

**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:** 6 mei 2020  
**Kenmerk:** ME-TE16353-9137

**Onderwerp:** Sterkteberekening persriool Wanssumseweg v2

**Bijlage 1:** Ontwerptekening  
**Bijlage 2:** Resultaten sterkteberekening persriool, leiding op druk  
**Bijlage 3:** Resultaten sterkteberekening persriool, leiding drukloos

## 1 Inleiding

Als onderdeel van het project Gebiedsontwikkeling Ooijen-Wanssum zijn er werkzaamheden gepland aan het persriool aan de Wanssumseweg. Er is een sterkteberekening uitgevoerd conform de NEN3650 en de NEN3651 waarin de nieuwe situatie is verdisconteerd, in deze memo worden de uitgangspunten en berekeningsresultaten behandeld.

## 2 Sterkteberekening

### 2.1. Materiaal

Het persriool is uitgevoerd in  $\varnothing 160$  mm PE100 SDR11. De buizen zullen worden trekvast worden verbonden door middel van spiegellassen.

### 2.2. Uitgangspunten

De berekeningen zijn uitgevoerd op basis van de volgende aangeleverde tekeningen:

- 1503332-01597-007 v4.0 d.d. 04-02-2020 van Mooder Maas;
- 5103332-01597-002 v4.0 d.d. 04-02-2020 van Mooder Maas;
- 07-DRG-LENGTEPROFIEL\_PERSLEIDING-200316 zonder datum of revisie.

Verder is vanuit Mooder Maas opgegeven dat de opvoerhoogte ca. 30 m is en het maximale debiet  $70 \text{ m}^3/\text{uur}$ .

Er is verkeersbelasting conform Grafiek II van de NEN3650 in rekening gebracht.

Uit DWP17 valt af te leiden dat de leiding een gronddekking heeft van 1 m.

### 2.3. Importantiefactor

Er is een importantiefactor van 0,85 gehanteerd conform paragraaf B.1 van de NEN3651:2020 geldend voor een primaire waterkering en geen reëel levensgevaar

### 3 Berekeningsresultaten

De berekeningsresultaten voor spanningen en deflectie zijn samengevat in onderstaande tabellen; voor de volledige resultaten wordt verwezen naar Bijlage 2 en Bijlage 3.

Situatie [-]	Omtrekspanning [N/mm <sup>2</sup> ]	Axiale spanning [N/mm <sup>2</sup> ]	Toetsspanning [N/mm <sup>2</sup> ]
Leiding onder druk	3,33	2,95	6,8
Leiding drukloos	2,82	0,01	6,8

**Tabel 1: Spanningen binnen 2 jaar na aanleg**

Situatie [-]	Omtrekspanning [N/mm <sup>2</sup> ]	Axiale spanning [N/mm <sup>2</sup> ]	Toetsspanning [N/mm <sup>2</sup> ]
Leiding onder druk	2,04	2,97	6,8
Leiding drukloos	1,73	0,03	6,8

**Tabel 2: Spanningen na 2 jaar na aanleg**

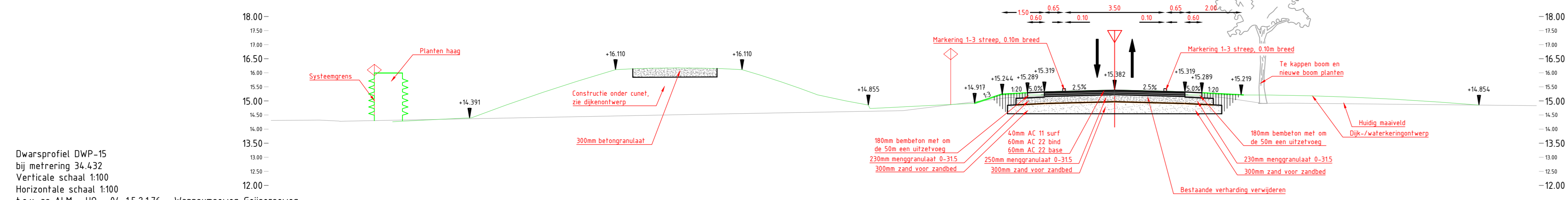
Belastingcombinatie [-]	Deflectie [mm]	Toelaatbare deflectie [mm]
Op druk	1,65	9,89
Drukloos	1,65	9,89

**Tabel 3: Deflectie**

De grootte van de straal van de ontgrondingskuil is berekend op 4,37 m.

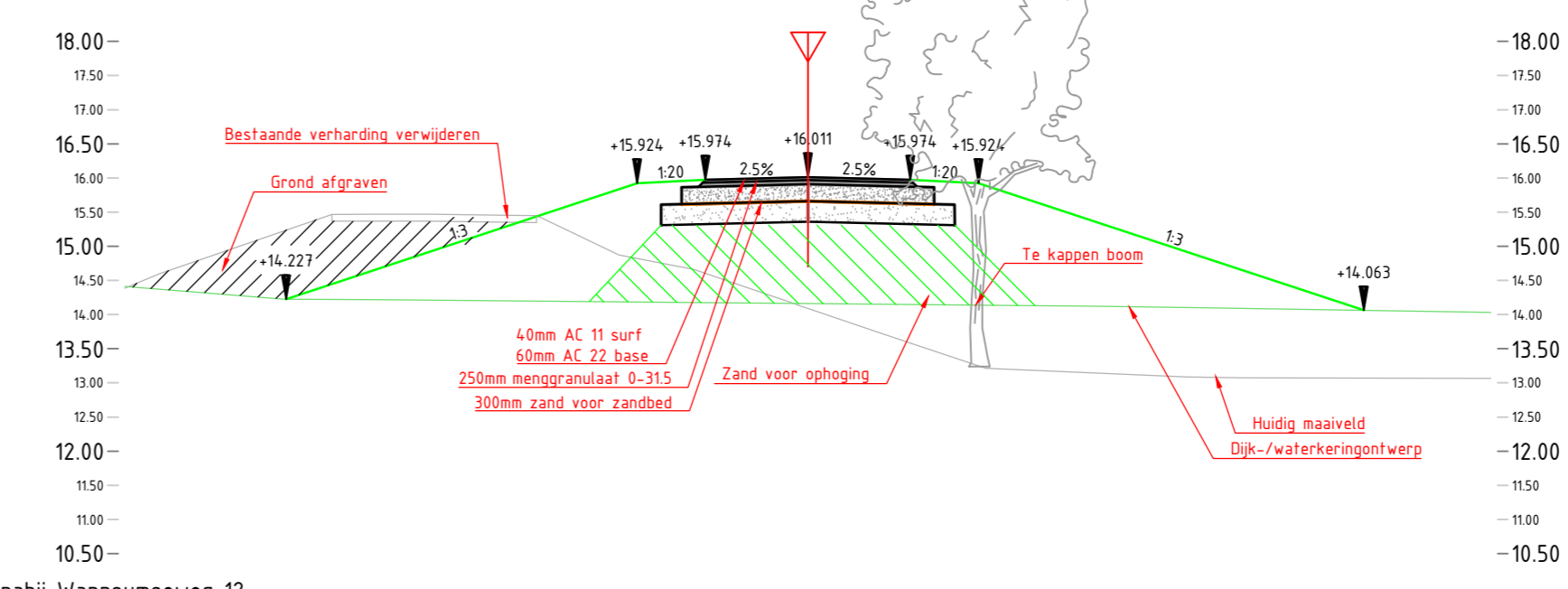
### 4 Conclusies

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.



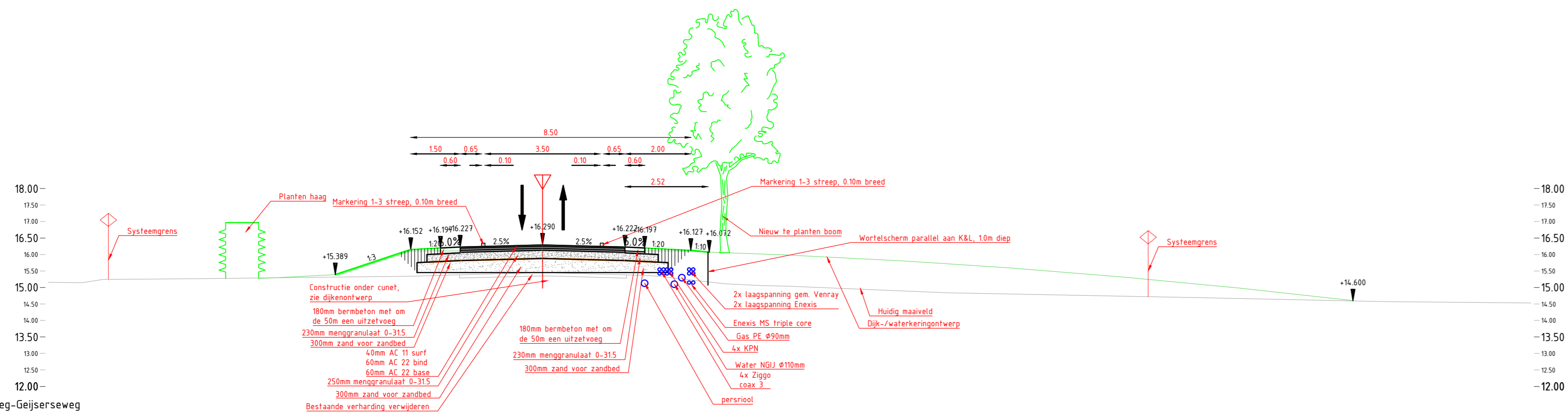
Dwarsprofiel DWP-15  
bij meting 24.422  
Verticale schaal 1:100  
Horizontale schaal 1:100  
f.o.v. as ALM - UD - 04-15.2.176 - Wansumseweg-Geijsterseweg

Ontwerp	Dwarsprofiel DWP-15															
	Nieuwe hoogte	[Elevation values]														
	Nieuwe afstand	[Distance values]														
Bestaand	Dwarsprofiel DWP-15															
	Bestaande hoogte	[Elevation values]														
	Bestaande afstand	[Distance values]														
Hoogteverschil		[Difference values]														



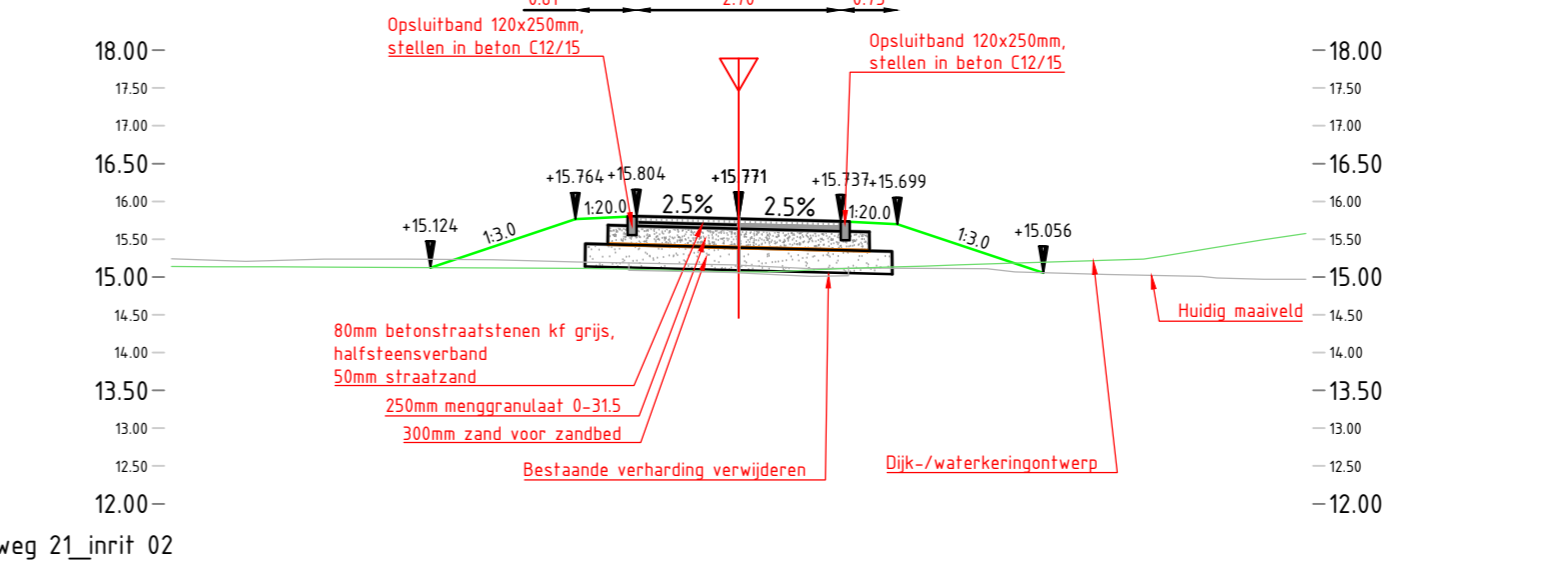
Dwarsprofiel DWP-14  
bij meting 42.823  
Verticale schaal 1:100  
Horizontale schaal 1:100  
f.o.v. as ALM - UD - 04-15.2.1 - Dijkweg nabij Wansumseweg 12

Ontwerp	Dwarsprofiel DWP-14															
	Nieuwe hoogte	[Elevation values]														
	Nieuwe afstand	[Distance values]														
Bestaand	Dwarsprofiel DWP-14															
	Bestaande hoogte	[Elevation values]														
	Bestaande afstand	[Distance values]														
Hoogteverschil		[Difference values]														



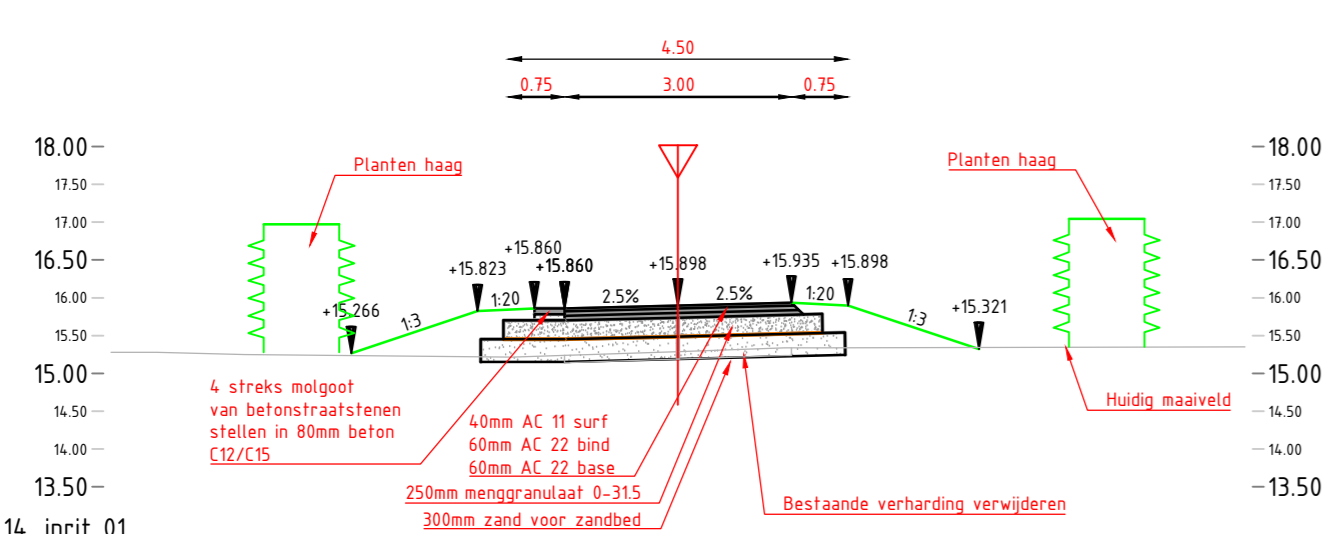
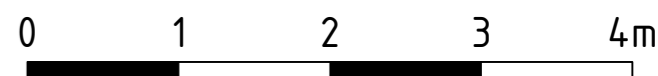
Dwarsprofiel DWP-17  
bij meting 167.144  
Verticale schaal 1:100  
Horizontale schaal 1:100  
f.o.v. as ALM - UD - 04-15.2.176 - Wansumseweg-Geijsterseweg

Ontwerp	Dwarsprofiel DWP-17															
	Nieuwe hoogte	[Elevation values]														
	Nieuwe afstand	[Distance values]														
Bestaand	Dwarsprofiel DWP-17															
	Bestaande hoogte	[Elevation values]														
	Bestaande afstand	[Distance values]														
Hoogteverschil		[Difference values]														



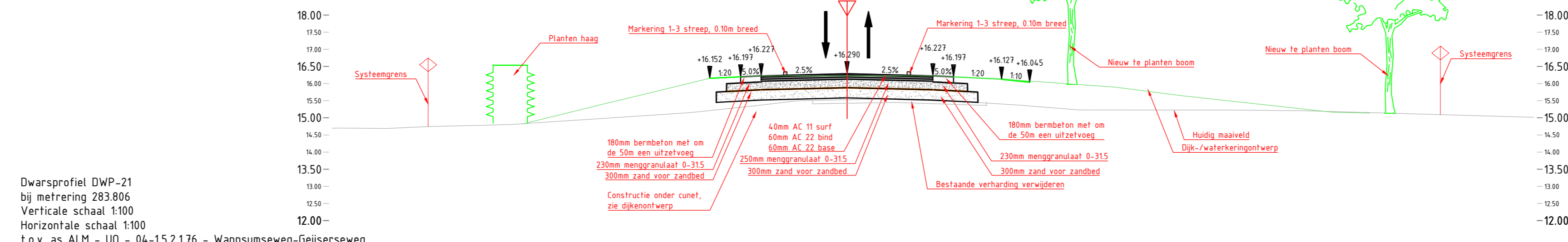
Dwarsprofiel DWP-22  
bij meting 27.000  
Verticale schaal 1:100  
Horizontale schaal 1:100  
f.o.v. as ALM - UD - 04-15.2.1 - Geijsterseweg 21\_innrl 02

Ontwerp	Dwarsprofiel DWP-22															
	Nieuwe hoogte	[Elevation values]														
	Nieuwe afstand	[Distance values]														
Bestaand	Dwarsprofiel DWP-22															
	Bestaande hoogte	[Elevation values]														
	Bestaande afstand	[Distance values]														
Hoogteverschil		[Difference values]														



Dwarsprofiel DWP-18  
bij meting 14.500  
Verticale schaal 1:100  
Horizontale schaal 1:100  
f.o.v. as ALM - UD - 04-15.2.1 - Wansumseweg 14\_innl 01

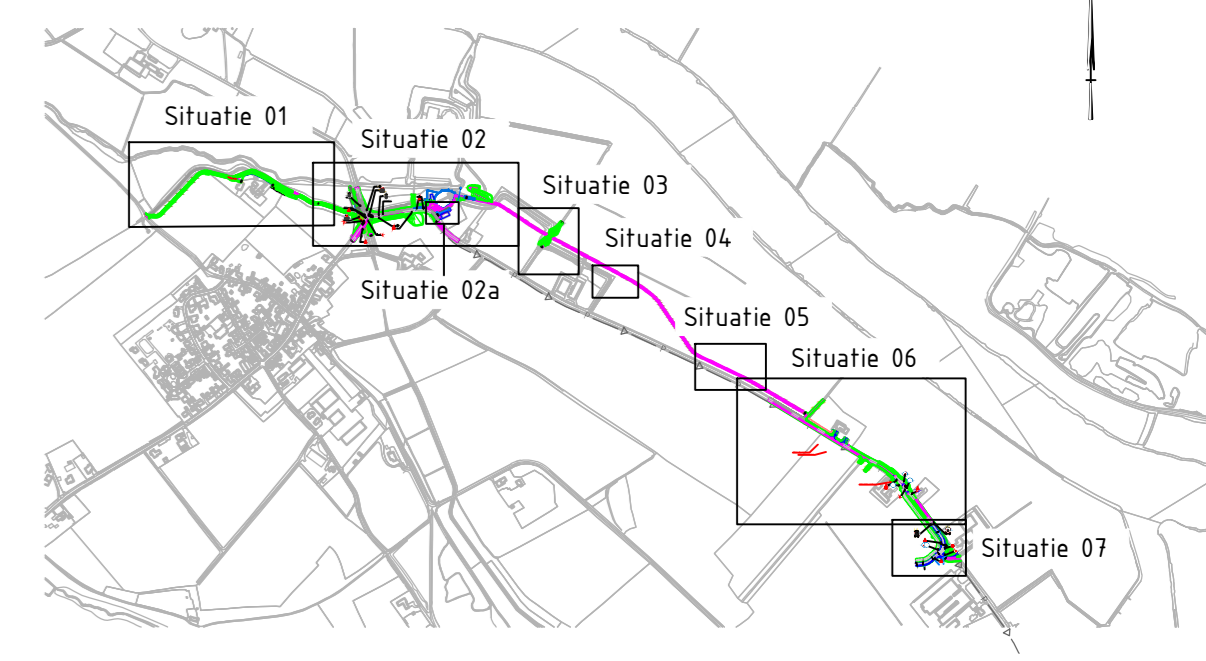
Ontwerp	Dwarsprofiel DWP-18															
	Nieuwe hoogte	[Elevation values]														
	Nieuwe afstand	[Distance values]														
Bestaand	Dwarsprofiel DWP-18															
	Bestaande hoogte	[Elevation values]														
	Bestaande afstand	[Distance values]														
Hoogteverschil		[Difference values]														



Dwarsprofiel DWP-21  
bij meting 283.806  
Verticale schaal 1:100  
Horizontale schaal 1:100  
f.o.v. as ALM - UD - 04-15.2.176 - Wansumseweg-Geijsterseweg

Ontwerp	Dwarsprofiel DWP-21															
	Nieuwe hoogte	[Elevation values]														
	Nieuwe afstand	[Distance values]														
Bestaand	Dwarsprofiel DWP-21															
	Bestaande hoogte	[Elevation values]														
	Bestaande afstand	[Distance values]														
Hoogteverschil		[Difference values]														

- Opmerking**
- Dijkmodel zie tekening 1503332-00599
  - Dwarsprofielen, zie tekening 1503332-01597-003 f/m 008
  - Lengteprofielen, zie tekening 1503332-01597-009 f/m 010
  - Ontwerp project westelijke insteekhaven Wansum, zie tekening 16107 (190717)



Van:	Na:	Op:	Opmerking:
1503332-01597-003	1503332-01597-003	1503332-01597-003	1503332-01597-003



**Opdrachtgever**  
provincie limburg

**Project**  
Gebiedsontwikkeling Ooijen - Wansum

Fase: :DO/UD

Onderwerp: **Dwarsprofielen 14, 15, 17, 18, 21 en 22**  
Deelgebied 4, Geijsteren

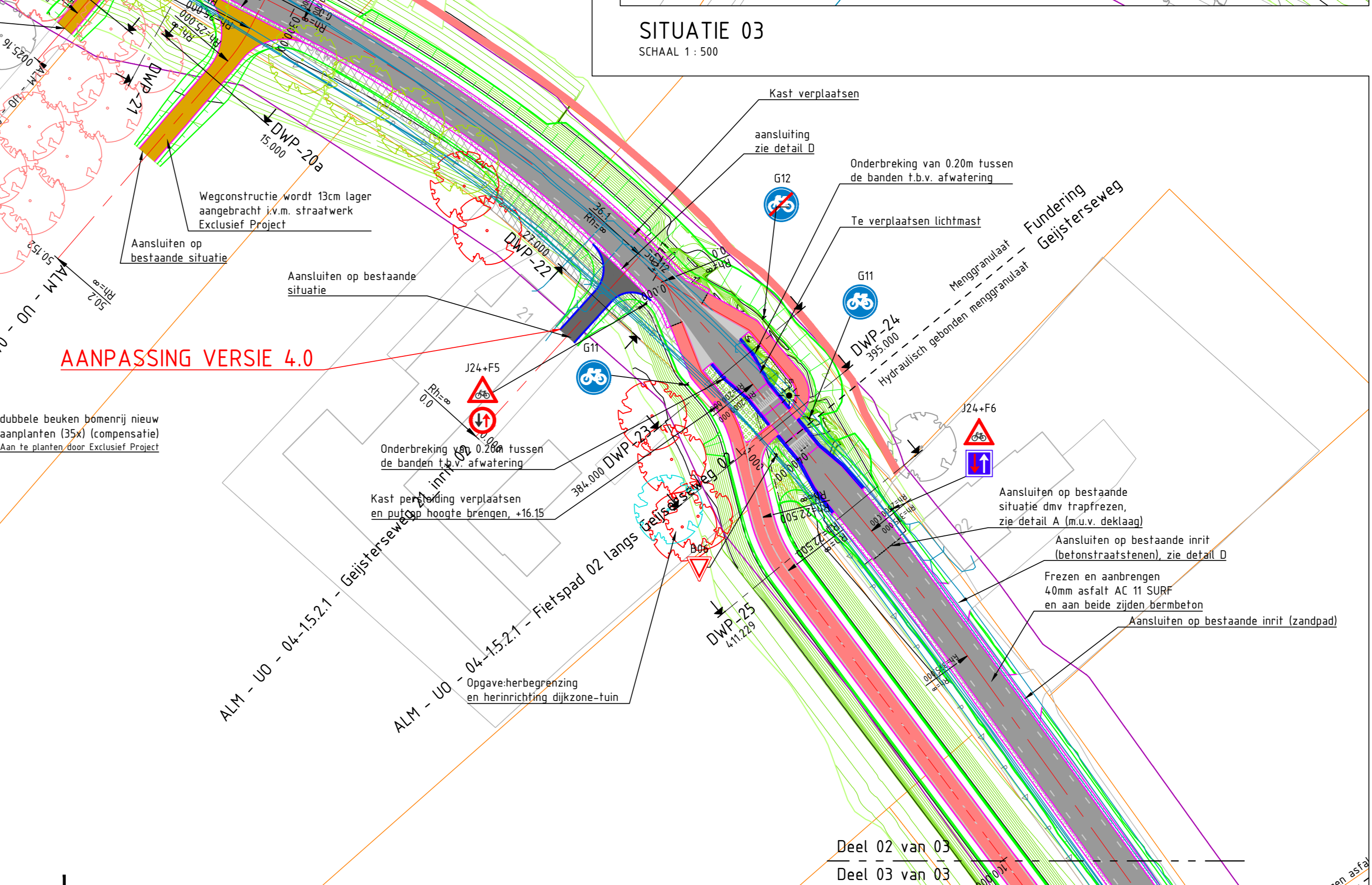
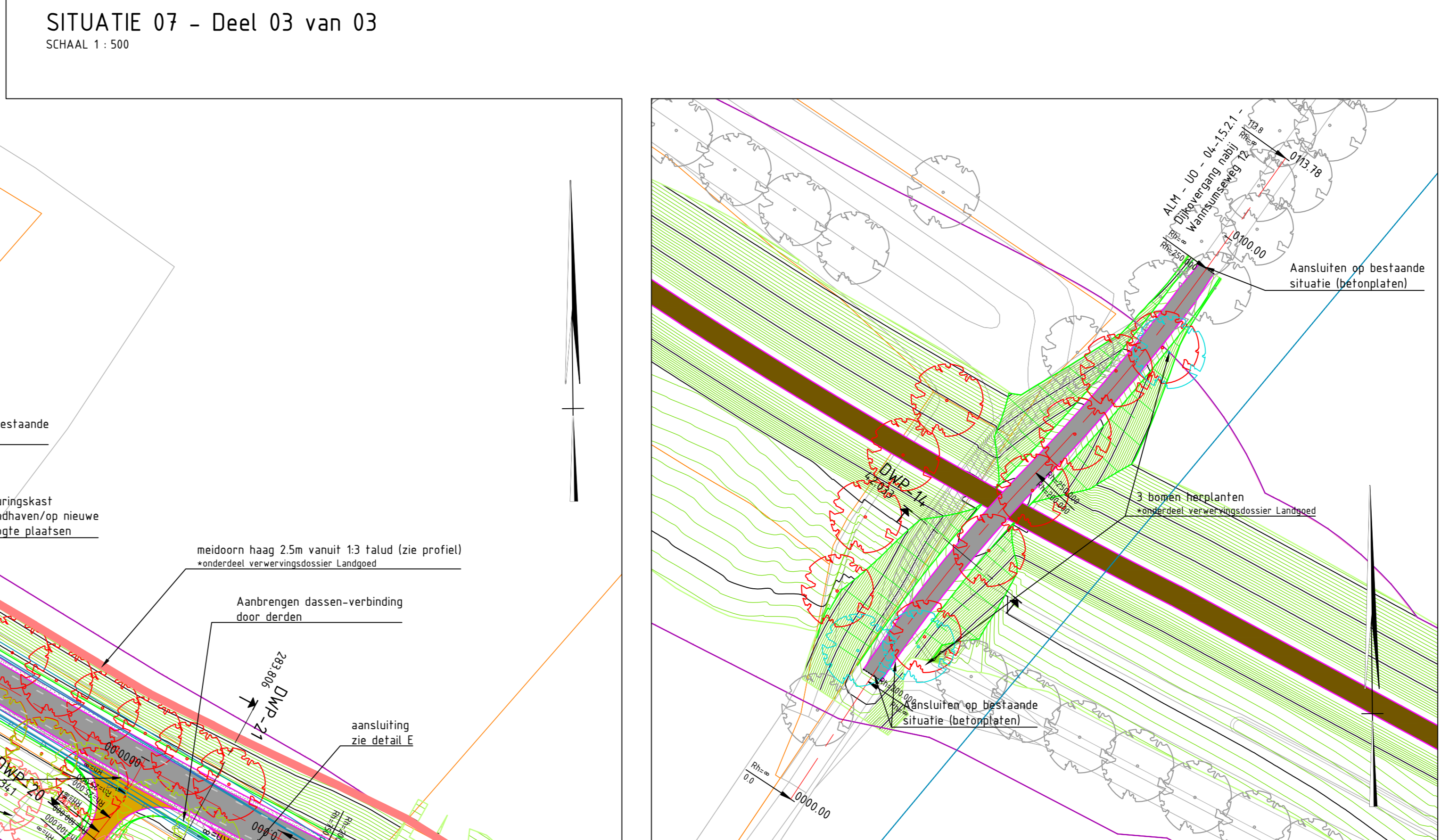
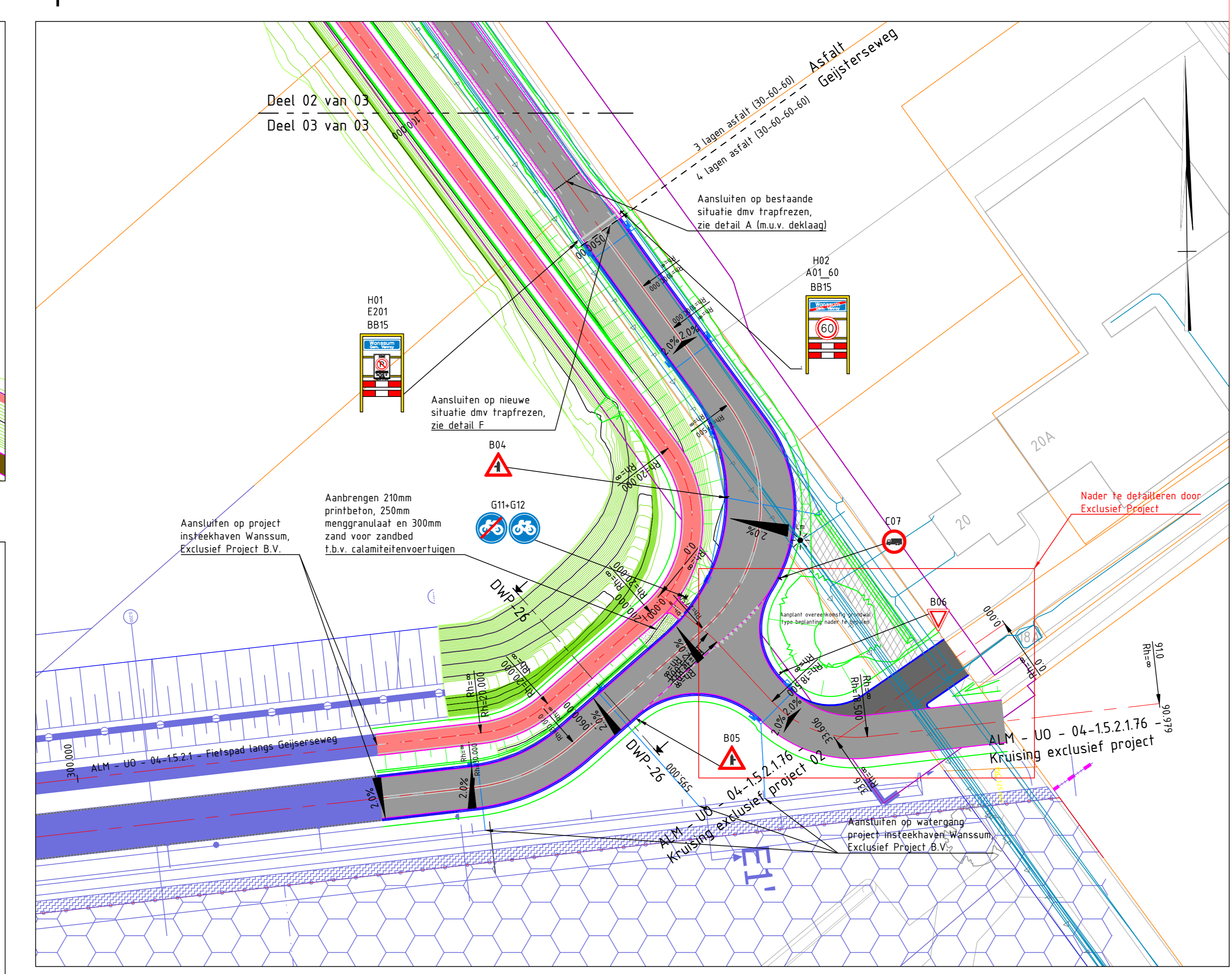
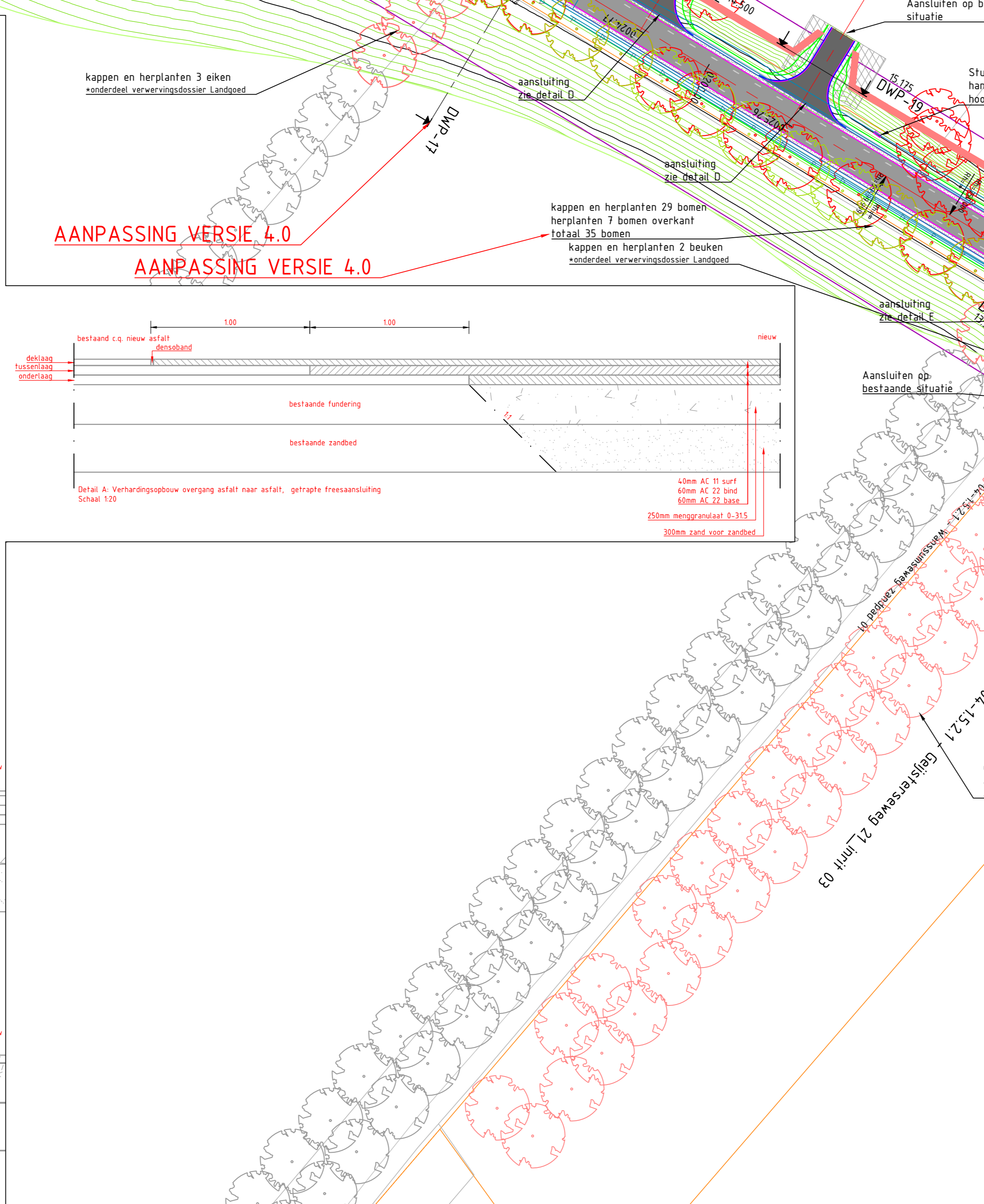
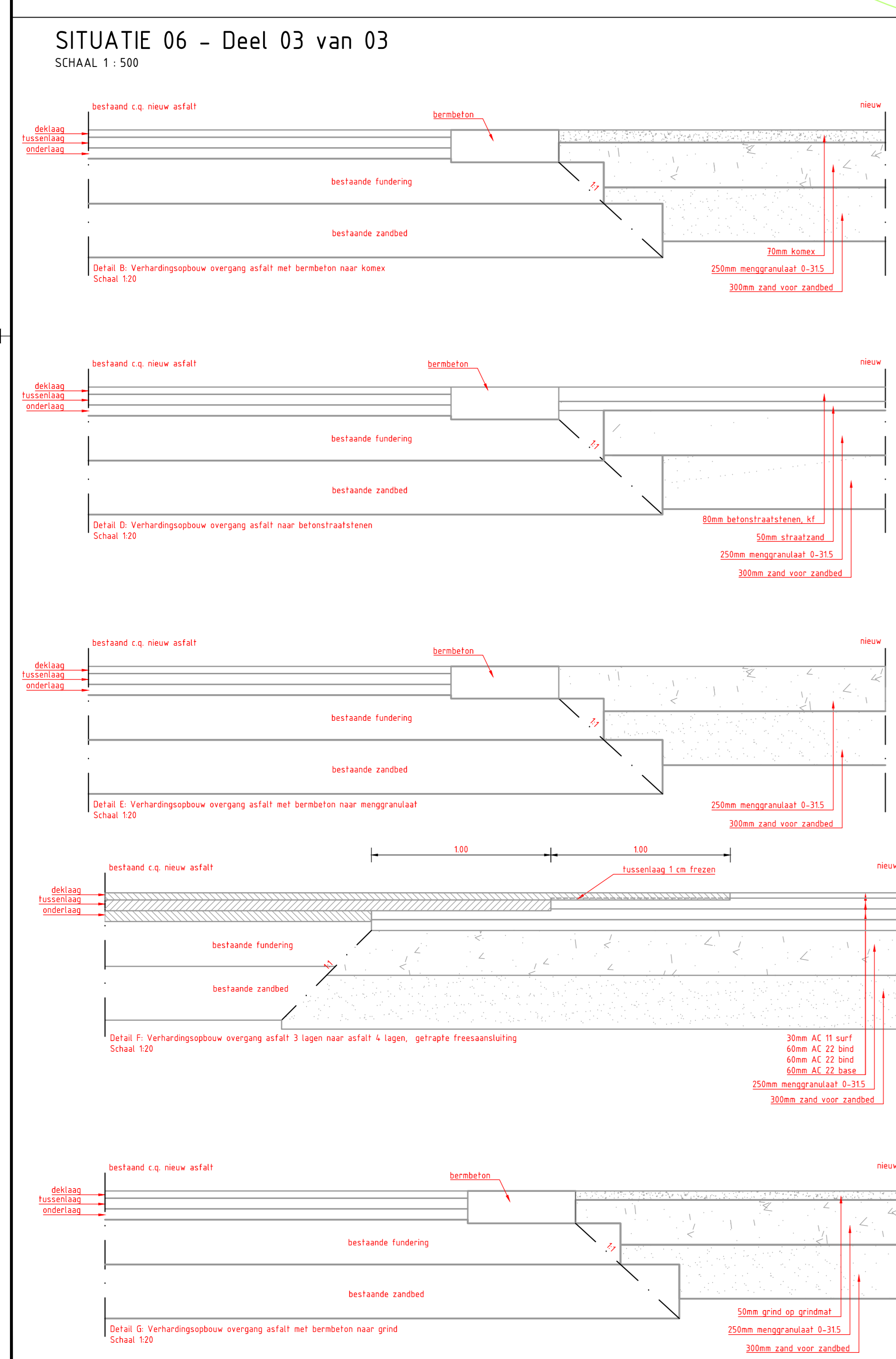
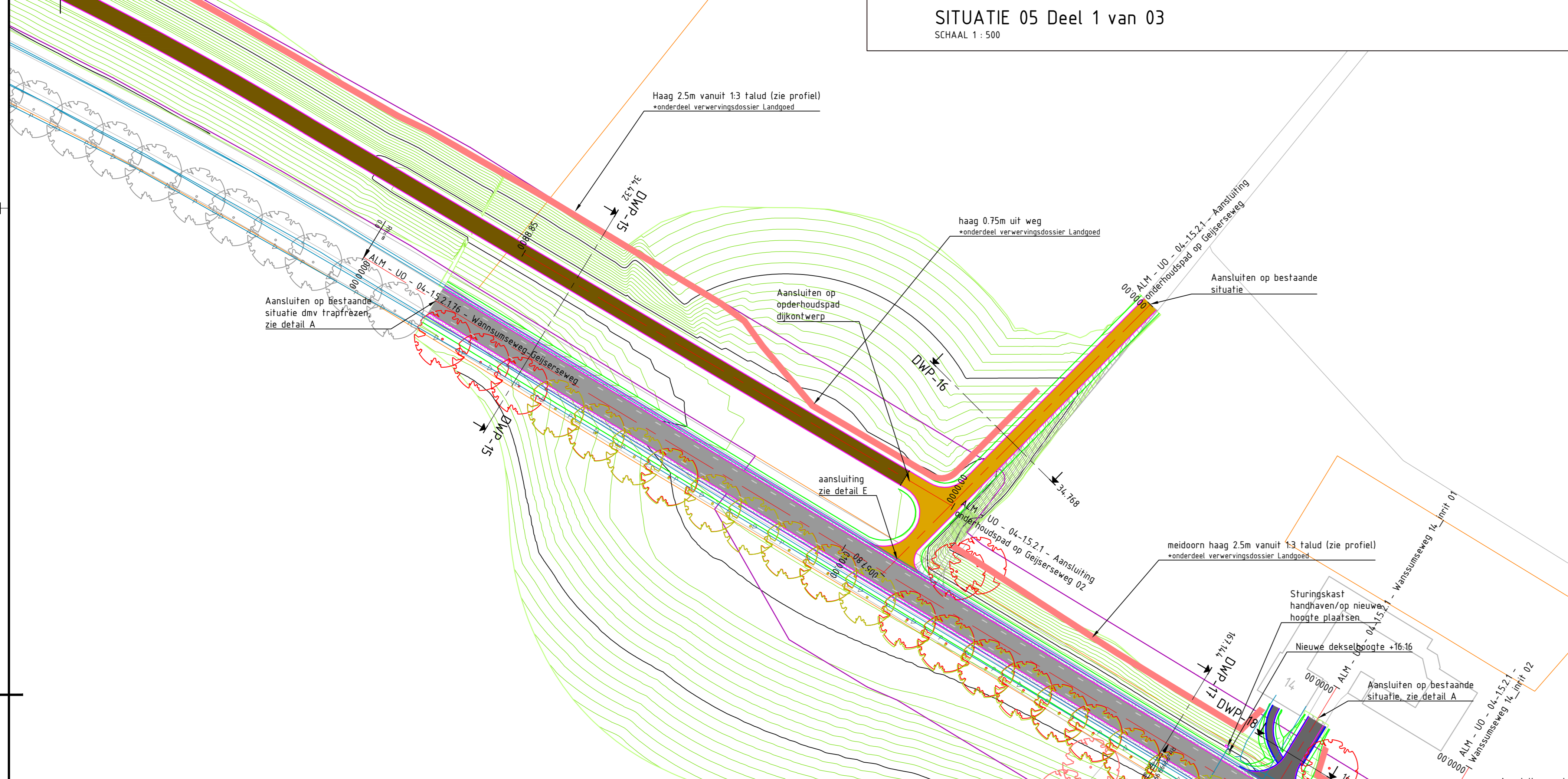
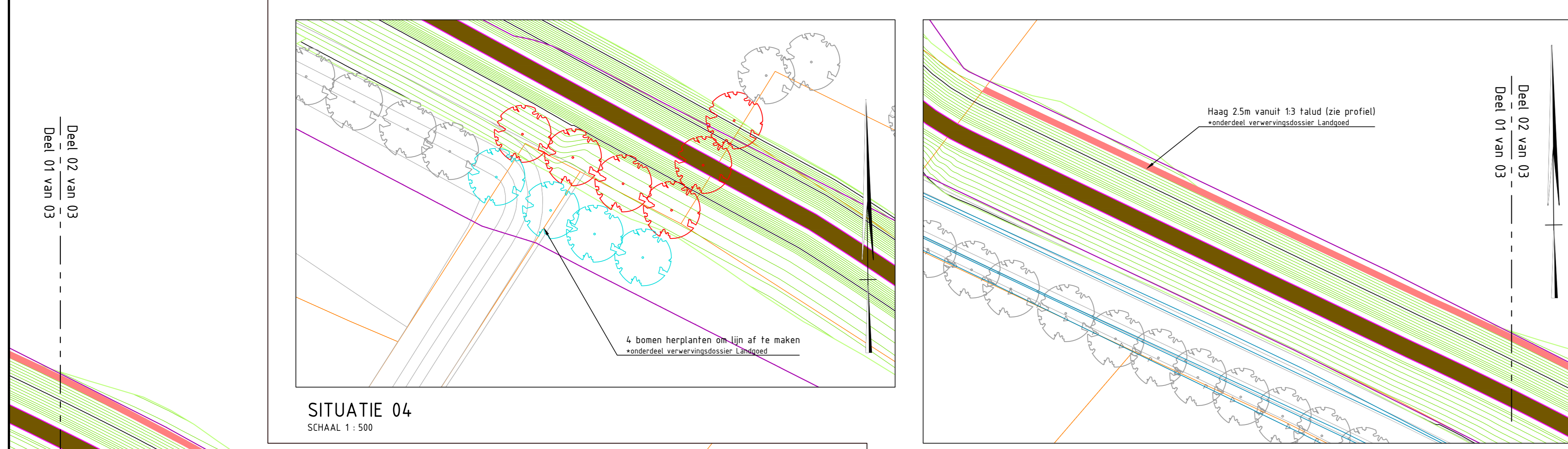
Schaal: :1:100 Bladformaat: A0 Status: :**Definitief**

Contractnummer: QNT-2013-001 Bladnummer: 7 van 10

DocumentID: :1503332-01597-007

Versie: **4.0**





### LEGENDA

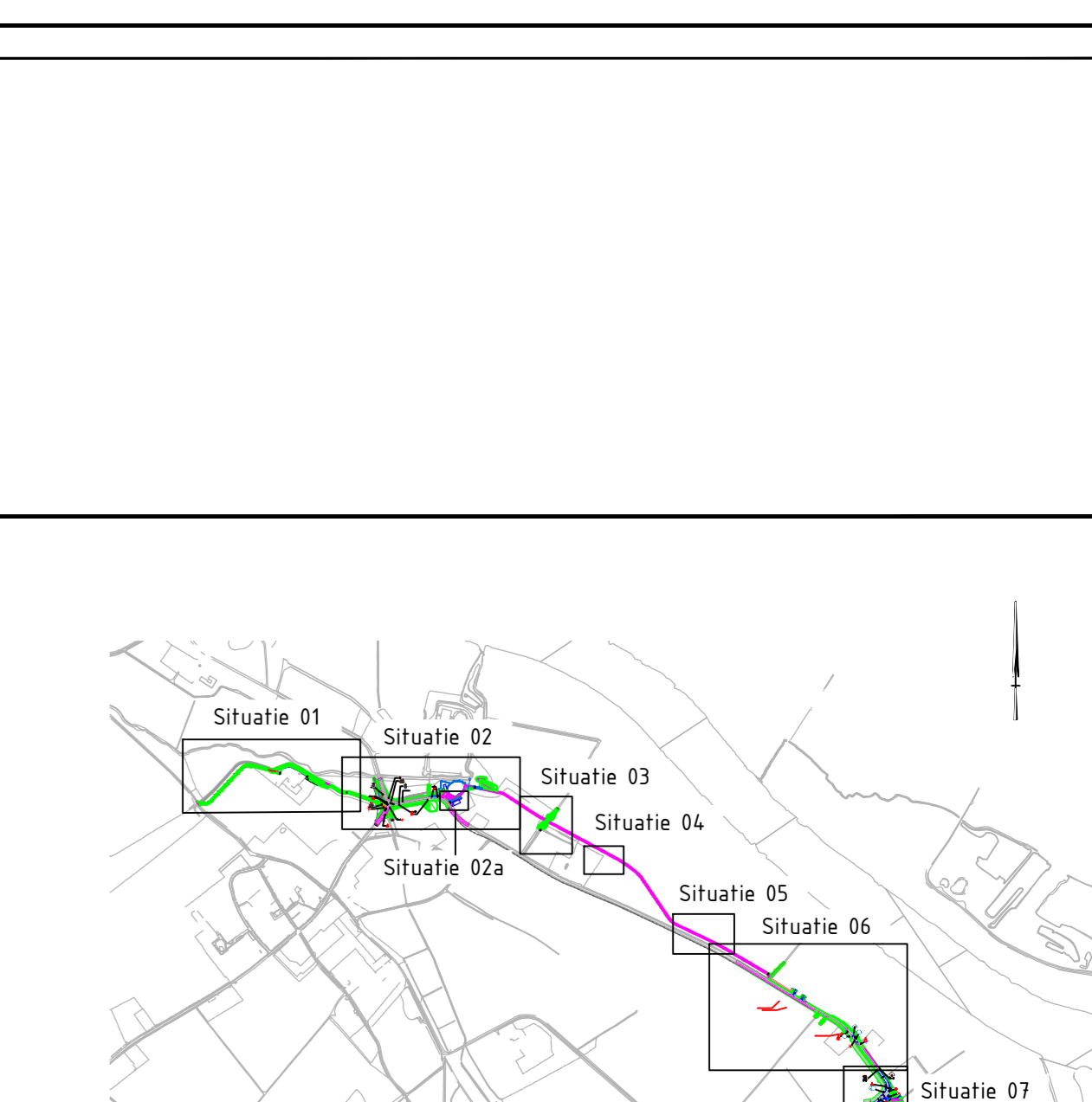
- bestaande situatie
- rand verharding
- band, type, zie dwarsprofielen
- berm/falud
- markering doorgetrokken streep, 0.10m breed
- markering 1-1 streep, 0.10m breed
- markering 1-3 streep, 0.10m breed
- markering driehoek 0.30x0.30m
- markering 270-30 streep, 0.10m breed
- markering kanalisatiestreep 50, 0.10m breed
- materialischeding
- systeegrans
- kadastrale grens
- kabels- en leidingen
- ontwerpas
- hoofdring/baan/fietspad, asfalt zwart
- fietspad, asfalt rood
- menngranulaat
- betongranulaat, 300m dik
- betonstraatstenen, kf, kleur rood
- betonstraatstenen, kf, kleur grijs
- komex
- grind
- bermbeton
- berm; gras
- struipad
- grasbetontegels
- kabels- en leidingstrook
- te verwijderen verharding
- hoogteijnen dijkenontwerp
- riolering
- Bestaande lichtmast verplaatsen
- Nieuwe lichtmast:
  - hoogte 6.50m, enkele uithouder lengte 100m elevatie 5 graden
  - armatuur Fabr.: Schröder, type Tecco-1, 5118, 350mA, 24 Led WW 3.000K

### Legenda bestaande bomen, bos, houtwal en nieuw te planten bomen

- Te handhaven boom
- Te kappen boom
- Boom al gekapt
- Te handhaven bos
- Te kappen bos
- Bos al gekapt
- Te handhaven houtwal
- Te kappen houtwal
- Houtwal al gekapt
- Te planten boom verweringsdossier
- Te planten boom Hoeder Maas
- Te planten boom derden/bewoners

Opmerking

- Dijkemodel zie tekening 1503332-00599
- Dwarsprofielen, zie tekening 1503332-01597-003 1/m 008
- Lengteprofielen, zie tekening 1503332-01597-009 1/m 010
- Ontwerp project westelijke insteekhaven Wanssum, zie tekening 16107 (190717)



Versie	Datum	Ger.	Omschrijving
Versie 4.0	Datum 14-02-2023	Ger. G. Dirks	Stichting Aanpassing Innt Wanssumweg 21 nieuwe bomen en dwarsprofiel 17 KML

**Moeder Maas**

Contact  
Geijsterweg 11a  
586BK, Wanssum  
moedermaas@duurvermeer.nl

**Opdrachtgever**  
provincie limburg

**Project**  
Gebiedsontwikkeling Ooijen - Wanssum

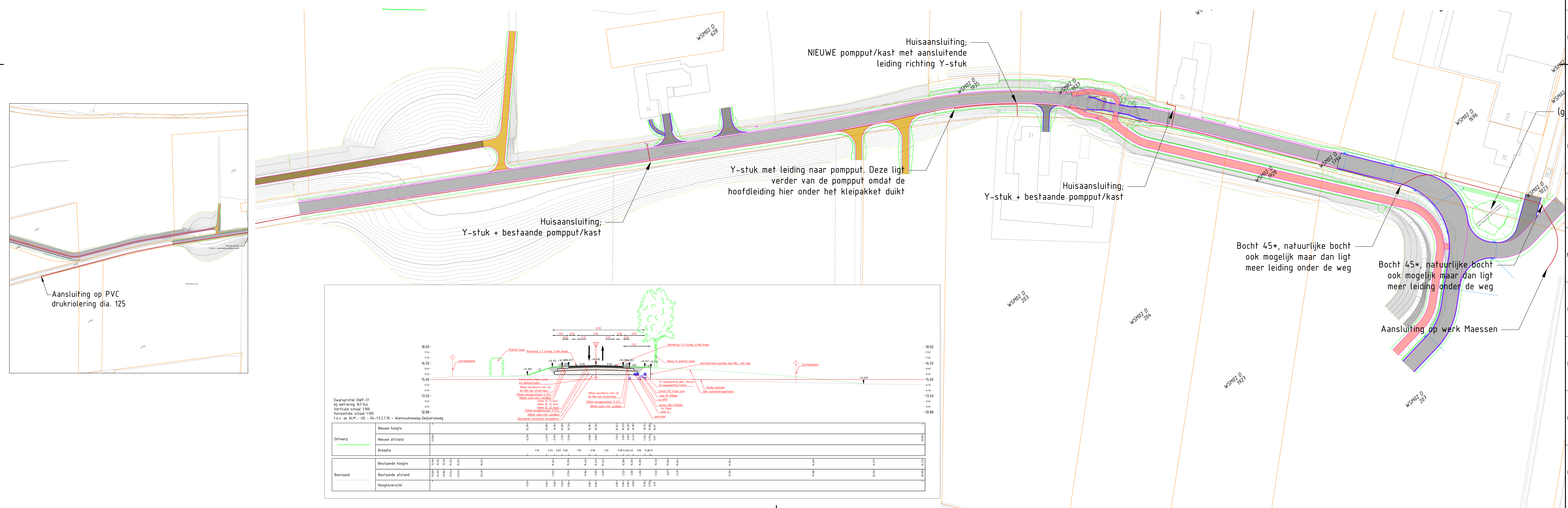
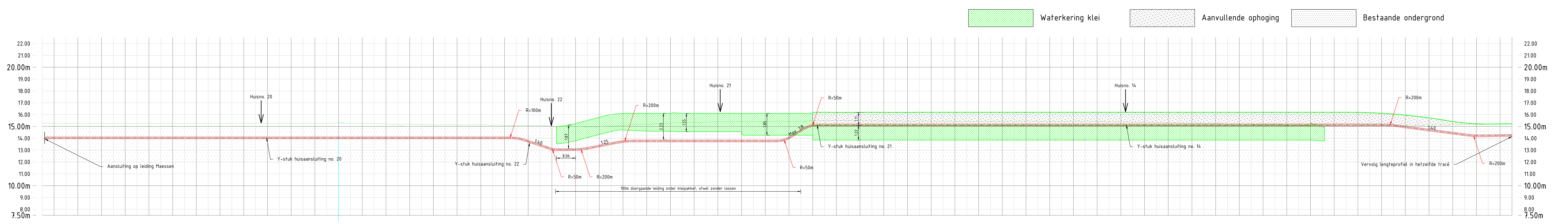
Fase : DO/10

Onderwerp : **Situatie Deelgebied 4, Geijsteren 1.5.2.1.76 - Wanssumseweg - Geijsterseweg**

Schaal : 1:500    Bladformaat : A0    Status : Definitief  
Contractnummer : QNT-2013-001    Bladnummer : 2 van 10

DocumentID : 1503332-01597-002    Versie : 4.0





Dwarsprofiel OWP-17  
 bij metaring 167.14  
 Verticale schaal 1:100  
 Horizontale schaal 1:100  
 t.o.v. as ALM - UD - 04-15.2.176 - Wansunseweg-Geijerseweg

Ontwerp	Nieuwe hoogte	Nieuwe afstand	Breedte
Bestaand	Bestaande hoogte	Bestaande afstand	Hoogteverschil



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 Moodermaas		
Projectonderdeel	: Wansumseweg persiool		
Importatiefactor S	: 0,85		
<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>	= 160,00	mm
Wanddikte	d <sub>n</sub>	= 14,6	mm
Geen bocht aanwezig			
<b>Procesgegevens</b>			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Maximale opvoerhoogte	H <sub>m</sub>	= 30	mvk
Ontwerpdruk	p <sub>d</sub>	= 0,3	N/mm <sup>2</sup>
Maximaal debiet	Q <sub>m</sub>	= 70	m <sup>3</sup> /uur
Volumieke massa vloeistof	$\rho$	= 1000	kg/m <sup>3</sup>
Temperatuurverschil	$\Delta t$	= 15	°
<b>Aanleggegevens</b>			
Ligging: Evenwijdig aan een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 40.000	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 1,0	m
Gronddekking boven de grondwaterstand	H <sub>d</sub>	= 0,8	m
Gronddekking onder de grondwaterstand	H <sub>n</sub>	= 0,20	m
Belastinghoek	$\alpha$	= 180	°
Ondersteuningshoek	$\beta$	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	f <sub>v</sub>	= 10	mm
Zettingsverschil	f <sub>z</sub>	= 15	mm
Klinkpercentage	$\mu$	= 0,075	%
Marstonfactor	f <sub>m</sub>	= 0,3	-
<b>Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone</b>			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld		= 0,8	m

**Grondmechanische gegevens**

Grondsoort		= Klei	
Volumiek gewicht droge grond	$\gamma_d$	= 20	kN/m <sup>3</sup>
Volumiek gewicht natte grond	$\gamma_n$	= 20	kN/m <sup>3</sup>
Volumiek gewicht water	$\gamma_w$	= 10	kN/m <sup>3</sup>
Inwendige wrijvingshoek grond	$\phi$	= 25	°
Effectieve cohesie	$c'$	= 15	kN/m <sup>2</sup>
Ongedraineerde schuifsterkte	$c_u$	= 200	kN/m <sup>2</sup>
E-modulus sleufmateriaal	$E_1$	= 2	MN/m <sup>2</sup>
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,006	N/mm <sup>3</sup>
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,009	N/mm <sup>3</sup>
Niet 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

### 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 <sup>4</sup>
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 222.521,98	mm <sup>3</sup>
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 259,34	mm <sup>4</sup> /mm <sup>1</sup>
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 35,53	mm <sup>3</sup> /mm <sup>1</sup>

### 2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan

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

H is de druk in meters vloeistofkolom.

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

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

$$H = \frac{300.000}{1.000 \cdot 9,81} = 30,58 \text{ m} \rightarrow H^3 \cdot D_i^5 = 30,58^3 \cdot 0,13^5 = 1,09 \text{ m}^8$$

### 3. Berekening van de veiligheidszone

$$Q = Q_m = 70,00 / 3.600 = 0,019 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$h = H_m = 30,00 \text{ mvk}$$

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,019 \cdot 30,00 = 5.722,50 \text{ W}$$

$$\mu = 0,0002 \cdot h^2 - 0,02 \cdot h + 1 = 0,0002 \cdot 30,00^2 - 0,02 \cdot 30,00 + 1 = 0,58$$

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

$$R_B = 7,8 \cdot 0,1308 \cdot \left( \frac{5.722,50}{1000 \cdot 9,81^{1,5} \cdot 0,58 \cdot 0,1308^{3,5}} \right)^{0,243} = 4,37 \text{ m}$$

$$\text{Veiligheidszone} = 4 \cdot H_{\text{werk}} + R_B = 4 \cdot 0,80 + 4,37 = 7,57 \text{ m}$$

### 4. Berekening van de spanningen $\sigma_p$ en $\sigma_{pl}$ t.g.v. inwendige druk

$$D_g/d_n = 145,40/14,60 = 9,96 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow \text{Dikwandige leiding}$$

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

$$\sigma_p = \frac{80,00^2 + 65,40^2}{80,00^2 - 65,40^2} \cdot 0,3 = 1,51 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{y1} = \sigma_p = 1,51 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 1,51 = 0,60 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,85 = \mathbf{6,80 \text{ N/mm}^2}$$



**5. Berekening reroundingfactor  $f_{rr}$** 

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

$$f_{rr} = 1 / \left( 1 + \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 72,7^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 259,34} \right) = 0,91$$

**6. Berekening van de neutrale grondbelasting  $Q_n$** 

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

$$q_n = 1,1 \cdot 20 \cdot 0,8 + 1,1 \cdot 20 \cdot 0,2 - 10 \cdot 0,2 = 20,00 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_n = q_n \cdot D_o$$

$$Q_n = 20,00 \cdot 10^{-3} \cdot 160 = 3,20 \text{ N/mm}^1$$

**7. Berekening van de passieve grondbelasting  $Q_p$** 

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

$$q_p = 20,00 \cdot \left( 1 + 0,3 \cdot \frac{1,0}{0,16} \right) = 57,50 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = q_p \cdot D_o$$

$$Q_p = 57,50 \cdot 10^{-3} \cdot 160 = 9,20 \text{ N/mm}^1$$

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

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

$$z_{max} = 0,25 \cdot \frac{0,16}{2^{1,5} \cdot \sqrt{1,0/0,16}} = 0,0057 \text{ m}$$

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

$$q_k = 20,00 + \frac{\frac{0,075 \cdot 0,16}{0,0057} \cdot (57,50 - 20,00)}{1 + \frac{57,50 - 20,00}{0,0057 \cdot 0,0060 \cdot 10^6}} = 57,79 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 57,79 \cdot 10^{-3} \cdot 160 = 9,25 \text{ N/mm}^1$$

Aanpassing van  $Q_k$  nodig  $\rightarrow Q_k > Q_p \rightarrow Q_k = Q_p = 9,20 \text{ N/mm}^1$

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

Niet rekenen met ontlastende invloed

$$q_v = 38,56 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_v = q_v \cdot D_o$$

$$Q_v = 38,56 \cdot 10^{-3} \cdot 160 = 6,17 \text{ N/mm}^1$$



**10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding I**

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{160 \cdot 0,009}{4 \cdot 975 \cdot 17.801.758,07}} = 0,0021 \text{ mm}^{-1}$$

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

Zettingslengte L = 40.000 mm

$$\lambda \cdot L = 0,0021 \cdot 40.000 = 85,36$$

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

B<sub>z</sub> = 0,00000165 (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)

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

$$Q_z = 0,00000165 \cdot 10 \cdot 160 \cdot 0,009 = 0,000024 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,000024 \cdot 0,0021 \cdot 40.000 \cdot \left(0,976 + \frac{0,976 \cdot 0,0021 \cdot 40.000}{6}\right) = 0,03 \text{ N/mm}^1$$

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

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

$$Q_z = 0,00000165 \cdot (10 + 1,5 \cdot 15) \cdot 160 \cdot 0,009 = 0,000077 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,000077 \cdot 0,0021 \cdot 40.000 \cdot \left(0,976 + \frac{0,976 \cdot 0,0021 \cdot 40.000}{6}\right) = 0,10 \text{ N/mm}^1$$

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

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

$$B/L = 0,1$$

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

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

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

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

$$P_{we} = 0,85 \cdot 200 \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + 0,02 + 0,57)$$

$$P_{we} = 1.389,32 \text{ kN/m}^2 = 1,39 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weD_o} = P_{we} \cdot D_o = 1,39 \cdot 160,00 = 222,29 \text{ N/mm}^1$$

*Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen*

Situatie 1 <sup>e</sup> en 2 <sup>e</sup> jaar	Conclusie:	Situatie na 2 jaar	Conclusie:
Q <sub>k</sub> = 9,20 N/mm <sup>1</sup>	Geen aanpassing	Q <sub>n</sub> = 3,20 N/mm <sup>1</sup>	Geen aanpassing
Q <sub>v</sub> = 6,17 N/mm <sup>1</sup>	van Q <sub>d</sub> nodig	Q <sub>v</sub> = 6,17 N/mm <sup>1</sup>	van Q <sub>d</sub> nodig
Q <sub>d</sub> = 0,03 N/mm <sup>1</sup> +		Q <sub>d</sub> = 0,10 N/mm <sup>1</sup> +	
Σ = 15,40 N/mm <sup>1</sup>		Σ = 9,47 N/mm <sup>1</sup>	



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2018 1.5 ©
<b>14. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> jaar)</b>	
<i>Moment t.g.v. <math>Q_k</math> en <math>Q_v</math></i>	<i>Moment t.g.v. <math>Q_d</math></i>
$M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,178 \cdot (9,20 + 6,17) \cdot 72,70$ $M_q = 198,88 \text{ Nmm/mm}^1$	$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,03 \cdot 72,70$ $M_{qd} = 0,27 \text{ Nmm/mm}^1$
<i>Spanning t.g.v. <math>M_q</math> en <math>M_{qd}</math></i>	
$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 0,91 \cdot (198,88 + 0,27) / 35,53 = 5,13 \text{ N/mm}^2$	
<b>15. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (na 2 jaar)</b>	
<i>Moment t.g.v. <math>Q_n</math> en <math>Q_v</math></i>	<i>Moment t.g.v. <math>Q_d</math></i>
$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,178 \cdot (3,20 + 6,17) \cdot 72,70$ $M_q = 121,24 \text{ Nmm/mm}^1$	$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,10 \cdot 72,70$ $M_{qd} = 0,87 \text{ Nmm/mm}^1$
<i>Spanning t.g.v. <math>M_q</math> en <math>M_{qd}</math></i>	
$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 0,91 \cdot (121,24 + 0,87) / 35,53 = 3,14 \text{ N/mm}^2$	
<b>16. Berekening van de spanning <math>\sigma_{bx}</math> t.g.v. uitvoeringszakkingverschil <math>f_v</math></b>	
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,00156 \cdot 10 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,009}{14,6}} = 0,01 \text{ N/mm}^2$	
<b>17. Berekening van de spanning <math>\sigma_{bx}</math> t.g.v. uitvoeringszakkingverschil <math>f_v</math> en zettingsverschil <math>f_z</math></b>	
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,00156 \cdot (10 + 1,5 \cdot 15) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,009}{14,6}} = 0,04 \text{ N/mm}^2$	
<b>18. Berekening van de spanning <math>\sigma_{ax}</math> t.g.v. temperatuurverschil</b>	
$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$ $\sigma_{ax} = 15 \cdot 0,00016 \cdot 975 = 2,34 \text{ N/mm}^2$	
<b>19. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht</b>	
Aangezien er geen bocht wordt toegepast volgt: $i_x = 1, i_y = 0, i_{xp} = 1, i_{yp} = 0$	
<b>20. Toetsing op minimale ringstijfheid <math>S_N</math></b>	
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{259,34}{145,4^3} = 0,0823 \text{ N/mm}^2 = 82,26 \text{ kN/m}^2$ Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m <sup>2</sup>	
	06-05-2020 19:34:57



**21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk**

Veiligheidsfactor  $\gamma$  voor langdurige onderdruk:  $\gamma = 3$   
 Veiligheidsfactor  $\gamma$  voor kortdurende onderdruk:  $\gamma = 1,5$

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

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 259,34}{145,40^3} = 1,57 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 259,34}{145,40^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **28,12** m grondwater boven de leiding

**22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie**

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

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

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (3,20 + 6,17) - 0,083 \cdot (1 - \sin(25^\circ)) \cdot (3,20 + 6,17) + 0,048 \cdot 0,10) \cdot 72,70^3}{350 \cdot 259,34} = 1,65 \text{ mm} (= 1,13\%)$$

Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S ·  $D_g = 0,08 \cdot 0,85 \cdot 145,40 = 9,89 \text{ mm}$

**23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> jaar)**

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

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

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 5,13 = 3,33 \text{ N/mm}^2$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

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

$$\sigma_x = 0,60 + 0,65 \cdot 0,01 + 2,34 = 2,95 \text{ N/mm}^2$$

Toelaatbare spanning =  $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,85 = 6,80 \text{ N/mm}^2$

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

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

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

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 3,14 = 2,04 \text{ N/mm}^2$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

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

$$\sigma_x = 0,60 + 0,65 \cdot 0,04 + 2,34 = 2,97 \text{ N/mm}^2$$

Toelaatbare spanning =  $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,85 = 6,80 \text{ N/mm}^2$



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 Moodermaas		
Projectonderdeel	: Wansumseweg persiool		
Importatiefactor S	: 0,85		
<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>	= 160,00	mm
Wanddikte	d <sub>n</sub>	= 14,6	mm
Geen bocht aanwezig			
<b>Procesgegevens</b>			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)	= Drukloos		
<b>Aanleggegevens</b>			
Ligging: Evenwijdig aan een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 40.000	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 1,0	m
Gronddekking boven de grondwaterstand	H <sub>d</sub>	= 0,8	m
Gronddekking onder de grondwaterstand	H <sub>n</sub>	= 0,20	m
Belastinghoek	$\alpha$	= 180	°
Ondersteuningshoek	$\beta$	= 120	°
Uitvoeringszakkingverschil	f <sub>v</sub>	= 10	mm
Zettingsverschil	f <sub>z</sub>	= 15	mm
Klinkpercentage	$\mu$	= 0,075	%
Marstonfactor	f <sub>m</sub>	= 0,3	-
<b>Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone</b>			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld		= 0,8	m
			06-05-2020 19:35:58



**Grondmechanische gegevens**

Grondsoort		= Klei	
Volumiek gewicht droge grond	$\gamma_d$	= 20	kN/m <sup>3</sup>
Volumiek gewicht natte grond	$\gamma_n$	= 20	kN/m <sup>3</sup>
Volumiek gewicht water	$\gamma_w$	= 10	kN/m <sup>3</sup>
Inwendige wrijvingshoek grond	$\phi$	= 25	°
Effectieve cohesie	$c'$	= 15	kN/m <sup>2</sup>
Ongedraineerde schuifsterkte	$c_u$	= 200	kN/m <sup>2</sup>
E-modulus sleufmateriaal	$E_1$	= 2	MN/m <sup>2</sup>
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,006	N/mm <sup>3</sup>
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,009	N/mm <sup>3</sup>
Niet 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



**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 <sup>4</sup>
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 222.521,98	mm <sup>3</sup>
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 259,34	mm <sup>4</sup> /mm <sup>1</sup>
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 35,53	mm <sup>3</sup> /mm <sup>1</sup>

**2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan**

Leiding is drukloos: Controle is niet mogelijk.

**3. Berekening van de veiligheidszone**

Veiligheidszone =  $4 \cdot H_{\text{werk}} = 4 \cdot 0,80 = 3,20$  m

**4. Berekening van de spanningen  $\sigma_p$  en  $\sigma_{pl}$  t.g.v. inwendige druk**

Leiding is drukloos:  
 $\sigma_p = 0,00$  N/mm<sup>2</sup>

**5. Berekening reroundingfactor  $f_{rr}$**

Leiding is drukloos:  
 $f_{rr} = 1,00$

**6. Berekening van de neutrale grondbelasting  $Q_n$**

$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$   
 $q_n = 1,1 \cdot 20 \cdot 0,8 + 1,1 \cdot 20 \cdot 0,2 - 10 \cdot 0,2 = 20,00$  kN/m<sup>2</sup>  
 $Q_n = q_n \cdot D_o$   
 $Q_n = 20,00 \cdot 10^{-3} \cdot 160 = 3,20$  N/mm<sup>1</sup>

**7. Berekening van de passieve grondbelasting  $Q_p$**

$q_p = q_n \cdot (1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o})$   
 $q_p = 20,00 \cdot (1 + 0,3 \cdot \frac{1,0}{0,16}) = 57,50$  kN/m<sup>2</sup>  
 $Q_p = q_p \cdot D_o$   
 $Q_p = 57,50 \cdot 10^{-3} \cdot 160 = 9,20$  N/mm<sup>1</sup>

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

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

$$z_{\max} = 0,25 \cdot \frac{0,16}{2^{1,5} \cdot \sqrt{1,0/0,16}} = 0,0057 \text{ m}$$

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

$$q_k = 20,00 + \frac{\frac{0,075 \cdot 0,16}{0,0057} \cdot (57,50 - 20,00)}{1 + \frac{57,50 - 20,00}{0,0057 \cdot 0,0060 \cdot 10^6}} = 57,79 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 57,79 \cdot 10^{-3} \cdot 160 = 9,25 \text{ N/mm}^1$$

Aanpassing van  $Q_k$  nodig  $\rightarrow Q_k > Q_p \rightarrow Q_k = Q_p = 9,20 \text{ N/mm}^1$

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

Niet rekenen met ontlastende invloed

$$q_v = 38,56 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_v = q_v \cdot D_o$$

$$Q_v = 38,56 \cdot 10^{-3} \cdot 160 = 6,17 \text{ N/mm}^1$$

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

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{160 \cdot 0,009}{4 \cdot 975 \cdot 17.801.758,07}} = 0,0021 \text{ mm}^{-1}$$

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

Zettingslengte  $L = 40.000 \text{ mm}$

$$\lambda \cdot L = 0,0021 \cdot 40.000 = 85,36$$

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

$B_z = 0,00000165$  (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)

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

$$Q_z = 0,00000165 \cdot 10 \cdot 160 \cdot 0,009 = 0,000024 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,000024 \cdot 0,0021 \cdot 40.000 \cdot \left(0,976 + \frac{0,976 \cdot 0,0021 \cdot 40.000}{6}\right) = 0,03 \text{ N/mm}^1$$



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

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

$$Q_z = 0,00000165 \cdot (10 + 1,5 \cdot 15) \cdot 160 \cdot 0,009 = 0,000077 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,000077 \cdot 0,0021 \cdot 40.000 \cdot \left( 0,976 + \frac{0,976 \cdot 0,0021 \cdot 40.000}{6} \right) = 0,10 \text{ N/mm}^1$$

### 13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen

*Berekening evenwichtsdraagvermogen*

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

$$B/L = 0,1$$

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

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

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

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

$$P_{we} = 0,85 \cdot 200 \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + 0,02 + 0,57)$$

$$P_{we} = 1.389,32 \text{ kN/m}^2 = 1,39 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weD_o} = P_{we} \cdot D_o = 1,39 \cdot 160,00 = 222,29 \text{ N/mm}^1$$

*Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen*

Situatie 1 <sup>e</sup> en 2 <sup>e</sup> jaar	Conclusie:	Situatie na 2 jaar	Conclusie:
$Q_k = 9,20 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van $Q_d$ nodig	$Q_n = 3,20 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van $Q_d$ nodig
$Q_v = 6,17 \text{ N/mm}^1$		$Q_v = 6,17 \text{ N/mm}^1$	
$Q_d = 0,03 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 0,10 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 15,40 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 9,47 \text{ N/mm}^1$	

### 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  $Q_v$*

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

$$M_q = 0,138 \cdot (9,20 + 6,17) \cdot 72,70$$

$$M_q = 154,19 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$M_{qd} = 0,083 \cdot 0,03 \cdot 72,70$$

$$M_{qd} = 0,18 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 1,00 \cdot (154,19 + 0,18) / 35,53 = 4,35 \text{ N/mm}^2$$

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

*Moment t.g.v.  $Q_n$  en  $Q_v$*

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

$$M_q = 0,138 \cdot (3,20 + 6,17) \cdot 72,70$$

$$M_q = 93,99 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$M_{qd} = 0,083 \cdot 0,10 \cdot 72,70$$

$$M_{qd} = 0,59 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 1,00 \cdot (93,99 + 0,59) / 35,53 = 2,66 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$\sigma_{bx} = 0,00156 \cdot 10 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,009}{14,6}} = \mathbf{0,01 \text{ N/mm}^2}$$

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

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

$$\sigma_{bx} = 0,00156 \cdot (10 + 1,5 \cdot 15) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,009}{14,6}} = \mathbf{0,04 \text{ N/mm}^2}$$

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

Leiding is drukloos  
 $\sigma_{ax} = \mathbf{0 \text{ N/mm}^2}$

**19. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht**

Aangezien er geen bocht wordt toegepast volgt:  
 $i_x = 1, i_y = 0, i_{xp} = 1, i_{yp} = 0$

**20. Toetsing op minimale ringstijfheid  $S_N$**

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{259,34}{145,4^3} = 0,0823 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{82,26 \text{ kN/m}^2}$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = **2 kN/m<sup>2</sup>**

**21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk**

Veiligheidsfactor  $\gamma$  voor langdurige onderdruk:  $\gamma = 3$   
 Veiligheidsfactor  $\gamma$  voor kortdurende onderdruk:  $\gamma = 1,5$

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

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 259,34}{145,40^3} = 1,57 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 259,34}{145,40^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **28,12 m** grondwater boven de leiding

**22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie**

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

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

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (3,20 + 6,17) - 0,083 \cdot (1 - \sin(25^\circ)) \cdot (3,20 + 6,17) + 0,048 \cdot 0,10) \cdot 72,70^3}{350 \cdot 259,34} = \mathbf{1,65 \text{ mm} (= 1,13\%)}$$

Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S ·  $D_g = 0,08 \cdot 0,85 \cdot 145,40 = \mathbf{9,89 \text{ mm}}$

1.5.0.0/07-2018/8-10031005

© Adviesbureau Schrijvers BV Hellevoetsluis



**23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> jaar)**

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

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

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 4,35 = \mathbf{2,82 \text{ N/mm}^2}$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

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

$$\sigma_x = 0,65 \cdot 0,01 = \mathbf{0,01 \text{ N/mm}^2}$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,85 = \mathbf{6,80 \text{ N/mm}^2}$$

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

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

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

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 2,66 = \mathbf{1,73 \text{ N/mm}^2}$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

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

$$\sigma_x = 0,65 \cdot 0,04 = \mathbf{0,03 \text{ N/mm}^2}$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,85 = \mathbf{6,80 \text{ N/mm}^2}$$