Datum : 10 juni 2024
Auteur : [redacted]
Status : Definitief

Ontwerpnota Definitief Ontwerp +

Dijkversterking Buggenum

Autorisatie	Auteur	Goedkeuring	Vrijgave
Naam	[redacted]	[redacted]	[redacted]
Datum	25-06-2024	25-06-2024	25-06-2024
Handtekening			

Versiebeheer

Revisienummer	Datum	Status	Toelichting
0.8	12-02-2024	Concept	Aangeboden voor review projectteam
0.9	08-03-2024	Concept	Aangeboden voor gate review
1.0	09-04-2024	Concept	Gate-review verwerkt
1.1	07-06-2024	Concept	Update naar DO+
1.2	24-06-2024	Definitief	Reviewopmerkingen DO+ verwerkt

Inhoudsopgave

Versiebeheer **2**

Samenvatting **4**

1 Inleiding **5**
1.1 Aanleiding 5
1.2 Doelstelling 5
1.3 Ontwerpproces 5

2 Projectdoelstellingen en afwegingscriteria **7**
2.1 Ontwerpfilosofie 7
2.2 Afwegingskader materialisatie 7

3 Systeem- en eisenanalyse **9**
3.1 Systeembeschrijving 9
3.2 (context)objectenboom 10
3.3 Referentie-ontwerp (DO-) 11
3.4 Ontwerpopgaven 11
3.4.1 Veiligheids- en versterkingsopgave 11
3.4.2 Inpassingsopgave 14
3.4.3 Gebiedsopgave 14
3.5 Eisenanalyse 14
3.6 Verificatie- en validatieplan 16
3.7 Risicoanalyse 17
3.8 Veiligheid en Gezondheid 18

4 Ontwerp per object **21**
4.1 Ontwerp dijk 21
4.1.1 Materialisatie kern en bekleding 21
4.1.2 Grasbekleding 22
4.1.3 Pipingmaatregelen 23
4.2 Beheervoorzieningen 26
4.2.1 Inspectiestrook 26

4.2.2 Toegangspoorten 26
4.2.3 Onderhoudspad 27
4.2.4 Anti-graverij maatregelen 27
4.3 Spoordijk 28
4.3.1 Spoordijk als hoge grond 28
4.3.2 Dassentunnel 29
4.4 Hoofdwatersysteem 29
4.4.1 Vaarweg Maas, koelwaterkanaal en kom 29
4.4.2 Invaaropening 31
4.5 Infrastructuur 32
4.5.1 Perceelontsluitingen 32
4.5.2 Wegen en dijkovergangen 32
4.5.3 Kavelpad (dijkvak 2) 33
4.6 Recreatieve voorzieningen 33
4.6.1 Bomen en beplanting 33
4.6.2 Befietsbaar pad 34
4.6.3 Afmeervoorzieningen en drijvende voetbrug 34
4.6.4 Taludtrappen 35
4.6.5 Loswal 35
4.7 Kabels en leidingen 36
4.7.1 Uitstroomvoorziening overstort gemeente Leudal 36
4.7.2 WBL-leiding 37
4.8 Regionaal watersysteem 37
4.8.1 Watergangen en duikers 37
4.8.2 Kunstwerk doorlaatwerk Ziep 37

5 Afwegen en optimaliseren 39
5.1 Ontwerpafwegingen ruimtebeslag 39
5.2 Extern ontwerpatelier 40
5.3 Maakbaarheidstoets 41

6 Verificatie 42
6.1 Review op kwaliteit 42
6.2 Verificatie 42

7 Validatie 44
7.1 Valideren ontwerp met eindgebruikers 44
7.2 Toets sober en doelmatig 44
7.3 Besluitvorming en vaststellen baseline 44

Samenvatting

Tussen januari 2024 en juni 2024 zijn het Definitief Ontwerp (DO) en DO+ voor dijkversterking Buggenum uitgewerkt. De basis voor dit ontwerp betrof het DO- waarin het ruimtebeslag voor de dijkversterking is vastgelegd. In het DO is met name de materialisatie van de dijkversterking uitgewerkt.

In het DO- bestond de dijkversterking uit 7 dijkvakken. In het DO is de dijkversterking op dijkvak 7 vervallen, doordat is aangetoond dat de spoordijk Roermond – Eindhoven fungeert als hoge grond en de waterveiligheid gedurende 50 jaar voldoende borgt. Hiervoor wordt een bestaande dassentunnel wel afgesloten.

Voor de dijkversterking is gewerkt op basis van de principes van grondgestuurd ontwerpen. Hiermee wordt toepassing van zo veel mogelijk gebiedseigen grond mogelijk gemaakt, met als ambitie de dijkversterking zo veel mogelijk circulair uit te voeren. De nieuwe kleibekleding voor het gehele dijktraject bestaat uit schrale klei. In combinatie met een gesloten biodiverse grasbekleding biedt de schrale kleibekleding voldoende sterkte. In de dijkvakken 1 en 3 t/m 6 worden pipingmaatregelen getroffen. Deze bestaan voor de dijkvakken 1, 3 en 4 uit een kleikist, dijkvak 5 klei-inkassing buitendijks en dijkvak 6 scherm (voorkeur hergebruik) en pipingberm met een kleikist aan het uiteinde. Ten opzichte van het DO- is op basis van nader grondonderzoek de versterkingsopgave voor piping deels vervallen in dit dijkvak, namelijk tussen de Dorpsstraat en de Ohéstraat.

Op basis van diverse keukentafelgesprekken en ontwerpateliers met bewoners is het ruimtebeslag in dijkvak 2 en 4 en 5 gewijzigd. De dijkovergang van de Dorpsstraat (dijkvak 5) is in het DO verplaatst naar dijkvak 4. De dijk ter plaatse van dijkvak 4 is in het DO+ t.o.v. DO naar buiten verplaatst om te zorgen dat de bedrijfsvoering van de boomgaard voortgezet kan worden. Hier worden ook maatregelen tegen graafschade van dassen gerealiseerd d.m.v een gaas op het dijktalud en in de buitenteen. De meekoppelkans van fietsen op de dijk ter plaatse van de Dorpsstraat is vervallen.

Voor rivierkundige, nautische en ecologische (KRW) effecten zijn gecombineerde maatregelen uitgewerkt. Deze bestaan uit het opvullen van de oude invaart van het koelwaterkanaal (kom) en realiseren van een plas-drassituatie als habitat voor riet en het realiseren van een permeabele dam aan de bovenstroomse zijde van het koelwaterkanaal.

De twee kunstwerken in dijkvak 6, de overstortleiding en doorlaatwerk voor de Ziep worden op een nieuwe locatie gerealiseerd. De locatie van het doorlaatwerk voor de Ziep wordt gesitueerd naast een loswal voor boten (meekoppelkans). De afmeervoorzieningen worden verplaatst naar de nieuwe locatie in het koelwaterkanaal. Uit inspectie is gebleken dat alleen een klein deel van de drijvende steigers mogelijk hergebruikt kan worden. Ter plaatse van het spoor sluit de dijk aan op het talud van de spoordijk.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De dijk bij Buggenum voldoet niet aan de waterveiligheidsnormen en dient te worden versterkt. De planning is dat Buggenum in 2027 hoogwaterveilig is op basis van de huidige normering. De scope van het dijktraject Buggenum bestaat uit het versterken en het aansluiten op hoge grond van de huidige waterkering. Het Programmateam HWBP van Waterschap Limburg (WL) is de opdrachtgever van het project. In juni 2023 is het dijkversterkingsproject Buggenum gegund aan Ploegam en Dura Vermeer, die gezamenlijk de Dijkzone Alliantie Buggenum (vanaf nu: DA) vormen. In de zomer van 2023 zijn DA en WL gestart met de nadere planuitwerking voor het project. Dit heeft geresulteerd in een DO- aan het einde van 2023 waarin het ruimtebeslag voor de dijkversterking ten behoeve van de planproducten en grondverwerving is vastgelegd

Het DO- dient als basis voor dit Definitief Ontwerp (DO) en DO+ waarin voornamelijk de materialisatie van de dijkversterking wordt uitgewerkt. Naar aanleiding van de validatie van het DO- is op enkele dijkvakken het ruimtebeslag gewijzigd in het DO en DO+. Deze wijzigingen worden in deze ontwerpnota beschreven. De dijkversterking heeft daarnaast ecologische, nautische en rivierkundige effecten, die gemitigeerd moeten worden. De mitigerende maatregelen zijn beschreven in deze ontwerpnota. De dijk is opgedeeld in 7 dijkvakken. Omdat deze ontwerpnota de materialisatie betreft zijn ontwerpkeuzes beschreven per object. Die objecten zijn aanwezig in één of meerdere dijkvakken, waarbij specifiek is aangegeven voor welk dijkvak welke keuze geldt.

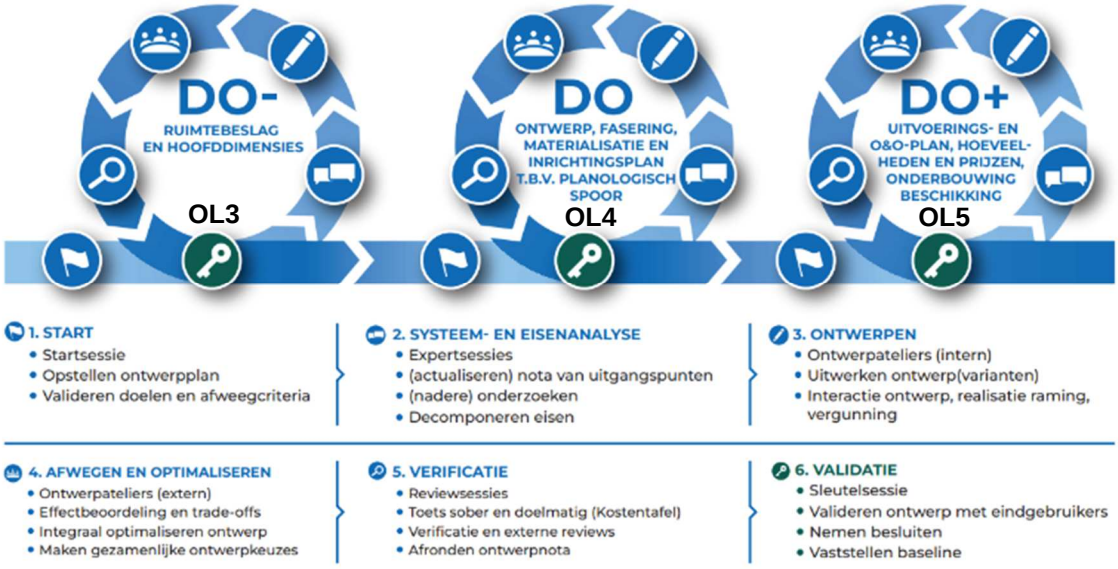
1.2 Doelstelling

Doelstelling van de ontwerpnota is de ontwerpkeuzes voor het dijkversterkingsproject Buggenum vast te leggen, en zo de integrale ontwerpkeuzes herleidbaar te maken.

1.3 Ontwerpproces

DA werkt in een vast ritme van ontwerploops (zie figuur 1). Dit cyclische proces volgt de PDCA (Plan Do Check Act) cyclus. Iedere ontwerploop bestaat uit 6 korte sprints, die elk resulteren in een tussenproduct. Tijdens de eerste ontwerploop, die is doorlopen door Waterschap Limburg, is het voorkeursalternatief (VKA) vastgesteld. Op basis van het VKA heeft waterschap Limburg een voorlopig ontwerp (VO) uitgewerkt (ontwerploop 2). Dit VO is nader uitgewerkt tot een DO- in ontwerploop 3. In ontwerploop 4 is de materialisatie uitgewerkt en daarna in ontwerploop 5 (DO+) de inrichtingsmaatregelen.

Met deze aanpak voor het ontwerpproces sluiten we aan op de standaarden voor de waterschappen, die vastgelegd zijn in de HEEL systematiek voor Systems Engineering. Zie https://heel-nl.nu/.



Figuur 1: Ontwerploops dijkversterking Buggenum

Deze ontwerpnota is opgebouwd volgens de door DA gehanteerde sprints: H2 Projectdoelstellingen en -afwegingscriteria, H3 Systeem- en eisenanalyse, H4 Ontwerpen, H5 Afwegen en optimaliseren, H6 Verificatie en H7 Validatie.

2 Projectdoelstellingen en afwegingscriteria

2.1 Ontwerpfilosofie

Het doel van het project is om een sobere, doelmatige, en waterveilige dijkversterking te realiseren die voldoet aan de normen van de Waterwet en aansluit op de financiële kaders van de subsidieregeling HWBP, met een ambitie om de duurzaamste dijkversterking van Nederland te realiseren. Voor het ontwerp hanteren we daarom de volgende filosofie:

- We hebben als ambitie van Buggenum de meest circulaire dijkversterking van Nederland te maken. We werken het ontwerp uit volgens de principes van grondgestuurd ontwerpen: we bouwen de nieuwe dijk zo veel mogelijk op met het materiaal dat lokaal vrij komt én milieukundig (wettelijk gezien) toegepast mag worden. De fysische eisen aan benodigd materiaal zijn zodanig dat een veilige dijk gerealiseerd wordt met vrijkomend materiaal uit het beheergebied van de Maas;
- We werken binnen de kaders van sober en doelmatig. Sober betekent dat we primair de dijkversterkingsmaatregelen met als zichtjaar 2075 uitvoeren die nodig zijn voor de versterkingsopgave. Daarnaast voeren we inpassingsmaatregelen uit waarbij we de huidige functionaliteiten terug brengen. Nieuwe functionaliteiten betreffen meekoppelkansen. De financiering hiervoor borgen we bij derden (in ieder geval buiten het HWBP subsidiabele deel). Doelmatig betekent dat we integrale ontwerpafwegingen maken op prestaties, kosten en risico's;
- We passen de dijk samenhangend als een nieuw maar vanzelfsprekend element in het landschap. Hiertoe passen we de vijf leidende principes uit het document 'Ruimtelijke kwaliteit Noordelijke Maasvallei' toe. Concreet betekent dit dat het dijktracé zo veel mogelijk bestaande landschappelijke structuren volgt met een vloeiende lijn door het landschap. Het aantal (scherpe) knikpunten wordt zoveel mogelijk beperkt. We richten de dijk en versterkingsmaatregelen zo veel mogelijk in op multifunctioneel ruimtegebruik. We hebben hierbij aandacht voor de verbinding tussen het dorp Buggenum en de Maas. Waar mogelijk benutten we kansen voor recreatief medegebruik.

2.2 Afwegingskader materialisatie

In ontwerploop 3 (DO-) is het ruimtebeslag bepaald. Hier zijn op basis van integrale afwegingscriteria verschillende varianten afgewogen. Voor de materialisatie en inrichting zijn enkele van deze afwegingscriteria relevant, omdat de meeste criteria betrekking hebben op de ruimtelijke effecten. Deze criteria zijn in tabel 1 weergegeven.

Tabel 1 afwegingscriteria ten behoeve van materialisatie

Nr.	Doelstelling	Afwegingscriterium	Wijze van onderbouwing
1	Minimaliseren milieu-impact van het werk	Mate waarin de materialisatie leidt tot uitvoering en productie met uitstoot schadelijke stoffen (CO2 en NOx).	MKI-berekening per ontwerploop in rapportage duurzaamheid
2	Draagvlak	Mate waarin het ontwerp draagvlak heeft bij de stakeholders.	Inzichtelijk maken effecten op woon-, werk- en leefmilieu. Terugkoppeling in de interne en externe ontwerpateliers.
3	Ruimtelijke kwaliteit	Landschappelijk goed ingepast ontwerp.	Impact op Landschappelijke-, Natuur-, Cultuurhistorie- en Archeologische waarden. Expert judgement op basis van waarden ter plaatse van ruimtebeslag.

4	Circulariteit	Mate waarin lokaal vrijkomende materialen kunnen worden hergebruikt.	% van het materiaal dat kan worden hergebruikt inzichtelijk gemaakt in materiaalbalans
35	Beheerbaarheid	Mate waarin met materialisatie een minimale beheer, onderhoud en monitoringsinspanning de betrouwbaarheid van de waterkering kan worden geborgd.	Expert judgement door de beheerder op beheerinspanning (bereikbaarheid, schadegevoeligheid etc).
6	Integraal veilig werken	Mate waarin het ontwerp veilig maakbaar en te gebruiken is.	Mate waarin het ontwerp veilig gerealiseerd kan worden.
7	Aanlegkosten	Kosten voor realisatie van het ontwerp.	Raming bouwkosten (variant).
8	Levensduurkosten	Kosten voor beheer, onderhoud en sloop over de levensduur.	Inzichtelijk maken levenscylcuskosten (kwalitatief) en onderbouwing van de uitbreidbaarheid

3 Systeem- en eisenanalyse

3.1 Systeembeschrijving

De dijkversterking Buggenum is ca. 3 km lang en beschermt het dorp Buggenum tegen hoogwater. Zoals eerder genoemd is de dijk opgedeeld in 7 dijkvakken, tussen de aansluitingen met hoge grond voor de Spirwitweg en het spoor in het zuiden. De dijk heeft taluds met een helling van 1:3, met een klei-inkassing met een breedte van 2,5 meter aan binnen- en buitenzijde. De kruinbreedte is minimaal 4,5 meter, tenzij deze gebruikt wordt als fietspad of openbare weg, dan geldt een kruinbreedte van 5,5 meter.

Tabel 2: objectenboom relevante objecten DO+

Objecten(boom) dijkversterking Buggenum	Dijkvak	Dijkvak	Dijkvak	Dijkvak	Dijkvak	Dijkvak	Dijkvak
Object	**Dijkvak 1**	**Dijkvak 2**	**Dijkvak 3**	**Dijkvak 4**	**Dijkvak 5**	**Dijkvak 6**	**Dijkvak 7**
OBJ-00001 - Buggenum	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**
OBJ-00002 - Dijk	x	x	x	x	x	x	x
OBJ-00003 - Kruin	x	x	x	x	x	x	
OBJ-00004 - Kleibekleding binnentalud	x	x	x	x	x	x	
OBJ-00007 - Kleibekleding buitentalud	x	x	x	x	x	x	
OBJ-00008 - Klei-inkassing binnendijks	x	x	x	x	x	x	
OBJ-00009 - Kern	x	x	x	x	x	x	
OBJ-00010 - Kwelsloot	x	x	x	x	x	x	
OBJ-00012 - Pipingmaatregel (achterland)	x		x	x	x	x	
OBJ-00013 - Oever-/ bodembescherming					x	x	
OBJ-00014 - Grasbekleding	x	x	x	x	x	x	
OBJ-00016 - Beheervoorziening	x	x	x	x	x	x	
OBJ-00017 - Inspectiestrook	x	x	x	x	x	x	
OBJ-00019 - Toegangspoort / afrastering dijk	x	x	x	x	x	x	
OBJ-00020 - Onderhoudspad waterkering	x	x	x	x	x	x	
OBJ-00021 - Anti graverij maatregel			x	x	x	x	
OBJ-00022 - Spoordijk						x	x
OBJ-00066 - Dassentunnel spoor							x
OBJ-00028 - Hoofdwatersysteem					x	x	
OBJ-00029 - Vaarweg Maas/Lateraalkanaal					x	x	
OBJ-00030 - Langsdam					x		
OBJ-00031 - Invaaropening					x	x	
OBJ-00032 - Koelwaterkanaal					x	x	
OBJ-00033 - Waterbufferkom					x		
OBJ-00035 - Uiterwaarden (Vogelkop)						x	
OBJ-00036 - Infrastructuur	x	x	x	x	x	x	
OBJ-00037 - Perceelontsluiting	x	x	x	x	x	x	
OBJ-00038 - Weg				x			
OBJ-00039 - Kavelpad (dijkvak 2)		x					
OBJ-00040 - Dijkovergang	x	x	x	x	x	x	
OBJ-00041 - Recreatieve voorzieningen	x	x	x	x	x	x	
OBJ-00042 - Dijkinrichting	x	x	x	x	x	x	
OBJ-00043 - Bomen en beplanting	x	x	x	x	x	x	
OBJ-00044 - Fietspad					x	x	
OBJ-00045 - Afmeervoorzieningen					x	x	
OBJ-00046 - Voetpad					x	x	
OBJ-00047 - Taludtrap					x	x	
OBJ-00048 - Loswal botenstalling					x	x	
OBJ-00049 - Drijvende voetbrug					x	x	
OBJ-00050 - LNC	x	x	x	x	x	x	
OBJ-00051 - Kabels & Leidingen	x	x	x	x	x	x	
OBJ-00052 - Uitstroomvoorziening overstort gemeente						x	
OBJ-00054 - Ziggo Data		x			x	x	
OBJ-00058 - WBL Vrijverval 800 GVK			x	x			
OBJ-00060 - Beregeningsputten	x	x	x	x			
OBJ-00061 - Persriool gemeente					x		
OBJ-00062 - Coupure Dorpsstraat (te amoveren)					x		
OBJ-00063 - Regionaal watersysteem	x		x			x	
OBJ-00065 - Uitwateringssluis Ziep						x	

3.2 (context)objectenboom

Om de scope van het Werk inzichtelijk te maken hebben we de context- en systeemanalyse uit het DO- geactualiseerd. In de objectenboom in tabel 2 zijn alle objecten weergegeven waar werkzaamheden aan verricht moeten worden in het kader van dijkversterking Buggenum. Aan deze objecten zijn één of meerdere eisen gekoppeld.

3.3 Referentie-ontwerp (DO-)

In ontwerploop 3 is het DO- uitgewerkt en vastgesteld als baseline 3. In deze baseline is het ruimtebeslag vastgelegd ten behoeve van de grondverwerving en planprocedure. Het DO- dient als basis voor verdere uitwerking van het DO en DO+.

Figuur 2: DO- dijkversterking Buggenum

3.4 Ontwerpopgaven

3.4.1 Veiligheids- en versterkingsopgave

Op dijkversterking Buggenum (normtraject 75-1) zijn er veiligheidsopgaven voor de volgende faalmechanismen: overloop en overslag (GEKB), piping, bekleding (GEBU, GABU, stBKL), microstabiliteit (STMI), kunstwerken en Niet Waterkerende Objecten. De dominante faalmechanismen zijn overloop en overslag en piping. Voorafgaand aan het uitwerken van de DO zijn de volgende veiligheidsopgaves per dijkvak gedefinieerd. Op dijkvak 1 t/m 6 betrof dit een veiligheidsopgave voor overloop en overslag en op dijkvakken 1 en 3 t/m 7 een opgave voor piping. Deze opgaves zijn verder uitgewerkt in de geotechnische onderbouwing in bijlage 1, waarbij ook veiligheidsopgaves zijn komen te vervallen.

Voor overloop en overslag zijn de ontwerp- en aanleghoogtes berekend. In het kader van het DO zijn de ontwerphoogtes geactualiseerd met de meest actuele versie van Hydra-NL (2.8.2). De ontwerphoogte (2075) ligt tussen NAP +22,0m en NAP +22,1m. De aanleghoogte betreft de hoogte na de initiële zetting en klink. Er is rekening gehouden met een maximale restzetting na aanleg van 20 cm. In tabel 3 zijn ontwerp- en aanleghoogtes weergegeven. Door klei in lagen van ca. 20 cm aan te brengen en goed te verdichten kan ervan uitgegaan worden dat de klink van

het ophoogmateriaal verwaarloosbaar is. Bij dikkere lagen van ca. 40 cm bedraagt de klink ca. 5%. Deze klink treedt relatief snel op tijdens de uitvoering. Hiermee wordt rekening gehouden in de aan te brengen volumes

Tabel 3: ontwerp- en aanleghoogtes obv Hydra-NL 2.8.2 en berekende restzettingen

Dijkvak	**Aanleghoogte maximaal (2027) [m NAP]**	**Berekende restzetting ter plaatse van kruin (m) karakteristiek**	**Ontwerphoogte (2075) [m NAP]**
1	22,2	0,13	22,0
2	22,2	0,13	22,0
3	22,2	0,13	22,0
4	22,2	0,03	22,0
5	22,3	0,05	22,1
6a Dorpsstraat - Ohéstraat	22,3	0,84	22,1
6b Ohéstraat -Spoor	22,3	0,13	22,1
7	n.v.t		22,0

Omdat op dijkvak 6a de restzettingen groter zijn dan de norm worden hier zettingsversnellende maatregelen in de vorm van een voorbelasting toegepast.

Uit optimalisatie van de versterkingsopgave is gebleken dat ter plaatse van dijkvak 7 geen versterkingsmaatregelen getroffen worden. De berekende ontwerphoogte op basis van HBN bedraagt NAP +22,0m. Dit is lager dan eerder berekenende ontwerphoogtes vanwege de autonome ontwikkeling van ophoging van het voorland ter plaatse van het voorland (OML terrein) in 2020-2021 tot NAP +21,9m en de gunstiger hydraulische randvoorwaarden.. De hoogte van de spoordijk hoger is dan HBN (2075), namelijk de spoordijk ligt tussen NAP22,6 en NAP22,8. De spoordijk is daarmee hoge grond die voorkomt dat overstroming kan optreden vanuit de bovenstroomse zijde van de Maas (en lateraalkanaal). De waterstand waarop wordt gerekend voor het faalmechanisme stabiliteit en piping is bij WBN (waterstand bij norm) en niet HBN. Het WBN ligt voor 2075 (50 jaar) op NAP +21,5 voor de dijkvak 7, dus onder maaiveldniveau van het voorland (NAP +21,9). Dit betekent dat de faalkans van de spoordijk dus nihil is. Doordat de spoordijk als hoge grond wordt aangewezen, worden er in dijkvak 7 geen versterkingsmaatregelen getroffen.

Er is voor piping één intredepunt dat relevant is, namelijk het verlengde van het koelwaterkanaal aan de zuidzijde, waar er bij hoogwater wel water tegen de dijk staat. Deze locatie is weergegeven in figuur 3.

Figuur 3: locatie van het verlengde deel van het koelwaterkanaal

Het verval in dijkvak 6 is maatgevend voor de pipingopgave. Hierdoor is een maatregel voor piping in dijkvak 7 niet noodzakelijk en is voor dijkvak 7 geen sprake van een veiligheidsopgave.

Ter plaatse van dijkvak 1,3, 4 en 6 is er een veiligheidsopgave voor piping. In dijkvak 5 is er geen sprake van een veiligheidsopgave, maar bestaat er een restrisico op piping door klei-bijmenging van het zandige kernmateriaal van de dijk. In dijkvak 5 worden wel versterkingsmaatregelen getroffen. In tabel 4 zijn de maatgevende kwelweglengtetekorten weergegeven voor de dijkvakken 1,3,4 en 6. In februari 2024 hebben er aanvullende boringen en HPT sonderingen plaats gevonden in dijkvak 1 en 6. De uitkomsten hiervan zijn verwerkt in de grondparameters in het DO. Ook zijn er voor ieder dijkvak gedetailleerde berekeningen uitgevoerd met D-Geoflow. Hiermee is de versterkingsopgave voor piping geoptimaliseerd. De eerste 20 meter van dijkvak 1 zijn voldoende beoordeeld en derhalve kan achterloopsheid worden uitgesloten. In dijkvak 6 voorkomt het aanleggen van een pipingberm achterloopsheid. E.e.a. is toegelicht in bijlage 1.

Tabel 4 Kwelweglengtetekorten en diepte pipingmaatregel (verticaal)

Dijkvak	Kwelweglengtetekort maatgevend (m)	Diepte pipingmaatregel in het zand
1	30,9	2,3*
3	19,9	1,6*
4	43,2	2,2*
5		1,0*
6	180	5,4**

*diepte vanaf maaiveld

** Hiervoor wordt een damwandscherm met een lengte van 6 meter toegepast, op 0,5 meter onder maaiveld. Voor een deel van het dijkvak wordt een pipingberm toegepast. Om achter- en onderloopsheid te voorkomen zijn hier aanvullend kleischermen met een diepte van 1,8 respectievelijk 1,5 meter diep nodig.

Dijkvak 1 t/m 6 zijn ontworpen op het faalmechanisme macrostabiliteit binnen- en buitenwaarts, op basis van de Nota van Uitgangspunten DO en de meest actuele software D-Stability versie 2023.01. De beoordeling is bijgevoegd in bijlage 1. Hieruit blijkt dat voor alle dijkvakken op basis van de materialisatie en geometrie aan het faalmechanisme macrostabiliteit wordt voldaan.

Er bevinden zich twee kunstwerken in het projectgebied, namelijk overstortleiding van het bergbezinkbassin en de uitwateringsduiker van de Ziep. Beide kunstwerken liggen in dijkvak 6. Beide kunstwerken zijn in 2013 op basis van beheerdersoordeel afgekeurd op het faalmechanisme betrouwbaarheid sluiten, omdat ze niet dubbel kerend zijn. Ter plaatse van dijkvak 4 ligt in de toekomstige situatie een kruisende WBL vrij verval rioolleiding. Dit is een niet waterkerend object. Deze leiding is als kruisende leiding beoordeeld en zo nodig ontworpen met de vigerende NEN 3650 normen. Ter plaatse van de kruising met de waterkering is een verbreding van de kruin niet nodig, omdat de WBL leiding drukloos is.

3.4.2 Inpassingsopgave

Als onderdeel van de inpassingsopgave worden de huidige functionaliteiten teruggebracht. De belangrijkste inpassingsopgaven zijn:

- In het projectgebied worden 5 dijkovergangen aangelegd, waar de dijk de huidige infrastructuur kruist. Dit betreft de Arixweg, Wijnaardenweg, Groeneweg, Dorpsstraat en Ohéstraat. De overgangen van de Arixweg en Wijnaardenweg worden in asfalt aangebracht. De verbinding tussen de Groeneweg, Dorpsstraat en Groezeweg wordt afgewaardeerd naar een halfverharding. Binnendijks wordt een verbinding aangelegd tussen de Dorpsstraat en Groeneweg;
- De perceeltoegang in dijkvak 2 wordt gegarandeerd met een kavelpad, dat éénzijdig toegankelijk is vanaf de Arixweg. De buitenteen van de dijk wordt beschermd tegen bereiden met tractoren;
- De huidige aanlegsteigers in het koelwaterkanaal moeten worden verplaatst naar het bovenstroomse gedeelte van het koelwaterkanaal. Het huidige aantal van 49 ligplaatsen moet hierbij terug worden gebracht. Een schip met RB-klasse neemt één ligplaats in, een schip met AM-klasse 2 of meer. Ook ca. 10 parkeerplekken aan Dorpsstraat voor recreanten moeten worden teruggebracht aan de Ohéstraat;
- Bij dijkvak 5 ontstaat tussen de Dorpsstraat een nieuwe verblijfsruimte. In overleg met de bewoners worden hier de huidige recreatieve waarden van de langsdam en achterland teruggebracht, zoals zitelementen en een informatiebord;
- De huidige langsdam wordt afgegraven. Hier staat een monument met een recreatieve functie. De bakstenen uit het monument worden teruggebracht in de vorm van zitelementen aan de dijk;
- De huidige dijktrappen worden teruggebracht in de vorm van vervangende dijktrappen
- Mitigerende en compenserende maatregelen voor de rivierkundige, nautische en ecologische aspecten.

3.4.3 Gebiedsopgave

Uit het DO- zijn een tweetal meekoppelkansen geïnventariseerd:

- Het realiseren van een befietsbaar pad tussen de Ohéstraat en Dorpsstraat met lindes. In het DO is deze meekoppelkans vervallen vanwege gebrek aan draagvlak;
- Permanent maken van de loswal voor boten in dijkvak 6;

3.5 Eisenanalyse

In sprint 2 van iedere ontwerploop worden de eisen en uitgangspunten geactualiseerd die van toepassing zijn op die ontwerploop. Om grondgestuurd ontwerpen mogelijk te maken is voor de materialisatie afgeweken van de “standaard” eisen van Waterschap Limburg, zoals bijvoorbeeld het standaard toepassen van stevige klei op het buitentalud.

De belangrijkste systeemeisen die van toepassing zijn op de materialisatie zijn weergegeven in tabel 5. dit is slechts een selectie van relevante eisen. Voor de gehele en actuele eisenset verwijzen we naar het eisenregister van Relatics.

Tabel 5: eisenanalyse materialisatie

Eiscode	Omschrijving concept eis	Omschrijving definitieve eis	Aandachtspunten
SYS-00001	De dijkversterking Buggenum (dijktraject 71-1) dient te voorzien in een primaire waterkering, die het achterland beschermt tegen overstromingen de maximaal toelaatbare faalkans van 1/100 per jaar uit Waterwet door weerstand te bieden tegen alle directe en indirecte faalmechanismen die kunnen optreden op basis van de van toepassing zijnde hydraulische randvoorwaarden.		Geen wijziging, maar wel de toelichting dat dit betekent het ontwerp dat beoordeeld wordt op alle relevante faalmechanismen: GEKB (overloop en overslag) STPH (piping en heave) STBI en STBU (stabiliteit- binnen en buitenwaarts), GEBU, GABU, VLAF, NWO's en kunstwerken. Omgang met langsstromend water is toegelicht in bijlage 1
SYS-00005	Aangetoond dient te worden dat hoge gronden conform de (nieuwe) 'Grondslagen voor hoogwaterbescherming' een dusdanige omvang en hoogte hebben dat de faalkans van de hoge gronden en het optreden van achterloopsheid verwaarloosbaar klein is in de faalkansbegroting.		Falen van de spoordijk kan worden uitgesloten omdat het WBN in 2075 onder de maaiveldhoogte van het voorland ligt.
SYS-00072	De ontwerphoogte (HBN) van de waterkering dient te worden gedimensioneerd op een overslagdebiet van maximaal 5 l/s/m. Indien nodig vanuit de waterveiligheid of calamiteitenbeheer kan het maximale overslagdebiet onderbouwd verlaagd worden naar 1 l/s/m of 0,1 l/s/m		Het gehanteerde overslagdebiet voor alle dijkvakken is 5 l/s/m Dit heeft tot gevolg dat het nieuwe binnentalud, nu en in de toekomst, vrij moet blijven van obstakels waardoor geconcentreerde afstroming kan ontstaan.
SYS-00078	De waterkering Buggenum dient ontworpen te worden op basis van de hydraulische randvoorwaarden (HR) behorende bij de Waterwet, op basis van het W+ scenario		
SYS-00174	In afwijking van de Handreiking Grasbekleding dient het materiaal waaruit de groeilaag voor grasbekleding voor dijkbekleding bestaat niet meer dan 50% zand, een lutum gehalte tussen 8 en 12% en een organische stof gehalte tussen de 3 en 5% te bevatten.	Conform de handreiking grasbekleding dient het materiaal waaruit de groeilaag voor grasbekleding voor dijkbekleding bestaat niet meer dan 50% zand, een lutum gehalte tussen 9 en 20% en een organische stof gehalte tussen de 3 en 5% te bevatten.	De lutumpercentages in de originele eis betreffen eisen voor schraal grasland en niet voor biodiverse bekleding zoals toegepast bij Buggenum. In de Handreiking Grasbekleding WL (aug '23) is de eis aangepast.
SYS-00304	De bekleding op het buitentalud dient voldoende weerstand te bieden tegen erosie (GEBU) en afschuiving (GABU)		In de nota van uitgangspunten (2019) wordt op het buitentalud een erosiebestendige klei toegepast. Dit is niet meer van toepassing voor Buggenum mits wordt aangetoond dat aan de relevante faalmechanismen wordt voldaan
SYS-00305	De klei-inkassing dient voldoende weerstand te bieden tegen piping. De vereiste doorlatendheid van de grond is 1% van de doorlatendheid van het omliggende zand. De klei-inkassing dient boven de grondwaterspiegel te worden aangebracht, tot een maximale diepte van 3m -MV	De klei-inkassing dient voldoende weerstand te bieden tegen piping. De vereiste doorlatendheid van de grond is 0,005 van de doorlatendheid van het omliggende zand. De klei-inkassing dient boven de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) te	In de ontwerpen van Ooijen Wanssum is een veiligheidsfactor van 2 opgenomen op de doorlatendheid van klei. De maximale diepte van de inkassing is gebaseerd op uitvoeringservaring (veilige maakbaarheid, klei droog

		worden aangebracht, tot een maximale diepte van 3m -MV	verdichten) uit Ooijen Wanssum
SYS-00307	Het kernmateriaal van dijken met een hoogte groter dan 1,5 meter dient te bestaan uit zand, met een maximale bijmenging van 10% klei. De hoek van inwendige wrijving is minimaal 27.	Het kernmateriaal van dijken met een hoogte van meer dan 2,1 meter t.o.v. maaiveld dient te bestaan uit zand, met een maximale bijmenging van 10% klei. De hoek van inwendige wrijving voor zand is minimaal 27. Conform de nota van uitgangspunten mag het gehalte organische stof niet groter zijn dan 6%, Is de bijmenging maximaal 5% voor grind en baksteen- of betonpuinresten kleiner dan 4 cm en is de er geen sprake van bijmenging met puinresten groter dan 4cm.	In praktijk blijkt de aan te leggen zandkern in dijkvak 1,2 te klein om efficiënt uitvoerbaar te zijn. De hoek van inwendige wrijving is gebaseerd op de stabiliteitsberekening dijkvak 5. Tijdens UO organische stof gehaltes meenemen in toeslagen voor klink.
SYS-00311	De Dijkbekleding dient tussen harde bekleding en grasbekleding een overgangsconstructie te bevatten, welke er voor zorgt dat harde bekleding of constructie niet "abrupt" eindigt.		Abrupt: Er mag geen "aangrijpingspunt" voor erosie zijn.
SYS-000318	De oever en bodembescherming dient voldoende bescherming te bieden tegen erosie door golfafslag (VLGA) en afschuiving (VLAF) veroorzaakt door stroming, golven en belasting door scheepvaart.		Een controle op de belasting door stromend water bij maatgevende afvoer wordt gedaan.

3.6 Verificatie- en validatieplan

Verificatie toont aan dat een oplossing objectief en expliciet voldoet aan de eisen. Er is een verificatieplan opgesteld voor de systeemeisen die van toepassing zijn voor ontwerploop 4 en 5. In dit verificatieplan worden de verificatiemethoden en criteria benoemd op basis waarvan we de eisen aantonen. In tabel 6 hebben we een lijst opgenomen van de meest relevante verificaties voor het DO, inclusief verificatiemethode. In Hoofdstuk 6 worden de belangrijkste resultaten van het verificatieproces beschreven.

Tabel 6: verificatieplan belangrijkste eisen ontwerploops 4 en 5

Eis-code	Omschrijving	Methode	Beschrijving	Criterium
SYS-00001	De dijkversterking Buggenum (dijktraject 71-1) dient te voorzien in een primaire waterkering, die het achterland beschermt tegen overstromingen de maximaal toelaatbare faalkans van 1/100 per jaar uit Waterwet door weerstand te bieden tegen alle directe en indirecte faalmechanismen die kunnen optreden op basis van de van toepassing zijnde hydraulische randvoorwaarden.	Berekening	Berekening voor alle relevante faalmechanismen: GEKB (overloop en overslag) STPH (piping en heave) STBI en STBU (stabiliteit-binnen en buitenwaarts), GEBU, GABU, VLAF, NWO's en kunstwerken	Faalkans op alle faalmechnismen voldoet aan norm
SYS-00005	Aangetoond dient te worden dat hoge gronden conform de (nieuwe) 'Grondslagen voor hoogwaterbescherming' en het "Beleidskader hoge gronden; aanwijzing bescherming en instandhouding" een dusdanige omvang en hoogte hebben dat de faalkans van de hoge gronden en het optreden van achterloopsheid verwaarloosbaar klein is in de faalkansbegroting.	Berekening	Pipingberekening op doorsnede, waaruit blijkt dat achterloopheid is uitgesloten	Faalkans piping dijkvak 1 en 6 voldoet aan norm.(begin en einde traject.
SYS-00072	De ontwerphoogte (HBN) van de waterkering dient te worden gedimensioneerd op een overslagdebiet van maximaal 5 l/s/m.	Berekening	Berekening benodigd HBN voor faalmechanisme GEBK	Faalkans voldoet aan norm
SYS-00075	Conform de handreiking grasbekleding dient het materiaal waaruit de groeilaag voor grasbekleding voor dijkbekleding bestaat niet	Document-beoordeling	Plan van Aanpak Grasbekleding, waarin wordt aangetoond dat	Voldoende erosiebestendig heid middels

	meer dan 50% zand, een lutum gehalte tussen 9 en 20% en een organische stof gehalte tussen de 3 en 5% te bevatten.		condities worden gerealiseerd voor een voldoende erosiebestendige grasbekleding.	ontwikkelbeheer wordt aangetoond
SYS-00304	De bekleding op het buitentalud dient voldoende weerstand te bieden tegen erosie (GEBU) en afschuiving (GABU)	Berekening	Berekening (gras) en kleibekleding buitenzijde op mechanisme GEBU en GABU	Faalkans voldoet aan norm
SYS-00305	De klei-inkassing dient voldoende weerstand te bieden tegen piping. De vereiste doorlatendheid van de grond is 0,005 van de doorlatendheid van het omliggende zand. De klei-inkassing dient boven de grondwaterspiegel te worden aangebracht, tot een maximale diepte van 3m - MV	Document-beoordeling	Materialisatie-eisen klei opnemen in ontwerptekening	Klei voldoet aan eis
SYS-00307	Het kernmateriaal van dijken met een hoogte van meer dan 2,1 meter t.o.v. maaiveld dient te bestaan uit zand, met een maximale bijmenging van 10% klei. De hoek van inwendige wrijving is minimaal 27.	Document-beoordeling	Opnemen materalisatie kernmateriaal in 3D model	Materialisatie voldoet aan eis.
SYS-00311	De Dijkbekleding dient tussen harde bekleding en grasbekleding een overgangsconstructie te bevatten, welke er voor zorgt dat harde bekleding of constructie niet abrupt eindigt.	Document-beoordeling		
SYS-00318	De oever en bodembescherming dient voldoende bescherming te bieden tegen erosie door golfafslag (VLGA) en afschuiving (VLAF) veroorzaakt door stroming, golven en belasting door scheepvaart	Berekening	Berekening faalmechanisme VLGA en VLAF	Faalkans voldoet aan norm

Voor de validatie van het ontwerp worden de belangrijkste ontwerpkeuzes die raken aan de subsidieregeling voorgelegd aan het begeleidingsteam HWBP. Materialisatie en inrichtingskeuzes hebben ook invloed op de wijze van beheer. Daarom reviewt de beheerder van WL deze ontwerpnota en ontwerptekeningen.

3.7 Risicoanalyse

Met ontwerpkeuzes kunnen ontwerprisico's worden beheerst. Daarom zijn op basis van een risicosessie de grootste ontwerprisico's voor de materialisatie benoemd. Deze zijn weergegeven in tabel 7. Daarin zijn ook de beheersmaatregelen benoemd en de wijze waarop deze verwerkt zijn in deze ontwerpnota en uitvoeringsplan.

Tabel 7: belangrijkste risico's materialisatie

Risico	Oorzaak	Gevolg	Beheersmaatregel
De waterkering niet op sterkte is bij het ingaan van het eerste hoogwaterseizoen na afronding, vanwege het ontbreken van een goede grasmat. Doordat de (biodiverse) grasmat een groot onderdeel is van de erosie-bestendigheid van de waterkering speelt dit een grote rol	Te natte omstandigheden om in te zaaien. Te laat inzaaien (na oktober) te weinig tijd voor gesloten grasmat	Wegspoelen talud, dijk onvoldoende waterveilig	- Krammatten leggen - Werkzaamheden dijkvak 5 zo plannen dat er voldoende ontwikkeltijd is voor de grasmat - Bestaande buitentalud dijkvak 6 toplaag opnieuw aanbrengen, en zadenpakket in depot.
De compensatie (waterberging / landschapszone / KRW / dwarsstroming) tot discussie leidt met bevoegd gezag	Eisen van bevoegd gezag zijn niet helder Maatregelen voldoen niet aan de norm	Vertraging in het ontwerp, ontwerploop moet opnieuw	- Vooroverleg met bevoegd gezag (RWS) - Gecombineerde compensatiemaatregelen uitvoeren

Het zand als kernmateriaal bevat veel bijmenging van klei/ leem of grind. Hierdoor zijn de sterkte eigenschappen anders dan van zuiver zand	Zand uit langsdam kan niet zuiver worden ontgraven.	Toch sprake van een pipingopgave op dijkvak 5	- Klei-inkassing aan de buitenzijde dijkvak 5 toevoegen met een breedte van 2 meter.
Er in de circulaire aanpak onjuiste aannames genomen zijn over de aanwezige materialen en de samenstelling van de ondergrond afwijkt	Onjuiste aannames over de aanwezige materialen, omdat milieukundig en/of geofysisch onderzoeken uit de planuitwerkingsfase een onvolledig beeld of geen vlakdekkend beeld van de materialisatie van de langsdam geven (bijv. steenbestorting, erosieklasses)	Tijdens realisatie wijkt de samenstelling af van de verwachting en kan niet circulair gerealiseerd worden conform het gemaakte ontwerp.	- Met als uitgangspunt van dijkveiligheid en wet- en regelgeving maximale vrijheid in toepassing van vrijkomende materialen van milieukundige en fysische kwaliteit - Overschot aan zand in grondbalans toepassen in natuurmaatregelen. - Onderzoeken lokale kleiwinning Vogelkop.

3.8 Veiligheid en Gezondheid

Wat betreft veiligheid en gezondheid (V&G) zijn gedurende ontwerploop 3 twee plannen opgesteld: het Integraal Veiligheidsplan en het V&G-plan Ontwerpfase. Het Integraal Veiligheidsplan wordt eenmalig opgesteld en beschrijft overkoepelend het V&G-managementproces en in hoofdlijnen de veiligheidsthema's. Het V&G-plan Ontwerpfase is in ontwerploop 4 geüpdatet. Iedere ontwerploop worden er in het V&G-plan Ontwerpfase Bouwkundige, Technische en Organisatorische keuzes (BTO-keuzes) opgenomen die van toepassing zijn op het detailniveau van het ontwerp. Het doel van de BTO-keuzes is om gevaren en risico's in de ontwerpfase te voorzien en te beïnvloeden waar mogelijk. In dit geval (ontwerploop 4) gaat het om de BTO-keuzes die betrekking hebben op de materialisatie. Deze BTO-keuzes staan weergegeven in tabel 8.

Tabel 8: BTO keuzes

Veiligheids-thema	Veiligheidsrisico	BTO-keuze	Dijkvak-(ken)	Toelichting in
1. Arbeids-veiligheid	1.1 Verdrinking /te water raken door werken in overstromingsgevoelig gebied, bv. in de tijdelijke situatie waarin de waterstand koelwaterkanaal is verlaagd (bouwput).	Tijdelijke dwarsdammen in dijkvak 5 aanleggen en zo lang mogelijk in stand houden van de langsdam tijdens het werk.	5	Uitvoeringsplan
3. Verkeers-veiligheid	3.1 Risico op verkeersongeval doordat nieuwe ligging van de dijk zichtlijnen verkeer beïnvloedt op dijkovergangen en t-splitsingen. Dit betreft Arixweg (dijkvak 2), T-splitsing Arixweg Groeneweg (dijkvak 2/3) en Groeneweg (dijkvak 4).	Met de ligging van de dijk zijn de zichtlijnen conform de CROW richtlijnen in de Nota van Uitgangspunten geborgd. In de wegenstructuur dijkovergangen Groezeweg en Wijnaardenweg duidelijk vormgeven als onderliggende wegenstructuur.	2,3,4	§4.5.2
	3.2 Risico op verkeersongeval door vermenging van bouwverkeer en overig verkeer in de kern van Buggenum.	Bouwroute buitendijks aanleggen.	5	Uitvoeringsplan
4. Sociale veiligheid	5.1 Risico op vandalisme of diefstal doorat de percelen buitendijks binnendijks niet meer zichtbaar zijn in verband met het aanbrengen van de dijk en verplaatsen van de aanlegplaatsen buiten het zicht van de woningen.	De boomkwekerij in dijkvak 4 binnendijks aanleggen. Herstellen stroomvoorziening voor nieuwe aanlegplaatsen voor cameratoezicht en verlichting.	2,3,4	§4.6.5
5. Con-structieve veiligheid	5.1 Risico op kraaninstabiliteit of instabiliteit van de loswal door verkeerd gebruik	Berekenen dimensionering loswal op basis van opgave eigenaar van maximale belasting. De maximale	6	§4.6.5

Veiligheids-thema	Veiligheidsrisico	BTO-keuze	Dijkvak-(ken)	Toelichting in
		belastingen opnemen in de gebruiksvoorwaarden.		
	5.2 Risico op afschuiven grond doordat de langsdam bezwijkt tijdens de ontgraving. De langsdam kan gaan eroderen door het ontbreken van vegetatie.	Het behouden van een minimaal profiel met 1:2,5 taluds. Tijdelijke maatregelen ter bescherming van de oever.	5	Uitvoeringsplan
	5.3 Risico op overstroming (en verdrinking) en evt. schade aan objecten door meer aanvoer grondwater dan tijdelijke pompcapaciteit aan kan, doordat er veel grind in de ondergrond zit.	Geohydrologische berekening Opzetten waterstand tot NAP +13m en aanvullen zand onder water. Aanvullende drains realiseren.	5	Geohydrologische berekeningen.
	5.4 Risico op uitvoeringsinstabiliteit door relatief steile taluds en gebruik als bouwweg.	Met behulp van een berekening de uitvoeringsstabiliteit aantonen in geotechnische onderbouwing.	5	Bijlage 1 geotechnische onderbouwing
6. Hulp-verlening	6.1 Onbereikbaarheid van alle aanliggende percelen voor hulpverlening.	Herstellen van de huidige wegverbindingen. Ook tijdens het werk moet bereikbaarheid voor de hulpdiensten geborgd worden.	1 t/m 6	Uitvoeringsplan
7. Nautische veiligheid	7.1 Stroomafwaarts varende beroepsvaart ondervinden mogelijke zichthinder op de in- en uitvarende recreatievaart door de nabije spoorbrug, waardoor risico op aanvaring.	Voldoende breedte van de invaaropening (75m) en borging zichtlijnen conform richtlijnen vaarwegen.	6	§4.4.1
	7.2 Risico op aanvaring doorat stroomopwaarts varende schepen door een (krappe) S-bocht moeten varen met redelijk korte rechtstand tussen de bochten voordat ze de haveningang passeren. Omdat de haven in de buitenbocht ligt is er wel voldoende zichtlengte aanwezig, maar mogelijk kruisende recreatievaart wordt door het uitvoeren van het beschreven manoeuvre van de stroomopwaarts varende beroepsvaart minder snel gezien.	Voldoende breedte van de invaaropening (75m) en borging zichtlijnen conform richtlijnen vaarwegen.	6	§4.4.1
	7.3 Risico op aanvaring door dwarsstroming benedenstrooms van dijkvak 5 (ter plaatse van de kom) tijdens het verwijderen van de langsdam. Schepen kunnen hierdoor moeilijker manouveren richting de spoorbrug.	Beschouwen benodigde verflauwing van de oever van de kom en stroomlijnen van de oever benedenstrooms in rivierkundige berekening.	5	§4.4.1
8. Water-veiligheid (veiligheid tegen over-stromingen)	8.1 Risico op het optreden van hoogwater tijdens uitvoering van het project.	-Het in stand houden van de noodkering in dijkvak 5 totdat de nieuwe kering op hoogte is; -De dijkvakken aan de Maas (dijkvakken 5 en 6) uitvoeren buiten hoogwaterseizoen.	5,6	Uitvoeringsplan
9. Spoorveiligheid	9.1 Instabiliteit van het spoortalud, ballastbed en/of spoor ten gevolge van de trillingen door het aanbrengen van constructies aan de zuidzijde spoor.	-Trillingspredictie uitvoeren (OL5). Geen damwanden aanbrengen binnen 100 meter van het spoor -Spoor technisch aanwijzen als hoge grond en hiermee voorkomen dat versterkingsmaatregelen binnen de veiligheidszones van het spoor	6,7	§4.3.1 Bijlage 1
10. Om-gevings-veiligheid	10.1 Valgevaar bij de loswal in dijkvak 6 indien deze geschikt wordt als uitzichtspunt.	Loswal niet meer inrichten als uitzichtpunt, maar onder aan de dijk situeren	6	§4.6.5
	10.2 Indien de maatregel om de kom in dijkvak 4/5 te dempen tegen dwarsstroming geschikt zou worden als strandje is er verdrinkingsgevaar voor recreanten omdat er in de kom een neer (onderstroom) aanwezig is.	De gedempte kom inrichten met rietvegetatie zodat deze niet geschikt is voor recreatie, maar wel dient als KRW compensatie.	4, 5	§4.4.1

Veiligheids-thema	Veiligheidsrisico	BTO-keuze	Dijkvak-(ken)	Toelichting in
11. Milieu-veiligheid	11.1 Aanwezigheid van asbestcementplaten in het koelwaterkanaal waardoor de gezondheid van werknemers en gebruikers in gevaar kan komen.	Verwijderen asbestplaten (4x) door gecertificeerd bedrijf als onderdeel van het werk	6	§4.6.5

4 Ontwerp per object

4.1 Ontwerp dijk

4.1.1 Materialisatie kern en bekleding

In het ontwerp volgen we de principes van grondgestuurd ontwerpen. Dit betekent dat we werken met materiaal dat zo veel mogelijk lokaal vrijkomt. Voor Buggenum betekent dat we zo veel mogelijk werken met schrale klei voor de kleibekleding. Voor het onderscheid tussen schrale en stevige klei gebruiken we de schematiseringhandleiding grasbekleding (RWS, 2022). Uit de berekeningen voor de faalmechanismen GEBU en GABU weergegeven in tabel 9 en bijlage 1 volgt dat een gesloten grasbekleding op het buitentalud voor alle dijkvakken voldoende weerstand biedt tegen erosie en afschuiving op basis van een gedetailleerde toets op reststerkte van de kleibekleding.

Tabel 9: Resultaten berekeningen GEBU

75-1 BUGGENUM		DV1		DV2		DV3		DV4		DV5				DV6	
Graszode	[-]	gesloten	open	gesloten	open	gesloten	open	gesloten	open	gesloten	loten (exp	open	open (Expert)	gesloten	open
Delta z	[m]	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
min. significante golfhoogte	[m]	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
max. significante golfhoogte	[m]	1.25	1.05	1.25	1.05	1.25	1.05	1.25	1.05	1.25	1.25	1.05	1.05	1.25	1.05
min. waterstand	[m NAP]	20	20	20.5	20.5	20.5	20.5	20	20	15	15	15	15	17.5	17.5
max. waterstand	[m NAP]	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5
coefficient a	[m]	1	0.8	1	0.8	1	0.8	1	0.8	1	1	0.8	0.8	1	0.8
coefficient b	[1/u]	-0.035	-0.07	-0.035	-0.07	-0.035	-0.07	-0.035	-0.07	-0.035	-0.035	-0.07	-0.07	-0.035	-0.07
coefficient c	[m]	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
zandgehalte	[-]	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
dikte kleilaag + gras	[m]	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Z,grass,min	[m NAP]	20	20	20.5	20.5	20	20	20	20	15	15	15	15	17.5	17.5
Z,grass,max	[m NAP]	22	22	22	22	22	22	22	22	22.1	22.1	22.1	22.1	22.1	22.1
Dijknormaal	[graden]										160		160		
Delta T	[u]	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Buitenwaterstand	[m NAP]	21	21	21	21	21	21	21	21	15	15	15	15	19.5	19.5
Significante golfhoogte	[m]	0.37	0.37	0.36	0.36	0.39	0.39	0.44	0.44	0.9	0.9	0.9	0.9	0.6	0.6
Belastingsduur	[u]	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Golfrichting	[graden]										202		202		
veiligheidsfactor (BM Gras)	[-]	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	1.17	1.96	0.19	0.46	3.12	1.54
resterende standtijd	[u]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.5	4	0	0

Op dijkvak 1 en 2 is sprake van relatief lage waterkeringen, met een hoogte van 1,5 à 2,1 meter ten opzichte van maaiveld. Hiervoor is het toepassen van een zandkern onpraktisch in de uitvoering omdat het volume aan te brengen zand zeer beperkt is. Daarom wordt voor deze dijkvakken een kern van schrale klei toegepast. In tabel 10 staat de materialisatie van de kern en kleibekleding voor de verschillende dijkvakken vermeld.

Tabel 10: materialisatie van de verschillende dijkvakken

DV	Kernmateriaal	Bekleding kruin, binnentalud	Bekleding buitentalud
1	Schrale klei/Zand	Schrale klei	Schrale klei
2	Schrale klei/Zand	Schrale klei	Schrale klei
3	Schrale klei/ Zand[1]	Schrale klei	Schrale klei
4	Zand	Schrale klei	Schrale klei

[1] De overgang van een lage dijk naar een hogere dijk ligt ter plaatse van de Wijnaardenweg, daar gaat de kleikern over in een zankern.

5	Zand	Schrale klei	Schrale klei
6	Schrale klei	Schrale klei	Schrale klei / stevige klei[2]
7	Zand	n.v.t.	n.v.t.

De kruinbreedte van 4,5 meter is minimaal nodig om over de dijk te kunnen rijden/inspecteren en om noodmaatregelen op de dijk te kunnen treffen tijdens hoogwater . Op verschillende delen liggen er laagtes direct achter de dijk. Dit is het geval bij de Arixweg en op dijkvak 1. Deze laagtes zullen door kwelwater tijdens een hoogwatersituatie vernatten en zijn daarom niet goed bruikbaar voor inspecties en beheersmaatregelen voor calamiteiten tijdens hoogwatersituaties. De ervaring van vernatting is opgedaan tijdens het hoogwater van 2003 elders in de Maasvallei.

4.1.2 Grasbekleding

De berekeningen voor GEBU (graserosie buitentalud) zijn uitgevoerd voor alle dijkvakken en weergegeven in tabel 9 en bijlage 1. Uitgaande van een gesloten graszode (uitstekende staat) en een schrale klei als onderlaag, voldoet ieder dijkvak aan de maatgevende belastingen[3]. Voor het substraat en de kleibekleding wordt dan uitgegaan van toepassen van een schrale klei. Hierop passen we een biodivers gebiedseigen zadenmengsel toe op de dijkvakken 4 t/m 6. Dit is een DBK mengsel (Dijk Basis Kruiden) aangevuld met gebiedseigen soorten. Een biodivers mengsel heeft als voordeel dat er een gevarieerde worteldiepte ontstaat, waardoor de grasbekleding een hogere sterkte heeft dan een traditionele grasbekleding. Om een zo hoog mogelijke biodiversiteit te garanderen is een schrale klei (zavel) met een lutumgehalte tussen de 9 – 20% nodig. Dit zorgt voor een hoge soortenrijkdom. Naast lutum zijn ook fosfaat en kalk belangrijke elementen in de bodem voor het realiseren van een hoge soortenrijkdom. Hiervoor gelden de volgende uitgangspunten: Een gehalte fosfaat (P-Al) van 100mg P/kg droge stof (DS) of lager en een gehalte koolzure kalk (CaCO3) van 5% of hoger. Het Maasdal is onderdeel van het Fluviatiel district en herbergt, naast planten die een voorkeur geven aan rivierklei, een specifieke groep: de zogeheten Stroomdal flora. Dit is een groep van ongeveer 250 soorten. Deze heeft zich vanuit Midden-Europa langs de rivieren verspreid met kenmerkende soorten als Veldsalie, Beemdkroon en Grote Centaurie. Een veel voorkomende planten associatie langs en op onze dijken is de glanshaver associatie. Voor het project Buggenum zetten we dan ook specifiek in op stroomdal soorten en soorten uit de glanshaver associatie. Zo doen we recht aan de eigenheid van het gebied en sluiten we aan bij de lokaal aanwezige biodiversiteit.

Op de dijkvakken 1 t/m 3 zijn diverse percelen van agrariërs aanwezig aan de binnen- en buitenzijde. Veel van de percelen worden namelijk gebruikt door veredelaar Nunhems zaad. In de samenstelling van het grasmengsel worden daarom pluissoorten, die gevoelig zijn voor verwaaiing vermeden.

Huidige samenstelling van het Buggenums mengsel is weergegeven in onderstaande tabel. E.e.a is nader toegelicht in het plan van aanpak grasbekleding.

[2] Het bestaande buitentalud wordt zo veel mogelijk in stand gehouden. Hier is zowel stevige als schrale klei aanwezig.
[3] Met de beheerder is afgestemd dat de dijk wordt beheerd op gesloten zode

Mengsel voorstel Buggenum			
projektnr. project locatie en plaats:	**Buggenum**		
Nederlandse naam	Latijnse naam	bloemkleur	moge-lijke hoogte in cm
Aardaker	Lathyrus tuberosus	rozerood	30-90
Beemdkroon	Knautia arvensis	lilablauw	15-60
Beemdooievaarsbek	Geranium pratense	lichtblauw	30-90
Bermooievaarsbek	Geranium pyrenaicum	paarsrood	20-60
Bont kroonkruid	Coronilla varia	rozewit	30-120
Duizendblad	Achillea millefolium	wit	15-50
Fluitenkruid	Anthriscus sylvestris	wit	60-150
Geel walstro	Galium verum	geel	15-120
Gele morgenster	Tragopogon subsp. pratensis	geel	20-90
Gewone agrimonie	Agrimonia eupatoria	geel	30-120
Gewone brunel	Prunella vulgaris	blauwpaars	7-45
Gewone ereprijs	Veronica chamaedrys	blauw	10-40
Gewoon barbarakruid	Barbarea vulgaris	geel	20-90
Glad walstro	Galium mollugo	wit	30-120
Groot streepzaad	Crepis biennis	geel	40-120
Grote bevernel	Pimpinella major	wite tot dieproze	30-90
Grote centaurie	Centauria scabiosa	paarsrood	30-120
Grote klaproos	Papaver rhoeas	scharlakenrood	20-60
Kattendoorn	Ononis spinosa	roze	10-60
Knoopkruid	Centaurea pratensis	paarsrood	10-120
Korenbloem	Centaurea cyanus	blauw	30-60
Margriet	Leucanthemum vulgare	geel hart witte straalbloemen	30-60
Pastinaak	Pastinaca sativa	geel	40-100
Peen	Daucus carota	wit	30-90
Rapunzelklokje	Campanula rapunculus	blauw	60-90
Reukloze kamille	Matricaria maritima	geel hart witte straalbloemen	10-50
Rode klaver	Trifolium pratense	rood	15-50
Ruige leeuwentand	Leontodon hispidus	geel	15-40
Scherpe boterbloem	Ranunculus acris	geel	30-90
Smalle weegbree	Plantago lanceolata	lichtgeel wit	10-80
Veldlathyrus	Lathyrus pratensis	geel	30-120
Veldsalie	Salvia pratensis	donkerblauw	30-80
Veldzuring	Rumex acetosa	rood	50-100
Vertakte leeuwentand	Leontodon autumnalis	geel	7-45
Vijfdelig kaasjeskruid	Malva alcea	roze	50-100
Vogelwikke	Vicia cracca	blauwpaars	30-200
Wilde cichorei	Cichorium intybus	blauw	30-200
Wilde marjolein	Origanum vulgare	lichtpurper	30-60
Wilde reseda	Reseda lutea	geel	20-60
Wouw	Reseda luteola	geel	50-100
Zwarte toorts	Verbascum nigrum	geel	60-150

4.1.3 Pipingmaatregelen

Voor de pipingmaatregelen wordt een kleikist toegepast op dijkvakken 1, 3, 4 en 5. Uit praktijkervaring blijkt dat een kleischerm tot maximaal 3 meter onder maaiveld maakbaar is. Om te functioneren als een pipingmaatregel dient de doorlatendheid van het kleischerm altijd lager te zijn dat het watervoerende pakket waarin het geplaatst wordt. Binnen de Dijkzone Alliantie is voor Gebiedsontwikkeling Ooijen Wanssum (GOW) ook een kleikist ontwerp toegepast, waarin een schermdoorlatendheid is toegepast die 0,005*doorlatendheid zandpakket (k) was. Voor dijkversterking Buggenum zal éénzelfde methodiek toegepast worden. Voor Buggenum is de doorlatendheid van het zand gemiddeld 130 m/d, hetgeen betekent dat de toe te passen klei een maximale doorlatendheid heeft van 0,65m/d.

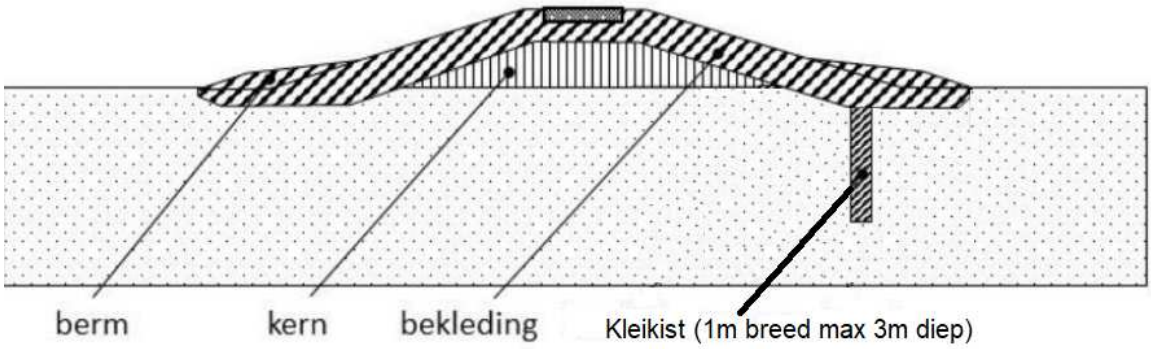
Tabel 11: materialisatie en dimensionering pipingmaatregelen

Nr	Dijkvak	Diepte	Materialisatie
1	Kleikist	2,3m	Stevige klei
2	Geen		n.v.t.

3	Kleikist achterland	1,6m	Stevige klei
4	Kleikist achterland	2,1m	Stevige klei
5	Kleikist achterland	1,0m	Stevige klei
6	Pipingscherm / achterlandverbetering	5,3 m	Scherm / pipingberm / kleikist.
7	Geen		n.v.t.

In dijkvak 1, 3, 4 en 5 wordt er een kleikist toegepast ter plaatse van de binnenteen. De breedte van de kleikist is 1 meter en de diepte is variabel. In figuur 4 is een principeprofiel voor het toepassen van de kleikist weergegeven. In verband met de veilige maakbaarheid is de maximale diepte onder maaiveld waarover de kleikist wordt aangebracht 3 meter.

Voor alle dijkvakken zijn D-Geoflow berekeningen uitgevoerd om de dimensionering van de kleikist te optimaliseren. Hieruit volgt dat de diepte van de kleikist gereduceerd kan worden maximaal 2,3 meter onder maaiveld voor dijkvakken 1, 3, 4 en 5. Een kleikist is voor al deze dijkvakken maakbaar. Per dijkvak is het de dimensionering van de kleikist gebaseerd op de slechtste doorsnede, zodat de kleikist uniform uitgevoerd kan worden.



Figuur 4: principeprofiel toepassen kleikist

In dijkvak 6 is sprake van een wisselend kwelweglengtetekort, dat oploopt in bovenstroomse richting. In februari 2024 heeft nader grondonderzoek plaatsgevonden. Op basis van dit grondonderzoek is de beoordeling op piping aangescherpt. Uit de aangescherpte beoordeling voor dijkvak 6 blijkt dat de dijk tussen de Dorpsstraat en de toerit van de Ohéstraat voldoet op piping. Hier hoeven geen pipingmaatregelen te worden getroffen. Het gedeelte tussen de toerit van de Ohéstraat en het spoor voldoet niet op piping. Richting het spoor loopt het kwelweglengtetekort op en er zijn pipingmaatregelen met een diepte van minimaal 5,3 meter nodig om de pipingopgave op te lossen. Deze diepte loopt op richting het spoor. Het is dus niet mogelijk in dijkvak 6 een kleikist toe te passen.

Op dit moment wordt als noodmaatregel tegen piping de waterstand in het Buggenummerbroek tot opgezet via de inlaat van de Ziep. In de situatie na dijkversterking is met de terreineigenaar afgestemd dat de afsluiter in het doorlaatwerk van de Ziep bij een waterstand van NAP +16,70 gesloten wordt. Deze waterstand ligt onder de toekomstige maaiveldhoogte. De benodigde lengte voor pipingschermen bij deze waterstand is weergegeven in tabel 12.

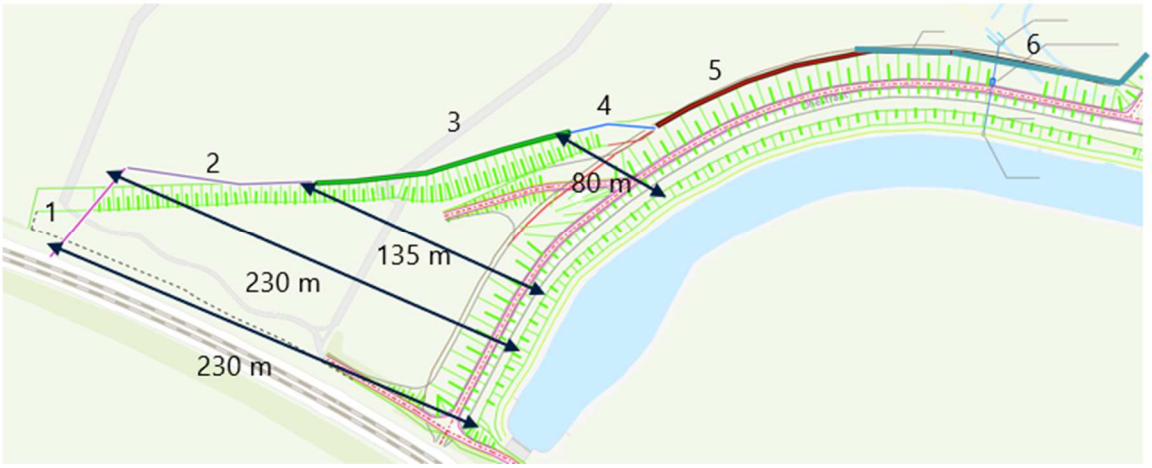
Tabel 12: resultaten beoordeling piping

Piping beoordeling	
Projectnaam:	Dijkversterking 75-1 Buggenum
Toelichting:	Dijkvak 6
Projectnummer:	6423-238895
Datum:	16-2-2024
Opsteller:	AVL
Controle:	EFE

Locatie	Dwarsprofiel	$D_{Deklaag}$	$\gamma_{sat.deklaag}$	φ_{exit}	h_{exit}	H	k	L	d_{70}	D	Fup (eis: 1.41)	Fhe (eis: 1.09)	Fpip (eis: 1.61)	Oordeel	L_{tekort}	$L_{heavescherm\ in\ zand}$
[-]	[-]	[m]	[kN/m3]	[m NAP]	[m NAP]	[m NAP]	[m/dag]	[m]	[µm]	[m]	[-]	[-]	[-]	[-]	[m]	[m]
DV6	DWP-13 (S_031)	0.0	18.6	21.5	16.6	21.5	130.0	46.0	310.0	18.6	0.0	0.0	0.4	Voldoet niet	178.1	9.8
DV6	DWP-14	0.0	18.6	21.5	16.6	21.5	130.0	47.0	310.0	18.6	0.0	0.0	0.4	Voldoet niet	177.1	9.8
DV6	DWP-15 (S_027)	0.0	18.6	21.5	16.6	21.5	130.0	42.0	310.0	18.6	0.0	0.0	0.4	Voldoet niet	182.1	9.8
DV6	DWP-16	1.0	18.6	21.5	17.2	21.5	130.0	60.0	310.0	18.2	0.2	0.1	0.6	Voldoet niet	118.1	8.0
DV6	DWP-17 (S_107)	2.2	18.6	21.5	17.5	21.5	130.0	46.0	310.0	16.3	0.5	0.2	0.6	Voldoet niet	95.7	6.7
DV6	DWP-18	2.0	18.6	21.5	17.2	21.5	130.0	46.0	310.0	16.2	0.4	0.1	0.5	Voldoet niet	112.5	7.4
DV6	DWP-19 (B208)	2.5	18.6	21.5	17.3	21.5	130.0	46.0	310.0	15.8	0.5	0.2	0.6	Voldoet niet	99.7	6.9
DV6	DWP-20	4.5	18.6	21.5	17.6	21.5	130.0	44.0	310.0	14.1	1.0	0.3	0.8	Voldoet niet	57.1	5.1
DV6	DWP-21 (S_033)	5.0	18.6	21.5	18.2	21.5	130.0	50.0	310.0	13.2	1.4	0.5	1.2	Voldoet niet	17.5	3.6
DV6	DWP-22	5.0	18.6	21.5	18.2	21.5	130.0	42.0	310.0	13.2	1.4	0.5	1.1	Voldoet niet	25.5	3.6
DV6	DWP-23	5.0	18.6	21.5	18.2	21.5	130.0	42.0	310.0	13.2	1.4	0.5	1.1	Voldoet niet	25.5	3.6
DV6	DWP-24	5.0	18.6	21.5	18.3	21.5	130.0	42.0	310.0	12.3	1.4	0.5	1.1	Voldoet niet	20.2	3.4
DV6	DWP-25 (S_035)	3.5	18.6	21.5	18.3	21.5	130.0	42.0	310.0	13.8	1.0	0.3	0.9	Voldoet niet	41.2	4.3
DV6	DWP-26 (S015)	5.0	18.6	21.5	18.8	21.5	130.0	40.0	310.0	11.8	1.7	0.6	1.5	Voldoet	1.7	n.v.t.
DV6	DWP-27 (S014)	5.0	18.6	21.5	19.0	21.5	130.0	40.0	310.0	12.0	1.8	0.6	1.9	Voldoet	n.v.t.	n.v.t.

Ter plaatse van de oksel tussen het spoor en dijkvak 6 ligt een klei-afgraving achter de dijk. De benodigde lengte van pipingschermen ligt hier op 10 meter, waardoor deze tot ca 5 meter in het grind aangebracht zouden moeten worden. Dit is niet wenselijk in verband met uitvoerbaarheid en mogelijke trillingen nabij het spoor. Een pipingscherm zou namelijk vanwege achterloopsheid uit dijkvak 7 over 230 meter doorgetrokken moeten worden langs de spoordijk. Daarom is hier is de voorkeur een pipingberm toe te passen, die in een talud van 1:10 aansluit op het maaiveld voor een vloeiende landschappelijke inpassing. De pipingberm is echter niet lang genoeg om de volledige pipingopgave op te lossen. Daarom wordt op een gedeelte van de pipingberm aan het uiteinde een kleikist ingegraven. De diepte van deze kleikist is weergegeven in figuur 7 in combinatie met tabel 4-1.

.

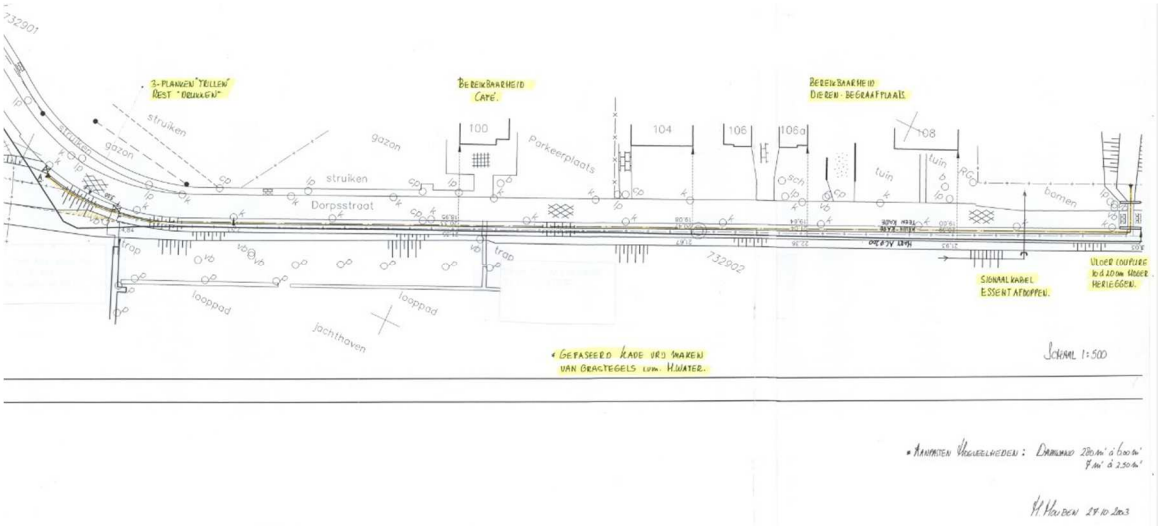


Figuur 5: pipingmaatregelen dijkvak 6.

Deel	Voorkeursoplossing	Lengte	Aandachtspunten
1	Pipingberm	n.v.t.	Berm voldoet
2	Pipingberm + grondscherm/kleikist	1,6m	
3	Pipingberm + grondscherm/kleikist	2,5m	

4	Heavescherm	6m	Hergebruik dijkvak 6
5	Heavescherm	7m[4]	Mogelijk hergebruik dijkvak 6
6	Heavescherm	10m	

Het heeft de voorkeur om de 280 meter damwand van 6 meter lengte uit dijkvak 5 te hergebruiken als pipingscherm in dijkvak 6 vanaf de toerit van de Ohéstraat in zuidelijke richting. Deze damwanden zijn in 2000 aangebracht en hebben nog 75 jaar theoretische restlevensduur. Uit een veldinspectie is gebleken dat de damwanden nog in goede staat verkeren. De locatie van deze bestaande damwanden op dijkvak 5 is weergegeven in figuur 6.



Figuur 6: locatie bestaande damwand in nooddijk.

Randvoorwaarden voor hergebruik zijn van de damwanden is de voldoende (resterende) dikte van de profielen, in verband met het risico op uit het slot lopen tijdens aanbrengen. De juiste plaatsing zal worden aangetoond d.m.v. het toepassen van slotverklikkers. Indien planken niet voldoende waterdichtheid kunnen garanderen, worden deze niet opnieuw toegepast.

4.2 Beheervoorzieningen

4.2.1 Inspectiestrook

Aan de binnen- en buitendijkse zijde wordt voorzien in een inspectiestrook van 2,5 meter breed, conform de standaard specificaties van Waterschap Limburg. De inspectiestrook aan de buitenzijde in dijkvak 5 en 6 ligt op NAP +15,7m. Dan is de inspectiestrook gemiddeld 355 dagen per jaar bruikbaar voor inspecties.

4.2.2 Toegangspoorten

Voor de Arixweg is een enquête uitgevoerd onder bewoners over toegang tot dijkvak 2 voor fietsers en wandelaars. Hierin wordt aangegeven dat toegang tot de dijk ongewenst is in verband met privacy. Deze wordt aangetast omdat er in dijkvak 2 een nieuw dijklichaam gerealiseerd wordt. Daarom worden er aan beide zijden van de Arixweg toegangspoorten geplaatst om

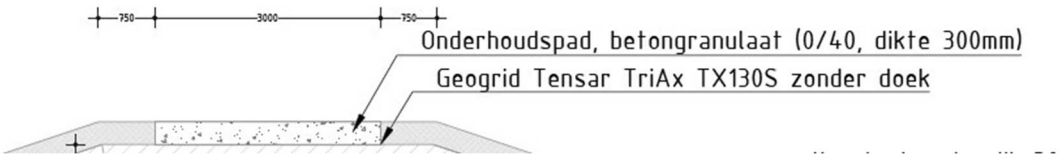
[4] Om hergebruik mogelijk te maken wordt de berekening nog geoptimaliseerd.

wandelen en fietsen te ontmoedigen. Ter plaatse van de binnendijkse zijde van de dijkovergangen aan de Arixweg komen toegangspoorten voor de landeigenaren Een verbod is niet aan de orde, want dit is in praktijk niet te handhaven.

Ter plaatse van de Ohéstraat blijft de poort gehandhaafd om te voorkomen dat fietsers en gemotoriseerd verkeer gebruik maken van de dijk.

4.2.3 Onderhoudspad

Het onderhoudspad op de kruin van de waterkering wordt opgebouwd volgens de standaard principes van Waterschap Limburg, op basis van een geogrid en betongranulaat. De breedte van het onderhoudspad betreft 3 meter. Ter plaatse van de dijkovergangen aan de Arixweg en Wijnaardenweg dient het betongranulaat ook als fundatie voor de kruisende asfaltwegen. Het betongranulaat dat toegepast wordt betreft circulair granulaat.



Figuur 7: materialisatie-eisen WL voor onderhoudspad

4.2.4 Anti-graverij maatregelen

In dijkversterking Buggenum is sprake van het risico op graverij door bevers en dassen met rust- en verblijfplaatsen in het gebied. Graverij door bevers is een risico in dijkvakken 4, 5 en 6 waar de buitenteen direct aan de oever van de Maas ligt. Graverij van bevers vindt plaats rond de waterlijn. Deze graverij wordt voorkomen door de steenbestorting die wordt aangebracht op het ondertalud (van NAP 15,5m tot NAP 9 m) om erosie van het buitentalud door stroming en (scheepvaart en wind)golven te voorkomen. In dijkvak 6 wordt bestaande bestorting zo veel mogelijk gehandhaafd. Er hoeven dus geen aanvullende maatregelen getroffen te worden voor graverij door bevers.

In dijkvak 4 ontstaat de unieke situatie dat een bestaand habitat van de das doorkruist wordt door de nieuw aan te leggen dijk. De huidige hoofdburcht blijft buitendijks liggen, terwijl de bijburcht binnendijks komt te liggen. Om te voorkomen dat dassen de dijk ondergraven moeten de dassen verplaatst worden of maatregelen tegen graafschade worden getroffen.

Het verplaatsen van de dassenburcht is niet vergunbaar. Het verplaatsen van een dassenfamilie mag alleen als er geen ander alternatief is waarbij de dassenbucht behouden kan blijven. In dit geval is er een gemakkelijk en haalbaar alternatief om de dassenburcht te behouden.

Maatregelen tegen graafschade betreffen het ingraven van een gaas. Het gaas betreft een zwaar verzinkt gaas, met draaddikte van 2mm of meer. Het gaas wordt ter plaatse van dijkvak 4 over 70m lengte op 30 cm onder de kleibekleding / substraat op het binnen- en buitentalud aangebracht. Zie figuur 9 voor de locatie van de voorzieningen tegen graafschade.

Figuur 8: locatie maatregelen tegen graafschade dassen

Dassen kunnen tot een paar kilometer ver lopen per nacht tijdens het foerageren, en hebben dus een groot territorium. Het is niet mogelijk om de gehele dijk te beschermen, dus hiervoor wordt het gebied met het hoogste risico gekozen. Kans op graafwerk in de dijk is er altijd als er geen gaas in zit, maar wel het grootste op plaatsen waar de dijk direct grenst aan bosschages / beschutting. Dit is in dijkvak 4 het gedeelte van de dijk het dichtste bij de dassenburcht.
Aan de buitenzijde wordt het gaas tot een halve meter onder de grondwaterstand (NAP 16m) verticaal ingegraven om te voorkomen dat dassen schuin onder het gaas door graven (NAP +15,5m, MV -3,9meter). Dit heeft ook als bijkomend voordeel dat dit deel van de dijk ook beschermd is tegen bevers die tussen het struweel bij hoogwater kunnen fourageren.

4.3 Spoordijk

4.3.1 Spoordijk als hoge grond

In het DO- is ter plaatse van dijkvak 7 voorzien in een ophoging van het beheerpad. Hiervoor hebben wij nu een aansluiting op de hoge grond tot NAP +22m voorgesteld hetgeen overeenkomt met een ophoging van ca. 30 cm ten opzichte van maaiveld. Deze maatregel is in het DO in overleg met WL en het BGT HWBP vervallen, waardoor er geen maatregelen meer worden getroffen in dijkvak 7. Hiervoor is de spoordijk aangewezen als hoge grond. De spoordijk ligt tussen NAP +22,6m en NAP +22,8m.

De waterstand waarop wordt gerekend voor het faalmechanisme stabiliteit en piping is bij WBN (waterstand bij norm) en niet HBN. Het WBN ligt voor 2075 (50 jaar) op NAP +21,50 voor de spoordijk, dus onder maaiveldniveau van het OML terrein (NAP +21,9). Met andere woorden in het hypothetische geval dat de spoordijk bezwijkt voldoet deze nog steeds. Voor hoogte wordt het HBN genomen, maar daar wordt getoetst dat de hoogte van de spoordijk hoger is dan HBN (voor 2075 is HBN 22,0).

Er is voor piping één intredepunt dat relevant is, namelijk het verlengde van het koelwaterkanaal aan de zuidzijde, waar er bij hoogwater wel water tegen de dijk staat. Hiervoor wordt een pipingmaatregel in het Buggenumerbroek getroffen, maar het verval/kwelweglengte in dijkvak 6 is hier wel maatgevend boven dijkvak 7.

4.3.2 Dassentunnel

Halverwege dijkvak 7 ligt een dassentunnel onder het spoor, bestaande uit een Ø300 buis. De b.o.b van deze tunnel ligt op NAP +20,5m en de omliggende grond op NAP +21,5m. Hiermee is de hoge grond “lek”. Uit overleg met OML in 2019 en 2020 blijkt dat er waarschijnlijk geen dassen meer voorkomen op het OML terrein. WL voert momenteel onderzoek uit waaruit moet blijken dat er geen vaste voortplantings- of rustplaatsen meer in gebruik zijn op het OML-terrein. Dan is namelijk geen ontheffing nodig voor het dichtmaken van de dassentunnel onder het spoor en zijn hiervoor geen compenserende maatregelen nodig. Hierbij dient in gedachten gehouden te worden dat in 2012 de vaste voortplantings- en rustplaats al -naar nu blijkt succesvol- gecompenseerd is door de aanleg van een kunstburcht langs de Groeneweg.

Het heeft de voorkeur om ter plaatse van de dassentunnel een grondwalletje van ca 30 cm hoog aan te leggen op een hoogte van NAP +22m. Hierdoor is de dassentunnel bij HBN hoogwatervrij.

4.4 Hoofdwatersysteem

4.4.1 Vaarweg Maas, koelwaterkanaal en kom

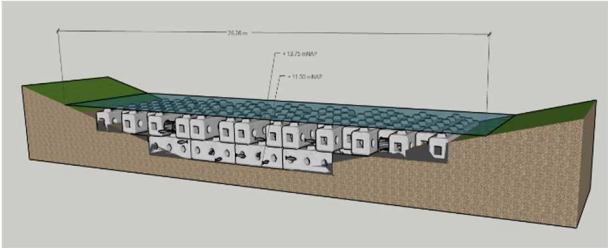
In de rivierkundige, nautische en ecologische beoordeling is aangetoond dat de dijkversterking Buggenum resulteert in een waterstandsdaling van 9mm ter plaatse van rivierkilometer 85 (ter plaatse van de oude haveningang. Voor waterberging, dwarsstroming en Kaderrichtlijn Water wordt echter niet voldoen aan de norm en daarom zijn compenserende maatregelen nodig. Voor de mitigatie van dwarsstromingseffecten en compensatie KRW wordt een integrale maatregel getroffen. Deze bestaat uit het opvullen met zand van de kom benedenstrooms van dijk en lutumrijk materiaal met onder de toplaag. Dit stimuleert de groei van riet. Er wordt een hoge vooroever aangelegd om de stroming te geleiden en dwarsstroming te voorkomen. Deze oever ligt op een hoogte van NAP +16,5 meter. Achter deze hoge oever ligt de bodem ca. 0,5 meter onder stuwpeil om de rietontwikkeling te faciliteren en het grondverzet te beperken. Het ontwerp is weergegeven in figuur 10. De bestaande radarbaak en lichtopstand wordt in overleg met RWS verplaatst naar een bovenstroomse locatie ter plaatste van de Vogelkop.

Figuur 9: locatie compenserende maatregel t.b.v. dwarsstroming en KRW

In de eerdere nautische studie is onterecht gesteld dat zuiging ook aan de grenswaarde van 0,2m golfhoogte moet voldoen. Deze grenswaarde geldt echter alleen voor wind- en secundaire scheepsgolven omdat deze een veel kortere golflengte hebben. Omdat de primaire scheepsgolf een veel langere golflengte heeft (in de orde van 300 meter), leidt dit in principe niet tot significante hinder ter plaatse van de aanlegplaatsen. De steigers zijn drijvend vormgegeven dus bewegen mee met de waterstand. Weerkaatsing van de translatiegolf zou kunnen leiden tot hinder, op het moment dat twee beroepsschepen in korte tijd de haveningang passeren en er een amplitude door tegemoetkomende golven ter plaatse van de aanlegplaatsen ontstaat.

Een ander mogelijk negatief effect van de primaire scheepsgolf is het ontstaan van hogere stroomsnelheden in het koelwaterkanaal. Doordat de waterstand in het gehele kanaal zal zakken en weer stijgen, moet er een significant volume water de haven uit en weer ingevoerd worden. Dit zal resulteren in verhoogde stroomsnelheden, met name dicht bij de monding van het koelwaterkanaal (daar passeert het grootste volume water). De grootte van deze stroomsnelheden kan worden bepaald met een simulatie van een dergelijke situatie. Echter, indien er in de huidige jachthaven geen problemen door de verhoogde stroomsnelheden worden ondervonden, dan zullen er in de nieuwe situatie ook geen problemen te verwachten zijn. Het koelwaterkanaal is namelijk korter geworden, dus het oppervlak is afgenomen, waardoor het totale volume water kleiner wordt.

Doordat aanlegplaatsen minder in de luwte liggen ten opzichte van de huidige situatie, is de situatie in principe verslechterd. Om deze reden en om toch mogelijke hinder door hogere stroomsnelheden door zuiging te verminderen, is een ontwerp uitgewerkt in de vorm van een permeabele drempel tot een meter onder stuwpeil van gestapelde rifblokken aan de bovenstroomse zijde van de recreatiehaven (achterin de haven). Omdat de drempel permeabel is, wordt het aantal waterdeeltjes dat door de translatiegolf wordt verplaatst aan de bovenstroomse zijde van de drempel minder. Hierdoor wordt het effect op de waterstand in het bovenstroomse deel van het koelwaterkanaal verminderd en het effect van weerkaatsing gedempt, waardoor de stroomsnelheden door zuiging af zullen nemen. Er wordt gekozen voor een doorlatende drempel omdat een dichte dwarsdam zou zorgen dat de translatiegolf net bovenstrooms van de recreatieplaatsen zou weerkaatsen. Een visualisatie van deze maatregel is weergegeven in figuur 11. Deze maatregel heeft een breedte van ca 25 meter over een lengte van ca 10 meter en diepte van 1,6 meter.

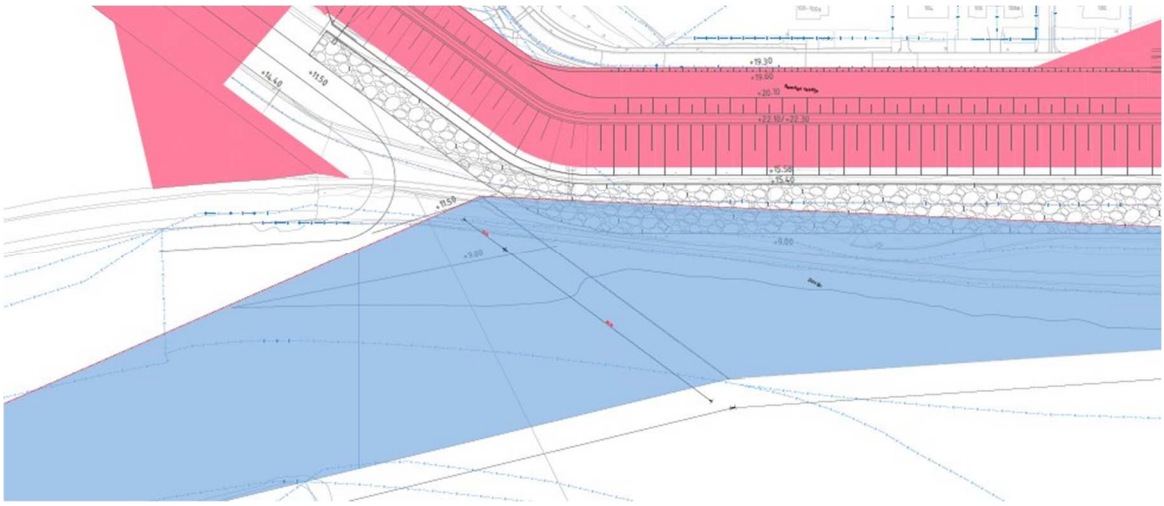


Figuur 10: maatregel tegen zuiging en voor KRW bovenstrooms van afmeervoorzieningen

Door de porositeit tussen de blokken is de maatregel tegen zuiging tegelijk ook een geschikte compenserende KRW maatregel. De holle ruimtes tussen de blokken zijn namelijk zowel geschikt als schuilplaats voor vissen en als hechtingsubstraat voor macrofauna. Het bovenstroomse gedeelte van het koelwaterkanaal wordt daarmee afgesloten voor recreatievaart en vormt daarmee ook een geschikte schuilplaats voor vissen.

4.4.2 Invaaropening

De zichtlijnen voor veilige in- en uitvaart van de recreatiehaven zijn geborgd middels de vormgeving van de invaart in het DO-. Voor de recreatie- en beroepsvaart is een vrije zichtlijn over 2,5m boven stuwpeil noodzakelijk over een maximale lengte van 600 meter. Dit wordt de uitzichtdriehoek genoemd. Binnen de uitzichtdriehoek mogen dus geen obstakels aanwezig zijn op NAP +16,6m In figuur 12 zijn de benodigde zichtlijnen voor recreatievaart (blauw) weergegeven ten opzichte van de obstakels (rood). Hieruit blijkt dat de dijk en de oever de zichtlijnen ter plaatse van de nieuwe invaaropening van de haven niet blokkeren.



Figuur 11: zichtlijnen invaaropening

4.5 Infrastructuur

4.5.1 Perceelontsluitingen

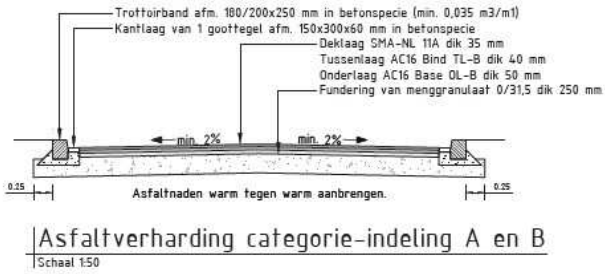
Ten behoeve van ontsluiting van het landbouwperceel grenzend aan de Arixweg- Groeneweg was in het DO- een tweezijdige perceelontsluiting ingetekend. In overleg met de perceeleigenaren is afgesproken deze perceelontsluiting enkelzijdig in het verlengde van de Poelakkerweg te leggen. Hiermee vervalt de perceeltoegang in oostelijke richting. De helling van deze perceelontsluiting is 5 à 6%, dus toegankelijk voor paarden en landbouwvoertuigen.

4.5.2 Wegen en dijkovergangen

Door aanleg van de dijk ontstaat er een nieuwe routestructuur. De bestaande routes over de Ohéstraat, Dorpsstraat, Groeneweg, Arixweg en Poelakkerweg blijven gehandhaafd. Ter plaatse van de Arixweg en de Wijnaardenweg worden dijkovergangen in asfalt gerealiseerd. De route richting de Groezeweg wordt alleen toegankelijk voor wandelaars, fietsers en landbouwverkeer en de dijkovergang wordt hierdoor uitgevoerd in halfverharding. De verbinding voor het autoverkeer tussen de Dorpsstraat en de Groeneweg komt binnendijks te liggen. Hierdoor wordt bij hoogwater de ontsluiting van Buggenum gewaarborgd.

De gemeente Leudal eist in haar standaard een 3-laags asfalt met een 35mm SMA11A deklaag, tussenlaag en onderlaag van 40 + 50 mm AC16, zoals weergegeven in figuur 13. Voor de wegfundering op de dijk wordt betongranulaat met een geogrid in plaats van menggranulaat toegepast. Om circulair te werken is de voorkeur om een SMA8 deklaag / AC16 Surf onderlaag toe te passen. De SMA8 deklaag heeft een PR van 50%.[5] Dit mengsel wordt na overleg met de gemeente Leudal toegepast.

[5] Vrijkomend freesmateriaal wordt gebruikt als toeslagmateriaal voor asfalt. Dit noemen we Partiële recycling, ofwel PR.



Figuur 12: standaard detail asfaltverharding gemeente Leudal

De grondlichamen van dijkovergangen worden uitgevoerd in zand, met 30cm substraat (zavel) op de locaties waar begroeiing met kruidenrijk gras wordt voorzien. De kleibekleding van de dijk bestaande uit schrale klei wordt doorgetrokken onder de dijkovergangen zodat deze aaneengesloten is.

De wegverbinding van de Groeneweg en Dorpsstraat naar de Groezeweg wordt afgewaardeerd en alleen toegankelijk voor landbouw-, wandel- en fietsverkeer. Deze dijkovergangen worden uitgevoerd in een halfverharding bestaande uit een betongranulaat. Hiermee wordt het risico op wegspoelen bij hoogwater buitendijks verminderd.

Tussen de Groeneweg en Dorpsstraat wordt een wegverbinding aangelegd voor autoverkeer als doorgaande wegverbinding. Hierbij wordt de bestaande verhardingsbreedte van 3,5 meter asfalt plus 2*0,5 meter grasbetonstenen aangehouden. De weg komt op één oor te liggen afwaterend in binnendijkse richting, op een helling 1:20. Hiermee fungeert de weg ook als pipingberm. Aan binnenzijde van de weg wordt een molgoot met een infiltratiesysteem voorzien. Dit systeem wordt conform de eisen uit de inrichtingsrichtlijnen van de wegbeheerder gemeente Leudal niet gekoppeld aan het bestaande oppervlaktewater of vuilwatersysteem. Deze weg wordt uitgevoerd in een deels circulair asfaltmengsel.

4.5.3 Kavelpad (dijkvak 2)

In dijkvak 2 wordt ter vervanging van de huidige perceeltoegangen direct vanaf de Arixweg een buitendijks kavelpad aangelegd van 3,5m breed voorzien van betongranulaat, met wegbermen van 2*0,75m. Dit kavelpad ligt 2 meter vanaf de buitenteen. Hier ligt de klei-inkassing die vrij moet blijven van insporing door landbouwvoertuigen.

4.6 Recreatieve voorzieningen

4.6.1 Bomen en beplanting

Door de dijkversterking worden 20-30 te solitaire bomen gekapt, die vallen binnen de compensatieplicht. Het aantal te kappen bomen hangt af van de detaillering van het ontwerp in ontwerploop 5. Een aantal bomen langs de Dorpsstraat en buitenteen dijkvak 6 kunnen na detaillering de benodigde werkstroken mogelijk nog gehandhaafd blijven. Deze bomen moeten gecompenseerd worden. Er mogen geen bomen hoger dan 5 meter binnen 8,5 m van de kernzone van de waterkering worden terug geplant. Er zijn een drie voorkeurslocaties voor het terugplanten van bomen en begroeiing: (1) in de verblijfsruimte tussen de Dorpsstraat en nieuwe dijk in dijkvak 5 om de woningen af te schermen van zicht vanaf de kruin (2) in de oksel van de

Dorpsstraat en Groeneweg (3) ter plaatse van de verplaatste weg op het OML terrein aan de zuidzijde van het spoor.

Het nieuwe binnentalud in dijkvak 5 sluiten we aan op een comfortabel beloopbaar 1:20 talud dat we inrichten als aantrekkelijk wandelgebied. Daartoe wordt ook een struinpad aangelegd in het gebied. Buiten de kernzone en beheerstrook planten we enkele gebiedskenmerkende middelstamfruitbomen en herplanten we één karakteristieke jonge notenboom van de langsdam. Dit doen we buiten 8,5 meter vanaf de binnenteen van de dijk. Andere jonge notenbomen schenken die vrij komen van de langsdam we aan bewoners van Buggenum. Om te voorkomen dat het 1:20 talud wordt gebruikt voor wildparkeren, planten we de berm van de Dorpsstraat een meidoornhaag. We kiezen voor middelstamfruitbomen omdat deze vanwege de geringe hoogte (<5m) geen invloed hebben op de waterveiligheid en passen binnen het keur. De positie van de grotere notenboom kiezen we zodanig dat ontgronding, en bladval geen negatieve invloed hebben op de waterveiligheid. De meidoornhaag heeft een hoogte van maximaal 1 meter, zodat de beheerder zicht houdt op de kering.

4.6.2 Befietsbaar pad

Tussen de Ohéstraat en de dijkovergang van de Dorpsstraat is de wens van de gemeente Leudal een befietsbaar pad aan te leggen. Dit is betrof meekoppelkans, waarvan het ontwerp en raming aan de gemeente Leudal is voorgelegd. Uit overleg met de bewoners is gebleken dat het draagvlak voor fietsen op de kruin laag is. Binnendijks ligt namelijk al een bestaande een fietsverbinding op de Dorpsstraat, waardoor een nieuwe verbinding beperkte toegevoegde waarde heeft. Daarom wordt fietsen op de kruin ter plaatse van de Dorpsstraat niet mogelijk gemaakt en vervalt deze meekoppelkans.

4.6.3 Afmeervoorzieningen en drijvende voetbrug

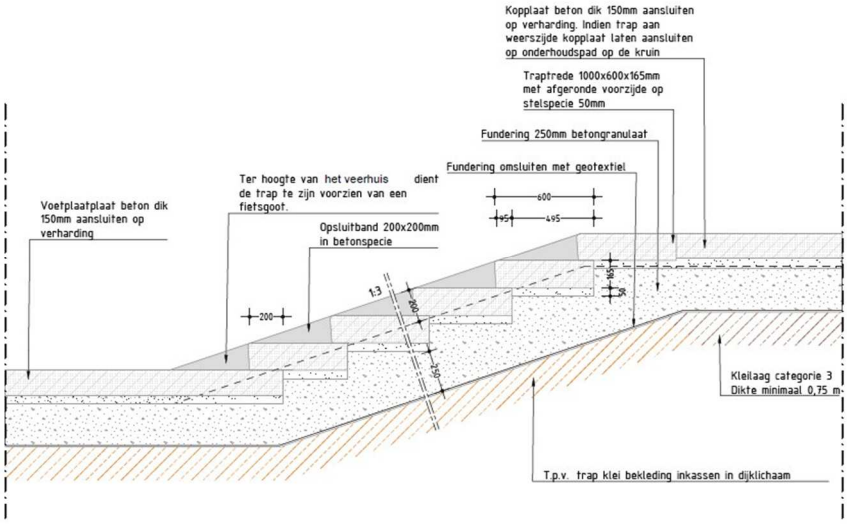
In januari 2024 heeft een inspectie van de bestaande afmeervoorzieningen plaats gevonden om de herbruikbaarheid van de bestaande voorzieningen. Hieruit blijkt dat de palen niet herbruikbaar zijn, omdat de waterdiepte ter plaatse van de nieuwe locatie groter is. De huidige staat van de vingerpieren is dermate slecht dat deze ook niet hergebruikt kunnen worden binnen de vigerende eisen van het Bouwbesluit. Ter plaatse van de nieuwe locatie van de afmeervoorzieningen moet ook een stroomvoorziening gerealiseerd worden. De locatie is namelijk verder van de Dorpskern van Buggenum gelegen en daarom gevoeliger voor diefstal en vandalisme. Bovendien moet verlichting zorgen voor veilige toegang in de schemering en het donker. De drijvende voetbrug wordt verplaatst naar de bovenstroomse zijde van de nieuwe recreatiehaven. De huidige lengte van de voetbrug volstaat voor de nieuwe locatie.

In het huidige koelwaterkanaal zijn een 4-tal (deels vergane) asbestplaten aanwezig, zoals getoond in figuur 14. De twee schermen aan de dijkzijde staan binnen het ruimtebeslag en worden als onderdeel van het werk gesaneerd. Ook de grond er omheen bevat asbestfragmenten en dient ook gesaneerd te worden. De andere twee schermen blijven gehandhaafd omdat deze buiten het ruimtebeslag vallen.

Figuur 13: asbestcementplaten in het koelwaterkanaal

4.6.4 Taludtrappen

Ter vervanging van de huidige taludtrappen worden op twee locaties nieuwe taludtrappen met zitelementen voorzien. De zitelementen bestaan uit rode baksteen en vervangen het monument op de langsdam. Bij voorkeur hergebruiken we hiervoor de rode bakstenen uit het monument, op de langsdam. De taludtrappen zouden 3D geprint uitgevoerd kunnen worden door Neolithic. De 3d geprinte dijktrappen bevatten holle ruimtes waardoor ca 20% van het materiaal ten opzichte van een traditionele dijktrap bespaard kan worden. De dijktrappen ter plaatse van de Dorpsstraat krijgen een breedte van 2 meter, de dijktrappen ter plaatse van de afmeervoorzieningen in dijkvak 6 een breedte van 1 meter.



Figuur 14: standaard detail taludtrappen

De uitwerking van de taludtrappen ter plaatse van de Dorpsstraat en nieuwe afmeervoorzieningen is weergegeven in figuur 16.

Figuur 15: uitwerking van taludtrappen ter plaatse van de Dorpsstraat en afmeervoorzieningen

4.6.5 Loswal

Ter plaatse van de huidige tijdelijk vergunde loswal wordt als meekoppelkans een permanente loswal gerealiseerd in het verlengde van de toerit van de Ohéstraat. Hiervoor is een loswal op de kruin van de dijk afgewogen tegen een loswal aan de teen van de dijk. Op basis van uitvoerings-

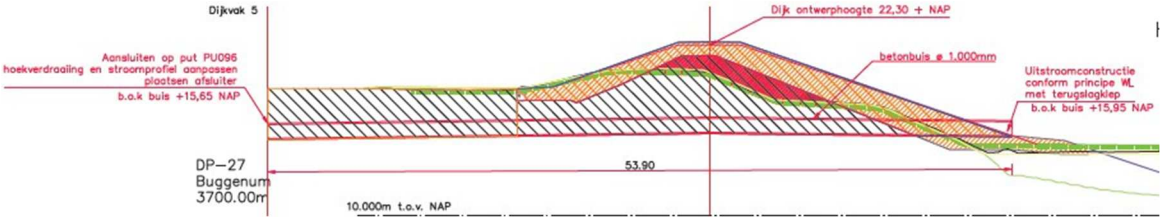
en exploitatiekosten blijkt een loswal aan de teen van de dijk goedkoper is. Dan kan namelijk een relatief lichte 100 ton kraan worden ingezet (GROVE GMK 4100L). Om bij de loswal te kunnen komen wordt een afrit gerealiseerd, die alleen toegankelijk is voor materieel van de de exploitant, die de loswal 2 maal per jaar gebruikt. Om schade aan de dijk en oever te voorkomen wordt tussen de maximale stempelbreedte van 7 meter 1 meter extra vrije ruimte toegevoegd aan beide zijden. Hierdoor wordt de loswal 9 meter breed. Ter plaatse van de buitenteen ontstaat een hoogteverschil van 40cm, dat wordt opgelost met betonnen elementen een zitelement te realiseren.

4.7 Kabels en leidingen

4.7.1 Uitstroomvoorziening overstort gemeente Leudal

Ter hoogte van DP75.037 ligt een overstortleiding van het bergbezinkbassin van de Gemeente Leudal. De dijk-as wordt ter plaatse van de huidige overstortleiding van het bergbezinkbassin buitendijks verschoven. Het grondlichaam van de nieuwe dijk komt over de huidige uitstroombak te liggen, waardoor de overstortleiding en uitstroombak over 40m in zuidelijke richting verlegd moeten worden. De huidige leiding voldoet niet qua belasting. Ter plaatse van de nieuwe overstortleiding is er wel een pipingopgave, dus er dient 20 meter aan beide zijden van de leiding een pipingscherm worden aangebracht met een lengte van 4m, met een doorvoer ter plaatse van de leiding.

De huidige diameter van de leiding is 1000mm, dit is tevens de gewenste diameter van de nieuw aan te leggen overstortleiding. De elementen worden zo veel mogelijk prefab geleverd/uitgevoerd. Voorkeur van de gemeente Leudal is om deze in beton uit te voeren. In figuur 19 is de toekomstige voorkeursligging van de leiding en de dijk weergegeven. Dit is op de locatie waar de as van de dijk binnenwaarts wordt verschoven. Ten behoeve van de betrouwbaarheid sluiting is de leiding te voorzien van een dubbel keermiddel, door een nieuwe afsluiter aan te brengen en door de afsluiter put BU096 te handhaven. Het vrijvervalriool Bet-300 wordt in het werk verwijderd. Deze leiding is in 2004 buiten gebruik genomen en tevens vol geschuimd.



Figuur 16: dwarsdoorsnede overstortleiding

4.7.2 WBL-leiding

Parallel aan dijkvak 3 en kruisend aan dijkvak 4 ligt een bestaande WBL leiding, Ø900 Hobas leiding. Door de dijkversterking komt deze leiding onder het profiel van de dijk te liggen. De leiding leiding loopt halverwege CP16-CP17 deels onder de kering (figuur 1). In dit gebied ligt hooguit 0,5 m tot 1 m aan klei voordat het zandpakket begint. Volgens de aangeleverde tekeningen van WBL ligt de leiding op een diepte van ca. NAP +16,9 m, ongeveer 3,0 m onder maaiveld. Op basis van samendrukkingsproeven uit het recente grondonderzoek (2024) om de zettingsparameters aan te scherpen/uit te breiden. Op basis hiervan berekeningen is een maximale zetting van de dijk nog geen 5 cm op maaiveldhoogte na 50 jaar berekend. Dieper in de grond kijken ter hoogte van de leiding, zijn de zettingen verwaarloosbaar tot minder dan 1 cm (0,3 cm). Oftewel, de zettingen treden vooral op in het aan te leggen dijklichaam zelf en de kleilaag op maaiveld aan. In het zandpakket gebeurd nagenoeg niks. Op basis van de zettingsberekening is door de leverancier een sterkteberekening uitgevoerd. Hieruit blijkt dat de sterkte van de leiding ten gevolge van aanleg van de dijk voldoet. WBL heeft akkoord gegeven op deze berekening.

Ter plaatse van de nieuwe dijkkruising wordt een afsluiter in de kruin gerealiseerd om te voldoen aan de waterveiligheidseisen uit de NEN3650/3651.

4.8 Regionaal watersysteem

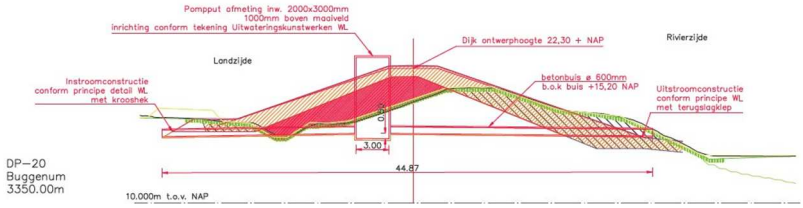
4.8.1 Watergangen en duikers

Er moet een duiker worden aangelegd ten gevolge van de dijkversterking in dijkvak 6. Dit betreft het verplaatsen bestaande duiker binnen het ruimtebeslag van de dijkversterking.
In dijkvak 6 wordt een klein deel van de Ziep gedempt. Om de aansluiting van de Ziep met het doorlaatwerk te herstellen wordt de Ziep verlegd en wordt de duiker hersteld. Ten gevolge van de dijkversterking wordt hier een deel van de watergang/wateroppervlak van 60m^2 gedempt. Dit moet 1 op 1 (in termen van oppervlak) gecompenseerd moet worden. Dit wordt gerealiseerd door nieuwe verbinding van de Ziep met het doorlaatwerk over een lengte van 45m met een bovenbreedte van 1,5m aan te leggen.

4.8.2 Kunstwerk doorlaatwerk Ziep

Het doorlaatwerk van de Ziep moet verplaatst worden, omdat de dijk op de oorspronkelijke locatie wordt verbreed. Het doorlaatwerk behoudt naast afwatering van de Ziep ook de functie als inlaat tijdens hoogwater, om de waterstand in het Buggenumerbroek op te zetten als tegendruk tegen piping.

De nieuwe duiker wordt in noordoostelijke richting verschoven richting de toerit van de Ohéstraat (de historische locatie voor 1995), zie figuur 20. De elementen voor het doorlaatwerk worden zo veel mogelijk prefab geleverd/uitgevoerd. Voor de duiker wordt dient de huidige diameter te worden aangehouden (Ø600). Aanleghoogte van de dijk bedraagt NAP +22,50m. De b.o.b. van de duiker ligt op ca. NAP+15,80m ter plaatse van de kruin, dus de binnenkant bovenzijde buis ligt op NAP +16,20m (min de dikte van de buis) en de maximale gronddekking is ca 6,3m. Voor het ontwerp wordt uitgegaan van het PvE uitwateringskunstwerken van Waterschap Limburg, versie 6. De pompopstelplaats wordt ter hoogte van de loswal in het verlengde van de Ohéstraat gerealiseerd. Het doorlaatwerk wordt voorzien van een tweetal spindelschuiven en is daarmee dubbel kerend.



Figuur 17: doorsnede doorlaatwerk Ziep

Het doorlaat moet voorzien worden van spindelschuiven omdat deze hiermee regelbaar wordt om toe te kunnen passen bij hoogwater. Daarbij heeft de doorlaatvoorziening geen ecologische functie. Omdat er enkel bij hoogwatersituaties sprake is van de mogelijkheid tot uitwisseling is dit erg beperkt en in de praktijk gemiddeld maar enkele dagen per jaar het geval. Hierdoor is het ook niet te verwachten dat in de Ziep trekkende vissoorten aanwezig zijn die afhankelijk zijn van deze uitwisseling. Tijdens afvoeren vanuit de Ziep naar de Maas kunnen soorten "meespoelen" van de Ziep de Maas in, maar de verwachting is dat geen vissen tegen de stroming in de doorlaatvoorziening op zwemmen. Dat is alleen weggelegd voor de sterke zwemmers wat in de regel ook echt migrerende soorten zijn, die we zoals bovenstaand aangegeven hier niet direct verwachten.

5 Afwegen en optimaliseren

5.1 Integraal ontwerp.

In figuur 19 is het integraal DO+ ontwerp weergegeven voor dijkversterking Buggenum.

Figuur 18: integraal DO+ dijkversterking Buggenum

5.2 Ontwerpafwegingen ruimtebeslag

Naar aanleiding van de grondverwervingsgesprekken en de daaruit voortkomende wensen ten aanzien van de ontsluiting van agrarisch percelen is de ligging van de dijk en de dijkovergangen ten opzichte van het DO- in dijkvak 4 geoptimaliseerd. Ten opzichte van het DO- is dijk wat meer naar buiten gelegd, zodat het binnendijkse perceel beter bruikbaar blijft voor de huidige bedrijfsvoering als bomenkwekerij. De werkzaamheden blijven nog steeds buiten de verstoringscontour van de dassenburcht. Daarnaast is tegemoetkomend aan wensen van aanwonenden de dijkovergang van de Dorpsstraat naar de Groezeweg van dijkvak 5 naar 4 verplaatst. De overgang van de Dorpsstraat naar de Dorpsstraat met lindes wordt vormgegeven met een dijktrap. Dit komt tevens tegemoet aan een reactie vanuit het Q-team dat de dijkovergang uit het DO- wat ongelukkig gesitueerd was op het knikpunt van de dijk. De dijkovergangen lopen op in een helling van 1:15.

Figuur 19: aangepast ontwerp dijkvak 4

De landschappelijke meerwaarde van deze oplossing ten opzichte van het DO is:

- De routes voor de verschillende soorten verkeer worden logischer, met geheel binnendijks een doorgaande verbinding voor lokaal verkeer en daarnaast uitsluitend voor fietsers en landbouwverkeer twee dijkovergangen naar de buitendijks gelegen Groezeweg;
- De twee dijkovergangen richting de Groezeweg komen dichter bij elkaar te liggen en vormen daardoor een meer samenhangende structuur;
- De overgang tussen de bredere en hogere Maasdijk langs de Dorpsstraat en de lagere en smallere landelijke dijk langs de Groeneweg krijgt een logischer verloop;
- Het landbouwperceel aan de buitenzijde kan op een meer natuurlijke wijze worden ingericht. Hierdoor ontstaat buitendijks een grotere aaneengesloten natuurlijke structuur. Hierin vormen de bestaande bosschages van de dassenburcht, rustplek voor fietsers/wandelaars en de nieuwe rietlanden in de kom en de door Rijkswaterstaat te realiseren KRW maatregelen in het Buggenumseveld een aantrekkelijk gebied voor recreatie met veel kansen voor biodiversiteit.

5.3 Extern ontwerpatelier

Op 29 januari en 19 februari zijn er externe ontwerpateliers georganiseerd om de inrichting van met name dijkvak 5 en 6 te besproken. Hieruit is het volgende naar voren gekomen:

- Het is niet wenselijk om de dijk tussen de Ohéstraat en Dorpsstraat met lindes als fietsroute te gebruiken, vanwege mogelijke zichthinder. Ook is de toegevoegde waarde ten opzichte van de bestaande route langs de Dorpsstraat minimaal;
- Er is een nieuwe meekoppelkans aangedragen voor het realiseren van 6 extra aanlegplaatsen voor botenverhuur;
- Er is om sociale veiligheid rond nieuwe locatie aanlegplaatsen. Om de sociale veiligheid te borgen moet de nieuwe locatie voor aanlegplaatsen voorzien van stroom

ten behoeve van het aansluiten van verlichting en camera's (dat laatste is geen onderdeel van de scope;
- Door verleggen van de aanlegplaatsen verdwijnt de huidige mogelijkheid om te parkeren bij de aanlegplaatsen aan de Dorpsstraat. Hiervoor is de wens ca 10 parkeerplekken terug te brengen langs de Ohéstraat.
- Belanghebbenden stemmen in met het vervallen van de botenhelling bij dijkvak 5 en 6 in het DO-. Met vindt het onwenselijk dat particulieren hun boten laden en lossen op deze locatie. Bovendien is de verkeerveiligheid voor het te water laten niet voldoende geborgd;
- Behoefte aan zit- en uitkijkplekken op de dijk, in zelfde vormgeving als Buggenumerveld, met name ter plaatse van Kop van 't End en richting Groezeweg.

Deze wensen zijn nader uitgewerkt in het inrichtingsplan behorende bij het DO+

5.4 Maakbaarheidstoets

Uit de maakbaarheidstoets zijn de volgende aandachtspunten naar voren gekomen;
- Sleufbekisting toevoegen voor het zorgen voor sleufstabiliteit ter plaatse van de kleikisten, mede omdat deze dieper zijn dan 2 meter onder maaiveld. De kleikisten worden gerealiseerd door eerst het maaiveld met 1 meter te verlagen ten behoeve van de klei-inkassing en vervolgens de sleuf voor de kleikist te graven.
- Gebruiken betongranulaat in plaats van menggranulaat voor de halfverharding verband met bestendigheid tegen uitspoelen buitendijks;
- Voor de dijkvakken 1 t/m 5 is het uitgangspunt dat het kernmateriaal bestaat uit zand. Ten behoeve van een gesloten grondbalans is het wenselijk om hier uitvoeringsvrijheid in te hebben. Daarom wordt toegevoegd dat het kernmateriaal voor deze dijkvakken ook mag bestaan uit zandige klei. Voor het gehalte organisch stof en puin, gelden de eisen uit de nota van uitgangspunten.
- Op dijkvak 5 is het uitgangspunt dat er een gesloten grasbekleding dient te zijn voor de waterveiligheid. Hoe deze grasbekleding gerealiseerd wordt, is beschreven in het Plan van Aanpak grasbekleding.

6 Verificatie

Het doel van de vijfde sprint is om aan te tonen dat de ontwerpen aan de eisen voldoen. Dit wordt gedaan middels verschillende reviews en toetsen.

6.1 Review op kwaliteit

Tijdens sprint 5 heeft er een review plaatsgevonden op de kwaliteit van het ontwerp. De belangrijkste resultaten van de review zijn:

- Beter toelichten van de ontwerpkeuzes in materialisatie ten aanzien van circulariteit;
- Nader onderbouwen rekenwijze om diepte van de kleikist in dijkvak 4 te optimaliseren;

6.2 Verificatie

In tabel 13 worden de verificatieresultaten van de meest relevante eisen, genoemd in tabel 6 van paragraaf 3.6, weergegeven. Het volledige resultaat staat beschreven in het V&V-dossier ontwerploop 4 en 5.

Tabel 13: verificatietabel

Eis-code	Omschrijving	Methode	Beschrijving	Criterium	Paragraaf
SYS-00001	De dijkversterking Buggenum (dijktraject 71-1) dient te voorzien in een primaire waterkering, die het achterland beschermt tegen overstromingen de maximaal toelaatbare faalkans van 1/100 per jaar uit Waterwet door weerstand te bieden tegen alle directe en indirecte faalmechanismen die kunnen optreden op basis van de van toepassing zijnde hydraulische randvoorwaarden.	Berekening	Berekening voor alle relevante faalmechanismen: GEKB (overloop en overslag) STPH (piping en heave) STBI en STBU (stabiliteit- binnen en buitenwaarts), GEBU, GABU, STBKL, STMI, VLAF, VLGA, NWO's en kunstwerken	Faalkans op alle faalmechnismen voldoet aan norm	§3.4.1 Bijlage 1
SYS-00005	Aangetoond dient te worden dat hoge gronden conform de (nieuwe) 'Grondslagen voor hoogwaterbescherming' een dusdanige omvang en hoogte hebben dat de faalkans van de hoge gronden en het optreden van achterloopsheid verwaarloosbaar klein is in de faalkansbegroting.	Berekening	Pipingberekening op doorsnede, waaruit blijkt dat achterloopheid is uitgesloten	Faalkans piping dijkvak 1 voldoet aan norm.	§3.4.1
SYS-00072	De ontwerphoogte (HBN) van de waterkering dient te worden gedimensioneerd op een overslagdebiet van maximaal 5 l/s/m.	Berekening	Berekening benodigd HBN voor faalmechanisme GEBK	Faalkans voldoet aan norm	§3.4.1
SYS-00075	Conform de handreiking grasbekleding dient het materiaal waaruit de groeilaag voor grasbekleding voor dijkbekleding bestaat niet meer dan 50% zand, een lutum gehalte tussen 9 en 20% en een organische stof gehalte tussen de 3 en 5% te bevatten.	Document-beoordeling	Plan van Aanpak Grasbekleding, waarin wordt aangetoond dat condities worden gerealiseerd voor een voldoende erosiebestendige grasbekleding.	Voldoende erosiebestendigheid middels ontwikkelbeheer wordt aangetoond	§4.2.1 PvA Gras-bekleding
SYS-00304	De bekleding op het buitentalud dient voldoende weerstand te bieden tegen erosie (GEBU) en afschuiving (GABU)	Berekening	Berekening (gras) en kleibekleding buitenzijde op	Faalkans voldoet aan norm	§3.4.1

			mechanisme GEBU en GABU		
SYS-00305	De klei-inkassing dient voldoende weerstand te bieden tegen piping. De vereiste doorlatendheid van de grond is 0,0005 van de doorlatendheid van het omliggende zand. De klei-inkassing dient boven de grondwaterspiegel te worden aangebracht, tot een maximale diepte van 3m -MV	Document-beoordeling	Materialisatie-eisen klei opnemen in ontwerptekening	Klei voldoet aan eis	§4.1.2
SYS-00307	Het kernmateriaal van dijken met een hoogte van meer dan 2,1 meter t.o.v. maaiveld dient te bestaan uit zand, met een maximale bijmenging van 10% klei. De hoek van inwendige wrijving voor zand is minimaal 27.	Document-beoordeling	Opnemen materialisatie kernmateriaal in 3D model	Materialisatie voldoet aan eis.	§4.1.1.
SYS-00311	De Dijkbekleding dient tussen harde bekleding en grasbekleding een overgangsconstructie te bevatten, welke er voor zorgt dat harde bekleding of constructie niet abrupt eindigt.	Document-beoordeling	Opnemen materialisatie in 3D model	Materialisatie bevat overgangsconstructie.	Zie pva grasbekleding
SYS-00318	De oever en bodembescherming dient voldoende bescherming te bieden tegen erosie door golfafslag (VLGA) en afschuiving (VLAF) veroorzaakt door stroming, golven en belasting door scheepvaart	Berekening	Berekening faalmechanisme VLGA en VLAF	Faalkans voldoet aan norm	Zie bijlage 1

7 Validatie

Nadat de ontwerpen zijn getoetst aan de systeemeisen (verificatie), zijn de ontwerpen in deze zesde en laatste sprint voorgelegd aan de klant (validatie).

7.1 Valideren ontwerp met eindgebruikers

Validatie heeft gedeeltelijk al plaatsgevonden middels het interne- en externe ontwerpatelier. De laatste validatieronde betreft een sleutelsessie met Waterschap Limburg. Tijdens deze sessie wordt getoetst of de oplossing nog in lijn is met de vooropgestelde doelstellingen uit Tabel 1.

7.2 Toets sober en doelmatig

De ontwerpafwegingen beschreven in het vorige hoofdstuk is op hoofdlijnen voorgelegd aan het HWBP in een sober en doelmatigheidstoets. Het doel van deze toets is om samen met het HWBP vast te leggen dat afwegingen in lijn met de subsidieregeling hebben plaats gevonden. Deze toets heeft plaats op 15 april 2024 en hieruit is gebleken dat er “geen gekke dingen” in het ontwerp van Buggenum zitten in relatie tot de subsidieregeling.

7.3 Besluitvorming en vaststellen baseline

De ontwerpnota is vastgesteld met het kernteam en dient vervolgens als baseline van het ontwerp. Het volledige validatieresultaat kan worden gevonden in het V&V-dossier ontwerploop 4 en 5.