



Ontwerpnota variantstudie

Uitwerking kansrijke alternatieven en voorkeursalternatief

Inhoudsopgave

1. Inleiding	5
Aanleiding en achtergrond	5
Doelstelling ontwerpnota	6
Leeswijzer	6
2. Randvoorwaarden, uitgangspunten en basisdata	7
Randvoorwaarden en uitgangspunten dijk	7
Randvoorwaarden en uitgangspunten nevengeul	11
3. Te onderzoeken kansrijke alternatieven	13
4. Van opgave naar maatregelen	14
Opgave	14
Kruinhoogte (GEKB)	14
Bekleding buitentalud (GEBU)	16
Binnenwaartse stabiliteit (STBI)	18
Piping (STPH)	19
Kunstwerken	22
5. Nevengeul Vechterweerd	23
6. Uitwerking meekoppelkansen	24
7. Uitwerking kansrijke alternatieven	25
8. Uitwerking voorkeursalternatief	29

Bijlagen

Bijlage 1	Redeneerlijn kansrijke alternatieven
Bijlage 2	Aanscherpen GEBU scope
Bijlage 3	Kruinhoogteberekeningen
Bijlage 4	Ontwerpberekening erosiebuffer bekleding
Bijlage 5	Ontwerpberekeningen stabiliteit binnenwaarts
Bijlage 6	Ontwerpberekeningen diepploegen
Bijlage 7	Ontwerpberekeningen pipingberm
Bijlage 8	Ontwerpberekening heavescherm
Bijlage 9	Dimensionering voorlandverbetering
Bijlage 10	Ontwerp nevengeul Vechterweerd
Bijlage 11	Uitwerking kansrijke alternatieven per deeltraject
Bijlage 12	Uitwerking Voorkeursalternatief

Verwijzingen

ENW. (2008). *Addendum 1 Leidraad Rivierdijken*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

IT. (02-11-2022). *REDENEERLIJN OM TOT KANSRIJKE ALTERNATIEVEN TE KOMEN*.

IT. (2022). *Notitie Rijkwijdte en Detailniveau (NRD)*.

IT. (2022, 04 21). *Ontwerpopgave 2080 Veilige Vecht*.

TAW. (2014). *Technisch Rapport Waterspanning bij dijken*. TAW.

WDODelta. (2022). *Technische Uitgangspunten Notitie Dijken*.

Colofon

Datum:	12-10-2023
Versie:	F2.0
Opsteller:	Projectteam Veilige Vecht

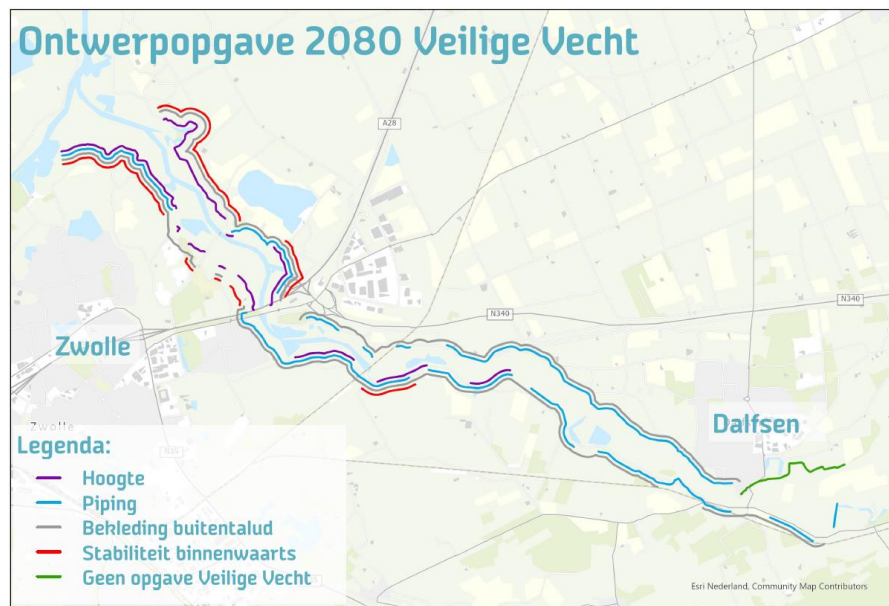
1. Inleiding

Aanleiding en achtergrond

In de derde landelijke toetsronde (LTR3) zijn de primaire keringen tussen Dalfsen en Zwolle afgekeurd. De verkenningsfase voor het dijkversterkingsproject Veilige Vecht is opgestart om tot een voorkeursalternatief (VKA) te komen. Onderdeel van de scope zijn een deel van dijktraject 9-1 (noordelijke Vechtdijk) en een deel van dijktraject 53-3 (zuidelijke Vechtdijk). Hierbij is de dijk op diverse faalmechanismen afgekeurd. De opgave is aan het begin van de verkenningsfase nader bijgesteld (IT, Ontwerpopgave 2080 Veilige Vecht, 2022).

Deze opgave vormde het startpunt voor de verkenning en daarmee voor de ontwerpactiviteiten die in voorliggende rapportage zijn beschreven. Door nieuwe inzichten en optimalisaties die het gevolg zijn van meer geavanceerde analyses in het ontwerp is geconcludeerd dat op enkele locaties de opgave op een of meerdere faalmechanismen vervallen is. Dit heeft concreet betrekking op de hoogteopgave en bekleding op het buitentalud. In hoofdstuk 4 is dit nader beschreven bij de betreffende faalmechanismen.

De aanscherping van de ontwerpopgave resulteert in het overzicht zoals in onderstaande Figuur 1-1 is weergegeven.



Figuur 1-1: Overzichtskartaal met de aangescherpte ontwerpopgave voor 2080 a.g.v. het ontwerp

Doelstelling ontwerpnota

Het doel van deze ontwerpnota is het beschrijven van het technisch waterveiligheidsontwerp dat ten grondslag ligt aan de onderzochte kansrijke alternatieven en het, na afweging van deze alternatieven, gekozen voorkeursalternatief. Het rapport was daarmee een groeidocument dat gedurende de verkenningsfase werd aangevuld en bijgesteld.

Voorliggende rapportage beschrijft het ontwerp van de kansrijke alternatieven in ontwerploop 2 en het op basis van dit ontwerp samengestelde voorkeursalternatief (VKA). Voor de totstandkoming en samenstelling van de kansrijke alternatieven en het voorkeursalternatief wordt verwezen naar het verkenningenrapport. De nota is geschreven voor personen met een technische achtergrond.

Leeswijzer

De ontwerpnota start met een aantal algemene, meer procesmatige hoofdstukken. Hierin is de scope van het ontwerp vastgelegd en de voor het ontwerp geldende randvoorwaarden, uitgangspunten en basisgegevens (H2). Vervolgens wordt ingegaan op de te onderzoeken kansrijke alternatieven per deeltraject (H3). Dit geeft inzicht in welke technische bouwstenen voor maatregelen de alternatieven zijn samengesteld. Het technisch ontwerp waarbij de afmetingen en geometrie van deze bouwstenen wordt uitgewerkt is beschreven in H4. De uitwerking van de nevengeul wordt beschreven in H5 en de meekoppelkansen in H6. De volgende hoofdstukken (H7) en (H8) beschrijven op basis van het technisch ontwerp vervolgens hoe de kansrijke alternatieven respectievelijk het voorkeursalternatief per deeltraject is vormgegeven.

2. Randvoorwaarden, uitgangspunten en basisdata

Randvoorwaarden en uitgangspunten dijk

Normering, richtlijnen en faalkanseis

De kansrijke alternatieven zijn ontworpen op basis van het OI2014v4 - aangevuld met recente inzichten, voor het zichtjaar 2080.

De Vechtdijk faalt in de beoordeling op verschillende faalmechanismen. Deze zijn:

- Hoogte (GEBK)
- Macrostabieleit (STBI)
- Piping (STPH)
- Bekleding buitentalud (GEBU)

Daarnaast zijn de faalmechanismen hoogte (HTKW), betrouwbaarheid sluiting (BSKW), piping (PH) en sterkte en stabiliteit (STKWp) van kunstwerken beoordeeld.

Voor beide deeltrajecten worden voor de verschillende faalmechanismen de faalkansruimtefactoren (ω), de beschikbare faalkansruimte, de lengte-effectfactor N , de schadefactor γ_n , de schematiseringsfactor γ_b , de faalkanseis $P_{eis,dsn}$ en de betrouwbaarheidsindex $\beta_{eis,dsn}$ gegeven in Tabel 2-1. Een verdere toelichting achter de getallen in Tabel 2-1 kan worden gevonden in de Technische Uitgangspunten Notitie (WDODelta, 2022).

Tabel 2-1, rekenkundige uitgangspunten per faalmechanisme

Faalm.		Dijktraject 9-1	Dijktraject 53-3
GEKB	P_{max} [1/jaar]	1/300	1/3.000
	ω [-]	0,24	0,24
	N [-]	2	1
	$P_{eis,dsn}$ [1/jaar]	1/2.500	1/12.500
STBI	$P_{eis,dsn}$ [1/jaar]	$4,99 \cdot 10^{-6}$	$5,29 \cdot 10^{-7}$
	N [-]	26,7	25,2
	γ_n [-]	1,07	1,14
	γ_b [-]	1,2	1,2
	$\beta_{eis,dsn}$ [-]	4,42	4,88
STPH	β_{norm} [-]	2,71	3,40
	ω [-]	0,24	0,24
	N [-]	118	111
	$P_{eis,dsn}$ [1/jaar]	$6,78 \cdot 10^{-6}$	$7,20 \cdot 10^{-7}$
	$\beta_{eis,dsn}$ [-]	4,35	4,82
GEBU	ω [-]	0,10	0,10
	λ_1 [-]	0,5	0,5
	λ_2 [-]	0,9	0,9
	N [-]	2	1
	$P_{eis,dsn}$ [1/jaar]	$7,50 \cdot 10^{-5}$	$1,50 \cdot 10^{-5}$
	$\beta_{eis,dsn}$ [-]	3,79	4,17
HTKW	ω [-]	0,24	0,24
	N [-]	2	1

	$P_{eis,kw}$ [1/jaar]	$4,00 \cdot 10^{-4} = 1/2.500$	$8,00 \cdot 10^{-5} = 1/12.500$
BSKW	ω [-]	0,04	0,04
	N [-]	3,5	10
	$P_{eis,kw}$ [1/jaar]	$3,81 \cdot 10^{-5} = 1/26.500$	$2,22 \cdot 10^{-6} = 1/450.000$
PH	Voldoet, dus n.v.t.		
STKWp	ω [-]	0,02	0,02
	N [-]	3	3
	$P_{eis,kw}$ [1/jaar]	$2,22 \cdot 10^{-5} = 1/45.000$	$2,22 \cdot 10^{-6} = 1/450.000$

Hydraulische randvoorwaarden

Hydraulische belastingen zijn onderverdeeld in:

- De waterstand bij de norm: voor het berekenen van de geotechnische faalmechanismes (macrostabiliteit binnenwaarts en piping) en kunstwerken.
- Golfbelasting: voor het berekenen van de bekledingsopgave (buitentalud).
- Hydraulisch belastingniveau: voor het berekenen van de hoogteopgave (combinatie van waterstand en golfbelasting, gelijk aan de minimaal benodigde kruinhoogte behorende bij een kritiek overslagdebiet dat maximaal toelaatbaar is).

Voor het project wordt het klimaatscenario W+ (KNMI, 2006) gebruikt. Het klimaatmodel is vertaald naar een aangepaste hydraulische database in Riskeer. Hierin is de afvoer verhoogd met +75m³/s en het meerpeil verhoogd met 0,30 meter. Deze aanpak is gevolgd omdat er geen W+ scenario beschikbaar was voor de Vecht. Met deze aanpassingen is deze gemaakt. Er is gewerkt met de Geerse werklijn omdat GRADE nog niet beschikbaar is.

De berekeningen voor de hydraulische randvoorwaarden zijn uitgevoerd in Riskeer versie 21.1.1, waarbij gebruik is gemaakt van de WBI 2017 Vechtdelta database. Deze database is bewerkt om de klimaatlijn en de meerpeilstijging op te nemen. Onderstaand zijn de exacte details (naam en datum) van de gehanteerde databases gegeven:

- 53-3: WBI2023_Vechtdelta_53-3_v00_terBeoordeling ; Datum: 06-07-2020
- 09-1: WBI2023_Vechtdelta_9-1_v00_terBeoordeling ; Datum: 21-11-2020

Daarnaast worden voor de geotechnische faalmechanismes (stabiliteit binnenwaarts en piping) gerekend met behulp van Riskeer bij de maximaal toelaatbare overstromingskans (ondergrens P_{max} , zoals gegeven in Tabel 2-1).

Golfbelasting & Overslagbestendigheid (GOZ)

In het innovatieproject Gras op zand onderzocht WDOdelta hoe sterk de grasmat op zanddijken is. Uit overslagproeven blijkt dat de grasbekleding op het binnentalud (landzijde) bij gras op zanddijken sterker is dan gedacht. Uit de golfklapproeven blijkt dat de grasbekleding op het buitentalud (rivierzijde) alleen sterk genoeg is om kleine golven tegen te houden.

De resultaten uit dit onderzoek zijn gebruikt om de overslagparameters in Riskeer aan te passen (zie HS 4, Kruinhoogte (GEKB)) en in de beschouwing van de bekleding aan de buitenzijde (zie HS 4, Bekleding buitentalud (GEBU)).

Geohydrologische uitgangspunten

Stijghoogte

Op locaties waar geen peilbuizen aanwezig zijn wordt aangenomen dat de stijghoogte in het zand gelijk is aan de buitenwaterstand (of grenspotentiaal, 100% respons). Dit is een conservatief uitgangspunt.

Er zijn een significant aantal locaties waar wel peilbuizen aanwezig zijn, hier is de demping geoptimaliseerd op basis van peilbuisgegevens.

Mogelijk kan in de planuitwerkingsfase lokaal nog wat geoptimaliseerd worden, maar dat is afhankelijk van de aanwezigheid van voorland (lengte en weerstand stoorlaagje). Voorwaarde is wel dat er kennis is van de doorlatendheid en aanwezigheid van het voorland. In de maakbaarheidsproef die voor het diepploegen wordt uitgevoerd, voorafgaand aan de planuitwerkingsfase, vindt onderzoek plaats naar de weerstand en dikte van de stoorlaag.

Indringingslengte

De indringingslengte wordt bepaald conform de schematiseringshandleiding macrostabiliteit.

Freatische lijn

Voor de zanddijk op een pakket met hoofdzakelijk dunne slappe lagen zijn op dit moment geen/te weinig waterspanningsmetingen beschikbaar om de freatische lijn vast te stellen. Daarom wordt voor de bepaling van de freatische lijn aangesloten bij het Technisch Rapport Waterspanning bij dijken (TAW, 2014).

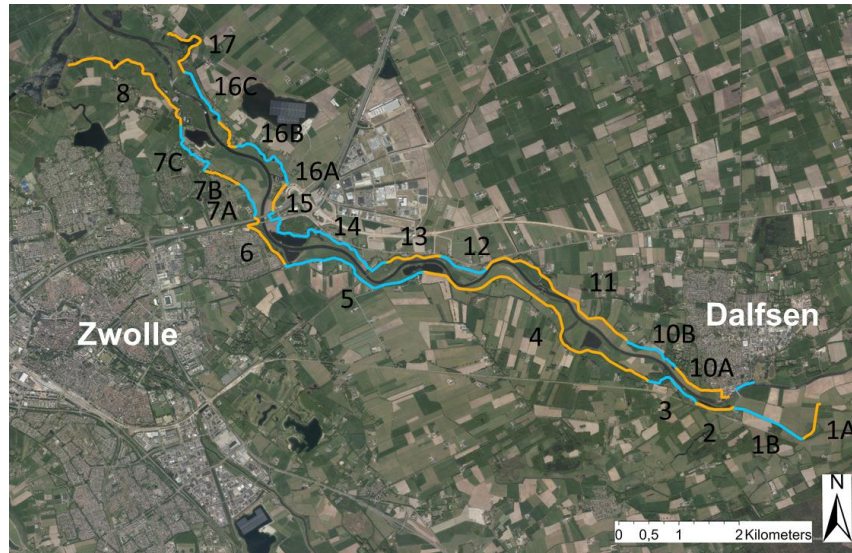
Polderpeilen

Als er een teensloot aanwezig is wordt er voor het polderpeil vanuit gegaan dat het peilniveau conform het peilgebied relevant is voor de specifieke locatie. Dit peilniveau heeft een bandbreedte waarbinnen het waterpeil moet worden beheerd. Het maatgevende peil voor het betreffende faalmechanisme dient hier te worden gekozen, voor zowel dagelijkse omstandigheden als hoogwateromstandigheden. In geval van hoogwater wordt aanvullend met de peilbeheerder besproken of het niet reëel te verwachten is dat het polderpeil ook echt kan worden gehandhaafd per peilgebied in het desbetreffende gebied. Omdat het projectgebied zich kenmerkt door zanddijken en een zandrijke ondergrond (dat goed water doorlaat), ligt het in lijn der verwachting dat met hoogwater het water in de sloten hoger kan staan dan het gestelde polderpeil. Daarnaast kan er sprake zijn van doelgericht peilopzetten vanuit het beheerregime dat de peilbeheerder hanteert.

Als er geen teensloot aanwezig is wordt er bij dagelijkse omstandigheden het peilniveau conform het peilgebied aangenomen. Bij hoogwater wordt er uitgegaan van het maaiveld als polderpeil, tenzij er kan worden aangetoond dat een sloot die niet direct naast de teen van de dijk ligt significant bijdraagt aan het verlagen van de waterstand bij de teen van de dijk.

Geometrische uitgangspunten

Voor de verkenning is het dijktraject opgedeeld in deeltrajecten. Deze opdeling is weergegeven in Figuur 2-1. Het ontwerp van de kansrijke alternatieven volgt deze indeling.



Figuur 2-1 Opdeling projectgebied in deeltrajecten

Per deeltraject is een kenmerkend profiel opgesteld. Deze zijn opgesteld op basis van de AHN3. Door de grootte van de deeltrajecten bestaat er binnen het deeltraject enige variatie ten opzichte van het kenmerkend dwarsprofiel.

Voor het ontwerpen van de waterkering met zichtjaar 2080 is het voor de benodigde kruinhoogte ook nodig om de autonome bodemdaling mee te nemen (los van eventuele dijkversterking/verhoging). Conform de TUN (WDO Delta, 2022) is aangehouden dat ten westen van de A28-brug wél autonome bodemdaling plaatsvindt. Ten oosten van de A28 is geen autonome bodemdaling van toepassing conform de uitgangspunten van WDO Delta. Voor traject 9-1 betekent dit dat er bodemdaling plaatsvindt van hm 22,1 tot en met 26,4 en voor traject 53-3 is dit van hm 95,3 tot en met 100,4. Er wordt hier een bodemdaling van 2,2 mm per jaar aangehouden.

Geotechnische uitgangspunten

Beschikbaar grondonderzoek

In het verleden zijn er op de dijktrajecten die nu onderdeel zijn van Veilige Vecht grondonderzoeken uitgevoerd. Een overzicht daarvan is gegeven in Tabel 2-2.

Tabel 2-2 overzicht beschikbaar grondonderzoek

Onderzoek	Type onderzoek	Jaar
Heidemij Advies B.V. / Fugro Geoservices B.V.	Lengteprofielen, sonderingen, boringen t.b.v. DAR (Dijken Achter Ramspol) versterkingsprojecten. Op de bestektekeningen is op een aantal locaties ook te zien waar pipingbermen van klei zijn aangebracht.	1997
Fugro Geoservices B.V.	Boringen, sonderingen en elektromagnetisch en grondradar (geofysisch) onderzoek t.b.v. NAV	2016
Fugro Geoservices B.V.	Handboringen en lengteprofielen op de trajecten van 09-18,4 t/m 09-10,3 en 53-104,1 t/m 53-112,6	2018/ 2019
Wiertsema & Partners	Geotechnisch Terreinonderzoek	2020

Eigenschappen eerste watervoerende pakket

De dikte van het eerste watervoerende pakket wordt bepaald door middel van de algemene geaccepteerde bepaling $D = 0,5 L_{kwelweg}$. Daarnaast zijn in twee onderzoeken de korreldiameter d_{70} en doorlatendheid k bepaald.

De korreldiameter d_{70} is ten tijde van de NAV in 2016 bepaald aan de hand van de zeefanalyses door MOS/Fugro. Voor dijktrajecten 9-1 en 53-3 zijn de gemiddelde waarde, de standaarddeviatie, de 95% ondergrens en de minimum/maximum waarde van de d_{70} bepaald. Deze waarden zijn gegeven in Tabel 2-3.

Tabel 2-3, d_{70} -waarden in het projectgebied

Waarde	d_{70} (μm) op traject 9-1	d_{70} (μm) op traject 53-3
Minimum d_{70}	158	154
Maximum d_{70}	349	360
Gemiddelde d_{70}	256	267
Standaarddeviatie	56	55
95% ondergrens d_{70}	160	157

In de piping berekeningen worden twee scenario's meegenomen. Eén scenario met de 95%-ondergrens waarde en een tweede scenario met de gemiddelde waarde. De kansbijdrage en de scenario-waarden zijn gegeven in Tabel 2-4.

Tabel 2-4 kansbijdrage scenario 1&2

Sc.	Waarde	d_{70} (μm) 9-1	d_{70} (μm) 53-3	Kansbijdrage
1	Gemiddelde d_{70}	256	267	80%
2	95% ondergrens d_{70}	160	157	20%

Ook de doorlatendheid k van het watervoerende pakket zijn door MOS/Fugro in 2017 vastgesteld. De voorgenoemde pipingscenario's en kansbijdragen voor de doorlatendheid zijn gegeven in Tabel 2-5 & Tabel 2-6.

Tabel 2-5 k -waarden traject 9-1

Dijktraject 9-1					
Locatie (hm)	Sc.	Waarde	k [m/d]	k [m/s]	Kansbijdrage
12,4 t/m	1	Gemiddelde doorlatendheid (DINO)	50	5,79E-4	40%
	2	5% bovengrens doorlatendheid (Fugro)	19	2,20E-4	60%
24,6 t/m	1	Gemiddelde doorlatendheid (DINO)	50	5,79E-4	20%
	2	5% bovengrens doorlatendheid (Fugro)	19	2,20E-4	80%

Tabel 2-6 k -waarden traject 53-3

Dijktraject 53-3					
Locatie (hm)	Sc.	Waarde	k [m/d]	k [m/s]	Kansbijdrage
95,3 t/m	1	Gemiddelde doorlatendheid (DINO)	60	6,94E-4	20%
	2	5% bovengrens doorlatendheid (Fugro)	25	2,89E-4	80%
98,1 t/m	1	Gemiddelde doorlatendheid (DINO)	60	6,94E-4	40%
	2	5% bovengrens doorlatendheid (Fugro)	25	2,89E-4	60%

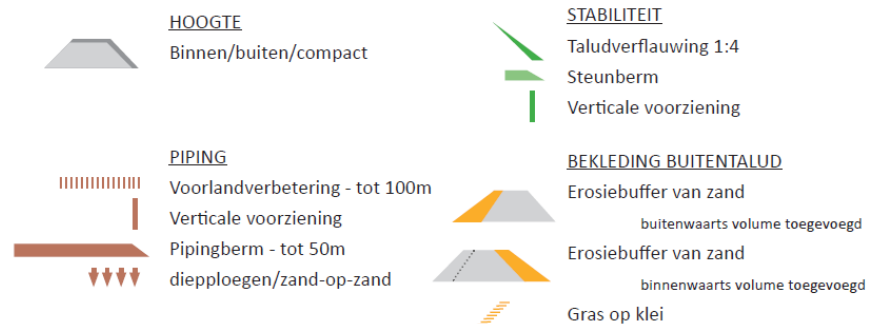
Randvoorwaarden en uitgangspunten nevengeul

Als meekoppelkans vanuit KRW, vanwege vispasseerbaarheid van de stuw Vechterweerd, is binnen het waterschap een ontwerp gemaakt (Schetsontwerp Nevengeul Vechterweerd, 2 juni 2023) voor een nevengeul. Dit ontwerp en de

daarbij gehanteerde randvoorwaarden en uitgangspunten is opgenomen in Bijlage 10.

3. Te onderzoeken kansrijke alternatieven

Om de versterkingsopgave per deeltraject vorm te geven zijn per faalmechanisme bouwstenen samengesteld. In de kansrijke alternatieven zijn per deeltraject deze bouwstenen zodanig gecombineerd dat daarmee de dijk integraal versterkt wordt. In de vorige projectstap 2 zijn deze geselecteerd op kansrijkheid. In Figuur 3-1 zijn de bouwstenen per faalmechanisme weergegeven die onderdeel uitmaken van de twee kansrijke alternatieven.



Figuur 3-1 overzicht bouwstenen per faalmechanisme

Deze bouwstenen worden technisch uitgewerkt in Hoofdstuk 4 en gecombineerd tot kansrijke alternatieven in Hoofdstuk 7.

In Bijlage 1 is de redeneerlijn toegevoegd die beschrijft hoe de kansrijke alternatieven per deeltraject zijn gekozen. Deze vormt de basis voor de combinatie van bouwstenen en daarmee de basis voor het ontwerp van de kansrijke alternatieven. Bij de keuze van het VKA kan zo nodig op bouwsteenniveau het VKA worden samengesteld uit de bouwstenen binnen de onderzochte kansrijke alternatieven.

De kansrijke alternatieven en het VKA hebben betrekking op dijktrajectniveau. Een alternatief is door knelpunten zoals bijvoorbeeld woningen niet altijd op het hele deeltraject zondermeer toe te passen. Dergelijke lokale knelpunten zijn benoemd als maatwerk, hier zal in de planuitwerkingsfase een specifieke passende oplossing voor worden afgewogen. In Bijlage 13 is een beschouwing op de maatwerklocaties bij de twee kansrijke alternatieven en het VKA opgenomen waarbij per locatie een indicatie is gegeven van mogelijke oplossingsrichtingen die mogelijk kunnen zijn.

4. Van opgave naar maatregelen

Opgave

De opgave bestaat uit een combinatie van verschillende faalmechanismen. In de kaart (zie Figuur 1-1) in hoofdstuk 1 is deze samengevat.

Over nagenoeg het gehele dijktraject speelt een bekledingsopgave. Dit geldt ook voor piping. Tussen de A28 en Dalfsen is er slechts op enkele kortere gedeeltes een hoogteopgave. Ten westen van de A28 spelen de meeste (combinaties van) faalmechanismen.

Op basis van de opgave zijn er maatregelen in de vorm van bouwstenen per faalmechanisme bedacht om deze op te lossen. In dit hoofdstuk worden de maatregelen toegelicht. Combinaties van maatregelen vormen samen de kansrijke alternatieven per deeltraject.

Kruinhoogte (GEKB)

Op een deel van de dijktrajecten is een hoogteopgave. Deze opgave kan conform de redeneerlijn worden opgelost door de dijk te verhogen met de technische bouwsteen verhogen in grond of het toepassen van een constructie.

De kruinhoogte is voor het gehele dijktraject vastgesteld in Riskeer voor het zichtjaar 2080. Hierbij is semi-probabilistisch gerekend om tot de hoogte bij de norm (HBN) te komen. Vervolgens is er een aanleghoogte bepaald door de autonome bodemdaling in acht te nemen. Dit is enkel van toepassing voor de trajecten ten westen van de A28. Voor de aanleghoogte is geen extra zettingscompensatie opgenomen voor compensatie van restzettingen aangezien de ophogingen voornamelijk in zand plaatsvinden op een ondergrond die ook sterk zandig is. Hierdoor zal restzetting niet aan de orde zijn of slechts heel beperkt zijn wat niet van invloed is op de keuze van het VKA.

Rekenen met overslag

Als er wordt voldaan aan de voorwaarden om de Gras op Zand (GOZ)-parameters toe te mogen passen is voor de nieuwe situatie gerekend met een maximaal overslagdebiet van 10 l/s/m. Indien er niet wordt voldaan wordt er gerekend met een maximaal overslagdebiet van 1 l/s/m. In de vorige projectfase is bij de actualisatie van de ontwerpogave door de beheerder via een beheerdersoordeel vastgesteld waar deze parameters al dan niet toegepast kunnen worden. De resultaten van de GEKB-berekeningen zijn opgenomen in Bijlage 3 en samengevat in onderstaande Tabel 4-1. Bij een aantal trajecten is het beheerdersoordeel gewijzigd¹ t.o.v. de ontwerpogave 2022. Deze wijzigingen zijn als volgt:

- Bij 1A is beoordeeld dat het profiel toch voldoet aan de GOZ-parameters. Eerder was beoordeeld dat er bomen in het binnentalud zouden staan, dit is echter niet het geval. Deze staan aan de andere kant van de weg, ver buiten de binnenteen.
- Bij 5 voldoet het overgrote deel van het dijktraject niet aan de toepassingsvoorwaarden GOZ.
- Bij 7A voldoet een deel van het dijktraject niet aan de toepassingsvoorwaarden GOZ. Aandachtspunt voor vervolgfase. Omdat

¹ Bij profiel 1A is bij nadere beschouwing van de situatie in het ontwerp, in afstemming met de beheerder, tot het oordeel gekomen dat dit deeltraject toch voldoet aan de voorwaarden voor toepassen van de GOZ-parameters. Daarmee vervalt de hoogteopgave op dit deeltraject.

het overgrote deel wel voldoet is hier gekozen om uit te gaan van 10 l/s/m.

- Bij 8 voldoet een deel van het dijktraject niet aan de toepassingsvoorwaarden GOZ. Aandachtspunt voor vervolgfase. Omdat het overgrote deel wel voldoet is hier gekozen om uit te gaan van 10 l/s/m.

Constructieve oplossing

Op deeltraject 17 bij de Zijlolk is in een van de te onderzoeken alternatieven een verticale constructie in de vorm van een damwand opgenomen om de gehele opgave, waaronder hoogte, op te lossen. In de praktijk zou een constructie bestaan uit een verticale keerwand met een oplopend talud aan de rivierzijde. Het laatste gedeelte van de constructie zal boven het maaiveld uitsteken. T.p.v. het dwarsprofiel is deze situatie als volgt: Halverwege het talud ligt het maaiveld tussen de NAP +2,4 m en NAP +2,6 m. Met een aanleghoogte van NAP +4,0 m komt de damwand tussen de 1,4 m en 1,6 m boven het maaiveld uit. Ten opzichte van de kruin (NAP +3,0 m) zal deze ca. 1 m boven het maaiveld uitsteken. De aanlegdiepte zal tot ca. NAP -5 m zijn.

Uitgangspunt hierbij is dat de constructie een overslagdebiet kan weerstaan van 0,1 l/s/m (dijklichaam voldoet door begroeiing niet aan toepassingsvoorwaarden GOZ) en een ontwerplevensduur van 100 jaar voor constructies.

Deze gecombineerde schematisatie van talud en keerwand is niet mogelijk in Riskeer of Hydra-NL. Hierin kan enkel een constructie of enkel een dijklichaam in worden doorberekend. Omdat deze gecombineerde schematisatie niet doorgerekend kan worden is teruggevallen op het bepaalde HBN bij een oplossing in grond bij een overslag van 0,1 l/s/m. Dit is tevens conservatief, omdat het schematiseren van enkel een damwanconstructie leidt tot lagere kruinniveaus. Het werkelijke niveau ligt er tussenin, maar is echter niet correct af te leiden. Een nadere uitwerking volgt in de PU-fase mits er voor dit alternatief gekozen wordt. De aanleghoogte die gebruikt is voor het ontwerp van de kansrijke alternatieven is opgenomen in Tabel 4-1.

Op dijktraject 16B is in een van de alternatieven een lage keermuur onderzocht om het kruinhoogtetekort op te lossen. In het huidige ontwerp is de aanleghoogte gelijk aangehouden als bij de oplossing in grond, met een zichtjaar van 50 jaar.

Tabel 4-1 resultaten GEKB

Deeltraject	Opgave [km]	Voldoet aan GOZ* parameters?	Aanleghoogte [m+NAP]
4 Zuidelijke Vechtdijk	0.70	Ja	4.27
5 De Maatgraven	1.86	Nee	4.58
7A Bruggenhoek-Agnietenberg	0.66	Ja	3.40
7B Bruggenhoek-Agnietenberg	0.10	Ja	3.31
7C Bruggenhoek-Agnietenberg	0.40	Ja	3.22
8 Langenholte	2.6	Ja	3.37
15 Jachthaven	0.60	Ja	3.48
16A Haerst	0.60	Ja	3.39
16B Haerst	0.40	Ja	3.29
16C Haerst	1.15	Nee	4.05
17 De Zijlkolk	1.30	Nee	4.00

Bekleding buitentalud (GEBU)

Op een groot deel van het traject is de huidige bekleding afgekeurd. In een eerdere fase was er een opgave over het gehele traject (fase 2 en OL1). In overleg met het Adviesteam Dijkontwerp is deze opgave aangescherpt, dit is vastgelegd in het rapport Aanscherpen GEBU scope - Veilige Vecht (RHDHV, 2023), zie Bijlage 2. Er is gerekend met belastingmodellen die de werkelijke belasting op de bekleding realistischer weergeven. Hierin zijn de onderzoeksresultaten van het gras op zand onderzoek ook in acht genomen.

Uit de analyse blijkt dat een gras op zandbekleding goedgekeurd kan worden bij golfhoogtes kleiner dan ongeveer 0,46 m – 0,59 m. Op basis hiervan konden enkele deeltrajecten worden goedgekeurd. Dit betreffen de volgende deeltrajecten (let op, de deeltrajecten zijn voor deze analyse opgesplitst, de exacte ligging is beschreven in het rapport in Bijlage 2):

- Normtraject 9-1: Deeltraject 14C (meest benedenstroomse deel van deeltraject 14).
- Normtraject 53-3: Deeltrajecten 1A, 3 en 7A.

Op de rest van de deeltrajecten resteert nog een opgave voor de bekleding op het buitentalud.

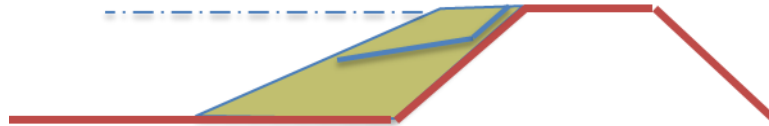
Om deze opgave aan te pakken zijn twee bouwstenen onderzocht, namelijk het toepassen van een erosiebuffer en het aanbrengen van gras op een kleibekleding.

Erosiebuffer

De erosiebuffer betreft een zandvolume dat meestal aan de binnenzijde van de dijk wordt toegevoegd om daarmee het totale zandvolume van het zandige dijklichaam te vergroten. Onder maatgevende omstandigheden wordt toegestaan dat een deel van het buitentalud erodeert waarbij de waterveiligheid geborgd blijft doordat een voldoende groot dijklichaam beschikbaar blijft. De buffer bestaat uit zand dat bij voorkeur gebiedseigen is vanuit landschappelijk oogpunt en potentie voor de ontwikkeling stroomdalflora.

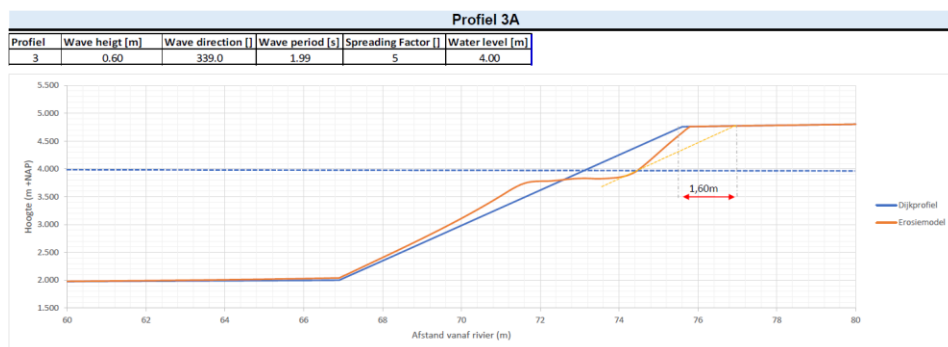
Uitgangspunt in de verkenningsfase is dat de erosiebuffer tegen het huidige dijklichaam komt met de gedachte dat de buffer volledig de erosie moet op kunnen vangen. Mogelijk bevat het huidige dijklichaam ten opzichte van een minimaal te handhaven restprofiel nog wat reserve heeft. Vooral nog lijkt dit

beperkt te zijn als minimaal een kruinbreedte van 3 m gewenst blijft. Hier is mogelijk in de planuitwerkingsfase nog in te optimaliseren.



Figuur 4-1 principe erosiebuffer – extra volume tegen dijklichaam (aan buitenzijde of aan binnenzijde toepasbaar)

Om tot afmetingen te komen van deze buffer is op vier locaties een modelstudie uitgevoerd. In de modelleersoftware MIKE zijn deze dijkprofielen als zand geschematiseerd. Vervolgens is een storm gesimuleerd waaruit blijkt tot hoe ver het zandvolume in het buitentalud erodeert. Vanaf dit punt wordt een lijn met dezelfde helling als het buitentalud- richting de kruin getrokken. Het verschil tussen de buitenkruinlijn en het snijpunt geeft de breedte van de toe te voegen zandbuffer. Dit principe is geschematiseerd in Figuur 4-2. De benodigde breedte wordt in de kansrijke alternatieven veelal toegevoegd aan de binnenzijde van de dijk om rivierkundige effecten (opstuwung en verlies berging) te beperken.



Figuur 4-2 schematisatie erosiebuffer (fictief voorbeeld)

Bij het uitvoeren van de berekeningen heeft het Adviesteam Dijkontwerp (ADO), vanuit hun betrokkenheid bij de GEBU optimalisatie, meegekeken in de schematisering van de belasting. Aandachtspunt in de berekeningen is dat de hydraulische belastingen die uit Riskeer volgen door hun golfsteilheid en relatief grote golfbelasting in relatie tot de hoogte van het aanwezige voorland, snel willen breken waardoor de belasting op de dijk minder is. De modellering is dusdanig uitgevoerd dat deze reductie niet plaatsvindt voor de golven de dijk bereiken. Naast belasting door golfaanval is er ook beschouwd wat de invloed van langsstroming kan zijn. De uitgevoerde berekeningen en de toelichting op de wijze van modelleren is opgenomen in Bijlage 4.

Resultaten

De bufferbreedte die toegepast wordt bestaat in basis uit de berekende breedte (zie Tabel 4-2) waarna daar een toeslag op wordt toegepast voor onzekerheden in de modellering, zowel in de fysische processen als in de randvoorwaarden.

Uit de berekende erosiebreedtes is een onderscheid te zien tussen delen die stroomopwaarts in het afvoer gedomineerde deel liggen (3A en 10) en die in het benedenstroomse stormopzet gedomineerde deel (8 en 16C) liggen. In het stormopzet gedomineerde deel is de golfbelasting hoger en daarmee moet de buffer ook een grotere omvang hebben. Uit de uitgevoerde optimalisatiestudie

naar GEBU binnen de verkenning Veilige Vecht volgt dat de grens nabij de A28 ligt.

In onderstaande Tabel 4-2 is de range van de berekende buffer bovenstrooms (3A en 10 met range 2,3 m en 2,9 m) en benedenstrooms (8 en 16C met range 3,9 m en 4,9 m) opgenomen. Vervolgens is de hoogste waarde naar boven afgerond, bovenstrooms wordt uitgegaan van 3 m berekende buffer, benedenstrooms van 5 m berekende buffer.

Bovenop deze berekende buffer komt de toeslag voor onzekerheden. Deze is concreet vertaald naar een vaste marge van 2 meter breedte op de berekende dimensies. Zie ook Tabel 4-2. Dit is voor het afvoergedomineerde deel wat meer dan 50%, omdat als er onzekerheid is m.b.t. invloed van stroming, dat daar aan de orde is. Voor het stormopzetgedomineerd is het iets minder dan 50%, maar daar speelt stroming minder dan bovenstrooms.

Tabel 4-2 ontwerpafmetingen erosiebuffer

Deelgebied	Range bereken de buffer	Uitgangspunt berekende buffer	Marge 2 [m]	Toe te passen buffer [m]
Bovenstrooms (afvoergedomineerd)	2,3-2,9	3	2	5
Benedenstrooms (stormopzetgedomineerd)	3,9-4,9	5	2	7

Om vroegtijdige erosie door langsstroming te voorkomen is het gewenst dat het buitentalud begroeid is met een grasbekleding die voorkomt dat het een onbeschermd zandtalud is.

Gras op klei bekleding

Om de bekledingsopgave op te lossen kan een kleibekleding toegepast worden. Deze bekleding is bestemd tegen de golfaanvallen op de Vecht.

De huidige bekleding van gras op een zandondergrond is minder goed ontwikkeld en minder sterk dan een bekleding van gras op een kleibekleding. Bij rivierdijken voldoet een grasbekleding op een kleilaag veelal. Deze maatregel bestaat uit het aanbrengen van een kleilaag in het buitentalud zodat een beter ontwikkelde grasmat kan ontstaan. Als uitgangspunt is hierbij een kleilaagdikte van 1,00 m bestaande uit categorie 2 klei genomen conform de Leidraad rivierdijken, Addendum 1 (ENW, 2008). Deze combinatie biedt daarmee weerstand tegen erosie en wat marge heeft voor invloed van bijvoorbeeld graverij.

Binnenwaartse stabiliteit (STBI)

Ten opzichte van de ontwerpopgave is meer in detail gekeken naar de opgave. Hierbij is bepaald met welke terugkeertijd een overslagdebiet van 1 l/s/m optreedt. Dit vormt het uitgangspunt om al dan niet te rekenen met een verzadigd talud. Dit heeft geleid tot een wijziging in het stabiliteitsoordeel. Hieruit volgt dat er op een groot deel de stabiliteitsopgave is vervallen of dat een taludverflauwing voldoende is. Het proces om tot deze resultaten te komen is omschreven in Bijlage 5 en samengevat in Tabel 4-3 & Tabel 4-4.

Tabel 4-3 Maatregelen STBI dijktraject 9-1 (Noord)

Deeltraject	Hm		Maatregel
	Van	tot	
15 & 16A	22.2	23.1	Taludverflauwing 1V:4H
16B & 16C	24.1	24.9	Taludverflauwing 1V:4H
16C	24.9	25.7	Taludverflauwing 1V:4H
17	25.7	26.1	Taludverflauwing 1V:4H
	26.1	27.1	Taludverflauwing 1V:4H

Tabel 4-4 Maatregelen STBI dijktraject 53-3 (Zuid)

Deeltraject	Hm		Maatregel
	Van	tot	
8	95.3	97.1	Stabiliteitsberm (4 meter ² breed, 1,6-meter onder kruin) + taludverflauwing 1V:4H
8 & 7C	97.1	98.0	Damwand (Orde AZ18-700, ca. 9,5-meter lang) + taludverflauwing 1V:4H
7C, 7B, 7A & 6	99.0	100.4	Taludverflauwing 1V:4H
5	101.8	102.0	Taludverflauwing 1V:4H

Piping (STPH)

In het merendeel van de trajecten is sprake van een te lage veiligheid tegen het optreden van piping. Het piping probleem kan met verschillende klassieke en/of innovatieve maatregelen worden opgelost. In het kader van voorliggende variantenstudie zijn de volgende oplossingen beschouwd:

- Diepploegen: Een innovatieve techniek die vanwege de lokale bodemopbouw mogelijk geschikt is;
- Pipingberm: Klassieke oplossing in grond;
- Pipingscherm: Klassieke verticale oplossing (ruimtebesparend).
- Voorlandverbetering

Andere innovatieve technieken, zoals verticaal zanddicht geotextiel (VZG), grofzand barrière (GZB) of drainagetechnieken zijn vanwege de relatief hoge kosten of omdat deze als alternatieve invulling van de verticale oplossing zijn in te passen niet uitgewerkt. Eventueel zou in de planuitwerkingsfase bij het uitwerken van het VKA een nadere invulling van de verticale voorziening kunnen worden afgewogen.

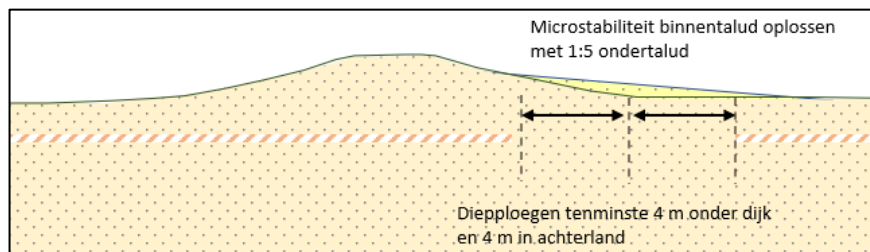
Diepploegen

De kern van het diepploegen is het doorbreken van de dunne en ondiepe stoorlaag onder het binnentalud van de dijk en het achterland. Hierdoor zou het ontstaan van een doorgaande pipe onmogelijk gemaakt moeten worden. Deze maatregel is een innovatieve oplossing voor het pipingprobleem. Hoewel de techniek bekend is, is dit nog nooit met dit doel in een dijkversterking toegepast. In Bijlage 6 zijn de uitgangspunten en onderzoeksvragen geformuleerd.

² Berekende breedte minimaal 3,5 m. In IOO-2 is besproken dat een berm vanuit beheereis minimaal 4 m moet zijn.

Voorafgaand aan de planuitwerkingsfase voert het waterschap een maakbaarheidsproef uit.

Diepploegen is uitsluitend geschikt voor typen bodemopbouw waarbij de eventueel aanwezige stoorlaag (klei- of veenlaag of ijzerhoudende afzettingen) hoog in het bodemprofiel aanwezig is. Dit type bodemopbouw is op een groot aantal locaties in het projectgebied aanwezig. De werking van deze maatregel is in Figuur 4-3 weergegeven.



Figuur 4-3 Dimensies diepploegen schematisch en onder voorbehoud van nader onderzoek. Het rood-wit gearceerd vlak geeft de stoorlaag aan die doorbroken wordt.

Omdat het toepassen van diepploegen als pipingmaatregel een innovatieve benadering is voor dijkversterken is het Adviesteam Dijkontwerp (ADO) betrokken bij de uitwerking van deze maatregel. Het projectteam werkt de onderbouwing van de techniek en het benodigde onderzoek uit en bespreekt het resultaat met het ADO, zij geeft vervolgens advies over verdere aanscherpingen om het ontwerp te optimaliseren en de onderbouwing van de techniek scherp te krijgen.

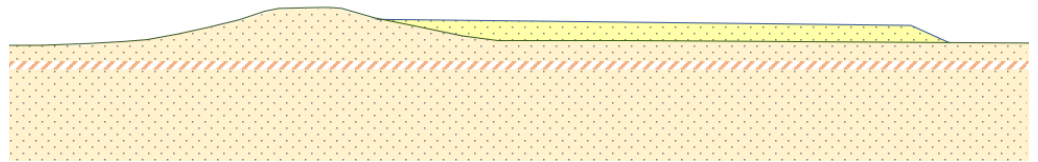
Resultaten

In ontwerpploeg 2 en in het VKA is het diepploegen meegenomen als alternatief met een ruimtebeslag conform Figuur 4-3. De beoogde ploegdiepte is voor nu ingeschat op ca 1,5 m. De uiteindelijke haalbaarheid en afmetingen volgen uit een maakbaarheidsproef met onderzoek dat door het waterschap voorafgaand aan de planuitwerkingsfase wordt uitgevoerd.

Pipingberm

In het kader van de beoordeling op piping is het kwelweglengtetekort vastgesteld met behulp van de pipingsheets van WDODelta. Wanneer een berm ter lengte van dit berekende kwelweglengtetekort wordt aangebracht, is het pipingprobleem opgelost. Het berekende kwelweglengtetekort bedraagt op veel trajecten >50 m. In de NRD (IT, Notitie Rijkwijdte en Detailniveau (NRD), 2022) heeft het waterschap vastgelegd dat pipingbermen met een lengte van meer dan 50 m niet toegepast worden vanwege de kosten en grote ruimtelijke impact. In de kansrijke alternatieven zijn pipingbermen daarom alleen opgenomen waar de benodigde berm lengte kleiner is dan deze 50 m.

De hoogte van de berm wordt bepaald aan de hand van een opbarstberekening die eveneens op basis van het pipingberekeningsheet van WDODelta kan worden uitgevoerd. Uit een conservatieve inschatting blijkt dat de bermhoogte tot circa 2,5m kan bedragen, zie Figuur 4-4.



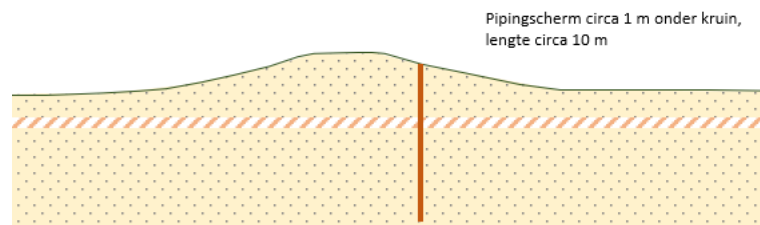
Figuur 4-4 Indicatieve afmetingen pipingberm Vechtdijken

Resultaten

De berekende bermafmetingen zijn omvangrijk in relatie tot dimensies van de huidige dijk. Dit kan deels verklaard worden doordat de uitgangspunten bij het vaststellen van de oplossingsrichtingen ten behoeve van de variantenstudie conservatief gekozen zijn. Met een aantal optimalisaties is het mogelijk om (lokaal) kortere of lagere bermen te ontwerpen. Met deze optimalisatie blijven de bermen echter aanzienlijk qua afmetingen (orde 30-40 meter). Op basis van de huidige uitgangspunten en informatie lijkt het er niet op dat dit zal leiden tot een andere voorkeursvariant. De uitwerking van de optimalisaties zal zo nodig in een volgende fase plaatsvinden. De uitgangspunten die tot nu toe zijn gebruikt, zijn samengevat in Bijlage 7. De benodigde afmetingen van de pipingbermen zijn gelijk aan het bepaalde kwelweglengtetekort. Een overzicht hiervan is bijgevoegd in Bijlage 9.

Heavescherm

Met de pipingsheets van WDOdelta kan de scherm lengte van een verticale oplossing bepaald worden. De lengte van het scherm in de zandlaag volgt uit het heavecriterium. De locatie van het scherm in het binnentalud van de dijk volgt uit de opbarstveiligheid teneinde voorloopsheid van het scherm te voorkomen. Uit de indicatieve analyses volgt een hoogte in het binnentalud van circa 1 m onder de kruin. De lengte van het scherm bedraagt circa 10 m, zie Figuur 4-5.



Figuur 4-5: Indicatieve afmetingen pipingscherm Vechtdijken

Een groot deel van de optimalisaties zoals beschreven bij het ontwerp van de pipingberm kunnen ook resulteren in een optimalisatie bij het ontwerp van een pipingscherm. Omdat deze optimalisaties eveneens een lokale en/of beperkte besparing opleveren, zijn ze in deze fase niet meegenomen bij het vaststellen van de dimensies van het scherm. Bij het uitwerken van de voorkeursoplossing zullen de optimalisaties worden meegenomen.

De resultaten van de berekeningen ten behoeve van de dimensionering van het heavescherm zijn opgenomen in Bijlage 8, de uitgangspunten worden samengevat in de notitie in Bijlage 6.

Voorlandverbetering

Als oplossing voor piping kan ook voorlandverbetering worden toegepast. Bij deze oplossing wordt klei in het voorland ingegraven waardoor de intredeweerstand toeneemt en het intredepunt verder van de buitenteen komt te liggen. Hierdoor neemt de kwelweglengte toe en het risico op piping af. Het principe van de voorlandverbetering is weergegeven in Figuur 4-6.



Figuur 4-6 schematische weergave van voorlandverbetering (bruin)

Om deze oplossing te realiseren wordt het voorland 2,0 meter afgegraven om vervolgens een kleilaag van 1,0 meter dik aan te brengen. Tot slot wordt de toplaag van 1,0 meter weer terug aangebracht. Het ingraven van de kleilaag diep onder de toplaag is hierbij noodzakelijk aangezien hiermee de functionaliteit van landgebruik zoveel mogelijk gehandhaafd kan blijven zonder dat de kleilaag beschadigt of verdwijnt. Bij het toepassen van deze maatregel worden er wel restricties gesteld aan het landgebruik. In dit geval een maximale ontgravings- of bewerkingdiepte van 1,0 meter.

De afmeting van de voorlandverbetering is variabel over het gehele dijktraject en is afhankelijk van het kwelweglengtetekort. De toepassing van een voorlandverbetering is afhankelijk van de volgende twee variabelen:

1. Aanwezigheid van voorland met een lengte van tenminste het berekende kwelweglengtetekort. Het toepassen van voorlandverbetering onder waterpartijen is mogelijk, maar de uitvoering is duurder.
2. De dijkzaterregel: de kwelweglengte mag (maximaal) 2x de dijkzate zijn.

Voor het gehele dijktraject is bepaald of een voorlandverbetering mogelijk is. In Bijlage 9 zijn de berekeningen toegevoegd.

Kunstwerken en langsconstructies

Vanuit de actualisatie van de ontwerpogave zijn voor enkele kunstwerken en langsconstructies in de dijken versterkingsopgaven gesignaleerd. Omdat de aanpassing aan deze kunstwerken en langsconstructies gezien kan worden als maatwerk dat in elk alternatief speelt is het niet bepalend voor de keuze van het VKA. De exacte opgave aan de langsconstructies is vanuit de uitgevoerde beoordeling niet voldoende duidelijk om tot verbetermaatregelen te komen. In de planuitwerkingsfase moet een meer gedetailleerde beoordeling plaatsvinden waarbij de samenhang met het gekozen VKA moet worden meegenomen.

9-1

Langsconstructies: Op traject 9-1 is er een opgave van 1,15 km aan damwanden 0,40 km aan kademuuren. Het betreft de volgende objecten: Keermuur Arnichem, Damwand bij huize Den Doorn deel 1, Damwand bij huize Den Doorn deel 2, Damwand Zijlkolk deel 1 & Damwand Zijlkolk deel 2.

Kunstwerken: Binnen traject 9-1 bestaat de opgave uit inlaat Broekhuizen die een opgave heeft vanuit betrouwbaarheid sluiting en piping.

53-3

Langsconstructies: Op traject 53-3 is er een opgave van 0,62 km aan damwanden. Het betreft de volgende objecten: Damwand nabij tankweer (binnenteen), Damwand nabij tankweer (buitenteen), Damwand haven Nieuwe Verlaat.

Kunstwerken: Binnen traject 53-3 bestaat de opgave uit coupure Agnietenberg die een opgave heeft vanuit hoogte en piping en uit sluis Nieuwe Verlaat die een opgave heeft vanuit betrouwbaarheid sluiting.

5. Nevengeul Vechterweerd

Vanuit KRW doelstellingen ten aanzien van de vispasseerbaarheid van de stuw Vechterweerd onderzoekt het waterschap de realisatie van een nevengeul aan de zuidzijde van het stuwcomplex. Dit is een meekoppelkans voor de dijkversterking waarbij de koppeling niet alleen zit in het gelijktijdig uitvoeren maar ook in het leveren van een bijdrage aan de rivierkundige compensatie (opstuwing en berging) en in het nuttig kunnen hergebruiken van vrijkomende grond uit de geul in de dijkversterking.

Door het waterschap is een schetsontwerp opgesteld van een geul die voldoet aan de eisen om de stuw vispasseerbaar te maken. Dit bestaat uit principedoorsneden van de geul en een tracé. Dit ontwerp is verwoord in notitie 'Schetsontwerp Nevengeul Vechterweerd' die is opgenomen in Bijlage 10.

De geul heeft een lengte van circa 1,5 km en heeft een minimaal profiel dat de afvoer en stroomsnelheid reguleert. Om het debiet bij zowel hogere als juist hele lage rivierafvoeren te kunnen reguleren heeft de geul twee toegangskanaaltjes met elk een eigen inlaatkunstwerk. Benedenstreams is een drempel in de geul opgenomen om te voorkomen dat de geul volledig leeg kan lopen in geval van afwaaiing. Ter plaatse van de kruising van het fietspad met de geul komt een brug of een constructie met grote duikerelementen. Aandachtspunt daarbij is de passeerbaarheid van de geul voor onderhoudsvoertuigen.

Het schetsontwerp is als basisontwerp in een 3D model uitgewerkt op basis van de principedoorsneden en het geultracé. In de planuitwerkingsfase is er de mogelijkheid om de profielen nader in te passen in de omgeving en om meer invulling te geven aan een natuurlijke vormgeving met o.a. meer variatie in waterdiepte en luwte in de randen van de geul. In Bijlage 10 zijn de situatietekening en dwarsprofielen in hoge resolutie opgenomen. Opgemerkt wordt dat in de dwarsprofielen een vlak is aangegeven, (extra) ontgraven boven dit vlak draagt bij aan compensatie van verlies waterberging door de dijkversterking.



Figuur 5-1 Bovenaanzicht nevengeul – basisontwerp (zie ook Bijlage 10)

6. Uitwerking meekoppelkansen

In afstemming met de omgeving zijn enkele (externe) meekoppelkansen (mkk) gesignaleerd naast de interne meekoppelkans van de nevengeul. In OL2 zijn deze via het omgevingsspoor met de initiatiefnemers bekeken en op schetsniveau uitgewerkt in samenhang met het ontwerp van de dijkversterking om zich te krijgen welke concreet als mkk haalbaar zijn. Van de totaal gesignaleerde mkk bleek alleen mkk 1 fietspad noordzijde Poppenallee concreet genoeg om in de effectbeoordeling mee te nemen. Het ontwerp voor de fiets- en wandel paden ligt bij de betreffende gemeenten en dient te voldoen aan de vigerende regelgeving.

Meekoppelkansen Verkenningfase:

1. Fietspad noordzijde Poppenallee. Deze is meegenomen in effectbeoordeling OL2. Uitgangspunt is breedte fietspad gelijk aan fietspad aan zuidzijde van de weg en op gelijke afstand van de weg gelegen.
2. Fietspaden Vechterweerd
 - a. fietspad zuidelijke Vechtdijk ten westen van Vechterweerd (niet meer meegenomen in effectbeoordeling OL2. Wordt nader uitgewerkt in planuitwerkingsfase)
 - b. fietspad zuidelijke Vechtdijk ten oosten van Vechterweerd (niet meer meegenomen in effectbeoordeling OL2. Wordt nader uitgewerkt in planuitwerkingsfase)
10. Wandelroutes langs de Vecht (niet meer meegenomen in effectbeoordeling OL2, mogelijk vervolg in PU fase)

Meekoppelkansen i.t.t. geul Vechterweerd

Daarnaast zijn er nog twee mkk's gesignaleerd:

6. Verbeteren vismigratie Vechterweerd (zie hoofdstuk 5)
7. Verhoging fietspad in uiterwaard bij Vechterweerd.

Meekoppelkansen overig

De andere mkk's zijn of niet meer relevant (geen raakvlak met dijk/teruggetrokken door initiatiefnemer) of hoeven pas in de planuitwerking uitgewerkt te worden.

7. Uitwerking kansrijke alternatieven

In dit hoofdstuk wordt een beknopte samenvatting gegeven van het ontwerp van de kansrijke alternatieven per deeltraject. De basis hiervoor vormen de twee in de Redeneerlijn uitgewerkte alternatieven per deeltraject, welke is toegevoegd aan Bijlage 1.

De alternatieven zijn uitgewerkt in alternatief X & Z. Dit houdt het volgende in:

- **Alternatief X:** De dijk blijft qua vorm, beeld (zandige dijk en vegetatie) en materiaal (zand) zoveel mogelijk bij de oorsprong. Daarbij wordt dit KA opgebouwd volgens de hiërarchie van in grond binnenwaarts, in grond buitenwaarts en dan pas constructie.
- **Alternatief Z:** Kansrijk alternatief Z dient vooral onderscheidend te zijn van KA-X, om zo de juiste beslisinformatie te genereren. Dus eerst wordt kansrijk alternatief X opgebouwd volgens voorstaande redeneerlijn. In Z worden vervolgens de bouwstenen toegevoegd die onderscheidend zijn t.o.v. X en die de moeite waard zijn om te onderzoeken (=kansrijk).

Bij Alternatief Z gaat de voorkeur uit naar een voorlandverbetering (optie I). Waar dit niet kan is een andere methode bepaald om de opgave op te lossen (optie II). Zier hiervoor ook de nadere uitwerking in de Redeneerlijn.

Bij het toepassen van de ontworpen afmetingen van de verschillende bouwstenen waaruit de alternatieven bestaan ontstaat het ontwerp van OL2. De uitkomst van het ontwerp van beide kansrijke alternatieven is in Tabel 7-1 samengevat. In Bijlage 11 zijn de dwarsprofielen toegevoegd.

Tabel 7-1 Kansrijke alternatieven per deeltraject (OL2)

Traject	KA	Omschrijving
1A	KA-X	Diepploegen – 8 meter breed, 1,5 meter diep
	KA-Z	Voorlandverbetering – breedte varieert tussen 13 en 45 meter
1B	KA-X	Erosiebuffer (buitenwaarts) van zand – 5 meter breed Voorlandverbetering – breedte varieert tussen 0 en 47,0 meter
	KA-Z	Verticale voorziening (piping) – lengte ca. 10 meter Gras op klei op het buitentalud
2	KA-X	Diepploegen – 8 meter breed, 1,5 meter diep Erosiebuffer (buitenwaarts) van zand – 5 meter breed
	KA-Z	Gras op klei op het buitentalud Verticale voorziening (piping) – lengte ca. 10 meter
3	KA-X	Diepploegen – 8 meter breed, 1,5 meter diep
	KA-Z	Pipingberm – breedte varieert tussen 1,6 en 45,6 meter
4	KA-X	Diepploegen – 8 meter breed, 1,5 meter diep Erosiebuffer (binnenwaarts) van zand – 5 meter breed

	KA-Z	<p>I:</p> <ul style="list-style-type: none"> Gras op klei op het buitentalud Voorlandverbetering – breedte varieert tussen 0 en 72,5 meter <p>II:</p> <ul style="list-style-type: none"> Gras op klei op het buitentalud Verticale voorziening (piping) – lengte ca. 10 meter
5	KA-X	<p>Diepploegen – 8 meter breed, 1,5 meter diep</p> <p>Erosiebuffer (binnenwaarts) van zand – 5 meter breed</p> <p>Kruinverhoging (binnenwaarts) – orde 0,7 meter</p>
	KA-Z	<p>Gras op klei op het buitentalud</p> <p>Kruinverhoging (binnenwaarts) – orde 0,7 meter</p> <p>Verticale voorziening (piping) – lengte ca. 10 meter</p>
6	KA-X	<p>Diepploegen – 8 meter breed, 1,5 meter diep</p> <p>Erosiebuffer (buitenwaarts) van zand – 5 meter breed</p>
	KA-Z	<p>Gras op klei op het buitentalud</p> <p>Verticale voorziening (piping) – lengte ca. 10 meter</p>
7A	KA-X	<p>Taludverflauwing 1:4</p> <p>Deels beperkte kruinverhoging</p>
	KA-Z	<p>Verticale voorziening (stabiliteit) – lengte ca. 10 meter</p> <p>Deels beperkte kruinverhoging</p>
7B	KA-X	Kruinverhoging – orde 0,2 meter
	KA-Z	Kruinverhoging – orde 0,2 meter
7C Special		<p>I:</p> <ul style="list-style-type: none"> Verleggen ligging kering via hoge grond en ophogen fietspad <p>II:</p> <ul style="list-style-type: none"> Verhoging kering over de camping
8	KA-X	<p>Kruinverhoging (binnenwaarts) – orde 0,3 meter</p> <p>Erosiebuffer (binnenwaarts) van zand – 7 meter breed</p> <p>Verticale voorziening (piping) – lengte ca. 10 meter</p> <p>Steunberm – 4 meter breed</p>
	KA-Z	<p>Gras op klei op het buitentalud</p> <p>Kruinverhoging (binnenwaarts) – orde 0,3 meter</p> <p>Verticale voorziening (piping) – lengte ca. 10 meter</p> <p>Verticale voorziening (stabiliteit) – lengte ca. 10 meter</p>
9	-	Geen opgave
10A	KA-X	<p>Erosiebuffer (binnenwaarts) van zand – 5 meter breed</p> <p>Diepploegen – 8 meter breed, 1,5 meter diep</p>
	KA-Z	<p>Gras op klei op het buitentalud</p> <p>Pipingberm – breedte varieert tussen 18 en 48 meter</p>
10B	KA-X	<p>Erosiebuffer (binnenwaarts) van zand – 5 meter breed</p> <p>Diepploegen – 8 meter breed, 1,5 meter diep</p>
	KA-Z	Gras op klei op het buitentalud

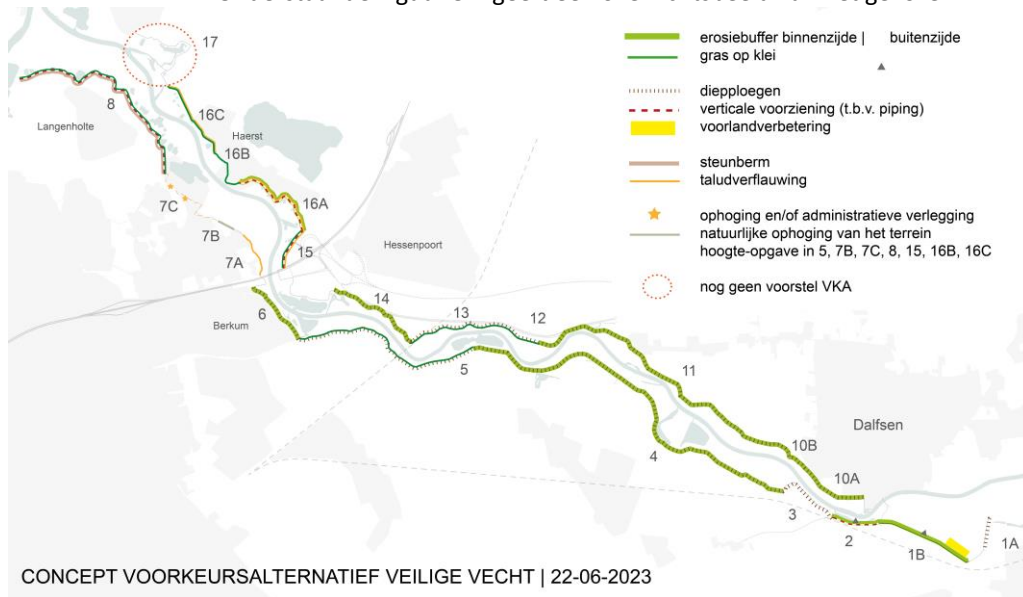
		Verticale voorziening (piping) – lengte ca. 10 meter
11	KA-X	Erosiebuffer (binnenwaarts) van zand – 5 meter breed Diepploegen – 8 meter breed, 1,5 meter diep
	KA-Z	Gras op klei op het buitentalud Verticale voorziening (piping) – lengte ca. 10 meter
12	KA-X	Erosiebuffer (binnenwaarts) van zand – 5 meter breed Diepploegen – 8 meter breed, 1,5 meter diep
	KA-Z	Gras op klei op het buitentalud Voorlandverbetering – breedte varieert tussen 32 en 94 meter
13	KA-X	I: <ul style="list-style-type: none"> Erosiebuffer (binnenwaarts) van zand – 5 meter breed II: <ul style="list-style-type: none"> Erosiebuffer (binnenwaarts) van zand – 5 meter breed Diepploegen – 8 meter breed, 1,5 meter diep
	KA-Z	I: <ul style="list-style-type: none"> Gras op klei op het buitentalud II: <ul style="list-style-type: none"> Gras op klei op het buitentalud Verticale voorziening (piping) – lengte ca. 10 meter
14	KA-X	I: <ul style="list-style-type: none"> Diepploegen – 8 meter breed, 1,5 meter diep Erosiebuffer (binnenwaarts) van zand – 5 meter breed II: <ul style="list-style-type: none"> Erosiebuffer (binnenwaarts) van zand – 5 meter breed
	KA-Z	I: <ul style="list-style-type: none"> Gras op klei op het buitentalud Voorlandverbetering – varieert tussen 0 en 98,9 meter II: <ul style="list-style-type: none"> Gras op klei op het buitentalud
15	KA-X	Kruinverhoging (binnenwaarts) – orde 0,2 meter Erosiebuffer (binnenwaarts) van zand – 7 meter breed Taludverflauwing 1:4 Verticale voorziening (piping) – lengte ca. 10 meter
	KA-Z	Kruinverhoging (binnenwaarts) – orde 0,2 meter Gras op klei op het buitentalud Verticale voorziening (stabiliteit) – lengte ca. 10 meter Verticale voorziening (piping) – lengte ca. 10 meter
16A	KA-X	I: <ul style="list-style-type: none"> Voorlandverbetering – breedte varieert tussen 6,7 en 106,5 meter Erosiebuffer (binnenwaarts) van zand – 7 meter breed Taludverflauwing 1:4 Deels beperkte kruinverhoging II:

		<ul style="list-style-type: none"> • Voorlandverbetering – breedte varieert tussen 7 en 107 meter • Erosiebuffer (binnenwaarts) van zand – 7 meter breed • Deels beperkte kruinverhoging
	KA-Z	I: <ul style="list-style-type: none"> • Gras op klei op het buitentalud • Verticale voorziening (stabiliteit) – lengte ca. 10 meter • Verticale voorziening (piping) – lengte ca. 10 meter • Deels beperkte kruinverhoging II: <ul style="list-style-type: none"> • Gras op klei op het buitentalud • Verticale voorziening (piping) – lengte ca. 10 meter • Deels beperkte kruinverhoging
16B Special	KA-X	Kruinverhoging (buitenwaarts) – orde 0,4 m Gras op klei op het buitentalud
	KA-Z	Verticale constructie – verhoging orde 0,4 m Gras op klei op het buitentalud
16C	KA-X	Kruinverhoging (binnenwaarts) – orde 0,9 meter Erosiebuffer (binnenwaarts) van zand – 7 meter breed Taludverflauwing 1:4
	KA-Z	Gras op klei op het buitentalud Kruinverhoging (binnenwaarts) – orde 0,9 meter Verticale voorziening (stabiliteit) – lengte ca. 10 meter
17 Special	KA-X	Binnenwaartse versterking: Kruinverhoging (binnenwaarts) – orde 0,9 meter Erosiebuffer (binnenwaarts) van zand – 7 meter breed Taludverflauwing 1:4
	KA-Z	Constructie: Verticale constructie – verhoging orde 0,9 m
	KA-Y	Dijkverlegging binnendijks: Van zand, taludhelling 1/3,5, hoogte in orde van NAP +3,20 m, in twee delen: <ul style="list-style-type: none"> - Met een weg op de kruin, kruinbreedte orde 7,80 m - Zonder weg op de kruin, kruinbreedte orde 4,70 m

8. Uitwerking voorkeursalternatief

Op basis van het uitgewerkte ontwerp van de twee kansrijke alternatieven en de effectbeoordeling van OL2 is het voorkeursalternatief VKA gekozen. Dit VKA is samengesteld uit de technische bouwstenen uit de twee kansrijke alternatieven. De situatie rond de Zijlkol (dijktraject 17) is dusdanig complex dat op dit moment nog geen VKA gekozen kon worden.

Onderstaande Figuur 8-1 geeft een overzichtbeeld van het gekozen VKA.



Figuur 8-1 Overzicht (concept) VKA

Een meer gedetailleerde beschrijving van het VKA aan de hand van de bouwstenen waaruit deze bestaat is opgenomen in onderstaande tabel. Bij een aantal trajecten is hierbij het onderscheid in I & II gemaakt zoals is toegelicht in de redeneerlijn. Zie hiervoor Bijlage 1.

Tabel 8-1 Concept voorkeursalternatief per deeltraject

Traject	Omschrijving
1A	Diepploegen – 8 meter breed, 1,5 meter diep.
1B	Erosiebuffer (buitenwaarts) van zand – 5 meter breed. Voorlandverbetering – breedte varieert tussen 0 en 47,0 meter.
2	Erosiebuffer (buitenwaarts) van zand – 5 meter breed. Verticale voorziening (piping) – lengte ca. 10 meter.
3	Diepploegen – 8 meter breed, 1,5 meter diep.
4	Diepploegen – 8 meter breed, 1,5 meter diep. Erosiebuffer (binnenwaarts) van zand – 5 meter breed.
5	Diepploegen – 8 meter breed, 1,5 meter diep. Kruinverhoging (binnenwaarts) – orde 0,7 meter (gedeeltelijk). Gras op klei op het buitentalud.

6	Diepploegen – 8 meter breed, 1,5 meter diep. Erosiebuffer (buitenwaarts) van zand – 5 meter breed.
7A	Taludverflauwing 1:4. Deels beperkte kruinverhoging
7B	Kruinverhoging (= maaiveldverhoging) – orde 0,2 meter.
7C Special	Oostelijk deel, verleggen ligging kering via hoge grond. Westelijk deel, integrale ophoging terrein camping.
8	Kruinverhoging (binnenwaarts) – orde 0,3 meter. Verticale voorziening (piping) – lengte ca. 10 meter. Steunberm – 4,0 meter breed. Gras op klei op het buitentalud.
9	<i>Geen opgave</i>
10A	Erosiebuffer (binnenwaarts) van zand – 5 meter breed. Diepploegen – 8 meter breed, 1,5 meter diep.
10B	Erosiebuffer (binnenwaarts) van zand – 5 meter breed. Diepploegen – 8 meter breed, 1,5 meter diep.
11	Erosiebuffer (binnenwaarts) van zand – 5 meter breed. Diepploegen – 8 meter breed, 1,5 meter diep.
12	Erosiebuffer (binnenwaarts) van zand – 5 meter breed. Diepploegen – 8 meter breed, 1,5 meter diep.
13	I: <ul style="list-style-type: none"> Gras op klei op het buitentalud II: <ul style="list-style-type: none"> Gras op klei op het buitentalud Diepploegen – 8 meter breed, 1,5 meter diep
14	I: <ul style="list-style-type: none"> Diepploegen – 8 meter breed, 1,5 meter diep. Erosiebuffer (binnenwaarts) van zand – 5 meter breed. II: <ul style="list-style-type: none"> Erosiebuffer (binnenwaarts) van zand – 5 meter breed.
15	Gras op klei op het buitentalud Kruinverhoging (binnenwaarts) – orde 0,2 meter Taludverflauwing 1:4 Verticale voorziening (piping) – lengte ca. 10 meter
16A	I: <ul style="list-style-type: none"> Verticale voorziening (piping) – lengte ca. 10 meter. Erosiebuffer (binnenwaarts) van zand – 7 meter breed. Taludverflauwing 1:4. Deels beperkte kruinverhoging II: <ul style="list-style-type: none"> Verticale voorziening (piping) – lengte ca. 10 meter.

	<ul style="list-style-type: none"> • Erosiebuffer (binnenwaarts) van zand – 7 meter breed. • Deels beperkte kruinverhoging
16B Special	Kruinverhoging (buitenwaarts) – orde 0,4 m. Gras op klei op het buitentalud.
16C	Kruinverhoging (binnenwaarts) – orde 0,9 meter. Gras op klei op het buitentalud. Taludverflauwing 1:4.
17 Special	PM. Op dit moment nog geen VKA gekozen.

Bijlage 1. Redeneerlijn kansrijke alternatieven

Bijlage 2. Aanscherpen GEBU scope

Bijlage 3. Kruinhoogteberekeningen

De aanleghoogte is bepaald op het representatieve dwarsprofiel voor het deeltraject. Deze hoogte is opgenomen in het 3D model. Vervolgens is gekeken waar er niet wordt voldaan aan deze hoogte. Dit is vervolgens samengevat en in GIS gezet in het ontwerp van de kansrijke alternatieven en het VKA. Dit leidt tot een actualisatie ten opzichte van de oorspronkelijke ontwerpogave.

Bijlage 4. Ontwerpberekening erosiebuffer bekleding

Bijlage 5. Ontwerpberekeningen stabiliteit binnenwaarts

N.B. In de bijlage is de locatieaanduiding vanuit de beoordeling en bepaling Ontwerpopgave 2080 gehanteerd. De aanduiding N en Z staan voor Noord (9-1) en Zuid (53-3), deze worden gevolgd door de regulier gebruikte dijksaalnummers. N en Z geven dus een snelle oriëntatie of het om de noordelijke of zuidelijke Vechtdijk gaat.

Bijlage 6. Ontwerpberekeningen diepploegen

Er zijn nog geen ontwerpberekeningen uitgevoerd voor de oplossingsrichting diepploegen. De haalbaarheid en dimensionering van de maatregel worden bepaald aan de hand van een aanvullende studie naar deze oplossingsrichting die o.a. samenhangt met de maakbaarheidsproef en daarbij uit te voeren grondonderzoek. De maakbaarheidsproef zal voorafgaand aan de planuitwerkingsfase in samenwerking met Wageningen Universiteit worden uitgevoerd. Overleg heeft plaatsgevonden met specialisten van WDOdelta en ADO (adviesteam dijk ontwerp) Omdat de inschatting van de specialisten omtrent de haalbaarheid van deze maatregel positief zijn, is diepploegen als bouwsteen in een van de kansrijke alternatieven meegenomen. De voorlopige dimensies zijn ingeschat op basis van veilige aannamen.

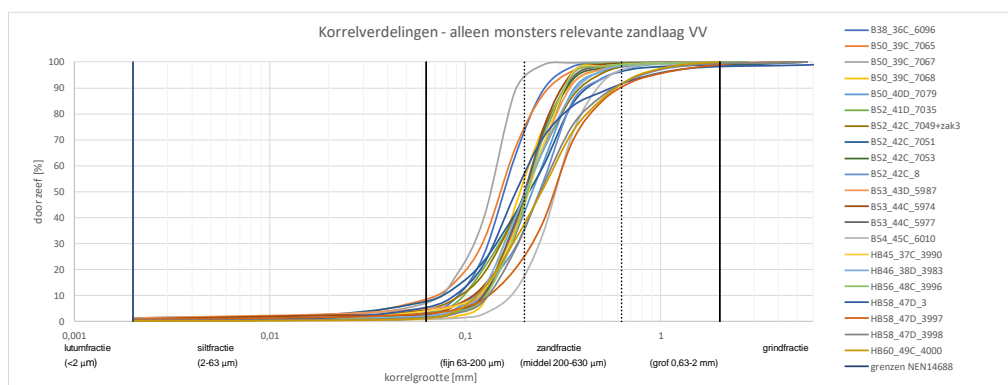
Diepploegen wordt uitsluitend als kansrijke oplossing beschouwd wanneer aan een aantal criteria wordt voldaan. Bij een te dikke, te diepe en/of te lutumrijke stoorlaag wordt het beoogde effect van diepploegen niet behaald. Voor de locaties waar diepploegen geen geschikte oplossing is, is in het ontwerp van de kansrijke alternatieven een alternatieve oplossing toegepast.

Bijlage 7. Ontwerpberekeningen pipingberm

Voor het ontwerp van de lengte van de pipingberm is uitgegaan van de kwelweglengtetekorten zoals berekend in het kader van de veiligheidsbeoordeling. De benodigde bermhoogte is eveneens afgeleid uit de pipingsheets, aan de hand van het opbarstgedeelte. Hieruit is het benodigde gewicht tegen opbarsten bepaald, dat equivalent is met de benodigde dikte (uitgaande van een materialisatie in zand of klei met een volumegewicht van circa 17,5 kN/m³. Door grote variatie in de dikte en hoogteligging van de stoorlaag, is er ook grote variatie in benodigde bermdikte berekend. Omdat de berm over korte afstanden niet al te veel in hoogte kan variëren, is uitgegaan van de maximaal berekende bermhoogte. Deze bedraagt 2,5 m in het gehele projectgebied.

Gehanteerde afleiding: benodigde bermdikte = (drukhoogte $[\Delta\phi]$ * veiligheidsfactor $[\gamma_{up}]$ * volumegewicht water) - aanwezig gewicht grond $[\sigma_g]$ / volumiek gewicht berm.

Zoals aangegeven in de hoofdtekst, zijn er optimalisaties mogelijk in de pipingberekeningen. Deze hebben met name effect op de vastgestelde bermlengte. In onderstaande figuur zijn de korrelverdelingsgrafieken opgenomen van de ondiepe zandlaag in het projectgebied. In de grafiek is te zien dat de gemiddelde korreldiameter enigszins varieert (circa 150 tot 350 μm), maar dat de vorm van de grafieken (die iets zegt over de korrelgrootteverdeling) redelijk uniform is.

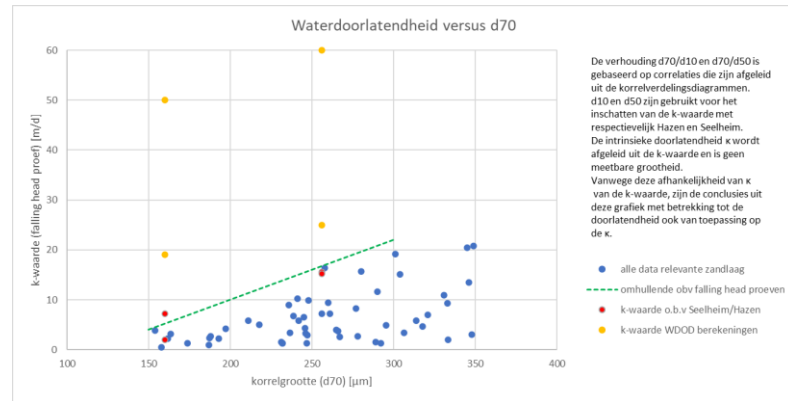


Figuur 8-2: Korrelverdelingsdiagrammen pipinggevoelige zandlaag Veilige Vecht

Op basis van de korrelgrootte kan een inschatting gemaakt worden van de doorlatendheid van het zand. Fijnkorrelig zand is doorgaans gevoeliger voor piping (de korrels worden sneller getransporteerd), maar de bijbehorende lagere waterdoorlatendheid werkt juist gunstig in de Sellmeijer berekening. Het combineren van een kleine korrelgrootte met een hoge waterdoorlatendheid levert de grootste pipinglengtetekorten op.

In onderstaande figuur is de analyse van de waterdoorlatendheid (aan de hand van falling head proeven) ten opzichte van de korrelgrootte opgenomen. In de grafiek is te zien dat de waterdoorlatendheid zoals afgeleid met correlaties (Seelheim en Hazen) k-waarden oplevert die rond de omhullende van de datapunten ligt. Deze correlaties geven derhalve een bovengrens voor de k-waarde voor het betreffende zand (korrelgrootte). De in de berekeningen gehanteerde k-waarden (en de hieruit afgeleide waarden voor de intrinsieke doorlatendheid κ) liggen hoger dan deze waarden.

Optimaliseren van dit uitgangspunt kan resulteren in een kleiner kwelweglengtetekort en daarmee een kortere benodigde berm lengte.



Figuur 8-3: Relatie tussen korrelgrootte en waterdoorlatendheidseigenschappen (k -waarde/ k)

Bijlage 8. Ontwerpberekening heavescherm

Het ontwerp van het heavescherm is gebaseerd op de heave berekeningen in de pipingsheets van WDODelta. De benodigde kwelschermlengte is bepaald uit:

Minimaal benodigde schermlengte (X) = drukhoogteverschil ($\phi_0 - h_p$) / kritiek verhang ($i_{c,h}$)

De veiligheidsfactor voor heave (γ_{he}) is reeds verwerkt in het kritiek verhang. De berekende schermlengte bedraagt ruim 10 m. Lokaal kan het scherm circa 2 m langer of korter uitvallen. Omdat de schermlengte wel eenvoudig te variëren is, is voor de benodigde schermlengte gebaseerd op een gemiddelde lengte.

Bijlage 10. Ontwerp nevengeul Vechterweerd

- Schetsontwerp Nevengeul Vechterweerd (2 juni 2023)
- Tekening (situatietekening en dwarsprofielen)

Bijlage 11. Uitwerking kansrijke alternatieven per deeltraject

Dwarsprofielen per deeltraject.

Bijlage 12. Uitwerking Voorkeursalternatief

Dwarsprofielen per deeltraject.

Bijlage 13. Maatwerklocaties

- Bijlage 13-1 Maatwerklocaties bij de kansrijke alternatieven.
- Bijlage 13-2 Maatwerklocaties bij het voorkeursalternatief.

