

Technisch ontwerpbericht VKA

STERKE LEKDIJK

Irenesluis - Culemborgse Veer



HOOGHEEMRAADSCHAP
DE STICHTSE
RIJNLANDEN

Technisch ontwerprapport VKA dijkversterking Irenesluis – Culemborgse Veer

Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden

Poldermolen 2
3994 DD Houten

030 634 57 00 T
sterkelekdijk@hdsr.nl E
hdsr.nl/sterkelekdijk W



**STERKE
LEKDIJK**

Titel: Technisch ontwerprapport VKA dijkversterking Irenesluis – Culemborgse Veer

Kenmerk: DM1950188

Versie: V3.0

Datum: 14 augustus 2023

Projectnaam: Dijkversterking Irenesluis – Culemborgse Veer


Projectnummer: 120612

Opgesteld door: Esat Unal, Arnout van Linde, Quintijn van Agten

Gecontroleerd door: RHDHV, FUGRO en HDSR

Colofon

Vrijgave:

Functie	Naam	Paraaf
Projectmanager RHDHV/Fugro	Marco Eversdijk	14-08-2023 



**STERKE
LEKDIJK**

Omschrijving	Code	Datum	Toelichting
V0.3		20-4-2023	Versie ten behoeve van review door technisch team van HDSR
v1.0			
V2.0		30-05-2023	Definitief concept tbv externe review
V3.0		14-08-2023	Definitieve versie tbv Voorkeursalternatief

Inhoudsopgave

1	Inleiding	6
1.1	Dijkversterking Irenesluis - Culemborgse Veer	6
1.2	Doel	7
1.3	Leeswijzer	8
1.4	Verwijzingen	8
2	Aangescherpte waterveiligheidsanalyse	9
3	Kansrijke Oplossingen	13
4	Beheeropgave	14
5	Gehanteerde uitgangspunten	19
5.1	Algemene uitgangspunten	19
5.2	Specifieke technische uitgangspunten beheeropgave	19
5.2.1	Taludverflauwing en herprofileren van taluds	19
5.2.2	Beheerstrook	19
5.2.3	Ruimtebeslag beheeropgave	20
5.3	Specifieke technische uitgangspunten veiligheidsopgave	21
5.3.1	Stabiliteit taludverflauwing	21
5.3.2	Stabiliteitsbermen	21
5.3.3	Freatische lijn	21
5.3.4	Materialisatie taludverflauwing	22
5.4	Dimensies ontwerp oplossingen	22
5.4.1	Pipingbermen	22
5.4.2	Innovatieve oplossingen – constructies (piping)	23
5.4.3	Voorlandverbeteringen	25
5.4.4	Stabiliteitsconstructie	26
6	Ontwerp Veiligheidsopgave	27
6.1	Maatwerklocatie 1a - Steenwaard	27
6.1.1	STPH; Heavescherm	27
6.2	Maatwerklocatie 2b - Schalkwijker Buitenwaard West	30
6.2.1	STPH; Voorlandverbetering en pipingberm	30
6.2.2	STPH; Heavescherm	30
6.3	Maatwerklocatie 3 - Den Oord	32
6.3.1	STPH; Voorlandverbetering en pipingberm	32
6.3.2	STPH; Heavescherm	34
6.4	Maatwerklocatie 4 - Beusichemse veer Den Oord	35
6.4.1	STPH; Voorlandverbetering en pipingberm	35
6.4.2	STPH; Heavescherm	37

6.5	Maatwerklocatie 6 – Bosscherwaarden DP117 t/m DP118	38
6.5.1	STBI; Stabiliteitsberm	39
6.5.2	STPH; Ontwerp stabiliteits-/heavescherm	40
7	Innovaties	43
8	Ontwerp beheeropgave	47
	Bijlage A. Afleiding	48
	Bijlage B. Stabiliteitsberekeningen	49
	Bijlage C. Afmetingen heaveschermen	51
	Bijlage D. Heaveschermen ICU	52
	Bijlage E. Overzichtskaarten VKA ICU	53
	Bijlage F. Dwarsprofielen VKA ICU	54
	Bijlage G. Infographics innovaties	55

1 Inleiding

1.1 Dijkversterking Irenesluis - Culemborgse Veer

De noordelijke Lekdijk beschermt een groot deel van Midden- en West-Nederland tegen overstroming. De dijk voldoet niet aan de waterveiligheidsnormen en daarom versterkt Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR) de dijk tussen Amerongen en Schoonhoven over een totale lengte van 55 kilometer (zie Figuur 1-1). Zo is de dijk ook in de toekomst voldoende veilig en voldoet hij aan de normen die sinds 2017 gelden. De versterking van de Lekdijk is onderdeel van het [Hoogwaterbeschermingsprogramma](#) (HWBP). Hierbij werken de waterschappen samen met het Rijk om dijken - en dus Nederland - veilig te houden. De dijkversterking tussen Amerongen en Schoonhoven heeft een te grote omvang om in één keer te realiseren. Hiervoor is het [Programma Sterke Lekdijk](#) in zes deeltrajecten opgesplitst, waarvan de dijkversterking Irenesluis – Culemborgse Veer (ICU) er één is.



Figuur 1-1 Programma Sterke Lekdijk, met daarin de zes deeltrajecten aangegeven met elk een andere kleur. In het groen is het deeltraject Irenesluis - Culemborgse Veer aangegeven.

Het dijktraject van het deelproject Irenesluis - Culemborgse Veer is 9,9 kilometer lang en loopt van de westzijde van de Irenesluis bij Wijk bij Duurstede (dijkpaal 106) tot aan de Veerweg bij het Culemborgse Veer (dijkpaal 203), zie dikke oranje lijn in onderstaande Figuur (1-2).



Figuur 1-2 Ligging dijktraject van deelproject Irenesluis – Culemborgse Veer.

De projectdoelstellingen van de verkenningsfase dijkversterking Irenesluis – Culemborgse Veer zijn afgeleid van de doelstellingen van het [Programma Sterke Lekdijk](#) (uit het [Programmaplan Sterke Lekdijk \(2020\)](#)). De projectdoelstellingen zijn dat het project/de dijkversterking

1. voldoet aan de veiligheidsdoelen en eisen vanuit beheer;
2. levert een Voorkeursalternatief binnen gestelde planning en budget op, dat:
3. via een open transparante werkwijze tot stand komt met oog voor de omgeving;
4. invulling geeft aan het verbeteren van de leefomgeving;
5. rekening houdt met potentiële innovaties en duurzaamheid;
6. optimaal inspelt op de planuitwerkings- en realisatiefase door de innovatiepartners vroegtijdig te betrekken.

1.2 Doel

Na het uitvoeren van de veiligheidanalyse is vastgesteld op welke locaties een verbetermaatregel getroffen dient te worden. De mogelijke oplossingen voor een verbetering zijn benoemd in de Kansrijke Oplossingen. Uit die set oplossingen is het Voorkeursalternatief (VKA) bepaald op basis van weging van verschillende factoren. Dit Technisch Ontwerprapport geeft de technische uitwerking van dat VKA weer. Het niveau van deze uitwerking is dat van een Voorontwerp (VO) wat betekent dat de hoofdafmetingen zijn bepaald en op basis daarvan de effecten voor bijvoorbeeld omgeving en natuur te bepalen op de kosten te ramen. In de Planuitwerkingsfase die hierna volgt worden de ontwerpen in meer detail uitgewerkt.

1.3 Leeswijzer

Als eerste volgt hierna in hoofdstuk 2 een toelichting op de aangescherpte waterveiligheidsanalyse. De Kansrijke oplossingen voor het oplossen van de waterveiligheids-scope zijn beschreven in hoofdstuk 3 waarna hoofdstuk 4 in gaat op de beheeropgave die ook in dit gebied voor ons ligt. De hoofdstukken 5 en 6 gaan respectievelijk in op de gehanteerde uitgangspunten en het technisch ontwerp van de oplossingen. Tot slot zijn in hoofdstuk 7 innovaties beschreven die als kansrijk worden gezien voor de verdere detaillering van de oplossingen in de volgende projectfase. Voor die locaties waar enkel een beheeropgave bestaat leest u in hoofdstuk 8 hoe die verbeteringen zijn voorzien.

1.4 Verwijzingen

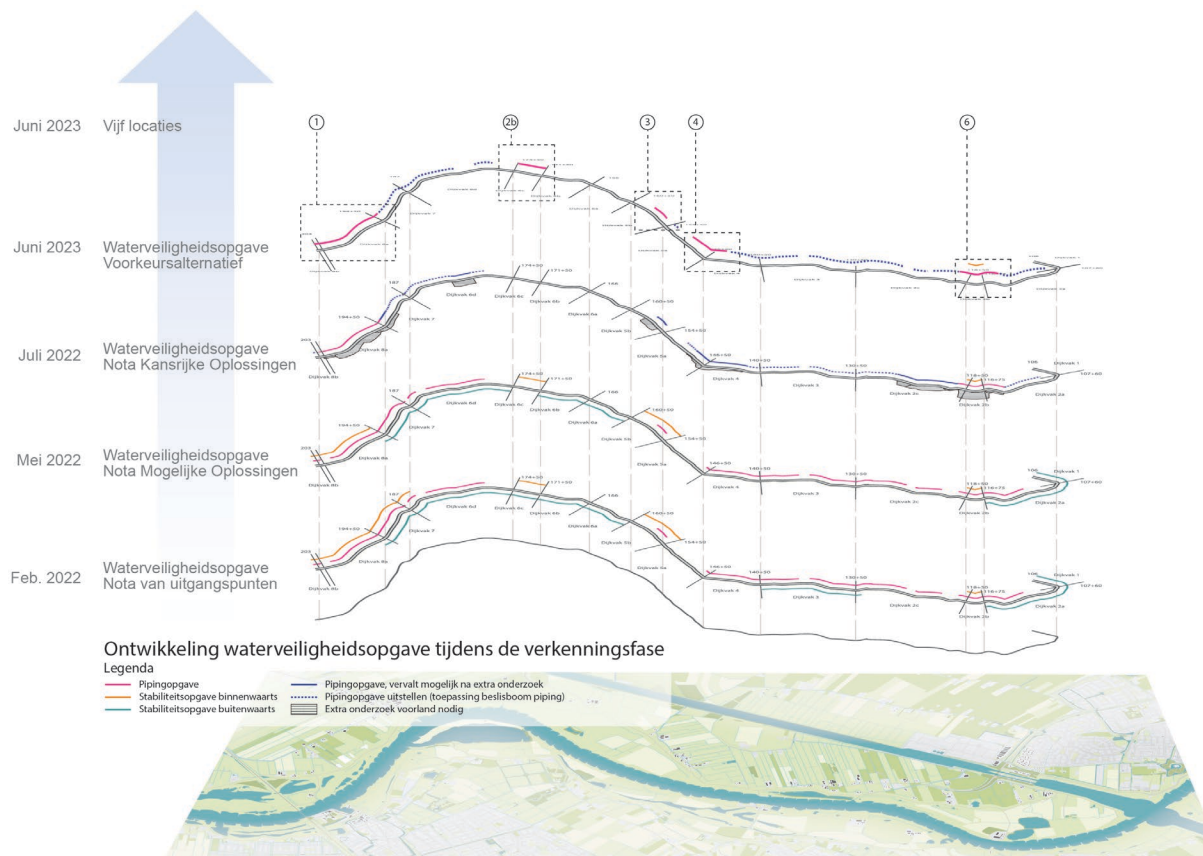
- [1] Fugro, „WP 1.4.3 Technische Uitgangspunten Notitie V10.0,” juli 2023.
- [2] Rijkswaterstaat, „OI2014v4 Handreiking ontwerpen met overstromingskansen,” 2017.
- [3] Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), „Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken,” 2004.
- [4] Kennisplatform Risicobenadering, „KPR Memo beantwoording helpdeskvraag 17 05 0374 omtrent toe te passen heavegradient bij langsconstructies,” 2017.
- [5] Fugro, „WP 1.3.1 Veiligheidsanalyse ICU V9.0,” mei 2023.
- [6] Deltares, „Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen,” 2012.
- [7] Actueel Hoogtebestand Nederland, „AHN viewer AHN4 DTM dynamische opmaak,” ESRI, [Online]. Available: <https://ahn.arcgisonline.nl/ahnviewer/>. [Geopend maart 2023].

2 Aangescherpte waterveiligheidsanalyse

Tijdens de verkenningsfase van de dijkversterking wordt van 'grof naar fijn' gewerkt. Op basis van steeds meer beschikbare informatie (zoals nieuw grondonderzoek of berekeningen in meer detail) verkrijgen we stapsgewijs een steeds betrouwbaarder en preciezer oordeel over de sterkte van de huidige dijk. Bij iedere stap wordt duidelijker welke maatregelen nodig zijn om de dijk aan de waterveiligheidsnorm te laten voldoen. In de verkenningsfase is de waterveiligheidsopgave in vier stappen in de volgende producten verder aangescherpt:

- 1) [Waterveiligheidsopgave ten behoeve van de Nota van uitgangspunten, een toelichting staat in de Nota van uitgangspunten \(paragraaf 3.1\);](#)
- 2) [Waterveiligheidsopgave ten behoeve van de Nota mogelijke oplossingen, een toelichting staat in de Nota mogelijke oplossingen \(hoofdstuk 2\);](#)
- 3) [Waterveiligheidsopgave ten behoeve van de Nota kansrijke oplossingen, een toelichting staat in de Nota kansrijke oplossingen \(paragraaf 4.1\);](#)
- 4) Waterveiligheidsopgave ten behoeve van de Nota Voorkeursalternatief, een toelichting staat verder in Hoofdstuk 4.1.2.

De ontwikkeling van de waterveiligheidsopgave op basis van bovenstaande stappen is in Figuur 2-1 weergegeven.



Figuur 2-1 Ontwikkeling van de waterveiligheidsopgave door de verschillen de producten van de verkenningsfase

Doorgevoerde optimalisaties in de Verkenning fase

Het werken van 'grof naar fijn' bestaat uit het doorvoeren van optimalisaties in de berekeningen van de waterveiligheidsopgave. Dit wordt gedaan voor de faalmechanismen en locaties die nog niet voldeden aan de norm in de fase van Nota Kansrijke Oplossingen. De waterveiligheidsopgave is in de periode sep-

tember 2022 – maart 2023 aangescherpt daarom ook verder aangescherpt. In Tabel 2-1 zijn alle optimalisaties weergegeven die per faalmechanisme zijn uitgevoerd, dus ook in de fasen NvU en NKO. Deze optimalisaties zijn vastgelegd in de volgende documenten:

- 1) Technische Uitgangspuntennotitie dijkversterking Irenesluis – Culemborgse Veer;
- 2) Veiligheidsanalyse dijkversterking Irenesluis – Culemborgse Veer;

Tabel 2-1 Uitgevoerde optimalisaties ten behoeve van de waterveiligheidsopgave per faalmechanisme (meer detail over de optimalisaties staat in boven genoemde documenten)

Faalmechanisme	Uitgevoerde optimalisaties	Fase
Piping en Heave (STPH)	Gevoeligheidsanalyse doorlatendheden	Nota NKO
	<u>Toepassen beslisboom piping hypothese 1 (zie paragraaf 4.1.2)</u>	Nota NKO
	Check beschikbaar voorland onderzoek	Nota NKO
	Berekeningen met Pipingtool (VIKTOR)	Nota VKA
	Berekeningen met D-Geoflow	Nota VKA
	Verificatie van schematiseringsfactor	Nota VKA
	Aanvullend voorland onderzoek (booronderzoek en grondradaronderzoek)	Nota VKA
	Hypothese 2 beslisboom piping	Nota VKA
Macrostabieliteit binnenwaarts (STBI)	Toevoegen cohesie toplaag	Nota NKO
	Verhogen pre-overburden pressure (POP) waarden	Nota NKO
	Toepassen geoptimaliseerde sterkteparameters	Nota VKA
	Verificatie van schematiseringsfactor	Nota VKA
Macrostabieliteit buitenwaarts (STBU)	Verbeteren schematisatie	Nota NKO
	Val na hoogwater aangepast van 4 meter naar 3 meter	Nota NKO
	Toepassen aangepaste sterkteparameters	Nota VKA
	Verificatie van schematiseringsfactor	Nota VKA
	Faalpadanalyse	Nota VKA/NKO
Grasbekleding Erosie Buitentalud (GEBU)	Gedetailleerde toets	Nota NKO
	Faalpadanalyse	Nota NKO
	Verificatie 3 m kleilaag met veldonderzoek en erosieklasse 1 met laboratoriumonderzoek	planuitwerking
Grasbekleding Afschuiven Binnentalud (GABI)	Werkwijze Memo aanpak GABI Sterke Lekdijk toegepast	Nota NKO
Kunstwerk (inlaat bij de Irenesluis)	Uitvoeren veiligheidsanalyse kunstwerk: binnen het dijkversterkingstraject ligt één kunstwerk, namelijk het inlaatwerk in de Voorhavendijk Irenesluis West ter hoogte van dijkpaal 107.	Nota NKO

Resultaten aanscherping waterveiligheidsopgave

Na het doorvoeren van optimalisaties, is de waterveiligheidsopgave voor dijkversterking Irenesluis – Culemborgse Veer verder aangescherpt. In Figuur 2-2 is de waterveiligheidsopgave gepresenteerd. Voor piping blijft een totale waterveiligheidsopgave over van 68 dijkpalen met 100 m tussen twee dijkpalen. Hiervan wordt de versterking voor 49 dijkpalen uitgesteld door het toepassen van de Beslisboom Piping (zie ook [paragraaf 4.1.2 Nota kansrijke oplossingen](#)) en valt daarmee niet meer onder de ontwerpogpave. Hiermee blijft een waterveiligheidsopgave over voor 19 dijkpalen, verdeeld over 5 locaties (1a, 2b, 3, 4 en

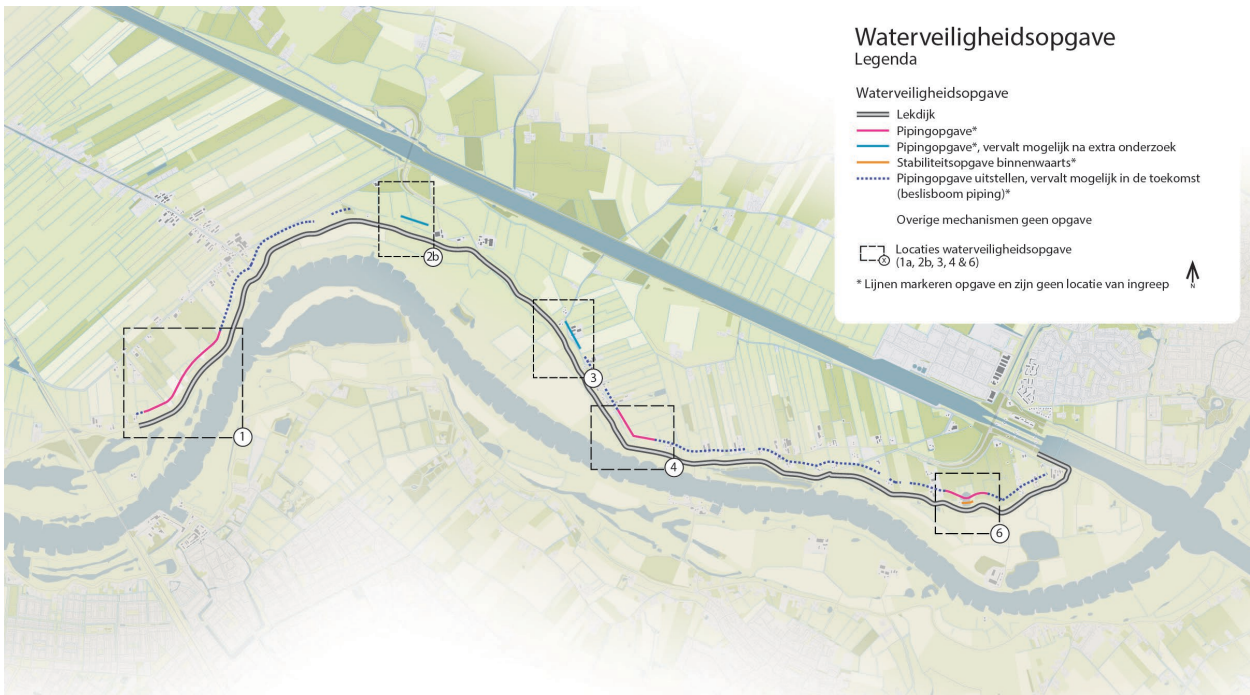
6). Voor de locaties 1a, 4 en 5 staat de opgave vast en voor locatie 2b en 3 geldt dat er richting de planuitwerkingsfase nog aanvullend onderzoek gedaan wordt, waardoor deze locatie mogelijk nog verval- len. Wat betreft het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts blijft zeer lokaal bij het wiel (dijkpaal 117-118) een waterveiligheidsopgave over, waar ook een pipingopgave is. De totaal benodigde verster- kingslengte is 2,4 kilometer om hiermee de opgave op te lossen en goed aan te laten sluiten op de niet te versterken delen. Voor alle overige faalmechanismen is er geen waterveiligheidsopgave, wel is het mo- gelijk dat lokaal rondom Niet-Waterkerende Objecten (zoals huizen, bomen en Kabels en leidingen) nog een waterveiligheidsopgave ontstaat bij de beoordeling van de Niet-Waterkerende Objecten (NWO's). De beoordeling van de NWO's wordt afgerond in de volgende fase, de planuitwerking.

Tijdens de laatste optimalisatie is een toegepaste factor die aangeeft hoe sterk het grondwater reageert op veranderingen van de rivierwaterstand (responsfactor) opnieuw bepaald. Deze factor hebben we moe- ten herzien, omdat er gerekend was met een verkeerd uitgangspunt, namelijk dat de voorlanden in re- cente hoogwaters onder water hebben gestaan. Dit is echter niet het geval geweest. Het resultaat van deze aanpassing is dat voor Locatie 2b (zie Figuur 2-2) een opgave voor het faalmechanisme Piping en Heave naar voren gekomen is. Omdat dit pas recent duidelijk werd, is het voor het projectteam niet moge- lijk geweest om voor deze locatie de kansrijke oplossingen te bepalen, de MER-beoordeling uit te voeren en de keuze voor het VKA vast te stellen.

Dit wordt doorgeschoven naar de planuitwerkingsfase. In de tussentijd doen we nader (veld)onderzoek naar deze locatie om zeker te weten of dit een waterveiligheidsopgave is. Voor locatie 3 is de VKA-keuze sterk afhankelijk van het voorlandonderzoek dat pas in het najaar van 2023 kan worden uitgevoerd. De MER-beoordeling en de VKA-keuze is daarom niet in deze rapportage opgenomen en zal pas in de planuitwerkingsfase worden gemaakt.

Tabel 2-2 Resultaten aangescherpte waterveiligheidsopgave dijkversterking Irenesluis - Culemborgse Veer maart 2023

Faalmechanisme	Opgave
Piping	19 dijkpalen voldoen niet, verdeeld over vijf locaties, zie figuur 3-4.
	Voor 49 dijkpalen wordt de opgave uitgesteld (op basis van de beslis- boom piping).
Macrostabiliteit binnenwaarts	Twee dijkpalen (117-118) bij het wiel twee voldoen niet.
Macrostabiliteit buitenwaarts	Voldoet
Grasbekleding Erosie Buitentalud	Voldoet
Kunstwerk	Voldoet
Niet waterkerende objecten (NWO's)	Nader te beoordelen in de planuitwerkingsfase
Overige faalmechanismen	Voldoen, al in eerdere optimalisaties aangetoond



Figuur 2-2 Waterveiligheidsopgave dijkversterking Irenesluis - Culemborgse Veer (maart 2023)

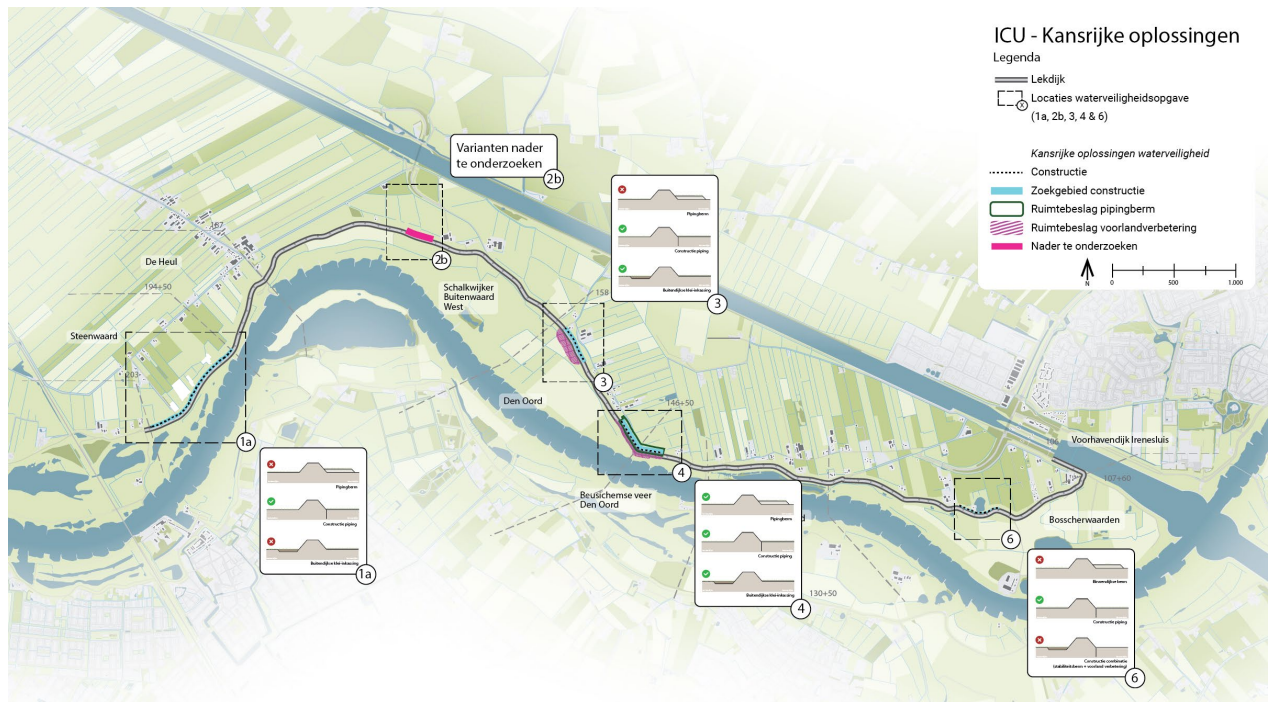
3 Kansrijke Oplossingen

In de Nota kansrijke oplossingen zijn 3 kansrijke oplossingen gepresenteerd, namelijk:

- [Kansrijke oplossing 1: Constructie](#)
- [Kansrijke oplossing 2: Grondoplossing binnenwaarts \(pipingberm\)](#)
- [Kansrijke oplossing 3: Grondoplossing buitenwaarts \(grondverbetering\)](#)

Door verdere optimalisatie is de waterveiligheidsopgave verkleind, waardoor er 5 locaties zijn met opgave (zie ook Hoofdstuk 2). Per locatie is in onderstaande kaart aangegeven welke oplossing kansrijk zijn. De kansrijke oplossingen die per locatie de voorkeur genieten zijn uitgewerkt in dit technische ontwerprapportage VKA (zie hoofdstuk 6).

Tot de basis van elke kansrijke oplossing behoort de beheeropgave en de eventuele meekoppelkansen (zie paragraaf 4.4 Nota kansrijke oplossingen) die meegenomen worden. Eventuele besluiten over de meekoppelkansen volgen in de planuitwerkingsfase.



4 Beheeropgave

Noodzaak beheer en onderhoud

Als beheerder van de primaire waterkering is Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden verantwoordelijk voor de veiligheid van het achterliggende land volgens de waterwet. Het is dus de taak van het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden om de waterkering in stand en in goede (onderhouds)conditie te houden.

Binnen de geldende veiligheidsbenadering op basis van de normering die in 2017 is vastgesteld, wordt dijkveiligheid direct gekoppeld aan de dagelijkse beheer- en onderhoudstaken. Met andere woorden, de uitvoering van dagelijkse beheer- en onderhoudstaken is essentieel voor het behoud van een veilige dijk in de toekomst. Heel concreet komt dit tot uiting in de borging van de benodigde erosiebestendigheid van de dijk en het behoud van de sterkte van de (gras)bekleding om erosie te voorkomen.

Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden is daarom meer dan voorheen genoodzaakt om de beheer- en onderhoudstaken op het vereiste niveau uit te kunnen voeren. Daarvoor is een aantal voorzieningen en aanpassingen aan de dijk nodig, waarmee de waterveiligheid ook in de toekomst kan worden gegarandeerd.

Naast de realisatie van de voorzieningen en aanpassingen is het ook nodig om regulier groot onderhoud uit te voeren. De uitvoering van dit groot onderhoud is met de komst van Programma Sterke Lekdijk de afgelopen jaren getemporeerd. Het is lang onzeker geweest welke maatregelen benodigd zijn voor de waterveiligheidsopgave en hoe deze ruimtelijk ingepast worden. Naarmate de exacte waterveiligheidsopgave in beeld komt, is de omvang van het benodigde groot onderhoud inzichtelijk geworden.

De realisatie van de voorzieningen en aanpassingen voor het beheer en onderhoud én de uitvoering van het groot onderhoud vormen samen de beheeropgave. De beheeropgave vastgesteld in het Groot Onderhoudsplan Primaire Waterkeringen 2023-2029, 6 juli 2022), ook wel GOP PWK genoemd.

Synergie met de dijkversterking

Met project Sterke Lekdijk doet zich de kans voor om de beheeropgave gelijktijdig te realiseren met de waterveiligheidsopgave, die eerder is toegelicht. Daarmee is de dijk in één keer op orde, hoeft maar één keer met de grondeigenaren rondom of op de dijk te worden overlegd en ontstaat er eenmalig overlast voor de omgeving door werkzaamheden.

De waterveiligheidsopgave en de beheeropgave worden zo mogelijk in samenhang met elkaar voorbereid, besproken met de omgeving (bewoners, bedrijven en overheidspartners) en gerealiseerd. Dit gebeurt in de periode 2023 tot en met 2029. Na voltooiing van de dijkversterking zal dus ook het groot onderhoud gerealiseerd zijn. De realisatie van de Groot onderhouds programma hangt af van de bereidwilligheid van aanwonenden of zij toestemming verlenen voor de grondverwerving en/ of uitvoeren beheeropgave. Anders zijn de waterveiligheids- en beheeropgave niet tegelijk gereed.

Maatregelen in het kader van de beheeropgave

De doelstelling van deze voorzieningen is de realisatie van een beter onderhoudbare en beheerbare dijk. Het resultaat is een hoogwaardige dijk, waarop een veilige uitvoering van dagelijkse beheer- en onderhoudstaken mogelijk is. Hiermee wordt de vereiste kwaliteit van de dijk in de toekomst geborgd.

De beheeropgave vastgesteld in het Groot Onderhoudsplan Primaire Waterkeringen 2023-2029 (DM1867854, 6 juli 2022) is onderverdeeld in:

1. Opgaven die vallen onder de aanlegvoorzieningen ten behoeve van toekomstig beheer en onderhoud.
Voor de deze opgave geldt dat de beheeropgave alleen wordt uitgevoerd als het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden de gronden die hiervoor nodig zijn, in eigendom heeft en/of verwerft op minnelijke basis.
2. Opgave die vallen onder het uitvoeren van groot onderhoud.
Voor de deze opgave geldt dat de beheeropgave sowieso wordt uitgevoerd. op percelen van derden moet wel toestemming gegeven worden door de eigenaar.

Het onderscheid tussen de twee bovengenoemde beheeropgaves is hieronder gemaakt:

Opgaven die vallen onder de aanleg voorzieningen ten behoeve van toekomstig beheer en onderhoud.

- **Taludverflauwing:** Taludverflauwingen zijn nodig om te voldoen aan de volgende eisen:
 - Het binnentalud moet erosiebestendig zijn bij het gehanteerde overslagdebiet conform de Strategische Nota van Uitgangspunten;
 - Het talud moet onderhoudbaar zijn met nu beschikbaar materieel. Te steile taluds zijn onvoldoende toegankelijk voor het huidige onderhoudsmaterieel. Ook neemt de kans op rijshades toe bij te steile taluds.

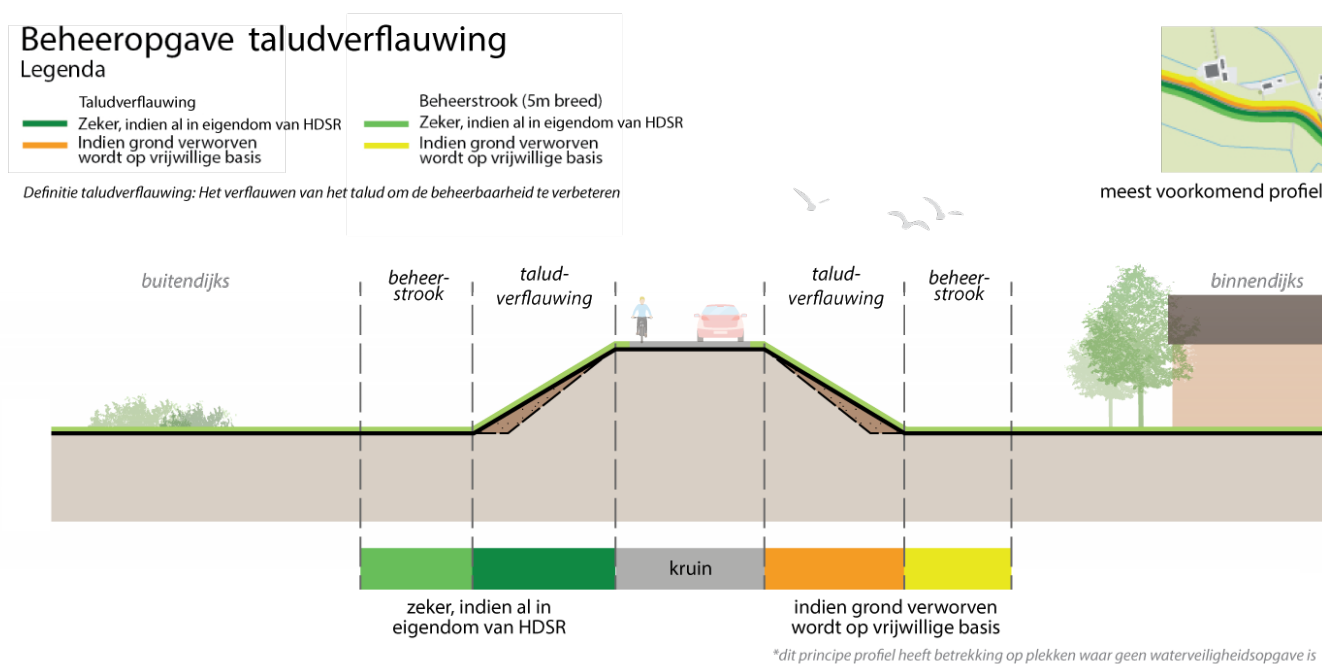
Een veilige dijk vereist een hoogwaardige grasbekleding. De ontwikkeling en het behoud van de benodigde kwaliteit wordt geborgd door de aanleg van goed beheerbare en onderhoudbare dijktaluds. Een principeprofiel van taludverflauwing is weergegeven in onderstaand Figuur 4-1.

- De aanleg van een **beheerstrook** van vijf meter breed aan de onderkant van de dijk, zowel aan de binnenzijde (landzijde) als de buitenzijde (rivierzijde), zodat onderhoud vanaf deze stroken uitgevoerd kan worden. De machines voor het onderhoud hoeven dan minder op de kruin van de dijk te staan waar ze het verkeer hinderen of nadelige effecten hebben op de verkeersveiligheid. Aan- of afvoer van materialen kan ook via de beheerstrook plaatsvinden, met eenzelfde voordeel. Dit is verbeeld in Figuur 4-1.

De aanleg van een beheerstrook biedt kansen voor recreatie en belevingswaarden. De ruimte die onder aan de dijk gecreëerd wordt geeft de mogelijkheid om bijvoorbeeld een struinpad aan te leggen. Gemeenten hebben te kennen gegeven dit als koppelkans te zien. Met de aanleg van een beheerstrook kan deze kans mogelijk worden gefaciliteerd. Deze koppelkans geldt specifiek voor de beheerstrook aan het buitentalud van de dijk.

- **Op- en afritten aanpassen:** Langs de Lekdijk liggen op veel plaatsen op- en afritten (verder benoemd als opritten) die in de loop van eeuwen zijn aangelegd. De functie van opritten is om de aan de dijk grenzende percelen te ontsluiten. De versterking van de dijk geeft aanleiding om diverse werkzaamheden aan opritten uit te voeren. De argumentatie daarvoor is meerledig, afhankelijk van het type aanpassing. De volgende type aanpassingen worden er gezien:
 - **Bestaande opritten voorzien van werkoprit:** om de beheerstrook toegankelijk te maken;
 - **Aanleg nieuwe opritten:** Om onderhoud en inspectie vanaf de beheerstrook uit te kunnen voeren is het noodzakelijk om een minimale afstand te hanteren waarbinnen de beheerstrook ontsloten wordt vanaf de weg op de dijk;
 - **Aanleg/aanpassing verharding:** De verharding van bestaande opritten vereist periodiek onderhoud. Wanneer de verharding van een oprit in slechte staat verkeert wordt deze vervangen. Sommige opritten aan de buitendijkse zijde zijn in de huidige situatie onverhard. Dat is ongewenst. Immers, bij hoge waterstanden ontstaat uitspoeling. Bij verregaande erosie wordt de dijk hierdoor bedreigd. Om die reden worden onverharde opritten voorzien van een verharding;

- **Verwijderen opritten:** Enkele opritten langs de dijk zijn niet meer in gebruik en zullen ook in de toekomst geen functie meer vervullen. Deze opritten worden verwijderd.



Figuur 4-1 Principeprofiel taludverflauwing. (alt-tekst: Principeprofiel taludverflauwing)

Opgaven die vallen onder het uitvoeren van groot onderhoud.

- **Herprofilen van taluds:** De dijk is doorlopend onderhevig aan zettingen en bodemdaling. Deze vervormingen verlopen niet gelijkmatig over de breedte en lengte van de dijk. Dit leidt ertoe dat de dijk taluds door de tijd heen een hol of bol verloop ontwikkelen. Hierdoor worden de taluds minder goed onderhoudbaar en neemt de kans op beschadigingen toe. Taluds met een hol of bol verloop worden teruggebracht naar de oorspronkelijk aangelegde taludhelling. Het herprofilen van taluds behoort tot het groot onderhoud. De uitvoering hiervan is een wettelijke taak van het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden. Een principeprofiel is Figuur 4-2 weergegeven. Hierbij blijft de teen op dezelfde plek liggen, bij taludverflauwing verschuift de teen;
- **Steenzettingen vernieuwen, verwijderen of afdekken:** In voorgaande dijkversterkingen zijn op diverse locaties langs de dijk steenzettingen aangebracht. Het doel hiervan was om afkalving van het voorland langs de dijk te voorkomen. Met name golven die veroorzaakt worden door scheepvaart op de rivier veroorzaken afkalving. Daarnaast heeft in het verleden veel beweiding met groot vee plaatsgevonden aan de dijk. Aanwezigheid van groot vee zoals koeien en paarden veroorzaakt al snel beschadigingen. Door steenzetting aan te brengen werd dit voorkomen. Steenzettingen hadden een indirecte functie om de dijk in stand te houden. Inmiddels zijn de inzichten wat betreft steenzettingen veranderd. Beweiding met groot vee wordt niet meer toegestaan op en rond de dijk. Ook vanuit het ontwerpinstrumentarium is de nadruk verschoven van harde bekledingen naar de toepassing van een goed beschermende grasbekleding. Veel steenzettingen die in het verleden zijn aangelegd zijn hierdoor overbodig geworden. Uitzondering daarop zijn de steenzettingen die aan de schaaldijken en de voorhavendijken liggen. Deze delen van de dijk grenzen direct aan de oever van de rivier en zijn afhankelijk van de bescherming van steenzetting tegen afkalving. Met bovenstaande als uitgangspunt wordt onderhoud gepleegd aan de functionele steenzettingen en worden functieloze steenzettingen verwijderd.

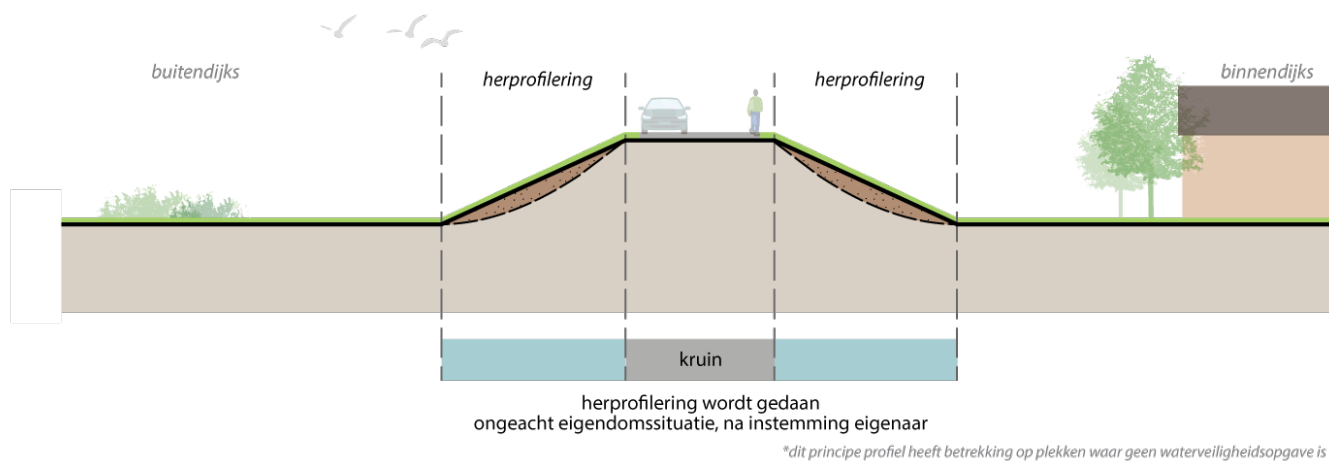
- Herstel beschadigingen: Op enkele locaties langs de dijk bevinden zich beschadigingen. Het betreft schades die veroorzaakt zijn door (mede-)gebruiksfuncties zoals het houden van vee of de uitvoering van dagelijks onderhoud. Te denken valt aan schapenpaadjes, koeienterrassen, dierlijke graverij en rijsschades. Herstel van dergelijke schades valt niet altijd onder het groot onderhoud. Het betreft ook reparaties die onder het dagelijks onderhoud uitgevoerd moeten worden door de gerechtigden van het betreffende perceel. Dat betekent dat daar waar het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden het eigendom heeft, het herstel door de eigen beheerorganisatie wordt uitgevoerd. Daar waar derden het eigendom of formeel gebruik van het perceel hebben, dragen zij de verantwoordelijkheid voor het herstel van schades.

Beheeropgave herprofilering

Legenda

- Herprofilering
- Herprofilering wordt gedaan ongeacht eigendomssituatie

Definitie herprofilering: Het terugbrengen van het talud in de oorspronkelijke staat



Figuur 4-2 Principeprofiel: herprofileren van talud (alt-tekst: Principeprofiel herprofileren van talud)

Daarnaast zijn door de beheerder onderstaande punten buiten het Groot Onderhoudsprogramma Primaire waterkeringen meegegeven als beheeropgave.

- Het is een wens om Puin in bermen van de weg op te ruimen / saneren;
- Juridisch schone dijk voor niet-waterkerende objecten. Dit is een actie waarbij niet-vergunde (dus illegale) objecten alsnog worden getoetst aan de regelgeving. Indien niet-vergunbaar, worden deze objecten eerst beoordeeld of ze gemitigeerd kunnen worden en dan alsnog vergund of dat ze na beoordeling moeten worden verwijderd.
- Het versterken van de biodiversiteit (ook wel opgave bloemrijke dijk genoemd) door het aanbrengen van een bloemrijk grasland op het buitentalud. De wens is in ieder geval buitendijks bloemrijk grasland aan te brengen. Het uitwerken van de uitvoeringsmethoden zal in de planuitwerkingsfase plaats vinden.

Voor bovenstaande maatregelen geldt dat deze sowieso worden uitgevoerd ongeacht of de gronden in eigendom zijn van Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden.

In de verkenningsfase (en daarmee in dit Voorkeursalternatief) zijn de volgende punten van de beheeropgave uitgewerkt (en opgenomen in de VKA-kaart, kaartenbijlage Nota Voorkeursalternatief.):

- Taludverflauwing;
- Beheerstrook;
- Herprofileren van taluds.

De overige punten worden in de planuitwerkingsfase uitgewerkt.

5 Gehanteerde uitgangspunten

5.1 Algemene uitgangspunten

3D modelleer uitgangspunten:

- Voor de huidige situatie wordt de maaiveld meeting (DTM) uit 2022 van Kavel 10 gebruikt.
- Ter plaatse van het wiel DP117 en 118 is de bodem bepaald op basis van inmetingen ([uit de cleanroom van Sterke lekdijken](#)):
- Bij alle ontwerpen is er rekening gehouden met afgraven 30 cm teelaarde (zowel binnen- als buitendijks) en dit nieuw aan te voeren.

5.2 Specifieke technische uitgangspunten beheeropgave

Voor de beheeropgave zijn de uitgangspunten opgesplitst in de volgende onderwerpen:

- Taludverflauwing en herprofilen van taluds
- Beheerstrook
- extra ruimte voor beheermaatregelen

5.2.1 Taludverflauwing en herprofilen van taluds

Conform de basisspecificatie primaire waterkering (BSPWK) moeten taluds voldoen aan de volgende eisen:

- Taluds moeten minimaal een talud hebben van 1 op 2,7. (tussen kruin en teen).
- De maximale uitholling van het talud bedraagt maximaal 10 cm per 3 m.
- De maximale uitholling bedraagt in totaal 8 cm per meter in de verticaal.

Bovenstaande eisen zijn in Civil 3D gecheckt over de gehele dijk (binnen- en buitentalud) met als uitgangspunt de ingemeten kruin- en teenlijn uit de DTM door Kavel10. Locaties die niet voldoen aan bovenstaande eisen worden ontworpen met een 1 op 3 talud.

Het verschil tussen taludverflauwing en herprofilen van taluds wordt bepaald door hoe het talud oorspronkelijk aangelegd is. Per dijkpaal is er een check gedaan op basis van ontwerptekeningen uit de jaren '80 of het talud (binnen en buitendijks) minimaal 1 op 2,7 is aangelegd. Voldoet het talud niet dan spreken we van taludverflauwing, voldoet het talud wel spreken we van herprofilen van taluds.

De ontwerp uitgangspunten taludverflauwing en herprofilen:

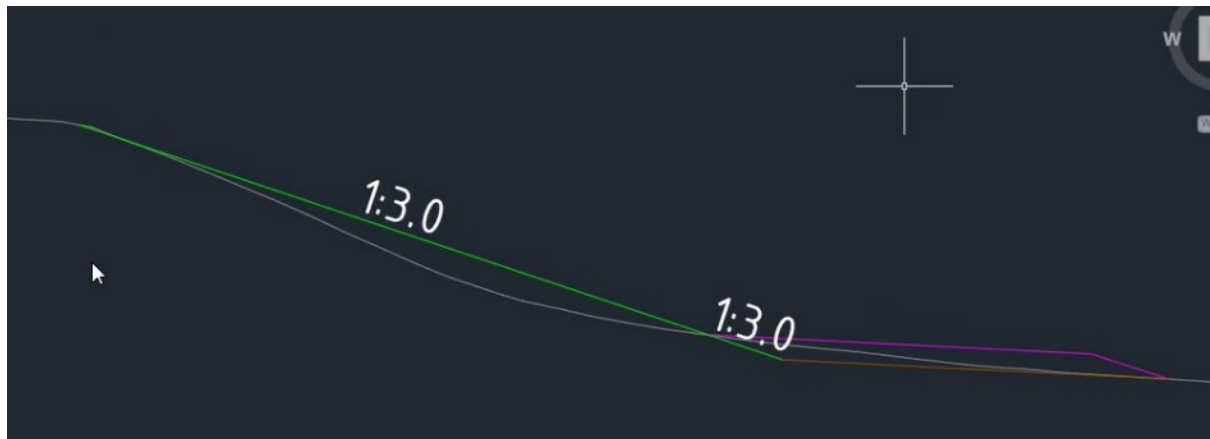
- Als startpunt voor het 1 op 3 talud is de buiten- of de binnenkruinlijn uit het DTM (Kavel 10) gebruikt.
- Het 1 op 3 talud eindigt aan de bovenkant van de beheerstrook.
- De hoogte van de beheerstrook loopt van + x t/m x m NAP. **Buitendijks** dient de beheerstrook op een minimale hoogte te liggen oplopend van 3,50 m NAP bij Hagestein, naar 4,30 m NAP bij Amerongen. Dus een verhang van 80cm van Amerongen tot Hagestein (ongeveer 4cm / km). De exacte waarden worden het resultaat van het uitgewerkte 3D ontwerp.
- De nieuwe teenlijn komt te liggen in de knik tussen het 1 op 3 talud en beheerstrook (1 op 20). In het geval dat het talud al voldoet komt de teen te liggen op de overgang van het 1 op 20 talud van de beheerstrook naar het huidig talud van de dijk.

5.2.2 Beheerstrook

Volgens de basisspecificatie primaire waterkering heeft de kering zowel binnen- als buitendijks een beheerstrook. De beheerstroken hebben een breedte van 5 meter en liggen standaard op een afschot van 1:20 (maximaal 1:10) van de dijk af. De beheerstroken zijn niet voorzien van een verharding, maar van een erosiebestendige grasbekleding. De ondergrond dient voldoende draagkrachtig te zijn om insporing van onderhoudsvoertuigen te voorkomen.

Het ontwerp van de beheerstrook verschilt tussen binnendijs en buitendijs:

- **Binnendijs** wordt de beheerstrook in het huidige maaiveld ingegraven, door: Eerst is een talud van 1 op 3 naar het maaiveld uitgezet. Daar waar het 1 op 3 talud het maaiveld snijdt start theoretisch de beheerstrook. van 5m breed. De beheerstrook komt te liggen onder een helling van 1 op 20. Zie onderstaande figuur (de bruine lijn is de beheerstrook, de paarse lijn is de tijdelijke hulplijn en de groen lijn het 1 op 3 talud van de dijk).



- **Buitendijs** dient de beheerstrook op een minimale hoogte te liggen oplopend van 3,50 m NAP bij Hagestein, naar 4,30 m NAP bij Amerongen. Dus een verhang van 80cm van Amerongen tot Hagestein (ongeveer 4cm / km). De hoogte per rivierkilometer staat in onderstaande tabel. De helling van de beheerstrook is 1 op 20, dus de binnenkant teen komt 25 cm hoger te liggen. De beheerstrook eindigt met een talud van 1 op 2 naar het huidige maaiveld (indien nodig).

rivierkm	Hoogte buitenkant beheerstrook (stapjes van ongeveer 4cm)	rivierkm	Hoogte buitenkant beheerstrook (stapjes van ongeveer 4cm)
922.54	4,30	935	3,90
923	4,30	936	3,86
924	4,26	937	3,83
925	4,23	938	3,79
926	4,19	939	3,75
928	4,15	940	3,72
929	4,12	941	3,68
930	4,08	942	3,65
931	4,05	943	3,61
932	4,01	944	3,57
933	3,97	945	3,54
934	3,94	946	3,50

5.2.3 Ruimtebeslag beheeropgave

Voor de beheeropgave is uitgegaan van het volgende extra ruimtebeslag:

- De aansluiting tussen beheerstrook en maaiveld (met talud 1 op 2) dient ook te worden te worden bij de beheerstrook.

Bovenop het ontwerp van de beheeropgave wordt er een 0,5 meter extra ruimtebeslag ontworpen om speling te hebben, mochten er uitgangspunten wijzigen in de planuitwerking en er toch meer ruimte nodig blijkt te zijn voor het ontwerp. In de planuitwerking wordt deze 0,5 meter uit het ontwerp gehaald indien dit niet meer nodig blijkt te zijn.

5.3 Specifieke technische uitgangspunten veiligheidsopgave

5.3.1 Stabiliteit taludverflauwing

Ten behoeve van het verhogen van de stabiliteit van het binnen- en/of het buitentalud is in het VKA taludverflauwing als principe oplossing toegepast. Deze principe oplossing is erop gericht om de sterkte ter plaatse van hoge glijcirkels te vergroten. Naast dat in de beoordeling deze doorsnedes niet voldeden aan de stabiliteitseis, voldoen de doorsnedes ook niet aan eisen gesteld door beheer. Vanuit beheer is een taludhelling gewenst, zodanig flauw dat de hellingen begaanbaar zijn voor o.a. maaivoertuigen. Voor de Lekdijk betekent dit een taludhelling van 1:3 of flauwer. Dit is dan ook het startpunt bij het bepalen van het benodigde talud om aan de stabiliteitseis te voldoen [1].

Indien blijkt dat 1:3 niet voldoet aan de stabiliteitseis voor STBI en/of STBU, wordt verdere verflauwing toegepast de stappen van 1:3,5 en maximaal 1:4. Indien de berekening bij een dergelijke verflauwing nog steeds niet voldoet aan gestelde stabiliteitseis, wordt overgestapt op het toepassen van een berm en een talud van 1:3 voor zowel de dijk als het taludafschot en/of een mogelijke constructie (bij een grote opgave wat bij ICU niet van toepassing lijkt op basis van de optimalisatieberekeningen). Een eventuele beheeropgave is niet leidend in het al dan niet verflauwen van een taludhelling.

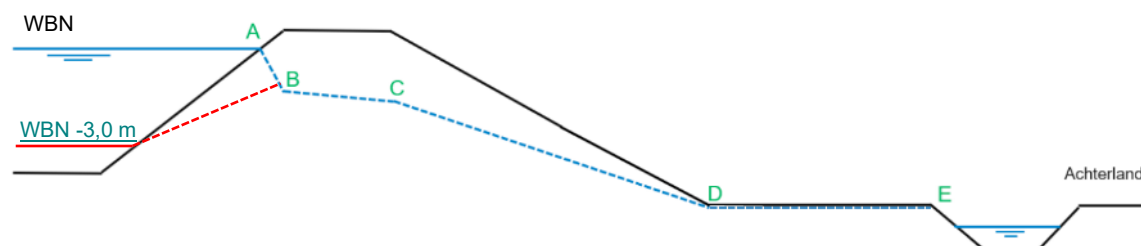
5.3.2 Stabiliteitsbermen

In het geval van een benodigde binnenwaartse versterking ten behoeve van diepe glijcirkels, zal een stabiliteitsberm toegepast worden om de stabiliteit van de doorsnede te verhogen. Het extra gewicht in de doorsnede zorgt voor een hoger tegenwerkend moment, waardoor de sterkte van de doorsnede toeneemt.

Voor de stabiliteitsbermen wordt een helling van 1:10 gehanteerd met een eindhelling van 1:3 waarmee de berm aansluit op het maaiveld. Aangezien iteratief bepaald dient te worden bij welke berm lengte de doorsnede voldoet aan de stabiliteitseis, is gekozen om in stappen van 5 m de benodigde berm lengte te bepalen. Hierbij is het startpunt van de berm een duidelijke knik van de huidige berm en het huidige afschot. Indien er al een bestaande berm aanwezig is, wordt de bestaande berm feitelijk verlengd en/of aangepast.

5.3.3 Freatische lijn

Conform §6.3.5 en figuur 6.2 van de TUN dient de freatische lijn bij het scenario "Val na hoogwater" voor STBU vanaf punt B af te lopen naar een snijpunt (punt A) van het buitentalud en een waterstand gelijk aan WBN -3,0 m onder de kruin (zie Figuur 5-1) [1]. Indien het maaiveld hoger ligt dan WBN -3,0 m onder de kruin, verloopt de freatische lijn naar de buitenteen. Bij het toepassen van een verflaafd talud verschuift "punt A" mee met het buitentalud, zodanig dat het laagste punt van de freatische lijn op het snij-



Figuur 5-1: Schematisatie freatische lijn "Val na hoog water"

punt met het buitentalud blijft liggen.

Bij een binnenwaartse versterking in grond zal het verloop van de freatische lijn en de stijghoogte aangepast dienen te worden conform de TUN [1]. Tevens dient opnieuw bepaald te worden of opbarsten optreedt en waar in de doorsnede dit plaatsvindt. Voor het berekenen van het mechanisme opbarsten is de rekensheet van het OI2014v4 toegepast [2].

5.3.4 Materialisatie taludverflauwing

Voor het uitrekenen van de benodigde taludverflauwing en stabiliteitsbermen is het in de TUN beschreven materiaal “Klei dijksmateriaal (Toplaag)” toegepast [1]. Voor dit materiaal zijn de rekenwaarden van de eigenschappen volgens het Mohr-Coulomb model beschreven:

- Soortelijk droog/nat gewicht $\gamma_{dr}/\gamma_{sat} = 19 \text{ kN/m}^3$
- Cohesie $c' = 5 \text{ kN/m}^2$
- Hoek van inwendige wrijving $\phi' = 24^\circ$

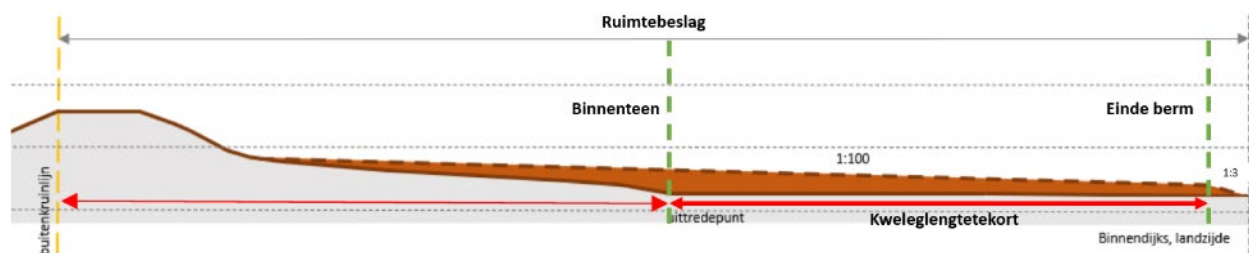
Voor de benodigde stabiliteitsberm wordt een berekening uitgevoerd op basis van de eindsituatie, waarbij de cohesieve lagen volledig geconsolideerd zijn ten gevolge van de opgebrachte grondbelasting. In D-Stability is derhalve voor de cohesieve lagen een consolidatiegraad van 100% gehanteerd.

5.4 Dimensies ontwerp oplossingen

5.4.1 Pipingbermen

Een mogelijke maatregel om piping tegen te gaan is het aanleggen van een pipingberm. Het doel van de berm is het voorkomen van opbarsten te dicht bij de dijk, waardoor het optreden van zandvoerende kwelstroming niet mogelijk is. De berm wordt in de dwarsrichting doorgezet vanaf de binnenteen tot een afstand gelijk aan de benodigde kwelweglengte (bepaald aan de hand van de rekenregel van Selmeijer) minus het aanwezige voorland en dijkbasis. Vanaf dit punt is het niet nodig om opbarsten te voorkomen, omdat voldoende kwelweglengte aanwezig is om terugschrijdende erosie tegen te gaan.

De dikte van de berm wordt in de binnenteen (het knikpunt tussen de binnentalud en binnenberm) en het einde van de berm bepaald, zie Figuur 5-2. Indien in het huidige dijkprofiel een binnenberm aanwezig is, wordt de dikte bepaald aan het einde van de huidige berm i.p.v. de binnenteen. Het einde van de nieuwe berm ligt op een afstand gelijk aan het kwelweglengtetekort binnenwaarts van de bestaande pipingberm. Een lijn door deze punten wordt doorgetrokken tot het dijklichaam. De berm loopt af met helling 1:3.



Figuur 5-2: Schets ontwerp profiel pipingberm met karakteristieke punten.

De stijghoogten in de teen en aan het einde van de berm zijn bepaald aan de hand van model 4C uit het Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken [3], waarbij de stijghoogte linear wordt geïnterpoleerd tussen het WBN bij het intredepunt en de grenspotential van het opbarstpunt aan het einde van het berm.

De dikte van de berm wordt bepaald aan de hand van het opbarstcriterium. Eerst wordt het verschil tussen de stijghoogte en de grenspotential van de deklaag bepaald. Dit wordt gedeeld door 0,733. Dit is gelijk aan de toename van de grenspotential bij aanleg van 1 meter klei met een nat volumiek gewicht

van 17 kN/m³ en is berekend door het effectieve volumieke gewicht te delen door het volumiek gewicht van water. Zie de volgende formule. De afleiding van de formule is te vinden in Bijlage A.

$$\Delta d \geq (SF_{pip}(\phi_z - h_p - D (\gamma'_{n,dek}/\gamma_w)))/((\gamma'_{n,berm}/\gamma_w) + SF_{pip})$$

waarin:

Δd = Dikte van de berm ten opzichte van h_p [m]

D = Deklaagdikte [m]

h_p = Maaiveld hoogte achterland [m NAP]

ϕ_z = Freatische stijghoogte in de deklaag bepaald met model 4C uit [3] [m NAP]

SF_{pip} = opbarstfactor [1,96]

$\gamma'_{n,dek}$ = gemiddelde natte effectieve volumiek gewicht deklaag [kN/m³]

$\gamma'_{n,berm}$ = Natte effectieve volumiek gewicht berm (klei) [kN/m³]

γ_w = Volumiek gewicht water [9,81 kN/m³]

5.4.2 Innovatieve oplossingen – constructies (piping)

Een mogelijke versterkingsmaatregel om piping tegen te gaan is het installeren van een heavescherm. Indien heave, oftewel zandtransport, langs het scherm wordt voorkomen zal geen doorgaande pipegroei ontstaan waardoor het falen van de waterkering door piping wordt voorkomen. Een heavescherm zal echter geen opbarsten voorkomen waardoor nog wel (zandmeevoerende) wellen kunnen ontstaan.

Voor de bepaling van de dimensies van een heavescherm wordt gekeken naar onderloopsheid en achterloopsheid. Om te voldoen op onderloopsheid moet de verticale lengte van het scherm zodanig groot zijn dat het verhang langs het scherm zo klein is dat zanddeeltjes niet langs het scherm omhoog bewegen (heave). Een pipe kan vanaf het uittredepunt over de gehele kwelweg niet alleen verticaal onder maar ook horizontaal om het scherm heen groeien en het naastgelegen dijktraject op heave laten bezwijken. Om te voldoen aan deze achterloopsheid zal een heavescherm voldoende diep en lang door moeten lopen.

In de Planuitwerkingsfase zullen de meeste recente inzichten met betrekking tot het ontwerp van heaveschermen worden benut. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan de Publicatie heaveschermen vanuit de DIV piping.

Onderloopsheid

Om voldoende veiligheid te waarborgen tegen het optreden van heave dient bij een verticale kwelstroming in zandige grond achter een kwelscherm het maximaal optredende verhang kleiner te zijn dan het verhang waarbij heave optreedt. In onderstaande formule is dit beoordelingscriterium conform OI2014v4 [2] weergegeven.

$$i_{optr} = \left(\frac{\Phi_0 - h_p - 0,3d}{l_s} \right) \leq i_c$$

Waarin:

i_{optr} = Optredend verhang [-]

Φ_0 = Stijghoogte ter plaatse van de onderkant van het kwelscherm waar het uittrede verhang maximaal is [m NAP]

h_p = Maaiveldniveau achterland [m NAP]

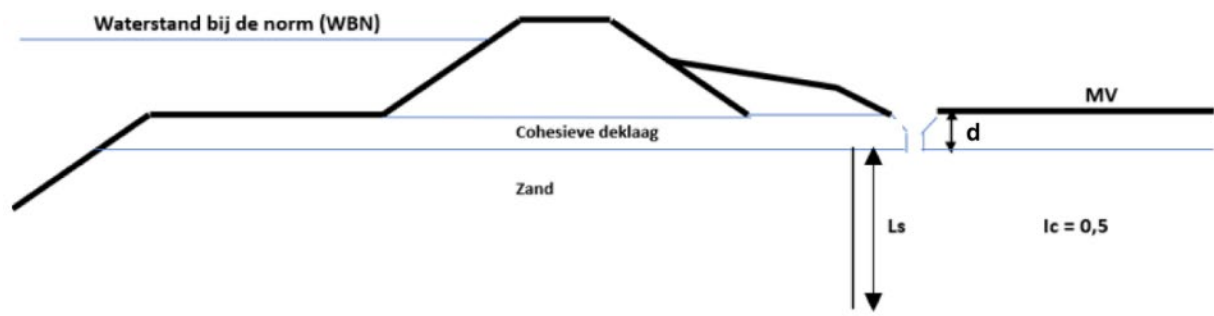
l_s = De benodigde lengte van het heavescherm waar het uittrede verhang maximaal is,

hiervoor wordt de afstand aangehouden vanaf onderkant deklaag tot aan de onderkant van het kwelscherm [m]

$d =$ Effectieve dikte van de deklaag in het achterland

$i_c =$ Kritieke verhang [-]

In bovenstaande formule is het optredende verval met $0,3d$ gereduceerd om de weerstand in het erosie-kanaal in de deklaag te verdisconteren. Een situatieschets van de ontwerpsituatie met de relevante parameters is weergegeven in Figuur 5-3.



Figuur 5-3: Situatieschets ontwerp heaveschermen

De stijghoogte aan de onderzijde van het scherm staat onder invloed van de buitenwaterstand en is hoger dan de stijghoogte bij de pipe (h_p). De stroming langs het scherm is omhooggericht naar de pipe en vanuit de pipe naar het uittredepunt. Het gemiddelde verhang (i) langs het scherm is conform het OI2014v4 [2] ontworpen aan het heavecriterium (i_c). Het heavecriterium is de maat voor het verhang dat maximaal mag optreden voordat heave plaatsvindt. Het toelaatbaar verhang is aangeduid als kritiek verhang i_c [-]. Bij heaveschermen is conform KPR memo [4] een rekenwaarde voor het kritieke verhang van 0,5 zonder beta-afhankelijke veiligheidsfactor y_{he} en schematiseringsfactor y_s toegepast.

Om te verhinderen dat een kwelweg boven het heavescherm ontstaat, wordt geadviseerd om het heavescherm ten minste 0,5m door te zetten in de bovengelegen deklaag. Dit is een praktische maat en dient in een latere fase nader onderbouwd te worden. Zodoende is 0,5m extra scherm lengte benodigd. Uit praktische overwegingen (uitvoerbaarheid) kan het voordeliger zijn om een kwelscherm in de gehele deklaag te installeren. Dit kan leiden tot extra scherm lengte. Dit aspect is in deze analyse niet beschouwd.

Optredende Verval

Door het inbrengen van de heaveschermen verandert de geohydrologische situatie. Hoe dieper de doorsnijding van het watervoerend pakket, des te hoger wordt de stijghoogte bij de onderzijde van het scherm aangezien het stromingsoppervlak door het watervoerende pakket wordt verkleind door de aanwezigheid van het scherm. Dit effect wordt opstuwning genoemd. Opstuwning van water aan de onderkant van het scherm is niet meegenomen in de geëxtrapoleerde stijghoogte op basis van de peilbuisanalyse bij het uittredepunt (binnenteen of achterland). Ook zal de stijghoogte afhankelijk zijn van de uiteindelijke positie van het scherm in de dijk. De stijghoogte onderaan het heavescherm is in deze fase van het project niet berekend. Om deze reden is vanuit conservatief oogpunt uitgegaan van de normwaterstand (WBN). De stijghoogte bij de onderkant van het scherm kan in de volgende fase door middel van numerieke stromingsanalyses worden aangescherpt. Voor het WBN is uitgegaan van de waarden uit de TUN [1]. Het niveau bij het uittredepunt is gelijk van het maaiveldniveau.

Achterloopsheid

Doordat een pipe vanaf het uittredepunt over de gehele kwelweg niet alleen verticaal maar ook horizontaal langs het scherm kan groeien is het van belang dat de kwelweg voldoende lang is om te voorkomen

dat een pipe horizontaal om het scherm heen groeit en het naastgelegen dijkvak vervolgens bezwijkt op heave. Achterloopsheid zal niet optreden als een heavescherm over voldoende lengte langs de dijk aanwezig is. Zodoende moeten de heaveschermen mogelijk doorgezet worden in dijkvakken die in eerste instantie wel op piping voldoen.

Voor het bepalen van deze horizontale lengte is gebruik gemaakt van de resultaten uit de veiligheidsanalyse [5]. Aan de hand van de rekenregel van Sellmeijer is per dijkpaal de benodigde kwelweglengte en het kwelweglengtetekort berekend. Op basis van het tekort in kwelweglengte is een inschatting gemaakt hoe ver een heavescherm in langsrichting moet worden doorgezet in de goedgekeurde vakken. Hierin is het tekort in kwelweglengte gelijk gesteld aan de (horizontale) lengte van het scherm. Het betreft hier een grove inschatting. Voor een scherpere benadering kan in meer detail worden gekeken naar de ligging, geometrie en eigenschappen van de dijk bij de naastgelegen dijkpaal.

Lengte en type heavescherm per dijkvak

Om de kosten te kunnen bepalen is per dijkpaal de lengte van de heavescherm bepaald. Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De heaveschermen bestaan uit stalen damwanden (dit is een conservatief uitgangspunt t.b.v. de kostenraming).
- Het type damwand is bepaald op basis van het schadevrij installeren van de damwand.
- De installeerbaarheid van de damwanden is bepaald op basis van 1 representatieve sondering waarbij gebruik is gemaakt van de NVAF grafieken die in CUR166 zijn opgenomen. Uit de representatieve sondering is de gemiddelde conusweerstand bepaald. Zie Bijlage D.

Aanbevelingen

- Detaillering lengte op basis van achterloopsheid:
In deze notitie is ervan uitgegaan dat het scherm over het gehele kwelweglengtetekort met dezelfde diepte zal worden doorgezet. Wanneer met meer detail wordt gekeken naar de ligging, geometrie en eigenschappen van de dijk bij de naastgelegen dijkpaal hoeft het scherm mogelijk minder ver worden doorgezet en kan de lengte van het scherm in langsrichting stapsgewijs worden verkort (minder diep en wellicht ook minder breed?).
- Beschouwing scherm lengte en dikte deklaag i.r.t. praktische uitvoerbaarheid:
In de notitie is een toeslag van 0,5 m toegepast om te verhinderen dat een kwelweg boven het heavescherm door ontstaat. Hierbij is nog geen rekening houden met onzekerheden betreffende de bepaling van onderkant van de deklaag of de uitvoeringwijze. In het uiteindelijk (kosten)ontwerp moet een relatie worden gelegd tussen de deklaag dikte, scherm lengte en praktische uitvoerbaarheid. Bij een deklaagdikte van 4 m met hoog grondwaterniveau zal men eerst diep moeten ontgraven, inclusief bemaling, om de plank in te brengen op + 0,5 m t.o.v. de onderkant van de deklaag. In dergelijke situaties is een langere plank met kopniveau dicht aan maaiveld mogelijk aantrekkelijker.
- In de Planuitwerkingsfase, die nog volgt, zal ook beoordeeld worden of innovatieve, en daarmee vaak ruimtebesparende, oplossingen rendabel zijn voor de versterkingen bij ICU.

5.4.3 Voorlandverbeteringen

1. Kleilaag

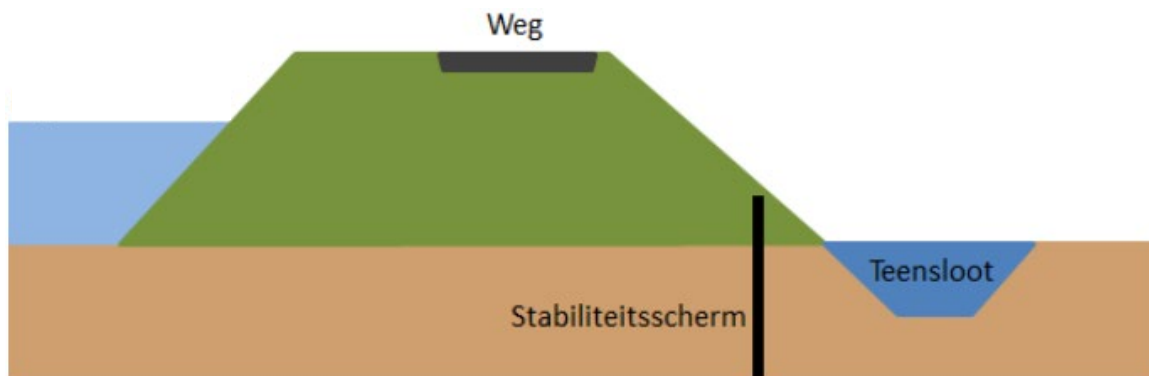
- Conform "Onderzoeksrapport zandmeevoerende wellen" [6] is in het algemeen een voldoende waterdichte kleilaag tenminste 1 m dik met een lutumgehalte van 20 % of meer en een zandgehalte van 35 % of minder. Om de kleilaag te beschermen tegen aantasting door bijvoorbeeld

ploegen, erosie, wortels, etc. verdient het aanbeveling om op de kleilaag nog een laag grond aan te brengen. De samenstelling en dikte van deze laag is afhankelijk van het toekomstig gebruik van het terrein. Voorkomen moet worden dat de kleilaag wordt aangetast of uitdroogt. Bij gebruik als grasland kan een minimale dikte van de afdekkende laag van 0,3 m bijvoorbeeld voldoende zijn. In andere gevallen zal een laagdikte van 0,5 m of meer nodig zijn.

5.4.4 Stabiliteitsconstructie

Een stabiliteitsconstructie wordt toegepast op locaties waar een oplossing in grond een te grote impact heeft op de omgeving of de opgave te groot is om in grond op te lossen. De werking van een dergelijke constructie is tweeledig, namelijk 1) het voorkomen van een afschuiving van het binnen talud en 2) het voorkomen van een diepe glijcirkel.

Voor werking 1) ligt de focus op het vast houden van de bovenkant van een constructie waar bij werking 2) de focus juist ligt op het fixeren van de onderkant. Zie onderstaande afbeelding voor een impressie. In basis zal een stabiliteits scherm tot orde 1 m in een vaste zandlaag aangebracht worden. Dit om met name de onderkant voldoende vast te zetten.



Figuur 5-4 Indicatie van stabiliteitsscherm

6 Ontwerp Veiligheidsopgave

Het ontwerp voor de veiligheidsopgave is per maatwerklocatie in onderstaande paragrafen uitgewerkt. Het doel van de beschreven ontwerpen in deze fase van het project is het voeden van de afweging voor wat betreft het Voorkeursalternatief. De ontwerpen zijn dan ook nog niet geoptimaliseerd. In de volgende projectfase, de Planuitwerking, kunnen met name constructies geoptimaliseerd worden op basis van nog uit voeren lokaal grondonderzoek. Ook zal in de volgende projectfase beoordeeld worden of innovatieve oplossingen tot een beter passend ontwerp leiden dan nu hier berekend. In de huidige berekeningen is uitgegaan van een conservatieve constructie met stalen damwanden.

6.1 Maatwerklocatie 1a - Steenwaard

In de veiligheidsanalyse is een deel van de Lekdijk tussen de Prinses Irenesluizen en de Culemborgse veer, in deelgebied Steenwaard afgekeurd op het faalmechanisme piping [5]. In het gebied is deels weinig voorland beschikbaar, waardoor een voorlandverbetering geen oplossing biedt. Ook staat direct langs de dijk bebouwing waardoor het aanleggen van een pipingberm niet wenselijk is. Een constructieve oplossing is dus de enige optie. In dit hoofdstuk worden de dimensies van de heavescherm voor de Steenwaard gepresenteerd. De dimensies zijn bepaald aan de hand van de in paragraaf 5.3 en 5.4 beschreven aanpak.



Figuur 6-1: Kaart met kansrijke oplossingen locatie 1a. (alt-tekst: Kaart met ligging van de kansrijke oplossingen voor locatie 1a)

6.1.1 STPH; Heavescherm

Kwelweglengtetekort

In de veiligheidsanalyse [5] is een beoordeling van het faalmechanisme piping opgenomen waarbij ook het kwelweglengtetekort is bepaald. In Tabel 6-1 is het kwelweglengtetekort opgenomen per dijkpaal.

Tabel 6-1: Kwelweglengte tekort conform veiligheidsanalyse [5]

Dijkpaal	Kwelweglengtetekort [m]
DP195	103,12
DP196	120,35
DP197	143,46
DP198	188,18
DP199	80,27
DP200	114,99
DP201	123,56
DP202	16,76

Ontwerp

Het ontwerp van de heaveschermen is per afgekeurde dijkpaal uitgewerkt in Tabel 6-2. Op basis van het optredend stijghoogteverschil is de benodigde constructielengte L_s telkens vergroot tot het optredend verval langs het heavescherm gelijk is aan het kritieke verhang langs het heavescherm.

Tabel 6-2: Ontwerp benodigde constructielengte heaveschermen per dijkpaal.

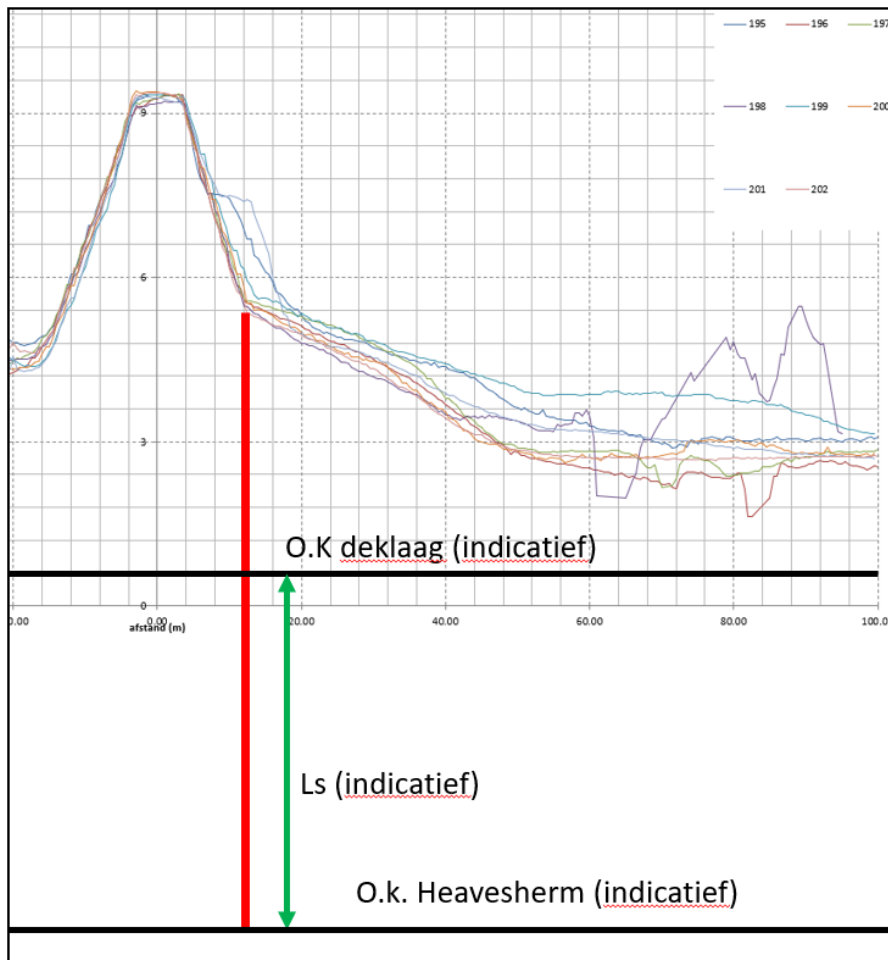
Dijkpaal	WBN [m NAP]	MV [m NAP]	d [m]	i_c [-]	L_s [m]	$L_s + 0,5m$ [m]	o.k. scherm [m NAP]
DP195	7,73	2,9	3	0,5	7,86	8,36	-7,96
DP196	7,72	2,2	2,3	0,5	9,65	10,15	-9,75
DP197	7,72	2,2	1,7	0,5	10,01	10,51	-9,51
DP198	7,69	1,9	0,4	0,5	11,33	11,83	-9,83
DP199	7,63	3,0	2,0	0,5	8,05	8,55	-7,05
DP200	7,62	2,6	1,2	0,5	9,33	9,83	-7,93
DP201	7,55	2,6	1,5	0,5	8,99	9,49	-7,89
DP202 ¹⁾	7,55	2,6	2,2	0,5	3,89 ¹⁾	4,39	-3,49

WBN = Waterstand bij Norm [NAP...m]
 MV = bestaand maaiveld [NAP...m]
 d = dikte deklaag [m]
 i_c = kritisch verhang [-]
 L_s = lengte scherm in het watervoerend pakket [m]
 o.k. scherm = teenniveau van het scherm [NAP...m]

1) Versterking betreft afsluiten tussenzandlaag

Lengte en type stalen heavescherm

De lengte en type heavescherm is bepaald aan de hand van de uitgangspunten in paragraaf 5.4.2. De lengte en types per dijkpaal is opgenomen in Tabel 6-3. Deze lengte hoort bij een damwand gepositieerd ter plaatse van het knikpunt van het binnentalud en de binnenberm. Zie Figuur 6-2.



Figuur 6-2: Schematisering afmetingen heavescherm maatwerklocatie 1b.

Tabel 6-3: Afmetingen en type heavescherm maatwerklocatie 1a.

locatie	Maaiveld binnenteen [m NAP]	Lengte damwand [m]	Type (stalen damwand) [-]
DP195	4,99	12,95	AZ14-700
DP196	5,51	15,25	AZ16-700
DP197	5,57	15,08	AZ16-700
DP198	5,39	15,22	AZ16-700
DP199	5,61	12,66	AZ14-700
DP200	5,40	13,33	AZ14-700
DP201	4,98	12,87	AZ14-700
DP202	5,32	9,31	AZ12-700

Achterloopsheid

Zoals beschreven in paragraaf 5.4.2 moet het scherm in in de langsrichting worden doorgezet gelijk aan het kwelweglengtetekort van de dijkpalen aan de uiteinde van de maatwerklocatie. De kwelweglengtetekorten zijn bepaald aan de hand van de rekenregel van Sellmeijer. Dijkpaal DP195 is de meest oostelijk gelegen dijkpaal. Uit de resultaten van de veiligheidsanalyse [5] blijkt dat het kwelweglengtetekort hier 103 meter bedraagt. Het heavescherm moet dus 103 m richting het oosten worden doorgezet. Dijkpaal 202 is de meest westelijk gelegen dijkpaal. Hier bedraagt het kwelweglengtetekort 21,5 meter. Het heavescherm moet dus 21,5m richting het westen worden doorgezet. De versterking bedraagt 8 dijkpalen wat neerkomt op een lengte van 800m. De totaal benodigde heavescherm lengte in horizontale richting is dus 924,5m.

6.2 Maatwerklocatie 2b - Schalkwijker Buitenwaard West

In de veiligheidsanalyse is een deel van de Lekdijk tussen de Prinses Irenesluizen en de Culemborgse Veer, in het westen van deelgebied Schalkwijker Buitenwaard afgekeurd op het faalmechanisme piping [5]. Voor dit deel van de dijk zijn alle versterkingsmaatregelen tegen piping beschouwd. In dit hoofdstuk worden de dimensies van de ontwerp oplossingen gepresenteerd.

6.2.1 STPH; Voorlandverbetering en pipingberm

Voor locatie 2b is de pipingopgave pas recent bovengekomen. Dit door een noodzakelijke correctie van de responsfactor. Dit is een factor die bepaalt hoe sterk het grondwater binnendijks in het watervoerende pakket reageert op een hogere rivierwaterstand. Dit is een belangrijke parameter voor het ontstaan van piping. Deze factor hebben we moeten herzien, omdat er gerekend was met een verkeerd uitgangspunt, namelijk dat de voorlanden in recente hoogwaters onder water hebben gestaan. Dit is echter niet het geval geweest. Hierdoor is het voor het project niet mogelijk geweest om voor deze locatie de kansrijke oplossingen in grond te bepalen, de MER beoordeling uit te voeren en de keuze voor het VKA vast te stellen. Dit wordt doorgeschoven naar de planuitwerkingsfase. In de tussentijd doen we nader (veld)onderzoek naar deze locatie om zeker te weten of dit veiligheidsopgave is.

Het kwelweglengte te kort bedraagt op deze locatie orde 100 m maar zal in aanloop naar de Planuitwerkingsfase nog nader beschouwd worden op basis van mogelijk nader onderzoek. De combinatie van een voorlandverbetering en een pipingberm samen moet dan in het genoemde tekort aan kwelweglengte voorzien.

6.2.2 STPH; Heavescherm

Ontwerp

Het ontwerp van de heaveschermen is per afgekeurde dijkpaal uitgewerkt in Tabel 6-4. Op basis van het optredend stijghoogteverschil is de benodigde constructielengte L_s telkens vergroot tot het optredend verval langs het heavescherm gelijk is aan het kritieke verhang langs het heavescherm.

Tabel 6-4: Ontwerp benodigde constructielengte heaveschermen per dijkpaal.

Dijkpaal	WBN [m NAP]	MV [m NAP]	d [m]	l_c [-]	L_s [m]	$L_s +0,5m$ [m]	o.k. scherm [m NAP]
DP172	7,95	2,4	3,9	0,5	8,77	9,22	-10,77
DP173	7,95	2,3	3,8	0,5	9,02	9,52	-10,52

WBN = Waterstand bij Norm [NAP...m]
MV = bestaand maaiveld [NAP...m]
d = dikte deklaag [m]
 l_c = kritisch verhang [-]
 L_s = lengte scherm in het watervoerendpakket [m]
o.k. scherm = teenniveau van het scherm [NAP...m]

Lengte en type stalen heavescherm

De lengte en type heavescherm is bepaald aan de hand van de uitgangspunten in paragraaf 5.4.2. De lengte en types per dijkpaal is opgenomen in Tabel 6-5. Deze lengte hoort bij een damwand gepositioneerd ter plaatse van het knikpunt van het binnentalud en de binnenberm. Zie Figuur 6-4.

Tabel 6-5: Afmetingen en type heavescherm maatwerklocatie 2b

Locatie	Maaiveld Binneteen [m NAP]	Lengte damwand [m]	Type (stalen damwand) [-]
DP172	5,71	16,48	AZ18-700
DP173	5,58	16,10	AZ18-700



Figuur 6-3: Schematisering afmetingen heavescherm maatwerklocatie 2b.

Achterloopsheid

Zoals beschreven in paragraaf 5.4.2 moet het scherm in de langsrichting worden doorgezet gelijk aan het kwelweglengtetekort van de dijken aan de uiteinde van de maatwerklocatie. De kwelweglengtetekorten zijn bepaald aan de hand van de rekenregel van Sellmeijer. Dijkpaal DP172 is de meest oostelijk gelegen dijkpaal. Uit de resultaten van de veiligheidsanalyse [5] blijkt dat het kwelweglengtetekort hier 66,55 m bedraagt. Het heavescherm moet dus 66,55 m richting het oosten worden doorgezet. Dijkpaal 173 is de meest westelijk gelegen dijkpaal. Hier bedraagt het kwelweglengtetekort 44,84 m. Het heavescherm moet dus 44,84 m richting het westen worden doorgezet. De versterking bedraagt 2 dijken wat neerkomt op een lengte van 200m. De totaal benodigde heavescherm lengte is dus 311,39 m.

6.3 Maatwerklocatie 3 - Den Oord

In de veiligheidsanalyse is een deel van de Lekdijk tussen de Prinses Irenesluizen en de Culemborgse Veer, in het deelgebied Den Oord afgekeurd op het faalmechanisme piping [5]. Voor dit deel van de dijk zijn versterkingsmaatregelen tegen piping beschouwd. In dit hoofdstuk worden de dimensies van de ontwerp oplossingen gepresenteerd.



Figuur 6-4: Kaart met kansrijke oplossingen locatie 3. (alt-tekst: Kaart met ligging van de kansrijke oplossingen voor locatie 3)

6.3.1 STPH; Voorlandverbetering en pipingberm

Kwelweglengtetekort

In de veiligheidsanalyse [5] is een beoordeling van het faalmechanisme piping opgenomen waarbij ook het kwelweglengtetekort is bepaald. In tabel Tabel 6-11 is het kwelweglengtetekort opgenomen per dijkpaal.

Dijkpaal	Breedte ruimtebeslag [m] voorlandverbetering tot buitenteen
DP156	69,75
DP157	72,70

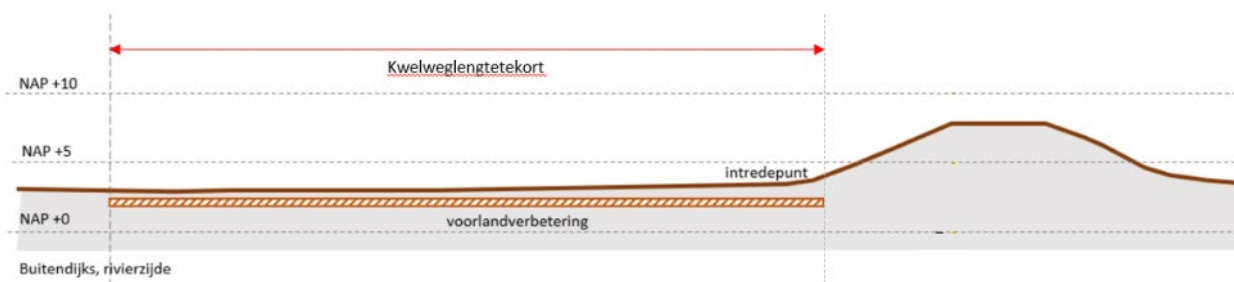
Tabel 6-6: Kwelweglengte tekort conform veiligheidsanalyse [5]

Alternatief met voorlandverbetering

Dijkpaal	Kwelweglengtetekort [m]
156	69,75
157	72,70

Tabel 6-7: Afmeting voorlandverbetering

Het ruimtebeslag van de voorlandverbetering tot de buitenteenlijn is opgenomen in Tabel 6-12. .



Figuur 6-5: Definitie afmetingen voorlandverbetering.

Alternatief met pipingberm

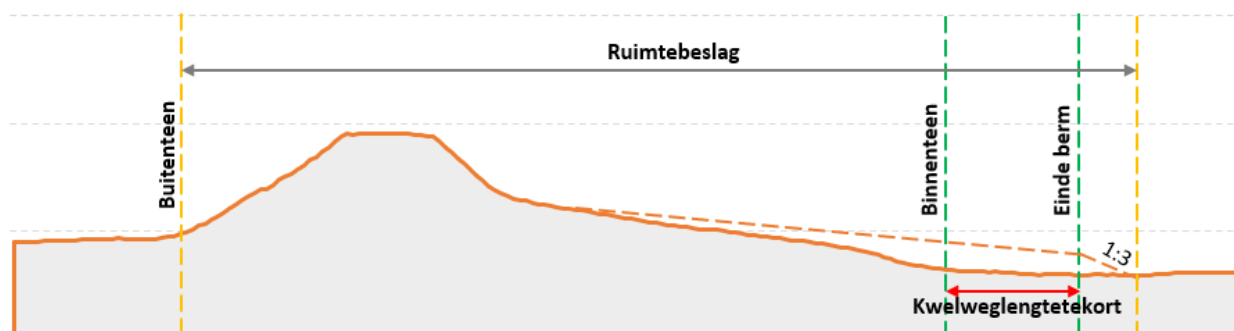
De minimale dimensies van de pipingberm per dijkpaal is opgenomen in Tabel 6-13. Het ruimte beslag is bepaald ten opzichte van de buitenteenlijn, zie ook Figuur 6-6.

Tabel 6-8: Afmetingen pipingberm.

Dijkpaal	Dikte binnenteen [m]	Afstand BIT ¹⁾ en BUKR ²⁾ [m]	Dikte einde berm [m]	Afstand einde berm BUT ²⁾ [m]	Ruimtebeslag t.o.v. BUT ²⁾ [m]
DP156	2,50	68	0,44	137,75	137,9
DP157	2,58	65,5	0,44	138,20	138,33

1) Binnenteen

2) Buitenteenlijn



Figuur 6-6: Schets ontwerprofiel pipingberm met karakteristieke punten.

6.3.2 STPH; Heavescherm

Ontwerp

Het ontwerp van de heaveschermen is per afgekeurde dijkpaal uitgewerkt in Tabel 6-14. Op basis van het optredend stijghoogteverschil is de benodigde constructielengte L_s telkens vergroot tot het optredend verval langs het heavescherm gelijk is aan het kritieke verhang langs het heavescherm. [1]

Tabel 6-9: Ontwerp benodigde constructielengte heaveschermen per dijkpaal.

Dijkpaal	WBN [m NAP]	MV [m NAP]	d [m]	I_c [-]	L_s [m]	$L_s + 0,5m$ [m]	o.k. scherm [m NAP]
DP156	8,03	1,3	1,5	0,5	5,07	5,57	-5,77
DP157	8,02	1,3	1,4	0,5	5,07	5,57	-5,17

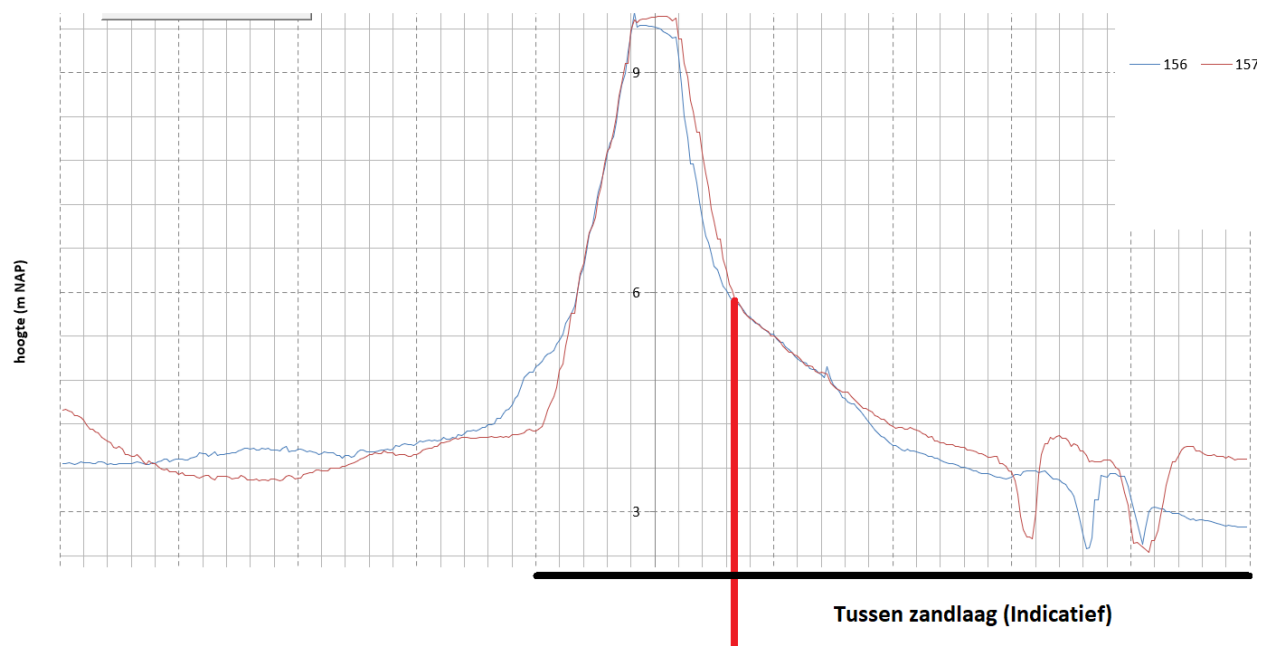
WBN = Waterstand bij Norm [NAP...m]
 MV = bestaand maaiveld [NAP...m]
 d = dikte deklaag [m]
 I_c = kritisch verhang [-]
 L_s = lengte scherm tussenzandlaag [m]
 o.k. scherm = teenniveau van het scherm [NAP...m]

Lengte en type stalen heavescherm

De lengte en type stalen Heavescherm is bepaald aan de hand van de uitgangspunten in paragraaf 5.4.2. De lengte en types per dijkpaal zijn opgenomen in Tabel 6-15. Deze lengte hoort bij een damwand gepositioneerd ter plaatse van het knippunt van het binnentalud en de binnenberm. Zie Figuur 6-7.

Tabel 6-10: Afmetingen en type heavescherm Maatwerklocatie 3

Locatie	Maaiveld binnenteen [m NAP]	Gemiddelde lengte damwand [m]	Type (stalen damwand) [-]
DP156	5,71	11,66	AZ12-700
DP157	5,58	10,81	AZ12-700



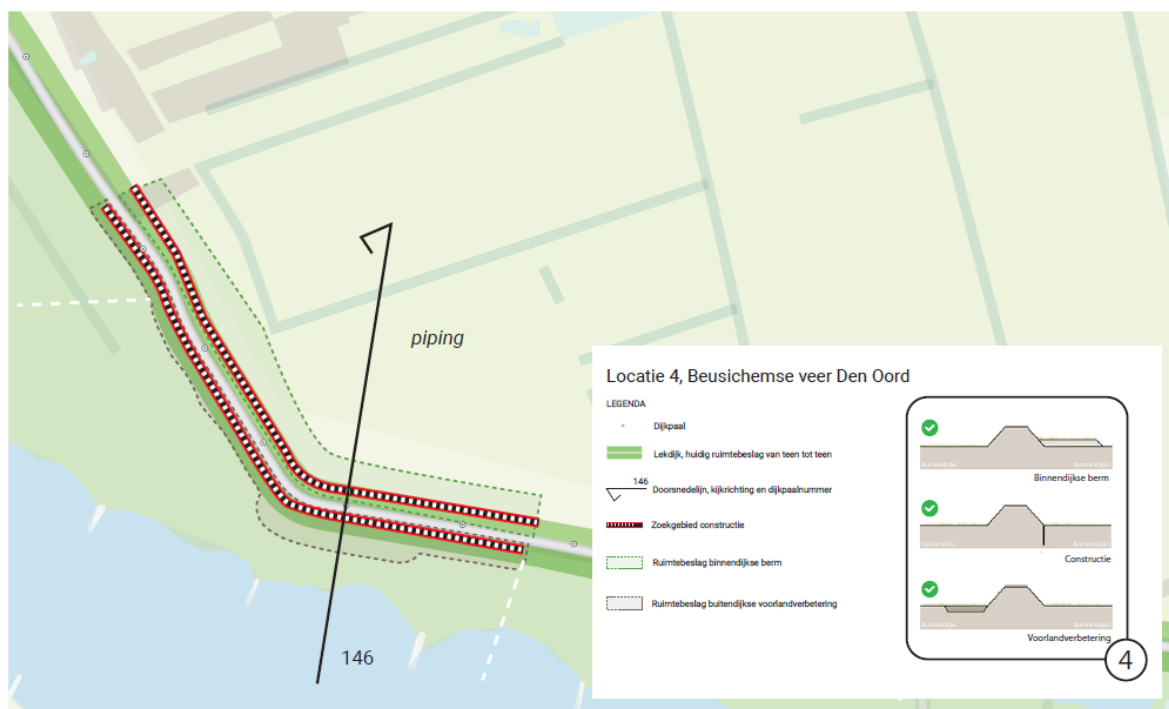
Figuur 6-7: Schematisering afmetingen heavescherm maatwerklocatie 4.

Achterloopsheid

Zoals beschreven in paragraaf 5.4.2 moet het scherm in in de langsrichting worden doorgezet gelijk aan het kwelweglengtetekort van de dijkpalen aan de uiteinde van de maatwerklocatie. De kwelweglengtetekorten zijn bepaald aan de hand van de rekenregel van Sellmeijer. Dijkpaal DP156 is de meest oostelijk gelegen dijkpaal. Uit de resultaten van de veiligheidsanalyse [5] blijkt dat het kwelweglengtetekort hier 69,75 m bedraagt. De heavescherm moet dus 69,75 m richting het oosten worden doorgezet. Dijkpaal 157 is de meest westelijk gelegen dijkpaal. Hier bedraagt het kwelweglengtetekort 72,70 m. De heavescherm moet dus 72,70 m richting het westen worden doorgezet. De versterking bedraagt 2 dijkpalen wat neerkomt op een lengte van 200m. De totaal benodigde heavescherm lengte in de horizontale richting is dus 342,45 m.

6.4 Maatwerklocatie 4 - Beusichemse veer Den Oord

In de veiligheidsanalyse is een deel van de Lekdijk tussen de Prinses Irenesluizen en de Culemborgse veer, in het deelgebied tussen Beusichemse veer en Den Oord afgekeurd op het faalmechanisme piping [5]. Voor dit deel van de dijk zijn alle versterkingsmaatregelen tegen piping beschouwd. In dit hoofdstuk worden de dimensies van de ontwerp oplossingen gepresenteerd. De dimensies zijn bepaald aan de hand van de in paragraaf 5.4 beschreven aanpakken.



Figuur 6-8: Kaart met kansrijke oplossingen locatie 4. (alt-tekst: Kaart met ligging van de kansrijke oplossingen voor locatie 4)

6.4.1 STPH; Voorlandverbetering en pipingberm

Kwelweglengtetekort

In de veiligheidsanalyse [5] is een beoordeling van het faalmechanisme piping opgenomen waarbij ook het kwelweglengtetekort is bepaald. In tabel Tabel 6-11 is het kwelweglengtetekort opgenomen per dijkpaal.

Tabel 6-11: Kwelweglengte tekort conform veiligheidsanalyse [5]

Dijkpaal	Kwelweglengtetekort [m]
145	10,78
146	22,26
147	6,91
148	6,78
149	4,70

Alternatief met voorlandverbetering

Het ruimtebeslag van de voorlandverbetering tot de buitenteenlijn is opgenomen in Tabel 6-12. .

Tabel 6-12: Afmeting voorlandverbetering.



Figuur 6-9: Definitie afmetingen voorlandverbetering.

Dijkpaal	Breedte ruimtebeslag [m] voorlandverbetering tot buitenteen
DP145	10,78
DP146	22,26
DP147	6,91
DP148	6,78
DP149	4,70

Alternatief met pipingberm

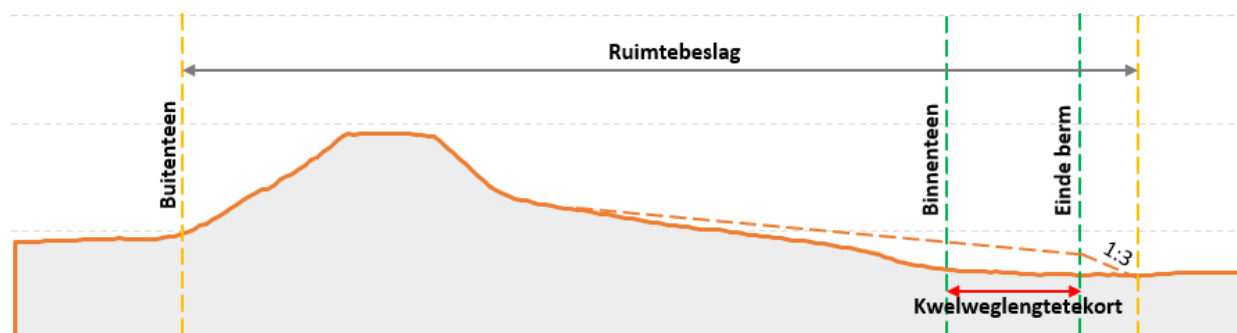
De minimale dimensies van de pipingberm per dijkpaal is opgenomen in Tabel 6-13. Het ruimte beslag is bepaald ten opzichte van de buitenteenlijn, zie ook Figuur 6-9.

Tabel 6-13: Afmetingen pipingberm.

Dijkpaal	Dikte binnenteen [m]	Afstand BIT ¹⁾ en BUKR ²⁾ [m]	Dikte einde berm [m]	Afstand einde berm BUT ²⁾ [m]	Ruimtebeslag t.o.v. BUT ²⁾ [m]
DP145	1,10	50	0,78	75,78	78,12
DP146	1,41	46	0,71	83,26	85,38
DP147	0,95	57,5	0,73	79,41	81,61
DP148	0,96	52,5	0,74	74,28	76,50
DP149	0,89	54,5	0,74	74,20	76,42

¹⁾ Binnenteen

2) Buitenteenlijn



Figuur 6-10: Schets ontwerpprofiel pipingberm met karakteristieke punten.

6.4.2 STPH; Heavescherm

Ontwerp

Het ontwerp van de heaveschermen is per afgekeurde dijkpaal uitgewerkt in Tabel 6-14. Op basis van het optredend stijghoogteverschil is de benodigde constructielengte L_s telkens vergroot tot het optredend verval langs het heavescherm gelijk is aan het kritieke verhang langs het heavescherm. [1]

Tabel 6-14: Ontwerp benodigde constructielengte heaveschermen per dijkpaal.

Dijkpaal	WBN [m NAP]	MV [m NAP]	d [m]	l_c [-]	L_s [m]	$L_s +0,5m$ [m]	o.k. scherm [m NAP]
DP145	8,16	2,9	3,0	0,5	2,52	3,02	-3,12
DP146	8,14	2,6	2,7	0,5	2,52	3,02	-3,12
DP147	8,08	2,7	2,8	0,5	2,52	3,02	-3,12
DP148	8,07	2,8	2,8	0,5	2,91	3,41	-3,41
DP149	8,07	2,8	2,8	0,5	2,91	3,41	-3,41

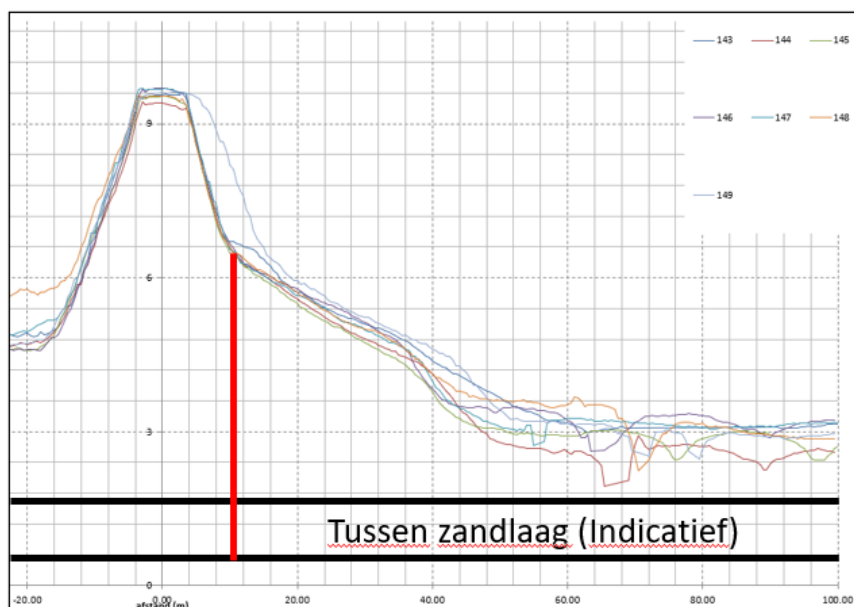
WBN = Waterstand bij Norm [NAP...m]
 MV = bestaand maaiveld [NAP...m]
 d = dikte deklaag [m]
 l_c = kritisch verhang [-]
 L_s = lengte scherm tussenzandlaag [m]
 o.k. scherm = teenniveau van het scherm [NAP...m]

Lengte en type stalen heavescherm

De lengte en type stalen Heavescherm is bepaald aan de hand van de uitgangspunten in paragraaf 5.4.2. De lengte en types per dijkpaal zijn opgenomen in Tabel 6-15. Deze lengte hoort bij een damwand gepositioneerd ter plaatse van het knikpunt van het binnentalud en de binnenberm. Zie Figuur 6-10.

Tabel 6-15: Afmetingen en type heavescherm Maatwerklocatie 4

Locatie	Maaiveld binneteen [m NAP]	Gemiddelde lengte damwand [m]	Type (stalen damwand) [-]
DP145	6,43	9,55	AZ12-700
DP146	6,26	9,38	AZ12-700
DP147	6,28	9,40	AZ12-700
DP148	6,44	9,85	AZ12-700
DP149	6,23	9,64	AZ12-700



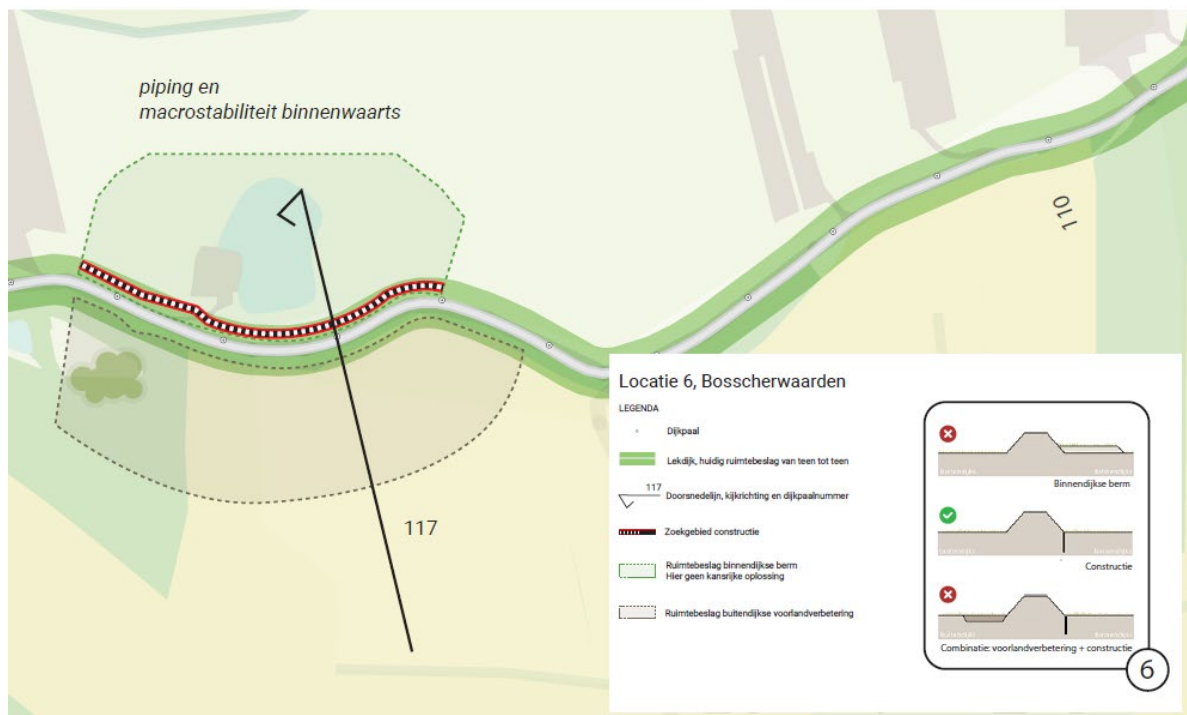
Figuur 6-11: Schematisering afmetingen heavescherm maatwerklocatie 4.

Achterloopsheid

Zoals beschreven in paragraaf 5.4.2 moet het scherm in de langsrichting worden doorgezet gelijk aan het kwelweglengtetekort van de dijkpalen aan de uiteinde van de maatwerklocatie. De kwelweglengtetekorten zijn bepaald aan de hand van de rekenregel van Sellmeijer. Dijkpaal DP145 is de meest oostelijk gelegen dijkpaal. Uit de resultaten van de veiligheidsanalyse [5] blijkt dat het kwelweglengtetekort hier 10,78 m bedraagt. Het heavescherm moet dus 10,78 m richting het oosten worden doorgezet. Dijkpaal 149 is de meest westelijk gelegen dijkpaal. Hier bedraagt het kwelweglengtetekort 4,70 m. De heavescherm moet dus 4,70 m richting het westen worden doorgezet. De versterking bedraagt 5 dijkpalen wat neerkomt op een lengte van 500m. De totaal benodigde heavescherm lengte in de horizontaal is dus 515,48 m.

6.5 Maatwerklocatie 6 – Bosscherwaarden DP117 t/m DP118

In de veiligheidsanalyse is een deel van de Lekdijk tussen de Prinses Irenesluizen en de Culemborgse veer, in het deelgebied Bosccherwaarden afgekeurd op het faalmechanisme piping en macro stabiliteit binnenwaarts [5]: DP117 t/m DP118, waardoor een versterkingsmaatregel benodigd is voor beide faalmechanismen. Rekening moet worden gehouden met de binnendijkse aanwezigheid van een wiel. In dit hoofdstuk worden de dimensies van de constructie voor zowel de stabiliteits- als de heavefunctie bepaald.

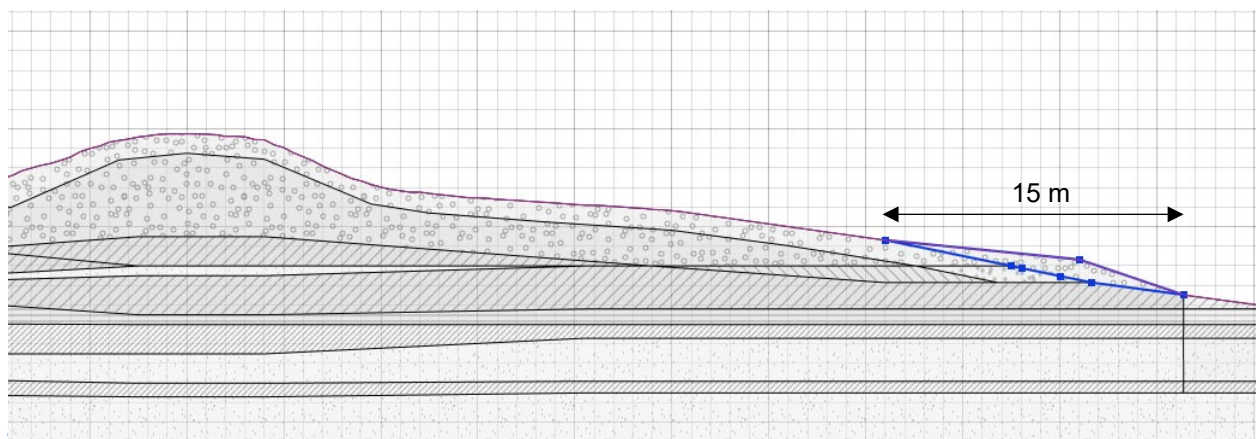


Figuur 6-12: Kaart met kansrijke oplossingen locatie 6. (alt-tekst: Kaart met ligging van de kansrijke oplossingen voor locatie 6)

6.5.1 STBI; Stabiliteitsberm

In de beoordeling is maatwerklocatie 6 (het Wiel) op basis van doorsnede DWP117 afgekeurd op STBI (S.F. = 1,42) [5]. Door het oevertalud van het wiel strak achter de dijk, kan hier niet genoeg sterkte gegenereerd worden om te voldoen aan de stabiliteitseis bij de norm. Op basis van deze resultaten is een versterkingsmaatregel in grond (stabiliteitsberm) uitgewerkt om het tegenwerkende moment laag op het talud te verhogen, waardoor de doorsnede voldoet aan de stabiliteitseis.

Op basis van de berekeningen is bepaald dat een berm lengte van 10 m benodigd is om voldoende sterkte in de doorsnede te genereren (S.F. = 1,52) (Bijlage B). Voor deze doorsnede geldt dat de benodigde berm ca. 8 m³ per strekkende meter betreft. Afhankelijk van de geometrie van het tracé langs het wiel, kan deze hoeveelheid afwijken.

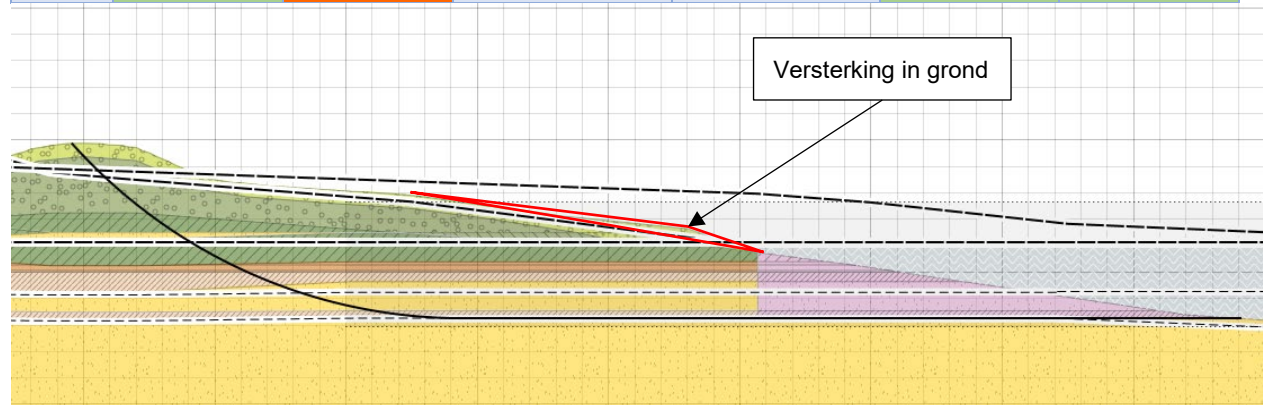


In onderstaand figuur is de diepe glijcirkel weergegeven op basis van de uitgangspunten en de geschematiseerde stabiliteitsberm. De glijcirkel is lang en uitgerekt (Figuur 6-12), wat vergelijkbaar is met het resultaat uit de veiligheidsanalyse [5]. Alleen zorgt de stabiliteitsberm in deze situatie voor meer gewicht en daardoor voldoende extra sterkte in de onderste helft van de glijcirkel om boven de veiligheidseis uit te komen (Tabel 6-16).

Een aandachtspunt voor dit ontwerp betreft de locatie van de nieuw aangebrachte berm. Vanwege de grootte van de glijcirkel en het gewenste positieve effect op de stabiliteit is de berm laag geplaatst. Hierdoor ligt de berm voor een groot gedeelte onder de freatische lijn. Mocht gekozen worden voor dit alternatief, dan dient in de DO/UO fase gekeken te worden naar de mogelijkheid tot uitvoering van deze constructie.

Tabel 6-16. Resultaten toegepaste taludverflauwing DWP 117

DWP	Huidige veiligheid		Toegepast stabiliteitsberm		Nieuw situatie	
	S.F. hoog	S.F. diep	[m]	[m ³]	S.F. hoog	S.F. diep
[-]	[-]	[-]	[m]	[m ³]	[-]	[-]
117	1,83	1,42	10	8	1,82	1,52



Figuur 6-14. Maatgevende glijcirkel DWP117 (S.F. = 1,52)

6.5.2 STPH; Ontwerp stabiliteits-/heavescherm

Kwelweglengtetekort

In de veiligheidsanalyse [5] is een beoordeling van het faalmechanisme piping opgenomen waarbij ook het kwelweglengtetekort is bepaald. In Tabel 6-11 is het kwelweglengtetekort opgenomen per dijkpaal.

Tabel 6-17: Kwelweglengte tekort conform veiligheidsanalyse [5]

Dijkpaal	Kwelweglengtetekort [m]
117	118,61
118	121,51

Ontwerp

Het ontwerp van de heaveschermen is per afgekeurde dijkpaal uitgewerkt in Tabel 6-18. Op basis van het optredend stijghoogteverschil is de benodigde constructielengte L_s telkens vergroot tot het optredend verval langs het heavescherm gelijk is aan het kritieke verhang langs het heavescherm.

Tabel 6-18: Ontwerp benodigde constructielengte heaveschermen per dijkpaal.

Dijkpaal	WBN [m NAP]	MV [m NAP]	d [m]	lc [-]	Ls [m]	Ls +0,5m [m]	o.k. scherm [m NAP]
DP117	8,54	1,9	5,2	0,5	10,17	10,67	-13,47
DP118	8,54	1,9	5,2	0,5	10,17	10,67	-13,47

WBN = Waterstand bij Norm [NAP...m]
 MV = bestaand maaiveld [NAP...m]
 d = dikte deklaag [m]
 lc = kritisch verhang [-]
 Ls = lengte scherm in het watervoerend pakket [m]
 o.k. scherm = teenniveau van het scherm [NAP...m]

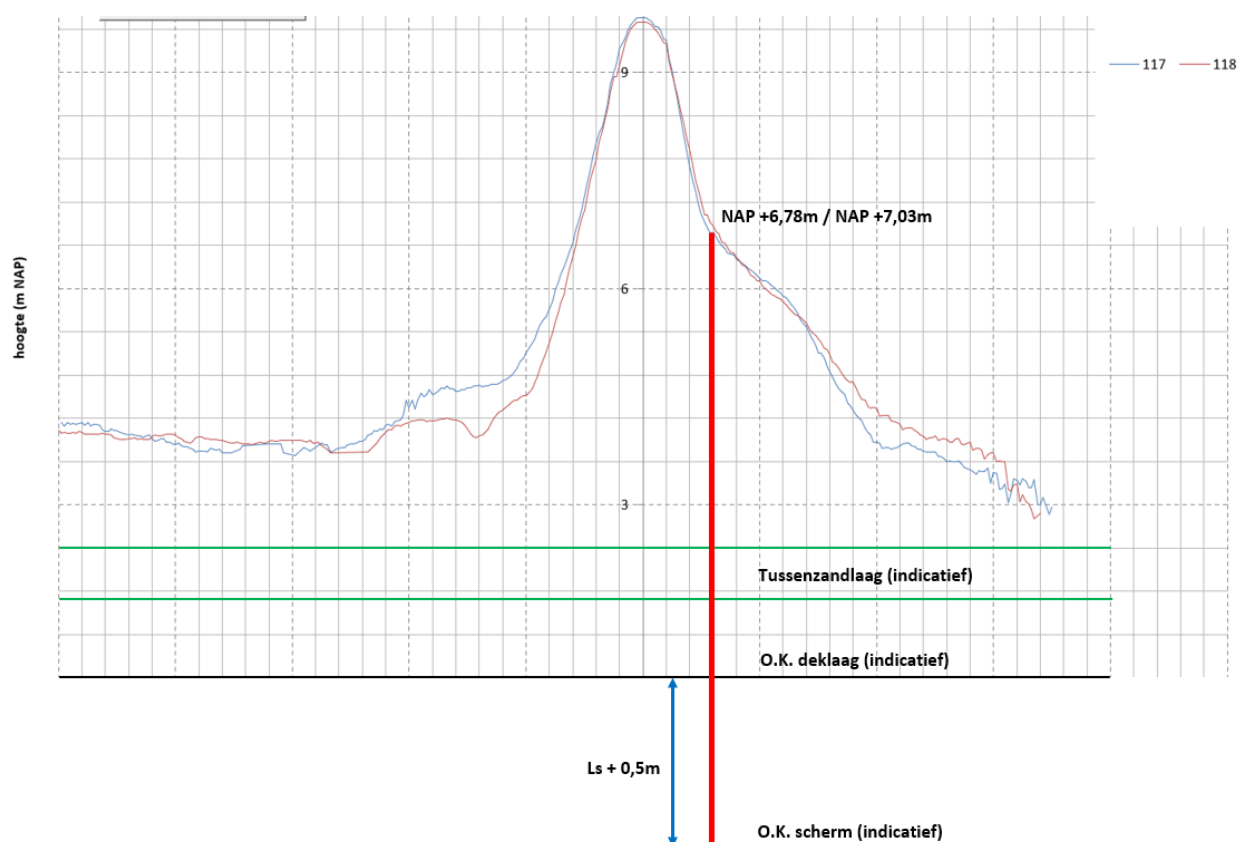
Lengte en type stalen heavescherm

De lengte en type heavescherm is bepaald aan de hand van de uitgangspunten in paragraaf 5.4.2. De lengte en types per dijkpaal zijn opgenomen in Tabel 6-19. Deze lengte hoort bij een damwand gepositioneerd ter plaatse van het knikpunt van het binnentalud en de binnenberm. Zie Figuur 6-13.

Tabel 6-19: Afmetingen en type heavescherm maatwerklocatie 6

Locatie	Maaiveld binnenteen [m NAP]	Lengte damwand [m]	Type (stalen damwand) [-]
DP117	6,78	20,3	AZ28-700 ¹⁾
DP118	7,03	20,5	AZ28-700 ¹⁾

¹⁾ Benodigd t.b.v. stabiliteitsfunctie, AZ20-700 voldoet t.b.v. inbrengbaarheid



Achterloopsheid

Zoals beschreven in paragraaf 5.4.2 moet het scherm in in de langsrichting worden doorgezet gelijk aan het kwelweglengtetekort van de dijpalen aan de uiteinde van de maatwerklocatie. Echter loopt de dijk ter plaatse van het wiel in een bocht. Hierdoor is de benodigde schermlengte herzien. De totaal benodigde heaveschermlengte is vastgesteld op 345 m, rekening houdend met geometrie, het aantal dijpalen en het beschikbare voorland.

7 Innovaties

In de planuitwerking wordt er voor de uitwerking van de veiligheidsopgave gekeken naar het toepassen van innovaties, door middel van een uitgebreide trade of matrix (TOM). Binnen het programma Sterke Lekdijk wordt er gekeken naar de volgende innovaties die relevant zijn voor het VKA van dijkversterking Irenesluis – Culemborgse Veer:

- Polock Filterscherm (constructie)
- Grofzandbarrière (Constructie)
- Mixed in Place wand (MiP-wand) (constructie)
- SoSEAL (constructie)
- Kunststof Damwand (constructie)
- Bentonietmat (voorlandmaatregel)

Deze innovaties zijn hieronder toegelicht en in bijlage G is van elke innovatie een InfoGraphic opgenomen. Aan het eind van dit hoofdstuk is op basis hiervan een grove analyse gemaakt van de kansrijkheid van het toepassen van de innovaties voor het oplossen van de veiligheidsopgave bij het ICU (kansen-scan).

Prolock Filterscherm

Zie bijlage G voor een uitgebreide InfoGraphic

Productbeschrijving: Een Prolock filterscherm voorkomt dat er kanalen (pipes) ontstaan onder de dijk bij hoogwater. Deze pipes kunnen de dijk verzwakken. Dit kan leiden tot het bezwijken van de dijk. Het Prolock filterscherm laat water door, maar houdt zand en andere gronddeeltjes tegen. Het Prolock filterscherm zorgt er daarmee voor dat de pipe wordt gestopt zonder de waterstroom te hinderen.

Het Prolock filterscherm is gemaakt van gerecyclede PVC-elementen met een breedte van 0,5 m. Het honingraat profiel is voorzien van verticale sleuven en gevuld met een filtermateriaal (fijn zand). Dit filtermateriaal houdt het zand uit de ondergrond tegen en laat water door.

De toepassing van filters komt voort uit de wereld van de drinkwaterputten. Het is dus niet een compleet nieuwe techniek, wel een nieuwe toepassing.

Realisatie: Prolock Filterscherm kan worden toegepast tot een maximale diepte van het scherm:

- Tot 8 m beperkt risico
- Tot 10 m significant risico
- > 10 m naar verwachting niet haalbaar

Grofzandbarrière

Zie bijlage G voor een uitgebreide InfoGraphic

Productbeschrijving: Een grofzandbarrière voorkomt dat er kanalen (piping) ontstaan onder de dijk bij hoogwater. Door piping kan de dijk verzwakken wat kan leiden tot het bezwijken van de dijk. Het grove zand laat water door, maar houdt fijn zand en andere gronddeeltjes tegen. De grofzandbarrière zorgt er daarmee voor dat de pipe wordt gestopt zonder de waterstroom te verhinderen.

De grofzandbarrière bestaat uit een muur van zand met daarbovenop een kleikap. Hoe grof het zand moet zijn, is afgestemd op de omliggende grondeigenschappen. Hierdoor blijft de zandmuur gedurende zijn hele levensduur netjes op zijn plek.

Realisatie: De Grofzandbarrière kan tot een maximale deklaagdikte van 6,5 m (kettingfrees heeft maximale diepte van 8 m) worden uitgevoerd.

Mixed in Place wand (MiP-wand)

Zie bijlage G voor een uitgebreide InfoGraphic

Productbeschrijving: Een Mixed-in-Place wand heeft twee functies. Ten eerste voorkomt de wand dat er bij hoog water kanalen onder de dijk ontstaan (piping). Dit verzwakt mogelijk de dijk. De wand onderbreekt de vorming van deze kanalen en stopt daarmee de waterstroom. Ten tweede stabiliseert de wand de grond. Zo voorkomt de wand dat de dijk aan de landzijde afschuift (in elkaar zakt).

Een Mixed-in-Place wand bestaat uit een mengsel van bestaande grond en een toegevoegd materiaal. Dit kan een cement en klei mengsel zijn met een bindmiddel. Hierdoor wordt de grond sterker en slecht waterdoorlatend. De wand zal 0,5 tot 1,5 meter dik zijn. Doordat er veel van de bestaande grond gebruikt wordt, is dit een methode die zeer duurzaam is.

Realisatie: Verwacht wordt dat een Mixed in Place wand tot 15m onder maaiveld gerealiseerd kan worden.

SoSEAL

Zie bijlage G voor een uitgebreide InfoGraphic

Productbeschrijving: We injecteren SoSEAL (zie beschrijving hieronder wat dit precies inhoudt) in zandlagen die gevoelig zijn voor piping. Zo ontstaat er een barrière die de doorlatendheid van de zandlaag vermindert. Hierdoor neemt de stroomsnelheid van het water af. De waterstromen zijn daardoor niet sterk genoeg meer om doorgaande pipes onder de dijk te laten ontstaan. Dit voorkomt het risico op het bezwijken van de dijk door piping.

De grondstof van SoSEAL (Soil Sealing by Enhanced Aluminum and DOM Leaching) bestaat uit bodemeigen organische stof. Aan deze organische deeltjes wordt een zoutoplossing toegevoegd om vlokken te vormen. De vlokken worden bovengronds bereid.

De vlokken worden geïnjecteerd in een zandlaag die water meevoert onder de dijk. Tijdens injectie zijn de vlokken klein en kunnen ze makkelijk door de grond verspreiden. Na injectie kleven de vlokken aan elkaar tot grote vlokken. De grote SoSEAL-vlokken verstoppen de holle ruimtes tussen de zanddeeltjes waardoor de doorlatendheid sterk vermindert. Het injecteren gebeurt zonder ingrijpende grondverstoring en met minimale overlast voor de omgeving.

Realisatie: Verwacht wordt dat SoSEAL tot 20m onder maaiveld gerealiseerd kan worden.

Bentonietmat

Zie bijlage G voor een uitgebreide InfoGraphic

Als voorlandverbetering kan er naast klei-inkassing ook gekozen worden voor de toepassing van bentonietmatten (zie figuur Figuur 5-4). Deze matten van circa 1 cm dik bestaan uit meerlaags hoogwaardige geo-textielen waartussen bentonietpoeder is verwerkt.



Figuur 5-1: Aanbrengen bentonietmat (waterschap Limburg)

Productbeschrijving: Een bentonietmat voorkomt dat er kanalen (pipes) ontstaan onder de dijk, want die kunnen de dijk verzwakken. Dit kan leiden tot het bezwijken van de dijk. De bentonietmat zorgt ervoor dat de weg die de ondergrondse waterstromen moeten afleggen veel langer wordt. Hierdoor heeft het water meer weerstand waardoor de stroomsnelheid van het water afneemt. De waterstromen zijn daardoor niet sterk genoeg meer om zand mee te nemen en zo ontstaan er geen doorgaande pipes.

De bentonietmat bestaat uit twee lagen geotextiel met daartussen bentoniet. De laag bentoniet zet uit als het in aanraking komt met water en wordt een laag die slecht water doorlaat, te vergelijken met een dikke laag klei.

Realisatie: De bentonietmat wordt minimaal 80 centimeter onder de bestaande grond aangebracht. Dit gebeurt buitendijks in het voorland.

Kansrijkheid innovaties VKA

Onderstaande tabel geeft aan welke innovaties per locatie nog kansrijk zijn.

Voor locatie 6 is eigenlijk geen enkele innovatie kansrijk op basis van de huidige ontwerpvereisten. Er moet een 13 meter diepe wand komen voor STBI, maar voor STPH moet deze 20 meter diep zijn. Twee constructietypen naast elkaar is niet realistisch, en juist de combinatie van faalmechanismen maakt dat Prolick, GZB, SoSeal en MIP niet kansrijk zijn. Omdat je ook voor STBI nog iets moet doen, dat alleen in staal kan. Voor locatie 1a en 2b zijn nog alle innovaties voor een constructie kansrijk. Voor de locaties 3 en 4 met voorlandverbetering is de innovatie Bentonietmat nog kansrijk.

Tabel 7-1: Kansrijke innovaties per locatie (groen = kansrijk, rood = niet kansrijk, grijs = niet van toepassing voor deze locatie.)

Innovatie	Locatie 1a Constructie	Locatie 2b Constructie	Locatie 3 Voorlandverbete- ring	Locatie 4 Voorlandverbete- ring	Locatie 6 Constructie
Prolock Filterscherm					Stabiliteit blijft
Grofzandbarrière					Stabiliteit blijft
Mixed in Place wand					i.v.m. benodigde diepte
SoSEAL					Stabiliteit blijft
Bentonietmat					

8 Ontwerp beheeropgave

Voor de trajecten zonder waterveiligheidsopgave speelt er een beheeropgave. In de verkenningsfase is het ontwerp voor taludverflauwing, herprofilen van taluds en de beheerstrook ontworpen. Het complete Voorkeuralternatief (VKA) inclusief de beheeropgave is gepresenteerd in de overzichtskaart van bijlage F. In bijlage G staan de dwarsprofielen. Voor locatie 1a zijn tevens de binnendijkse op- en afritten al ontworpen.

Bijlage A. Afleiding

Afleiding formule dikte deklaag

Het opbarstcriterium uit onderzoeksrapport zandmeevoerende wellen [6]:

$$(\phi_z - h_p) \leq \frac{1}{SF_{pip}} (\phi_{z,g} - h_p)$$

$$(\phi_z - h_p) \leq \frac{1}{SF_{pip}} (D \frac{\gamma'_{n,dek}}{\gamma'} + h_p - h_p) \rightarrow \phi_{z,g} = D \frac{\gamma'_{n,dek}}{\gamma'} + h_p$$

$$(\phi_z - h_p) \leq \frac{1}{SF_{pip}} (D \frac{\gamma'_{n,dek}}{\gamma'})$$

Ontleding maaiveld hoogte en deklaag dikte in huidige hoogte en dikte achterland en situatie na aanbrengen berm.

$$(\phi_z - h_p + \Delta d) \leq \frac{1}{SF_{pip}} (D \frac{\gamma'_{n,dek}}{\gamma'} + \Delta d \frac{\gamma'_{n,berm}}{\gamma'})$$

Herleiden voor Δd :

$$\Delta d \geq (SF_{pip}(\phi_z - h_p - D(\gamma'_{n,dek}/\gamma_w)))/((\gamma'_{n,berm}/\gamma_w) + SF_{pip})$$

De freatische stijghoogte aan de onderkant van de deklaag (ϕ_z) in de vorige formule is bepaald op basis model 4C uit TRWD[ref]. Het uitgangspunt hierbij is dat de deklaag aan het einde van de berm opbarst, waardoor er ontspanning van waterspanningen optreedt. ϕ_2 correspondeert aan de stijghoogte in de binnenteen en ϕ_3 aan de stijghoogte aan het einde van de berm nabij het aangenomen opbarstpunt. De formules zijn als volgt:

$$\phi_2 = \phi_{grens} + (\phi_0 - \phi_{grens}) ((L_3 + 0,44D_{wvl})/(L_2 + L_3 + 0,44D_{wvl}))$$

$$\phi_3 = \phi_{grens} + (\phi_0 - \phi_{grens}) ((0,44D_{wvl})/(L_2 + L_3 + 0,44D_{wvl}))$$

Waarin

ϕ_{grens} = grenspotentiaal opbarstpunt [m NAP]

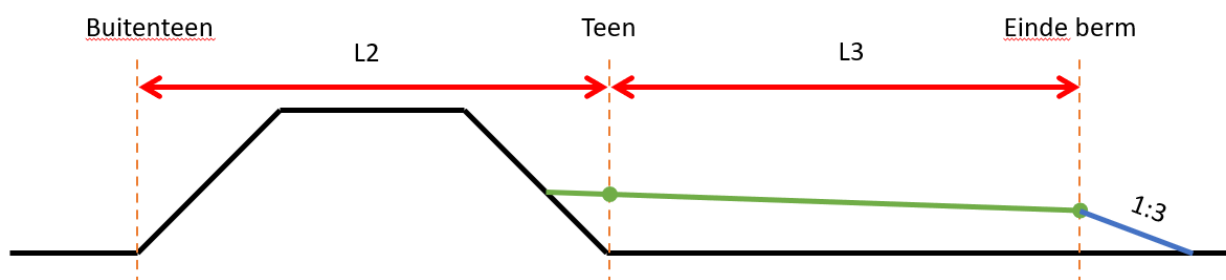
ϕ_0 = Potentiaal voorland (WBN) [m NAP]

D_{wvl} = Dikte watervoerende laag

L_2 = Lengte dijkbasis [m]

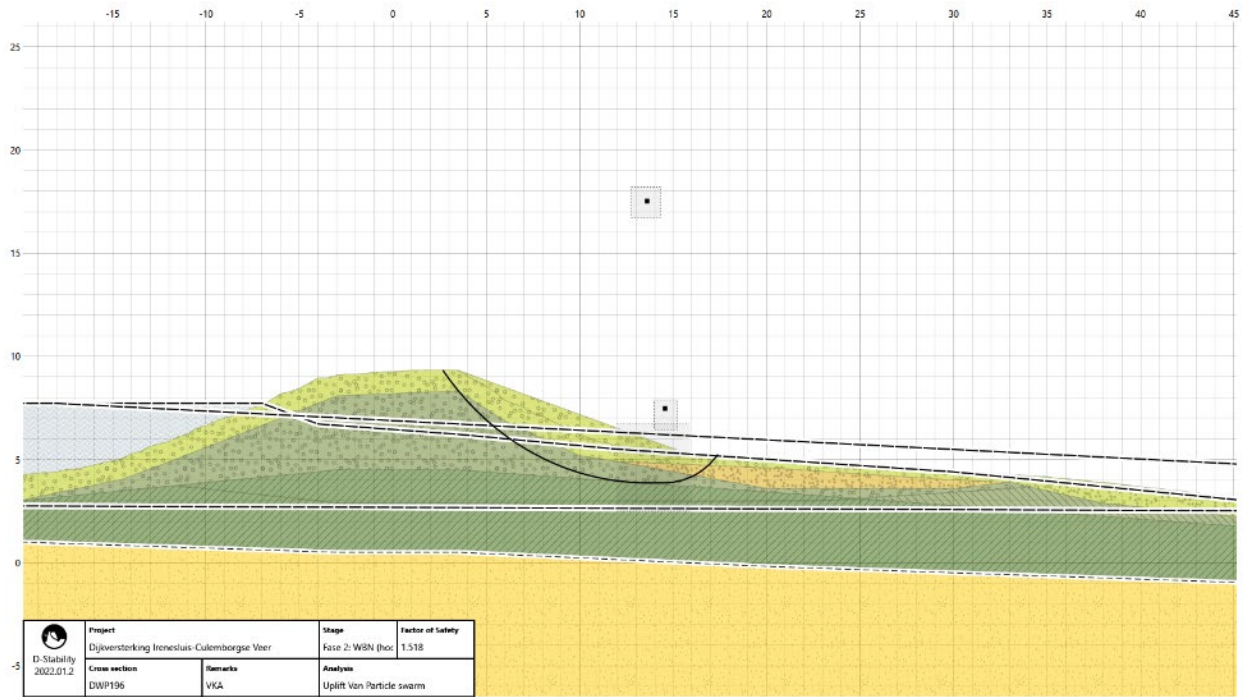
L_3 = Lengte berm vanaf binnenteen [m]

Merk op dat $L_2 + L_3$ gelijk is aan het benodigde kwelweglengte. L_1 uit de originele formule is gelijkgesteld aan 0, omdat de deklaagdikte ontoereikend is om weerstand te verlenen aan het voorland.

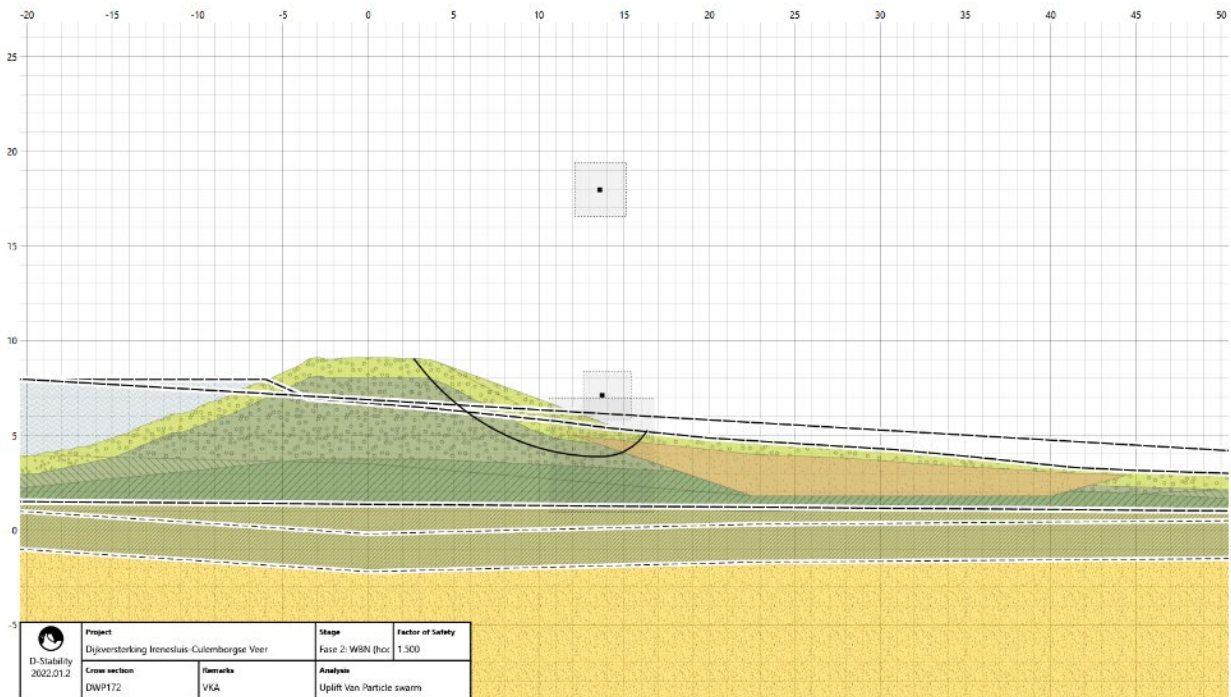


Bijlage B. Stabiliteitsberekeningen

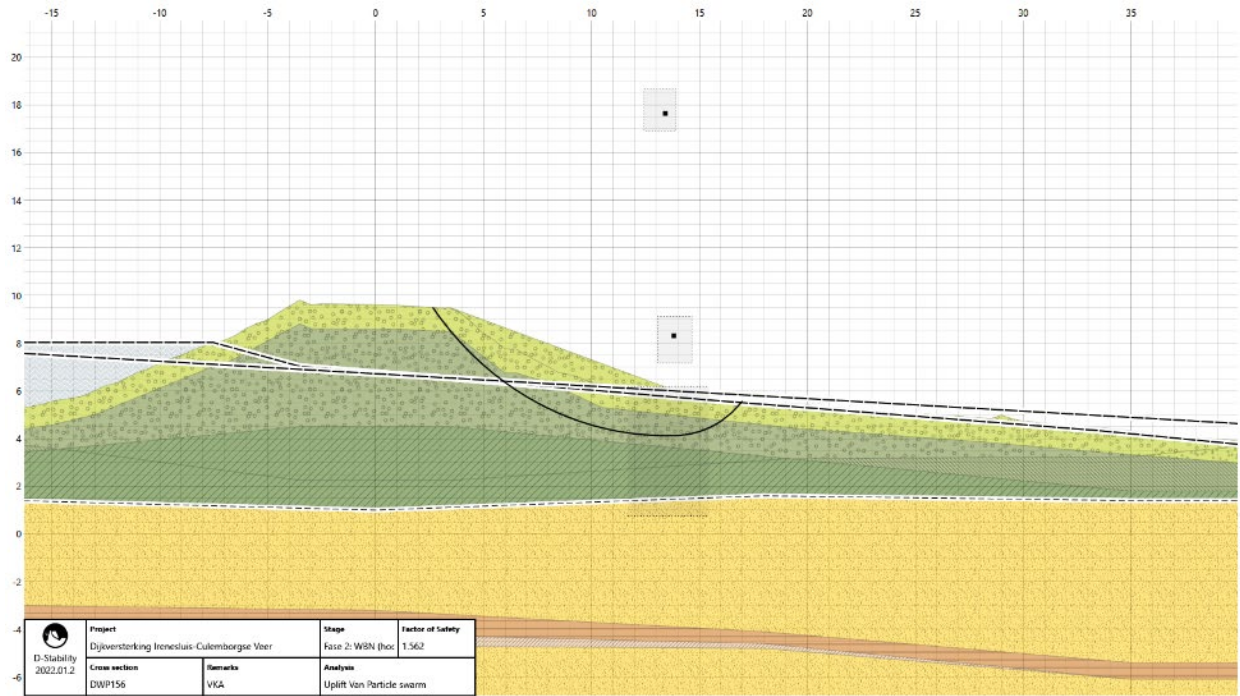
DWP196 – WBN (hoog)



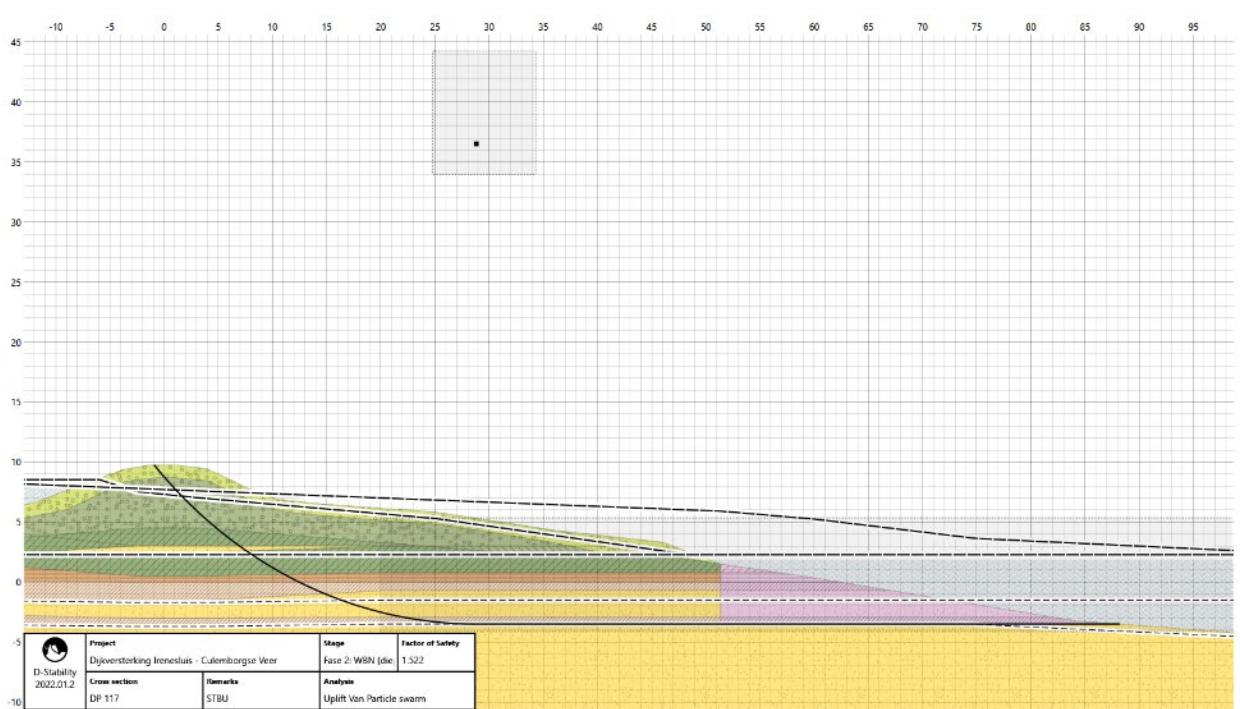
DWP172 – WBN (hoog)



DWP156 - WBN (hoog)



DWP117+050 – WBN (diep)



Bijlage C. Afmetingen heaveschermen

Heaveschermen ICU											
Dijkpaal	Oplossing	Reden	m.v. psheet [m NAP]	Dikte deklaag [m]	Benodigde lengte in w.v.p. [m]	Dikte tussenzandlaag [m]	Diepte scherm [m NAP]	m.v. DWP GEN [m NAP]	Lengte scherm [m]	CUR grafiek	Materiaal [-]
DP 117	Heavescherm/Stabiliteitscherm		1.9	5.2	10.17		-13.47	5.83	19.3	6	AZ24-700
DP 118	Heavescherm/Stabiliteitscherm		1.9	5.2	10.17		-13.47	5.83	19.3	6	AZ24-700
DP144	Afsluiten t.z.l. bij BIT	heaveschermlengte > dikte t.z.l.	2.4	2.6		2.24	-2.94	6.21	9.15	5	AZ12-700/kunststof
DP145	Afsluiten t.z.l. bij BIT	heaveschermlengte > dikte t.z.l.	2.9	3		2.52	-3.12	6.43	9.55	5	AZ12-700/kunststof
DP146	Afsluiten t.z.l. bij BIT	heaveschermlengte > dikte t.z.l.	2.6	2.7		2.52	-3.12	6.26	9.38	5	AZ12-700/kunststof
DP147	Afsluiten t.z.l. bij BIT	heaveschermlengte > dikte t.z.l.	2.7	2.8		2.52	-3.12	6.28	9.4	5	AZ12-700/kunststof
DP148	Afsluiten t.z.l. bij BIT	heaveschermlengte > dikte t.z.l.	2.8	2.8		2.91	-3.41	6.44	9.85	5	AZ12-700/kunststof
DP149	Afsluiten t.z.l. bij BIT	heaveschermlengte > dikte t.z.l.	2.8	2.8		2.91	-3.41	6.23	9.64	5	AZ12-700/kunststof
DP172	Heavescherm in w.v.p.		2.4	3.9	8.77		-10.77	5.71	16.48	6	AZ18-700
DP173	Heavescherm in w.v.p.		2.3	3.8	9.02		-10.52	5.58	16.1	6	AZ18-700
DP195	Heavescherm in w.v.p.		2.9	3	7.86		-7.96	4.99	12.95	6	AZ14-700
DP196	Heavescherm in w.v.p.		2.2	2.3	9.65		-9.75	5.51	15.26	6	AZ16-700
DP197	Heavescherm in w.v.p.		2.2	1.7	10.01		-9.51	5.57	15.08	6	AZ16-700
DP198	Heavescherm in w.v.p.		1.9	0.4	11.33		-9.83	5.39	15.22	6	AZ16-700
DP199	Heavescherm in w.v.p.		3	2	8.05		-7.05	5.61	12.66	6	AZ14-700
DP200	Heavescherm in w.v.p.		2.6	1.2	9.33		-7.93	5.4	13.33	6	AZ14-700
DP201	Heavescherm in w.v.p.		2.6	1.5	8.99		-7.89	4.98	12.87	6	AZ14-700
DP202	Afsluiten t.z.l.	heaveschermlengte > dikte t.z.l.	2.6	2.2		3.89	-3.99	5.32	9.31	6	AZ12-700/kunststof

t.z.l = Tussenzandlaag
w.v.p. = Watervoerend pakket
BIT = Binnenteen

Bijlage D. Heaveschermen ICU

Locatie	Deelgebied 2			Deelgebied 4			Deelgebied X			Deelgebied 8		
Representatieve sondering:	DP117+051_DKMP2_BERM			DP145+049_DKMP2_BERM			DP172+051_DKMP_BI			DP200+001_DKMP2_BERM		
	qc [MPa]	L [m]	qc * L	qc [MPa]	L [m]	qc * L	qc [MPa]	L [m]	qc * L	qc [MPa]	L [m]	qc * L
Inschatting type damwand op basis van installeerbaarheid conform CUR 166 grafieken.	1	3.5	3.5	5	1.5	7.5	4	3	12	1	3.5	3.5
(HF trillend aanbrengen, zonder aanvullende voorzieningen)	0.5	4	2	0.75	4.5	3.375	0.75	4	3	8	6	48
	5	2	10	3	3	9	15	9	135	15	10.5	157.5
	15	10	150									
Gemiddelde qc [MPa]	8.49			2.21			9.38			10.45		
Grafiek	6			5			6			6		

Bijlage E. Overzichtskaarten VKA ICU

Bijlage F. Dwarsprofielen VKA ICU

Bijlage G. Infographics innovaties