



Berekeningsrapport

UO Waterveiligheid en geotechniek
Deelgebied 3

6422-220983-R06 3.0 | 3 oktober 2024

Definitief

Dijkzone Alliantie Nieuw Bergen



Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Dijkversterking Nieuw Bergen
Documentnaam	Berekeningsrapport
Fugro-projectnr.	6422-2209836422-220983
Fugro-documentnr.	6422-220983-R06
Versienummer	3.0
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Blaeuilaan 60A, 3528 AD Utrecht

Klantgegevens

Klant	Dijkzone Alliantie Nieuw Bergen
Adres klant	Griekenweg 25, 5342 PX Oss
Contactpersoon klant	
Documentnr. klant	22415599-003037

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
0.1	13-03-2024	Concept	1e concept voor interne review DZANB			
1.0	28-03-2024	Definitief	Definitieve versie			
2.0	27-06-2024	Definitief	Toetscommentaar WL verwerkt			
3.0	03-10-2024	Definitief	Gewijzigde afmetingen hoogwaterdeur Veetunnel			

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
		Projectleider
		Waterbouwkundig adviseur
		Waterbouwkundig adviseur

Inhoudsopgave

Documentbeheer	ii
Documentgegevens	ii
Klantgegevens	ii
Versiebeheer	ii
Projectteam	ii
Inhoudsopgave	i
1. Inleiding	1
1.1 Achtergrond project	1
1.2 Doel en scope van dit document	2
1.3 Leeswijzer	3
1.4 Versiebeheer en wijzigingen	3
2. Zettingen	4
2.1 Zettingen	4
2.1.1 Geometrie	4
2.1.2 Modelschematisatie en stijfheidsparameters	5
2.1.3 Resultaten	6
2.2 Zettingen leidingdoorvoeren	7
2.2.1 Toelaatbare zettingen	8
2.2.2 Geometrie	10
2.2.3 Modelschematisatie en stijfheidsparameters	12
2.2.4 Resultaten	12
2.2.5 Conclusie	13
2.3 Zettingen dempen sloot	13
2.3.1 Geometrie	15
2.3.2 Modelschematisatie en stijfheidsparameters	15
2.3.3 Resultaten	15
3. Bekledingen	17
3.1 Materialisatie kleibekleding	17
3.1.1 Toplaag	17
3.1.2 Onderlaag buitentalud	17
3.1.3 Onderlaag kruin en binnentalud	18
3.2 Overgangen bekledingen	18
3.2.1 Grasbekleding – betongranulaat	18
3.2.2 Grasbekleding – asfalt	19
3.2.3 Grasbekleding – taludtrap	20
3.2.4 Asfalt - elementenverhardingen	21
3.3 Aansluiting kunststof heavescherm – kleischerm	22

4. NWO's	24
4.1 Bomen en beplanting	24
4.2 Parallelle leidingen	26
4.2.1 Beoordeling bestaande leiding (restpunt DO)	26
4.2.2 Nieuw parallel persriool terrein Wienerberger	27
4.3 Leidingdoorvoeren kruisende leidingen	28
4.3.1 OO-3 (dijkvak 6 / 7)	28
4.3.2 OO-4 (dijkvak 5)	29
4.3.3 OO-7 (dijkvak 7)	29
4.3.4 Gasleiding (dijkvak 7)	30
5. Uitvoeringsmaatregelen heaveschermen	32
5.1 Faalmechanismen	32
5.2 Uitvoeringsmaatregelen faalpaden intact scherm	32
5.2.1 Afwerking kop heavescherm	32
5.2.2 Aansluiting staal-kunststof	33
5.3 Maatregelen gericht op kwaliteit en efficiëntie van de uitvoering	33
5.3.1 Correctie damwand tijdens uitvoering	34
5.3.2 Optimale werkrichting	34
5.3.3 Toepassing van stalen moederplank	34
5.3.4 Water toevoegen in heisleuf	34
5.3.5 Voorboren	34
5.3.6 Toepassen slotverklikkers	35
5.3.7 Visuele inspectie	36
5.3.8 Verdichten klei	36
6. Materialisatie kleischerm	37
6.1 Functionele eisen kleischerm	37
6.1.1 Doorlatendheid	37
6.1.2 Contacterosie	37
6.2 Materialisatie klei	38
6.3 Overige eisen	39
7. Ontwerp Veetunnel	40
7.1 Algemeen	40
7.2 Hoogte (HTKW)	42
7.3 Sterkte en stabiliteit (STKW)	44
8. Betrouwbaarheid sluiting Veetunnel (BSKW)	45
8.1 Faalkanseis	45
8.2 Kans op niet sluiten	46
8.2.1 Hoogwateralarmeringssysteem (E1)	46
8.2.2 Mobilisatie (E2)	47
8.2.3 Bediening (E3)	48
8.2.4 Technisch falen (E4)	49

8.2.5	Faalkans op niet sluiten	50
8.3	Faalkans per jaar	50
8.4	Conclusie	50
8.5	Aanbevelingen en randvoorwaarden	51
8.5.1	Hoogwateralarmeringssysteem	51
8.5.2	Mobilisatie	51
8.5.3	Bediening	52
8.5.4	Technisch falen	53
9.	Piping Veetunnel (PKW)	55
9.1	Uitgangspunten	56
9.2	Resultaten	58
10.	Langsconstructies	60
11.	Referenties	61

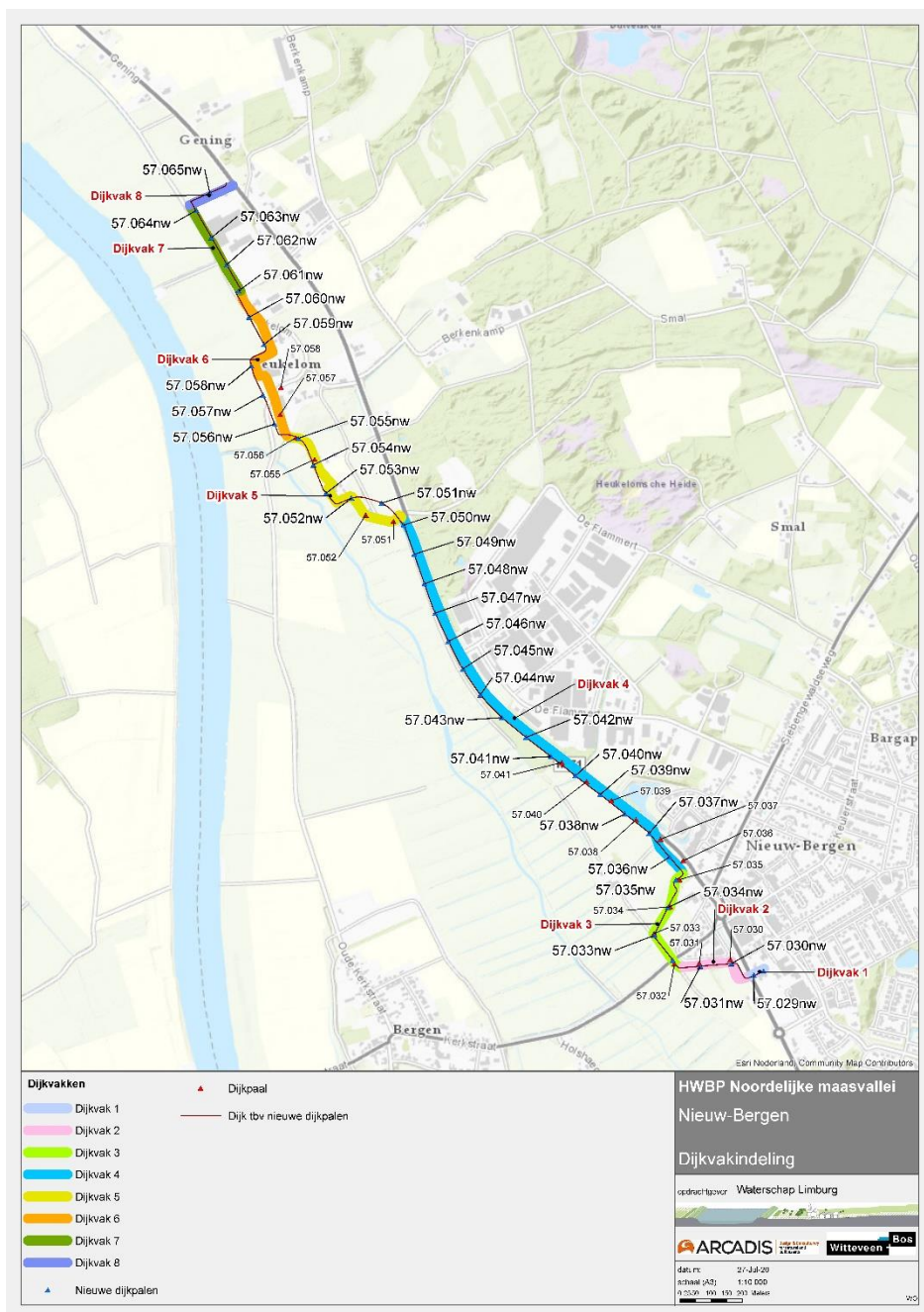
1. Inleiding

1.1 Achtergrond project

In 1993 en 1995 vonden er overstromingen plaats in het stroomgebied van de Maas. Om nieuwe overstromingen te voorkomen, zijn er in 1996 onder de noodwet keringen aangelegd op verschillende plekken langs de Maas. De veronderstelling was dat dit tijdelijke maatregelen waren in afwachting van rivierverruiming. De keringen bleken echter blijvend nodig te zijn. In 2005 hebben de keringen langs de Maas de wettelijke status “primaire waterkeringen” gekregen. In 2010 zijn de keringen in Limburg getoetst en voor een groot deel afgekeurd. De afgekeurde Limburgse keringen zijn ingebracht bij het landelijke Hoogwaterbeschermingsprogramma.

Het project ‘Dijkversterking Nieuw Bergen’ betreft het integraal versterken van de afgekeurde dijkvakken binnen de Systeemgrenzen van het project. Dit project maakt onderdeel uit van het Hoogwaterbeschermingsprogramma Noordelijke Maasvallei (HWBP NM). In het HWBP NM werken Rijk en Waterschap Limburg samen om Nederland te beschermen tegen overstromingen. De dijkvakindeling binnen dit project is weergegeven in figuur 1.1. Naast het traject Nieuw Bergen zijn nog 14 andere normtrajecten onderdeel van het programma. Deze normtrajecten zijn reeds in uitvoering of zullen in de komende jaren in opvolgende projecten in uitvoering komen.

Naast de waterveiligheidsopgave geldt als secundaire doelstelling de versterking van lokale gebiedskwaliteiten. Lokale gebiedskwaliteiten (o.a. inpassing, ruimtelijke kwaliteit, economische ontwikkeling) worden meegenomen in de ontwerp-opgave (Waterschap Limburg, 2022).



Figuur 1.1: Dijkvakken normtraject 57-1 Nieuw-Bergen.

1.2 Doel en scope van dit document

In dit document worden de berekeningen voor de onderdelen waterveiligheid en geotechniek vastgelegd voor het Uitvoerings Ontwerp (UO). Het traject Nieuw-Bergen is opgedeeld in 3 deelgebieden. De eerste twee deelgebieden omvat dijkvakken 1 t/m 4. Het laatste deelgebied 3 omvat dijkvakken 5 t/m 8. Dit document betreft deelgebied 3. Het UO van deelgebieden 1 en 2 is opgenomen in een separaat document (22415599-003036).

1.3 Leeswijzer

In dit rapport komen de volgende onderwerpen aan bod:

- Hoofdstuk 2: Zettingen.
- Hoofdstuk 3: Bekledingen.
- Hoofdstuk 4: NWO's.
- Hoofdstuk 5: Uitvoeringsaspecten heaveschermen.
- Hoofdstuk 6: Materialisatie kleischerm
- [Hoofdstuk 7: Ontwerp Veetunnel](#)
- Hoofdstuk 8: Betrouwbaarheid sluiting Veetunnel (BSKW).
- Hoofdstuk 9: Piping Veetunnel (PKW).
- Hoofdstuk 10: Langsconstructies.

1.4 Versiebeheer en wijzigingen

Deze versie betreft versie 3.0; wijzigingen in versie 2.0 ten opzichte van versie 1.0 zijn in [blauw](#) weergegeven. [Wijzigingen in versie 3.0 t.o.v. 20.0 zijn in groen weergegeven.](#)

Aanpassingen betreffen:

- Paragraaf 2.2 Toelaatbare zettingen leidingdoorvoeren toegevoegd
- Paragraaf 3.3 Toelichting aansluiting kunststof heavescherm – kleikist (nieuwe par.)
- Hoofdstuk 7 Nieuw toegevoegd

[Aanpassingen in versie 3.0 betreffen:](#)

- [Van het kleischerm is expliciet opgenomen dat dit uitgevoerd wordt in erosieklasse 2-klei;](#)
- [Aanpassing hoogte hoogwaterdeur Veetunnel verwerkt.](#)

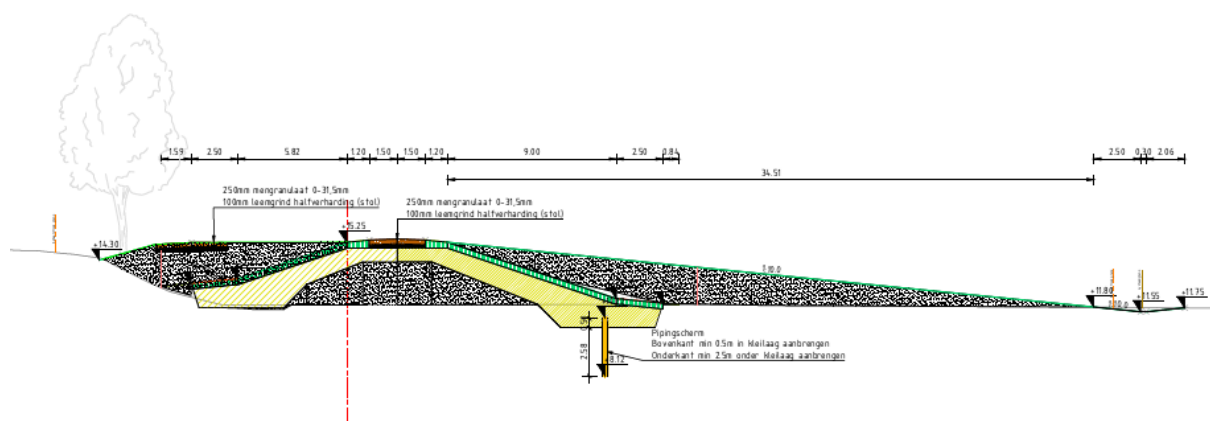
2. Zettingen

2.1 Zettingen

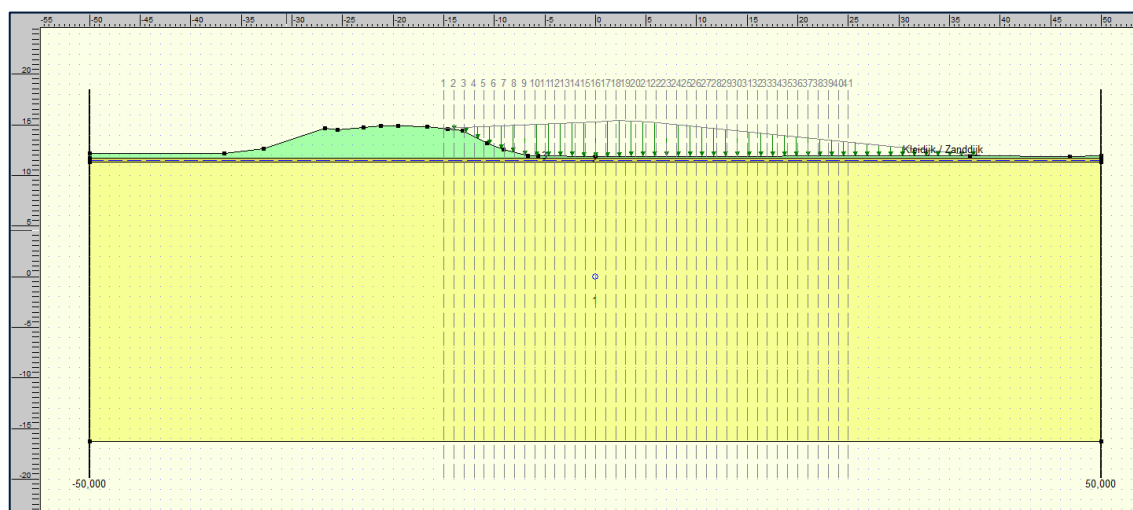
De benodigde aanleghoogtes van de kruin zijn bepaald op basis van zettingsberekeningen in het programma 'D-Settlement'. In dijkvak 5 en 6 is de zetting in de maatgevende doorsnedes berekend.

2.1.1 Geometrie

2.1.1.1 Dijkvak 5



Figuur 2.1: Dwarsprofiel DV_5 (1)

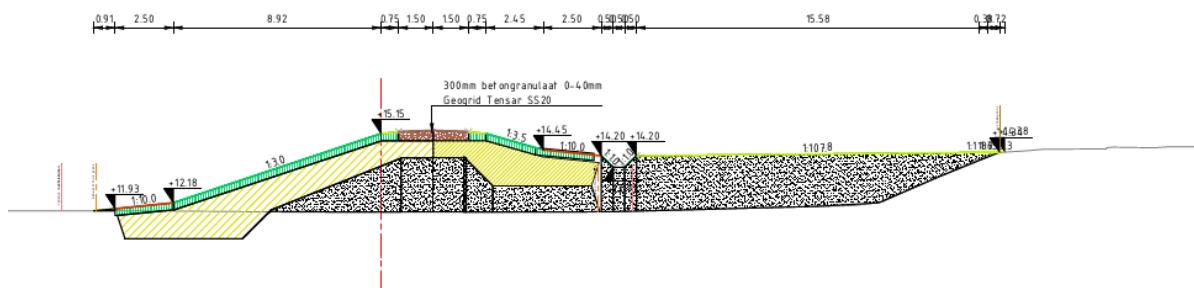


Figuur 2.2: Dwarsprofiel DV_5 (1) in D-Settlement

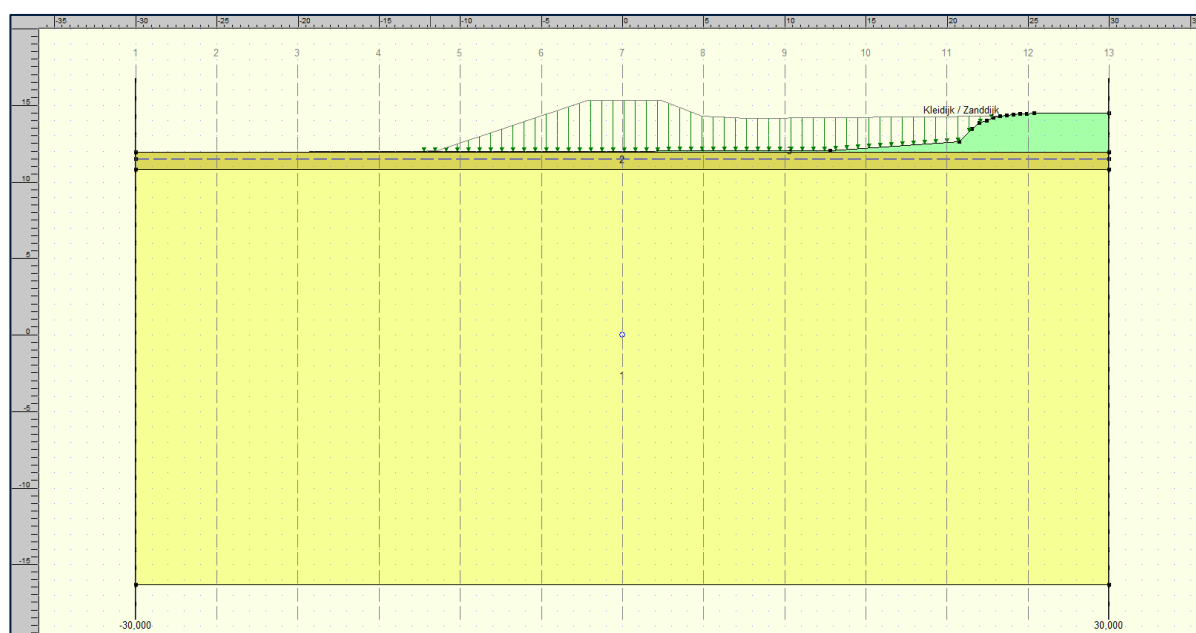
Tabel 2.1: Bodemlagen D-Settlement

Laag	Laagpakket
3	Zand, dijksmateriaal
2	Klei, Beegden
1	Zand, Beegden

2.1.1.2 Dijkvak 6



Figuur 2.3: Dwarsprofiel DV_6 (10)



Figuur 2.4: Dwarsprofiel DV_6 (10) in D-Settlement

Tabel 2.2: Bodemlagen D-Settlement

Laag	Laagpakket
3	Zand, dijksmateriaal
2	Klei, Beegden
1	Zand, Beegden

2.1.2 Modelschematisatie en stijfheidsparameters

Er is gebruik gemaakt van de software D-Settlement met het zettingsmodel a,b,c-isotachen in combinatie met het consolidatiemodel Darcy. Hiermee kan de instantane en maximale zetting tijdens de uitvoering worden berekend. De zettingsparameters van het zandpakket zijn aangepast ten opzichte van het DO om realistischere waarden van het zettingsgedrag van zand te modelleren.

Tabel 2.3 geeft een overzicht van de zettingsparameters, overgenomen uit (Hoogwaterbeschermingsprogramma Noordelijke Maasvallei, 2020).

Tabel 2.3: Zettingsparameters (verwachtingswaardes)

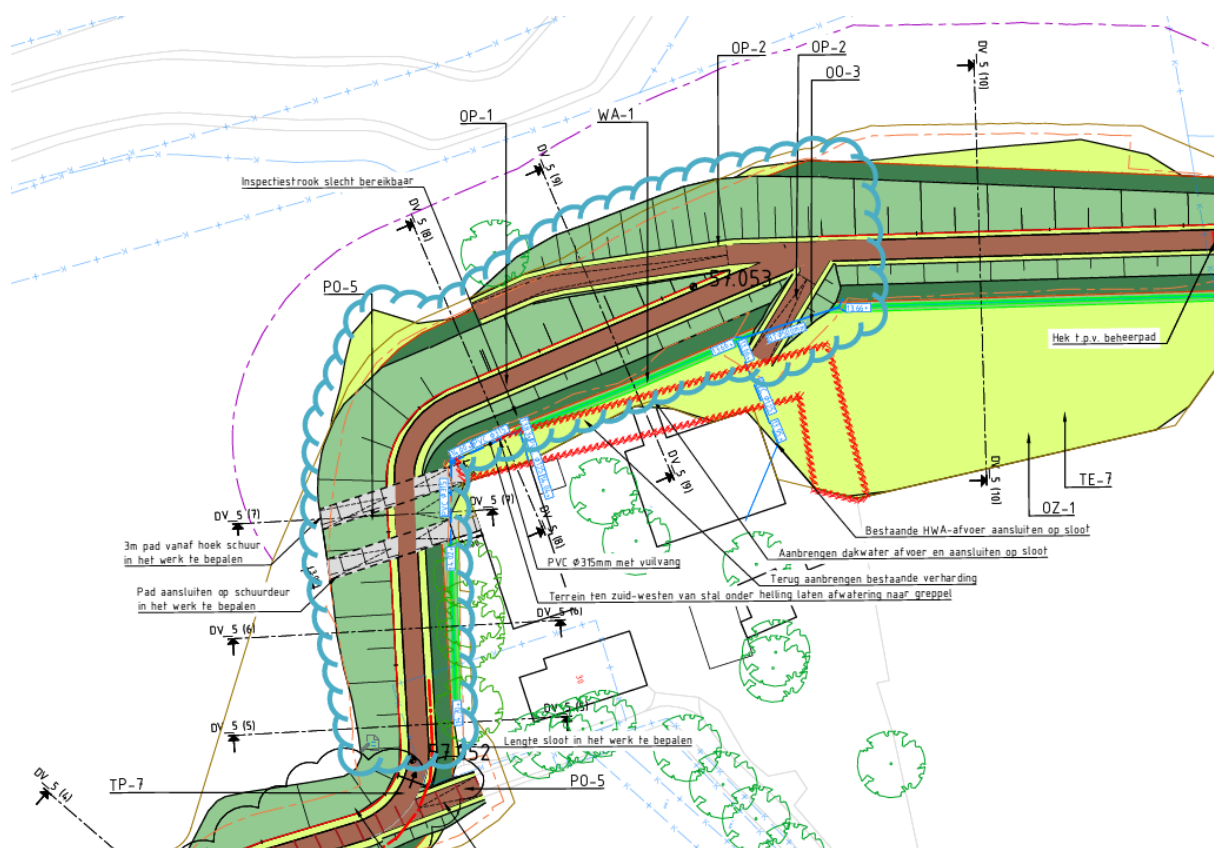
Grondlaag [-]	a [-]	b [-]	c [-]	POP _{gemiddeld} [kPa]
Klei, Dijksmateriaal	2,46E-03	2,69E-02	6,49E-04	36,1
Klei, Holocene	2,37E-03	2,72E-02	4,92E-04	15,0
Klei, Beegden	2,49E-03	3,39E-02	5,74E-04	52,6
Zand, Beegden	1,00E-04	2,00E-03	0,0*	0,0*
Opmerking: *Aangepast ten opzichte van DO.				

2.1.3 Resultaten

Tabel 2.4: Overzicht zettingen

Dijkvak	Instantane zetting in kruin [m]	Maximale eindzetting in kruin [m]	Restzetting in kruin [m]	Maximale eindzetting in kruin +30% [m]	Overhoogte bij aanleg [m]
5	0,03	0,04	0,01	0,05	0,05
6	0,03	0,04	0,01	0,05	0,05
Opmerking: *Locatie maximale zetting conform dwarsprofielen van respectievelijk Figuur 2.2 en Figuur 2.4.					

In geheel deelgebied 3 wordt een overhoogte van 10 cm met uitvoeringstoleranties ± 5 cm aangehouden. Ter plaatse van het omcirkelde gebied ([indicatief, perceelgrenzen vormen grenzen van overhoogte gebied](#)) zoals weergegeven in Figuur 2.5 wordt een overhoogte van 5 cm toegepast, conform afwijking 43 (zie e-mail K. van Gerven d.d. 14-12-2023).



Figuur 2.5: In blauw gearceerd het gebied waar een overhoogte van 5 cm wordt toegepast.

2.2 Zettingen leidingdoorvoeren

Op verschillende locaties kruisen leidingen damwand- of heaveschermen met een leidingdoorvoer. Omdat de heaveschermen nagenoeg zettingsvrij gefundeerd worden, kan er bij het zetten van de bodem een zettingsverschil ontstaan, waarbij de leiding meezakt met de ondergrond en de damwand niet. Bij een krappe doorvoer wordt de zetting van de leiding verhinderd, waardoor de spanningen in de leiding lokaal te groot worden. Daarom is er ter plaatse van deze leidingdoorvoeren de maximale zetting van de leiding bepaald.

Volgens (NEN, 2020) worden voor een kruising gefundeerd op staal de volgende zakkingscomponenten onderscheiden:

- zakkingen door consolidatie van het waterstaatswerk en ondergrond door ophoging ter plaatse van de kruising en naaste omgeving (inclusief klink van ophoogmateriaal onder de leiding) en eventuele potentiaalverlagingen van het grondwater;
- zakkingen door ophogingen tijdens de levensduur van de leiding, verricht in het kader van onderhoudswerkzaamheden aan het waterstaatswerk;
- zakkingen door het seculair effect van in het verleden uitgevoerde dijkverzwaringen of grondophogingen;
- zakkingen door de grondroering bij de aanleg;
- zakkingen door de dynamische invloed van de leiding op de omringende grond onder invloed van fluctuaties in bedrijfsdruk en temperatuur.

De zakkingen vermeld onder a), b) en c) worden 'zettingen' genoemd en moeten aan de hand van het grondmechanisch onderzoek worden bepaald resp. worden opgenomen in het grondmechanisch rapport als het zettingsverloop over de kruising.

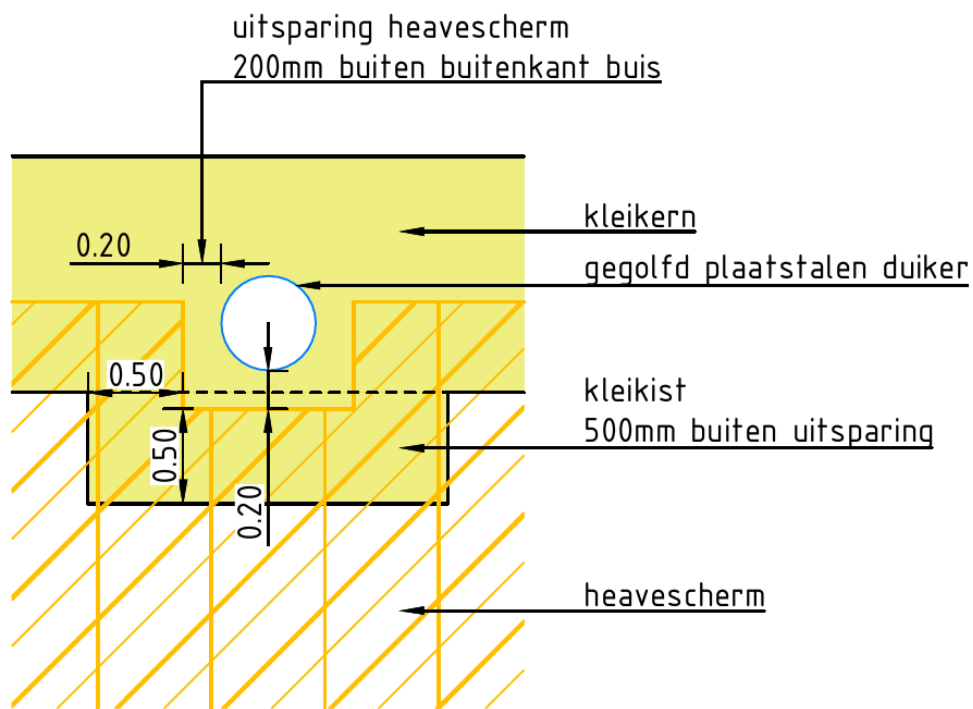
Zakkingen vermeld onder d) worden 'uitvoeringszakkingen' genoemd. Waarden van uitvoeringszakkingen f_v zijn opgenomen in de tabellen C.8, C.9 en C.10 van NEN 3650-1:2020 en worden als volgt met de verwachte zetting verdisconteerd:

- verder de waarde van de zettingen (z) proportioneel met de waarde van f_v
- vermenigvuldig het aldus gevonden verloop met de totaalfactor voor ruimtelijke spreiding en modelonzekerheid uit tabel B.4 van NEN 3650-1:2020 om het in rekening te brengen zettingsverloop vast te stellen.

2.2.1 Toelaatbare zettingen

Er is in OO-4 en OO-7 getoetst of de leiding gaat steunen op de damwand (verhinderde zakking). De acceptabele zakking is de netto ruimte onder de buis in de doorvoer (ontwerpafstand tussen onderkant buis en bovenkant scherm – 2 x de uitvoeringstolerantie). De uitvoeringstolerantie bedraagt 30 mm. In OO-4 bedraagt de afstand tussen onderkant buis en bovenkant scherm 200 mm. Rondom de Ø600 mm buis in OO-7 bevindt zich een ontwerpruimte van 500 mm, zie Figuur 2.7. Onder de Ø500 mm buis in OO-7 bevindt zich een ontwerpruimte van 250 mm. Hierdoor komt de acceptabele zakking in OO-4 uit op 140 mm en in OO-7 uit op 440 mm en 190 mm. De sterkte van de leiding zelf is niet getoetst.

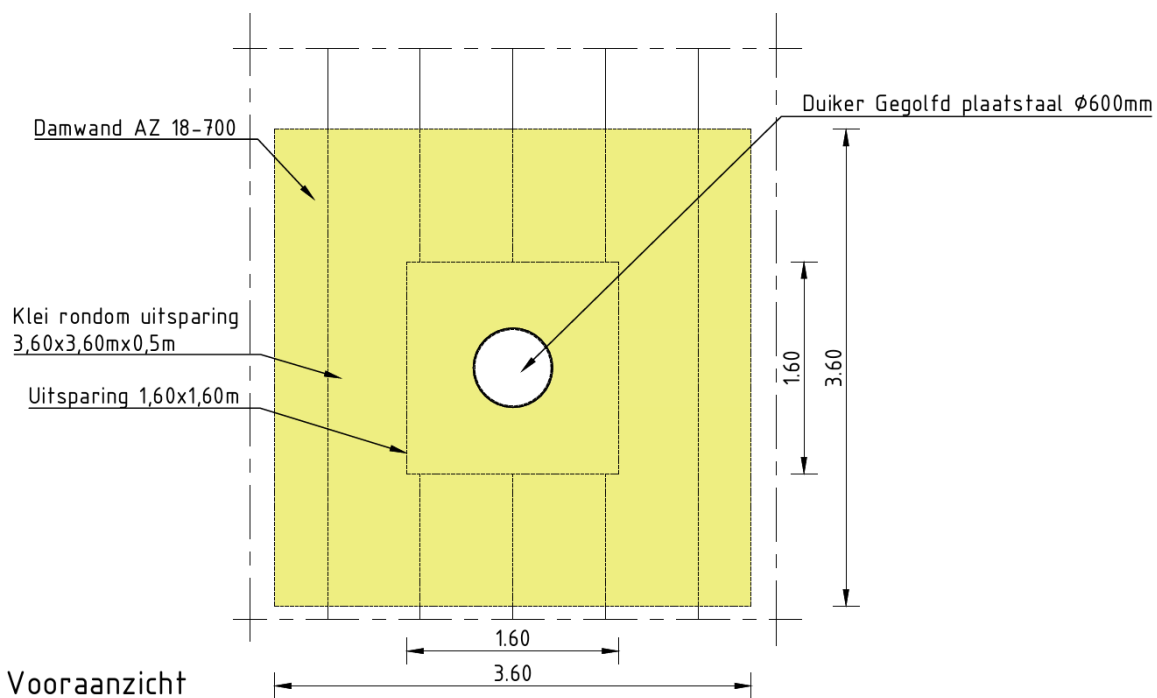
Bij de gasleiding in dijkvak 7 bedraagt de afstand tussen onderkant buis en bovenkant scherm 200 mm. De toelaatbare zakking bedraagt derhalve 140 mm.



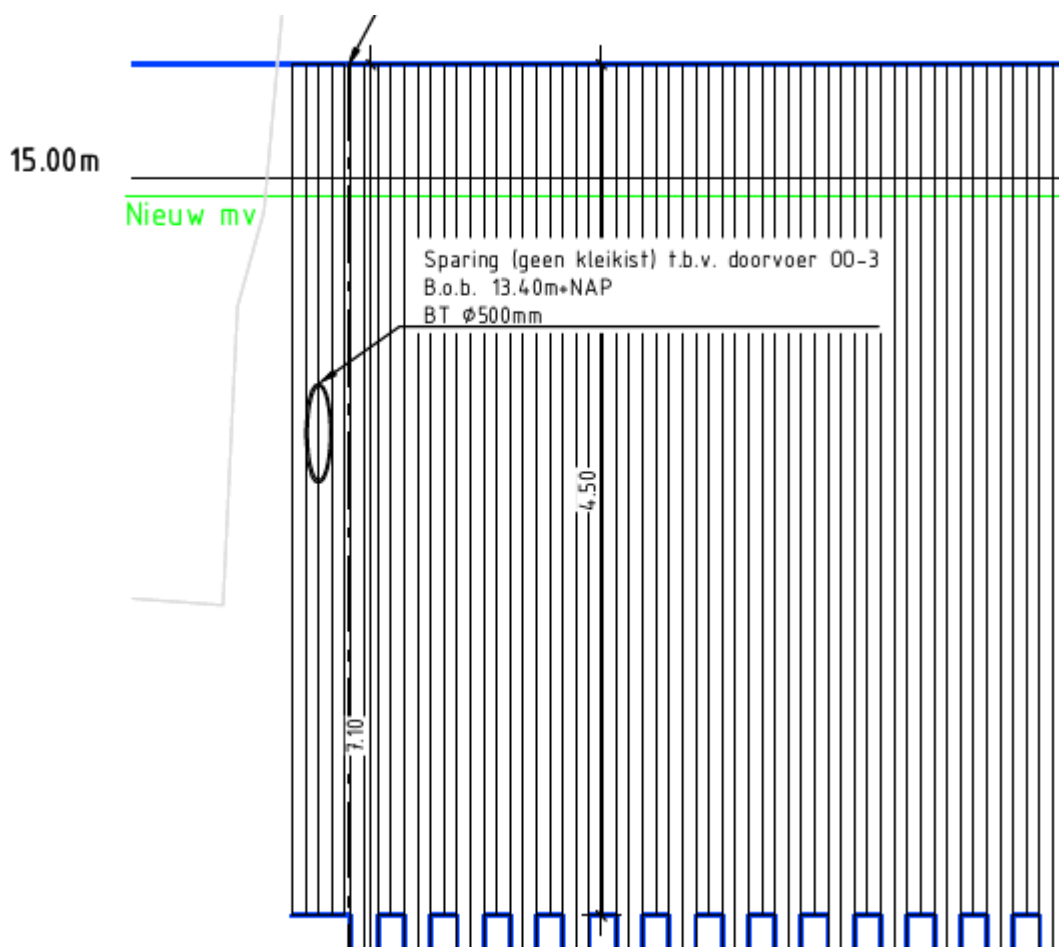
Principe doorvoer heavescherm

SCHAAL 1 : 50

Figuur 2.6: Detail doorvoer leiding door damwand (OO-4)



Figuur 2.7: Detail doorvoer leiding $\phi 600\text{ mm}$ door damwand (OO-7)

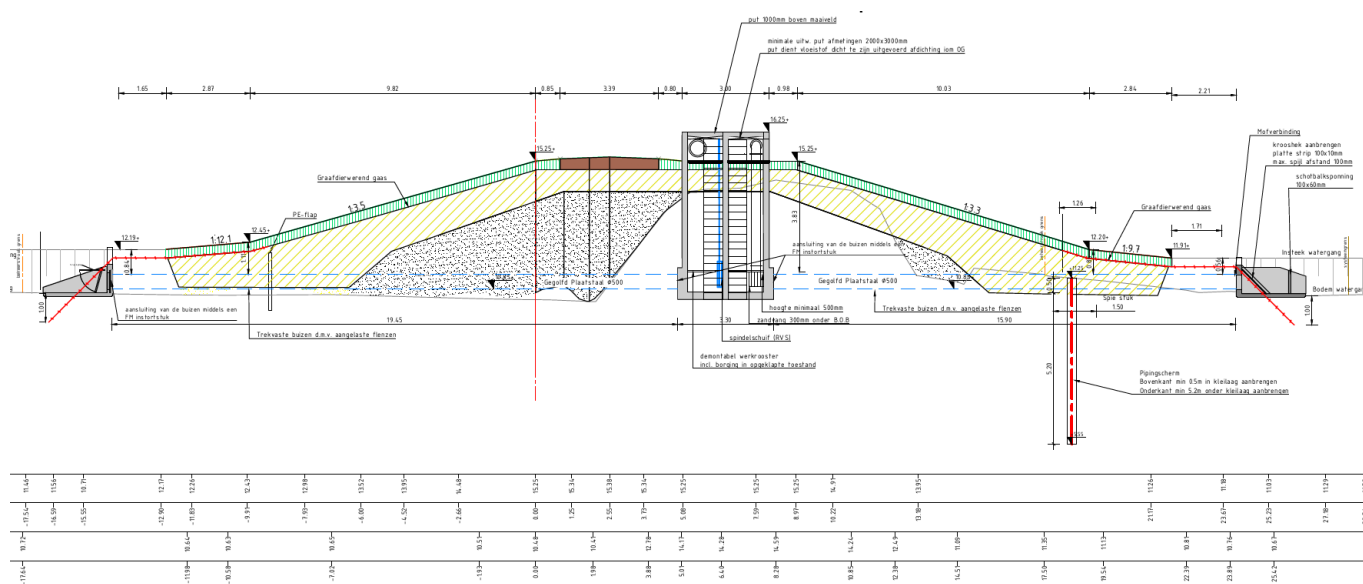


Figuur 2.8: Detail doorvoer leiding Ø500 mm door damwand (OO-7)

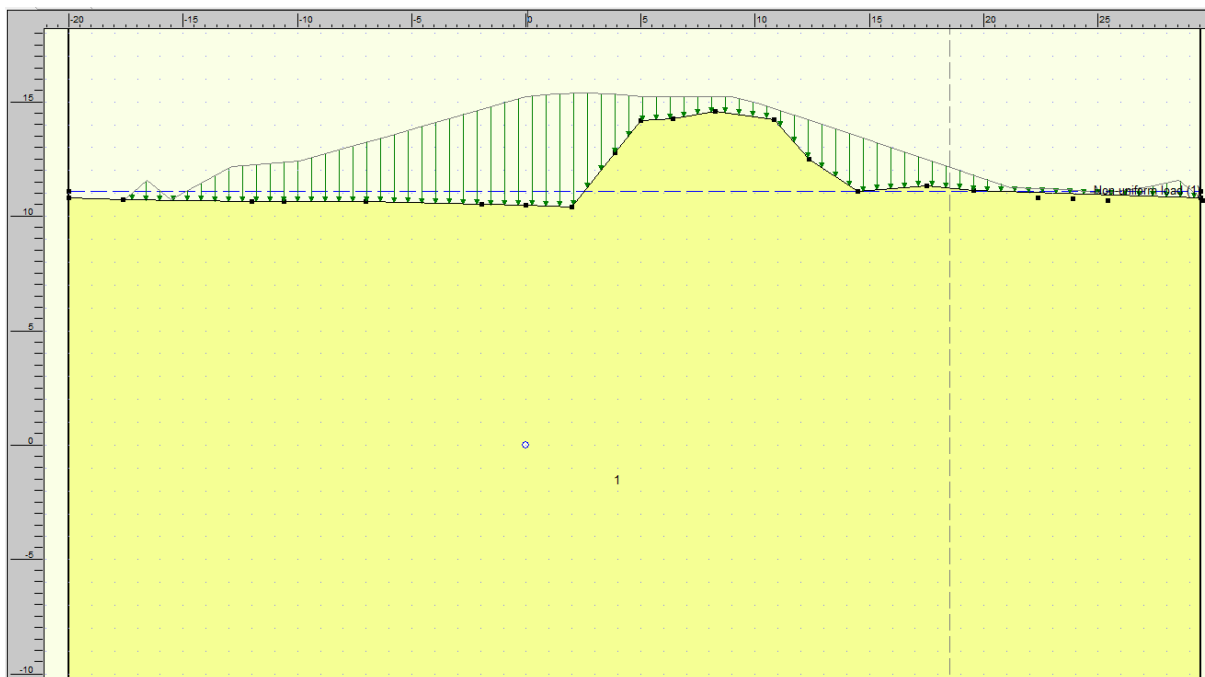
2.2.2 Geometrie

2.2.2.1 OO-4

Bij dwarsprofiel OO-4 bevindt zich een leiding van Ø500 mm. De onderkant bevindt zich op 10,85 m NAP, zie Figuur 2.9.



Figuur 2.9: Dwarsprofiel OO-4 (DV 5).



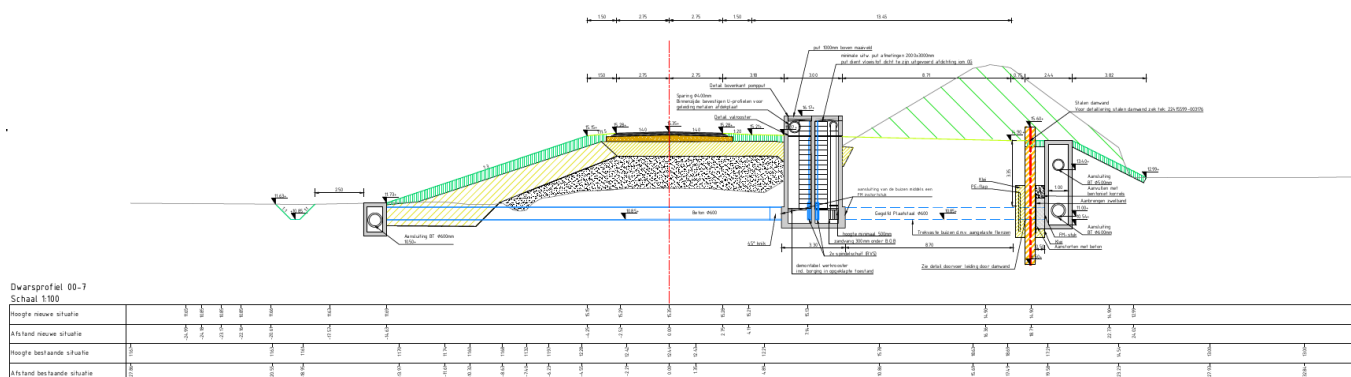
Figuur 2.10: Dwarsprofiel OO-4 in D-Settlement

Tabel 2.5: Bodemlagen D-Settlement OO-4

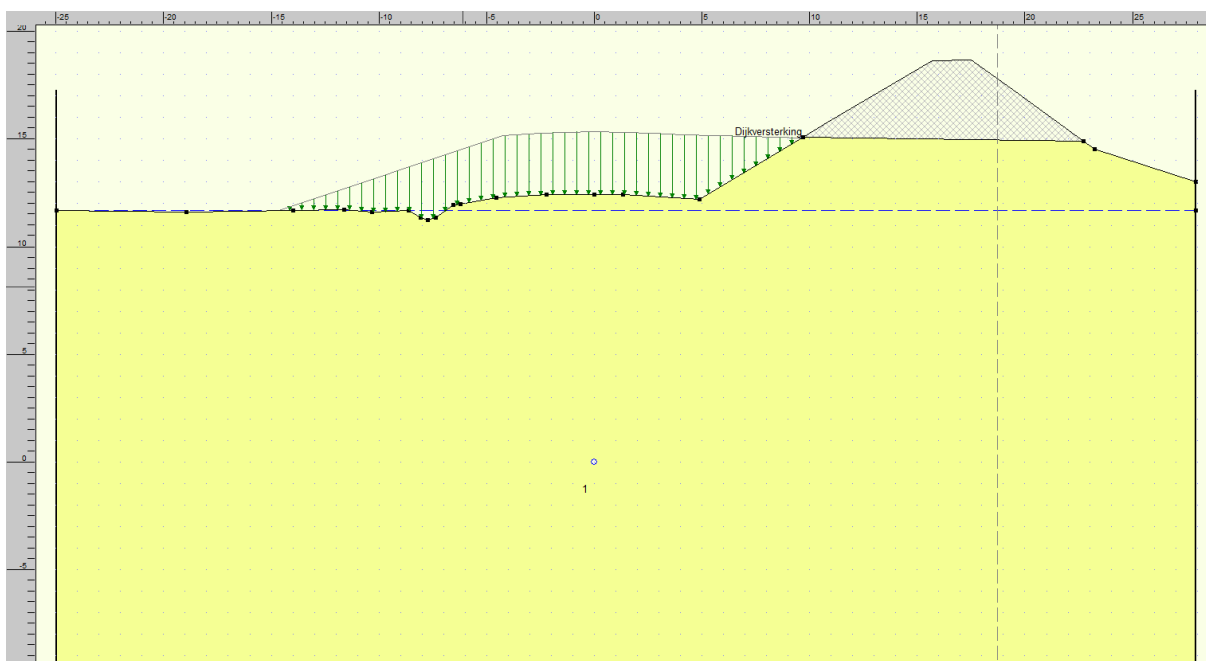
Laag	Laagpakket
1	Zand, Beegden

2.2.2.2 OO-7

Bij dwarsprofiel OO-7 loopt vanaf de verzamelput (binnendijks) een plaatstalenduiker Ø600 naar het waterkerend kunstwerk. Vanaf het waterkerend kunstwerk loopt buitendijks een betonbuis Ø600 verder naar de watergang parallel aan zandpad Wienberger, zie Figuur 2.11.



Figuur 2.11: Dwarsprofiel OO-7 (DV 7).



Figuur 2.12: Dwarsprofiel OO-7 in D-Settlement

Tabel 2.6: Bodemlagen D-Settlement OO-7

Laag	Laagpakket
1	Zand, Beegden

2.2.3 Modelschematisatie en stijfheidsparameters

De modelschematisatie en stijfheidsparameters komen overeen met de methode zoals beschreven in paragraaf 2.1.2.

2.2.4 Resultaten

Er is uitgegaan van een goed verdichte aanvulgrond onder en naast de leiding in een droge sleuf en een continu zakkingsprofiel conform Tabel C.9 NEN-3650. Er is sprake van sleuf type b. De waarde van de uitvoeringszakking wordt proportioneel aan de maximale zetting bepaald. De bepaalde zetting in OO-4 is 7 mm met een maximale zetting van 26 mm. Hieruit volgt een f_v van 1,4 mm voor OO-4. In OO-7 zijn de berekende zettingen negatief en nul, waardoor de uitvoeringszakking en daarmee de totale zakking ook op 0 mm uitkomt. Hierna wordt de berekende zetting met de partiële factor voor zetting conform Tabel B.4 van NEN-3650 vermenigvuldigd.

Tabel 7: Overzicht zettingen leidingdoorvoeren

Object	Diepte [m NAP]	Toelaatbare zetting [mm]	Berekende zetting z [mm]	Uitvoeringszakking f_v [mm]	Partiële factor zetting [-]	Partiële factor uitvoeringszakking [-]	Totale zakking [mm]
OO-4	10,85	140	7	1,4	2,0	1,5	16,1
OO-7 (ø500 mm)	13,40	190	-1	0	2,0	1,5	0

Object	Diepte [m NAP]	Toelaatbare zetting [mm]	Berekende zetting z [mm]	Uitvoeringsszakking f_v [mm]	Partiële factor zetting [-]	Partiële factor uitvoeringsszakking g [-]	Totale zakking [mm]
OO-7 (ø600 mm)	10,85	440	0	0	2,0	1,5	0

2.2.5 Conclusie

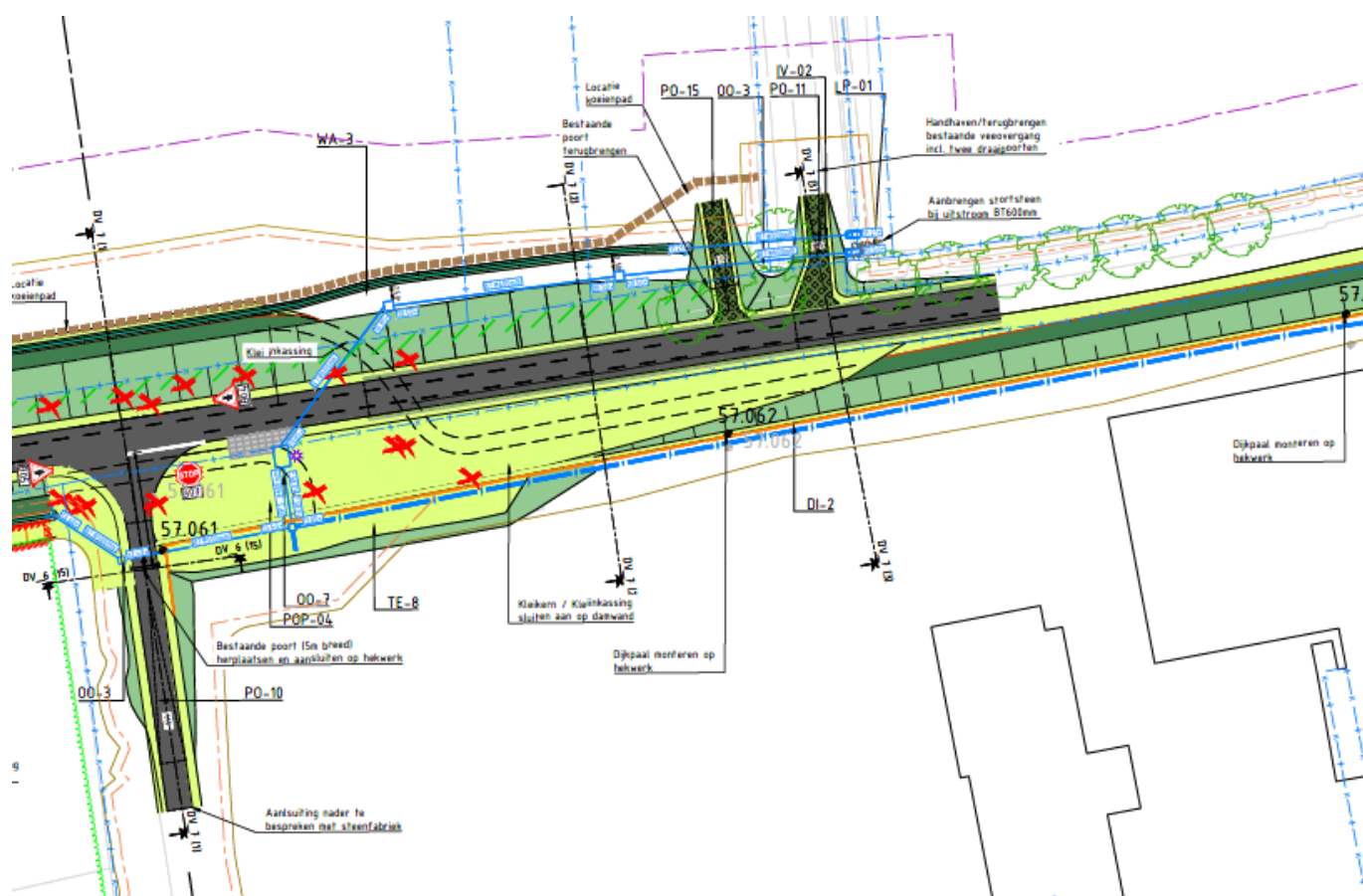
In beide leidingen van OO-7 is geen zakking berekend. De berekende totale zakking ter plaatse van OO-4 bedraagt 16,1 mm. De acceptabele zakking in OO-4 bedraagt 140 mm. Hiermee wordt in alle leidingdoorvoeren dus ruim voldaan aan de toelaatbare zetting.

Voor de gasleiding in dijkvak 7 is geen zettingsberekening uitgevoerd. Omdat de bodemopbouw vergelijkbaar is met OO-7, wordt er geen noemenswaardige zetting verwacht. De toelaatbare zetting bedraagt 140 mm; hier wordt ruim aan voldaan.

2.3 Zettingen dempen sloot

Indien grond op een droge greppel, of een te dempen watergang, moet worden aangebracht, dient er rekening te worden gehouden met eventuele (rest-) zetting en dient de te verwachten zetting gecompenseerd te worden door een onderbouwde overhoogte aan te brengen. De maximale restzetting 10.000 dagen na oplevering mag 5 cm te bedragen (EIS-0505).

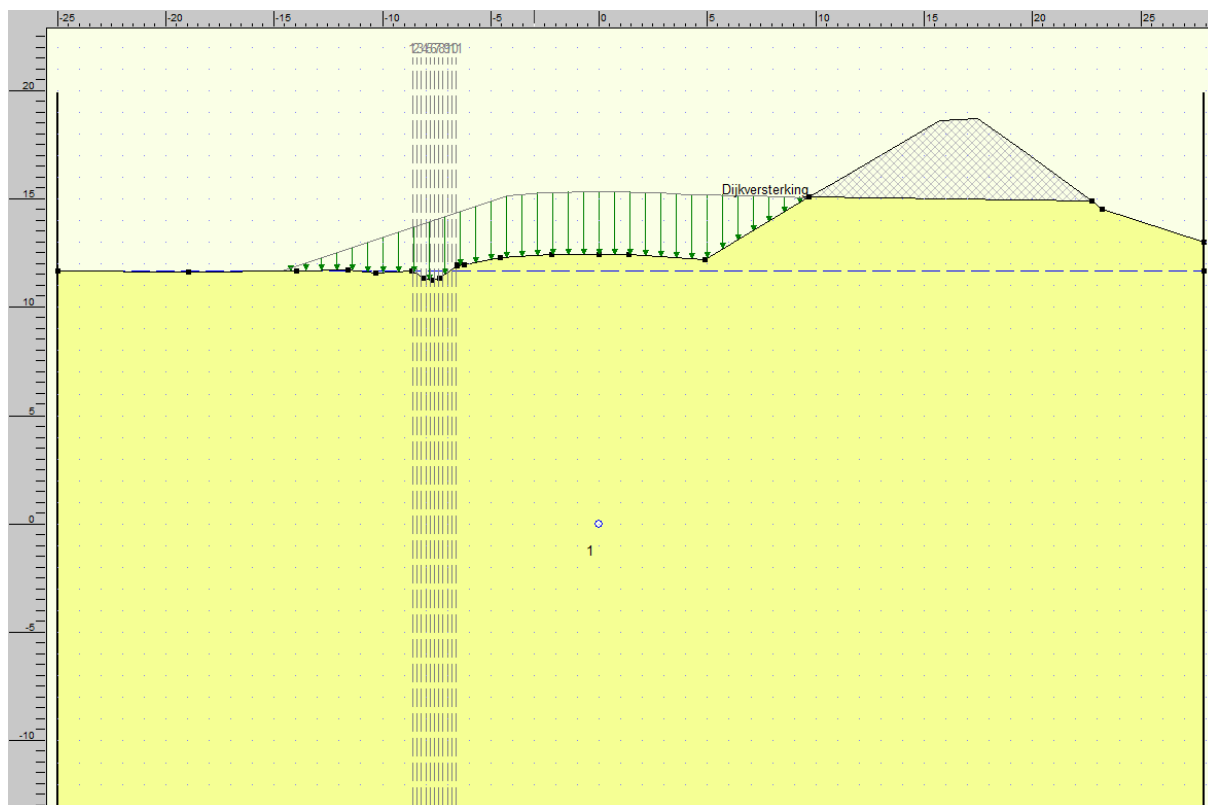
De sloot in dijkvak 7 (Figuur 2.13) wordt gedempt vanwege de dijkversterking in dijkvak 7. De zettingen ten gevolge van het dempen van de sloot zijn op basis van het maatgevende dwarsprofiel OO-7 bepaald.



Figuur 2.13: Overzicht situatie van sloot in dijkvak 7 bij OO-7

2.3.1 Geometrie

2.3.1.1 OO-7



Figuur 2.14: Dwarsprofiel OO-7 in D-Settlement

Tabel 2.8: Bodemlagen D-Settlement

Laag	Laagpakket
1	Zand, Beegden

2.3.2 Modelschematisatie en stijfheidsparemeters

De modelschematisatie en stijfheidsparemeters komen overeen met de methode zoals beschreven in paragraaf 2.1.2.

2.3.3 Resultaten

De resultaten van de zettingsberekening ten gevolge van het dempen van de sloot in dijkvak 7 zijn weergegeven in Tabel 2.9. Er is een zetting **berekend** van 18 mm. **Dit is een verwachtingswaarde; voor de karakteristieke waarde is 30% extra zetting aangehouden.** **Daarmee** komt de **karakteristieke waarde van de** zetting uit op 23 mm.

Conform EIS-0505 dient de maximale restzetting na oplevering 10.000 dagen na oplevering 5 cm te bedragen. Hieraan wordt voldaan. De grondophoging in dijkvak 7 heeft alleen een esthetische functie en geen waterveiligheidsfunctie. **De (verschil)zettingen zijn verwaarloosbaar en wijzigen het aanzicht van het talud niet, derhalve is dit ook esthetisch**

verantwoord. Daarom hoeft deze zetting ten gevolge van het dempen van de sloot niet met een overhoogte gecompenseerd te worden.

Tabel 2.9: Overzicht zetting ten gevolge van dempen van sloot

Dijkvak	Berekende zetting [mm]	Berekende zetting +30% [mm]
7	18	23

3. Bekledingen

3.1 Materialisatie kleibekleding

In dit hoofdstuk worden de geometrische en materialisatie-eisen met betrekking tot de kleibekleding [samengevat](#). Bij elke eis wordt verwezen naar de betreffende eis [uit de VSE](#).

3.1.1 Toplaag

3.1.1.1 Geometrie

- De toplaag dient minimaal 0,30 m met een tolerantie tot maximaal 0,40 m dik te zijn (EIS-0596). Met overhoogte bedraagt de toplaag 0,40 m (10 cm overhoogte bepaald met Waterschap Limburg, afwijking AFW-0043).

3.1.1.2 Materialisatie

- De toplaag dient van een schralere partij met een lutumgehalte van 9% tot 20% te zijn. Conform afwijking AFW-0028 wordt de toplaag buitendijks onder niveau overschrijdingsfrequentie 1/10 per jaar in schrale klei uitgevoerd.
- De toplaag dient van een natuurlijke en gerijpte samenstelling te zijn zodat de geëiste vegetatie zich hierop kan ontwikkelen zonder aanvullende bodembehandeling (EIS-0596).
- De toplaag dient niet sterk verdicht te zijn, met bodemverdichting conform (TAW, 1996) (EIS-0596).
- De toplaag dient goed aan te sluiten op de onderlaag door de onderlaag op te ruwen voordat de toplaag wordt aangebracht (EIS-0596).
- De toplaag dient geen zaadbanken te bevatten van probleemsoorten (EIS-0596).

3.1.2 Onderlaag buitentalud

3.1.2.1 Geometrie

- De onderlaag van het buitentalud dient te zijn ontworpen en gerealiseerd conform (TAW, 1996) (EIS-0014).
- De dikte bij de teen van het buitentalud dient minimaal 1,0 m, exclusief toplaag, te bedragen gemeten loodrecht op het talud (EIS-0014).
- De dikte bij de buitenkruinlijn dient minimaal 1,0 m, exclusief toplaag, te bedragen gemeten loodrecht op het talud (in dikte toenemend richting de buitenteen met een talud 1:2,5 of flauwer tussen de bekleding en de dijk kern) (EIS-0014).
- De onderlaag van de bekleding dient middels een klei-inkassing aan te sluiten op het huidige maaiveld (EIS-0014).

3.1.2.2 Materialisatie

- Bij het toepassen van grasbekleding dient de onderlaag op het buitentalud minimaal te bestaan uit stevige klei (categorie 1 of 2, met 20% tot 35% lutum) (EIS-0037).

3.1.3 Onderlaag kruin en binnentalud

3.1.3.1 Geometrie

- De onderlaag van het binnentalud en de kruin dient te zijn ontworpen en gerealiseerd conform (TAW, 1996) (EIS-0015).
- De dikte van de onderlaag (kleilaag) bij de teen van het binnentalud dient minimaal 0,75 m, dus exclusief top laag, te bedragen gemeten loodrecht op het talud (EIS-0015).
- De dikte bij de binnenkruinlijn dient minimaal 0,75 m, exclusief top laag, te bedragen gemeten loodrecht op het talud (in dikte toenemend richting de binnenteen met een talud 1:2,5 of flauwer tussen de bekleding en de dijk kern) (EIS-0015).
- De onderlaag van de bekleding dient middels een klei-inkassing aan te sluiten op het huidige maaiveld (EIS-0015).

3.1.3.2 Materialisatie

- Bij het toepassen van grasbekleding dient de onderlaag op het binnentalud of de kruin minimaal te bestaan uit schrale klei (categorie 3, met 9% tot 20% lutum) (EIS-0037).

3.2 Overgangen bekledingen

Er worden verschillende typen bekledingen toegepast op het dijktraject Nieuw-Bergen. De overgangen tussen bekledingen kunnen potentieel een zwakke plek zijn bij golfaanval (buitentalud) of golfoverslag (kruin en binnentalud). Overgangen moeten daarom voldoende erosiebestendig zijn. Het uitgangspunt daarbij is dat de overgang niet de zwakste plek mag zijn. De overgangen tussen deze typen bekledingen worden in dit hoofdstuk gedetailleerd.

3.2.1 Grasbekleding – betongranulaat

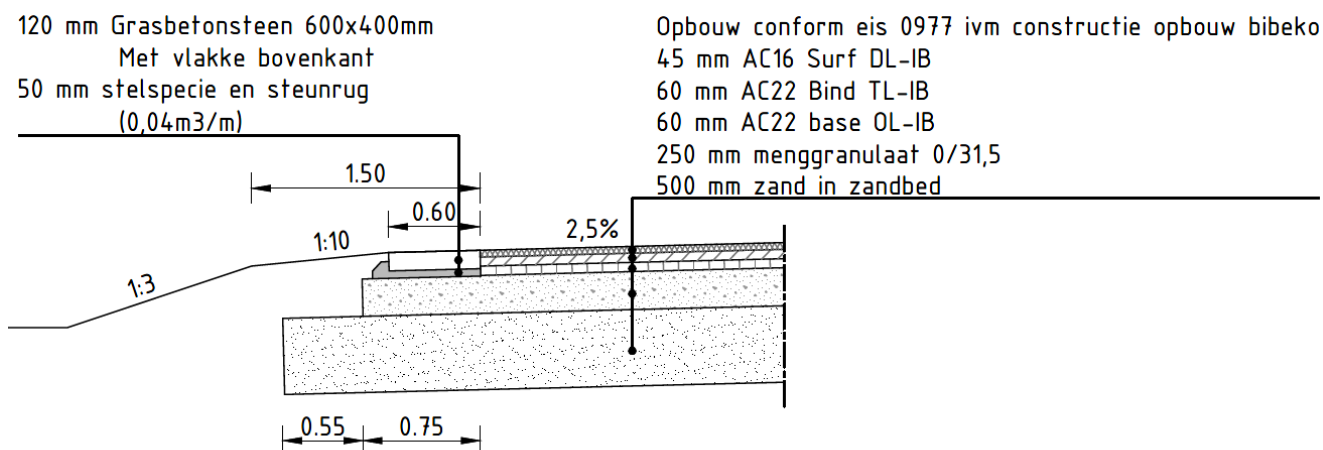
De overgang van grasbekleding naar betongranulaat bevindt zich in alle dijkvakken behalve dijkvak 7, zie Figuur 3.1. In deze situatie is geen overgang tussen de bekledingen benodigd.



De overgang van grasbekleding naar asfalt is weergegeven in Figuur 3.2.



6422-220983-R06 3.0 | Berekeningsrapport DO Waterveiligheid en geotechniek DG3
Pagina 19 van 61



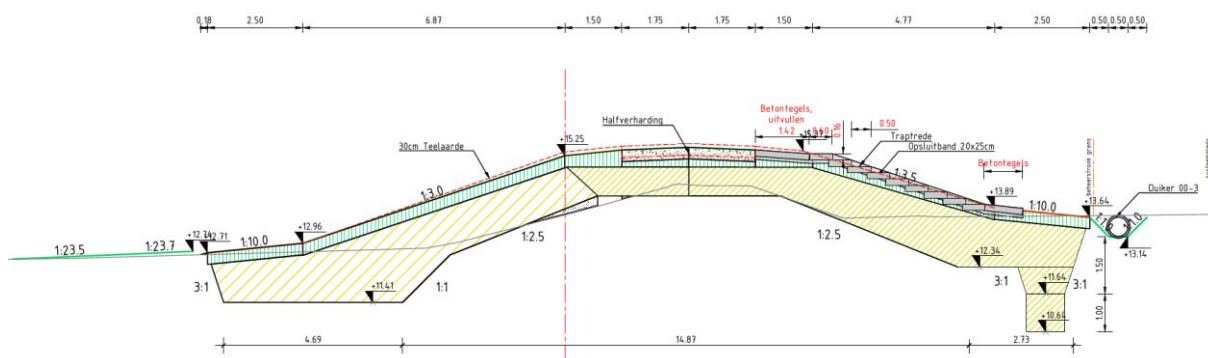
Grasbetontegel in wegberm buitendijks Binnen bebouwde kom 1:50

Figuur 3.3: Overgang grasbekleding asfalt.

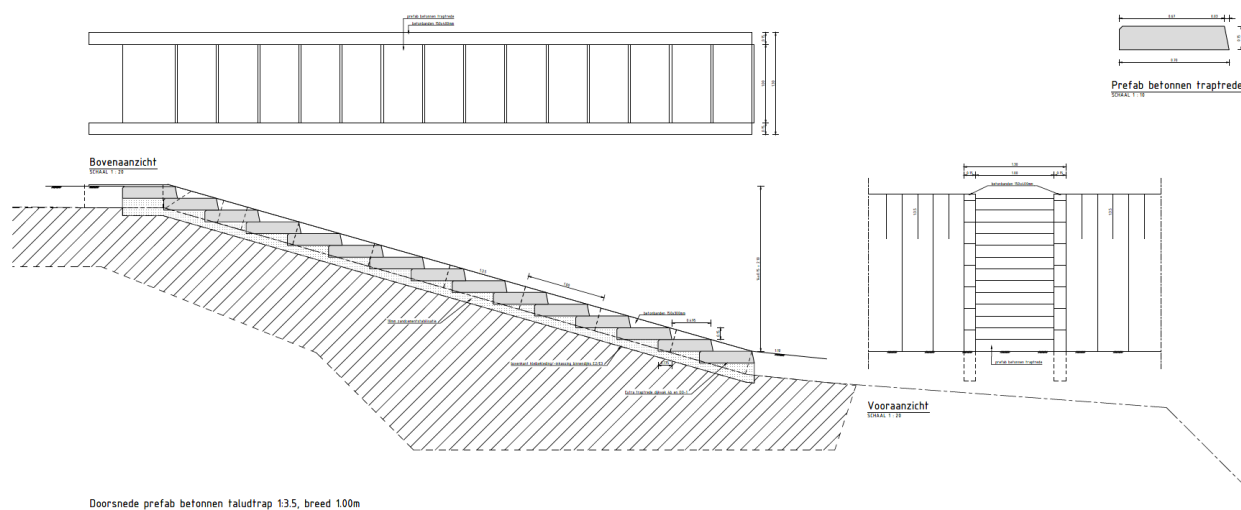
3.2.3 Grasbekleding – taludtrap

Bij overgangen van grasbekledingen naar taludtrappen (zie Figuur 3.4) en constructies als de Veetunnel geldt dat de constructies moeten worden opgesloten tussen betonnen opsluitbanden waarbij aan weerszijden bij voorkeur grasbetontegels worden toegepast, zie Figuur 3.5.

In afwijking van bovenstaande is door het waterschap Limburg en de gemeente Bergen besloten dat er geen grasbetontegels worden toegepast (overleg d.d. 4 december 2023).



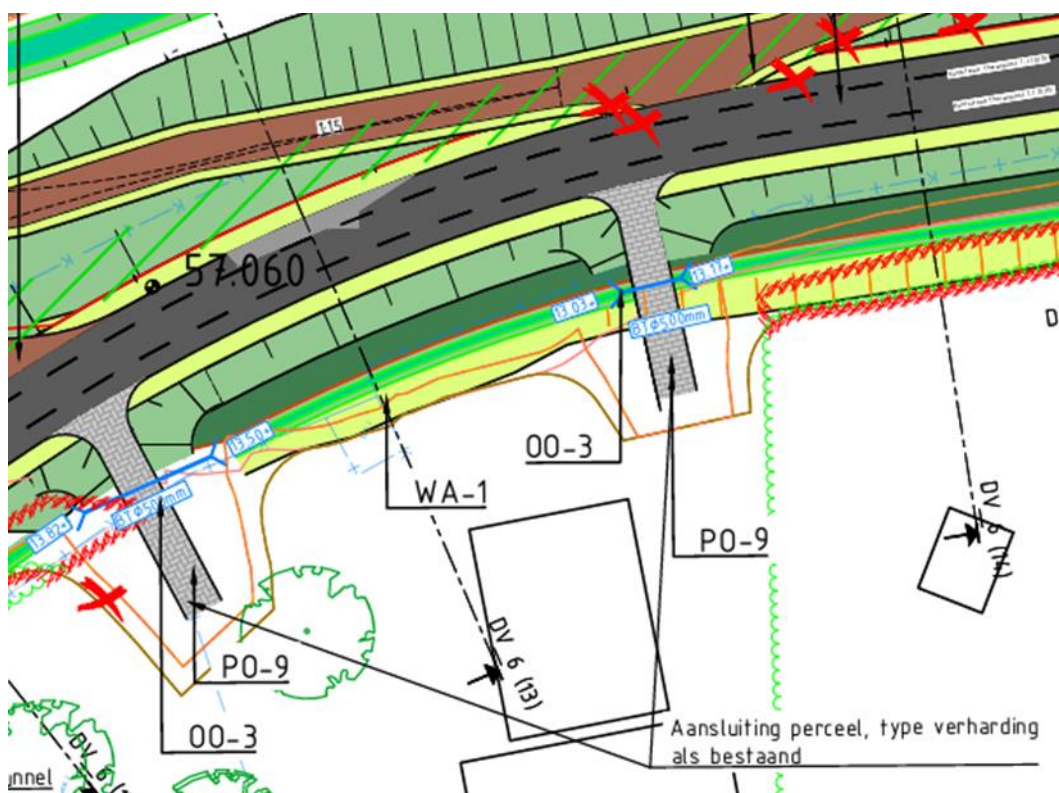
Figuur 3.4: Dwarsprofiel DV_3 (1)



Figuur 3.5: Overgang bekledingen bij taludtrap.

3.2.4 Asfalt - elementenverhardingen

In dijkvak 6 bevinden zich elementenverhardingen op de afritten aansluitend op de asfaltweg, zie Figuur 3.6.



Figuur 3.6: Bovenaanzicht dijkvak 6.

Bij deze overgang wordt van het volgende uitgegaan:

- De (doorlopende) kleilaag van minimaal 0,75 m op het binnentalud zorgt voor de erosiebestendigheid.
- Indien de elementenverhardingen opgesloten zijn tussen betonbanden en goed gestraat, hebben deze enige mate van erosiebestendigheid. Conform opgave waterschap Limburg

(e-mail K. van Gerven d.d. 1 december 2023) is het uitgangspunt dat een elementverharding voldoende sterkte biedt, in combinatie met een onderlaag van stevige klei van minimaal 0,8 m. Hierbij is er rekening gehouden met graverijen in de binnendijkse onderlaag.

3.3 Aansluiting kunststof heavescherm – kleischerm

De aansluiting van het kunststof heavescherm op het kleischerm is weergegeven in Figuur 3.7, waar het kleischerm over een lengte van 5 m een overlapping met het heavescherm heeft. Het kunststof heavescherm sluit aan op de achterzijde van de klei-inkassing om achterloopsheid te voorkomen: een eventuele pipe die aan de achterzijde langs het scherm groeit, komt uiteindelijk de achterzijde van de klei-inkassing tegen. Ofwel de pipe moet verder groeien langs de klei-inkassing (in geval van een dunne deklaag) ofwel de de pipe kan niet verder groeien (bij afwezigheid van een deklaag).



Kleinkassing 5m laten overlappen met heavescherm
Heavescherm type JLD U 610/6

Heavescherm type JLD U 610/6

5.00

1.45

1.00

Kleinkassing

DV 5 (13)

Schaal 1 : 100

6422-220983-R06 3.0 | Berekeningsrapport DO Waterveiligheid en geotechniek DG3
Pagina 23 van 61

4. NWO's

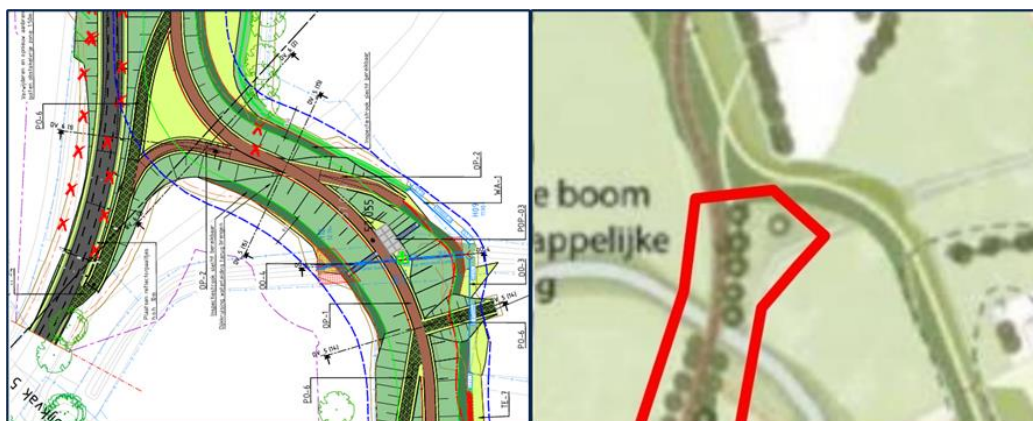
4.1 Bomen en beplanting

Nieuwe beplanting binnen 8,5 m van de teen van de kering dient in eerste instantie te passen binnen de kaders van de Uitvoeringsregel beplanting. Indien dit niet past, moet de beplanting ten minste passen binnen de Beleidsregel beplanting. Hierbij dient te worden aangetoond dat de waterveiligheidsfunctie van de waterkering niet wordt aangetast (EIS-0468).

De nieuwe beplanting in deelgebied 3 is weergegeven in Figuur 4.1 t/m Figuur 4.4. Hieruit is geconcludeerd dat de beplanting zich buiten 8,5 m van de teen van de kering bevindt en derhalve hoeft deze beplanting niet verder te worden beschouwd. Dijkvak 7 (Figuur 4.3) bevat een nieuwe bomenrij die langs de stalen damwand staan binnen de 8,5 m zone. Hier zijn de bomen gepland in de buitendijkse grondaanvulling. Dit is vanuit waterveiligheid mogelijk, omdat de grondaanvulling alleen een *esthetische* functie heeft. De situatie met ontgroning van de persleiding is maatgevend boven een ontgrondingskuil van een boom. Om worteldruk tegen de damwand te voorkomen, wordt wel geadviseerd om de bomen zo te situeren dat er altijd minimaal 1 m afstand is tussen de wortelkruit in de eindsituatie en de damwand.



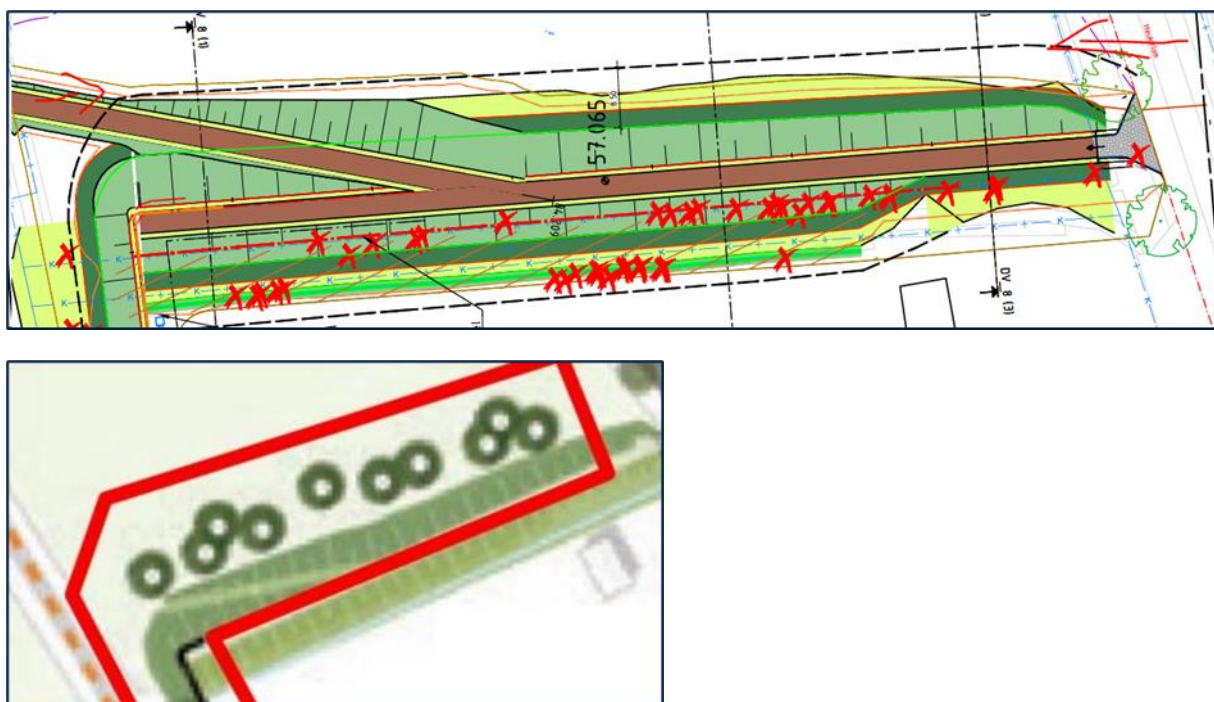
Figuur 4.1: Beplanting in dijkvak 5.



Figuur 4.2: Beplanting in dijkvak 6.



Figuur 4.3: Beplanting in dijkvak 7.



Figuur 4.4: Beplanting in dijkvak 8.

4.2 Parallele leidingen

4.2.1 Beoordeling bestaande leiding (restpunt DO)

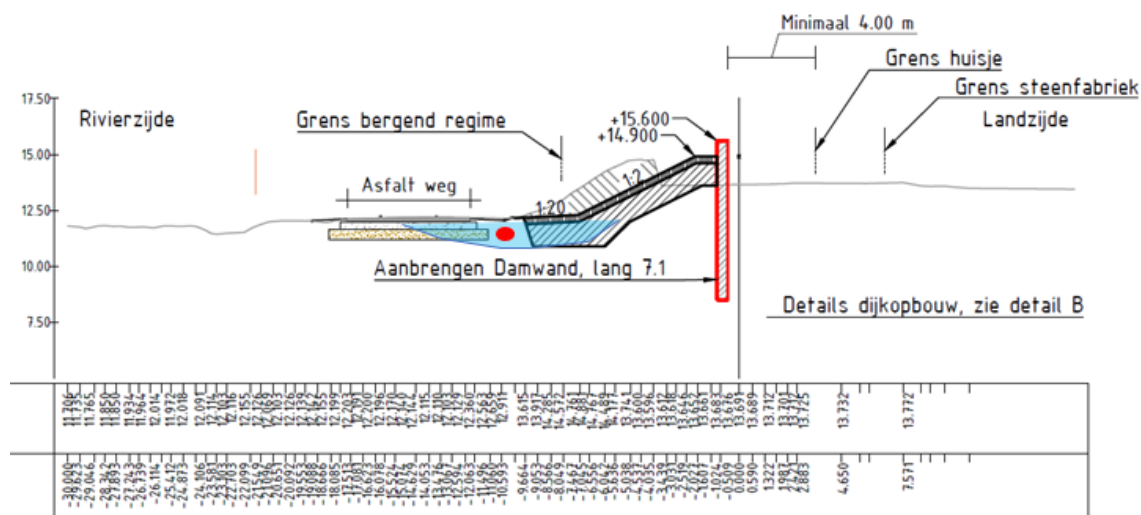
In de DO-fase is de invloed van alle kabels en leidingen op de waterkering gecontroleerd; zie paragraaf 7.3 van het DO Berekeningsrapport (22415599-003023). Van de 17 kabels en leidingen wordt het merendeel verlegd buiten de invloedzone (parallele leidingen) of door een kruising met gestuurde boring (kruisende leidingen). [Er bleven nog 4 leidingen over binnen de invloedzone die beschouwd dienden te worden in het UO. Twee van deze vier leidingen zijn beschouwd in het UO van Deelgebied 1+2 \(documentnummer 22415599-003036\), de overige twee leidingen liggen in Deelgebied 3 en worden hier beschouwd. Leiding 57.0729RDR is meegenomen in de berekeningen voor de damwand Steenfabriek \(documentnummer 22415599-003024\).](#) Dit resulteert in één parallele leiding in deelgebied 3 die nog in de UO-fase beschouwd dient te worden; zie tabel 4.1.

Tabel 4.1: Inventarisatie K&L binnen invloedzone (deelgebied 3)

Leiding code	Type leiding	Opmerkingen
57.0010G-HD	Gas HD	Dient beschouwd te worden in het UO*
57.0729RDR	Persriool	Is beschouwd in de damwandberekening bij de steenfabriek

Voor de HD-gasleiding heeft het waterschap Limburg een quick scan uitgevoerd (e-mail R. Dreessen d.d. 20 september 2023):

De gasleiding ligt tussen de Heukelomsestraat en de grondwal die nu aanwezig is bij Wienerberg. In het ontwerp is een zelfstandig kerende constructie voorzien met daar een grondtalud tegen aan. Het grondwerk heeft een esthetische functie. De gasleiding ligt op ongeveer 7 m van de nieuw te realiseren constructie. In de planuitwerking is in de Plaxisberekening een fase meegenomen waarin het optreden van een erosiekrater is meegenomen. In die fase is verondersteld dat het volledige grondlichaam een buitendijkse zijde er niet meer is en vanuit onderkant erosie krater onder 1:10 tot de constructie. Dit is een zeer conservatief uitgangspunt geweest. In die fase is met Plaxis aangetoond dat de constructie voldoet. De grotere erosiekrater die bij de gasleiding is berekend, leidt niet tot een andere conclusie.



Figuur 4.5: Dwarsprofiel van locatie HD-gasleiding bij steenfabriek (bron: e-mail WL).

4.2.2 Nieuw parallel persriool terrein Wienerberger

Op het terrein van Wienerberger ligt een bestaand persriool dat ongeveer het tracé van het damwandscherm volgt en daarom vernieuwd en verlegd moet worden. De specificaties van de nieuwe leiding:

- Binnendiameter: 50 mm
- Max. opvoerhoogte: 27,2 m (opgave leverancier pomp)
- Max. debiet: 9,1 m³/uur $\approx$ 0,0025 m³/s (opgave leverancier pomp)

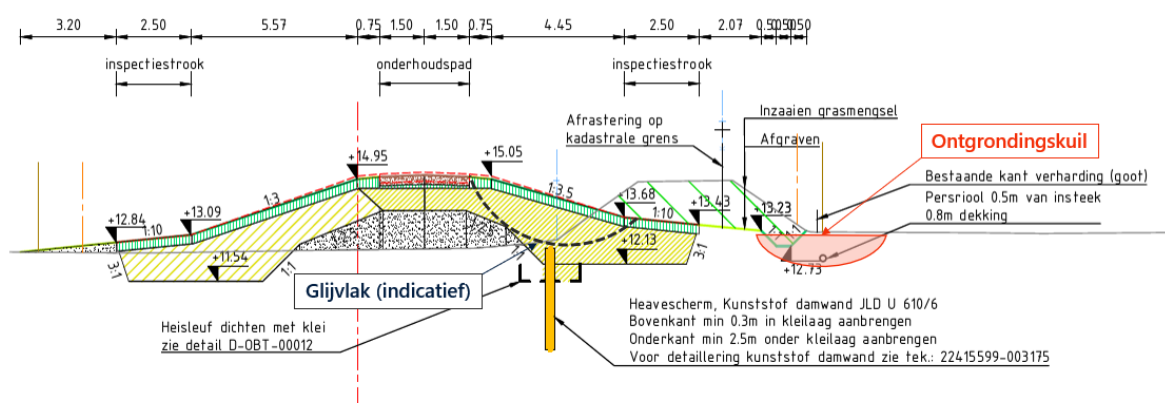
Met deze gegevens is de breedte van de ontgrondingskuil berekend conform NEN 3651:2020. Hieruit volgt een halve breedte van de krater (R_B) van 2,2 m; zie figuur 4.6. Met een dekking van 0,8 m op de leiding wordt de maximale diepte van de ontgrondingskuil $D_k = 1,0$ m (NEN 3651:2020 A.2.4.3).

ONTGRONDINGSKUIL			
Gedetailleerde berekeningsmethode		NEN3651:2020, A.2.2	
middellijn van het door lek of breuk veroorzaakte gat in leiding ($0 \leq d_g \leq D_i$)	d_g	0.05	[m]
inwendige middellijn van de leiding	D_i	0.05	[m]
dichtheid van de vloeistof	ρ	1000	[kg/m ³]
versnelling van de zwaartekracht	g	9.81	[m/s ²]
afvoercoëfficiënt van het door lek of breuk veroorzaakte gat (klein gat = 0,6; groot gat = 1)	μ	0.60	[-]
maatgevende drukhoogte ter plaatse van het gat	h	27.2	[m]
debiet door het gat	Q	0.0025	[m ³ /s]
hydraulisch vermogen van de uitstroming	P	667.08	[W]
halve breedte van de ontgrondingskuil	R_B	2.22	[m]

Figuur 4.6: Berekening breedte ontgrondingskuil cf. NEN 3651:2020

De leiding wordt op ca. 2 m afstand van de stalen damwand gelegd met een dekking van 0,8 m. Bij deze afstand en de berekende omvang van de ontgrondingskuil wordt geen significante invloed op de sterkte en stabiliteit van de damwand verwacht.

Bij dijkvak 8 wordt de leiding op 0,5 m uit de insteek van de watergang gelegd (dekking ook 0,8 m). Er is geen invloed op macrostabiliteit (vanwege de geringe omvang van de ontgrondingskuil en de oppervlakkige glijvlakken) en piping (vanwege het aanwezige heavescherm). Zie ook figuur 4.7. *In dit figuur is het indicatieve glijvlak weergegeven; hierin is er geen constructieve functie (dus invloed) van het heavescherm meegenomen. De ontgrondingskuil op meer dan 4 m afstand van het glijvlak heeft geen invloed op het glijvlak en/of het heavescherm.*



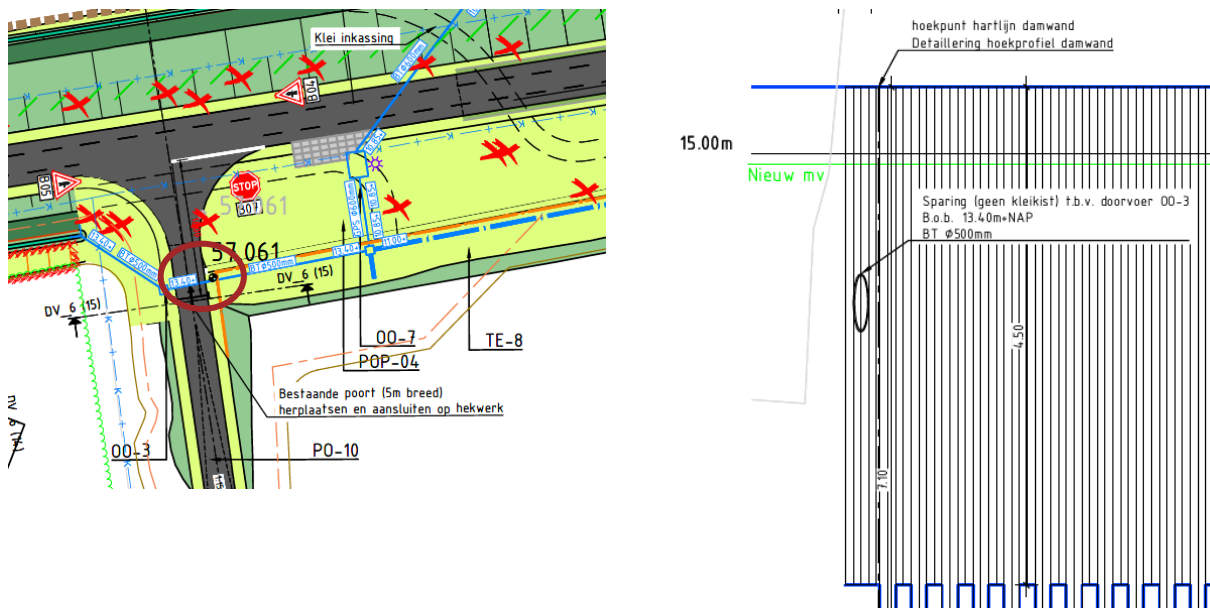
Figuur 4.7: Ligging persriool Wienerberger met ontgrondingskuil t.o.v. dijk en maatgevend glijvlak

4.3 Leidingdoorvoeren kruisende leidingen

In dijkvak 7 kruisen een drietal leidingen de stalen damwand. De detaillering / uitwerking van elke leidingdoorvoer is in de paragrafen hieronder uitgewerkt.

4.3.1 OO-3 (dijkvak 6 / 7)

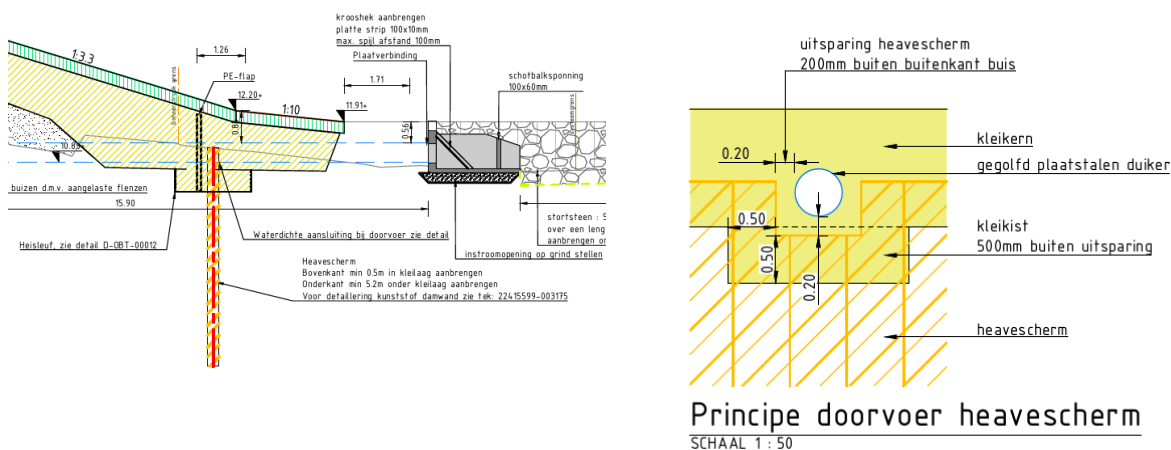
Doorvoer OO-3 ligt in een stuk damwand binnen dijkvak 7 dat esthetisch de hoek om is gezet langs de oprit van het terrein van Wienerberger (zie figuur 4.8). Heave is lokaal geen issue, omdat het nieuwe achterland (binnendijks) gelegen is op NAP +14,90 m, terwijl het WBN in 2125 in dijkvak 7 NAP +15,05 m bedraagt (een verval van 0,15 m). Achterloopsheid is niet mogelijk, omdat de ondergrond hier geheel uit zand bestaat (gebaseerd op nabijgelegen sondering SW01). Maatregelen tegen piping zijn derhalve niet nodig.



Figuur 4.8: Ligging en situatie OO-3

4.3.2 OO-4 (dijkvak 5)

De duiker OO-4 kruist het heavescherm nabij de binnenteen. Hier is een doorvoer / kleikist ontworpen conform NEN 3651:2020 met een PE-flap rondom de buis in de kleikist. De kleikist is aan alle zijden minimaal 0,5 m groter dan de uitsparing. De ruimte onder de buis t.b.v. zakking van de leiding is 0,2 m; zie figuur 4.9.



Figuur 4.9: Doorsnede en principe doorvoer OO-4 door heavescherm

4.3.3 OO-7 (dijkvak 7)

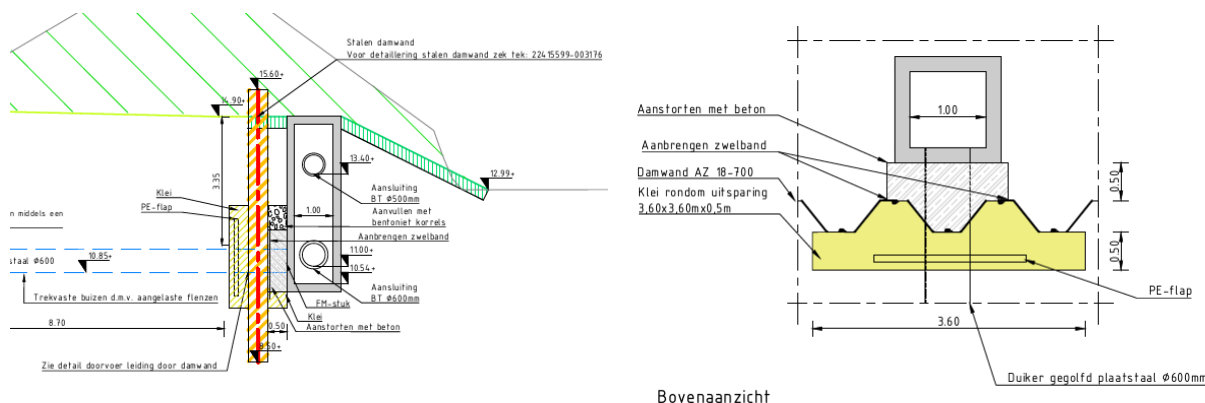
OO-7 is een doorvoer door de damwand t.b.v. een hemelwaterafvoer (vrij verval) ontworpen. De uitsparing is minimaal 0,2 m groter dan de buitendiameter van de leiding.

Aan de rivierzijde zit een kleikist van 0,5 m dikte die minimaal 0,5 m groter (breedte en hoogte) is dan de uitsparing. Rondom de leiding in de kleikist zit een PE-flap.

Aan de binnenzijde is geen ruimte om een kleikist en PE-flap aan te brengen vanwege de put op 0,5 m achter de damwand. Hier wordt een waterdichte en trekvaste aansluiting gemaakt door de ruimte tussen put en damwand te bekisten en dicht te zetten met beton. Eventuele spleetvorming tussen staal en beton (vanwege het ontbreken van een constructieve verbinding) wordt als volgt tegengegaan:

- Aan de zijkanten wordt de verloren bekisting voorzien van zwe nd;
- Aan de bovenzijde wordt er een laag zwelkorrels van 0,2 m dikte op het beton aangebracht.

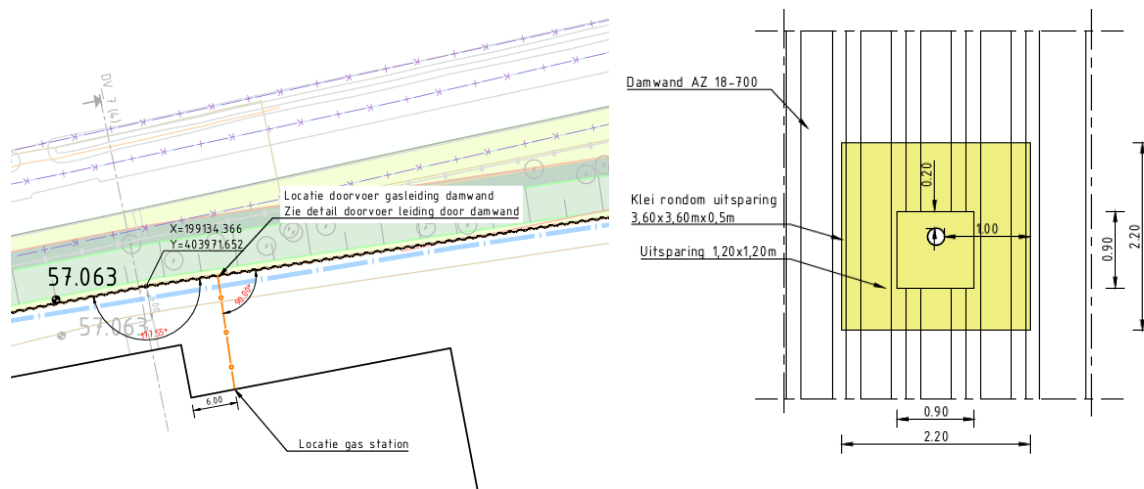
Bovenstaande is weergegeven op de UO-tekeningen (zie figuur 4.10).



Figuur 4.10: Doorsnede en aanzicht doorvoer OO-7

4.3.4 Gasleiding (dijkvak 7)

Op het terrein van Wienerberger kruist een gasleiding de nieuwe damwand. Hiervoor is een doorvoer conform NEN 3651:2020 ontworpen met aan weerszijde van de damwand een PE-flap in een kleikist. De kleikisten hebben een dikte van 0,5 m en een breedte en hoogte die aan alle zijde 0,5 m groter is dan de uitsparing. De uitsparing is 0,2 m groter dan de leiding, o.a. om zetting van de leiding op te kunnen vangen.



Figuur 4.11: Doorvoer gasleiding dijkvak 7 (situatie en aanzicht)

5. Uitvoeringsmaatregelen heaveschermen

In dit hoofdstuk worden de uitvoeringsmaatregelen beschreven die specifiek bij de kunststof heaveschermen worden toegepast. De informatie in dit hoofdstuk is gebaseerd op de Publicatie Heaveschermen (DIV Piping, 2023) en de OBOR Kunststof heaveschermen (HWBP-De Innovatieversneller | Piping, 2023).

5.1 Faalmechanismen

Eerst worden de relevante faalmechanismen van heaveschermen genoemd om context te geven bij de maatregelen in de volgende paragraaf. Voor een uitgebreidere beschrijving van de faalmechanismen en de complete faalpaden, zie eerdergenoemde documenten.

Faalmechanismen intact scherm

- **Onderloopsheid:** het optreden van piping via horizontale en verticale kwelwegen onderlangs het scherm.
- **Achterloopsheid:** het optreden van piping via horizontale kwelwegen in lengterichting van het scherm. De erosiepijp bereikt het uiteinde van het scherm en groeit vervolgens horizontaal verder richting het buitenwater.
- **Voorloopsheid:** het optreden van piping via een zandmeevoerende wel op aan de bovenstroomse zijde van het scherm.

Faalmechanismen niet-intact scherm

- **Bovenloopsheid:** Het scherm is niet diep genoeg ingebed in de cohesieve deklaag en er treedt piping op via de kop van het scherm.
- Er ontstaat **geotechnische instabiliteit** van het scherm doordat het heavescherm deformeert of instabiel wordt als gevolg van het ontstaan van drijfzand achter het scherm. Dit kan resulteren in de faalpaden voorloopsheid en/of bovenloopsheid.
- Er treedt **doorloopsheid** op omdat het scherm niet dicht is. Dit is alleen mogelijk wanneer terugschrijdende erosie zich doorzet via de opening in het scherm. De terugschrijdende erosie gaat aan de voorzijde van het scherm door totdat er een doorgaande erosiepijp is ontstaan met een intredepunt aan de waterzijde en een uittredepunt aan de landzijde.

5.2 Uitvoeringsmaatregelen faalpaden intact scherm

Bij het ontwerp van de heaveschermen is zoveel mogelijk aangesloten bij de OBOR kunststof heaveschermen (HWBP-De Innovatieversneller | Piping, 2023). Voor een uitgebreide beschrijving van de maatregelen wordt verwezen naar hoofdstuk 4 van de OBOR.

5.2.1 Afwerking kop heavescherm

In de OBOR wordt gesteld dat de kop van het heavescherm minimaal 0,5 m in de kleideklaag moet staan. Bij dit project wordt de kop van de heaveschermen ingebed in de klei-inkassing

bij de binnenteen in plaats van de natuurlijke deklaag. Hierdoor is er meer controle over de ligging van de onderzijde van de klei en zijn de toleranties kleiner dan bij de natuurlijke deklaag. Standaard wordt de bovenzijde van de heaveschermen 0,5 m in de deklaag ingebracht. Lokaal – bij wisselingen in maaiveldhoogtes waar ook de kop van het scherm op een andere hoogte dient te komen – bedraagt de inbedding minimaal 0,3 m in de klei-inkassing. Vanwege de grotere controle over de maakbaarheid in combinatie met goede verdichting van de klei (zie paragraaf 5.3.8) wordt dit verantwoord geacht.

5.2.2 Aansluiting staal-kunststof

In dijkvak 8 wordt het stalen scherm van dijkvak 7 aangesloten op het kunststof scherm in dijkvak 8. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een overgangsprofiel, zoals genoemd in de OBOR, waarbij de schermen met een slot aan elkaar bevestigd worden, waarna de aansluiting met zwelkit waterdicht wordt gemaakt (Figuur 5.1). Voor gedetailleerdere informatie, zie paragraaf 4.4.1 van de OBOR.



Figuur 5.1: Overgang tussen staal en kunststof.

5.3 Maatregelen gericht op kwaliteit en efficiëntie van de uitvoering

Deze paragraaf is een verkorte weergave van paragraaf 6.3 van de OBOR. Hieronder is een overzicht gegeven van de beheersmaatregelen die worden toegepast bij het plaatsen van de kunststof heaveschermen.

5.3.1 Correctie damwand tijdens uitvoering

Het streven is om de damwand stabiel en 'rustig' op diepte te krijgen. Indien tijdens uitvoering de damwandplank onrustig en/of met scheefstand in de grond wordt aangebracht dan wordt de damwand gecorrigeerd om het zettingsproces zorgvuldig af te ronden.

5.3.2 Optimale werkrichting

Bij de werkrichting moet rekening gehouden worden dat het dichte slot in de richting wordt geplaatst (zie Figuur 6.4), waarbij dus het open slot wordt ingesloten. Op deze manier wordt het risico beperkt dat de damwand uit het slot loopt.



Figuur 5.2: Optimale werkrichting kunststof damwanden

5.3.3 Toepassing van stalen moederplank

Bij het inbrengen van de kunststof heaveschermen wordt gebruik gemaakt van een stalen moederplank, die na het op diepte brengen van het kunststof scherm weer wordt verwijderd. De moederplank wordt aan de dijkzijde van het kunststof heavescherm toegepast.

Met het aanpakken van een nieuwe plank wordt de moederplank schoon gemaakt, om zo te voorkomen dat de kunststof damwand met de stalen moederplank mee omhooggetrokken wordt.

5.3.4 Water toevoegen in heisleuf

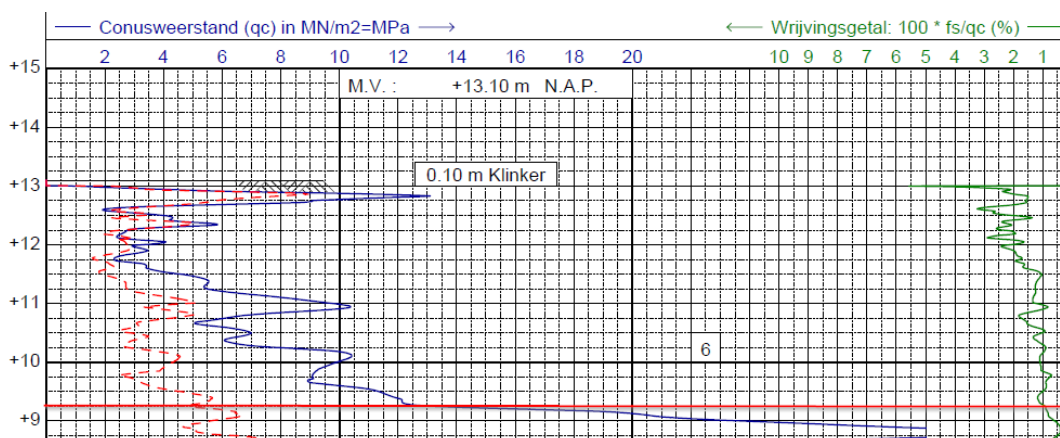
De installeerbaarheid kan, afhankelijk van de bodemopbouw en grondwaterstand, significant worden vergroot door met een waterwagen water tussen de framebalken te laten lopen, zodat dit door de damwand die ingetrild wordt mee naar beneden loopt. Het water heeft twee functies. Ten eerste vermindert het de kleef met de kleigrond. Ten tweede koelt het de damwandsloten, waardoor deze minder snel verbranden/ smelten. Een aandachtspunt is dat de sleuf niet helemaal vol wordt gezet, omdat te veel water in combinatie met trillen tot te veel verdichting zorgt. Deze handeling zou niet noodzakelijk zijn als er al een hoge grondwaterstand aanwezig is.

5.3.5 Voorboren

Bij dijkvak 5 is voorboren niet nodig.

In dijkvak 8 zijn geen sonderingen beschikbaar. Uit de sondeerresultaten van de dichtstbijzijnde sondering, SW06 (Geonius), blijkt dat er rond de diepte van de onderkant van

de planken een grindhoudende zandlaag aanwezig is. Er is daarom een kans aanwezig dat voorboren nodig is.



Figuur 5.3: Sondering Geonius SW06. De rode horizontale lijn geeft de diepte van het heavescherm weer

Uitvoeringstechnisch is het grootste effect van het voorboren dat de intrinsnelheid hoger is. Het duurt dus minder lang voor een damwand om op diepte te komen en hierdoor wordt het risico van sloten die verbranden kleiner.

Bij Dijkversterking Wolferen – Sprok is voorgeboord met een avegaar: type Auger Torque 50000 MAX Earth Drill met diameter 300 mm. Er is voorgeboord aan de hand van een gps-model in de kraan, zowel de x- als y-richting. Er wordt een lijn in AutoCAD gezet met boorpunten waarbij de onderlinge gat afstand minimaal 0,5 m bedraagt bij een boor met diameter 300 mm. De boor verloopt niet in de grond. Bij het boren komt weinig materiaal vrij, doordat tegendraads wordt teruggedraaid. Dit is ongeveer 50-75 liter per gat. Na het voorboren wordt doorgaans de uitgekomen grond vlak getrokken met de hulpkraan ten behoeve van het stellen van de heigording.

Het effect van voorboren kan deels te niet worden gedaan door verdichting door het trillen van de damwand. Daarom kan het bij harde ondergrond nodig zijn om per plank voor te boren, maar ook dit is bij zeer harde ondergrond in de praktijk niet afdoende.

5.3.6 Toepassen slotverklikkers

Kunststof heaveschermen dienen onder alle omstandigheden voldoende waterdicht te zijn (tegengaan doorloopsheid). Dit betekent dat de heaveschermen met de sloten aan elkaar verbonden dienen te blijven. Om dit te controleren wordt bij het installeren van elke individuele heaveschermplank gebruik gemaakt van een slotverklikker. Een uitgebreide uitleg van het gebruik van slotverklikkers wordt gegeven in paragraaf 6.4.3 van de OBOR.



Figuur 5.4: Slotverklikker

5.3.7 Visuele inspectie

Voor en tijdens installatie moet worden beschouwd of een damwand niet beschadigd is of raakt. Tijdens installatie moet visueel worden vastgesteld of een damwand stabiel en 'rustig' op diepte op diepte komt. Als dit niet het geval is, dan kan dit een signaal zijn dat de damwand niet goed in het slot zit.

5.3.8 Verdichten klei

Zoals genoemd in paragraaf 5.2.1 wordt de kop van de heaveschermen ingebed in de klei-inkassing. Om bovenloopsheid en voorloopsheid te voorkomen, dient deze kleilaag in de damwandkassen goed verdicht te zijn. Hiertoe wordt de klei bij de kunststof heaveschermen aangedrukt met stalen stampers, weergegeven in figuur 5.5. Deze stampers zijn zo ontwikkeld dat deze binnen het profiel van de damwandbuik vallen. Zorgvuldigheid van de machinist is vereist om dit niet tot onnodige schades te laten leiden. Het aanbrengen dient in lagen van 20 tot 30 centimeter te gebeuren, waarbij beide kanten gelijkwaardig worden opgebouwd.



Figuur 5.5: Rupskraan met damwandstamper ontwikkeld voor kunststof heaveschermen.

6. Materialisatie kleischerm

In dit hoofdstuk wordt de materialisatie van het kleischerm (met de functie van heaveschermer) onderbouwd en toegelicht. Deze oplossing komt in deelgebied 3 voor in dijkvak 5-Noord.

De onderbouwing is gebaseerd op onderzoek dat is uitgevoerd binnen het project 'Gebiedsontwikkeling Ooijen-Wanssum', waar ook klei-/grondschermer zijn toegepast. Dit project is ook uitgevoerd door de Dijkzone Alliantie en ligt ook binnen het beheergebied van waterschap Limburg.

Aanvulling rapportage versie 3.0: Het kleischerm wordt uitgevoerd in erosie categorie 1 of 2-klei conform afstemming met waterschap Limburg. De onderbouwing van de materialisatie in dit hoofdstuk is daarmee minder relevant. Voor de volledigheid is deze in de rapportage gebleven.

6.1 Functionele eisen kleischerm

6.1.1 Doorlatendheid

Uit het onderzoek (Gevoeligheidsanalyse – kwelschermer, Combinatie Mooder Maas, 10-10-2017) volgt één functionele eis, namelijk ten aanzien van de doorlatendheid van het kleischerm:

De maximaal toegestane doorlatendheidsverhouding tussen scherm en zand bedraagt 1/200.

De doorlatendheid van het scherm is dus afhankelijk van de doorlatendheid van het zandpakket waarin het scherm wordt geplaatst. De verhouding is bepaald met numerieke grondwaterstomingsberekeningen (PlaxFlow). In de verhouding 1/200 zit al een veiligheidsfactor van 2,0.

De verschillende doorlatendheden van de watervoerende zandlagen zijn opgenomen in de TUN (documentnummer 22415599-003011), zie ook tabel 6.1. De laagste doorlatendheid is 21 m/dag voor Holoceen en Bostel (verwachtingswaarde). Met een verhouding van 1/200 leidt dit tot een maximale gemiddelde doorlatendheid van het kleischerm van **0,1 m/dag**.

Tabel 6.1: Doorlatendheden zandige formaties

Laag	Verwachtingswaarde k [m/dag]	Karakteristieke waarde k [m/dag]
Holoceen	21	34
Bostel	21	30
Beegden	59	98

6.1.2 Contacterosie

De stroomsnelheid van het grondwater is dusdanig laag dat contacterosie geen rol speelt. Contacterosie hoeft alleen verder onderzocht te worden als aan een van de volgende voorwaarden wordt voldaan:

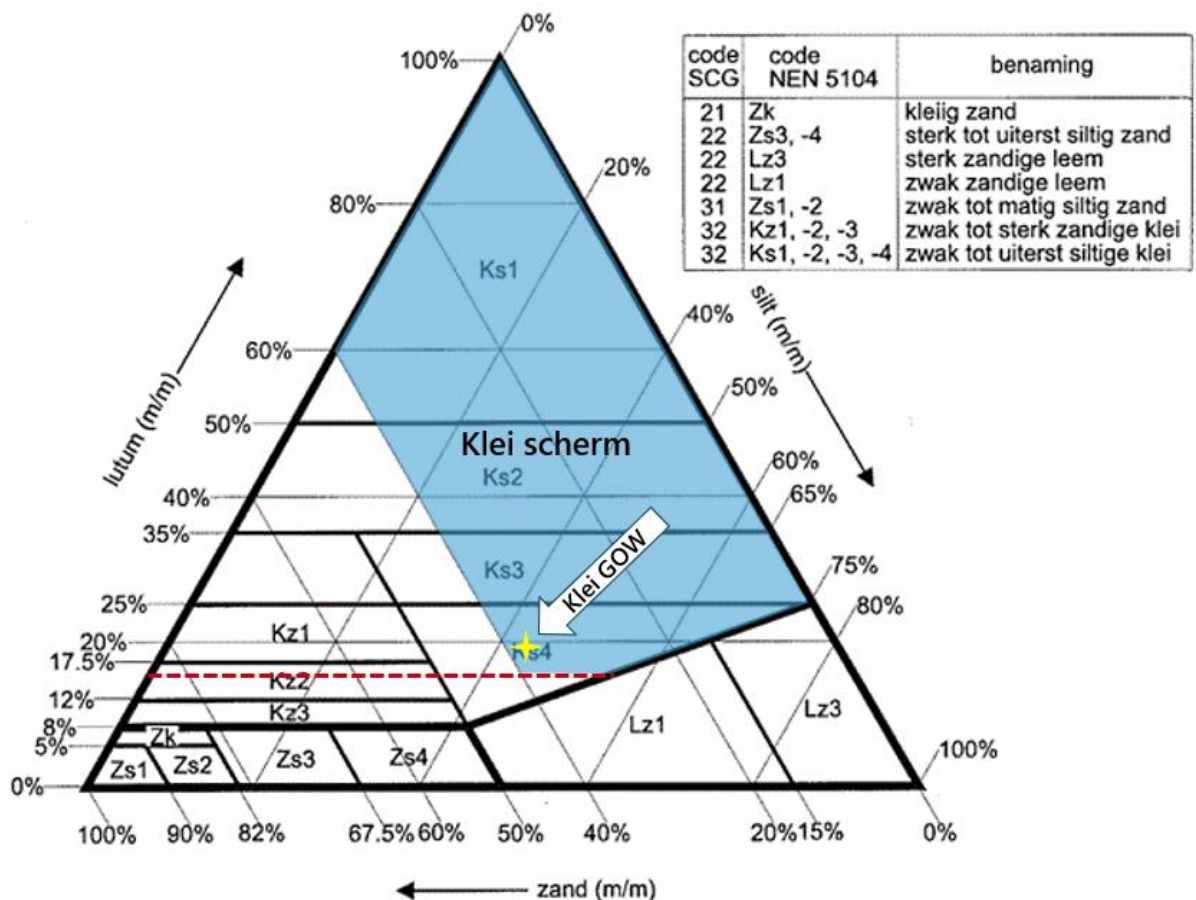
- Verval over de kering > 4 m;
- Afsluiting van het watervoerend pakket > 80%;
- Gemiddelde doorlatendheid zandlaag > 100 m/dag.

In het project Nieuw-Bergen geldt geen van deze voorwaarden, dus is contacterosie niet relevant.

6.2 Materialisatie klei

Voor het project Gebiedsontwikkeling Ooijen-Wanssum gold een vergelijkbare doorlatendheidseis als voor Nieuw Bergen. Er zijn veldproeven gedaan met schermen van lokaal beschikbare klei. Daarvoor is de meest schrale klei gebruikt met een zandgehalte < 40% (m/m). Deze klei is geclassificeerd als *klei, uiterst siltig* (Ks4) in de classificatiedriehoek uit NEN 5104, zie Figuur 6.1. Deze klei voldeed ruim (met een factor 10) aan de vereiste maximale doorlatendheid. Daarom wordt voorgesteld om voor het minimum lutumgehalte een eis aan te houden van 15% (m/m). De eisen aan de materialisatie van de klei voor de kleischermen worden dus:

- Minimum lutumgehalte: 15% (m/m)
- Maximum zandgehalte: 40% (m/m)



Figuur 6.1: Lutum-silt-zanddriehoek (gebaseerd op NEN 5104) met grenzen toepasbare klei

6.3 Overige eisen

Naast de specifieke eisen aan de materialisatie van de klei voor het kleischerm, gelden ook de onderstaande eisen voor de kleischermen. Deze zijn alleen voor de volledigheid opgenomen; ze zijn gelijk aan de algemene eisen die aan klei in dijken wordt gesteld (conform de Standaard RAW Bepalingen).

Tabel 6.2: Overige eisen klei in kleischermen

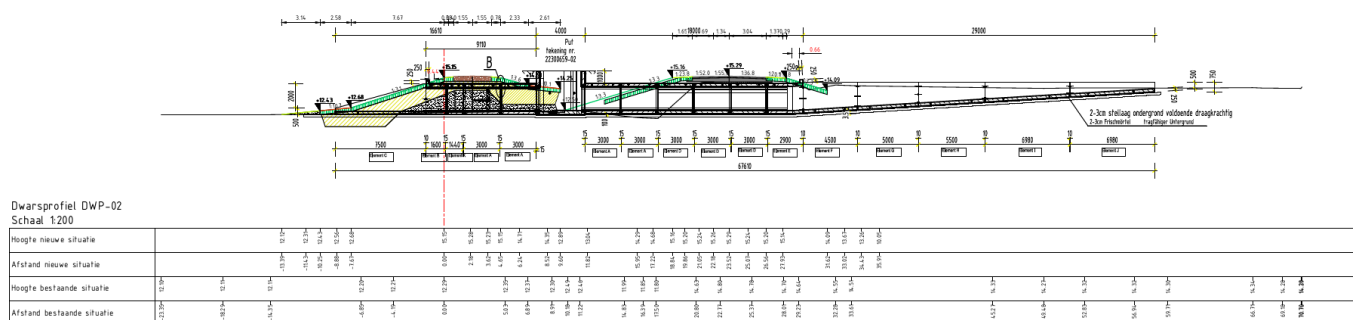
Bepaling	Eenheid	Proefnr. Std RAW 2020	Eis
Organische stofgehalte	% (m/m)	36	Max. 5% m/m
Zoutgehalte bodemvocht	NaCl g/l	38	Max. 4 g/l
Kalkgehalte	% (m/m)	37	Max. 25% m/m
Watergehalte bij verwerken	% (m/m)	9 en 14	$w_{opt} \leq w \leq w_{max}$ Met $w_{max} = w_l - I_c \cdot I_p$ Met $I_c = 0,75$ (gelijk aan klei voor deklagen)
Verdichting	%	6 en 9	97% van de proctordichtheid bij aanwezig watergehalte <i>Dit kan behaald worden door in lagen van 0,30 m aan te vullen en per laag 4 rolbewegingen met een verdichtingswiel (2x heen-en-weer) te doen</i>
Visuele beoordeling bij ontgraven / verwerken	-	-	Geen vreemde bestanddelen zoals stenen, wortels en platen. Klei dient homogeen van samenstelling te zijn. Er mogen geen concentraties van zand of zandrijk materiaal voorkomen. Geen extreme verkleuringen bij ontgraven/verwerken (zoals helder rood/geel/blauw of veel zwarte plekken) en geen afwijkende sterke geur (rotte eieren, olie- of kolenachtig)

7. Ontwerp Veetunnel

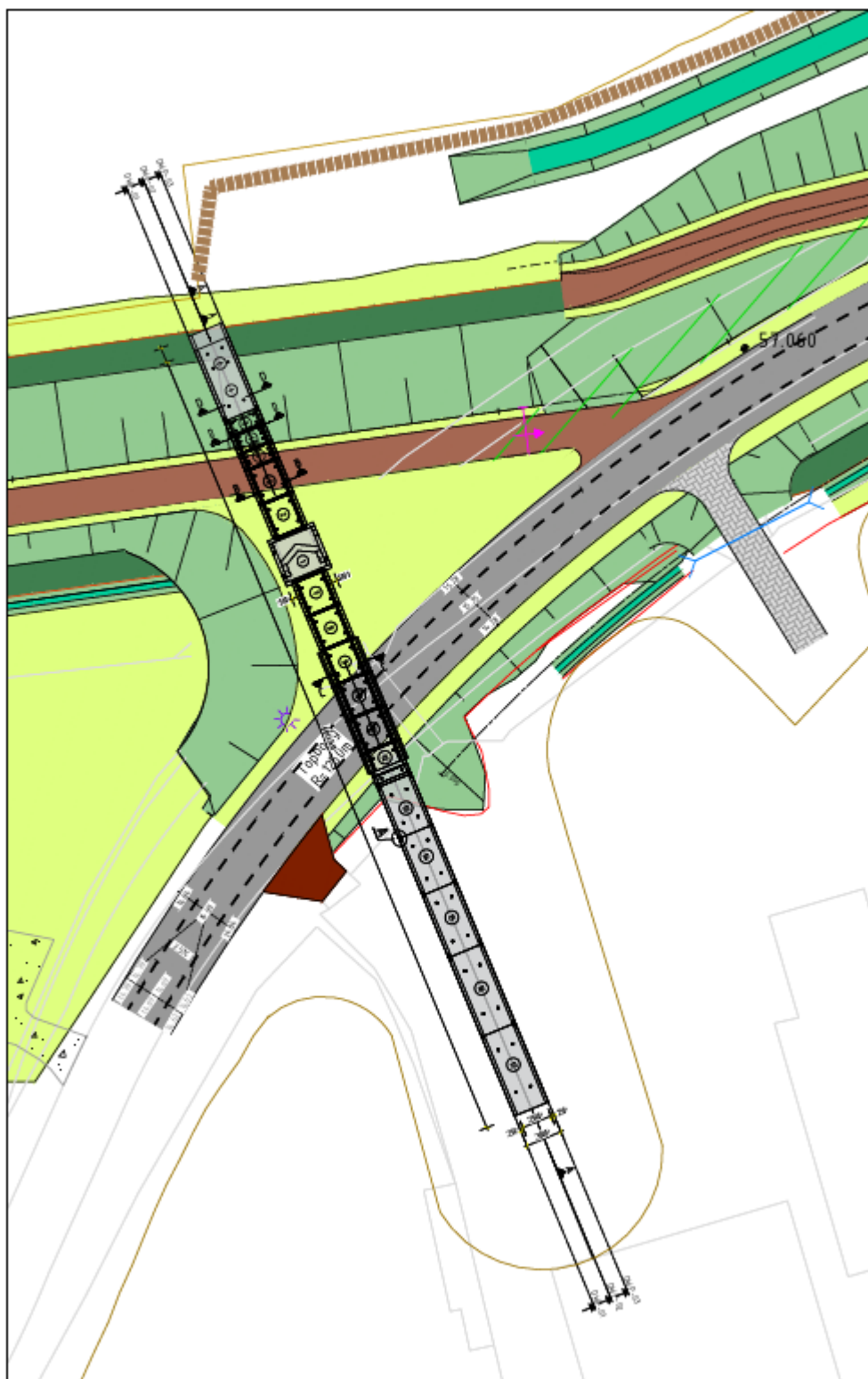
7.1 Algemeen

De primaire functie van de Veetunnel heeft betrekking op de wens om het vee de waterkering te laten passeren. Om een hoogwater te kunnen keren zal de doorgang en daarmee het kunstwerk (hoogwaterkerend) gesloten moeten zijn. De Veetunnel kruist de dijk in dijkvak 6 (Figuur 7.2) en bestaat uit verschillende kokerelementen met in het midden van de tunnel een open put. In deze open put komen de keermiddelen. Het eerste keermiddel zijn hoogwaterkerende deuren die handmatig worden gesloten. Schotbalken die van bovenaf met een kraan in de sponningen gehesen worden, vormen het tweede keermiddel. De tunnel wordt prefab gefabriceerd en in het werk gemonteerd. De prefab betonelementen zijn door van der Linden beton uitgewerkt. De deuren en schotbalken worden geleverd door IBS.

Zoals weergegeven in **Figuur 7.1** bedraagt het sluitpeil van de sluisdeuren en schotbalken NAP +12,50 m. Het open keerpeil (OKP) van de Veetunnel bedraagt – door het hoge drempelniveau aan binnendijkse zijde – NAP +14,30 m. In het hoogwaterseizoen (15 oktober – 15 maart) worden de hoogwaterkerende deuren permanent gesloten. De Veetunnel wordt dan niet gebruikt, omdat in deze periode het vee niet buiten staat.



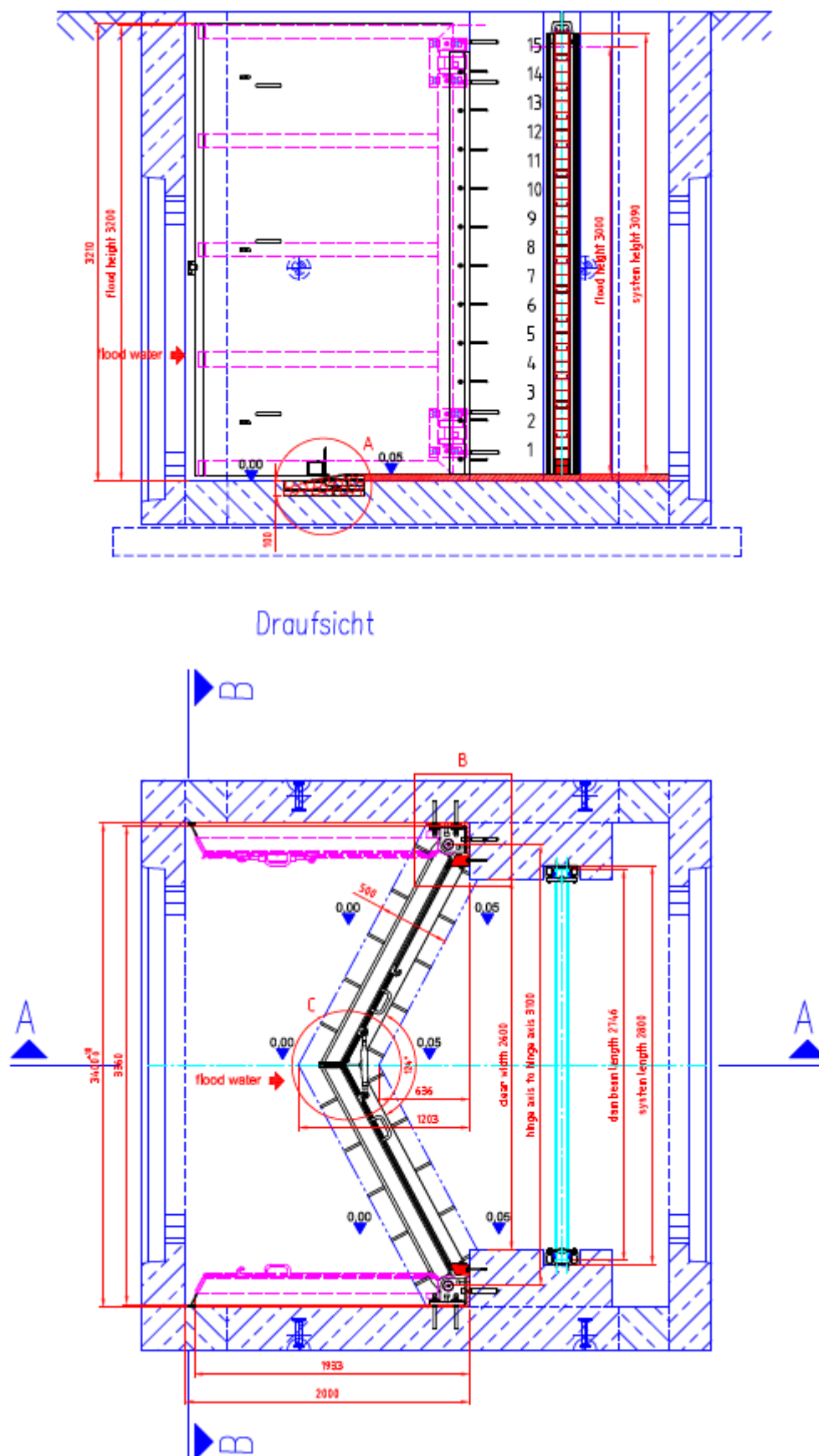
Figuur 7.1: Dwarsprofiel Veetunnel.



Figuur 7.2: Situatietekening Veetunnel

7.2 Hoogte (HTKW)

Het ontwerp van de hoogwaterkerende deuren (eerste keermiddel) en de schotbalken (tweede keermiddel) in de Veetunnel is weergegeven in Figuur 7.3. De onderkant van de deuren bevindt zich op NAP +12,42 m; de hoogte van de deuren bedraagt 3,20 m, waardoor de kerende hoogte van de hoogwaterkerende deuren NAP +15,62 m bedraagt. De schotbalken hebben een kerende hoogte van NAP +15,65 m. In de ontwerpnota Nieuw Bergen (IO.18.DR57.04.01.001) bedraagt het HBN bij constructies NAP +15,60 m voor het zichtjaar 2125. Hiermee wordt met het huidige ontwerp van de keermiddelen van de Veetunnel voldaan aan het HBN.



Figuur 7.3: Ontwerp hoogwaterkerende deuren en schotbalken in veetunnel

7.3 Sterkte en stabiliteit (STKW)

De sterkte- en stabiliteitsberekeningen zijn door de onderaannemer van de veetunnel uitgevoerd. Er zijn berekeningen van de betonelementen, deuren en schotbalken beschikbaar. Dit wordt in deze rapportage niet verder uitgewerkt.

8. Betrouwbaarheid sluiting Veetunnel (BSKW)

De aanwezigheid van een waterkerend kunstwerk in een waterkering is in eerste instantie altijd ten behoeve van een andere functie dan waterkeren. De primaire functie van de Veetunnel heeft betrekking op de wens om het vee de waterkering te laten passeren. Zonder deze primaire functie was immers het kunstwerk niet benodigd geweest. Als gevolg van deze primaire functie dient een kunstwerk een opening te bieden in de waterkering. Het faalmechanisme 'niet sluiten' (BSKW) is daarmee een uniek faalmechanisme dat alleen bij kunstwerken speelt. Om een hoogwater te kunnen keren zal de opening en daarmee het kunstwerk (hoogwater kerend) gesloten moeten zijn.

Het ontwerp van de Veetunnel voorziet in twee keermiddelen: hoogwaterkerende deuren die handmatig gesloten wordt en schotbalken die van bovenaf in de sponningen gehesen worden.

In onderstaande paragrafen wordt aangetoond dat aan de faalkanseis voor 'niet-sluiten' wordt voldaan. Opgemerkt wordt dat de benadering conservatief is. Bij het bepalen van de faalkans per sluitvraag is ervan uitgegaan dat bij elk hoogwater de kering gesloten moet worden, terwijl de deuren in het hoogwaterseizoen permanent gesloten zijn (zie paragraaf 7.1).

8.1 Faalkanseis

Uitgangspunt van het safety format is de eis dat de faalkans voor niet sluiten $P_{f,KW,NS}$ kleiner of gelijk is dan de faalkanseis voor niet sluiten $P_{eis,KW,NS}$ oftewel:

$$P_{f,KW,NS} \leq P_{eis,KW,NS}$$

De faalkanseis voor niet sluiten is afgeleid van de wettelijke eis voor het normtraject en kan worden bepaald met behulp van de volgende formule:

$$P_{eis,KW,NS} = \frac{P_{max} \cdot \omega_{NS}}{N_{NS}}$$

Waarin:

$P_{eis,KW,NS}$ = Faalkanseis voor niet sluiten van een individueel kunstwerk voor een referentieperiode van 1 jaar [-]

P_{max} = Faalkanseis voor gehele dijktraject (normtraject) uitgaande van de maximaal toelaatbare overstromingskans uit de Waterwet [-]

ω_{NS} = Faalkansruimtefactor voor niet sluiten [-]

N_{NS} = Lengte-effectfactor voor niet sluiten [-]

In de faalkansbegroting wordt voor de faalkansruimtefactor voor niet sluiten (ω_{NS}) een waarde van 0,04 aangehouden.

De lengte-effectfactor N_{NS} is voor niet sluiten gelijk aan het aantal kunstwerken in het beschouwde dijktraject, waarbij het faalmechanisme niet sluiten een niet-verwaarloosbare bijdrage levert aan de overstromingskans en waarvan de sluitingen min of meer onafhankelijk van elkaar kunnen plaatsvinden. Bij het vaststellen van de N-waarde moet er voldoende marge worden aangehouden om toekomstige veranderingen binnen het traject op te kunnen vangen, zoals de aanleg van meer kunstwerken in het traject. Daarbij wordt een maximum van 10 onafhankelijke, equivalente faalkansbijdragen geadviseerd om al te groot conservatisme te voorkomen. Momenteel zijn er – inclusief de Veetunnel – 6 waterkerende kunstwerken in het normtraject aanwezig. Uitgaan van 6 i.p.v. 10 kunstwerken levert een zeer beperkte winst in faalkans per kunstwerk op; daarom wordt er uitgegaan van het maximum $N_{NS} = 10$.

Hieruit volgt:

$$P_{eis,KW,NS} = \frac{\frac{1}{100} \cdot 0,04}{10} = \frac{1}{25000}$$

8.2 Kans op niet sluiten

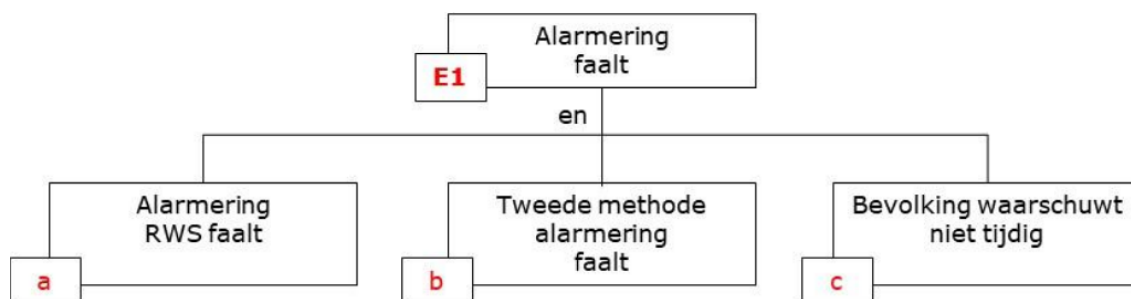
De kans op niet sluiten van de veetunnel per sluitvraag ($P_{f,KW,NS}$) wordt vastgesteld op basis van vier mogelijke aspecten in het sluitproces van de veetunnel:

1. Falen van het hoogwateralarmeringssysteem
2. Falen in de mobilisatie
3. Een bedieningsfout
4. Een technische storing

De totale kans op niet sluiten van de veetunnel per sluitvraag is bepaald met de scoretabellen uit (RWS-WVL, 2017). De totale faalkans per sluitvraag voor niet sluiten wordt (bij benadering) bepaald door de som van de faalkansen van de vier deelsporen:

$$P_{ns} = 10^{-E1} + 10^{-E2} + 10^{-E3} + 10^{-E4}$$

8.2.1 Hoogwateralarmeringssysteem (E1)

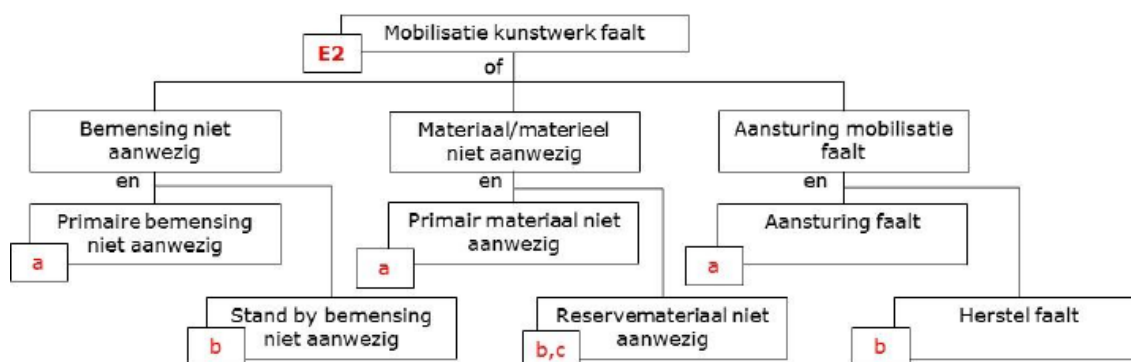


Figuur 8.1: Standaard foutenboom Hoogwateralarmering (RWS-WVL, 2017).

Tabel 8.1: Scoretabel Hoogwateralarmering.

Vraag		Score	Punten
a	Wordt het contact met Rijkswaterstaat tenminste jaarlijks geverifieerd?	ja: a=4	4
		nee: a=0	
b	Is er een tweede methode voor hoogwateralarmering?	ja: b=2	2
		nee: b=0	
c	Is er een mogelijkheid dat de bevolking tijdig waarschuwt?	ja: c=1	
		nee: c=0	0
E1	Kunstwerk niet sluiten door falen alarmering (eindscore)	E1=a+b+c	6

8.2.2 Mobilisatie (E2)



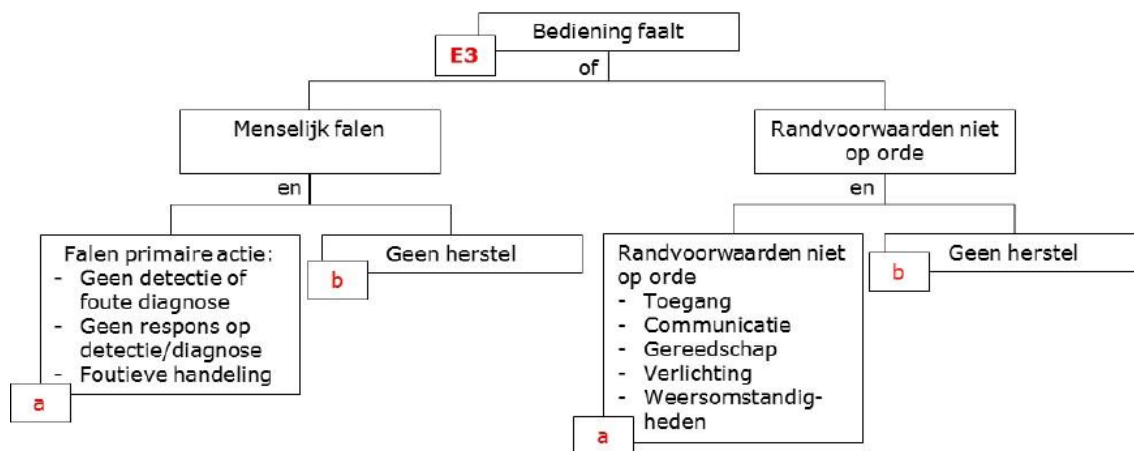
Figuur 8.2: Standaard foutenboom Mobilisatie (RWS-WVL, 2017).

Tabel 8.2: Scoretabel Mobilisatie.

Vraag		Score	Punten
a1	Is er een schriftelijk vastgelegde up-to-date mobilisatieregeling, inclusief standby-regeling en terugmeldingssysteem?	ja	
		nee	
a2	Wordt de mobilisatie jaarlijks geoefend?	ja	
		nee	
a3	Worden de ervaringen van de oefening en mobilisaties teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de mobilisatieregeling?	ja	
		nee	
a4	Tussenscore: Zijn de vragen a1 t/m a3 allemaal met ja beantwoord?	ja: a4 = 4 nee: a4 = 0	4
b	Zijn er mogelijkheden tot herstel en zijn die opgenomen in de mobilisatieregeling? NB1: als vraag a1, a2 of a3 met 'nee' is beantwoord is ook geen herstel mogelijk! NB2: voor een kunstwerk in het kust- of merengebied alleen van toepassing als er een permanent keermiddel aanwezig is	ja: b = 1 nee: b = 0	1
c	Indien coupure zonder permanent keermiddel: zijn de kerende elementen op dezelfde plaats opgeslagen als de reserve-elementen?	ja: c = -1 nee/nvt: c = 0	0

E2		E2 = a4+b+c	5
----	--	--------------------	----------

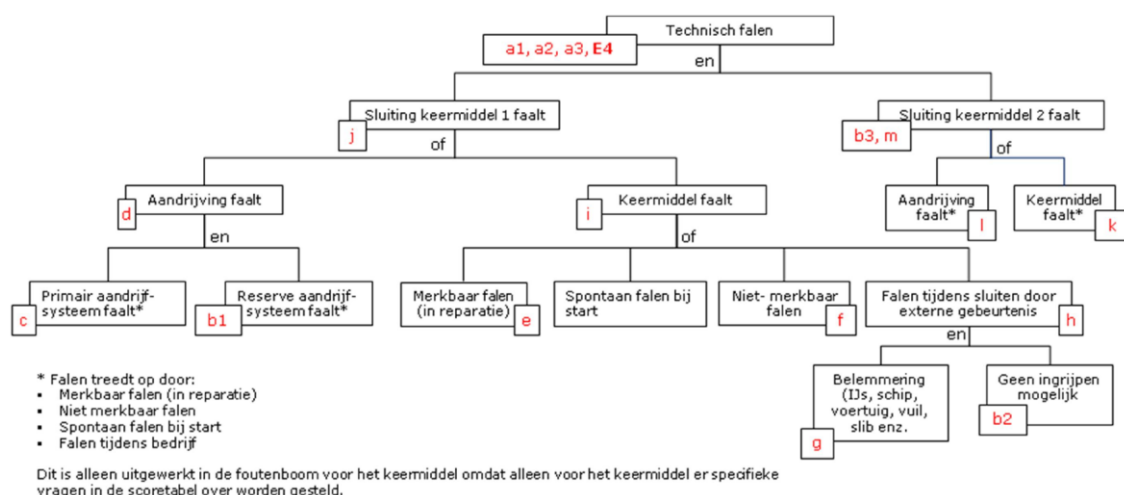
8.2.3 Bediening (E3)



Figuur 8.3: Standaard foutenboom Bediening (RWS-WVL, 2017).

Vraag		Score	Punten
a1	Is een sluitprocedure aanwezig?	ja nee	
a2	Wordt de sluitprocedure minstens eenmaal per jaar geoefend?	ja nee	
a3	Worden de ervaringen van de oefening en bediening teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de sluitprocedures?	ja nee	
a4	Tussenscore: zijn de vragen a1 t/m a3 allemaal met ja beantwoord?	ja: a4 = 3 nee: a4 = 0	3
b	Zijn er mogelijkheden tot herstel en zijn die opgenomen in de sluitprocedure? NB1: als vraag a1, a2 of a3 met 'nee' is beantwoord, dan is ook geen herstel mogelijk NB2: voor een kunstwerk in het kust- of merengebied alleen van toepassing als er een permanent keermiddel aanwezig is	ja: b = 2 nee/nvt: b = 0	2
E3	Kunstwerk niet sluiten door falen bediening	E3 = a4+b	5

8.2.4 Technisch falen (E4)



Figuur 8.4: Standaard foutenboom technisch falen (RWS-WVL, 2017).

Vraag	Score	Punten
a1	Is er een onderhoudsplan voor het keermiddel en wordt dat nageleefd? ja : a1=0,5 nee: a1=0	0,5
a2	Wordt het primaire en indien van toepassing het secundaire keermiddel minstens tweemaal per jaar gecontroleerd en de sluiting minstens eenmaal per jaar getest, inclusief alle daarbij behorende 'aandrijfmechanismen'? ja: a2=1,5 nee: a2=0	1,5
a3	Worden de ervaringen van de controles, tests en daadwerkelijke sluitingen teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de mobilisatieregeling en bedieningsprotocol of zonodig aan het sluitmiddel zelf? ja: a3=0,5 nee: a3=0	0,5
c	Is het eerste afsluitmiddel op handkracht te sluiten? ja: c=0,5 nee: c=0	0,5
b1	Is er een tweede aandrijfsysteem? ja: b1=1 nee: b1=0	1
d	tussenscore (aandrijving faalt) d = c+b1	1,5
e	Is er een risico van betekenis op merkbaar falen van het keermiddel? ja: e=1 nee: e=1,5	1
f	Is er een risico van betekenis op niet-merkbaar falen van het keermiddel? ja: f=1,25 nee: f=1,5	1,25
g	Is er een risico van betekenis op belemmering waardoor de sluiting faalt? ja: g=0,5 nee: g=1	0,5
b2	Is er in het sluitprotocol geanticipeerd op dit risico van belemmering? ja/nvt: b2=0,5 nee: b2=0	0,5
h	tussenscore (falen tijdens sluiting: belemmering) h = g+b2	1
i	tussenscore (keermiddel 1 faalt) i = min(e,f,h)	1
j	tussenscore (sluiting keermiddel 1 faalt) j = min(d,i)	1

b3	Is er een tweede onafhankelijk keermiddel, dat operationeel is indien het eerste keermiddel niet gesloten kan worden?	ja: b3=0,75 nee: b3=0	0,75
k	Is er een risico van betekenis op falen van het tweede keermiddel?	ja/nvt: k=0 nee: k=0,25	0
l	Is dit tweede afsluitmiddel op handkracht te sluiten?	ja: l=0,25 nee/nvt: l=0	0,25
m	tussenscore (keermiddel 2 faalt)	$m = \min(b3+k, b3+l)$	0,75
E4	Eindscore: kunstwerk sluis niet door rechnerisch falen en falen herstelacties	$E4 = a1+a2+a3+j+m$	4,25

8.2.5 Faalkans op niet sluiten

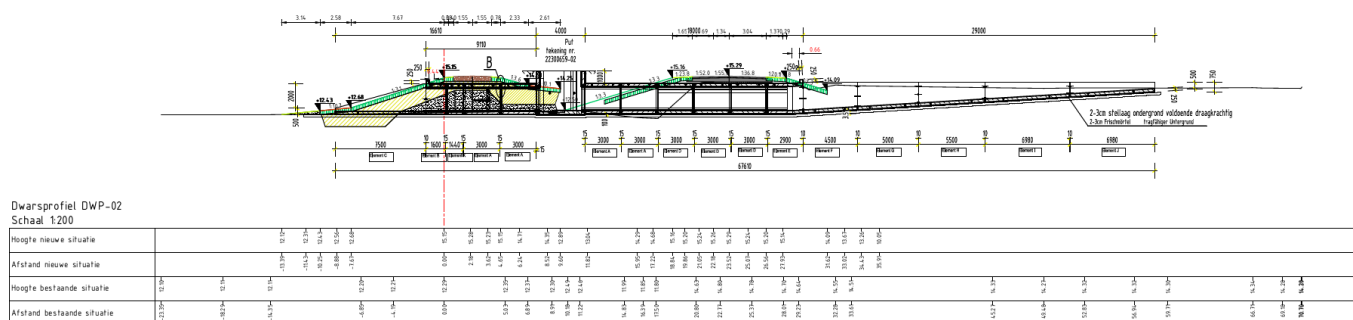
De totale faalkans per sluitvraag voor niet sluiten is:

$$P_{ns} = 10^{-6} + 10^{-5} + 10^{-5} + 10^{-4,25} = 7,72 \cdot 10^{-5}$$

8.3 Faalkans per jaar

De faalkans per jaar wordt verkregen door de faalkans per sluitvraag te vermenigvuldigen met het aantal vereiste sluitingen per jaar.

De keermiddelen dienen in ieder geval droog gesloten moeten kunnen worden. Daarom is het sluitpeil gelijkgesteld aan de drempel ter plaatse van de sluitmiddelen. Het aantal vereiste sluitingen per jaar is in Hydra-NL bepaald op basis van het sluitpeil van de veetunnel, NAP +12,50 m (Figuur 8.5). Bij dit peil bedraagt de terugkeertijd volgens de Hydra-NL berekeningen 4 jaar.



Figuur 8.5: Dwarsprofiel Veetunnel.

De faalkans per jaar wordt dan:

$$P_{f,KW,NS} = 7,72 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1}{4} = 1,93 \cdot 10^{-5} \text{ 1/jaar}$$

8.4 Conclusie

Met $P_{eis,KW,NS} = 4,00 \cdot 10^{-5}$ en bovenstaande faalkans per jaar van $P_{f,KW,NS} = 1,93 \cdot 10^{-5}$ wordt voldaan aan onderstaande voorwaarde:

$$P_{f,KW,NS} \leq P_{eis,KW,NS}$$

Hiermee voldoet de veetunnel dus op het faalmechanisme niet-sluiten.

8.5 Aanbevelingen en randvoorwaarden

Om tot de berekende faalkans (zie paragraaf 8.3) en bijbehorende conclusie (par. 8.4) te mogen komen, dient aan een aantal randvoorwaarden te worden voldaan. Deze kunnen niet binnen de scope van het project opgelost worden en moeten geborgd worden in de beheerorganisatie van Waterschap Limburg. Het gaat om de randvoorwaarden in de volgende sub-paragrafen.

Een tweetal aanbevelingen zijn optioneel. De mogelijkheden tot herstel van mobilisatie en bediening kunnen eventueel worden weggelaten. Ook zonder deze mogelijkheden tot herstel zal de veetunnel nog voldoen op betrouwbaarheid sluiting. Echter wordt wel aanbevolen om deze mogelijkheden tot herstel toe te voegen in het draaiboek.

8.5.1 Hoogwateralarmeringssysteem

■ Verificatie contact met WMCN

In het draaiboek moet zijn vastgelegd dat tenminste 1x per jaar met Watermanagementcentrum Nederland (WMCN) in ieder geval wordt geverifieerd dat:

- alarmberichten van WMCN ook daadwerkelijk worden ontvangen door de beheerder (bijvoorbeeld door het periodiek verzenden door Rijkswaterstaat van een testbericht)
- de gemaakte afspraken tussen WMCN en beheerder nog actueel en accuraat zijn. Denk hierbij tenminste aan:
 - moment van alarmering (afvoer, hoogwaterstand waarbij gealarmeerd wordt)
 - wijze van alarmering (SMS, telefoon, andere berichtssystemen)
 - lijst met contactpersonen en contactmomenten (welke functionaris wordt op welk moment gealarmeerd)

■ Tweede methode hoogwateralarmering

Indien gebruik wordt gemaakt van een tweede systeem voor hoogwateralarmering dan dient in het draaiboek tenminste te zijn vastgelegd:

- Een beschrijving van de werking van het tweede systeem.
- Een overzicht van uitvoerende en verantwoordelijke medewerkers.
- Moment waarop het tweede systeem in werking wordt gesteld.
- Een procedure voor een jaarlijkse controle op het functioneren van het tweede systeem.

8.5.2 Mobilisatie

■ Draaiboek inclusief gebruik en beheer van het draaiboek

a1. Mobilisatieregeling

Om voldoende betrouwbaarheid te verkrijgen moeten alle handelingen die nodig zijn om de mobilisatie te realiseren zijn vastgelegd in een draaiboek. In hoofdlijn betreft het communicatie en transport van de schotbalken (2^e keermiddel). Verwezen wordt naar de

Handreiking borging betrouwbaarheid sluiting in draaiboeken (RWS, 2017) voor een overzicht van aspecten die minimaal vastgelegd moeten zijn.

a2. Jaarlijkse oefening

Een jaarlijkse oefening is nodig om bij het betrokken personeel voldoende routine te verkrijgen en om onvolkomenheden in het systeem of veranderingen in de omgeving op te merken. Ook personeel van andere organisaties die betrokken zijn bij de sluiting moeten aan de oefening mee doen. Dit kunnen aannemers zijn die personeel, materiaal of materieel leveren, maar ook bijvoorbeeld gemeenten of provincies die een taak hebben bij het sluiten van een kunstwerk. Het is niet noodzakelijk dat al het personeel bij een oefening is betrokken. Wel moeten alle sleutelfunctionarissen mee doen met de oefening en moet duidelijk zijn dat de overige betrokkenen eenvoudig aangestuurd kunnen worden, ook als deze niet of minder geoefend hebben.

a3. Terugkoppeling ervaringen

Het is van belang dat de ervaringen die bij de oefeningen of daadwerkelijke sluitingen zijn opgedaan worden teruggekoppeld en in het draaiboek worden verwerkt. Hiermee worden kennelijke fouten of onvolkomenheden in de mobilisatieregeling gecorrigeerd en wordt de regeling aangepast aan veranderde externe omstandigheden.

- **Mogelijkheden tot herstel (optioneel)**

Mogelijkheden tot herstel kunnen alleen in rekening gebracht worden als deze in het draaiboek zijn opgenomen. Om een kans op herstel in rekening te kunnen brengen moet het draaiboek daarom een risicoanalyse bevatten waarin de belangrijkste risico's zijn benoemd en de bijbehorende beheersmaatregelen zijn uitgewerkt en in de praktijk getest. De risicoanalyse moet betrekking hebben op alle aspecten die een rol spelen bij de mobilisatie: personeel, materieel, materiaal en transport. Zo moet er een back-up persoon en back-up transportmiddel standby staan bij calamiteiten.

8.5.3 Bediening

- **Draaiboek inclusief gebruik en beheer van het draaiboek**

a1. Sluitprocedure

Om voldoende betrouwbaarheid te verkrijgen moeten alle handelingen die nodig zijn bij de bediening zijn vastgelegd in een draaiboek. Verwezen wordt naar de Handreiking borging betrouwbaarheid sluiting in draaiboeken (RWS, 2017) voor een overzicht van aspecten die minimaal vastgelegd moeten zijn.

a2. Jaarlijkse oefening

Een jaarlijkse oefening is nodig om bij het betrokken personeel voldoende routine te verkrijgen en om onvolkomenheden in het systeem of veranderingen in de omgeving op te merken. Ook personeel van andere organisaties die betrokken zijn bij de sluiting moeten aan de oefening mee doen. Dit kunnen aannemers zijn die personeel, materiaal of materieel leveren, maar ook bijvoorbeeld gemeenten of provincies die een taak hebben bij het sluiten van een kunstwerk. Alle sleutelfunctionarissen moeten meedoen met de oefening en het moet duidelijk zijn dat de overige betrokkenen eenvoudig aangestuurd kunnen worden, ook als deze niet of minder geoefend hebben.

Bij de jaarlijkse oefening moeten alle handelingen die in het draaiboek zijn opgenomen worden betrokken.

a3 Terugkoppeling ervaringen

Het is van belang dat de ervaringen die bij de oefeningen of daadwerkelijke sluitingen zijn opgedaan worden teruggekoppeld en in het draaiboek worden verwerkt. Hiermee worden kennelijke fouten of onvolkomenheden in de bediening gecorrigeerd en wordt de regeling aangepast aan veranderde omstandigheden.

- **Mogelijkheden tot herstel (optioneel)**

Er zijn mogelijkheden tot herstel als opgemerkt wordt dat een stap in de bediening niet goed is verlopen én er mogelijkheden zijn om deze stap alsnog uit te voeren.

Mogelijkheden tot herstel kunnen alleen in rekening gebracht worden als deze in de sluitprocedure zijn opgenomen.

8.5.4 Technisch falen

- *a1. Onderhoudsplan*

Zoals ook in de Handreiking borging betrouwbaarheid sluiting in draaiboeken (RWS, 2017) staat verwoord, moet een adequaat onderhoudsplan aanwezig zijn, waarin tenminste de voorschriften van de fabrikant, leverancier of ontwerper zijn verwerkt. De activiteiten die in dit kader zijn uitgevoerd en de bevindingen daarbij moeten in een bijbehorend logboek zijn opgenomen. Hiermee wordt de kans op falen aanzienlijk verkleind. Verwezen wordt naar de Handreiking borging betrouwbaarheid sluiting in draaiboeken (RWS, 2017) voor een volledig overzicht van aspecten die minimaal vastgelegd moeten zijn.

a2. Controle en testen

Controles en testen zijn vaak onderdeel van een beheer- en onderhoudsplan. In navolging van de Handreiking borging betrouwbaarheid sluiting in draaiboeken (RWS, 2017) wordt de vraag hier separaat gesteld, omdat het belang ervan groot is. Bij een controle wordt het keermiddel visueel geïnspecteerd en wordt nagegaan of het intact is en alle onderdelen aanwezig zijn. Bij een test wordt daadwerkelijk gecontroleerd of het keermiddel gesloten kan worden. Ook moeten alle sponningen en sluitmiddelen tenminste visueel gecontroleerd worden op beschadigingen en blokkades. Voor schotbalken kunnen de sponningen bijvoorbeeld met een pasblok worden gecontroleerd. Bij de controles en testen moet ook worden nagegaan of het kunstwerk onder maatgevende omstandigheden gesloten kan worden. Hiertoe moeten ook oefeningen gedaan worden bij slecht weer en slecht zicht. Dat is niet jaarlijks nodig.

a3. Terugkoppeling ervaringen

Zoals verwoord in de Handreiking borging betrouwbaarheid sluiting in draaiboeken (RWS, 2017) dienen ervaringen die worden opgedaan bij de onderhoudswerkzaamheden, controles, tests, oefeningen en daadwerkelijke sluitingen te worden teruggekoppeld en verwerkt in het beheer- en onderhoudssysteem. Zo nodig moeten verbeteringen aan het kunstwerk worden doorgevoerd. Hierdoor wordt het

systeem continu verbeterd en worden zaken die bij het ontwerp en de uitvoering over het hoofd zijn gezien gecorrigeerd.

- **Risico op belemmering**

Wanneer in het sluitprotocol rekening wordt gehouden met het in vraag g. geïdentificeerde risico(s) en daaruit voortvloeiend maatregelen zijn getroffen die in de beschikbare tijd de belemmering kunnen opheffen, kan deze vraag positief beantwoord worden. Zo moet het materieel dat benodigd is voor het verwijderen van een belemmering in het draaiboek zijn opgenomen, inclusief mobilisatie en oefening.

- **Tweede keermiddel**

Het tweede keermiddel (de schotbalken) moet in het draaiboek zijn opgenomen, inclusief mobilisatie en bediening.

9. Piping Veetunnel (PKW)

Op enkele locaties in dijkvak 6 komt het dijktracé verder van de Maasduinen te liggen, waardoor laagtes ontstaan tussen de kering en de Maasduinen. In het voorontwerp (Hoogwaterbeschermingsprogramma Noordelijke Maasvallei, 2021) worden deze laagtes aangeheeld als pipingmaatregel. In dit ontwerp is nog geen rekening gehouden met de Veetunnel; daarom wordt in dit hoofdstuk bepaald of piping kan optreden ter plaatse van de constructie. De beoordeling is uitgevoerd conform de schematiseringshandleiding piping bij kunstwerk (RWS, 2021). Er wordt in deze situatie niet voldaan aan de eenvoudige toets; zie hieronder. Daarom wordt een gedetailleerde toets uitgevoerd. De eenvoudige toets bestaat uit twee stappen.

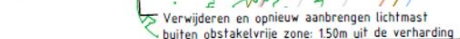
- *Stap 1: Het mechanisme is relevant voor de beoordeling van het kunstwerk.*
Het mechanisme is niet relevant als aan de uittredezijde van het kunstwerk een filter aanwezig is, de kruising met de waterkering bestaat uit een leiding of als het kunstwerk een gemaal of hevelleiding betreft. Aangezien de situatie bij de Veetunnel niet overeenkomt met bovenstaande voorwaarden, geldt dat het mechanisme piping relevant is voor het kunstwerk.
- *Stap 2: Beslisregels tonen aan dat de kans van optreden verwaarloosbaar klein is.*
Als aan één van de twee beslisregels wordt voldaan is de kans van optreden van piping verwaarloosbaar klein. Voor de eerste beslisregel geldt dat als de constructie rondom omsloten wordt door een slecht doorlatend cohesief pakket van minimaal 1 m dik of als de constructie op palen is gefundeerd dat deze voorzien is van een functionerend kwelscherm. Aan deze voorwaarden wordt niet voldaan. Voor de tweede beslisregel geldt dat als één van de kwelschermen een lengte heeft die groter is dan twee keer het verval over het kunstwerk en achterloopsheid niet van toepassing is, dan is de kans op het optreden van piping verwaarloosbaar klein. Er is geen kwelscherm ontworpen bij de Veetunnel, dus aan deze voorwaarde wordt ook niet voldaan.

Volgens de gedetailleerde toets dient bepaald te worden of de mogelijk optredende kwelweg zuiver horizontaal loopt. In Figuur 9.1 is te zien dat het voorland lager ligt dan het achterland, dit verschil bedraagt ca. 2 m. De kwelweg zou bij de veetunnel parallel lopen aan de onderkant van de veetunnel, waar het op de eerste helft horizontaal loopt en schuin omhoog richting het achterland. Voor deze situatie wordt de toets met Sellmeijer en Lane uitgevoerd.



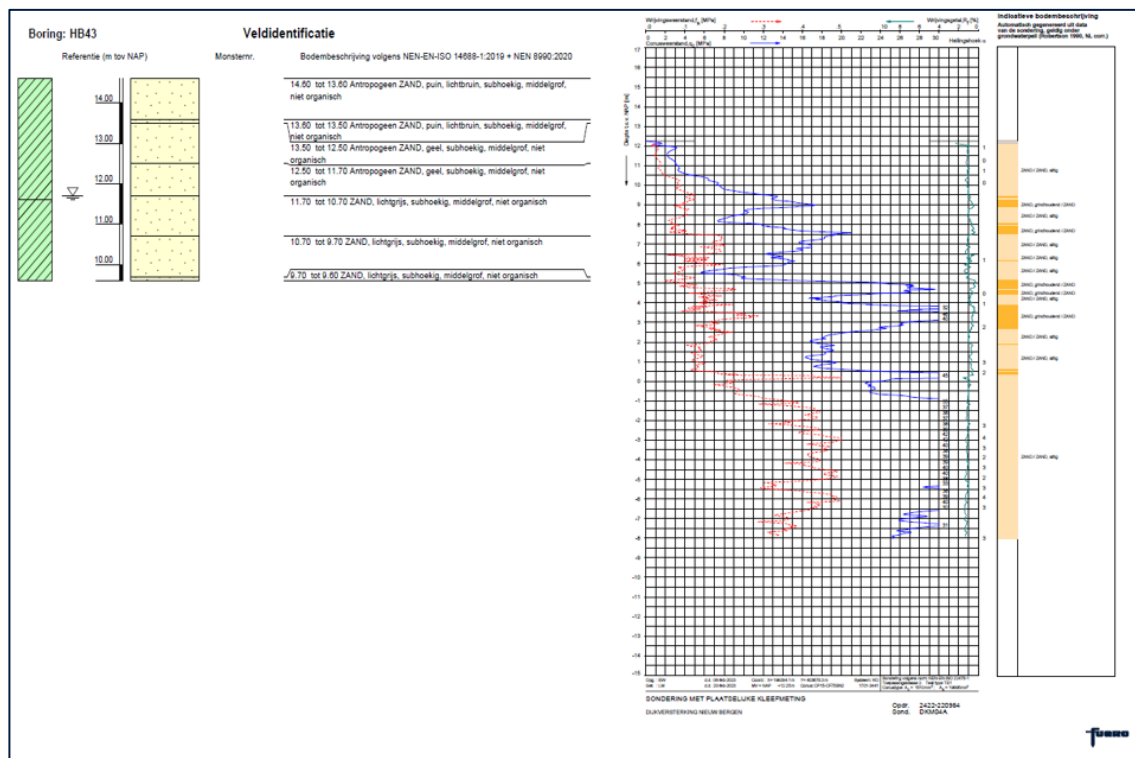
9.1 Ausgangspunkten

- Voor de aanwezige horizontale kwelweglengte wordt de kortste lengte tussen het intredepunt bij de ingang van de veetunnel en uittredepunt **in de greppel achter de dijk** gehanteerd (22 m). Het hoogteverschil tussen de onderkant van de veetunnel in het voorland en **de onderkant van de greppel t.p.v. het uittredepunt** bedraagt ca. 1,5 m.



Figuur 9.2: Aanwezige kwelweglengten veetunnel en maaiveld hoogten

- In de sondering DKM04A en de handboring HB43 uitgevoerd door Fugro ter plaatse van de veetunnel is te zien dat de bodem uit alleen zand bestaat en er geen deklaag aanwezig is.



Figuur 9.3: Bodemopbouw ter plaatse van de Veetunnel

- Het doorlatende zandpakket wordt 17,5 m dik aangenomen conform het voorontwerp (Hoogwaterbeschermingsprogramma Noordelijke Maasvallei, 2021).
- Voor de korrelgrootte wordt de laag-karakteristieke waarde van 350 μm conform de TUN (Fugro, 2023).
- Voor het volumegewicht van de zandkorrels onder water wordt het natte gewicht van losgepakt zand aangenomen, dit is conservatief. Het volumiek gewicht van losgepakt nat zand bedraagt 19 kN/m^3 (Fugro, 2023).
- Het **WBN** is bepaald in Riskeer ter plaatse van de veetunnel (MA_1_57-1_dk_00029) op normkans (1/100 per jaar) conform (RWS, 2021). In Riskeer kan alleen de waterstand bepaald worden op de zichtjaren 2050 en 2100. Aan de hand van de waterstanden in deze zichtjaren kan lineair geëxtrapoleerd worden om een schatting te maken van de waterstand op normkans met zichtjaar 2125 (levensduur van de constructie). De waterstand met zichtjaar 2050 bedraagt NAP +14,39 m en de waterstand met zichtjaar 2100 bedraagt NAP +14,43 m. De waterstand met zichtjaar 2125 bedraagt NAP +14,45 m. Het maaiveld [t.p.v. het uittredepunt](#) ligt op NAP +13,70 m. Het verval bedraagt 0,75 m.
- Voor de doorlatendheid wordt de karakteristieke waarde van de formatie van Beegden aangenomen; deze bedraagt 98 m/d (Fugro, 2023).
- De veiligheidsfactor voor terugschrijdende erosie bedraagt 1,33 conform de TUN (Fugro, 2023).

- De schematiseringsfactor bedraagt 1,15 conform de ontwerpnota (Hoogwaterbeschermingsprogramma Noordelijke Maasvallei, 2021). Er zijn 2 sonderingen en 1 handboring uitgevoerd ter plaatse van de veetunnel (1,2 zou te conservatief zijn), maar er zijn geen gevoeligheidsanalyses uitgevoerd voor de diktes van verschillende langten en invloed van beschikbare kwelweg (1,0 tot 1,1 zou te optimistisch zijn).

9.2 Resultaten

In tabel 9.1 is het resultaat van de Sellmeijer-analyse. Uit de berekening blijkt dat de benodigde kwelweglengte 11,3 m bedraagt. Aangezien de aanwezige kwelweglengte ca. 22 m bedraagt kan worden geconcludeerd dat ruim wordt voldaan aan de eis van Sellmeijer.

Tabel 9.1: Resultaat piping analyse veetunnel

$L_{aanwezig}$ [m]	d (deklaag) [m]	D (doorlatende laag) [m]	ΔH [m]	D_{70} [μm]	K [m/dag]	$L_{benodigd}$ [m]
22	0	17,5	0,75	350	98	11,3

Waarin:

- $L_{aanwezig}$ = De aanwezige kwelweglengte [m]
 d = De dikte van de deklaag [m]
 D = De dikte van het watervoerendpakket [m]
 ΔH = Het verval [m]
 d_{70} = Het zeventigste percentiele voor de korrelgrootte [μm]
 K = De doorlatendheid van het watervoerendpakket [m/dag]
 $L_{benodigd}$ = De benodigde kwelweglengte zoals bepaald met de rekenmethode van Sellmeijer 2011 [m]

Het model van Lane ziet er als volgt uit:

$$\Delta H \leq \Delta H_c = \frac{1/3 L_h + L_v}{C_{w,creep}}$$

Vergelijking 9.1

Waarin:

- L_h = De horizontale kwelweglengte [m]
 L_v = De verticale kwelweglengte [m]
 $C_{w,creep}$ = Creep-factor behorend bij het model van Lane [-]
 ΔH = Het verval over het kunstwerk [m]

Voor de creep-factor van Lane wordt zeer conservatief uitgegaan van uiterst fijn zand wat leidt tot de grootste creep-factor (8,5). Hiermee kan het kritieke verval worden berekend.

$$0,75 \leq \frac{1/3 * 22 + 1,5}{8,5} = 1,04 \rightarrow 0,75 \leq 1,04$$

Vergelijking 9.2

Het kritieke verval bedraagt 1,04 m. Dit is groter dan het aanwezige verval van 0,75 m. Dus wordt ook voldaan aan de eis van het model van Lane. Hiermee kan worden geconcludeerd dat er geen gevaar is voor piping ter plaatse van de veetunnel.

10. Langsconstructies

De UO-aspecten voor de damwand in dijkvak 7 zijn verwerkt in het Berekeningsrapport damwand Steenfabriek (documentnummer 22415599-003024). Dit betreffen o.a.:

- Staffelen damwand;
- Vervallen gording / constructieve deksloof;
- Tijdelijke situatie aanleg riool terrein Wienerberger.

11. Referenties

- Dijkzone Alliantie Nieuw Bergen. (2023). *Berekeningsrapport - UO Waterveiligheid en geotechniek - Deelgebied 1 en 2*.
- DIV Piping. (2023). *Publicatie Heaveschermen*.
- Fugro. (2023). *Technische Uitgangspunten nota Nieuw-Bergen*.
- Hoogwaterbeschermingsprogramma Noordelijke Maasvallei. (2020). *CB.25.003 Interpretatie verdiepend geotechnisch onderzoek Nieuw-Bergen, Belfeld, Beesel en Heel*.
- Hoogwaterbeschermingsprogramma Noordelijke Maasvallei. (2021). *IO.18.DR57.04.01.001 Ontwerpnota Nieuw Bergen*.
- HWBP-De Innovatieversneller | Piping. (2023). *OBOR kunststof Heaveschermen*.
- NEN. (2020). *NEN 3650-1:2020*. NEN.
- NEN. (2020). *NEN 3651:2020*. NEN.
- Rijkswaterstaat. (2017). *Handreiking borging betrouwbaarheid sluiting in draaiboeken*. Rijkswaterstaat.
- RWS. (2017). *Handreiking borging betrouwbaarheid sluiting in draaiboeken - Achtergrondrapport bij het gebruik van de scoretabellen voor het faalmechanisme niet sluiten*. RWS.
- RWS. (2021). *Schematiseringshandleiding piping bij kunstwerk*.
- RWS-WVL. (2017). *Werkwijze bepalen kans op niet sluiten per sluitvraag met scoretabellen*. RWS-WVL.
- RWS-WVL Waterkeringen. (2018). *Werkwijzer Ontwerpen Waterkerende Kunstwerken – Ontwerpverificaties voor de hoogwatersituatie*. RWS-WVL Waterkeringen.
- TAW. (1996). *Technisch Rapport Klei voor dijken*.
- Waterschap Limburg. (2022). *Gunningsleidraad - Europese aanbesteding volgens de niet-openbare procedure voor de verlening/uitvoering van werken Dijkversterking Nieuw Bergen ten behoeve van Waterschap Limburg met zaaknummer 2021-Z36992*.