingcombinatie [-]	Omtrekspanning [N/mm <sup>2</sup> ]	Axiale spanning [N/mm <sup>2</sup> ]	Toetsspanning [N/mm <sup>2</sup> ]
Belastingcombinatie 1	1,49	0,08	6,0
Belastingcombinatie 2	1,09	0,08	6,0

**Tabel 3: Materiaalspanningen**

De berekeningsresultaten voor de deflectie zijn samengevat in Tabel 4, voor de gehele berekening wordt verwezen naar Bijlage 3 en 4.

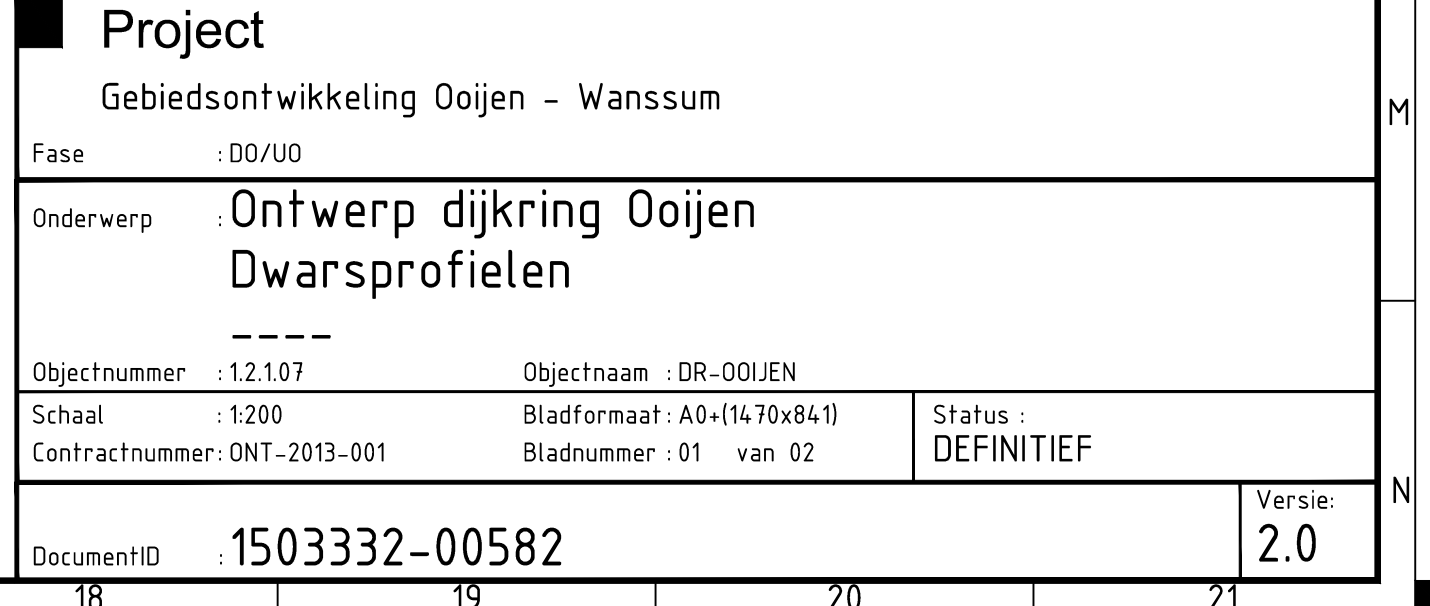
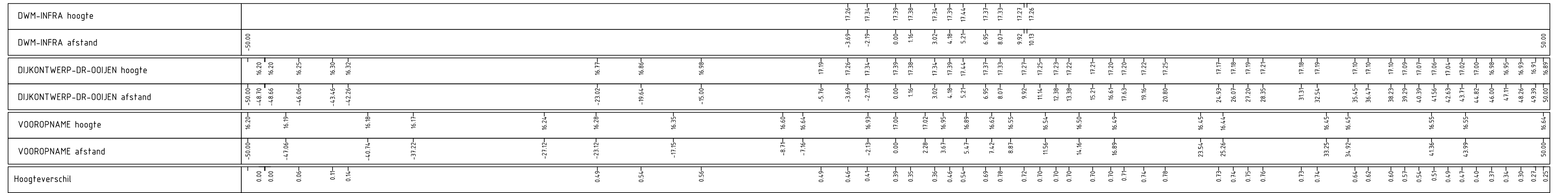
Belastingcombinatie [-]	Deflectie [%]	Toelaatbare deflectie [%]
Drukloos	1,32	6

**Tabel 4: Deflectie**

### Conclusies

Uit de gemaakte berekeningen blijkt dat dit nieuwe leidingdeel voldoet aan de in de NEN3650:2020 en NEN3651:2020 gestelde eisen voor sterkte en stijfheid. Deze conclusie is geldig indien het nieuwe leidingdeel wordt uitgevoerd in PE100 SDR 11 en indien er zich geen grondzettingen voordoen ter plaatse van de nieuwe dijk.





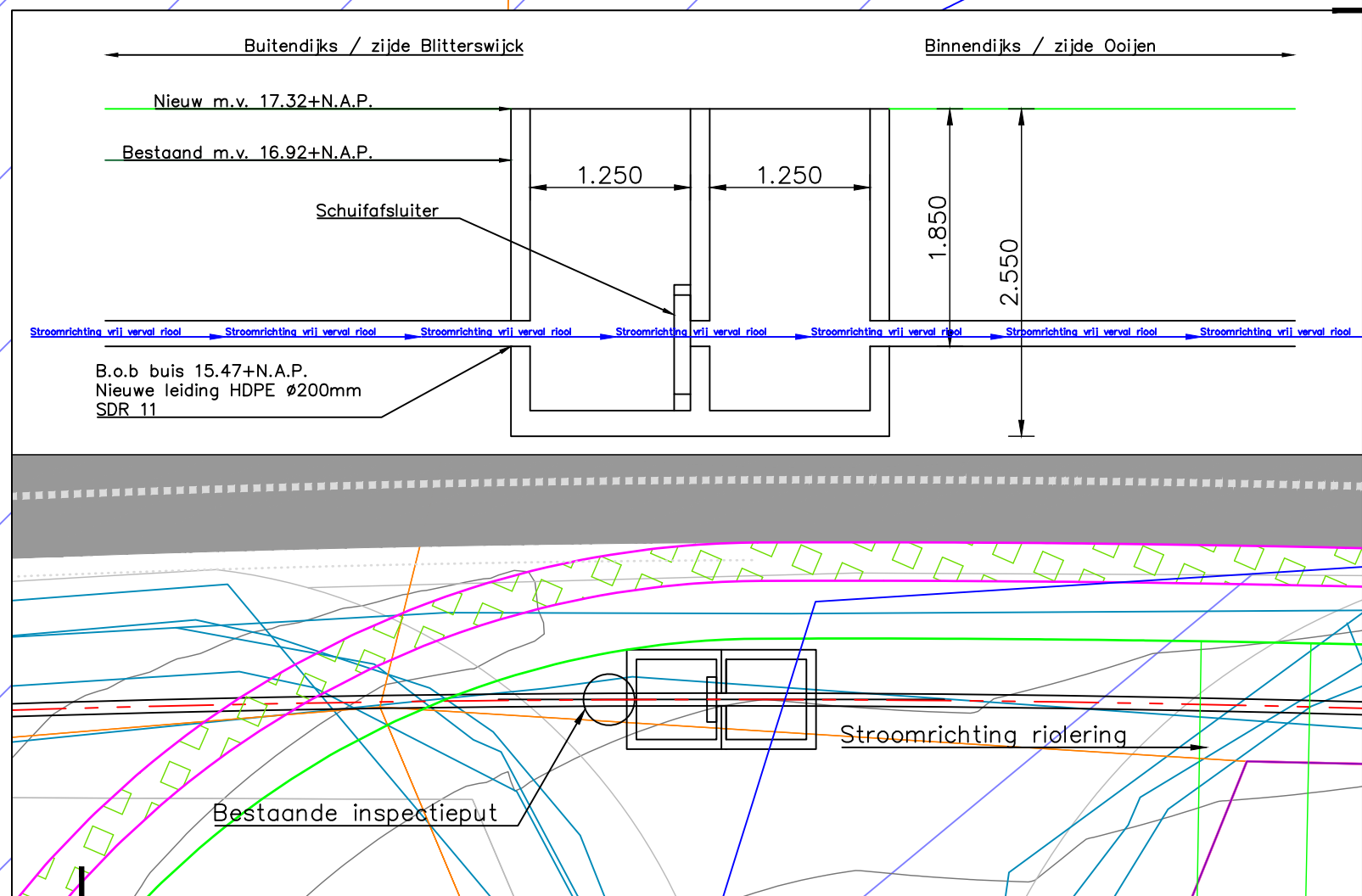


Bestaande kunststof inspectieputten  
Gemeente H c/d M

Tussen de putten vrijval riolering  
Ø200mm PVC

Nieuw aan te brengen trekvlaste buis; uitvoering in HDPE Ø200mm SDR11; lengte 100m1

Kernzone waterkering (tussen het schuin blauw gearceerde)  
Beschermingszone waterkering (schuin blauw gearceerd)





# Mooder Maas

Vrijverval riool 200 PE SDR 11

## Legenda

- Grondboringen
- 200 PE SDR 11

Blitterswijckseweg

B52E3748

B52E3749

Google Earth

© 2020 Google

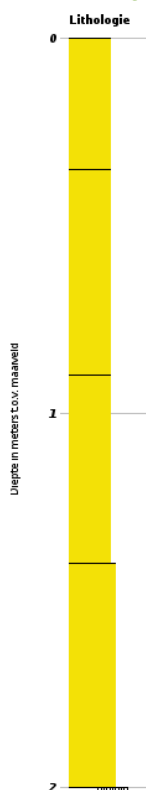
© 2020 GeoBasis-DE/BKG



100 m



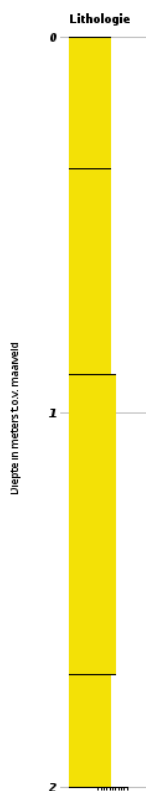
### Boormonsterprofiel



Identificatie: B52E3748  
Coördinaten: 207851, 391388 (RD)  
Maaiveld: 16.56 m t.o.v. NAP  
Beschikbare informatie: Digitale opnamegegevens  
Beschrijfmethode: GEF Standaard

Lithologie  
Zand midden categorie

### Boormonsterprofiel

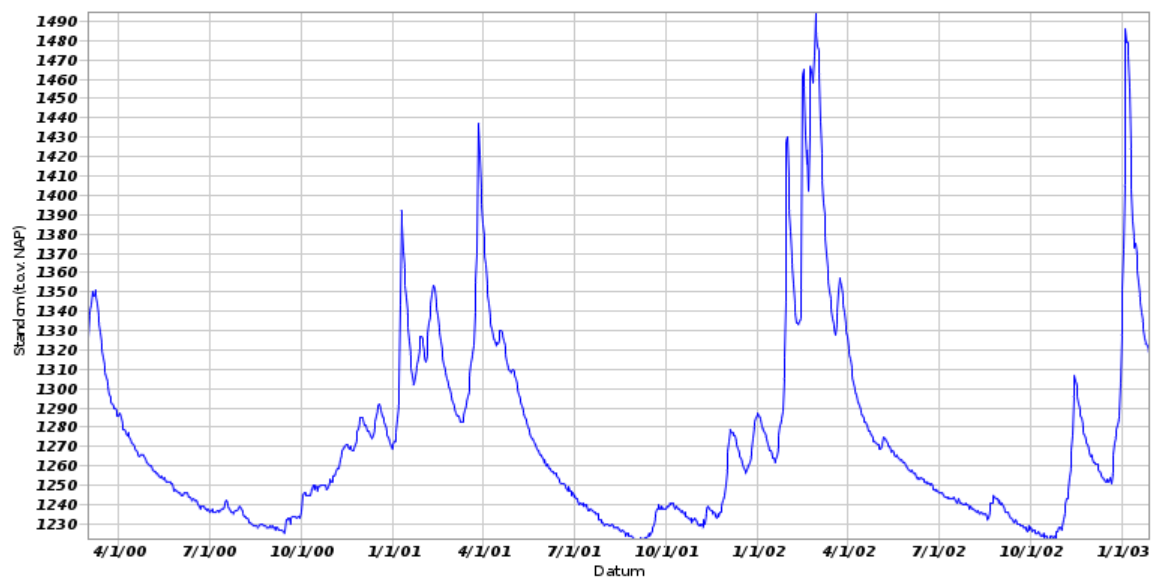


Identificatie: B52E3749  
Coördinaten: 207715, 391325 (RD)  
Maaiveld: 16.39 m t.o.v. NAP  
Beschikbare informatie: Digitale opnamegegevens  
Beschrijfmethode: GEF Standaard

Lithologie  
Zand midden categorie

## Grondwaterstanden

Identificatie: B52E1581  
Identificatie buis: B52E1581-001  
Coördinaten: 208372, 391625 (RD)  
Maaiveld: 14.35 m t.o.v. NAP



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©	
<b>Algemene gegevens</b>			
Naam van het project : TE16353 Mooder Maas - vrijverval riool Blitterswijkseweg Projectonderdeel : Sterkteberekening drukloos Importantiefactor S : 0,75			
<b>Materiaalgegevens</b>			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm <sup>2</sup>
Materiaalfactor	$\gamma_M$	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm <sup>2</sup>
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	$\alpha_g$	= 16,0·10 <sup>-5</sup>	mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	$\alpha_\sigma$	= 0,65	-
Toelaatbare deflectie	$\delta$	= 8	%
<b>Leidinggegevens</b>			
Uitwendige middellijn	D <sub>e</sub>	= 200,00	mm
Wanddikte	d <sub>n</sub>	= 18,2	mm
Wanddikte bocht	t	= 18,2	mm
Bochtstraal	R	= 532,50	mm
<b>Procesgegevens</b>			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	
<b>Aanleggegevens</b>			
Ligging: Kruising met een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 8.427	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 1,33	m
Belastinghoek	$\alpha$	= 180	°
Ondersteuningshoek	$\beta$	= 120	°
Horizontale steundrukhoek	$\gamma$	= 120	°
Uitvoeringszakkingverschil	f <sub>v</sub>	= 5	mm
Zettingsverschil	f <sub>z</sub>	= 0	mm
Klinkpercentage	$\mu$	= 0,02	%
Marstonfactor	f <sub>m</sub>	= 0,3	-
<b>Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone</b>			
Waterstaatswerk: Verheeld			
		17-04-2020 14:47:31	



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2018 1.5 ©	
Grondmechanische gegevens				
Grondsoort		= Zand		
Volumiek gewicht droge grond	$\gamma_d$	= 18	kN/m <sup>3</sup>	
Inwendige wrijvingshoek grond	$\phi$	= 32,5	°	
Effectieve cohesie	$c'$	= 0	kN/m <sup>2</sup>	
Ongedraineerde schuifsterkte	$c_u$	= 0	kN/m <sup>2</sup>	
E-modulus sleufmateriaal	$E_1$	= 10	MN/m <sup>2</sup>	
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,012	N/mm <sup>3</sup>	
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,032	N/mm <sup>3</sup>	
Rekenen met horizontale steundruk				
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	$\gamma$	= 1,1		
Verkeersbelasting				
Grafiek II:		Fatigue Load Model 2, Lorry 4		
Niet rekenen met ontlastende invloed wegdek				
			17-04-2020 14:47:31	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012				Sigma 2018 1.5 ©
<b>1. Eigenschappen van de leiding</b>				
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 163,60	mm	
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i) / 2$	= 181,80	mm	
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 200,00	mm	
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 100,00	mm	
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 81,80	mm	
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 90,90	mm	
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 43.375.425,69	mm <sup>4</sup>	
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 433.754,26	mm <sup>3</sup>	
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 502,38	mm <sup>4</sup> /mm <sup>1</sup>	
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 55,21	mm <sup>3</sup> /mm <sup>1</sup>	
<b>2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan</b>				
Leiding is drukloos: Controle is niet mogelijk.				
<b>3. Berekening van de veiligheidszone</b>				
Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} = 4 \cdot 0,00 = 0,00$ m				
<b>4. Berekening van de spanningen <math>s_p</math> en <math>s_{pl}</math> t.g.v. inwendige druk</b>				
Leiding is drukloos: $\sigma_p = 0,00$ N/mm <sup>2</sup>				
<b>5. Berekening reroundingfactor <math>f_{rr}</math></b>				
Leiding is drukloos: $f_{rr} = 1,00$				
<b>6. Berekening van de neutrale grondbelasting <math>Q_n</math></b>				
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 18 \cdot 1,33 = 26,33$ kN/m <sup>2</sup> $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 26,33 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 5,27$ N/mm <sup>1</sup>				
<b>7. Berekening van de passieve grondbelasting <math>Q_p</math></b>				
$q_p = q_n \cdot (1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o})$ $q_p = 26,33 \cdot (1 + 0,3 \cdot \frac{1,33}{0,2}) = 78,87$ kN/m <sup>2</sup> $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 78,87 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 15,77$ N/mm <sup>1</sup>				
				17-04-2020 14:47:31

**8. Berekening van de reële grondbelasting  $Q_k$** 

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

$$z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{0,2}{10^{0,5} \cdot \sqrt{1,33/0,2}} = 0,0049 \text{ m}$$

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

$$q_k = 26,33 + \frac{\frac{0,02 \cdot 0,2}{0,0049} \cdot (78,87 - 26,33)}{1 + \frac{78,87 - 26,33}{0,0049 \cdot 0,0120 \cdot 10^6}} = 48,97 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 48,97 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 9,79 \text{ N/mm}^1$$

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

Niet rekenen met ontlastende invloed

$$q_v = 24,38 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_v = q_v \cdot D_o$$

$$Q_v = 24,38 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 4,88 \text{ N/mm}^1$$

**10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding  $\lambda$** 

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{200 \cdot 0,032}{4 \cdot 975 \cdot 43.375.425,69}} = 0,0025 \text{ mm}^{-1}$$

**11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> jaar)**

Zettingslengte  $L = 8.427 \text{ mm}$

$$\lambda \cdot L = 0,0025 \cdot 8.427 = 20,90$$

$i = 0,900$  (= 90,0 % inklemming)

$B_z = 0,000360$  (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)

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

$$Q_z = 0,000360 \cdot 5 \cdot 200 \cdot 0,032 = 0,012 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,012 \cdot 0,0025 \cdot 8.427 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0025 \cdot 8.427}{6}\right) = 0,97 \text{ N/mm}^1$$

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

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

$$Q_z = 0,000360 \cdot (5 + 1,5 \cdot 0) \cdot 200 \cdot 0,032 = 0,012 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,012 \cdot 0,0025 \cdot 8.427 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0025 \cdot 8.427}{6}\right) = 0,97 \text{ N/mm}^1$$

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

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

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

$$B = D_o = 0,20 \text{ m}$$

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 1,33 + 0,20 / 2 = 1,43 \text{ m}$$

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

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 1,39$$

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

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

$$P_{we} = 941,91 \text{ kN/m}^2 = 0,94 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 0,94 \cdot 200,00 = 188,38 \text{ N/mm}^1$$

*Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen*

<i>Situatie 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> jaar</i>	<i>Conclusie:</i>	<i>Situatie na 2 jaar</i>	<i>Conclusie:</i>
$Q_k = 9,79 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van $Q_d$ nodig	$Q_n = 5,27 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van $Q_d$ nodig
$Q_v = 4,88 \text{ N/mm}^1$		$Q_v = 4,88 \text{ N/mm}^1$	
$Q_d = 0,97 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 0,97 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 15,64 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 11,11 \text{ N/mm}^1$	

**14. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> jaar)***Moment t.g.v.  $Q_k$  en  $Q_v$* 

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

$$M_q = 0,138 \cdot (9,79 + 4,88) \cdot 90,90 - 0,143 \cdot (1 - \sin(32,5^\circ)) \cdot \sin(1/2 \cdot 120^\circ) \cdot (9,79 + 4,88) \cdot 90,90$$

$$M_q = 107,62 \text{ Nmm/mm}^1$$

*Moment t.g.v.  $Q_d$* 

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

$$M_{qd} = 0,083 \cdot 0,97 \cdot 90,90$$

$$M_{qd} = 7,32 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 1,00 \cdot (107,62 + 7,32) / 55,21 = \mathbf{2,08 \text{ N/mm}^2}$$

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

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

$$M_q = 0,138 \cdot (5,27 + 4,88) \cdot 90,90 - 0,143 \cdot (1 - \sin(32,5^\circ)) \cdot \sin(1/2 \cdot 120^\circ) \cdot (5,27 + 4,88) \cdot 90,90$$

$$M_q = 74,41 \text{ Nmm/mm}^1$$

*Moment t.g.v.  $Q_d$* 

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

$$M_{qd} = 0,083 \cdot 0,97 \cdot 90,90$$

$$M_{qd} = 7,32 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 1,00 \cdot (74,41 + 7,32) / 55,21 = 1,48 \text{ N/mm}^2$$

**16. Berekening van de spanning  $\sigma_{bx}$  t.g.v. uitvoeringszakkingverschil  $f_v$** 

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

$$\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot 5 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,032}{18,2}} = 0,13 \text{ N/mm}^2$$

**17. Berekening van de spanning  $\sigma_{bx}$  t.g.v. uitvoeringszakkingverschil  $f_v$  en zettingsverschil  $f_z$** 

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

$$\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot (5 + 1,5 \cdot 0) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,032}{18,2}} = 0,13 \text{ N/mm}^2$$

**18. Berekening van de spanning  $\sigma_{ax}$  t.g.v. temperatuurverschil**

Leiding is drukloos

$$\sigma_{ax} = 0 \text{ N/mm}^2$$

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

$$r = \left( \frac{D_e}{2} + \frac{D_e - 2 \cdot t}{2} \right) / 2 = 90,90 \text{ mm}$$

$$h = \frac{t \cdot R}{r^2} = \frac{18,2 \cdot 532,5}{90,9^2} = 1,17$$

$$k = \frac{1,65}{h} = \frac{1,65}{1,17} = 1,41$$

$$i_x = \frac{0,9}{h^{(2/3)}} = \frac{0,9}{1,17^{(2/3)}} = 0,81$$

$$i_y = 2 \cdot i_x = 2 \cdot 0,81 = 1,62$$

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

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2018 1.5 ©
<b>20. Toetsing op minimale ringstijfheid <math>S_N</math></b>	
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{502,38}{181,8^3} = 0,0815 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,52 \text{ kN/m}^2}$ <p>Minimaal vereiste ringstijfheid = <b>2 kN/m<sup>2</sup></b></p>	
<b>21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk</b>	
<p>Veiligheidsfactor <math>\gamma</math> voor langdurige onderdruk: <math>\gamma = 3</math>  Veiligheidsfactor <math>\gamma</math> voor kortdurende onderdruk: <math>\gamma = 1,5</math></p> $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 502,38}{181,80^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 502,38}{181,80^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$ <p>Conclusie: Kans op implosie bij <b>27,87 m</b> grondwater boven de leiding</p>	
<b>22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie</b>	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (5,27 + 4,88) - 0,083 \cdot (1 - \sin(32,5^\circ)) \cdot (5,27 + 4,88) + 0,048 \cdot 0,97) \cdot 90,90^3}{350 \cdot 502,38} = \mathbf{2,39 \text{ mm}} (= 1,32\%)$ <p>Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · <math>D_g = 0,08 \cdot 0,75 \cdot 181,80 = \mathbf{10,91 \text{ mm}}</math></p>	
<b>23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> jaar)</b>	
<p>Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding</p> $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + i_y \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (2,08 + 1,62 \cdot 0,13) = \mathbf{1,49 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot i_x \cdot \sigma_{bx}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,13 = \mathbf{0,08 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = <math>\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}</math></p>	
<b>24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)</b>	
<p>Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding</p> $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + i_y \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (1,48 + 1,62 \cdot 0,13) = \mathbf{1,09 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot i_x \cdot \sigma_{bx}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,13 = \mathbf{0,08 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = <math>\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}</math></p>	
	17-04-2020 14:47:31