RAPPORT

Notitie Voorkeursalternatief

Voorkeursalternatief voor dijkveiligheid

Klant: Waterschap Noorderzijlvest

Status: Definitief/02

Datum: 7 april 2020

Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together

HKV
LIJN IN WATER

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Laan 1914 no.35
3818 EX AMERSFOORT
Water
Trade register number: 56515154

+31 88 348 20 00 **T**
+31 33 463 36 52 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Notitie Voorkeursalternatief

Ondertitel: DVS Lauwersmeerdijk - Vierhuizergat
Referentie: BG3034WATRP2003121000
Status: 02/Definitief
Datum: 7 april 2020
Projectnaam: Dijkversterking LMDV
Projectnummer: BG3034
Auteur(s): Jan Valk, Sander Post

Opgesteld door: Jan Valk, Sander Post

Gecontroleerd door: Michel Tonneijck, Sander Post

Datum/paraaf: 5-3-2020/ MTr, 17-3-2020/ SP

Goedgekeurd door: Jan Valk

Datum/paraaf: 7-4-2020/ JV

Classificatie
Projectgerelateerd

Disclaimer

Niets uit deze specificaties/drukwerk mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van HaskoningDHV Nederland B.V.; noch mogen zij zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor andere doeleinden dan waarvoor zij zijn vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor deze specificaties/drukwerk ten opzichte van anderen dan de personen door wie zij in opdracht is gegeven en zoals deze zijn vastgesteld in het kader van deze Opdracht. Het geïntegreerde QHSE-managementsysteem van HaskoningDHV Nederland B.V. is gecertificeerd volgens ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 en ISO 45001:2018.

Inhoud

1	**Algemeen**	**1**
1.1	Aanleiding	1
1.1.1	Aanpak deelfase 4; van kansrijke alternatieven naar voorkeursoplossing	2
1.2	Doel en scope van het project	3
1.2.1	Projectgebied	3
1.2.2	Doelstellingen en belangen opdrachtgever	3
1.3	Doel rapportage	4
2	**Ontwerpopgave waterveiligheid per traject**	**5**
3	**Samenvatting selectie kansrijke alternatieven**	**8**
3.1	Samenvatting deelfase 2: Inventarisatie en selectie kansrijke bouwstenen	8
3.2	Beoordeling en selectie kansrijke alternatieven (verkenning, deelfase 3)	9
3.2.1	Traject Haven	9
3.2.1.1	Mogelijke alternatieven voor de Haven	9
3.2.1.2	Beoordeling en selectie alternatieven Haven	10
3.2.2	Trajecten Landelijke dijk 1 en 2	12
3.2.2.1	Mogelijke alternatieven landelijke dijk	12
3.2.2.2	Beoordeling en selectie alternatieven Landelijke dijk 1 en 2	12
3.2.3	Tussentijds afgevallen: hoge teen en brede groene dijk	16
4	**Uitwerking kansrijke alternatieven**	**17**
4.1	Definitie kansrijke alternatieven voor zeef 2	17
4.2	Uitwerking kansrijke alternatieven	17
4.2.1	Generieke uitgangspunten voor de uitwerking	17
4.2.2	Aanpassing alternatieven op basis van herijking hydraulische randvoorwaarden	18
4.2.3	Inpassingsmaatregelen	19
4.2.4	Betrokken innovaties en state of art kennis	20
4.3	Beschrijving kansrijke alternatieven	20
4.3.1	Traject Haven	20
4.3.2	Traject Landelijke dijk	24
5	**Van kansrijke alternatieven naar voorkeursalternatief (zeef 2)**	**29**
5.1	Wijze van beoordelen	29
5.1.1	Aanscherpingen van zeef 1 naar zeef 2	29
5.1.2	Meenemen beoordeling stakeholders	30
5.1.3	Visie op inpassing dijkontwerp	30
5.2	Beoordeling alternatieven voor Traject Haven (zeef 2)	30
5.2.1	Beoordeling thema Techniek en toekomstbestendig	30
5.2.2	Beoordeling thema Duurzaamheid	32

5.2.3 Beoordeling thema Planning 34
5.2.4 Beoordeling thema Inpassing in de omgeving 35
5.2.5 Beoordeling thema Gebruik en beleving van de dijk 37
5.3 Beoordeling alternatieven Landelijke dijk (zeef 2) 39
5.3.1 Beoordeling thema Techniek en toekomstbestendig 39
5.3.2 Beoordeling thema Duurzaamheid 41
5.3.3 Beoordeling thema Planning 43
5.3.4 Beoordeling thema Inpassing in de omgeving 45
5.3.5 Beoordeling thema Gebruik en beleving van de dijk 47

6 Kostenraming en LCC 49

7 Conclusies en aanbevelingen voor keuze voorkeursalternatief 51
7.1 Voorkeursalternatief traject Haven 51
7.1.1 Aandachtspunten voor de havendijk 51
7.2 Voorkeursalternatief traject Landelijke dijk 52
7.2.1 Aandachtspunten voor de landelijke dijk 53
7.3 Toetsing VKA aan aspect sober en doelmatig 54
7.4 Meekoppelprojecten als onderdeel integraal VKA 56

8 Referenties 58

Bijlagen 59

Bijlage 1: Afwegingskader - zeef 1
Bijlage 2: Beoordelingstabellen alternatieven
Bijlage 3a: Hoeveelheden ontwerp
Bijlage 3b Kostennota en SSK ramingen, incl. prijzenboek
Bijlage 4: Berekening milieueffecten alternatieven
Bijlage 5A: Toetsing alternatieven aan OI2014v4
Bijlage 5B: Verantwoording ontwerpberekeningen golfmuur
Bijlage 6: Ontwerptekeningen alternatieven Landelijk (bovenaanzichten en dwarsprofielen)
Bijlage 7: Quick scan beoordeling Kabels en Leidingen
Bijlage 8: Vergunningenscan alternatieven
Bijlage 9 Aanscherping ontwerpopgave en herijking hydraulische randvoorwaarden
Bijlage 10 Verslag stakeholderbijeenkomst 12 november 2019

1 Algemeen

1.1 Aanleiding

Het HWBP-project Lauwersmeerdijk – Vierhuizergat bestaat uit de versterking van normtraject 6-5 in het beheergebied van Waterschap Noorderzijlvest met een opgave vanuit de 3e toetsronde, waarin de asfaltbekleding (AGK en AWO) is afgekeurd. Een nadere veiligheidsanalyse (HKV, 2018) heeft ook aangetoond dat de faalmechanismen zetsteenbekleding (ZST), mogelijk macrostabiliteit buitenwaarts (STBU) en grasbekleding (GEKB en GEBU) traject dekkend niet voldoen aan de eisen uit de Waterwet. De verkenningsfase heeft als hoofddoel om het voorkeursalternatief (VKA) vast te stellen voor de dijkversterking.

Het project volgt de fase-indeling conform de HWBP-systematiek:

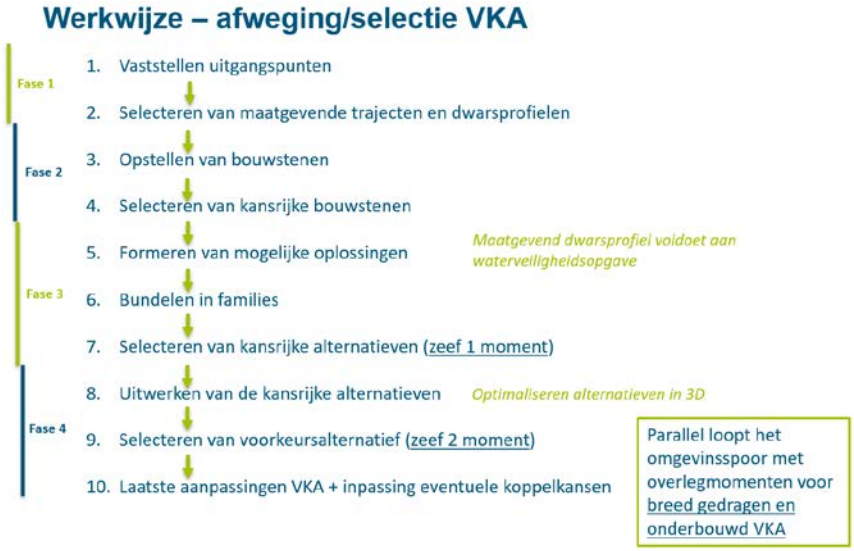
- Initiatiefase;
- Verkenningsfase (huidige fase);
- Planuitwerkingsfase;
- Realisatiefase.

Royal HaskoningDHV en HKV hebben op 21-12-2018 opdracht gekregen om de Verkenningsfase af te ronden en te begeleiden tot de keuze van een Voorkeursalternatief (VKA). De Verkenningsfase is conform de HWBP-werkwijze uitgevoerd.

In het ontwerpproces van de verkenningsfase is gewerkt van grof naar fijn om te komen tot een VKA. De verkenningsfase is daarom ingedeeld in de volgende deelfasen:

- Opstartfase: Kennismaken, analyseren en uitgangspunten vaststellen
- Inventariseren en selecteren kansrijke bouwstenen
- Selectie oplossingen en samenstellen kansrijke alternatieven
- Uitwerken kansrijke alternatieven en selectie VKA

De fases en de belangrijkste stappen in de verkenningsfase zijn visueel weergegeven in onderstaand figuur.



Figuur 1-1: Werkwijze en fases – Verkenningsfase dijkversterking Lauwersmeerdijk - Vierhuizergat

1.1.1 Aanpak deelfase 4; van kansrijke alternatieven naar voorkeursoplossing

De Notitie VKA is een samenvatting van het resultaat van de verkenningsfase en meer specifiek van van deelfase 4. Doel van deze deelfase is om uit de geselecteerde kansrijke alternatieven te komen tot een Voorkeursalternatief. De meest kansrijke alternatieven zijn middels een zeefproces (zeef 2) beoordeeld voor uitwerking naar VKA. Daarbij is er in een parallel proces sprake geweest van:

A. Samenstellen van alternatieven, gekoppeld aan de verbeteropgave vanuit waterveiligheid. Hierbij zijn relevante technische innovaties betrokken.
B. Een uitwerking met omgevingspartijen van kansrijke koppelkansen en/of gewenste inpassingsopgaven.

In deelfase 3 is met een afwegingskader beoordeeld (RHDHV, 2019e) of koppelkansen meegenomen kunnen worden in het dijkontwerp en VKA proces. Op basis hiervan is bij het opstellen van de kansrijke alternatieven rekening gehouden met inpassingsopgaven, voor zover dit past in een sober en doelmatig dijkontwerp.

Door verbetermaatregelen te koppelen aan landschapsherstel en/of behoud en rekening te houden met het verbeteren van de gebruiksmogelijkheden van de dijk wordt het draagvlak voor de dijkversterking vergroot. Bij het samenstellen van alternatieven is parallel een Landschapsplan opgesteld. De uitgangspunten van dit Landschapsplan zijn meegenomen bij de zeef 2 beoordeling. Er is gestreefd naar win-win oplossingen. Daar waar landschappelijke wensen leiden tot significant hogere kosten is dit in het Landschapsplan benoemd als koppelkans. Deze wensen zijn expliciet geen onderdeel van het dijkontwerp dat in aanmerking komt voor financiering via het HWBP.

Daarnaast is in een parallel ontwerpproces tijdens de verkenningsfase uitwerking gegeven aan drie koppelprojecten. Deze koppelprojecten sluiten aan bij de ambities van partijen en daarmee bij doel en scope project (zie paragraaf 1.2):

- Natuurlijke overgangen en onderwaternatuur
- Kwelderontwikkeling
- Zoet-zout overgang en vismigratie

Bovenstaande koppelprojecten zijn gerapporteerd in aparte ontwerprapportages en kunnen met elk kansrijk alternatief worden gecombineerd. Deze koppelprojecten zijn daarom niet gerapporteerd in de notitie VKA maar zijn wel onderdeel van het integraal Voorkeursalternatief van partijen.

De kansrijke alternatieven zijn in deelfase 4 doorgerekend en uitgewerkt met een 3D ontwerp. Op deze wijze zijn raakvlakken met andere functies (ruimtebeslag) en het aanzicht van de dijk goed te beoordelen. De uitwerking is gepresenteerd en besproken met belanghebbenden en overige belangstellenden (stakeholders). Het waterschap heeft de uitwerking van de kansrijke alternatieven gepresenteerd tijdens een stakeholderbijeenkomst op 12 november 2019 en tijdens een inloopavond in Lauwersoog op 16 december 2019. Mede op basis van de reacties van de stakeholders zijn de alternatieven definitief beoordeeld aan de hand van verschillende criteria.

In voorliggende rapportage is in de hoofdzaak alleen stilgestaan bij bij de keuze van de kansrijke alternatieven die invulling geven aan de waterveiligheidsopgave.
De verwachte (on)mogelijkheden voor combinatie met koppelkansen en overige omgevingsaspecten zijn per alternatief als criterium in de beoordeling van zeef 2 meegenomen.

1.2 Doel en scope van het project

1.2.1 Projectgebied

Het traject Lauwersmeerdijk-Vierhuizergat, onderdeel van normtraject 6-5, is gelegen langs de Waddenzee en ligt ten noorden van het Lauwersmeer. Het westelijk deel van de Lauwersmeerdijk, dat loopt tot aan de Cleveringsluizen, valt binnen het beheergebied van Wetterskip Fryslân. Dit deel maakt geen onderdeel uit van de verkenning. Het projectgebied betreft het oostelijk deel van normtraject 6-5, dat binnen het beheergebied van waterschap Noorderzijlvest (NZV) valt. Het projectgebied betreft het dijklichaam in grond (inclusief bekleding, voor- en achterland) en de bekleding op het buitentalud van het Cleveringsluizencomplex. De constructieve elementen van de Cleveringsluizen en de Robbengatsluis maken geen deel uit van het project, dit zijn de enige kunstwerken binnen het traject.
Direct ten oosten van de Cleveringsluizen ligt de haven van Lauwersoog. In het oostelijk deel van het projectgebied bevindt zich de getijdegeul “het Vierhuizergat” voor de dijk. Het projectgebied is afgebeeld in Figuur 1-2.

Figuur 1-2: Projectgebied Dijkversterking Lauwersmeerdijk - Vierhuizergat

1.2.2 Doelstellingen en belangen opdrachtgever

Het projectdoel is het realiseren van een veilige en toekomstbestendige dijk. De dijk wordt gerealiseerd op basis van een bestuurlijk en maatschappelijk gedragen voorkeursalternatief (VKA). De nieuwe dijk wordt goed ingepast in de omgeving en waar mogelijk worden kansen voor innovatieve en duurzame oplossingen en koppelkansen (wensen of projecten van anderen meenemen) benut.

Op hoofdlijnen gelden de volgende doelstellingen voor ontwerp:

- *Veilig en toekomstbestendig:*
  - De nieuwe dijk lost de veiligheidsopgave op volgens de Waterwet.
- *Bestuurlijk en maatschappelijk gedragen plan:*
  - Het VKA is bestuurlijk gedragen en bestuurlijk vastgesteld.
- *Goed ingepast in de omgeving:*
  - Er wordt specifieke aandacht besteed aan de natuurwaarden zowel binnendijks als buitendijks; een goede inpassing in het Waddenzeegebied, dat onderdeel is van Natura2000.
  - Bestaande functies worden zoveel als mogelijk en gewenst gehandhaafd of verbeterd.
- *Benutten innovatieve en duurzame oplossingen en koppelkansen:*
  - Koppelkansen worden benut waar mogelijk, deze worden beschouwd op hun haalbaarheid en nut (bijvoorbeeld het bewerkstelligen van een kostenverlaging, meer draagvlak, minder

hinder). Een goed mee te koppelen initiatief mag effect hebben op de uitgangspunten van het project.
- Innovatie is geen doel op zich maar wordt wel wenselijk geacht om de kans op een ingepast ontwerp met meerwaarde voor de projectomgeving te vergroten.

Specifiek voor de verkenningsfase is het hoofddoel om te komen tot een onderbouwde keuze van het voorkeursalternatief en het bestuurlijk vaststellen van dat voorkeursalternatief.

1.3 Doel rapportage

In het proces richting de keuze tot een VKA is het belangrijk dat keuzes herleidbaar vastliggen. In de notitie VKA wordt stilgestaan bij de uitwerking van de met zeef 1 geselecteerde kansrijke alternatieven. Vervolgens zijn middels een zeef 2 de kansrijke alternatieven tegen elkaar afgewogen. Voorliggende rapportage heeft als hoofddoel om de uitwerking te beschrijven en de vergelijking tussen de uitgewerkte kansrijke alternatieven te onderbouwen. De aanbevelingen en conclusies leiden tot het VKA voor de waterveiligheidsopgave. Dit VKA is samen met de koppelprojecten het *Integraal Voorkeursalternatief.* De koppelprojecten zijn in hoofdlijnen beschreven in hoofdstuk 7 en meer in detail beschreven in de Notitie Reikwijdte en Detailniveau (NRD). De mogelijkheid om koppelprojecten te combineren met het dijkontwerp is beoordeeld met zeef 2. Met voorliggende rapportage wordt het ontwerpproces van de verkenningsfase afgesloten.
In de planuitwerking (2020-2022) wordt het *Integraal Voorkeursontwerp* uitgewerkt naar een voorlopig ontwerp of vergunningenontwerp (VO).

2 Ontwerpopgave waterveiligheid per traject

Zoals reeds kort in hoofdstuk 1 is beschreven, is in de derde toetsronde de asfaltbekleding op het buitentalud afgekeurd. In een aanvullende veiligheidsanalyse (HKV, 2018) bleek ook de overige bekleding op het buitentalud (zetsteen en gras) onvoldoende sterk, de stabiliteit buitenwaarts (STBU) onvoldoende en bleek voor nagenoeg de hele lengte van de dijk dat er voor het zichtjaar 2075 te veel golfoverslag over de dijk kan optreden. Zeer lokaal kwam ook een opgave voor stabiliteit binnenwaarts (STBI) en piping (STPH) naar voren. Er is extra onderzoek uitgevoerd om de opgave voor de geotechnische faalmechanismen te concretiseren. De analyse van dit onderzoek heeft er uiteindelijk toe geleid dat de oorspronkelijke opgave voor de geotechnische faalmechanismen (STBI, STBU, STPH) in zijn geheel is komen te vervalen. In de Technische Uitgangspuntennotitie zijn de nieuwe uitgangspunten voor het ontwerpproces onderbouwd en geactualiseerd.
De uiteindelijke versterkingsopgave richt zich nu dus volledig op het versterken van de buitenwaartse dijkbekleding en het oplossen van de hoogte-opgave (beperken golfoverslag -> faalmechanisme GEKB). In de verkenningsfase is de keuze voor het toelaatbaar golfoverslagdebiet uitvoerig beschouwd (zie Bijlage 9 en de technische uitgangspuntennotitie). Bij de start van de verkenningsfase is voor het hele dijktraject 5 l/s/m golfverslagdebiet aangenomen. Na een probabilistische en geotechnische analyse is vastgesteld dat voor de havendijk een toelaatbaar golfoverslagdebiet van 5 l/s/m het meest passend en dat voor het landelijke dijktraject een toelaatbaar golfoverslagdebiet van 10 l/s/m in combinatie met een erosiebestendige kleilaag op het binnentalud meer passend is. De hoogte-opgave voor de huidige dijkgeometrie en voor een toelaatbaar golfoverslagdebiet van 10 l/s/m voor het zichtjaar 2075 is visueel weergegeven in Figuur 2-1. Voor meer informatie over deze aanpassingen wordt verwezen naar Bijlage 9. Naast de hoogteopgave (zie Figuur 2-1) voldoet de gehele dijkbekleding op het buitentalud niet.

Figuur 2-1: Veiligheidsoordeel GEKB (hoogte) voor een overslagdebiet van 10 l/s/m (zie ook bijlage 9)

Figuur 2-1 toont aan dat er grote verschillen zitten tussen het hoogte-tekort (de hoogte-opgave), daarnaast fluctueert de huidige geometrie van de dijk, de hoogteligging en het gebruik van het (indien aanwezige) aangrenzende voorland en het achterland langs het dijktraject. Door deze verschillen kunnen andere alternatieven kansrijk zijn voor verschillende trajecten. Vanwege bovenstaande reden is reeds in de fase “selecteren bouwstenen” besloten om het versterkingstraject in vier deeltrajecten te verdelen met elk een redelijk vergelijkbare situatie. Voor deze vier deeltrajecten is de zeef 0 (het selecteren van kansrijke bouwstenen) afzonderlijk toegepast.
Bij het selecteren van alternatieven bleken Deeltraject Landelijke dijk 1 en Deeltraject Vierhuizergat weinig van elkaar te verschillen, deze twee trajecten zijn in de fase selectie kansrijke alternatieven samengevoegd tot één traject. De ligging van de deeltrajecten zijn weergegeven in Figuur 2-2.

Figuur 2-2: Ligging van de drie dijktrajecten

In onderstaand overzicht wordt de keuze van de drie trajecten kort onderbouwd. Bij de uitwerking van Kansrijke Alternatieven (beschreven in deze rapportage) zijn de deeltrajecten Landelijke dijk 1 en Landelijke dijk 2 verder samengevoegd en is het voorkeursalternatief gekozen voor één samengesteld deeltraject “Landelijke Dijk”. Zie hiervoor ook hoofdstuk 3.

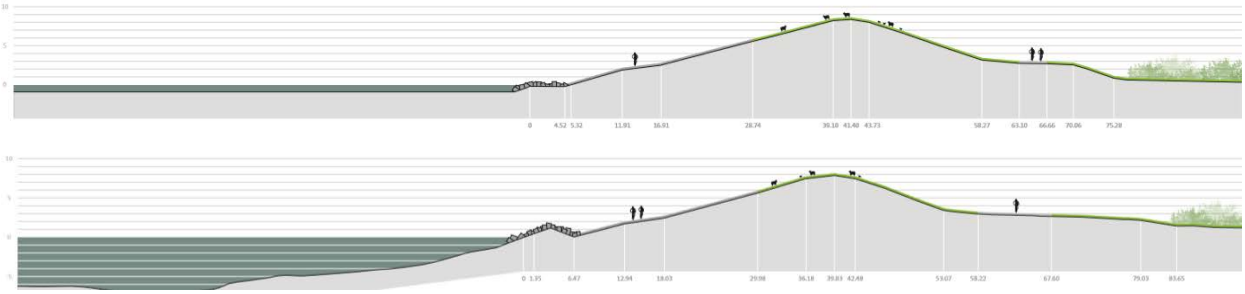
1. Deeltraject Havendijk

De keuze voor het deeltraject Haven als apart deeltraject behoeft weinig uitleg, door het aangrenzende haventerrein is de situatie hier compleet verschillend vergeleken met de rest van het dijktraject. Het haventerrein wordt als standzeker verondersteld tijdens maatgevende condities (RHDHV 2019c) en dit terrein heeft als hoog voorland een sterk golfoploop reducerende werking. De hoger gelegen havendammen voor het haventerrein zijn niet standzeker tijdens maatgevende condities (RHDHV 2019c). Daarnaast verkeren de dammen in een matige staat van onderhoud, waardoor de kans reëel geacht is dat de dammen bezwijken tijdens maatgevende stormcondities.
De geometrie van de havendijk verschilt binnen dit deeltraject nog wel sterk. In het westelijke gedeelte is de kruin breed, relatief laag en ligt de provinciale weg op de kruin van de dijk, meer oostelijk wordt een echte dijk zichtbaar. Hier ligt de provinciale weg achter de kruin van de dijk. Door deze verschillen in geometrie varieert de hoogte-opgave binnen dit traject ook sterk. In het oostelijk gedeelte is er geen kruinhoogte-tekort terwijl in het westelijke gedeelte juist wel een kruinhoogte-tekort is, lokaal zelfs meer dan 2 m. Naast het verschil in oostelijke en westelijk deel zijn er lokaal ook grote verschillen in het westelijk gedeelte. Daarom zijn binnen het westelijk deel voor de havendijk ook verschillende maatwerkoplossingen voor deelgebieden beschouwd. Figuur 2-3 toont de twee verschillende kenmerkende dwarsprofielen van de havendijk voor het oostelijk en westelijk deel.

Figuur 2-3: kenmerkende dwarsprofielen deeltraject Havendijk (westelijk deel figuur boven en oostelijk deel figuur onder). Het oostelijk deel kent geen hoogteopgave maar alleen een bekledingsopgave.

2. Deeltraject Landelijke dijk 1/ Vierhuizergat

Het deeltraject landelijke dijk 1 beslaat het traject direct ten oosten van haven (dp89.1) tot het punt waar een hele grote wadplaat voor de dijk ligt (dp84.7). De dijkgeometrie voor dit trajectdeel is uniform. Wel is er wat betreft voorland een verschil, over een deel van het traject (dp85.7 - dp87.1) is een diepe getijdegeul (Vierhuizergat) voor de dijk aanwezig. Deze getijdegeul is gefixeerd met staalslakbestorting. De dijk grenst aan de buitenzijde (tussen dp87.1 en dp89.1) aan een kleine wadplaat, welke droogvalt tijdens laagwater. De breedte van deze wadplaat neemt in de richting van het Vierhuizergat sterk af. Aan de binnenzijde van de dijk grenst de dijk aan het militaire oefenterrein en het Zoute Kwelgebied. Kenmerkende dwarsprofielen van dit dijktraject zijn opgenomen in Figuur 2-4. Door de verschillen in het voorland wordt bij de verdere uitwerking van dit deeltraject gebruik gemaakt van deelsecties.



Figuur 2-4: Kenmerkend dwarsprofiel deeltraject Landelijke dijk 1 (onder: locatie Vierhuizergat)

3. Deeltraject Landelijke dijk 2

Het deeltraject landelijke dijk 2 beslaat het traject dijkpaal (dp84.6) tot de Westpolder (dp82.1). De dijkgeometrie voor dit trajectdeel is uniform en lijkt sterk op het deeltraject landelijk dijk 1 en Vierhuizergat. Groot verschil is dat voor dit dijktraject voorland aanwezig is dat richting het oosten steeds hoger ligt. Door dit voorland worden bepaalde bouwstenen kansrijker. Daarnaast is de hoogte-opgave voor dit traject aanzienlijk groter dan bij traject landelijke dijk 1 omdat de dijk een stuk lager is, daarom is het deeltraject losgekoppeld van traject landelijke dijk 1. Aan de binnenzijde van de dijk grenst de dijk aan het militaire oefenterrein en het Zoute Kwelgebied. Een kenmerkend dwarsprofiel van dit dijktraject is opgenomen in Figuur 2-5.

Figuur 2-5: Kenmerkend dwarsprofiel deeltraject Landelijke dijk 2

3 Samenvatting selectie kansrijke alternatieven

Om te komen tot een onderbouwde keuze van het Voorkeursalternatief zijn een aantal stappen doorlopen. In dit hoofdstuk zijn de afwegingen om te komen tot de kansrijke alternatieven samenvattend beschreven. Zie ook Figuur 1-1. De gevolgde wijze van beoordelen is ook beschreven in paragraaf 5.1.

3.1 Samenvatting deelfase 2: Inventarisatie en selectie kansrijke bouwstenen

Een dijk kan op veel manieren worden versterkt. In deelfase 2 van de verkenningsfase zijn hiervoor bouwstenen geïnventariseerd om de dijk te versterken, waarbij ook kansrijke innovaties zijn betrokken. De best toepasbare, kansrijke bouwstenen samen helpen om versterkingsalternatieven voor de dijk in beeld te brengen en vormen het startpunt voor de bepaling van de alternatieven die kansrijk zijn om uiteindelijk te worden gekozen (zeef 1).

De bouwstenen bestaan uit oplossingen voor het versterken van de bekleding en uit oplossingen voor het verhogen van de kruin óf het verlagen van het overslagdebiet, en zijn ingedeeld op type aanpassingen:

A. Aanpassen bekleding
   Een harde dijkbekleding moet vooral de kracht van golven bij een zware storm opvangen en voorkomen dat de dijk wegspoelt. De bekleding van de dijk zorgt er daarbij voor dat de oploop van de golven wordt geremd, waardoor de hoogteopgave kan afnemen. De mate waarin de hoogteopgave afneemt hangt af van de ruwheid van het type bekleding.
B. Dijkprofielaanpassingen (geometrische bouwstenen)
   Bij bouwstenen die betrekking hebben op de geometrie van de dijk wordt de hoogte, de taluds of de berm aangepast. Aanpassingen van de taluds en de berm (bijvoorbeeld verflauwen of aanleggen van een buitenberm) hebben een reducerend effect op de golfoploop, waardoor de hoogteopgave afneemt. Daarnaast zijn er verschillende mogelijkheden om de kruin op te hogen. Dit kan over de hele breedte of met kleinschaligere oplossingen zoals een tuimelkade.
C. Constructieve aanpassingen
   Bij constructieve elementen wordt de hoogteopgave ingevuld door het toepassen van damwandconstructies en/of keermuren. Constructieve elementen worden veelal toegepast bij situaties waar de beschikbare ruimte beperkt is.
D. Voorland- en achterlandmaatregelen
   Voorlandoplossingen betreffen maatregelen voor de dijk zoals golfbrekers, extra dijken of het verhogen van het voorland. Deze maatregelen hebben veelal een golfremmende en -brekende werking waardoor de hoogteopgave van de huidige dijk afneemt. Maatregelen aan de achterzijde, landzijde van de dijk dragen vooral bij aan de stabiliteit, standzekerheid.

De geïnventariseerde bouwstenen voor de beschouwde deeltrajecten zijn opgenomen in onderstaande tabellen. De geometrische bouwstenen (Categorie B) en de voorland- en achterlandmaatregelen (Categorie D) verschillen door het verschil in ruimtelijke mogelijkheden tussen traject Haven en de Landelijke dijktrajecten. Zie ook de Notitie Kansrijke Bouwstenen (RHDHV, 2019d).

Voor het traject Haven zijn de voorlandoplossingen afgevallen in verband met de negatieve impact op de gebruiksfuncties van het huidige haventerrein.

Voor het traject Landelijke dijk zijn constructieve oplossingen afgevallen, het waterschap geeft een voorkeur aan het versterken van het huidige grondlichaam vanwege de betere uitbreidbaarheid in de toekomst. Tegelijk lost een constructieve oplossing hier niet een inpassingsprobleem op, bij de Haven wel.

De overige bouwstenen zijn (in hoofdlijn) betrokken bij het samenstellen van de mogelijke alternatieven.

3.2 Beoordeling en selectie kansrijke alternatieven (verkenning, deelfase 3)

Voor het samenstellen van alternatieven is gebruik gemaakt van de in deelfase 2 geselecteerde kansrijke bouwstenen. Combinaties van bouwstenen zijn in deelfase 3 allereerst rekenkundig uitgewerkt om te bepalen in welke mate zij kunnen bijdragen aan de benodigde versterking van de dijk. Daarbij verkregen we inzicht in het totale (extra) ruimtebeslag, zowel binnen- als buitendijks. In Tabel 3-1 is een overzicht weergegeven van mogelijke combinaties van bouwstenen om volwaardige oplossingen/alternatieven (versterkingsalternatieven) samen te stellen.

Tabel 3-1 Overzicht rekenkundige combinatiemogelijkheden (indien op trajectniveau kansrijk als bouwsteen) voor samenstellen van oplossingen.

	Keuzes:	Mogelijkheden:
Overslagdebiet	5 [l/s/m]	Uitgangspunt 5 l/s/m. In Haven is ook 20 l/s/m onderzocht
verflauwing boventalud	huidige situatie	1:3 - 1:6
verflauwing ondertalud	huidige situatie	1:3 - 1:6
hoge berm	zonder hoge buitenberm	met berm op waterstandsniveau (+5.5)
hoge teen	zonder hoge teen	Met hoge teen
ruwheid boventalud	laag (c= 1 [-])	0.55, 0.8, 1.0
ruwheid ondertalud	laag (c= 1 [-])	0.55, 0.8, 1.0
Tuimelkade	zonder tuimelkade	met tuimelkade
Hoogte tuimelkade	0.3 [m]	0.3, 0.5, 0.7
Voorland	geen voorland	NAP 0.0 tot 3.0
kruinhoogte verhoging	0.0 [m]	0.1 tot 1.0

Voor Landelijke dijk 2 is verdere verflauwing van het buitentalud (1:10) als extra bouwsteen onderzocht. Deze bouwsteen is in een later stadium extra toegevoegd als alternatief vanuit het parallel ontwerpproces voor ecologische meerwaarde.

3.2.1 Traject Haven

3.2.1.1 Mogelijke alternatieven voor de Haven

Voor de haven is eerst verkend of het mogelijk is om met logische combinaties van een nieuwe dijkbekleding en een geometrische aanpassing aan de buitenzijde (bouwstenen categorie A, B en C) de versterkingsopgave aan de kruin is te beperken. De inpassing van infrastructuur op de kruin is voor de beoordeling van de alternatieven in de Haven bepalend, daarom is dit gehanteerd als onderscheidend element. Er is gezocht naar logische combinaties van bouwstenen, zodanig dat alternatieven zich van elkaar onderscheiden door specifieke voordelen. In principe komen alle geselecteerde kansrijke bouwstenen terug in één of meerdere combinaties. Onderzocht en beoordeeld zijn vijf verschillende ontwerprichtingen (zie ook notitie Kansrijke Alternatieven);

- 1-Integrale kruinophogingen (weg en fietspad)
  Integrale kruinophogingen heeft als voordeel dat de provinciale weg op de kruin blijft liggen, net zoals in de huidige situatie. Het uitzicht vanaf de weg op de Haven en op het Lauwersmeer blijft ongehinderd.
- 2- Normale kruinverhoging (alleen fietspad)
  Bij normale kruinverhoging hoeft de provinciale weg niet te worden aangepast maar het fietspad wel. Het betreft een smalle kruin van circa 3 meter breed.
- 3-Geen kruinverhoging in combinatie met toestaan extra overslagdebiet
  Zowel provinciale weg als fietspad blijven in de huidige vorm in stand, er zijn geen werkzaamheden aan de kruin nodig.
- 4-Tuimelkade binnenzijde
  Zowel provinciale weg als fietspad blijven in de huidige vorm in stand. Het hoogtetekort wordt opgelost aan de binnenzijde van het buitentalud, zodat het fietspad (aan de buitenzijde) in stand kan blijven.
- 5-Constructies op overgang dijk naar haven, zonder kruinverhoging
  Zowel provinciale weg als fietspad blijven in de huidige vorm in stand, het hoogtetekort wordt vanwege de beperkte ruimte opgelost met een constructie aan de buitenzijde van de dijk.

3.2.1.2 Beoordeling en selectie alternatieven Haven

Omdat voor het oostelijk deel van de dijk alleen een bekledingsopgave geldt en de inpassing daarvan relatief eenvoudig is, zijn er vooral alternatieven vergeleken voor het westelijk gedeelte van de Haven.

1- Integrale kruinverhogingen (weg en fietspad)
Dit alternatief vergt een onnodig grote ingreep. Belangrijk nadeel is de omvang van de werkzaamheden over de gehele breedte van de kruin, hierdoor scoorden deze varianten slecht op criterium haalbaar en maakbaar. Ook is de milieu-impact negatief, evenals investeringskosten. Door de omvang van de werkzaamheden moeten veel kabels en leidingen verlegd worden in de toekomstige situatie, dit scoort negatief.
De alternatieven met integrale kruinverhoging zijn afgevallen in zeef 1.

2- Normale kruinverhoging (alleen fietspad)
Het alternatief met normale kruinverhoging is in de haven geselecteerd als kansrijk. Het alternatief scoort het hoogst op recreatieve beleving, fietsers hebben een goed uitzicht naar beide zijden terwijl automobilisten nog steeds over de dijk kunnen kijken. Het alternatief is goed uitbreidbaar en geeft vanuit landschappelijk oogpunt een herkenbaar dijkprofiel. Tenslotte is het alternatief positief onderscheidend wat betreft investeringskosten. De inpassing van dijkovergangen is daarbij een aandachtspunt.

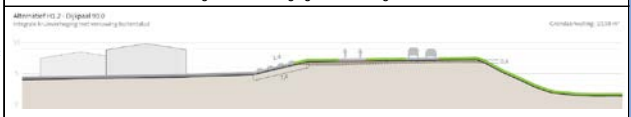
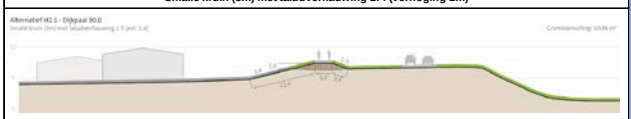
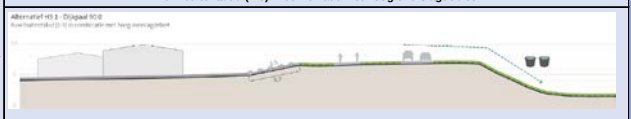
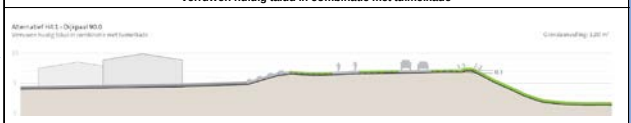
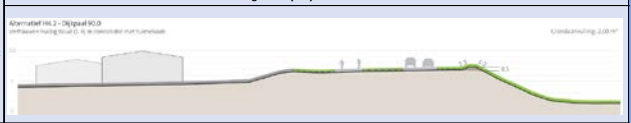
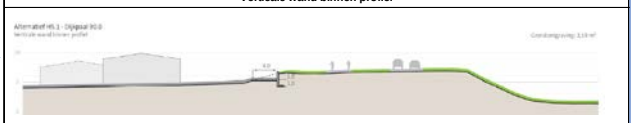
3- Geen kruinverhoging
Geen kruinverhoging is alleen mogelijk als er meer dan 5 l/s/m overslagdebiet wordt toegestaan en de bestaande bekleding wordt vervangen voor een zeer ruwe bekleding. Door de ruwe bekleding ontstaat er meer afstand tussen kruin en haventerrein vanuit oogpunt van recreatieve beleving en landschappelijke inpassing (negatief). De benodigde beheerinspanning aan de grasmat op de dijk neemt toe, terwijl er veel aanvullende werkzaamheden zijn te voorzien aan overgangen en grasmat (versterkt gras toepassen). Daarbij ontstaan bij aanleg en tijdens de levensduur conflicten met de aanwezige kabels en leidingen. Het alternatief is daarom afgevallen in zeef 1.

4- Tuimelkade binnenzijde/landzijde
De tuimelkade zijn negatief vanuit beheer en onderhoud, vooral vanwege de benodigde golfbestendigheid van de gehele kruin. Daarbij zijn de tuimelkades gevoelig voor veranderingen in hydraulische belasting in de toekomst (vanwege toepassen versterkt gras over een groot deel van de huidige kruin) en is de zekerheid over de levensduur daardoor negatief. De tuimelkades hebben daarbij geen uitgesproken voordelen op andere aspecten.
De alternatieven met een tuimelkade aan de binnenzijde zijn afgevallen in zeef 1

5- Constructies op de overgang van dijk naar Haven, zonder kruinverhoging
De alternatieven met een constructie scoren goed op bijna alle beschouwde criteria, het alternatief met een verticale wand binnen profiel (H5.1) is daarbij het meest kansrijk en geselecteerd als kansrijk alternatief. De constructies zijn goed maakbaar, hetzelfde geldt voor de beheerbaarheid (nagenoeg onderhoudsvrij). De constructies besparen grondwerk op de kruin en zijn daardoor positief wat betreft verwachte milieu-impact van de werkzaamheden. De verticale wand binnen profiel heeft daarbij voordelen vanuit landschappelijk inpassing en recreatieve beleving, er is geen verhoging in de kruin zichtbaar. De inpassing van dijkovergangen is daarbij een aandachtspunt.

In Tabel 3-2 de totaalscores zeef 1 voor deeltraject Haven weergegeven.

Tabel 3-2: gebundelde scores alternatieven traject Haven - zeef 1. De in de 1e kolom groen gemarkeerde alternatieven zijn geselecteerd voor beoordeling met zeef 2.

Zeef 1 - traject Haven								
			1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	
	#	Alternatief	TOTAAL Techniek	TOTAAL Duurzaamheid	TOTAAL Kosten	TOTAAL Inpassing	TOTAAL Gebruik en beleving	TOTAAL GEWOGEN
		1-Integrale kruinverhoging	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
	H1.1	Integrale kruinverhoging met taludverflauwing 1:5	3.0	2.7	3.0	2.5	3.5	2.9
	H1.2	Integrale kruinverhoging met verruwing buitentalud 	2.3	2.3	3.0	2.5	3.3	2.7
	H1.3	Integrale kruinverhoging met hoog overslagdebiet	2.3	2.7	2.0	2.5	3.3	2.6
		2-Normale kruinverhoging						
	H2.1	Smalle kruin (3m) met taludverflauwing 1:4 (verhoging 1m) 	3.3	3.0	3.7	3.3	3.5	3.4
		3-Geen kruinverhoging						
	H3.1	Ruw buitentalud (1:5) in combinatie met hoog overslagdebiet 	2.0	3.7	3.0	2.8	3.0	2.9
		4-Tuimelkade						
	H4.1	verruwen huidig talud in combinatie met tuimelkade 	2.0	3.3	2.7	2.8	2.5	2.7
	H4.2	verflauwen huidig talud (1:4) in combinatie met tuimelkade 	3.0	3.0	3.3	2.8	2.8	3.0
		5-Constructief						
	H5.1	Verticale wand binnen profiel 	4.0	3.7	2.7	3.5	3.3	3.4
	H5.2	Keerwand boven maaiveld	4.3	3.3	3.0	3.5	2.3	3.3

3.2.2 Trajecten Landelijke dijk 1 en 2

3.2.2.1 Mogelijke alternatieven landelijke dijk

Ook voor de landelijke dijktrajecten is eveneens gezocht naar logische combinaties van het aanpassen/verruwen van de dijkbekleding en geometrische aanpassingen (bouwstenen categorie A, B en D) om de hoogteopgave en de bekledingsopgave op te lossen. Het ruimtebeslag van de dijkversterking (binnenwaarts of buitenwaarts) is voor de beoordeling van de alternatieven landelijke dijken een onderscheidend kenmerk in de beoordeling i.v.m. de aanwezigheid van Natura 2000 gebied Waddenzee. Daarom is dit gehanteerd als onderscheidend element voor de indeling van alternatieven en de hoofdfamilies. Hier is ook de keuze van bekleding (glad of zeer ruw) en de keuze voor taludhelling relevant voor het ruimtebeslag. In principe komen alle geselecteerde kansrijke bouwstenen terug in één of meerdere combinaties. Een berm op waterstandsniveau is standaard onderdeel van elke oplossing. Onderzocht en beoordeeld zijn vier verschillende ontwerprichtingen.

- 1-Kruinverhoging binnenwaarts
  Bij kruinverhoging binnenwaarts is er geen extra ruimtebeslag in de Waddenzee en kan mogelijk gebruik worden gemaakt van de huidige teenconstructie. Het werken in de getijdezone wordt tot een minimum beperkt.
- 2-Kruinverhoging buitenwaarts
  Bij kruinverhoging buitenwaarts worden werkzaamheden aan het binnentalud voorkomen. Hier ligt in principe geen versterkingsopgave. Omdat de buitenbekleding toch moet worden vervangen worden deze werkzaamheden gecombineerd met een buitenwaartse uitbreiding van de dijk.
- 3-Verruwing buitentalud zonder of met minimale kruinverhoging buitenwaarts
  Bij het vervangen van de buitenbekleding wordt extra ruwe bekleding gekozen. Hierdoor wordt grondophoging aan de buitenzijde en binnenzijde tot een minimum beperkt.
- 4-Verflauwen buitentalud zonder kruinverhoging
  Het vervangen van de buitenbekleding wordt gecombineerd met taludverflauwing. Hierdoor wordt kruinverhoging voorkomen. Het verflauwen van het buitentalud wordt daarbij gecombineerd met een ecologisch dijkontwerp (koppeling met ontwerpspoor ecologie).

3.2.2.2 Beoordeling en selectie alternatieven Landelijke dijk 1 en 2

Er zijn kleine verschillen tussen de landelijke deeltrajecten, daarom zijn de conclusies samenvattend en generiek gerapporteerd. Uiteindelijk wordt er voor de gehele landelijke dijk één Voorkeursalternatief gekozen.

1-Kruinverhoging binnenwaarts
Van de alternatieven kruinverhoging binnenwaarts zijn V1.2/L1.2 en V1.3/L1.3 kansrijk. Deze alternatieven scoren hoog op maakbaarheid; een voordeel is dat werken in de getijdezone tot een minimum wordt beperkt, dit vereenvoudigt de uitvoeringswerkzaamheden en maakt het goed inpasbaar. De varianten zijn waarschijnlijk ook procedureel eenvoudig (geen ruimtebeslag richting Natura 2000 gebied) en scoren dus hierop positief. De twee oplossingsrichtingen hebben als bijkomend voordeel dat een rijroute onderin mogelijk blijft voor fietsers en voor onderhoud/inspectie.

Alternatief V1.1/L1.1 is duurder dan de alternatieven V1.2/L1.2 en V1.3/L1.3 en heeft ten opzichte van deze twee alternatieven geen onderscheidende voordelen. Dit alternatief is daarom afgevallen in zeef 1.

2-Kruinverhoging buitenwaarts
De kruinverhoging buitenwaarts (V2.1, L2.1) is gekozen als kansrijk alternatief. De buitendijkse verlegging ligt enkele meters buiten de huidige teenlijn (vooral Landelijke dijk 2) en kan goed gecombineerd worden met een verbetering van de getijdenatuur buitendijks. Om die reden is deze variant gekozen als kansrijk,

net zoals variant V3.2/L3.2 (verruwing bovenbeloop bij buitenwaartse versterking) en variant V4.1 (hoge teen bij buitenwaartse versterking).

Alternatief L2.2 (ophogen voorland) scoort slecht op haalbaarheid/maakbaarheid, levensduurkosten en benodigde procedures. Daarbij heeft een meer geleidelijke kwelderontwikkeling de voorkeur vanuit ecologie. Dit krijgt een verder vervolg als koppelproject. Als alternatief voor de dijkversterking biedt actief ophogen van voorland echter onvoldoende voordelen en valt dit alternatief af in zeef 1.

3-Verruwing zonder/met minimale kruinverhoging

Bij de alternatieven met verruwing valt verruwing van het benedenbeloop af (alternatief V3.1/L3.1). Er is zware bestorting nodig op het benedenbeloop, daarmee vraagt de uitvoering hiervan veel materieel. De milieu-impact bij aanleg is dan ook het meest negatief. Ook vanuit beheer en onderhoud zijn er nadelen, de bestorting geeft een slechte toegankelijkheid van de vloedlijn (verwijderen drijfvuil) en vraagt periodiek onderhoud. Vanuit landschap, toeristische beleving en verbetering van ecologie wordt een dergelijke bestorting als (sterk) negatief beoordeeld. Het mogelijk kostenverschil met bijvoorbeeld alternatief V3.2/L3.2 (verruwing bovenbeloop) is daarbij beperkt.
Verruwing van het bovenbeloop (V3.2/L3.2) kent in hoofdlijn dezelfde voordelen als alternatief V2.1/L2.1 (kruinverhoging buitenwaarts) en kan ook in het bovenbeloop gecombineerd worden met ecologische meerwaarde (droge, stenige vegetaties stimuleren die nu ontbreken). Om die reden wordt dit alternatief verder uitgewerkt zodat een goede vergelijking van alternatieven mogelijk is richting VKA.

4-Verflauwen buitentalud zonder kruinverhoging

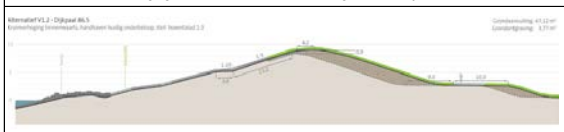
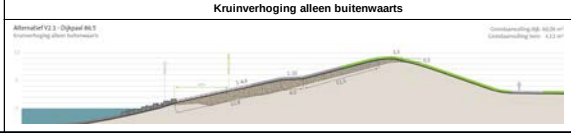
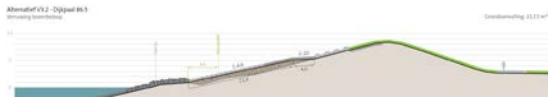
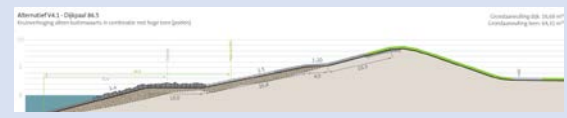
Alternatief V4.1 (hoge teen) kent een aantal nadelen, er is meer materiaal en materieel nodig dan bij bijvoorbeeld alternatief V2.1/L2.1 of V3.2/L3.2. Dit zorgt voor negatieve scores op milieu-impact en kosten. Omdat de hoge teen meer ruimtebeslag geeft in het Natura 2000 gebied is dit alternatief complexer wat betreft de te doorlopen procedures. Op de onderdelen “Inpassing in Omgeving” en “Gebruik en beleving van de dijk” kent dit alternatief echter de meest positieve scores van het traject Landelijke dijk 1. Voor de extra investeringskosten is daarbij mogelijk aanvullende financiering beschikbaar. Het alternatief had de voorkeur vanuit stakeholders en is daarom geselecteerd als kansrijk alternatief (zie ook paragraaf 3.2.5).

Alternatief L4.1 (verflauwen buitentalud naar 1:6) kent weinig specifieke voordelen en vraagt veel ruimtebeslag richting het Natura 2000 gebied Waddenzee, waardoor de complexiteit voor procedures toeneemt. De investeringskosten en levensduurkosten zijn relatief gezien negatief. Dit alternatief valt daarom af in zeef 1.

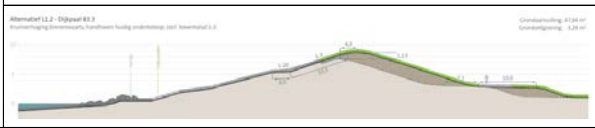
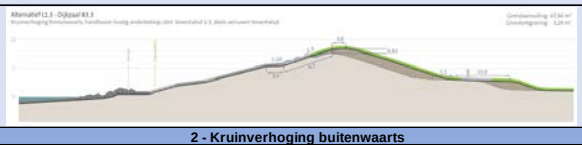
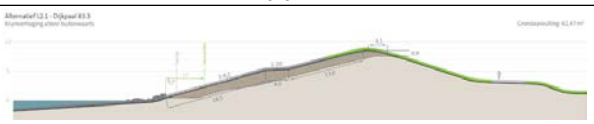
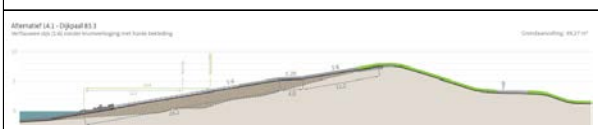
Alternatief L4.2 (brede groene dijk) moet nader onderzocht worden op haalbaarheid en maakbaarheid en scoorde daarom negatief op dit onderdeel in zeef 1 (onzeker = negatief). Omdat dit alternatief wel goed aansluit bij het koppelproject “Verbeteren interactie wad & land” had dit alternatief wel een hoog draagvlak bij stakeholders. Er is mogelijk aanvullende financiering beschikbaar. Om die reden wordt dit alternatief toch als kansrijk gezien voor verdere uitwerking. Het alternatief had de voorkeur vanuit stakeholders en is daarom geselecteerd als kansrijk alternatief (zie ook paragraaf 3.2.5).

In de Tabellen 5-2, 5-3 zijn de totaalscores van de beoordeling met zeef 1 voor de landelijke dijktrajecten weergegeven.

Tabel 3-3: gebundelde scores alternatieven traject Landelijke dijk 1 - zeef 1. *De in de 1e kolom groen gemarkeerde alternatieven zijn verder uitgewerkt voor beoordeling met zeef 2, m.u.v. alternatief V4.1 (zie hiervoor paragraaf 3.2.5).*

		Zeef 1 - traject Landelijke dijk 1-vierhuizergat	1	2	3	4	5	
	e	Alternatieven (altijd incl. hoge buitenberm als meest effectieve bouwsteen)	TOTAAL Techniek	TOTAAL Duurzaamheid	TOTAAL Kosten	TOTAAL Inpassing	TOTAAL Gebruik en beleving	TOTAAL GEWOGEN
		1 - Kruinverhoging binnenwaarts	1	1	1	1	1	
	V1.1	Kruinverhoging binnenwaarts, handhaven huidig bovenbeloop	3,7	2,7	2,7	3,2	3,3	3,1
	V1.2	Kruinverhoging binnenwaarts, handhaven huidig onderbeloop, steil boventalud 1:3 	4,3	3,3	3,7	3,2	3,7	3,6
	V1.3	Kruinverhoging binnenwaarts, handhaven huidig onderbeloop, steil boventalud 1:3, deels verruwen boventalud	3,7	3,0	3,7	3,4	2,7	3,3
		2 - Kruinverhoging buitenwaarts						
	V2.1	Kruinverhoging alleen buitenwaarts 	3,7	3,0	3,0	3,0	3,3	3,2
		3 - Verruwing buitentalud zonder kruinverhoging						
	V3.1	Verruwing benedenbeloop	2,3	2,7	4,3	2,8	1,7	2,8
	V3.2	Verruwing bovenbeloop 	3,3	4,0	3,3	3,2	2,3	3,2
		4 - Verflauwing buitentalud zonder kruinverhoging						
	V4.1	Kruinverhoging alleen buitenwaarts in combinatie met hoge teen (poelen) 	2,7	2,3	1,7	4,0	4,0	2,9

Tabel 3-4: gebundelde scores traject Landelijke dijk 2 - zeef 1. *De in de 1e kolom groen gemarkeerde alternatieven zijn verder uitgewerkt voor beoordeling met zeef 2, m.u.v. alternatief L4.2 (zie hiervoor paragraaf 3.2.5).*

	#	Zeef 1 - traject Landelijke dijk 2 Alternatieven (altijd incl. hoge buitenberm als meest effectieve bouwsteen)	1 TOTAAL Techniek	2 TOTAAL Duurzaamheid	3 TOTAAL Kosten	4 TOTAAL Inpassing	5 TOTAAL Gebruik en beleving	TOTAAL GEWOGEN
		1 - Kruinverhoging binnenwaarts	1	1	1	1	1	
	L1.1	Kruinverhoging binnenwaarts, handhaven huidig bovenbeloop	3.3	3.0	2.7	2.8	3.3	3.0
	L1.2	Kruinverhoging binnenwaarts, handhaven huidig onderbeloop, steil boventalud 1:3 	4.0	3.0	3.0	2.8	3.7	3.3
	L1.3	Kruinverhoging binnenwaarts, handhaven huidig onderbeloop, steil boventalud 1:3, deels verruwen boventalud 	3.3	3.7	3.0	3.0	2.7	3.1
		2 - Kruinverhoging buitenwaarts						
	L2.1	Kruinverhoging alleen buitenwaarts 	3.7	3.3	3.0	2.8	3.3	3.2
	L2.2	Kruinverhoging alleen buitenwaarts in combinatie met actief ophogen voorland en verflauwen benedenbeloop	2.3	3.3	1.7	3.2	4.0	2.9
		3 - Verruwing buitentalud met minimale kruinverhoging						
	L3.1	Verruwing benedenbeloop in combinatie met taludverflauwing 1:5	2.3	2.3	4.0	2.8	1.7	2.6
	L3.2	Verruwing bovenbeloop	3.3	4.0	3.3	3.0	2.3	3.2
		4 - Verflauwing buitentalud zonder kruinverhoging						
	L4.1	Verflauwen dijk (1:6) zonder kruinverhoging met harde bekleding 	3.3	3.3	1.7	2.6	2.3	2.7
	L4.2	Brede groene dijk (zonder harde bekleding, talud circa 1:10)	2.7	2.7	1.3	3.6	4.3	2.9

3.2.3 Tussentijds afgevallen: hoge teen en brede groene dijk

In de uitwerking van de kansrijke alternatieven is er geen onderscheid meer gemaakt in traject Landelijke dijk 1 en traject Landelijke dijk 2. Beoogd is een uitwerking van vier samengestelde kansrijke alternatieven:

A. Uitbreiding binnenwaarts (Opvolging V1.2/L1.2 en V1.3/L1.3) zonder koppelprojecten ecologie.
B. Uitbreiding buitenwaarts (opvolging V2.1/L2.1 en V3.2/L3.2) zonder koppelprojecten ecologie.
C. Uitbreiding buitenwaarts hoge teen (V4.1) gecombineerd met B op deeltraject Landelijke dijk 2.
D. Uitbreiding buitenwaarts met brede groene dijk (L4.2) gecombineerd met A, B of C op deeltraject Landelijke dijk 1.

In het ontwerpspoor ecologie bleek dat een ecologische bestorting voor de dijk het meeste effect sorteert als deze wordt uitgevoerd in de getijdezone. Zo ontstaat maximale meerwaarde voor ecologie.
Daarom is een hoge teenbestorting niet meer wenselijk als alternatief voor het dijkontwerp. Omdat deze oplossing ook meer materieel vraagt, is dit alternatief (V4.1) tussentijds afgevallen en niet verder uitgewerkt richting een kansrijk alternatief. Er is een uitwerking gemaakt van natuurlijke dijkovergangen (grove bestortingsstructuren aan de voet van de dijk) voor de locatie rondom het Vierhuizergat. Dit ontwerp wordt gezien als een koppelproject en heeft meerwaarde voor de Waddennatuur. Dit ontwerp kan in principe gecombineerd worden met elk uitgewerkt alternatief.

Ook voor de brede groene dijk (alternatief L4.2) bleken betere ecologische ontwerpen voor handen. Hier wordt gekozen voor stimuleren van ontwikkeling van pionierkwelders, in combinatie met het verbeteren van de bestaande kwelders. Het vervangen van een deel van de kwelder voor een brede groene dijk is ecologisch veel minder wenselijk gebleken dan aanvankelijk gedacht. Naast het feit dat dit over een relatief beperkte lengte mogelijk is, bleek met name het extra ruimtebeslag in de Waddenzee (ten koste van kwelders als habitattypes Natura 2000) niet gewenst. Dit alternatief is om die reden tussentijds afgevallen en is geen onderdeel meer van de beoordeling van kansrijke alternatieven voor de dijkversterking met zeef 2.

De alternatieven voor de Landelijke dijk die overblijven, namelijk “uitbreiding binnenwaarts” en “uitbreiding buitenwaarts” hadden beide als optie verruwing van het boventalud. Deze optie is uiteindelijk als volwaardig alternatief uitgewerkt voor beide varianten.

4 Uitwerking kansrijke alternatieven

4.1 Definitie kansrijke alternatieven voor zeef 2

Vanuit het zeef 1 proces zijn er in totaal zes varianten gedefinieerd, twee voor het traject Haven en vier voor het traject Landelijke dijk. Deze alternatieven bieden voordelen op veel aspecten.
Voor de Landelijke dijk zijn er tussentijds in de uitwerking twee alternatieven afgevallen; deze zijn niet meer gerapporteerd in voorliggende rapportage. Zie paragraaf 3.2.5.

De uitgewerkte alternatieven voor traject Haven zijn;

- H 1 - Smalle kruinverhoging: Oplossen van het hoogtetekort zoveel mogelijk in grond (binnen beschikbare ruimte tussen huidig haventerrein en huidige provinciale weg), in combinatie met het versterken van de buitendijkse bekleding (uitwerking kansrijk alternatief H2.1)
- H 2 - Inkassing in talud met verticale wand: Oplossen van het hoogtetekort met een verticale wand in profiel in combinatie met het versterken van de buitendijkse bekleding (uitwerking kansrijk alternatief H5.1)

De uitgewerkte alternatieven voor traject Landelijke dijk zijn;

- L 1 - Uitbreiding binnenwaarts met glad boventalud (uitwerking kansrijk alternatief V1.2/L1.2)
- L 2 - Uitbreiding binnenwaarts met verruwing van het boventalud (uitwerking kansrijk alternatief V1.3/L1.3)
- L 3 - Uitbreiding buitenwaarts met glad boventalud (uitwerking kansrijk alternatief V2.1/L2.1)
- L 4 - Uitbreiding buitenwaarts met verruwing van het boventalud (uitwerking kansrijk alternatief V3.2/L3.2)

Opmerking ten aanzien van herleidbaarheid van de vergelijking alternatieven en gevolgd zeef 2 proces
Na oplevering van de variantennota zijn gelijktijdig de hydraulische randvoorwaarden herberekend (mede naar aanleiding van review Deltares, zie bijlage 9) en is de maatvoering aangepast van de meest kansrijke alternatieven voor het VKA, dit zijn de alternatieven H1, H2, L1 en L2.
De aanpassingen hebben geen invloed op de voor- en nadelen van de alternatieven onderling en de zeef 2 beoordeling is daarom aangescherpt voor alle alternatieven (zie hoofdstuk 5). Hiermee blijft de afweging herleidbaar in de notitie VKA.
Voor de kostenvergelijking zijn de alternatieven L3 en L4 niet meer gerapporteerd in de notitie VKA. Deze alternatieven waren in eerdere vergelijkingen al duurder en dit wijzigt niet door de herberekening van hydraulische randvoorwaarden. Zie Hoofdstuk 6.

4.2 Uitwerking kansrijke alternatieven

4.2.1 Generieke uitgangspunten voor de uitwerking

Geometrie en maatvoering op basis van overslagberekeningen
In dit stadium van de verkenningsfase is meer inzicht nodig in de globale maatvoering van de kansrijke alternatieven voor een vergelijking tussen de kansrijke alternatieven in zeef 2. Om dit te bewerkstelligen is voor elk kansrijk alternatief een geometrie gezocht die voldoet aan de eis van het maximaal toelaatbare golfoverslagdebiet. Bij elke geometrie en dijkbekleding van de dijk is het immers mogelijk om de maximale golfoverslag te berekenen die zal optreden tijdens maatgevende condities. In de uitgangspuntennotitie is vastgesteld dat het golfoverslagdebiet na uitvoering van de dijkversterking maximaal 10,0 l/s/m^1 is voor het landelijke dijktraject en 5,0 l/s/m^1 voor het traject Haven, zie ook paragraaf 4.2.2. Dit met uitzondering van de maatwerklocaties. Om een veilige dijk te kunnen realiseren is dit uitgangspunt is voor elk alternatief toegepast, wat heeft geleid tot een eerste inschatting van de benodigde dimensies van de dijkversterkingsmaatregelen. De overslagberekeningen zijn uitgevoerd op basis van de vigerende

leidraden (Overtopping Manual) voor verschillende alternatieven. De overslagberekeningen voor de verschillende alternatieven en de technische achtergrond van deze berekeningen zijn opgenomen in Bijlage 5. De resulterende geometrie en maatvoering van de kansrijke alternatieven en bijbehorende visualisaties worden per alternatief getoond.

Type dijkbekleding
Het type dijkbekleding heeft invloed op de geometrie en maatvoering van de dijkversterking; een ruwere dijkbekleding reduceert immers de hoeveelheid golfoverslag. De huidige dijkbekleding voldoet niet en moet vervangen worden. In deze fase van de verkenning gaat het te diep om een gedetailleerd ontwerp van de dijkbekleding uit te werken, te meer omdat vaak gekozen wordt om met bekledingstypes te variëren over het dijktalud. Om de kosten mee te nemen in het keuzeproces, is voor nu gekozen voor een gangbare standaardcombinatie van een dijkbekleding, bestaande uit breuksteen bij de teen van de dijk, zetsteen op het ondertalud, waterbouwasfalt vanaf NAP+3m tot circa NAP+7m en gras tot aan de kruin van de dijk en op het binnentalud. Bij de alternatieven met verruwing op het boventalud is gekozen voor zetsteen met ribbels (ruwheidsfactor 0,6) tot circa NAP+7m. In de planuitwerkingsfase zal de exacte materiaalkeuze nader geoptimaliseerd en uitgewerkt worden.

Hoogte voor 2075 (ontwerphoogte)
De getoonde tekeningen van de kansrijke alternatieven gaan uit van het benodigde dijkprofiel in 2075. De aanleghoogte kan door zetting en compensatie van bodemdaling hoger liggen dan op de tekening is weergegeven. Het gebied is overigens amper tot niet zettingsgevoelig. De verwachte bodemdaling in 50 jaar is circa 10 cm, deze bodemdaling is opgebouwd uit een autonome component en een component als gevolg van gaswinning.

Uitwerking kansrijke alternatieven in 3D model
De kansrijke alternatieven zijn in een 3D model uitgewerkt op basis van de berekende geometrie en maatvoering. Het ontwerp van de verschillende alternatieven is uitgewerkt en getekend met in achtneming van de huidige hoogteligging en huidige dijkopbouw. Op deze manier is de hoeveelhedenbepaling voor de kostenraming vrij nauwkeurig. Daarnaast levert het 3D model (ook omgezet naar een game-model) fraaie visualisaties op die gebruikt worden in het omgevingsproces.

De rekenkundige onderbouwing van het ontwerp van de kansrijke alternatieven is opgenomen in Bijlage 5. De technische profielen en bijbehorende bovenaanzichten zijn opgenomen in Bijlage 6.

4.2.2 Aanpassing alternatieven op basis van herijking hydraulische randvoorwaarden

Voorafgaand aan de notitie VKA is november 2019 een variantennota opgesteld. Deze variantennota had het specifieke doel om inschrijvende partijen (in het kader van de diensten- en werkenaanbesteding voor de planuitwerkingsfase) inzicht te geven in de stand van zaken van het ontwerpproces en het verwachte uitwerkingsniveau van het VKA. Het waterschap Noorderzijlvest heeft in de verkenningsfase de belangrijkste documenten continu laten reviewen door Deltares en derhalve is ook de variantennota door Deltares gereviewd.

In deze review (opgenomen in Bijlage 9) oordeelt Deltares dat de rapportage een duidelijk beeld geeft van het proces dat heeft geleid tot de gekozen varianten en dat de technische uitwerking in overeenstemming met het OI-2014 is uitgevoerd. Echter is in overleg (18 november 2019) tussen het HWBP, NZV en Deltares besloten om een aantal opmerkelijke rekenresultaten en technische verdiepingen voor de afsluiting van de verkenningsfase nader te bestuderen, waarvan de belangrijkste zijn:

- Het verloop van het berekende hydraulisch belastingsniveau (HBN/benodigde kruinhoogte) langs het landelijke deel van de Lauwersmeerdijk wijkt sterk af van het verloop van de huidige kruinhoogte en komt niet geheel overeen met het ontwerpersgevoel van de fysische situatie.

- De golfsteilheid is over het algemeen erg hoog. Dit geldt zowel voor de golfhoogte in het illustratiepunt van de HBN-berekeningen als de golfbelastingen voor bekledingen. In de review van Deltares en het HWBP (november 2019) is geadviseerd om in het ontwerp uit te gaan van reële ontwerpbelastingen (golfsteilheden).
- De diepe getijdengeulen direct voor de Lauwersmeerdijk hebben significante invloed op de berekende hydraulische belastingen, onduidelijk is of het SWAN-model dit effect juist heeft gesimuleerd.
- Het HWBP ziet graag dat de onderbouwing van het gekozen golfoverslagdebiet ook probabilistisch wordt beschouwd.

HaskoningDHV/HKV hebben bovenstaande aandachtspunten geanalyseerd en hebben voor elk punt een advies opgesteld hoe dit het beste verwerkt kan worden in het project (Bijlage 9). Op 20 januari zijn de analyse en de voortvloeiende adviezen besproken met specialisten vanuit Deltares, NZV, RWS en het HWBP. In dit comité is gezamenlijk tot de volgende conclusies gekomen:

- In de originele hydra-database bevond zich voor dit dijktraject een overgang tussen twee SWAN modellen[1], dit leverde resulteerde in een onjuist HBN-verloop in het oostelijk deel van het dijktraject. Er is een gecorrigeerde hydra database opgesteld, waardoor het HBN nu overeenkomt met het ontwerpersgevoel van de fysische situatie; de lokale hoge HBN-piek vlakt sterk af.
- Er wordt uitgegaan van 100% correlatie tussen de modelonzekerheden op golfhoogte en golfperiode. Daarnaast wordt uitgegaan van een lokale piekperiode die meer passend is bij de Waddenzee. De correctie resulteert in minder steile ontwerpgolven en wordt gezien als fysisch meest realistische situatie. Per saldo neemt de ontwerpbelasting voor hoogte en bekleding door deze aanpassing iets toe (circa 5-20%).
- Het effect van getijdegeulen lijkt goed meegenomen te worden in de SWAN-modellen, er is in ieder geval geen correctie benodigd op de ontwerpbelastingen.
- Voor de havendijk wordt een toelaatbaar golfoverslagdebiet van 5 l/s/m leidend en voor de landelijke dijk wordt een toelaatbaar golfoverslagdebiet van 10 l/s/m leidend. Bij maatwerklocaties kan hiervan worden afgeweken. Zowel bij het haventraject en de landelijke dijk dient het binnentalud (bij de haven over een lengte van 5m) voorzien te worden van een erosiebestendige kleilaag.

De ontwerpen van de kansrijke alternatieven zijn met uitzondering van de buitenwaartse alternatieven (zie toelichting paragraaf 4.1) aangepast aan de nieuw afgeleide hydraulische belastingen.

4.2.3 Inpassingsmaatregelen

In deelfase 3 is met een afwegingskader beoordeeld in hoeverre meekoppelkansen meegenomen kunnen worden in het dijkontwerp en VKA proces. Op basis hiervan is bij het opstellen van de kansrijke alternatieven rekening gehouden met de inpassingsopgaven, voor zover dit past in een sober en doelmatig dijkontwerp (toetsing). Het gaat in hoofdlijn om de volgende inpassingsmaatregelen:

1)
2) Op het hoge taluddeel aan de buitenzijde van de dijk wordt mogelijk een ruwe bekleding aangebracht met open structuren, als alternatief voor een asfaltverharding.
   Toets: Verschil tussen asfalt en ruwe zetsteen beoordelen met zeef 2 en kostenvergelijking in notitie VKA.
3) Op het lage taluddeel is een zetsteen met open structuren voorzien. De open structuren zorgen voor vestigingshabitat voor ecologie (bijvoorbeeld zoutminnende begroeiing) zonder dat dit leidt tot schade aan bekleding.
   Toets: Deze open zetsteen is gelijktijdig nodig om wateroverdrukken op bovenliggende asfaltbekleding te voorkomen en de overgang naar asfalt in het dijktalud is hierop gebaseerd. De keuze voor het type zetsteen zal worden gemaakt in de planuitwerkingsfase.
4) Er wordt een fietspad ingepast in het dijkontwerp van de Landelijke dijk

[1] *Met een SWAN-model wordt de golfbelasting op de dijk afgeleid.*

Toets: Een hoge berm in het dijktalud is kosteneffectief gebleken. Deze berm is nodig vanuit dijkveiligheid, evenals asfaltbekleding. De extra kosten voor een fietsroute over deze berm zijn zeer beperkt, daarnaast is er in de huidige situatie al een fietsroute aanwezig.

5) *Maatregelen vanuit recreatief medegebruik en landschap.* Het dijkontwerp anticipeert op het bestaande recreatief medegebruik en poogt een landschappelijke verbetering te realiseren. Voorbeeld hiervan is inpassing van een voetpad langs de verticale wand in de Haven.
Toets: Door verbetermaatregelen te koppelen aan landschapsherstel en/of behoud en rekening te houden met het verbeteren van de gebruiksmogelijkheden van de dijk wordt het draagvlak voor de dijkversterking vergroot. Bij het samenstellen van alternatieven is parallel een Landschapsplan opgesteld. De uitgangspunten van dit Landschapsplan zijn betrokken bij de zeef 2 beoordeling. Er is gestreefd naar win-win oplossingen. Daar waar landschappelijke wensen leiden tot significant hogere kosten is dit in het Landschapsplan benoemd als meekoppelkans. Dit is niet expliciet onderdeel van het dijkontwerp voor financiering van het HWBP.

4.2.4 Betrokken innovaties en state of art kennis

Bij het samenstellen van de alternatieven zijn uitkomsten van ProjectOverstijgendeVerkenning (POV's) betrokken als state of art kennis. Het gaat hierbij om:

- Diverse uitkomsten POV Waddenzeedijken; zo zijn voor het samenstellen van de alternatieven nadrukkelijk voorlandoplossingen beschouwd.
- Uitkomsten POV Macrostabiliteit; betrokken bij de bepaling van het overslagdebiet.
- Uitkomsten POV Piping; betrokken bij de nadere analyse naar piping risico's.
- POV-voorlanden; omgang met de strekdammen in de Haven in de hydraulische berekeningen.
- POV Kabels en leidingen; wordt momenteel betrokken bij de nog lopende beoordeling kabels en leidingen in de haven.

Daarnaast is er geleerd van andere dijkversterkingen waarvan eerder de verkenning/planuitwerking is doorlopen:

- Voor het ontwerp van de verticale wand gebruikt gemaakt van uitkomsten van de proeven in de golfgoot voor de keermuuroplossing in het kader van project dijkversterking Vlieland.
- Voor het ontwerp van de alternatieven voor de Landelijke dijk is gebruik gemaakt van ontwerpoptimalisaties die zijn doorgevoerd voor de dijkversterking Lauwersmeerdijk (Fryslân). Het gaat hierbij bijvoorbeeld om de inkassing in het buitentalud als ruimtebesparende oplossing.
- Eemshaven-Delfzijl; Proceservaringen (bijv. met stakeholders) zijn betrokken bij het doorlopen van de verkenningsfase voor dit project.

4.3 Beschrijving kansrijke alternatieven

4.3.1 Traject Haven

Gekozen is om het haventraject in deelgebieden te splitsen. De exacte versterkingsopgave en beschikbare ruimte verschilt sterk per dijktraject. Deze deelgebieden zijn weergegeven in Figuur 4-1.
Voor de Haven zijn vanuit zeef 1 generiek twee basis kansrijke alternatieven vastgesteld:

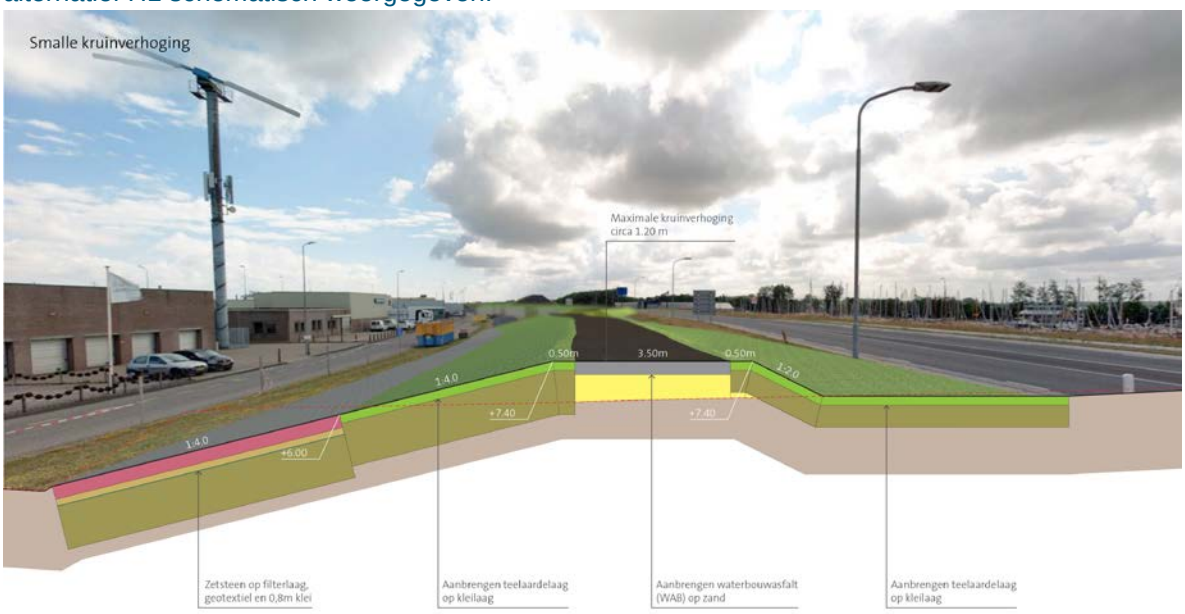
1. Smalle kruinverhoging (H1)
2. Verticale wand in talud (H2)

Deze alternatieven zijn echter niet over het gehele dijktraject toepasbaar maar alleen voor de deelgebieden 3 (parkeergarage), 5 (WEC/ restaurant Schierzicht) en 7 (Vishandel Sterkenburg).
De overige gebieden gelden als maatwerklocatie, de gekozen oplossing is hier afzonderlijk beschreven.

Figuur 4-1: Deelgebieden van traject Haven

Deelgebied 3 (parkeergarage), 5 (WEC/ restaurant Schierzicht) en 7 (Vishandel Sterkenburg):
Voor de deelgebieden 3, 5 en 7 zijn de in zeef 1 gekozen kansrijke alternatieven uitvoerbaar. Opgemerkt wordt dat alternatief H1 niet over de volle lengte mogelijk is bij deeltraject 5. De ruimte is hier beperkt.

H1-Smalle kruinverhoging
Bij dit alternatief wordt een smalle kruin gerealiseerd waarbij de ophoging maximaal circa 1,20 meter is[2]. Een voordeel hiervan is dat de provinciale weg in principe ongemoeid kan blijven. Het buitentalud bestaande uit klei wordt verflauwd met een helling van 1:4. De bekleding bestaat uit zetsteen welke wordt doorgetrokken tot een hoogte van circa NAP +6,0m. Vanaf NAP +6,0 tot de kruin van circa NAP +7,40 wordt een kleilaag van circa 1,0 meter aangebracht. Bij dit alternatief is het mogelijk om een fietspad op de kruin van de nieuwe dijk te realiseren waardoor de fietsers een beter uitzicht hebben aan beide zijden. De breedte van het kruin/fietspad dient minimaal 3m te zijn. Om erosie door golfoverslag tegen te gaan wordt vanaf de binnenkruinlijn een kleilaag van 0,5 meter dik aangebracht tot aan de provinciale weg. Op deelgebied 5 is dit alternatief, door een gebrek aan ruimte, niet overal toepasbaar. In Figuur 4-2 is alternatief H1 schematisch weergegeven.



Figuur 4-2 Alternatief H1-Smalle kruinverhoging

[2] *Alle hoogtes exclusief eventuele zettingscompensatie*

H2- Inkassing in talud met verticale wand

Bij dit alternatief wordt een verticale wand (mogelijk een L-muur) binnen het dijkprofiel geplaatst en ontstaat er een berm die eventueel gebruikt kan worden als fietspad/wandelpad. Vanuit waterveiligheidsbelang dient deze berm minimaal 2,8m breed te zijn. De wand heeft een sterk remmende werking op de golfoploop, waardoor het benodigde grondwerk en het ruimtebeslag van de dijkversterking significant verminderd. De kruinverhoging kan worden gereduceerd tot maximaal circa 0,5 meter. De verticale wand heeft een kerende hoogte van circa 0,80 meter. Evenals in alternatief H1 is gekozen voor dijkbekleding van zetsteen. Om erosie door golfoverslag tegen te gaan wordt vanaf de binnenkruinlijn een kleilaag van 0,5 meter dik aangebracht tot aan het fietspad. In Figuur 4-3 is alternatief H2 schematisch weergegeven.

Figuur 4-3 Alternatief H2- Inkassing in talud met verticale wand

Deeltraject 0: Cleveringsluizen inclusief aansluiting westelijke havendam

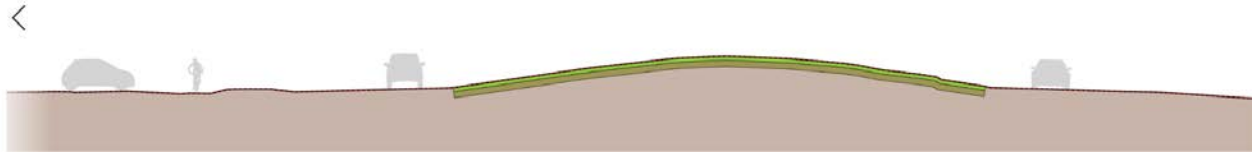
Op dit traject is er geen of beperkte hoogte-opgave. De huidige bekleding (voornamelijk koperslakblokken en basalt) verkeert echter in slechte staat en dient vervangen te worden. Aangenomen is dat de dijkbekleding wordt versterkt met een interlocking-zetsteenbekleding. Op dit moment wordt het aangrenzende dijktraject namelijk in opdracht van het Wetterskip op een dergelijke manier versterkt. Hierdoor ontstaat eenheid van aanzicht en oplossing aan beide zijden van de Cleveringsluizen.

Deeltraject 1: voormalig Restaurant ‘Waddengenot aan Zee’

Het maaiveldniveau van dit deelgebied ligt op circa NAP+6,0m. De maatgevende waterstand ligt iets hoger dan dit maaiveldniveau. Vanwege de beschutte ligging en het hooggelegen voorland (haventerrein) is de golfaanval zeer minimaal. Uit praktisch oogpunt is op dit moment gekozen om een kade met een kleilaag aan te leggen van circa 50cm hoog. Deze kade sluit aan op de westelijke havendam. Door de ophoging van 50cm wordt ruimschoots aan het maximaal toelaatbare golfoverslagdebiet van 5 l/s/m voldaan. Een schematisch versterkingsprofiel is weergegeven in Figuur 4-4.

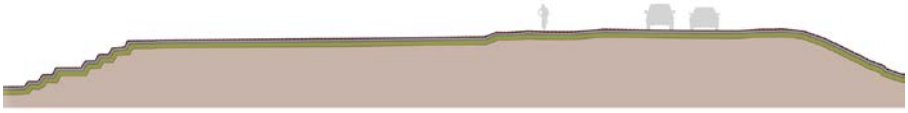
Figuur 4-4: Versterkingsprofiel deelgebied 1; kade 0,5m hoog met klei-ingraving

Deeltraject 2: *Rotonde Scheepspark – Zeedijk en N361*
De rotonde is gelegen op NAP+6,2 m. Door het relatief flauwe talud kan hier een lage kruinhoogte gehanteerd worden. De huidige kruinhoogte voldoet bijna aan het maximaal toelaatbare golfoverslagdebiet van 5 l/s/m voor zichtjaar 2075. Een kruinverhoging op deze locatie is lastig te realiseren, gekozen is om de het profiel overslagbestendig te maken. Op dit moment is in het ontwerp een klei-ingraving (50cm) opgenomen aan de randen van de rotonde. De asfaltweg wordt als voldoende overslagbestendig beschouwd.



Figuur 4-5; Versterkingsprofiel deelgebied 2; klei-ingraving

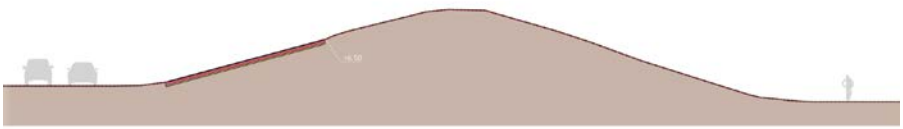
Deeltraject 4: Robbengatsluis
Direct rondom de sluis is geen ruimte om de dijk te verhogen zonder de aansluiting op de sluis/brug ernstig te belemmeren. Het verwachte golfoverslagdebiet voor zichtjaar 2075 is voor deze locatie meer dan 100 l/s/m. Gekozen is om dit deelgebied geheel overslagbestendig te maken. Op de huidige ‘groene’ delen van dijk (binnentalud, kruin en buitentalud) wordt een bekleding van minimaal 0,5 m dikke klei en een lichte zetsteenbekleding van 20 cm op filterlaag en geotextiel voorzien. Een schematisch profiel is weergegeven in Figuur 4-6.



Figuur 4-6: Versterkingsprofiel deelgebied 4; klei-ingraving en aanbrengen zetsteenbekleding

Deeltraject 6: Rotonde Oprit Restaurant Schierzicht
De aanwezige kruinhoogte is circa NAP+6,6m. De benodigde kruinhoogte is ongeveer gelijk aan deze hoogte. Op dit moment wordt hier enkel uitgegaan van een klei-ingraving rondom de rotonde, gelijk aan deelgebied 2. De kleilaag wordt afgewerkt met teelgrond en ingezaaid met gras.

Deeltraject 8: Oostelijk havengebied
De veiligheidsbeoordeling heeft aangetoond dat hier geen hoogteopgave is. De huidige asfaltbekleding dient wel vervangen te worden. Gekozen is voor een zetsteenbekleding van 20 cm op filterlaag en geotextiel. Een schematisch profiel is weergegeven in Figuur 4-7.

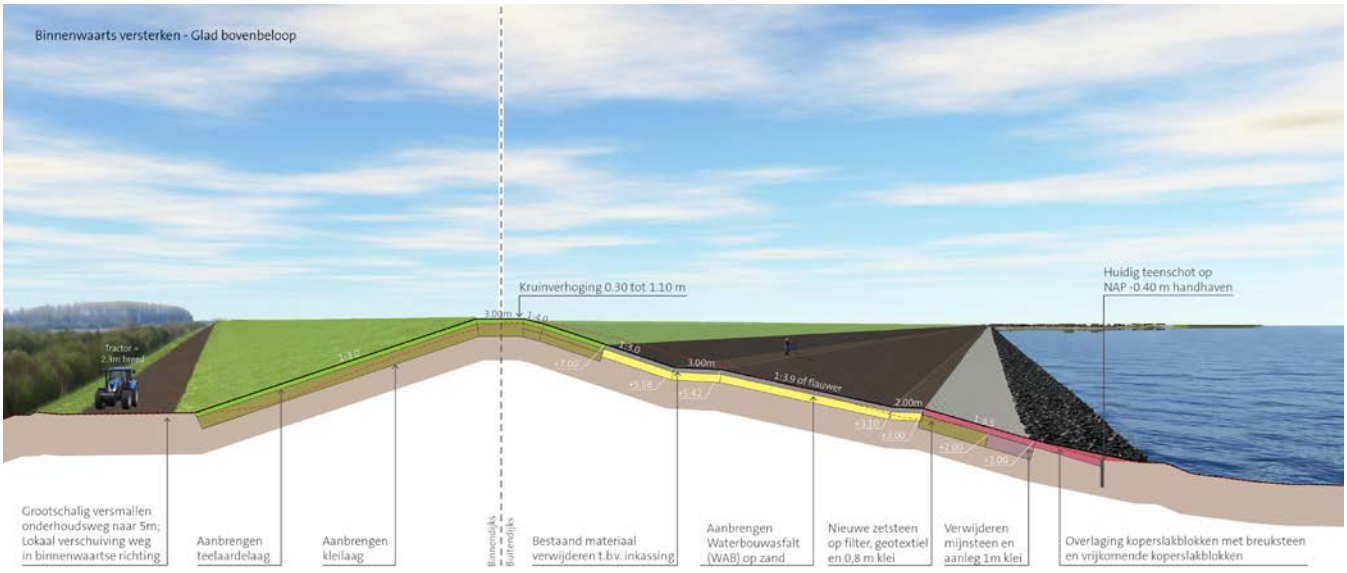


Figuur 4-7: Versterkingsprofiel deelgebied 8; vervangen asfalt voor zetsteen

4.3.2 Traject Landelijke dijk

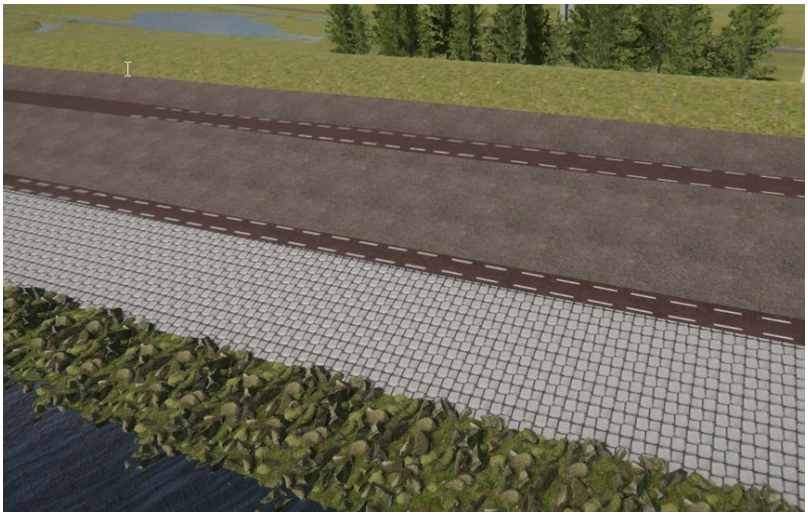
L1- Uitbreiding binnenwaarts met glad boventalud

Bij dit alternatief wordt de dijk in binnenwaartse richting verhoogd en uitgebreid, waarbij het huidige teenschot behouden kan blijven. Om de hoogte-opgave op te lossen is verschuiving van het gehele dijkprofiel (inclusief kruin) naar de binnenzijde noodzakelijk.
De bekleding op het buitentalud kan worden versterkt door de huidige koperslakblokken onder NAP+1m te overlagen met breuksteen. Vanaf NAP+1m wordt tot NAP+3m een nieuwe zetsteenbekleding aangebracht, waarbij de huidige taludhelling van 1:3,5 gehandhaafd kan blijven. Waarschijnlijk kan hierdoor de huidige onderlaag van mijnsteen mogelijk behouden blijven, dit dient in de planuitwerkingsfase nader te worden onderzocht. Op NAP+3m start een berm van 2 meter breed opgebouwd uit waterbouwasfaltbekleding (WAB) direct op zand. Deze berm is een pluspunt voor het beheren van de dijk, zo wordt de teen van de dijk makkelijker bereikbaar. De WAB loopt tot circa NAP+7m door, waarbij op NAP+5,5m een stormberm (waterstandsniveau maatgevende omstandigheden) van circa 3m wordt aangelegd. Het talud van de WAB-bekleding is variabel maar circa 1:4. Om ruimte te beperken is gekozen om de stormberm in te kassen en het boventalud steiler op te zetten (1:3).
De kruinverhoging is voor het oostelijke traject hoger dan in het westen. De kruinverhoging is in het westen is maximaal 0,7m, waardoor het hier waarschijnlijk mogelijk is om de huidige binnendijkse weg te handhaven. Voor het oostelijke traject moet de kruin sterker worden verhoogd (tot circa 1,1m[3]). De dijk schuift hier dusdanig in binnenwaartse richting dat de binnendijkse weg verschoven en versmald (van 7m naar 5m) dient te worden en dat lokaal aanvullingen van de binnenberm benodigd zijn.
Alternatief L1 is schematisch weergegeven in Figuur 4-8 en Figuur 4-9.



Figuur 4-8: Versterkingsprofiel Landelijke dijk – alternatief Binnenwaarts glad L1

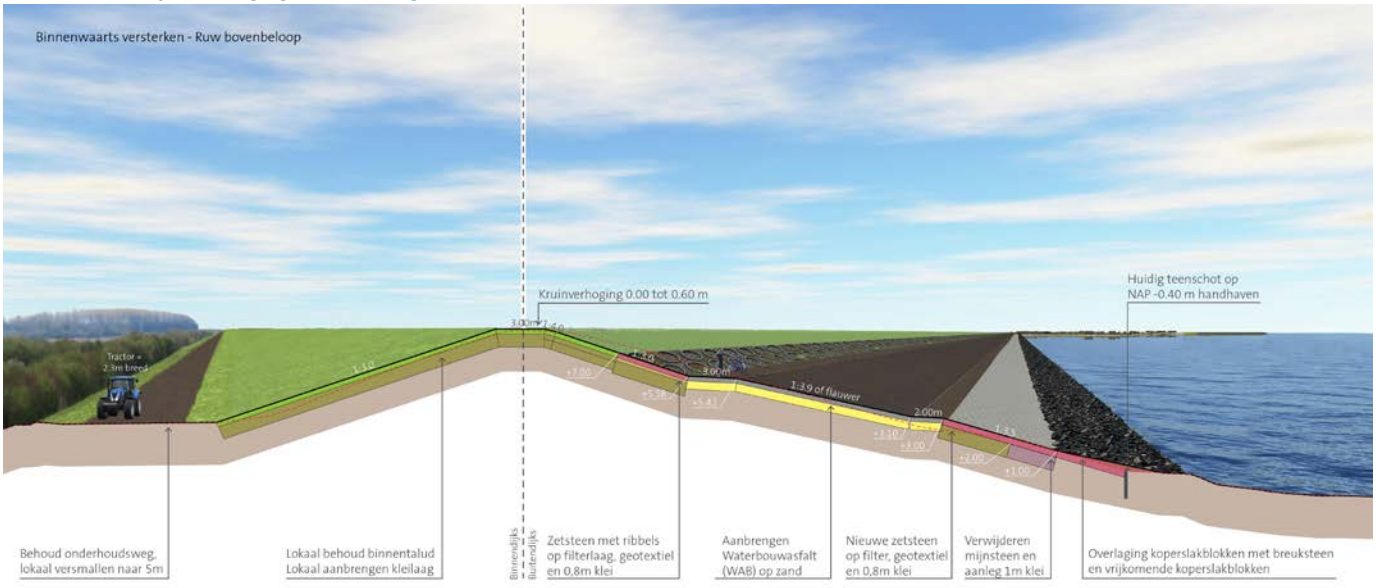
[3] *Alle hoogtes exclusief eventuele toeslag voor zettingscompensatie*



Figuur 4-9: Visualisatie buitentalud alternatief L1

L2- Uitbreiding binnenwaarts met verruwing van het boventalud

In dit alternatief wordt de dijk in binnenwaartse richting versterkt. De versterking van de bekleding op het buitentalud is bij dit alternatief nagenoeg gelijk aan alternatief L1. In tegenstelling tot alternatief L1 wordt er geen glad maar een ruw boventalud toegepast (vanaf stormberm tot NAP+7m). Door deze verruwing hoeft de kruin minder verhoogd te worden en is er dus minder grondverzet nodig. Voor deze verruwing kan zetsteen met ribbels worden toegepast. De kruinverhoging in dit ontwerp is maximaal 0,60 meter[4], over een lengte van circa 4km is zelfs helemaal geen kruinverhoging noodzakelijk. Het huidige binnentalud met klei- en grasbekleding kan op dit traject behouden blijven als de kleilaag voldoende erosiebestendig blijkt, indien dit niet het geval is wordt het binnentalud aangevuld met een erosiebestendige kleilaag. Over een lengte van circa 3km verschuift het binnentalud wel landinwaarts, waarbij over een traject van circa 1,5km de huidige binnendijkse weg wordt verplaats in binnenwaartse richting en wordt versmald van circa 7m naar circa 5m.
Alternatief L2 is schematisch weergegeven in Figuur 4-10. Mogelijke verruwingsopties voor het boventalud zijn weergegeven in Figuur 4-11.



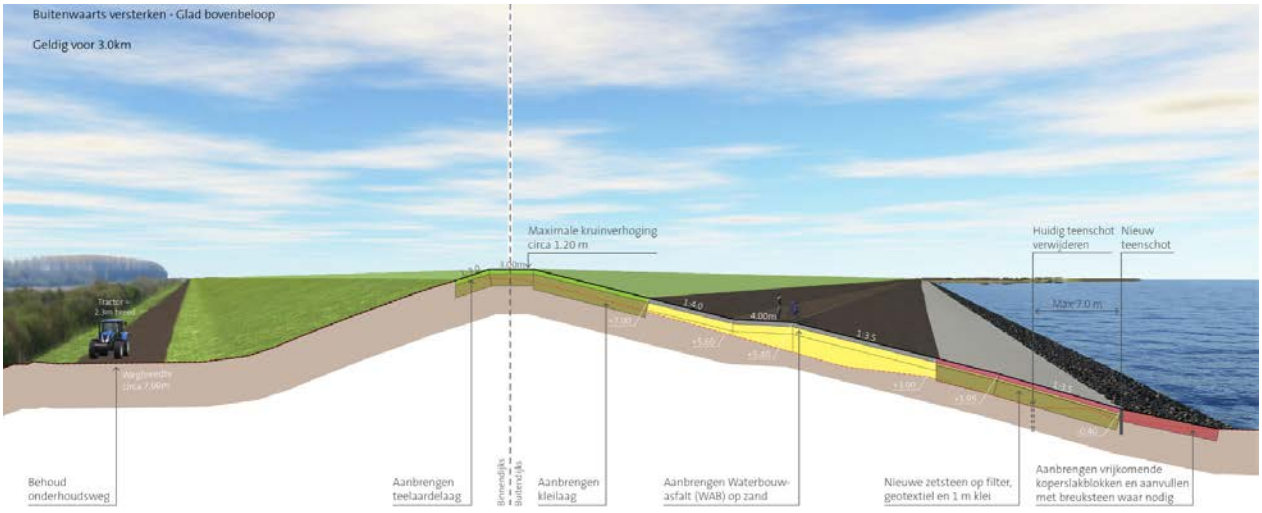
Figuur 4-10: Versterkingsprofiel Landelijke dijk – alternatief Binnenwaarts ruw L2

[4] *Alle hoogtes exclusief eventuele toeslag voor zettingscompensatie*

Figuur 4-11: Visualisatie mogelijkheden verruwing boventalud (links; quattroblocks/ LafargeHolcim en rechts: ringen/ Corneel)

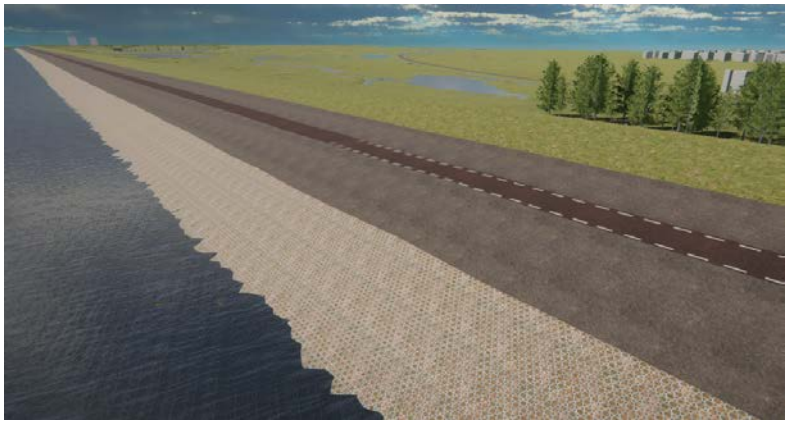
L3-Uitbreiding buitenwaarts met glad boventalud
(NB: maatvoering niet berekend met nieuwe hydraulische randvoorwaarden, maar het ruimtebeslag zal licht toenemen richting Waddenzee bij herberekening)

Bij dit alternatief vinden er geen werkzaamheden aan het binnentalud plaats, maar zullen de werkzaamheden enkel plaatsvinden aan de buitendijkse zijde van de dijk. Voor het buitentalud is een gladde bekleding toegepast in de vorm van waterbouwasfalt (van NAP+3m tot NAP+7m). Het buitentalud heeft een heling 1:4/ 1:3,5. Op een hoogte van gemiddeld NAP+5,5m wordt een nieuwe buitenberm gerealiseerd van 4 meter breed. De buitenberm/rijweg onderaan het talud verdwijnt in dit ontwerp. Net als in de overige alternatieven wordt op het ondertalud nieuw zetsteen aangebracht vanaf NAP+3m.
Door de verschuiving in buitenwaartse richting is het niet mogelijk om het huidige teenschot te handhaven. De kruinverhoging van dit alternatief is maximaal 1,3 tot 1,6 meter[5], dit resulteert in een verplaatsing van maximaal 7-9m richting de Waddenzee. De verplaatsing richting Waddenzee is voor een groot deel van het traject minder, over circa 4km, is de verplaatsing maximaal 3-5m.
Alternatief L3 is schematisch weergegeven in Figuur 4-12 en Figuur 4-13.



Figuur 4-12: Alternatief L3 - Uitbreiding buitenwaarts met glad boventalud – maximale teenverplaatsing

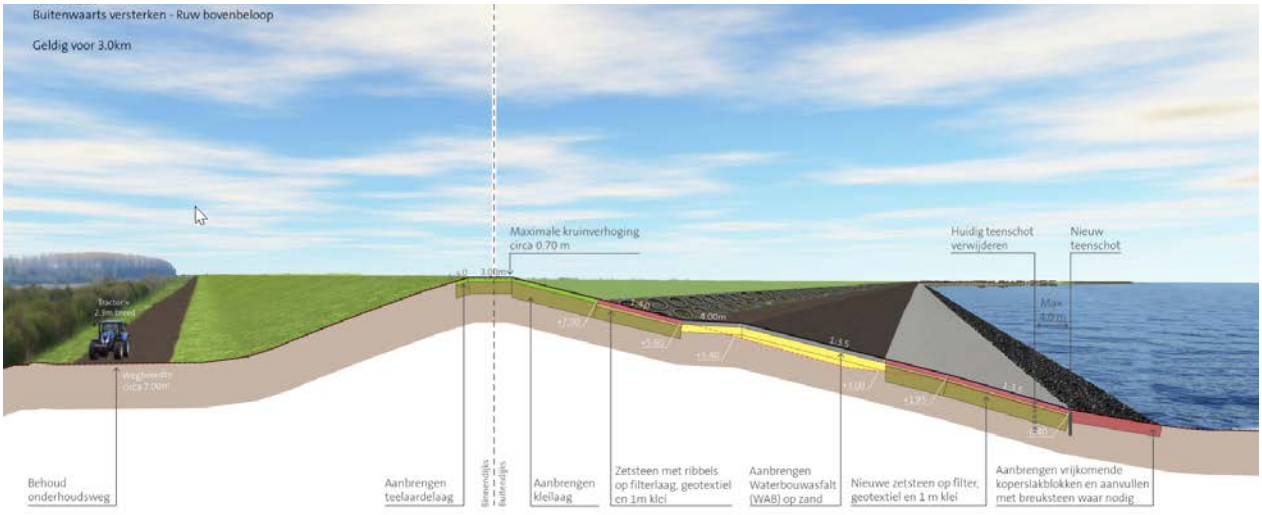
[5] *Schatting bepaald op "oude" hydraulische belastingen met toeslag van 30cm corresponderend met het effect van de "nieuwe" hydraulische belasting.*



Figuur 4-13: Visualisatie alternatief L3

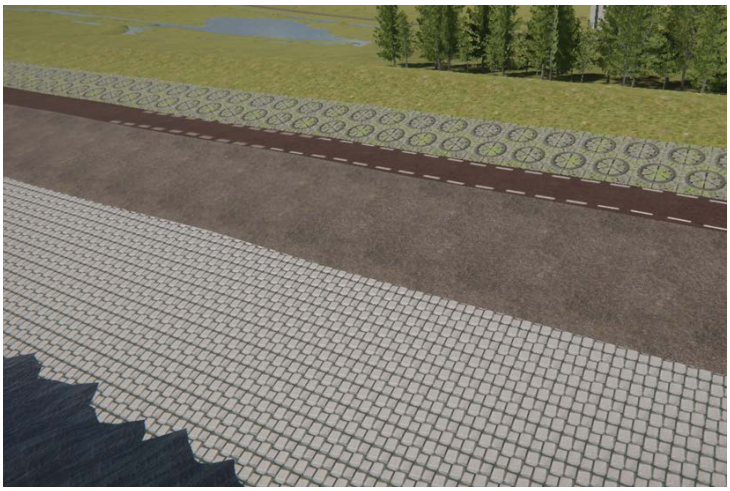
L4- Uitbreiding buitenwaarts met verruwing van het boventalud
(NB: maatvoering niet berekend met nieuwe hydraulische randvoorwaarden, maar het ruimtebeslag zal licht toenemen richting Waddenzee bij herberekening)

In dit alternatief wordt de dijk in buitenwaartse richting versterkt. De versterking van de bekleding op het buitentalud is bij dit alternatief nagenoeg gelijk aan alternatief L3. In tegenstelling tot alternatief L3 wordt er geen glad maar een ruw boventalud toegepast (vanaf stormberm tot NAP+7m). Door deze verruwing hoeft de kruin minder verhoogd te worden en is er dus minder grondverzet nodig. Voor deze verruwing kan zetsteen met ribbels worden toegepast. De kruinverhoging in dit ontwerp is maximaal 0,8-1,0 meter[6], over een lengte van circa 3km is zelfs helemaal geen kruinverhoging noodzakelijk. Door de verschuiving in buitenwaartse richting lijkt het niet mogelijk om het huidige teenschot te handhaven. De verplaatsing richting Waddenzee is beperkt tot maximaal 4m.
Alternatief L4 is schematisch weergegeven Figuur 4-14 en Figuur 4-15.



Figuur 4-14: Alternatief L4- Uitbreiding buitenwaarts met verruwing van het boventalud – met kruinverhoging

[6] *Schatting bepaald op "oude" hydraulische belastingen met toeslag van 20cm corresponderend met het effect van de "nieuwe" hydraulische belasting.*



Figuur 4-15: Visualisatie buitentalud alternatief L4 (ruwheid boventalud conform ontwerp Corneel)

5 Van kansrijke alternatieven naar voorkeursalternatief (zeef 2)

5.1 Wijze van beoordelen

In de verkenningsfase wordt van grof naar fijn gewerkt. Er is een beoordelingskader vastgesteld, waarbij in een drietal zeefprocessen (zeef 0, zeef 1 en zeef 2) onderbouwde keuzes kunnen worden gemaakt om een steeds hoger detailniveau te halen. In de zeven wordt onderscheid gemaakt tussen vijf hoofdthema's: '1. Techniek en toekomstbestendig', '2. Duurzaamheid, '3. Kosten en planning', '4. Inpassing in de omgeving' en '5. Gebruik en beleving van de dijk'. Elk hoofdthema is onderverdeeld in meerdere sub-criteria. In de notitie Afwegingskader wordt de keuze voor deze hoofdthema's en de sub-criteria onderbouwd, zie Bijlage 1.

In zeef 0 (van mogelijke bouwstenen naar kansrijke bouwstenen), in zeef 1 (van mogelijke alternatieven naar kansrijke alternatieven) en in zeef 2 (van kansrijke alternatieven naar VKA) wordt gebruik gemaakt van een vijfpuntschaal (scores van ++ tot - -), zodat er bij de afweging een voldoende duidelijk onderscheid ontstaat tussen de alternatieven.

De sub-criteria worden in zeef 1 gescoord. Een score van ++ wordt gegeven aan het beste alternatief en een - - aan het slechtste alternatief. **Belangrijk is dat de alternatieven relatief ten opzichte van elkaar zijn gescoord en niet ten opzichte van de huidige situatie.** Dit in tegenstelling tot het MER, waar het voorkeursontwerp wordt beoordeeld ten opzichte van de huidige situatie. Bij weinig onderscheid tussen de beoordeling wordt niet de volledige bandbreedte van ++ tot -- gebruikt. Bovenstaande betekent dus dat een bouwsteen een positieve score kan krijgen (+ of ++) terwijl de situatie niet persé verbetert op dat criterium, maar wel (veel) minder verslechtert dan bij andere bouwstenen. De sub-criteria zijn dus met nadruk niet gescoord als effectbepaling ten opzichte van de huidige situatie. Om scores te kunnen middelen worden deze ook uitgedrukt in een getal, zie onderstaande tabel.

Score:		Beschrijving
1	- -	Sterk negatief onderscheidend
2	-	Licht negatief onderscheidend
3	0	Neutraal
4	+	Licht positief onderscheidend
5	+ +	Sterk positief onderscheidend

5.1.1 Aanscherpingen van zeef 1 naar zeef 2

Het is vaak verwarrend is voor alle betrokkenen om met verschillende afwegingskaders te werken. Daarom wordt zoveel mogelijk uniformiteit betracht tussen de criteria zeef 1 en zeef 2. Het verschil tussen de verschillende deelfases binnen de Verkenningsfase is dat er gaandeweg steeds meer gedetailleerde informatie over de kansrijke alternatieven (en mogelijke varianten binnen deze alternatieven) beschikbaar is.

Bij het beschikbaar komen van meer informatie blijkt ook het belang van de criteria. In zeef 1 bleek een aantal criteria niet of nauwelijks onderscheidend voor alle alternatieven. In overleg met het waterschap is besloten deze beoordelingscriteria niet meer toe te passen in zeef 2. In onderstaande een opsomming van de vervallen criteria:

- Criterium 4.3 – Morfologie wad. Geen van de alternatieven heeft effect op de morfologie in de Waddenzee.
- Criterium 4.4- Hinder tijdens aanleg. De alternatieven hebben met een goed verkeersplan beperkte hinder op het verkeer en omgeving. Bovendien is er geen sprake van woningen

langs de dijk. De toegang tot de Haven of Lauwersoog kan bij elk alternatief worden gewaarborgd.
- Criterium 5.3 -Woon- en werkfunctie. Voor beide trajecten is er geen onderscheidend effect op de woon- en werkfunctie gebleken in zeef 1 tussen de alternatieven.
- Criterium 5.4 -Verkeer en vervoer. Deze vervalt voor traject Landelijke dijk. Voor zover er verschil is in de mate waarin aanpassingen aan de lokale toegangsweg nodig zijn wordt dit meegenomen in de kosten. Een tijdelijke wegafsluiting is voor traject Landelijke dijk in de huidige situatie al zeer regelmatig het geval (vanwege aangrenzend Defensieterrein).

Criteria 3.1-Investeringskosten en 3.2-Levensduurkosten maken geen onderdeel uit van de zeef 2 beoordeling maar zijn afzonderlijk gerapporteerd en betrokken bij de afweging naar het VKA.

5.1.2 Meenemen beoordeling stakeholders

Voor de notitie VKA is ook de mening van de stakeholders op de bijeenkomst van 12 november 2019 (zie Bijlage 10) betrokken bij de beoordeling met zeef 2. Daarnaast is er een dijkavond gehouden voor belangstellenden op 16 december 2019. De stakeholders hebben geen score gegeven per criterium, maar zijn hier wel op bevraagd. Generiek hebben de meeste stakeholders aangegeven voor het traject Haven de voorkeur te geven aan de oplossing met verticale wand. Dit omdat de verticale wand de meeste mogelijkheden biedt voor recreatief medegebruik (extra voetpad). De oplossing verticale wand kan de haven Lauwersoog als toeristische trekpleister kan versterken. Voor de Landelijke dijk hebben stakeholders de voorkeur gegeven voor een ruwe bekleding met begroeiing, als alternatief voor een asfaltbekleding. De (bloemrijke) begroeiing wordt wel gezien als een belangrijk onderdeel van deze oplossing. De mening van de stakeholders is betrokken in de zeefbeoordeling bij de criteria 4.6 (mogelijkheid voor combinatie met meekoppelkansen), 5.1 (Landschap en cultuurhistorie), 5.2 (Recreatief medegebruik) en 5.4 (Verkeer en vervoer).

5.1.3 Visie op inpassing dijkontwerp

Voor de dijkversterking is er een landschapsplan opgesteld (RHDHV, 2019b). Het landschapsplan is niet leidend geweest in het ontwerpproces, maar wel medebepalend en dus van invloed op de beoordeling met zeef 2. Het landschapsplan benoemt de volgende gebiedsopgaven:
- Het huidige beeld van de Haven is rommelig. Door de dijk meer als ordenend element uniform vorm te geven ontstaan er kansen het landschappelijk beeld van de Haven te verbeteren.
- Door het dijkontwerp te combineren met ecologische maatregelen neemt de aantrekkelijkheid van de landelijke dijk als recreatieve route toe en wordt de verbinding met het Natura 2000 gebied Waddenzee versterkt.

5.2 Beoordeling alternatieven voor Traject Haven (zeef 2)

5.2.1 Beoordeling thema Techniek en toekomstbestendig

Alle gepresenteerde alternatieven zijn technisch uitvoerbaar en zijn zo ontworpen dat ze voldoen aan de eisen die worden gesteld aan de waterveiligheid. De alternatieven verschillen echter wel op een aantal vlakken binnen dit thema. In deze paragraaf worden de alternatieven beoordeeld op een drietal sub-criteria binnen dit hoofdthema:
- 1.1 Haalbaar en maakbaar
- 1.3 Uitbreidbaarheid
- 1.4 Beheerbaarheid

Criterium 1.2 (effectiviteit) is in zeef 1 en 2 niet meer onderscheidend, omdat de geselecteerde alternatieven allemaal effectief het veiligheidsprobleem oplossen, dit criterium wordt niet meer beoordeeld in zeef 1 en zeef 2.

In onderstaande tabel zijn de die relevante criteria onder elkaar gezet. In de meest rechterkolom wordt een korte toelichting gegeven hoe voor het betreffende criterium de alternatieven tegen elkaar zijn afgewogen in zeef 2.

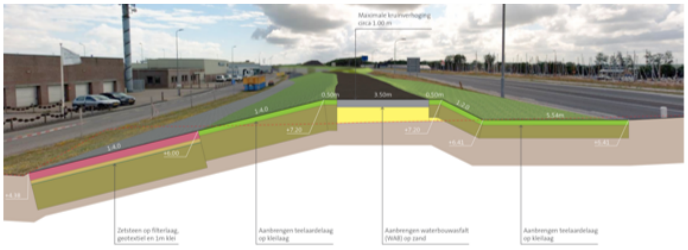
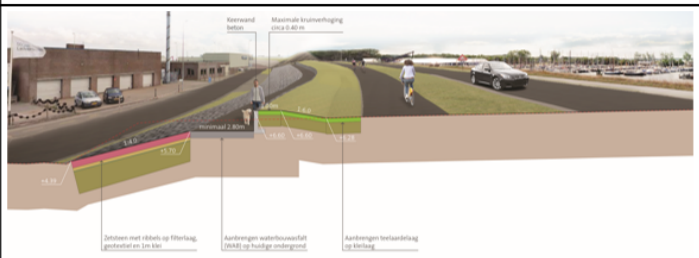
Tabel 5-1: Afwegingskader zeef 2 thema Techniek en toekomstbestendig, traject Haven

Thema	Criterium	Toelichting criterium
1. Techniek en toekomstbestendig		
	1.1 Haalbaar en maakbaar	Zijn gebruikte technieken bewezen of innovatief? Hoe complex zijn de technieken?
	1.3 Uitbreidbaarheid	Mate waarin toekomstige versterking mogelijk is in hoogte breedte en sterkte.
	1.4 Beheerbaarheid	Gevolgen van de bouwsteen op het regulier beheer en onderhoud en tijdens calamiteiten, alsmede de mogelijkheid voor verbeteren van de beheersituatie.

(1) De complexiteit is vooral beoordeeld op de technische uitvoerbaarheid tijdens de uitvoering, en in mindere mate op de complexiteit in het ontwerpproces.

De scoretabel voor hoofdthema Techniek en toekomstbestendig voor deeltraject haven is weergegeven in Tabel 5-2.

Tabel 5-2: Scoretabel Zeef 2 – deeltraject Haven – Thema Techniek en Toekomstbestendig

		1.1 Haalbaar en maakbaar	1.2 Uitbreid-baarheid	1.3 Beheer-baarheid
Alternatief	Voorbeeldprofiel	Score	Score	Score
H1 Smalle kruin met taludverflauwing 1:4		3	4	3
H2 Inkassing in talud met verticale wand		5	4	5

Toelichting criterium 1.1 Haalbaar en maakbaar

Voor het criterium “haalbaar en maakbaar” is op basis van een deskundigenoordeel een inschatting gemaakt van de complexiteit van de verschillende dijkontwerpen. De complexiteit is vooral beoordeeld op

de technische uitvoerbaarheid tijdens de uitvoering, en in mindere mate op de complexiteit in het ontwerpproces.

Beide oplossingen zijn bij goede inpassing maakbaar en haalbaar. De verticale wand (score ++) is beter maakbaar als de grondoplossing (score 3). De grondoplossing past niet overal en dient bij deeltraject 5 onderbroken worden door een constructieve oplossing. Daarbij vraagt de verticale wand minder ruimtebeslag en is er minder grondwerk op de kruin, er zijn daardoor waarschijnlijk minder conflicten met de huidige infrastructuur (verkeerborden, wegverlichting, kabels en leidingen).

Toelichting criterium 1.3 Uitbreidbaarheid
Voor het criterium “uitbreidbaarheid” is een inschatting gemaakt van de mogelijkheden om de dijk in de toekomst uit te breiden.

Het ontwerp van de verticale wand dient eenvoudig uitbreidbaar te zijn naar een levensduur van 100 jaar en wordt daarop ontworpen. De oplossing is daarmee goed uitbreidbaar in hoogte (score +). Dit kan door de verticale wand op te hogen of de kruin extra op te hogen. Voor de grondoplossing geldt eigenlijk hetzelfde; door in het ontwerp en de inpassing enig ruimte te reserveren voor extra hoogte is de uitbreidbaarheid goed (score +).

Toelichting criterium 1.4 Beheerbaarheid
Een dijk dient te worden onderhouden. Voor het criterium *“beheerbaarheid”* zijn de alternatieven beoordeeld op de voorziene beheer- en onderhoudsinspanning. In de afweging tussen de alternatieven is rekening gehouden met de omvang en de complexiteit van het beheer en onderhoud.

Belangrijk verschil tussen beide alternatieven is dat de verticale wand binnen profiel geen maaiwerk vraagt aan de buitenzijde van de dijk. Het maaibeheer kan volledig vanaf de kruin worden uitgevoerd. Door de verticale wand onderhoudsarm/onderhoudsvrij te ontwerpen over de levensduur zal in de praktijk alleen inspectie nodig zijn vanuit de zorgplicht waterkering. Daarom is de verticale wand positief gewaardeerd (++) en de grondoplossing neutraal.

5.2.2 Beoordeling thema Duurzaamheid

Voor het thema Duurzaamheid zijn drie criteria beoordeeld, namelijk;

- 2.1 Levensduur
- 2.2 Milieueffect aanleg
- 2.4 Milieu-impact levensduur 50 jaar

In onderstaande tabel zijn deze drie criteria onder elkaar gezet. Het in zeef 0 gehanteerde criterium “Hergebruik materialen” wordt zowel in criteria 2.2. als 2.4 beoordeeld. In de rechterkolom wordt een korte toelichting gegeven hoe voor het betreffende criterium de alternatieven tegen elkaar zijn afgewogen in zeef 2.

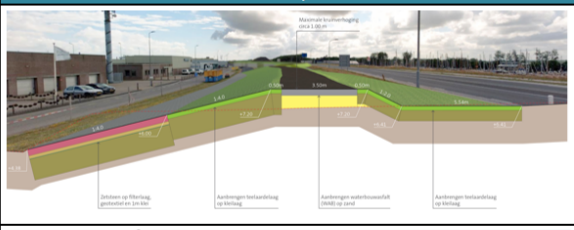
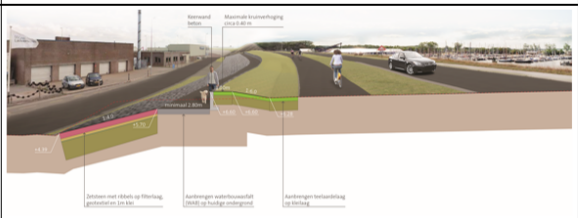
Tabel 5-3: Afwegingskader zeef 2 voor thema Duurzaamheid, traject Haven

Thema	Criterium	Toelichting criterium
2. duurzaamheid		
	2.1 Levensduur	De gevoeligheid op (onvoorziene) veranderingen in maatgevende hydraulische belastingen. Dit in relatie tot de levensduur van materialen en ontwerp, waardoor versterking binnen 50 jaar (planperiode) benodigd is.
	2.2 Milieu-impact aanleg	Milieu-impact van de winning, transport en verwerking van de grondstoffen benodigd voor de realisatiefase

Thema	Criterium	Toelichting criterium
	2.4 Milieu-impact levensduur 50 jaar	Milieu-impact van de dijk voor de levensduur van 50 jaar (inclusief beheer- en onderhoudswerkzaamheden)

De scoretabel voor hoofdthema Duurzaamheid voor deeltraject haven is weergegeven in Tabel 5-4.

Tabel 5-4: Scoretabel Zeef 2 – deeltraject Haven – Thema Duurzaamheid

		2.1 Levens-duur	2.2 Milieu-impact aanleg		2.4 Milieu-impact levensduur 50 jaar	
Alternatief	Voorbeeldprofiel	Score	MKI	Score	MKI	Score
H1 Smalle kruin met taludverflauwing 1:4		4	€ 105.638,10	3	€ 113.699,82	3
H2 Inkassing in talud met verticale wand		3	€ 108.064,17	3	€ 111.842,43	3

Toelichting criterium 2.1 Levensduur

Voor de beoordeling op dit criterium is per alternatief de kans ingeschat dat een nieuwe dijkversterking binnen 50 jaar toch weer nodig is, door (onvoorziene) veranderingen in maatgevende hydraulische belastingen en de levensduur van materialen.

De versterking in grond heeft een langere levensduur (houdbaarheid) bij veranderingen van hydraulische randvoorwaarden (score +) ten opzichte van de verticale wand in profiel (score neutraal). De verticale wand in profiel wordt geoptimaliseerd op de geldende golfrandvoorwaarden van dat moment en de effectiviteit wordt in hoge mate bepaald door de positie ten opzichte van de maatgevende golfbelasting. Bij wijzigingen van de maatgevende golfbelasting is het risico dat de wand niet meer voldoet groter. Wel geldt daarbij de aanbeveling om te ontwerpen op een logische spreiding in maatgevende belasting. Ook kan alsnog een in een extra ophoging met grond worden voorzien. Dit kan dit probleem grotendeels ondervangen (maar niet geheel).

Toelichting criterium 2.2 Milieueffect aanleg

Een dijkversterking heeft impact op het milieu. Binnen het criterium *milieueffect aanleg* zijn de alternatieven beoordeeld op deze impact, hiertoe zijn met het programma DuboCalc berekeningen opgesteld. DuboCalc is ontwikkeld om milieu-impact kwantitatief te maken om zo verschillende alternatieven met elkaar te vergelijken. In DuboCalc wordt een milieukosten indicator (MKI) berekend. Een MKI-waarde is een vermenigvuldiging van milieueffecten maal een schaduwprijs in (fictieve) euro's. De schaduwprijzen zijn vastgesteld door Rijkswaterstaat. In het algemeen geldt; hoe lager een MKI-waarde, hoe beter dit is voor het milieu.

De berekening van de MKI-waarde zijn gegeven de gekozen uitgangspunten (zie Bijlage 4) niet onderscheidend gebleken voor de aanleg (beide scoren daarom neutraal). Het gebruik van beton voor de verticale wand is negatief, maar de hoeveelheid aan te voeren en aan te brengen klei is minder. Beide oplossingen hebben dus voor- en nadelen.
Vertaald naar lokale uitstoot van CO_2/stikstof/etc. zal er mogelijk een licht voordeel zijn voor de verticale wand in profiel. Bij de MKI-berekening wordt echter gekeken naar de totale milieu-impact van de eindoplossing.

Toelichting criterium 2.3 Milieu-impact levensduur 50 jaar
Voor dit criterium is de milieu-impact van de dijkversterking bepaald voor een periode van 50 jaar. Naast de impact tijdens de realisatie zijn ook effecten van beheer- en onderhoudswerkzaamheden bepaald. Voor de onderhouds- en vervangingsfrequentie zijn aannames gedaan, die overeenkomen met de opgestelde levensduurramingen (criterium 3.2).

De berekening van de MKI-waarde zijn gegeven de gekozen uitgangspunten (zie Bijlage 4) niet onderscheidend gebleken voor de levensduur (beide scoren daarom neutraal).

5.2.3 Beoordeling thema Planning

Voor het thema Planning zijn twee criteria opgesteld voor zeef 2, namelijk;

- 3.3 Proceduretijd i.r.t. vergunbaarheid
- 3.4 Realisatie planning

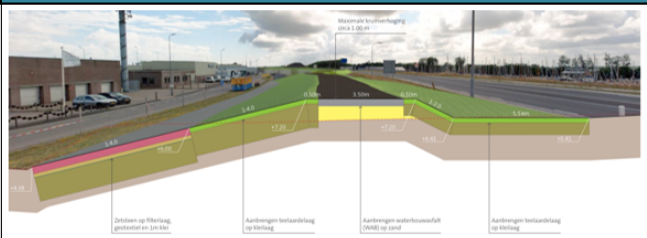
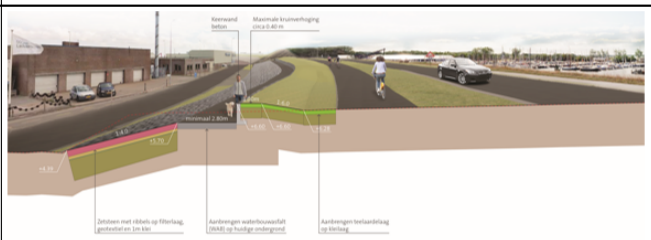
In zeef 2 wordt ook het criterium “realisatietijd” meegenomen binnen dit thema. In onderstaande tabel zijn de twee criteria onder elkaar gezet voor zeef 2. In de meest rechterkolom wordt een korte toelichting gegeven hoe voor het betreffende criterium de alternatieven tegen elkaar zijn afgewogen in zeef 2.

Tabel 5-5: Afwegingskader zeef 2 thema Planning, traject Haven, traject Haven

Thema	Criterium	Toelichting criterium
3. Planning en kosten		
	3.3 Proceduretijd i.r.t. vergunbaarheid	Tijd benodigd voor wijziging bestemmingsplannen, benodigde vergunningen, onteigening e.d.
	3.4 Realisatietijd	Technische uitvoeringsduur, mede i.r.t. stormseizoen. Haalbaarheid uitvoering in 2 jaar.

De scoretabel voor hoofdthema Kosten en Planning voor deeltraject haven is weergegeven in Tabel 5-6.

Tabel 5-6: Scoretabel Zeef 2 – deeltraject Havendijk – Thema Planning en Kosten

		3.3 Benodigde procedures	3.4 Realisatie-planning
Alternatief	**Voorbeeldprofiel**	**Score**	**Score**
H1 Smalle kruin met taludverflauwing 1:4		3	3
H2 Inkassing in talud met verticale wand		3	3

Toelichting criterium 3.3 Procedure i.r.t. vergunbaarheid

De benodigde procestijd, de tijd die nodig is voor het wijzigen van bestemmingsplannen, MER-studies en het verkrijgen van vergunningen, kan tussen de alternatieven verschillen. Op basis van opgedane kennis uit referentieprojecten is een inschatting gedaan van de verschillen in de procestijd en zijn de alternatieven geschaald.

Voor de Havenoplossing wordt ervan uitgegaan dat voor beide alternatieven een goed inpassingsplan nodig is vanuit ruimtelijke kwaliteit. Dit inpassingsplan wordt richting VKA met de stakeholders besproken. Uitgaande van commitment aan de voorkant bij bevoegd gezag (provincie Groningen) op dit punt wordt er geen onderscheid verwacht in de looptijd van vergunningen en procedures. Beide alternatieven scoren daarom neutraal.

Toelichting criterium 3.4 Realisatie planning

De technische uitvoeringsduur is voor beide varianten niet onderscheidend. Naar verwachting is dit in één stormseizoen uitvoerbaar. De uitvoering van het Haventraject duurt naar verwachting korter dan de Landelijke dijk.

5.2.4 Beoordeling thema Inpassing in de omgeving

Voor het thema inpassing in de omgeving zijn in totaal 6 criteria opgesteld voor de zeef, waarvan er drie worden beoordeeld in zeef 2 voor traject Haven. Dit zijn de criteria;

- 4.2 Effect op bestaande natuur
- 4.5 Effect op kabels en leidingen
- 4.6 Mogelijkheid voor realisatie overige koppelkansen

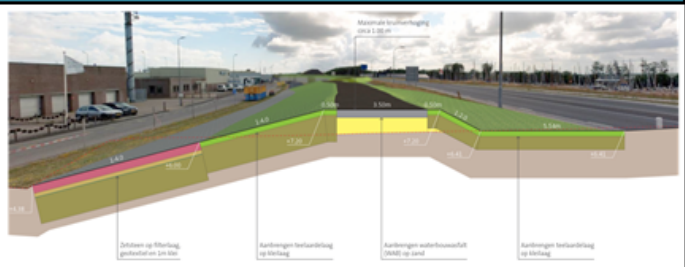
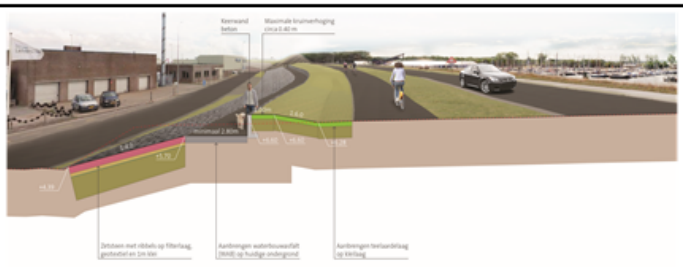
In onderstaande tabel zijn de criteria onder elkaar gezet voor zeef 2. In de meest rechterkolom wordt een korte toelichting gegeven hoe voor het betreffende criterium de alternatieven tegen elkaar zijn afgewogen in zeef 2.

Tabel 5-7: Afwegingskader zeef 2 Inpassing in omgeving, traject Haven

Thema	Criterium	Toelichting criterium
4. Inpassing in de omgeving		
	4.2 Effect op bestaande natuur	Beïnvloeding waardevolle habitats en leefgebieden beschermde soorten (N2000/ WNb).
	4.5 Effect op kabels en leidingen	Mate waarin kabels en leidingen waarschijnlijk verlegd moeten worden
	4.6 Mogelijkheid voor realisatie overige koppelkansen	Mate waarin koppelkansen van derden gerealiseerd kunnen worden (meekoppelen of inpassen)

De scoretabel voor hoofdthema Inpassing in omgeving voor deeltraject Haven is weergegeven in Tabel 5-8.

Tabel 5-8: Scoretabel Zeef 2 – deeltraject Haven – Thema Inpassing in omgeving

		4.2 Effect op bestaande natuur	4.3 Effect op kabels en leidingen	4.4 Mogelijkheid koppel-kansen
Alternatief	Voorbeeldprofiel	Score	Score	Score
H1 Smalle kruin met taludverflauwing 1:4		3	3	3
H2 Inkassing in talud met verticale wand		3	4	4

Toelichting criterium 4.2 Effect op bestaande natuur
Beide alternatieven zijn mogelijk met de nodige grasgroei op de dijk, vergelijkbaar met de huidige situatie. In de huidige situatie heeft dit niet of nauwelijks ecologische waarde. Om de ecologische waarde van de dijk te verbeteren kan beheer als bloemrijk grasland een verbetering geven van de huidige situatie en dit is mogelijk voor beide alternatieven. De score is daarom neutraal in zeef 2.

Toelichting criterium 4.5 Effect op kabels en leidingen
Voor het traject Haven zijn er diverse hoofd(transport)leidingen en overige kabels en leidingen aanwezig die het dijktraject kruisen, soms zelfs in lengterichting. De beoordeling K&L voor het traject Haven (zie Bijlage 7) heeft laten zien dat er een opgave ligt op dit punt. De verticale wand is daarbij lokaal goed te combineren met een vervangende waterkering. Dit zou een maatwerkoplossing kunnen zijn bij leidingkruisingen. Dit alternatief scoort daarom positief ten opzichte van de grondoplossing. De grondoplossing (score neutraal) geeft wat meer graafwerkzaamheden in bestaande dijktaluds, dit betekent mogelijk meer raakvlakken/verleggingen tijdens de uitvoering.

Toelichting criterium 4.6 Mogelijkheid voor realisatie overige Koppelkansen
Koppelkansen en projecten zijn onder andere de realisatie van het Werelderfgoedcentrum (adaptief meenemen met dijkversterking), een extra ontsluiting van het oostelijk deel van de Haven met een overrit en een ecologische verbetering van de Haventerreinen. De stakeholders hebben aangegeven duidelijke meerwaarde te zien in de verticale wand. De verticale wand versterkt de haven als toeristisch trekpleister. Er leeft daarbij de wens om een coupure aan te leggen als dijkovergang in plaats van een overrit. Het ontwerp van de verticale wand kan hierop aansluiten. Daarom scoort de verticale wand zeer positief, ten opzichte van een neutrale score voor de grondoplossing.

5.2.5 Beoordeling thema Gebruik en beleving van de dijk

Voor het thema gebruik en beleving van de dijk zijn in totaal vier criteria opgesteld, voor traject Haven worden er drie beoordeeld in zeef 2. Dit zijn de criteria;

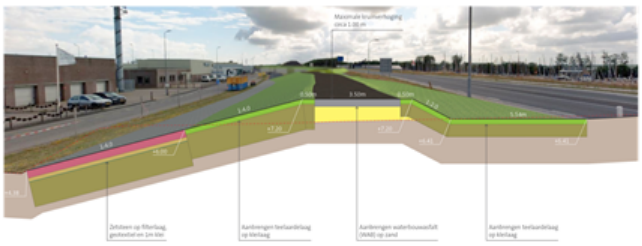
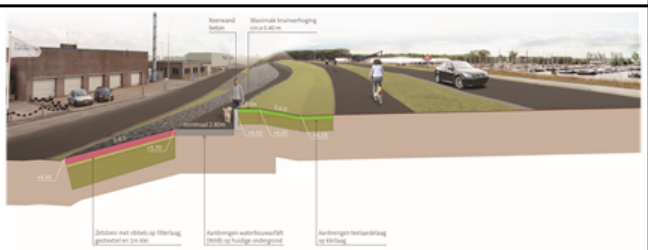
- 5.1 Landschap en cultuurhistorie
- 5.2 Recreatieve beleving
- 5.4 Verkeer en vervoer

In onderstaande tabel zijn de criteria onder elkaar gezet voor zeef 2. In de meest rechterkolom wordt een korte toelichting gegeven hoe voor het betreffende criterium de alternatieven tegen elkaar worden afgewogen in zeef 2.

Tabel 5-9: Afwegingskader zeef 2 Gebruik en beleving van de dijk, traject Haven

Thema	Criterium	Toelichting criterium
4. Gebruik en beleving van de dijk		
	5.1 Landschap en cultuurhistorie	Mate waarin de bouwsteen aansluit bij het ruimtelijk kwaliteitskader en de landschappelijke en cultuurhistorische waarden
	5.2 Recreatieve beleving	Gevolgen van de bouwsteen voor de beleving van de dijk en de mogelijkheid tot fietsen/wandelen/ verblijven op de dijk
	5.4 Verkeer en vervoer	Effect op bereikbaarheid en verkeersveiligheid

Tabel 5-10: Scoretabel Zeef 2 – deeltraject Haven – Thema Inpassing in omgeving

		5.1 Landschap en cultuurhistorie	5.2 Recreatieve beleving	5.4 Verkeer en vervoer
Alternatief	Voorbeeldprofiel	Score	Score	Score
H1 Smalle kruin met taludverflauwing 1:4		3	3	3
H2 Inkassing in talud met verticale wand		4	5	4

Toelichting criterium 5.1 Landschap en cultuurhistorie

In het landschappelijk kader is aangegeven dat het gewenst is dat de oplossing in de nieuwe situatie zorgt voor meer eenduidigheid in het landschap en een in het landschap herkenbare hoogwaterkering. De verticale wand betreft een onderbreking van de huidige situatie waarbij er overal sprake is van een grondoplossing. Echter geeft dit meer ruimte op de kruin, minder ophoging ten opzichte van de provinciale weg en brengt dit dus orde aan in het huidige rommelige dijkenlandschap en havenbeeld (score +). Stakeholders waarderen de verticale wand en vinden dit beter aansluiten bij het toeristisch gedeelte van de Haven. Een grondoplossing sluit beter aan bij huidige situatie van groene dijk maar is niet overal passend, waardoor toch een extra onderbreking van de oplossing nodig is met een constructief scherm. Daarom scoort deze oplossing neutraal (score 0) op het criterium Landschap en cultuurhistorie.

Toelichting criterium 5.2 Recreatieve beleving

Bij de verticale wand ontstaat er een extra ruimte voor voetgangers van het recreatiegebied Lauwersoog naar de haven en de veerverbinding met Schiermonnikoog. Deze voetgangers moeten nu over het fietspad lopen. Voor de recreatieve beleving van de dijk, de haven als geheel en voor de veiligheid geeft de extra looproute een grote verbetering voor de recreatieve beleving (score ++). Bij de grondoplossing ontbreekt de extra looproute maar blijft het mogelijk vanaf de dijk uitzicht te behouden over Haven, Waddenzee en Lauwersmeer (score 0).

Toelichting criterium 5.4 Verkeer en vervoer

Beide oplossingen zorgen voor weinig veranderingen voor auto's en fietsers, de huidige routes blijven nagenoeg ongewijzigd. Ter plaatse van overritten is er gekozen voor maatwerk en zo nodig uitvoering als overslagbestendige dijk, dit geldt voor beide alternatieven. De grondoplossing scoort daarom neutraal (score 0) in zeef 2. De verticale wand heeft als positief onderscheid dat de duidelijker situatie voor voetgangers en de extra looproute bijdraagt aan de verkeersveiligheid. Deze oplossing scoort daarom positief (score +) in zeef 2.

5.3 Beoordeling alternatieven Landelijke dijk (zeef 2)

5.3.1 Beoordeling thema Techniek en toekomstbestendig

Alle gepresenteerde alternatieven zijn technisch uitvoerbaar en zijn zo ontworpen dat ze voldoen aan de eisen die worden gesteld aan de waterveiligheid. De alternatieven verschillen echter wel op een aantal vlakken binnen dit thema. In deze paragraaf worden de alternatieven beoordeeld op een drietal sub-criteria binnen dit hoofdthema:

- 1.1 Haalbaar en maakbaar
- 1.3 Uitbreidbaarheid
- 1.4 Beheerbaarheid

Criterium 1.2 (effectiviteit) is in zeef 1 en 2 niet meer onderscheidend, omdat de geselecteerde alternatieven allemaal effectief het veiligheidsprobleem oplossen, dit criterium wordt niet meer beoordeeld in zeef 1 en zeef 2.

In onderstaande tabel zijn de die relevante criteria onder elkaar gezet. In de meest rechterkolom wordt een korte toelichting gegeven hoe voor het betreffende criterium de alternatieven tegen elkaar zijn afgewogen in zeef 2.

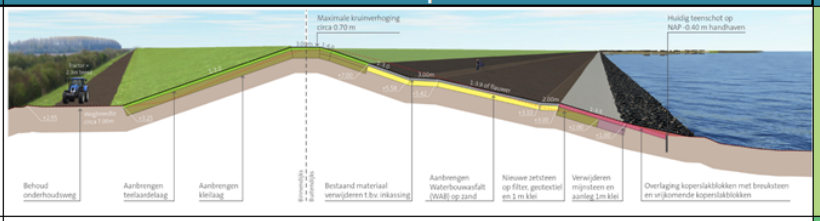
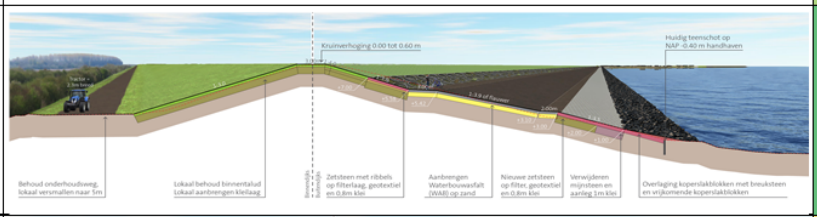
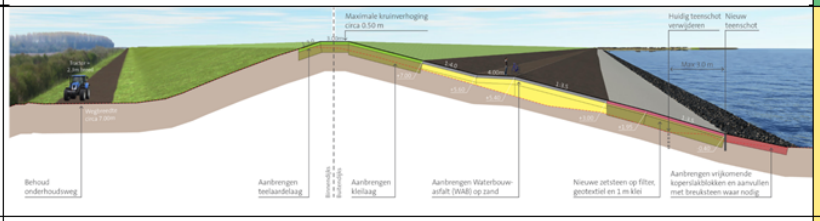
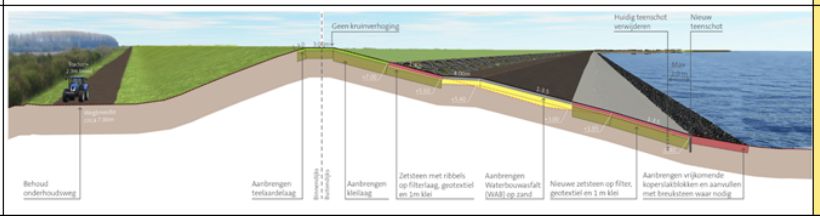
Tabel 5-11: Afwegingskader zeef 2 thema Techniek en toekomstbestendig, traject Landelijke dijk

Thema	Criterium	Toelichting criterium
1. Techniek en toekomstbestendig		
	1.1 Haalbaar en maakbaar	Zijn gebruikte technieken bewezen of innovatief? Hoe complex (1) zijn de technieken?
	1.3 Uitbreidbaarheid	Mate waarin toekomstige versterking mogelijk is in hoogte breedte en sterkte.
	1.4 Beheerbaarheid	Gevolgen van de bouwsteen op het regulier beheer en onderhoud en tijdens calamiteiten, alsmede de mogelijkheid voor verbeteren van de beheersituatie.

(2) De complexiteit is vooral beoordeeld op de technische uitvoerbaarheid tijdens de uitvoering, en in mindere mate op de complexiteit in het ontwerpproces.

De scoretabel voor hoofdthema Techniek en toekomstbestendig voor deeltraject Landelijke dijk is weergegeven in Tabel 5-12.

Tabel 5-12: Scoretabel Zeef 2 – deeltraject Landelijke dijk – Thema Techniek en Toekomstbestendig

Alternatief	Voorbeeldprofiel	1.1 Haalbaar en maakbaar Score	1.2 Uitbreid-baarheid Score	1.3 Beheer-baarheid Score
L1 Binnenwaarts versterken-glad boventalud		4	4	5
L2 Binnenwaarts versterken-ruw boventalud		5	4	4
L3 Buitenwaarts versterken -glad boventalud		3	4	4
L4 Buitenwaarts versterken-ruw boventalud		3	4	3

Toelichting criterium 1.1 Haalbaar en maakbaar

Voor het criterium “haalbaar en maakbaar” is op basis van een deskundigenoordeel een inschatting gemaakt van de complexiteit van de verschillende dijkontwerpen. De complexiteit is vooral beoordeeld op de technische uitvoerbaarheid tijdens de uitvoering, en in mindere mate op de complexiteit in het ontwerpproces.

Alle alternatieven zijn haalbaar en maakbaar, daarom zijn er geen negatieve scores. Wat betreft maakbaarheid is er onderscheidend voordeel bij het niet verplaatsen van het teenschot. Het teenschot bevindt zich in de intergetijdezone en dit betekent dat er maatregelen moeten worden getroffen tijdens hoogwater om goed te kunnen werken, ofwel dat er maar een deel van de dag kan worden gewerkt aan het aanbrengen van een nieuw teenschot en zetsteen. Dit beïnvloed in sterke mate de productiesnelheid bij buitendijks versterken. Daarnaast is het aannemelijk dat de (mogelijk verontreinigde) mijnsteen moet worden verwijderd bij buitenwaarts versterken. De maakbaarheid van de alternatieven buitenwaarts is daarom als neutraal beoordeeld (score 0). Een ruw bovenbeloop heeft als voordeel dat er minder binnendijks ruimtebeslag is en minder raakvlak met wegverharding. Bij L1 moet de wegverharding ook worden verlegd, wat raakvlak geeft met de aanwezige leidingen in de binnenberm. Binnenwaartse versterking met ruw boventalud (L2) scoort daarom zeer positief (score ++), tegenover positief (score +) voor een binnenwaartse versterking met glad boventalud (L1).

Toelichting criterium 1.3 Uitbreidbaarheid
Voor het criterium “uitbreidbaarheid” is een inschatting gemaakt van de mogelijkheden om de dijk in de toekomst uit te breiden.

De uitbreidbaarheid in grond in de toekomst is voor alle alternatieven goed. Voor het vervangen van zetsteen geldt eigenlijk hetzelfde. Alle alternatieven hebben daarom een score positief (+) gekregen.

Toelichting criterium 1.4 Beheerbaarheid
Een dijk dient te worden onderhouden. Voor het criterium *“beheerbaarheid”* zijn de alternatieven beoordeeld op de voorziene beheer- en onderhoudsinspanning. In de afweging tussen de alternatieven is rekening gehouden met de omvang en de complexiteit van het beheer en onderhoud.

Alle alternatieven zijn goed beheerbaar, daarom zijn er geen negatieve scores. Wat betreft beheerbaarheid geeft de beheerder de voorkeur aan een glad boventalud. Hiermee zal minder snel het risico bestaan op het inwaaien van vuil. In de praktijk kan dit wellicht voorkomen worden door dit te betrekken bij het ontwerpproces (bijv. ontwerpen met voldoende open ruimtes tussen de ruwe bekleding). Het ruwe boventalud zal moeten worden afgezet bij beweiding met schapen, in tegenstelling van een aansluiting van gras op asfalt.
Een rijroute onderin het dijktalud aan de buitenzijde geeft mogelijkheden voor inspectie van de bestorting (bijv. drijfvuil) en het zetsteen ondertalud. Dit wordt over het algemeen gewaardeerd door dijkbeheerders. Alternatief L1 heeft bovengenoemde voordelen allebei (namelijk glad boventalud en de rijroute onderin) en scoort daarom het meest positief (++). Alternatief L2 en L3 hebben één van beide voordelen en scoren positief (+). Alternatief L4 is goed beheerbaar, maar heeft geen glad boventalud en geen rijroute onderin. Dit alternatief scoort daarom neutraal.

5.3.2 Beoordeling thema Duurzaamheid

Voor het thema Duurzaamheid zijn drie criteria beoordeeld, namelijk;

- 2.1 Levensduur
- 2.2 Milieueffect aanleg
- 2.4 Milieu-impact levensduur 50 jaar

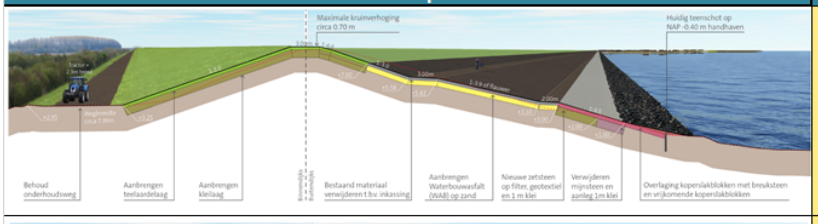
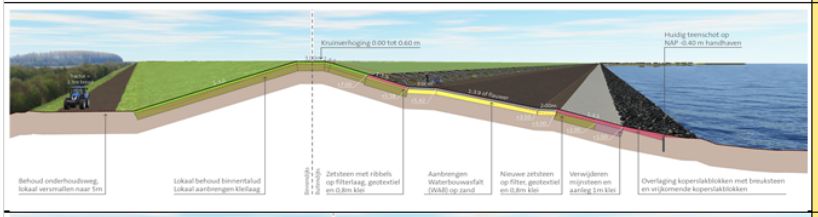
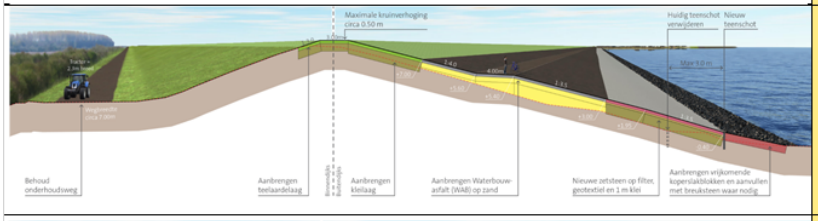
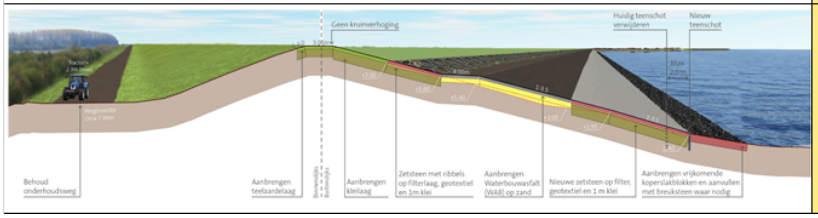
In onderstaande tabel zijn deze drie criteria onder elkaar gezet. Het in zeef 0 gehanteerde criterium “Hergebruik materialen” wordt zowel in criteria 2.2. Als 2.4 beoordeeld. In de rechterkolom wordt een korte toelichting gegeven hoe voor het betreffende criterium de bouwstenen tegen elkaar zijn afgewogen in zeef 2.

Tabel 5-13: Afwegingskader zeef 2 voor thema Duurzaamheid, traject Landelijke dijk

Thema	Criterium	Toelichting criterium
2. duurzaamheid		
	2.1 Levensduur	De gevoeligheid op (onvoorziene) veranderingen in maatgevende hydraulische belastingen en de levensduur van materialen, waardoor versterking binnen 50 jaar (planperiode) benodigd wordt.
	2.2 Milieu-impact aanleg	Milieu-impact van de winning, transport en verwerking van de grondstoffen benodigd voor de realisatiefase
	2.4 Milieu-impact levensduur 50 jaar	Milieu-impact van de dijk voor de levensduur van 50 jaar (inclusief beheer- en onderhoudswerkzaamheden)

De scoretabel voor hoofdthema Duurzaamheid voor deeltraject Landelijke dijk is weergegeven in Tabel 5-14.

Tabel 5-14: Scoretabel Zeef 2 – deeltraject Landelijke dijk – Thema Duurzaamheid

	2.1 Levensduur	2.2 Milieu-impact aanleg		2.4 Milieu-impact levensduur 50 jaar	
Voorbeeldprofiel	Score	MKI	Score	MKI	Score
	3	€ 4.093.515,27	3	€ 4.317.122,76	3
	3	€ 3.865.938,49	4	€ 4.039.332,09	4
	3	€ 4.136.275,95	3	€ 4.345.385,34	3
	3	€ 4.251.683,89	3	€ 4.395.435,37	3

Toelichting criterium 2.1 Levensduur

Voor de beoordeling op dit criterium is per alternatief de kans ingeschat dat een nieuwe dijkversterking binnen 50 jaar toch weer nodig is, door (onvoorziene) veranderingen in maatgevende hydraulische belastingen en de levensduur van materialen.

De alternatieven zijn onderling niet onderscheidend op dit criterium (score neutraal). Voor alle alternatieven is bekleding op het buitentalud nodig en is ligt de bermhoogte op maatgevend waterstandsniveau over 50 jaar (inclusief zeespiegelstijging). Daarmee is er sprake van een robuust dijkontwerp voor elk alternatief, overeenkomend met de gekozen technische uitgangspunten. De overgang van asfalt naar zetsteen is voor elk alternatief gelijk gehouden, op dit punt is er dus geen onderscheid.

Toelichting criterium 2.2 Milieueffect aanleg

Een dijkversterking heeft impact op het milieu. Binnen het criterium *milieueffect aanleg* zijn de alternatieven beoordeeld op deze impact, hiertoe zijn met het programma DuboCalc berekeningen opgesteld. DuboCalc is ontwikkeld om milieu-impact kwantitatief te maken om zo verschillende alternatieven met elkaar te vergelijken. In DuboCalc wordt een milieukosten indicator (MKI) berekend. Een MKI-waarde is een vermenigvuldiging van milieueffecten maal een schaduwprijs in (fictieve) euro's. De schaduwprijzen zijn vastgesteld door Rijkswaterstaat. In het algemeen geldt; hoe lager een MKI-waarde, hoe beter dit is voor het milieu.

Door minder aanvoer van grond scoort het alternatief L2 (uitbreiding binnenwaarts ruw) beter wat betreft milieu-impact (score +). De overige alternatieven liggen dicht bij elkaar en scoren daarom neutraal.

Toelichting criterium 2.3 Milieu-impact levensduur 50 jaar
Voor dit criterium is de milieu-impact van de dijkversterking bepaald voor een periode van 50 jaar. Naast de impact tijdens de realisatie zijn ook effecten van beheer- en onderhoudswerkzaamheden bepaald. Voor de onderhouds- en vervangingsfrequentie zijn aannames gedaan, die overeenkomen met de opgestelde levensduurramingen (criterium 3.2).

Het alternatief L2 heeft minder milieu-impact over de levensduur dan de overige alternatieven. Dit alternatief scoort daarom positief. De overige alternatieven scoren neutraal.

5.3.3 Beoordeling thema Planning

Voor het thema inpassing in de omgeving zijn er twee criteria opgesteld, namelijk;

- 3.3 Proceduretijd i.r.t. vergunbaarheid
- 3.4 Realisatie planning

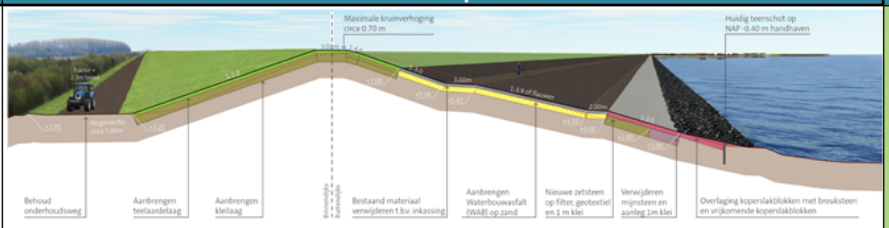
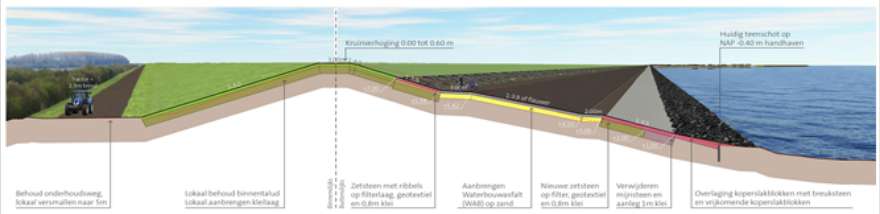
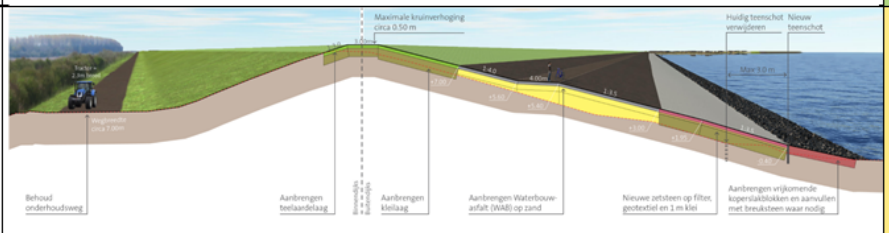
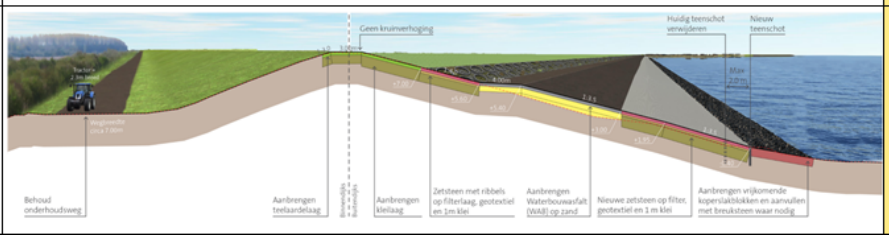
In zeef 2 wordt ook het criterium “realisatietijd” meegenomen binnen dit thema. In onderstaande tabel zijn de drie criteria onder elkaar gezet voor zeef 2. In de meest rechterkolom wordt een korte toelichting gegeven hoe voor het betreffende criterium de alternatieven tegen elkaar zijn afgewogen in zeef 2.

Tabel 5-15: Afwegingskader zeef 2 thema Planning, traject Landelijke dijk

Thema	Criterium	Toelichting criterium
3. Planning en kosten		
	3.3 Proceduretijd i.r.t. vergunbaarheid	Tijd benodigd voor wijziging bestemmingsplannen, benodigde vergunningen, onteigening e.d.
	3.4 Realisatietijd	Technische uitvoeringsduur, mede i.r.t. stormseizoen. Haalbaarheid uitvoering in 2 jaar.

De scoretabel voor hoofdthema Kosten en Planning voor deeltraject Landelijke dijk is weergegeven in Tabel 5-16.

Tabel 5-16: Scoretabel Zeef 2 – deeltraject Landelijke dijk – Thema Planning en Kosten

Alternatief	Voorbeeldprofiel	3.3 Benodigde procedures	3.4 Realisatie-planning
		Score	Score
L1 Binnenwaarts versterken-glad boventalud		4	4
L2 Binnenwaarts versterken-ruw boventalud		4	4
L3 Buitenwaarts versterken -glad boventalud		3	3
L4 Buitenwaarts versterken-ruw boventalud		3	3

Toelichting criterium 3.3 Procedure i.r.t. vergunbaarheid

De benodigde procestijd, de tijd die nodig is voor het wijzigen van bestemmingsplannen, MER-studies en het verkrijgen van vergunningen, zal tussen de alternatieven verschillen. Op basis van opgedane kennis uit referentieprojecten is een inschatting gedaan van de verschillen in de procestijd en zijn de alternatieven geschaald.

Alle alternatieven zijn vergunbaar en de beoogde planning van planuitwerking en uitvoering houdt rekening met de benodigde procedures. Ingeschat wordt dat bij de alternatieven buitenwaarts (L3 en L4) als gevolg van het ruimtebeslag in de Waddenzee een vergunningaanvraag nodig is voor de wet natuurbescherming met bijbehorende passende beoordeling. Hier helpt de integratie met koppelprojecten voor ecologie, maar zonder deze koppelprojecten zal dit veel lastiger zijn. Door de ecologische koppelprojecten wordt onder andere bijgedragen aan de verbetering van het voedselweb in de Waddenzee en dit levert dus per saldo een verbetering op. Bij de alternatieven binnenwaarts is minder ruimtebeslag gemoeid en deze scoren daarom positief (+) ten opzichte van buitenwaarts (score neutraal).

Toelichting criterium 3.4 Realisatie planning
Alle alternatieven zijn maakbaar geacht binnen de verwachte realisatieplanning van 2 tot 3 jaar. Uitbreiding buitenwaarts (L3 en L4) betreft meer werk in de intergetijdezone en hierbij gelden uitvoeringsbeperkingen (werken tijdens laagwater), hierdoor is er meer kans op stagnatie van de uitvoeringsplanning en is de productiesnelheid van het aanbrengen van nieuwe zetsteen waarschijnlijk lager. De alternatieven L1 en L2 scoren daarom positief ten opzichte van een neutrale score voor de alternatieven L3 en L4.

5.3.4 Beoordeling thema Inpassing in de omgeving

Voor het thema inpassing in de omgeving zijn in totaal zes criteria opgesteld voor de zeef, waarvan er vier worden beoordeeld in zeef 2 voor traject Landelijke dijk. Dit zijn de criteria;

- 4.1 Bijdrage aan ecologische verbetering
- 4.2 Effect op bestaande natuur
- 4.5 Effect op kabels en leidingen
- 4.6 Mogelijkheid voor realisatie overige koppelkansen

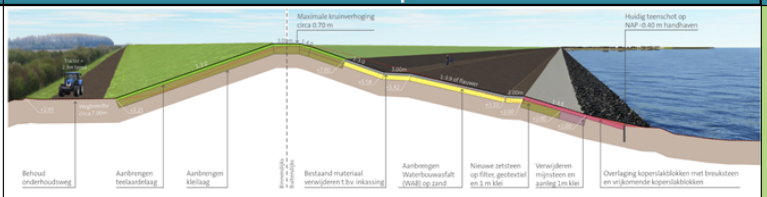
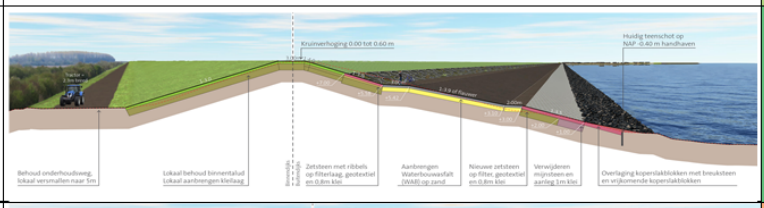
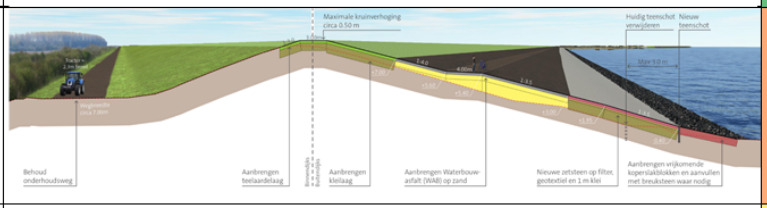
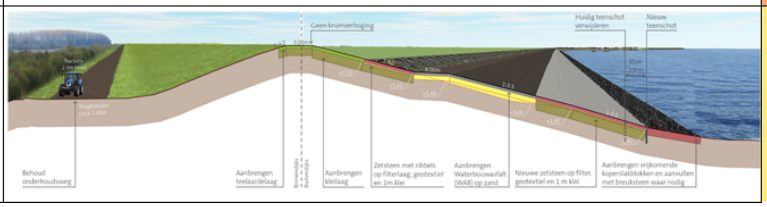
In onderstaande tabel zijn de criteria onder elkaar gezet voor zeef 2. In de meest rechterkolom wordt een korte toelichting gegeven hoe voor het betreffende criterium de alternatieven tegen elkaar zijn afgewogen in zeef 2.

Tabel 5-17: Afwegingskader zeef 2 Thema Inpassing in omgeving, traject Landelijke dijk

Thema	Criterium	Toelichting criterium
4. Inpassing in de omgeving		
	4.1 Bijdrage aan ecologische verbetering	Mogelijkheid voor combinatie met Rijke Dijk principes, interactie Wad en land.
	4.2 Effect op bestaande natuur	Beïnvloeding waardevolle habitats en leefgebieden beschermde soorten (N2000/ WNb).
	4.5 Effect op kabels en leidingen	Mate waarin kabels en leidingen waarschijnlijk verlegd moeten worden
	4.6 Mogelijkheid voor realisatie overige koppelkansen	Mate waarin koppelkansen van derden gerealiseerd kunnen worden (meekoppelen of inpassen)

De scoretabel voor hoofdthema Inpassing in omgeving voor deeltraject Landelijke dijk is weergegeven in Tabel 5-18.

Tabel 5-18: Scoretabel Zeef 2 – deeltraject Landelijke dijk – Thema Inpassing in omgeving

Alternatief	Voorbeeldprofiel	4.1 Bijdrage ecologische verbetering	4.2 Effect op bestaande natuur	4.3 Effect op kabels en leidingen	4.4 Mogelijkheid koppel-kansen
		Score	Score	Score	Score
L1 Binnenwaarts versterken-glad boventalud		4	3	3	4
L2 Binnenwaarts versterken-ruw boventalud		5	3	3	4
L3 Buitenwaarts versteken -glad boventalud		2	2	3	4
L4 Buitenwaarts versteken-ruw boventalud		3	3	3	4

Toelichting criterium 4.1 Bijdrage ecologische verbetering

De beoogde ecologische verbetering voor zover deze raakt aan de dijkversterking betreft;

- Getijdenatuur voor de dijk door ecologisch aantrekkelijke bestorting ter plaatse van Vierhuizergat (beoogd ruimtebeslag circa 3,0 meter breed vanaf NAP+0m.
- Kwelderontwikkeling aan de oostzijde van het gebied
- Doorsteek door de dijk met een kunstwerk voor een zoet-zout overgang

Alle alternatieven zijn goed te combineren met de zoetzoutovergang en de kwelderontwikkeling, hierin zit geen onderscheid. Bij alle alternatieven is het ook mogelijk de dijk te voorzien van ecologisch aantrekkelijke steenkleding (bijv. met holtes) in de intergetijdezone.

De getijdenatuur voor de dijk is minder goed mogelijk bij het alternatief L3. Dit alternatief vraagt ter plaatse van het Vierhuizergat circa 7 meter ruimtebeslag extra. Wat betreft de waterveiligheidsopgave is dit net passend te realiseren, maar de combinatie met een extra ecologische aan de teen is dan niet meer goed uit te voeren. Daarom scoort dit alternatief negatief (score -). Dit geldt in mindere mate ook voor alternatief buitenwaarts rus (L4), dit alternatief scoort daarom neutraal (score 0).

De alternatieven binnendijks zijn zeer goed te combineren met de getijdenatuur voor de dijk en scoren daarom positief. Het alternatief met een ruwe bekleding op het boventalud (L2) zorgt daarbij voor extra diversiteit in de vegetaties van de dijk aan de buitenzijde (korstmossen, stenige vegetaties) en scoort daarom zeer positief (score ++). Alternatief L1 is goed te combineren met de beoogde ecologische verbetering als koppelproject, maar heeft niet het specifieke voordeel van verruwing van het boventalud. Dit alternatief scoort daarom positief (score +).

Toelichting criterium 4.2 Effect op bestaande natuur
De alternatieven L1 en L2 hebben geen extra ruimtebeslag richting de Waddenzee. Alternatief L4 heeft wel enig extra ruimtebeslag, maar dit is over een groot deel enkele meters tot maximaal 4-6 meter ter plaatse van het Vierhuizergat. De alternatieven L1, L2 en L4 scoren daarom neutraal (gescoord zonder koppelprojecten ecologie daarbij te betrekken, in dat geval is het ruimtebeslag van L4 onevenredig groot). Alternatief L3 geeft het grootste ruimtebeslag in de Waddenzee en met name het ruimtebeslag dicht op het Vierhuizergat zal niet wegvallen bij ontwerpoptimalisaties. Dit alternatief scoort daarom negatief.

Toelichting criterium 4.5 Effect op kabels en leidingen
Aanwezig aan de binnenzijde zijn een hoofdtransportleiding water en een hoofdtransportleiding gas. Bij beide leidingen leveren eventuele erosiekraters geen problemen op voor de dijkveiligheid onder maatgevende condities (zie Bijlage 7) en is verlegging niet noodzakelijk voor alle alternatieven. De alternatieven scoren daarom neutraal wat betreft het effect op kabels en leidingen.

Toelichting criterium 4.6 Mogelijkheid voor realisatie overige Koppelkansen
Beoordeeld zijn de combinatie met overige koppelprojecten en kansen, met uitzondering van ecologische verbeteringen, deze combinatie is al beoordeeld in criterium 1.1

Ten aanzien van overige koppelkansen is vooral de aanleg van een verbeterde fietsroute (“kiek op diek”) relevant. De fietsroute is inmiddels geïntegreerd in alle alternatieven. Daarom is er geen onderscheid tussen de alternatieven en scoren de alternatieven alle positief (score +) in zeef 2.

5.3.5 Beoordeling thema Gebruik en beleving van de dijk

Voor het thema gebruik en beleving van de dijk zijn in totaal vier criteria opgesteld, voor traject Landelijke dijk worden er twee beoordeeld in zeef 2. Dit zijn de criteria;

- 5.1 Landschap en cultuurhistorie
- 5.2 Recreatieve beleving

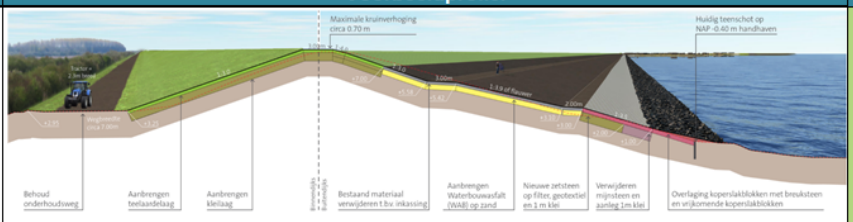
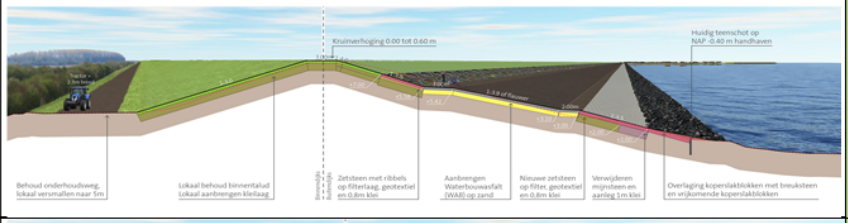
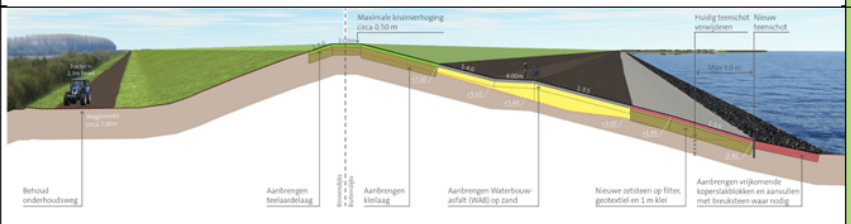
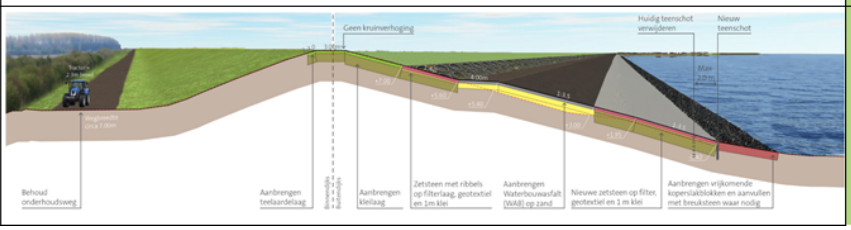
In onderstaande tabel zijn de criteria onder elkaar gezet voor zeef 2. In de meest rechterkolom wordt een korte toelichting gegeven hoe voor het betreffende criterium de alternatieven tegen elkaar worden afgewogen in zeef 2.

Tabel 5-19: Afwegingskader zeef 2 thema Gebruik en beleving van de dijk, traject Landelijke dijk

Thema	Criterium	Toelichting criterium
5. Gebruik en beleving van de dijk		
	5.1 Landschap en cultuurhistorie	Mate waarin het alternatief aansluit bij het ruimtelijk kwaliteitskader en de landschappelijke en cultuurhistorische waarden
	5.2 Recreatieve beleving	Gevolgen het alternatief voor de beleving van de dijk en de mogelijkheid tot fietsen/wandelen/ verblijven op de dijk

Toelichting criterium 5.1 Landschap en cultuurhistorie
Het thema Landschap en cultuurhistorie is besproken op de stakeholderbijeenkomst van 12 november 2019. De stakeholders bleken een groen bovenbeloop van de dijk sterk te waarderen. Een ruwe bekleding met bloemrijk grasland (oplossing Corneel) werd daarbij sterk gewaardeerd. Wel werd benoemd dat deze begroeiing een voorwaarde moest zijn, anders wordt deze oplossing als een verslechtering ervaren van de huidige inrichting van het bovenbeloop met grastalud. Alle alternatieven sluiten goed aan op het landschappelijk kader, er is in het dijkontwerp aandacht voor ecologisch ontwerp en dit sluit aan bij de ligging van de dijk langs het Natura 2000 gebied Waddenzee. Dit betekent dat de alternatieven positief (+) en gelijkwaardig scoren ten opzichte van het ruimtelijk kwaliteitskader en de mening van de stakeholders.

Tabel 5-20: Scoretabel Zeef 2 – deeltraject Landelijke dijk – Thema Gebruik en beleving van de dijk

		5.1 Landschap en cultuurhistorie	5.2 Recreatieve beleving
Alternatief	**Voorbeeldprofiel**	**Score**	**Score**
L1 Binnenwaarts versterken-glad boventalud		4	5
L2 Binnenwaarts versterken-ruw boventalud		4	5
L3 Buitenwaarts versterken -glad boventalud		4	4
L4 Buitenwaarts versterken-ruw boventalud		4	4

Toelichting criterium 5.2 Recreatieve beleving

Het thema recreatieve beleving is besproken op de stakeholderbijeenkomst van 12 november 2019. De stakeholders bleken een groen bovenbeloop van de dijk sterk te waarderen. De alternatieven binnenwaarts veranderen weinig aan de huidige geometrie van het onderbeloop, hierdoor blijft de lage berm in stand en ontstaat er de mogelijkheid van een extra fietsroute in het benedenbeloop van het dijktalud. Dit wordt sterk gewaardeerd door de stakeholders, fietsers kunnen dichter bij het wad fietsen en de lage route is een extra onderbreking van een lang talud van het benedenbeloop richting de bestorting, dit vergroot het gevoel van veiligheid voor fietsers die op de hoge berm fietsen. De alternatieven binnenwaarts L1 en L2 dragen dus zeer positief (++) bij aan de mogelijkheden voor recreatie. De alternatieven buitenwaarts L3 en L4 faciliteren een fietsroute buitendijks op de hoge berm, deze fietsroute is een verbetering van de huidige situatie en scoort daarom licht positief (+).

6 Kostenraming en LCC

Om inzicht te krijgen in de kosten is er een SSK-raming opgesteld van de alternatieven. Zoals in hoofdstuk 4 beschreven gaat het om de volgende alternatieven voor de kostenraming:

- Haven: variant ‘Smalle kruinverhoging’ en variant ‘Verticale wand’
- Landelijke Dijk: Binnenwaartse versterking met een variant voor ‘glad’ en ‘ruw’

De alternatieven Landelijke dijk met buitenwaartse versterking bleken in een eerdere vergelijking al duurder (RHDHV, 2019g) en zijn daarom niet meer opnieuw berekend met de in januari 2020 herijkte hydraulische randvoorwaarden.

In dit hoofdstuk zijn alleen de uitkomsten van de raming gepresenteerd, de totale kostennota met de onderbouwing van de belangrijkste uitgangspunten en de volledige kostenramingen zijn bijgevoegd in Bijlage 3 en samenvattend weergegeven in Tabel 6-1.
De ramingen hebben prijspeil 1 februari 2020 en zijn geraamd inclusief B.T.W.

De ramingen zijn voor de gehele dijk opgesteld, dus met een variant voor het Haven-deel en een variant voor de Landelijke Dijk. De kosten voor Engineering en Risico’s zijn namelijk niet zondermeer over een specifiek dijktraject te verdelen. Toch is het nodig de varianten ook afzonderlijk te beschouwen, om zo de onderlinge verschillen beter inzichtelijk te kunnen maken. In de onderstaande tabellen zijn de kosten per variant weergegeven, waarbij risicoreserveringen en engineeringskosten naar rato zijn verdeeld.

Tabel 6-1 Resultaten SSK-raming kansrijke alternatieven (excl. verkenningsfase)

	Investeringskosten (incl. BTW)
H1 Smalle kruinverhoging	€ 11,6 mln.
H2 Inkassing in talud met verticale wand	€ 11,5 mln.
L1 Uitbreiding binnenwaarts met ‘glad’ boventalud	€ 62,5 mln.
L2 Uitbreiding binnenwaarts met verruwing van het boventalud	€ 60,7 mln.

Tabel 6-1 Resultaten SSK-raming kansrijke alternatieven (excl. verkenningsfase)laat zien dat de kosten van de Smalle Kruinverhoging ten opzichte van Verticale Wand iets hoger zijn. De Bouwkosten van de Smalle Kruinverhoging zijn wel lager dan bij de Verticale Wand, maar dit wordt gecompenseerd door hogere kosten voor verleggen van kabels en leidingen (welke bij Overige Bijkomende Kosten zijn voorzien).

Het verschil tussen de Landelijke Dijk met een glad boventalud en een ruw boventalud bedraagt ca. € 2 mln. Bij de oplossing met ruw boventalud is de hoogte van de dijk lager, dan bij een glad boventalud. Dit leidt tot minder volume grondwerk (dus in hoogte en daarmee ook de breedte van de dijk). En hoewel de constructie van ruwe zetsteen relatief duur is vergeleken met aanbrengen van extra klei of waterbouwasfalt, weegt dat niet op tegen het extra grondwerk. De lagere kosten van deze variant komen naast minder grondwerk ook door een veel kleinere impact op de binnendijks gelegen Kustweg. Bij de variant met glad boventalud moet de weg over ca. 3.800 m verlegd worden tegenover 1.500 m bij de variant met ruw boventalud.

In de SSK-raming zijn risico’s opgenomen uit het risicodossier, er is geen onderscheid tussen de alternatieven, deze zijn gelijkwaardig wat betreft risicoprofiel.

De Levensduurkosten zijn gerekend over 100 jaar. De dijkversterking zelf is gerekend met een ontwerplevensduur van 50 jaar. In de raming is niet gerekend met het upgraden/ verhogen van de kering

na deze 50 jaar. Uitgangspunt is handhaven huidig ontwerp, waarbij het gaat om het vergelijken van varianten over een periode van 100 jaar. Dit sluit aan bij de LCC-gedachte van het HWBP. De totale LCC is opgenomen in Bijlage 3 en samenvattend weergegeven in Tabel 6-2.

Tabel 6-2 Resultaat LCC-analyse kansrijke alternatieven

	Levensduurkosten (incl. BTW)	Levensduurkosten contante waarde
H1 Smalle kruinverhoging	€11,1 mln.	€ 1,8 mln
H2 Inkassing in talud met verticale wand	€13,3 mln.	€ 2,3 mln
L1 Uitbreiding binnenwaarts met 'glad' boventalud	€ 71,8 mln.	€ 14,4 mln
L2 Uitbreiding binnenwaarts met verruwing boventalud	€ 73,1 mln.	€ 13,6 mln

De haven varianten geven in de levensduurkosten een onderscheidend verschil, zowel nominaal als bij de contante waarde is de smalle kruinverhoging gunstiger. Dit komt vooral door de geraamde vervangingskosten van de verticale wand, dit is conform de kostenmethodiek van het HWBP. Voor een grondoplossing is in principe een oneindige levensduur veronderstelt. De levensduurkosten voor de Verticale wand bestaan uit herstel metselwerk/ betonreparatie en de vervangingskosten na 100 jaar. Bij de Smalle Kruinverhoging is ook een constructie voorzien, een stalen damwand, maar hier is behalve incidentele inspectie alleen vervanging gerekend na 100 jaar.

Bij de Landelijke dijk is er onderscheid in de resultaten bij de varianten tussen de nominale kosten en de contante waarde. Bij de nominale kosten is de oplossing met glad boventalud voordeliger maar bij de contante waarde is dat de oplossing met ruw boventalud. In de raming is de onderhoudsfrequentie en omvang van het onderhoud bij het ruwe boventalud geringer dan bij de asfalt bekleding in het boventalud. Opgemerkt wordt dat het onderhoud aan de Kustweg niet mee is genomen in de Levensduurkosten (geldt voor beide varianten).

Conclusie kostenvergelijking

De alternatieven zijn nagenoeg gelijkwaardig wat betreft investeringskosten. De geraamde levensduurkosten voor de verticale wand in de Haven zijn daarbij iets duurder, mogelijk is het ontwerp hierop te optimaliseren. Op basis van de zeef 2 beoordeling en de mogelijkheden voor ontwerpoptimalisaties in de vervolgfasen van het project is er een keuze gemaakt voor het voorkeursalternatief. Zie hiervoor Hoofdstuk 7.

7 Conclusies en aanbevelingen voor keuze voorkeursalternatief

7.1 Voorkeursalternatief traject Haven

Voor het traject haventraject zijn een grondoplossing met smalle kruin (H1) en verticale wand (H2) tegen elkaar afgewogen. Beide alternatieven zijn relatief compacte dijkversterkingen, zo kunnen het huidige fietspad en de huidige doorgaande rijroute gehandhaafd blijven. Door de beperkte beschikbare ruimte en grote lokale verschillen in de ontwerpopgave zijn bij beide oplossingen lokaal maatwerkoplossingen nodig. De samenvattende voorlopige beoordelingstabel voor het traject Haven is opgenomen in Tabel 7-1.

Tabel 7-1 Samenvatting beoordeling zeef 2 voor traject Haven

	H1 Gedeeltelijk ophogen	H2 Verticale wand in dijk
Techniek en toekomstbestendigheid	3,3	4,7
Duurzaamheid	3,3	3,0
Planning	3,0	3,0
Inpassing in de omgeving	3,0	3,7
Gebruik en beleving van de dijk	3,0	4,3
Onderdeel voorkeursalternatief?	NEE	JA
Eindscore	**3,13**	**3,73**

De verticale wand in de dijk (H2) onderscheidt zich vooral positief van de grondoplossing (H1) door een betere maakbaarheid; de oplossing is compacter en daardoor beter inpasbaar in de huidige situatie. Daarbij is het dagelijks beheer en onderhoud eenvoudiger. Bijkomend voordeel is dat er een extra looproute kan worden gecreëerd voor voetgangers, wat een groot pluspunt is in vergelijking met de huidige situatie waarbij voetgangers vaak over het fietspad lopen. Een verticale wand is daarbij eenvoudiger te combineren met maatwerkoplossingen zoals mogelijk benodigde vervangende waterkeringen voor aanwezige leidingen en een eventuele coupure als dijkovergang. Daarnaast draagt de verticale wand bij aan de recreatieve beleving van de haven als geheel en ontstaat er een logische looproute van de veerverbinding naar recreatiegebied Lauwersoog.

Conclusie keuze VKA voor het traject Haven
Vanwege de betere maakbaarheid, minder dagelijks onderhoud, betere inpassing in omgeving en een betere recreatieve beleving van de dijk is het alternatief met een taludverflauwing en een ingekaste verticale wand geselecteerd als Voorkeursalternatief. Deze keuze wordt gedragen door de stakeholders. De ontwerpen voor de maatwerklocaties, beschreven in paragraaf 4.3.1, sluiten hierop aan.

7.1.1 Aandachtspunten traject Haven

In de planuitwerking kan het ontwerp verder worden uitgewerkt en geoptimaliseerd. Op dit moment zijn de volgende aandachtspunten voorzien:

- Bij de overritten en de Robbegatsluis geldt lokaal een hoog overslagdebiet. Het is goed in de planuitwerking te kijken naar de afwikkeling van dit waterbezwaar tijdens hoog water (naast erosiebestendig ontwerpen).
- Het nieuwe dijkontwerp conflicteert met bestaande kabels en leidingen. In de planuitwerking zal de inpassing van de dijkversterking in relatie tot deze kabels en leidingen moeten worden uitgewerkt.
- Door de inpassing van dijkversterking zal het bestaande afwateringssysteem voor hemelwater moeten worden getoetst en mogelijk zullen er aanpassingen ontworpen moeten worden.
- De overgangen zullen in langs- en dwarsrichting nader ontworpen moeten worden zodat de inpassing duidelijk is.

- De verticale wand is mogelijk robuust ontworpen. De krachten op de muur zijn beperkt (muur ligt hoger dan golfklapzone). Omdat formules voor golfwerking onder deze specifieke omstandigheden voor slechts een deel van het spectrum zijn beproefd met golfslagproeven is deze keuze gemaakt. Optimalisatie van het definitief ontwerp is waarschijnlijk mogelijk met een goed numeriek model of gootproeven.
- De dijkversterking moet aansluiten bij de ruimtelijke kwaliteit van het havengebied, bijvoorbeeld bij keuze verhardingen en keerwand. Het Landschapsplan doet hiervoor aanbevelingen en benoemt meekoppelkansen.
- De dijkversterking moet ruimte bieden voor de inpassing en ontsluiting van het Werelderfgoedcentrum en de inpassing van een nieuwe ontsluiting (overgang of coupure) richting het havengebied.

7.2 Voorkeursalternatief traject Landelijke dijk

Voor het traject Landelijke dijk zijn twee alternatieven beschouwd met een binnenwaartse uitbreiding (L1 en L2) en twee alternatieven met een buitenwaartse verplaatsing (L3 en L4). De samenvattende voorlopige beoordelingstabel voor het traject landelijke dijk is opgenomen in Tabel 7-2.

Tabel 7-2 Samenvatting beoordeling zeef 2 voor traject Landelijke dijk

	L1 Binnenwaarts versterken-glad boventalud	L2 Binnenwaarts versterken-ruw boventalud	L3 Buitenwaarts versterken -glad boventalud	L4 Buitenwaarts versterken-ruw boventalud
Techniek en toekomstbestendigheid	4,3	4,3	3,7	3,3
Duurzaamheid	3,0	3,7	3,0	3,0
Planning	4,0	4,0	3,0	3,0
Inpassing in de omgeving	3,5	3,8	2,8	3,3
Gebruik en beleving van de dijk	4,5	4,5	4,0	4,0
Onderdeel voorkeursalternatief?	JA	JA	NEE	NEE
Eindscore	**3,87**	**4,05**	**3,28**	**3,32**

Voor het Landelijke dijktraject komt het verschil tussen een uitbreiding binnenwaarts (L1 en L2) en een uitbreiding buitenwaarts (L3 en L4) naar voren. Een belangrijk voordeel van binnenwaarts versterking in vergelijking met buitenwaarts versterken is dat de maakbaarheid een stuk eenvoudiger is; bij buitenwaarts versterken zijn veel werkzaamheden in de getijzone noodzakelijk en dit is uitvoeringstechnisch het meest complexe deel bij versterking van een zeedijk. Daarnaast kan het nodig zijn om de huidige mijnsteen en het teenschot te verwijderen, dit is technisch moeilijk. Er is geen saneringsplicht voor de mijnsteen in het kader van bodem- en bouwstoffen wetgeving, maar mijnsteen kan waarschijnlijk niet worden hergebruikt als nieuwe toepassing en moet dan worden afgevoerd naar een erkende verwerker.
Daarnaast geeft een buitenwaartse versterking extra ruimbeslag op het Natura2000 gebied (Waddenzee). Dit nadeel hebben de binnenwaartse alternatieven niet. Een ander voordeel van de binnenwaartse alternatieven is dat er zowel een lage berm (op NAP+3m) en een hoge berm (op NAP+5,5m) in het ontwerp is opgenomen, terwijl de buitenwaartse alternatieven alleen een hoge berm hebben. De lage berm is een meerwaarde, omdat deze gebruik kan worden tijdens beheer en onderhoudswerkzaamheden en tevens als fietspad/looppad kan fungeren. Concluderend zijn de binnenwaartse alternatieven meer wenselijk dan een buitenwaarts alternatief.
Een verschil tussen de binnenwaartse alternatieven is het ruimtegebruik aan de binnenzijde. Hoewel bij beide alternatieven het ruimtegebruik wordt beperkt omdat de stormberm in het huidige talud wordt ingekast, is het ruimtegebruik bij een glad boventalud (L1) groter. De benodigde aanpassingen aan de binnenwaartse weg en binnenberm zijn een stuk aanzienlijker dan bij toepassing van een ruw boventalud.

Conclusie keuze VKAvoor het traject Landelijke dijk
De meeste stakeholders beoordelen een ruwe dijkbekleding die begroeid raakt met bloemrijk grasland als positief. Het versterken met een glad boventalud is wellicht echter ook mogelijk met een dikke kleilaag in combinatie met sterke grasmat en een bloemrijke begroeiing. Vanuit beheer en onderhoud bestaat twijfel of een ruw bovenbeloop niet leidt tot meer onderhoudswerkzaamheden. Het waterschap wil de keuze voor de bekleding van het bovenbeloop daarom combineren met een onderzoek in de planuitwerking naar de noodzaak van harde bekleding op het bovenbeloop. Als de grens voor een harde bekleding verlaagt kan worden is een glad boventalud wellicht goedkoper en heeft dit mogelijk de voorkeur vanuit beheer en onderhoud. Zowel de alternatieven L1 als L2 zijn daarom onderdeel van het Voorkeursalternatief. Deze alternatieven worden beide gedragen door de stakeholders.

7.2.1 Aandachtspunten traject Landelijke dijk

De belangrijkste conclusies die in de vergelijking naar voren zijn gekomen, zijn hieronder bondig samengevat.

- De alternatieven L1 en L2 ontlopen elkaar op meerdere criteria amper. Het is mogelijk hiertussen een keuze te maken in de planuitwerking, na technische optimalisatie. Daarbij kan bijvoorbeeld beter gekeken worden naar de hoogte van de overgang hard-zacht in de dijk en de mate waarin de binnendijkse kleilaag moet worden vervangen op basis van booronderzoek.
- De verbinding van het landelijke dijkontwerp met het ecologische koppelproject zal een meerwaarde geven aan het dijkontwerp voor het traject Landelijke dijk én meerwaarde bieden voor het Natura 2000 gebied Waddenzee. Integreren van beide aspecten in één ontwerp zal resulteren in een duidelijk toegevoegde waarde voor het voorkeursalternatief. De meeste aandacht zal hierbij uit moeten gaan naar de uiteindelijke keuze van versterking van de teenconstructie (type breuksteen) en de materiaalkeuze voor de zetsteen (gewenst is een open constructie met vestigingshabitat voor ecologie).

In de planuitwerking wordt het ontwerp verder worden uitgewerkt en geoptimaliseerd. Op dit moment zijn de volgende aandachtspunten voorzien:

- Bij toepassing van bloemrijk grasland kan aangesloten worden bij de bevindingen van de POV-grasland en de proeven die gedaan worden met graszaadmengsels.
- De hoogte van de overgang harde bekleding (asfalt, zetsteen) en zachte bekleding (gras) in het dijktalud kan wellicht worden geoptimaliseerd in het definitief ontwerp. Er is in de verkenningsfase een uitgangspunt gekozen van NAP +7,0, maar het berekeningsresultaat ligt op dwarsprofielniveau soms enkele decimeters lager.
- Het toepassen van ruwheid op het bovenbeloop kan locatie specifiek worden verkend; veel ruwheid bij een grote hoogteopgave en minder ruwheid bij een kleine hoogteopgave.
- De wens voor groene dijken kan worden uitgewerkt door te onderzoeken of een kleibekleding (met grasbegroeiing) kan worden toegepast boven de stormberm op NAP+5,5m. Uitgangspunt hierbij kan zijn om de kleilaag zo dik te maken dat er wel sprake is van schade, maar niet van bezwijken van de waterkering tijdens maatgevende condities. Zie ook de paragraaf innovatie.
- Bij de binnenwaartse varianten bestaat de mogelijkheid om deze zo te optimaliseren dat het huidige asfalttalud voor een deel hergebruikt kan worden.
- Voor de breuksteen overlaging van de koperslakblokken (tot NAP+1m) en de teenbescherming zijn (zeer) zware benodigde steensorteringen berekend, tot klasse 300-1000kg. Dit is relatief duur, moeilijk realiseerbaar en visueel niet aantrekkelijk. In de planuitwerking kan deze overlaging en het teenontwerp nader worden bestudeerd. Mogelijk kan een geometrieaanpassing leiden tot een minder zware sortering en eventueel kan worden overwogen om toch de zetsteen op het ondertalud in zijn geheel te vervangen voor niet zetsteen. Daarbij is het verstandig een integraal ontwerp uit te werken in samenhang met het koppelproject “Natuurlijke overgang en onderwaternatuur”.
- Ter hoogte van het Vierhuizergat hebben de dijkopritten in het talud invloed op het overslagdebiet. Dit geldt als maatwerklocatie voor nader ontwerp in de planuitwerking. Dit geldt ook voor de hier aanwezige installatie van Defensie op de dijk. Mogelijk kan hier worden gekozen voor extra ruwheid

op het bovenbeloop. Een mooi referentievoorbeeld is de inpassing van de Waddentribune bij de dijkovergang van de Hoek van de Bant, die een recreatieve en waterveiligheidsfunctie combineert.
- Bij de binnenwaartse alternatieven kan de huidige onderberm mogelijk verschuiven naar een lager niveau, waardoor er meer asfalt kan worden toegepast en minder nieuwe zetsteen nodig is. Een uitgevoerde peilbuisanalyse heeft aangetoond dat dit kansrijk is.
- Bij alle varianten moeten de overgangen in dwarsrichting nader ontworpen worden.
- In de huidige dijk is mijnsteen toegepast onder de zetsteen (koperslakblokken). Verkennend onderzoek heeft aangetoond dat de mijnsteen breed gegradeerd is en daardoor goed doorlatend is. Een te hoge doorlatendheid kan moeilijk te combineren zijn met een nieuw zetsteenontwerp, terwijl het zeer wenselijk is om de mijnsteen te behouden. De mijnsteen is mogelijk verontreinigd, daarom is in het huidige ontwerp gekozen om bij de aanleg van een nieuwe zetsteenbekleding de mijnsteen te handhaven. In de planuitwerking dient te worden onderzocht of de doorlatendheid van de mijnsteen (dikte filterlaag) geen probleem vormt voor het zetsteenontwerp.
- Op geringe afstand van dijk liggen een waterleiding en gasleiding, de werkzaamheden aan de dijk mogen niet leiden tot onaanvaardbare extra belastingen op deze leidingen. Dit risico is groter als gekozen wordt voor binnenwaarts versterken met glad bovenbeloop.
- Bij de varianten met zetsteen met aanzienlijke ruwheid dienen de bezwaren ten aanzien van het beheer nader te worden onderzocht (zoals ophopen zwerfvuil, overrijdbaar, toereikbaarheid, beheerkosten). Ontwerpoptimalisaties kunnen deze bezwaren mogelijk wegnemen.
- Bij alle varianten – integreren van natuurlijke (ecologische) overgang met de primaire kering dijkbekleding (combinatie van doelstellingen in materiaalkeuze).

7.3 Toetsing VKA aan aspect sober en doelmatig

Voor de afweging naar het voorkeursalternatief is de HWBP-systematiek gevolgd. De aanpak is gebaseerd op het gewenste verloop van een MIRT-bouwproces en heeft als doel een ontwerp te realiseren met een zo'n breed mogelijk draagvlak tegen acceptabele kosten. Een breed draagvlak voor de projectopgave en ontwerpoplossing VKA vergroot de kans van slagen in procedures en vergunningen en heeft meerwaarde voor het gebied. In een dergelijk afwegingsproces is het belangrijk een toetskader te hebben voor de financiering. Voor het HWBP geldt hierbij de term "sober en doelmatig". Dit betekent niet dat het gekozen VKA het goedkoopste alternatief voor de dijkversterking hoeft te zijn. Wel moeten eventuele extra kosten proportioneel zijn en een duidelijke bijdrage leveren aan de hoofdopgave en de doelstellingen die worden nagestreefd.

Wijze van selectie voorkeursalternatief
In het ontwerpproces met de stakeholders is er voortdurend duidelijk een scheiding gemaakt tussen de hoofdopgave en de koppelkansen. Middels een *afwegingskader koppelkansen* is in de diverse deelfases van de verkenning aan de stakeholders duidelijk gemaakt welke ontwikkelingen geen onderdeel konden zijn van het dijkontwerp (zie bijvoorbeeld de notitie Kansrijke alternatieven, bijlage 1). Het ontwerpproces voor de koppelkansen is daarbij gescheiden van het ontwerpproces voor de dijk, projectpartners hebben hier ook financieel verantwoordelijkheid in genomen. Alleen wensen van stakeholders die (1) het dijkontwerp zelf raken, (2) de belevingswaarde en ruimtelijke kwaliteit vergroten, (3) inpasbaar zijn zonder evenredig hoge kosten en (4) invloed hebben op het ontwerp van het VKA zijn daadwerkelijk ingepast in het ontwerp. Het gaat hierbij om het fietspad voor het traject Landelijke dijk en het voetpad (bij alternatief H2) voor de het traject Haven. In beide gevallen is hiervoor een stormberm benut die toch al noodzakelijk was om de hoogteopgave voldoende te reduceren. Inpassing van wensen van stakeholders is dus gecombineerd met een maatregel die de kosten voor het dijkontwerp verlaagt en is daarmee aantoonbaar sober en doelmatig. Voor koppelprojecten is en wordt daarnaast aanvullende financiering gezocht.

In het gevolg afwegingsproces is meerdere keren met een afwegingskader afgewogen welke oplossingen kans van slagen hebben (de "zeefmomenten"). Daarbij zijn investeringskosten meegewogen in de selectie van kansrijke bouwstenen en kansrijke alternatieven, waarbij er voor de kansrijke alternatieven indicatieve kostenramingen zijn gemaakt, gebaseerd op dijktechnisch doorgerekende oplossingen en dimensies. De

aanscherpingen van de hydraulische randvoorwaarden aan het eind van de verkenningsfase doet hier niets aan af, de relatieve verschillen tussen de oplossingen blijven gelijk omdat de dominante kosten van het project worden bepaald door de versterking van de dijkbekleding op het buitentalud.
In het zeef 1 proces is daarmee aangetoond dat de kansrijke alternatieven gelijktijdig ook sober en doelmatig zijn, de gekozen kansrijke alternatieven hadden lage tot gemiddelde investeringskosten ten opzichte van afgevallen alternatieven. Meerdere bouwstenen en alternatieven zijn mede vanwege de relatief hoge investeringskosten tussentijds afgevallen.

Kosten
In het gevolgde afwegingsproces zeef 2 zijn investeringskosten niet meer meegenomen als onderdeel van de zeef 2 beoordeling maar zijn deze apart beoordeeld (RHDHV, 2019g). Gebleken is dat de alternatieven L3 en L4 (buitenwaarts versterken) van de Landelijke dijk hogere investeringskosten hebben dan de alternatieven L1 en L2 (binnenwaarts versterken). Naast hogere kosten hebben de alternatieven L3 en L4 ook meer negatieve effecten op het Natura 2000 gebied Waddenzee door het extra ruimtebeslag. De alternatieven L3 en L4 zijn mede vanwege investeringskosten afgevallen als voorkeursalternatief. Ook hier doet de aanscherping van hydraulische randvoorwaarden niets vanaf, het onderscheid zit vooral in de oplossing voor de teen van de dijk en het grondwerk aan de buitenzijde, de teen van de dijk in buitenwaartse richting verplaatsen is immers significant duurder dan hergebruik van de huidige teenconstructie en gedeeltelijk handhaven van de huidige geometrie van het buitentalud.
Het voorkeursalternatief van de Haven (H2) is in dezelfde kostenvergelijking niet duurder dan het afgevallen alternatief (H1). Daarbij is het mogelijk het constructief ontwerp verder te optimaliseren (bijv. op de levensduurkosten). Het gekozen Voorkeursalternatief is gunstiger wat betreft de bijkomende kosten, zoals het verleggen van kabels en leidingen. Dit omdat de keerwand minder ruimtebeslag vraagt. Deze kosten zijn overigens deels nog onbekend in het VKA omdat verleggingsplannen en de veiligheidsbeoordeling K&L grotendeels in de planuitwerking zijn georganiseerd. De gekozen voorkeursalternatieven Haven en Landelijke dijk zijn daarmee aantoonbaar sober en doelmatig vanuit de kostenvergelijking.

Kostenoptimalisaties in ontwerp
Naast het meenemen van het aspect kosten in het zeefproces zijn er met name in deelfase 4 een aantal *kostenoptimalisaties* doorgevoerd in het voorkeursontwerp. De belangrijkste zijn hieronder benoemd;

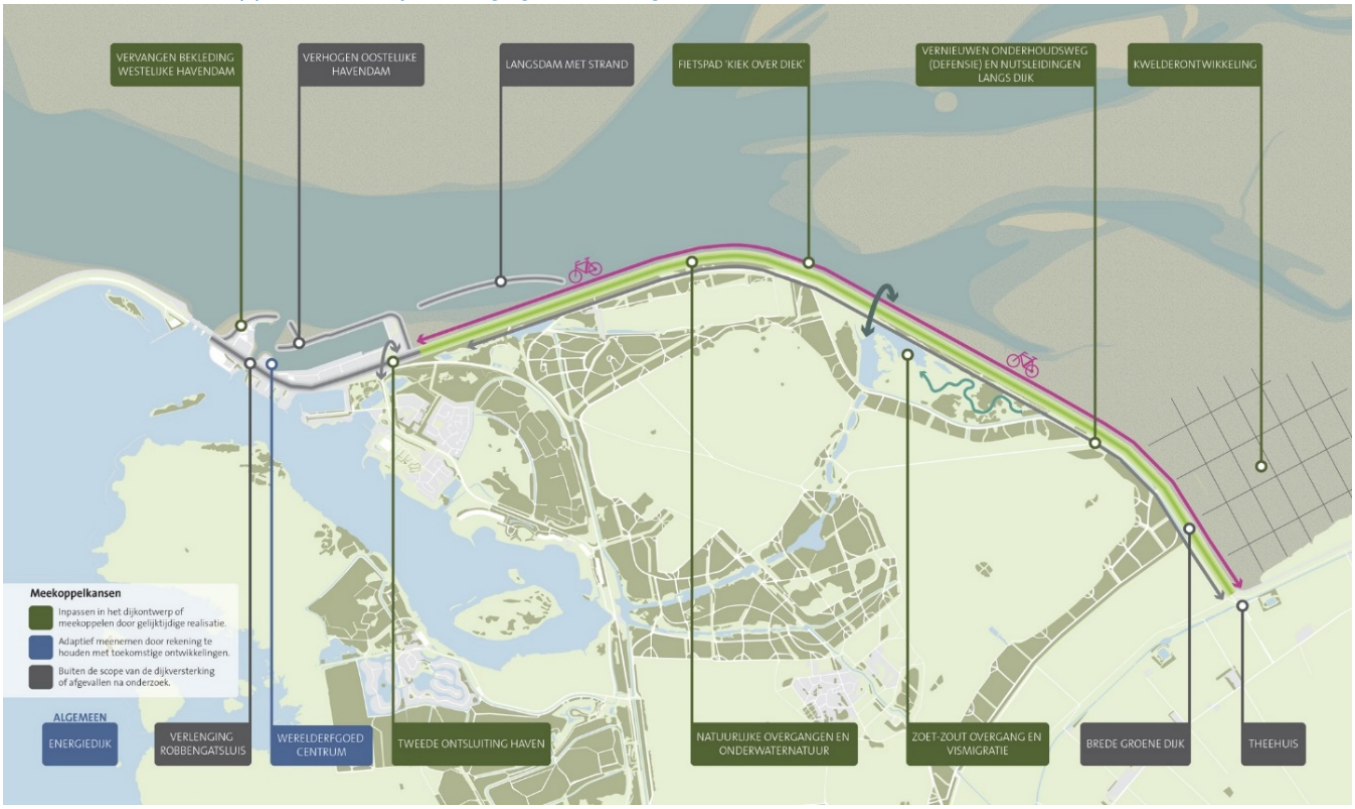
1) Bij de aanscherping van hydraulische randvoorwaarden is beoordeeld in hoeverre dit impact heeft op de dimensies en daarmee de kosten voor de alternatieven L1 en L2. Uiteindelijk is gekozen voor een hoger overslagdebiet van 10 l/s/m voor de Landelijke dijk. De hoogteopgave en de hiermee samenhangende kosten zijn daarmee gereduceerd ten opzichte van het oorspronkelijk uitgangspunt van het waterschap om te ontwerpen op een ontwerpopgave voor 5 l/s/m. Wel zorgt de aanscherping voor hogere kosten voor bijvoorbeeld de dijkbekleding, dit is noodzakelijk vanuit dijkveiligheid.
2) De gekozen overgang van zetsteen naar asfalt is op basis van peilbuisonderzoek geoptimaliseerd (verloop stijghoogte in de dijk).
3) In de teen van de dijk is gekozen voor een overlaging met breuksteen om de kosten voor zetsteen te beperken. Door de hoge eisen aan de overlaging en de zware golfbelasting is het echter ook mogelijk dat een bekleding met zetsteen uiteindelijk goedkoper is, dit is een afweging in de planuitwerking. Daarbij zou het streven moeten blijven de mijnsteenlaag niet te vervangen maar te handhaven (als sober uitgangspunt gekozen VKA).
4) De gekozen overgang van harde bekleding (asfalt, zetsteen) naar zachte bekleding (gras) is gelegd op circa NAP +7,00 m. Dit is de overgang van de golfklapzone naar de golfoploopzone. In andere dijkversterkingen (bijv. Eemshaven-Delfzijl) is de hele golfoploopzone versterkt met harde bekleding tot aan de kruin. Het waterschap is voornemens te onderzoeken of de keuze van de overgang hard-zacht nog verder kan geoptimaliseerd worden.
5) Er is gebruik gemaakt van uitkomsten uit eerdere verkenningen van de dijkversterking Vlieland en de dijkversterking Lauwersmeerdijk Friese Zijde. Daarbij is er ook gebruik gemaakt van de kennis die is opgedaan met gootproeven bij het beproeven van een verticale wand in de dijk in het kader van de dijkversterking Vlieland.

6) Het landschappelijk kader is interactief met het technisch ontwerp tot stand gekomen, waarbij er telkens is gekeken in hoeverre technisch sobere oplossingen ook gemotiveerd konden worden vanuit ruimtelijke kwaliteit. De ruwe bekleding op het bovenbeloop lag daarin aanvankelijk gevoelig vanuit de discipline landschapsarchitectuur. Dit is mede op basis van de stakeholderbeoordeling ruimer omschreven in het landschapsplan, waardoor deze oplossing past in het landschappelijk kader. Het landschappelijk kader is daarbij geaccepteerd door het bevoegd gezag (provincie Groningen) als afwegingskader voor het ontwerp.

7.4 Koppelkansen als onderdeel integraal VKA

Het waterschap streeft naar een bestuurlijk en maatschappelijk gedragen Voorkeursalternatief. Koppelkansen zijn benut waar mogelijk, deze zijn beschouwd op hun haalbaarheid en nut. Een goed mee te koppelen initiatief mag effect hebben op de uitgangspunten van het project.

Meerdere organisaties toonden tijdens de verkenningsfase belangstelling om parallel aan de dijkversterking regionale meerwaarde te realiseren. De potentiële koppelkansen voor de dijkversterking Lauwersmeerdijk-Vierhuizergat komen voort uit ideeën, wensen, eisen, meningen en visies van stakeholders. De koppelkansen zijn weergegeven in Figuur 7-1.



Figuur 7-1: Ligging koppelkansen voor de dijkversterking Lauwersmeerdijk-Vierhuizergat

Het verbeteren van regionale meerwaarde is geen zelfstandig doel van het hoogwaterbeschermingsprogramma en meerkosten voor de realisatie van koppelkansen worden niet gefinancierd door het HWBP. Daarom is het uitgangspunt voor een koppelproject dat de financiering door de initiatiefnemer van een koppelkans wordt vormgegeven en dat de dijkversterking zelf geen vertraging ondervindt. De koppelkansen zijn afgewogen (RHDHV, 2019e) waarbij de volgende mogelijkheden zijn onderscheiden:

1) *Inpassen* in het dijkontwerp. Dit betekent dat de koppelkans een integraal onderdeel vormt van het technisch ontwerp basiswaterveiligheid
2) *Meekoppelen* door gelijktijdige realisatie met de dijkversterking. Bij meekoppelen gaat het om het meenemen van initiatieven met een andere hoofddoelstelling dan waterveiligheid. De essentie is dat

meekoppelen een synergievoordeel oplevert op het vlak van kosten, voorkomen van hinder en/of proceduretijd. Financiering door derden.

3) *Adaptief* meenemen door in het ontwerp rekening te houden met toekomstige ontwikkelingen. Dit betekent dat de dijk zo wordt ontworpen dat deze wens mogelijk blijft in de toekomst. De koppelkans wordt nu niet meegenomen in de procedures.
4) *Niet in de scope* van het project. Dat betekent dat de koppelkans en de dijkversterking onafhankelijk van elkaar worden uitgevoerd.

Het resultaat van de afweging is gegeven in Tabel 7-3. De stand van zaken van het ontwerpproces is daarbij weergegeven. Koppelkansen zullen samen met het VKA worden uitgewerkt in de planuitwerking naar een voorontwerp/vergunningenontwerp (VO). Aan de hand van de nadere uitwerking vindt er ook in de planuitwerking afweging en besluitvorming (bijv. ten aanzien van financiering) plaats voor het meenemen van koppelprojecten in de integrale dijkversterking. De dijkversterking blijft de leidende ontwerpopgave in projectplanning en organisatiestructuur.

Tabel 7-3: Overzicht van koppelkansen

Koppelkans	Resultaat afwegingskader	Vervolg	Stand van zaken ontwerpproces
Natuurlijke overgangen en onderwaternatuur	Meekoppelen	Meenemen in procedures en mogelijk gelijktijdig uitvoeren	Schetsontwerp afgerond
Kwelderontwikkeling	Meekoppelen	Meenemen in procedures en mogelijk gelijktijdig uitvoeren	Schetsontwerp afgerond
Zoet-zout overgang en vismigratie Westpolder en Zoutkamperril	Meekoppelen	Meenemen in procedures en mogelijk gelijktijdig uitvoeren	Schetsontwerp afgerond m.u.v. route Zoutkamperril
Fietspad Kiek op de Diek	Inpassen in ontwerp	Het fietspad is ingepast ter plaatse van de verhoogde berm	Ingepast in dijkontwerp
Tweede ontsluiting haven	Meekoppelen	Meenemen in procedures en mogelijk gelijktijdig uitvoeren	Schetsontwerp in ontwikkeling
Vernieuwen onderhoudsweg	Meekoppelen	Afstemmen in Planuitwerkingsfase: Meenemen in procedures en mogelijk gelijktijdig uitvoeren	Uit te werken in planuitwerking
Vervangen nutsleidingen (gas en water) langs de dijk	Meekoppelen	Afstemmen in Planuitwerkingsfase: meenemen in procedures en mogelijk gelijktijdig uitvoeren	Uit te werken in planuitwerking
Versterken bekleding westelijke havendam	Meekoppelen	Het vervangen van de bekleding weegt op tegen de onderhoudskosten en wordt mee gekoppeld met de dijkversterking	Uit te werken in planuitwerking
Energiedijk: duurzame energie opwekken op de dijk (zon en wind)	Adaptatief	Dijkversterking zo inpassen dat de energiedijk mogelijk blijft in de toekomst	N.v.t.
Wereld erfgoed centrum Waddenzee, locatie Lauwersoog	Adaptatief	Afspraken over een bebouwingsvrije zone, zodat WEC mogelijk blijft in de toekomst	N.v.t.
Theehuis	Niet in scope	Dijk is hier voldoende sterk en er zijn geen werkzaamheden noodzakelijk	N.v.t.
Verlenging Robbengatsluis	Niet in scope	Plannen zijn nog onvoldoende concreet en ook nog mogelijk na versterkingsmaatregelen	N.v.t.
Ophogen oostelijke havendam	Afgevallen	De kosten wegen niet op tegen de beperkte reductie van de waterveiligheidsopgave	N.v.t.
Realisatie strand en langsdam	Afgevallen	Afgevallen vanwege beperkingen uit natuurwetgeving en omdat het technisch moeilijk en kostbaar is een strand te realiseren en behouden	N.v.t.

8 Referenties

HKV. (2018). *Veiligheidsbeoordeling Lauwersmeerdijk.*
RHDHV. (2019a). *Technische UItgangspunten Notitie dijkversterking Lauwersmeerdijk-Vierhuizergat (versie 16-5-2019).*
RHDHV. (2019b). *Landschapsplan dijkversterking Lauwersmeerdijk-Vierhuizergat (versie 2.3, feb 2020).*
RHDHV. (2019c). *Analyse versterking havendammen Lauwersoog (versie juni 2019).*
RHDHV. (2019d). *Notitie kansrijke bouwstenen (versie 27-5-2019).*
RHDHV. (2019e). *Notitie Kansrijke Alternatieven (versie 30-9-2019).*
RHDHV. (2019f). *Variantennota versie 7-11-2019.*
RHDHV. (2019g). *Kostennota alternatieven (versie 30-12-2019).*

Bijlagen

Bijlage 1:	Afwegingskader - zeef 1
Bijlage 2:	Beoordelingstabellen alternatieven
Bijlage 3a:	Hoeveelheden ontwerp
Bijlage 3b	Kostennota en SSK ramingen, incl. prijzenboek
Bijlage 4:	Berekening milieueffecten alternatieven
Bijlage 5A:	Toetsing alternatieven aan OI2014v4 Toetsing alternatieven aan OI2014v4
Bijlage 5B:	Verantwoording ontwerpberekeningen golfmuur
Bijlage 6:	Ontwerptekeningen alternatieven Landelijk **(bovenaanzichten en dwarsprofielen)**
Bijlage 7:	Quick scan beoordeling Kabels en Leidingen
Bijlage 8:	Vergunningenscan alternatieven
Bijlage 9	Aanscherping ontwerpopgave en herijking hydraulische randvoorwaarden
Bijlage 10	Verslag stakeholderbijeenkomst 12 november 2019

BIJLAGE 1

Bijlage 1 Afwegingskader zeef 2

HKV LIJN IN WATER

Royal HaskoningDHV

Notitie / Memo

HaskoningDHV Nederland B.V.
Water

Aan: IPM Team Dijkversterking Lauwersmeerdijk - Vierhuizergat
Van: Jan Valk, Martijn van Houten, Sander Post
Datum: Friday, 28 February 2020
Kopie:
Ons kenmerk: BG3034-RHD-ZZ-XX-NT-Z-0005
Classificatie: Definitief zeef 2

Onderwerp: Notitie Afwegingskader

1 Algemeen; ontwerpproces dijkversterking LMD

Het ontwerpproces in de Verkenningsfase om tot een VKA voor de dijkversterking Lauwersmeerdijk-Vierhuizergat (LMV) te komen, kent de volgende ontwerpstappen:

ontwerpstap	Definitie
Genereren en beoordelen van bouwstenen (zeef 0)	Bouwsteen = technische versterkingsmaatregel of oplossing voor de specifieke faalmechanismen.
Genereren mogelijke alternatieven	Alternatief = combinatie van bouwstenen waarmee veiligheidsopgave voor één dijktracé wordt opgelost [gedimensioneerd].
Selecteren kansrijke alternatieven (zeef 1)	Kansrijk alternatieven = De alternatieven die vanuit alle mogelijke alternatieven als meest kansrijk worden gezien.
Beoordelen kansrijke alternatieven (zeef 2) en selecteren/uitwerken Voorkeursalternatief	Voorkeursalternatief = Het als beste beoordeelde alternatief per dijktracé conform zeef 2. [ontworpen in 3D en geraamd met een SSK raming]

In de tabel hieronder is globaal aangegeven welk type afweging hoort bij welke afweging/ welk zeefmoment.

Zeef	Van	Naar	Doel	Consequenties in ontwerpproces
Zeef 0	mogelijke bouwstenen	kansrijke bouwstenen	selectie kansrijke bouwstenen	no-go's voor bepaalde bouwstenen op basis van technische haalbaarheid of uiterst negatieve score op overige criteria.
Generen mogelijke alternatieven	Kansrijke bouwstenen	Mogelijke alternatieven	Genereren alternatieven	Bouwstenen worden gecombineerd tot mogelijke oplossingsrichtingen
zeef 1	mogelijke alternatieven	kansrijke alternatieven	selectie kansrijke alternatieven	Oplossingen vallen af op basis van criteria; doel is de meest kansrijke alternatieven te selecteren voor uitwerking
zeef 2	kansrijke alternatieven	VKA	Beoordeling en selectie VKA	Alternatieven worden gelijkwaardig uitgewerkt. Het VKA is een uitwerking van een kansrijk alternatief plus enkele toevoegingen of detailuitwerkingen (maatwerk).

Ter verduidelijking van het ontwerp- en trechterproces is het belangrijk het volgende op te merken:

- De alternatieven worden niet alleen gegenereerd op basis van technische overwegingen, maar ook op basis van ruimtelijke inpassing, waarin onder meer ecologie en landschap, recreatie en infrastructuur van belang zijn. Voor het ontwerpproces is een Ruimtelijk Kwaliteitskader opgesteld, dat als handreiking dient en samen met andere beslissers tot stand komt.
- Er interactie plaatsvindt met initiatieven of behoeften van derden (meekoppelen of inpassen). Hiervoor wordt een apart afwegingskader opgesteld. Deze opgaven kunnen dus onderdeel worden van de eindoplossing (afhankelijk van uitkomst afwegingskader koppelkansen; bijvoorbeeld inpassen of meekoppelen).
- Zeef 1 wordt gebruikt om de kansrijke Alternatieven te selecteren. Het is werkelijk een zeef: het resultaat is dat er alternatieven op de zeef achter blijven die niet voldoen aan de uitgangspunten.
- Zeef 2 is een beoordelingskader. Daarmee worden alternatieven beoordeeld, om ze vervolgens onderling te kunnen vergelijken, en zo te komen tot een Voorkeursalternatief.

De stappen in het ontwerpproces zijn gevisualiseerd in bijlage 1 bij deze notitie.

Technische toets dijkversterkingsmaatregelen (haalbaarheidstoets)
Bij dijkversterking kunnen conventionele of innovatieve technieken worden toegepast. Voor de innovatieve technieken is het van belang dat deze eerst technisch beoordeeld worden. Er moet bijvoorbeeld worden nagegaan of ze goed te ontwerpen en te beoordelen zijn op grond van respectievelijk het OI en WBI, of dat er nog nader onderzoek voor nodig is. Het meenemen van innovatieve technieken is voor deze dijkversterking geen doel op zich. De innovaties worden meegenomen als deze een toegevoegde waarde hebben voor de dijkversterking, bijvoorbeeld doordat het ruimtebeslag kan worden beperkt of doordat er meerwaarde ontstaat voor ecologie of doordat een innovatie leidt tot een kostenreductie.

Innovatieve technieken kunnen veel toegevoegde waarde bieden, maar zijn meestal op technisch vlak nog niet volledig geaccepteerd. Deze technische acceptatie kost tijd. Veelal ontstaat er een proces waarin de dijkbeheerder technisch moet (laten) aantonen dat de innovatieve technieken voldoen met aanpassingen op of nadere interpretaties van het vigerende ontwerp- en wettelijke beoordelingsinstrumentarium (OI resp. WBI). Als de toegevoegde waarde voor deze dijkversterking van groot belang wordt geacht zal een proces worden voorgesteld hoe deze innovatie verder wordt meegenomen in de verkenning en planvorming. Deze route wordt overwogen indien een innovatieve oplossing grote voordelen met zich mee brengt.

Definitie alternatieven: per dijktracé
Ten aanzien van de alternatieven heeft NZV een bewuste keuze gemaakt voor uitwerking en keuze van oplossingen per dijktracé voor de drie dijktracés Haven, Vierhuizergat en Landelijke dijk. Dit geeft de ruimte om voor elk deeltracé specifieke afwegingen te maken, gestuurd door de daar geldende omstandigheden (technisch, ruimtelijk, financieel etc.). Bij de afweging per dijktracé zal vanzelfsprekend ook gekeken moeten worden naar de wijze waarop aangesloten wordt op het naastliggende deeltracé. Indien nodig en relevant wordt in de uitwerking van de kansrijke alternatieven een verdere uitsplitsing in dijkvakken per dijktracé gemaakt.

Leeswijzer en status afwegingskader in deze notitie
In deze memo wordt eerst (in hoofdstuk 2) een toelichting gegeven op de opzet en het gebruik van het afwegingskader. De uitgangspunten van het afwegingskader zelf volgen in hoofdstuk 3.

De voorgestelde criteria van zeef 0, zeef 1 en zeef 2 zullen telkens worden ge-evalueert op relevantie. Het afwegingskader wordt in het kader daarvan ook besproken in de ontwerpateliers met de professionele stakeholders. Ook is er interactie met de voortgang van het ontwerp van de koppelkansen. De vergelijking of besluitvorming rondom deze koppelkansen kan vragen om extra afwegingscriteria.

2 Opzet en gebruik van het afwegingskader

2.1 Insteek afwegingskader

Het afwegingskader is het instrument om in de selectie bouwstenen, mogelijke oplossingen, kansrijke alternatieven en het voorkeursalternatief (VKA), zorgvuldig en transparant te onderbouwen welke oplossingen afvallen om zo te komen tot een gedragen VKA. Voor een zorgvuldige onderbouwing is het gewenst om gestructureerd te onderbouwen waarom bepaalde oplossingen/alternatieven afvallen. In het afwegingskader op de navolgende pagina's is aangegeven welke criteria beschouwd worden en op welke wijze dit gebeurd.

We kiezen (in principe) voor het hanteren van één afwegingskader met dezelfde criteria voor zeef 0, zeef 1 en zeef 2. Zie ook de toelichting ontwerpproces hoofdstuk 2.
Het is vaak verwarrend is voor alle betrokkenen om met verschillende afwegingskaders te werken. Het verschil tussen de verschillende deelfases binnen de Verkenningsfase is dat er gaandeweg steeds meer gedetailleerde informatie over de kansrijke alternatieven (en mogelijke varianten binnen deze alternatieven) beschikbaar is. De effectbeoordeling bij zeef 2 zal dus ook in meer detail gemaakt worden (bijvoorbeeld door meer gebruik te maken van kwantitatieve onderbouwingen). Het kan zo zijn dat bepaalde criteria in zeef 2 afvallen omdat ze voor de geselecteerde kansrijke alternatieven niet meer onderscheidend zijn.

2.2 Wijze van beoordeling en afweging alternatieven

In de verkenningsfase werken we van grof naar fijn en die lijn volgen we ook in de onderbouwing en beoordelingen per deelfase binnen de verkenning (zie hoofdstuk 2).

Ons voorstel is om gebruik te maken van een vijfpuntsschaal (scores van ++ tot - -), zodat er bij de afweging een voldoende duidelijk onderscheid ontstaat tussen de alternatieven.

De sub-criteria worden gescoord. Een score van ++ wordt gegeven aan het beste alternatief en een - - aan het slechtste alternatief, de alternatieven worden op deze manier *relatief ten opzichte van elkaar* gescoord en niet ten opzichte van de huidige situatie of een andere referentie situatie. Bij uitzondering kan er sprake zijn van weinig onderscheid tussen de beoordeling en wordt niet de volledige bandbreedte van ++ tot -- gebruikt. In die gevallen wordt dit toegelicht bij de beoordeling.

- -	Sterk negatief onderscheidend
-	Licht negatief onderscheidend
0	Neutraal
+	Licht positief onderscheidend
+ +	Sterk positief onderscheidend

Aan de verschillende criteria wordt (vooralsnog) geen weging toegekend. Wel wordt per hoofdthema een eindscore gepresenteerd op basis van uitmiddeling van de onderliggende sub-criteria. De eindscores per hoofdthema leiden tot een totale eindscore, en vormen de basis voor het proces van selectie van de kansrijke alternatieven.

3 Afwegingskader

3.1 Toelichting afwegingskader

Het afwegingskader is hieronder getoond. Bij de methodiek is aangegeven of de beoordeling naar verwachting op basis van een deskundigenoordeel of op basis van een kwantitatieve uitwerking plaats zal vinden.

Het deskundigenoordeel wordt opgesteld door experts van het RHDHV team (en onderaannemers van RHDHV indien nodig), en getoetst door het IPM+ team van NZV en eventueel adviseurs vanuit de organisatie (techniek, beheer). Op cruciale aspecten kan er aanvullend voor gekozen worden om externe toetsing of advies van experts in te schakelen.

Naast het deskundigenoordeel zijn onder het hoofdthema's Inpassing en Gebruik en Beleving ook stakeholderbeoordelingen opgenomen. De scores voor de criteria onder dit hoofdthema worden gebaseerd op een combinatie van deskundigenoordeel (RHDHV/ IPM+ team) en stakeholderoordeel (omgeving). Tijdens de ontwerpateliers en expertsessie worden de scores voor deze criteria met "stakeholderoordeel" gezamenlijk ingevuld, na de sessies wordt in overleg binnen het IPM+ team (op basis van de input vanuit de omgeving) de definitieve score bepaald voor de criteria's. De aanpak van RHDHV-HKV voorziet in diverse terugkoppelmomenten, hierin zullen keuzes t.a.v. score en selectie worden toegelicht.

De voorgestelde criteria zeef 0, zeef 1 en zeef 2 zullen telkens worden ge-evalueerd op relevantie. Het afwegingskader wordt in het kader daarvan ook besproken in de ontwerpateliers met de professionele stakeholders. Ook is er interactie met de voortgang van het ontwerp van de koppelkansen. De vergelijking of besluitvorming rondom deze koppelkansen kan vragen om extra afwegingscriteria.

3.2 Overzicht criteria en voorgestelde wijze van beoordelen (tabel)

Thema	Criterium	Toelichting criterium	Methodiek beoordeling Zeef 0 (bouwstenen)	Methodiek beoordeling zeef 1 (alternatieven)	Methodiek beoordeling zeef 2 (keuze VKA)
1. Techniek en toekomstbestendig					
	1.1 Haalbaar en maakbaar	Zijn gebruikte technieken bewezen of innovatief? Hoe complex zijn de technieken?		Deskundigenoordeel o.b.v. de gehanteerde technieken	Deskundigenoordeel o.b.v. de gehanteerde technieken
	1.2 Effectiviteit	Hoe effectief is de bijdrage aan waterveiligheid en is deze ook in de toekomst zeker?	Deskundigenoordeel o.b.v. de gehanteerde technieken	Geen (alle oplossingen effectief; innovatie/toekomstige zekerheid beoordeeld onder 1.1.)	Geen (alle oplossingen effectief; innovatie/toekomstige zekerheid beoordeeld onder 1.1.)
	1.3 Uitbreidbaarheid	Mate waarin toekomstige versterking mogelijk is in hoogte breedte en sterkte.	Deskundigenoordeel	Deskundigenoordeel o.b.v. ruimtebeslag dat in toekomst mogelijk nodig kan zijn (bij hogere waterstanden)	Deskundigenoordeel o.b.v. ruimtebeslag dat in toekomst mogelijk nodig kan zijn (bij hogere waterstanden)
	1.4 Beheerbaarheid	Gevolgen van de maatregel op het regulier beheer en onderhoud en tijdens calamiteiten, alsmede de mogelijkheid voor verbeteren van de beheersituatie	Deskundigenoordeel o.b.v. aantasting of versterking regulier beheer (bijv. steilte taluds i.v.m. maaien), inspanning voor monitoring/inspectie	Deskundigenoordeel o.b.v. aantasting of versterking regulier beheer (bijv. steilte taluds i.v.m. maaien, berm buitenzijde), inspanning voor monitoring/inspectie	Deskundigenoordeel o.b.v. aantasting of versterking regulier beheer (bijv. steilte taluds i.v.m. maaien, berm buitenzijde), inspanning voor monitoring/inspectie

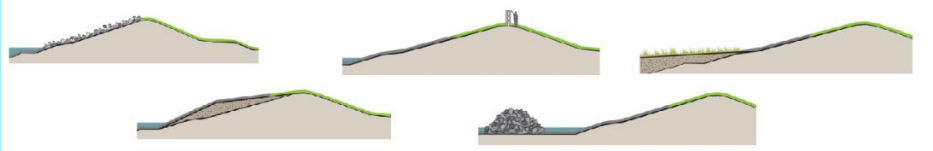
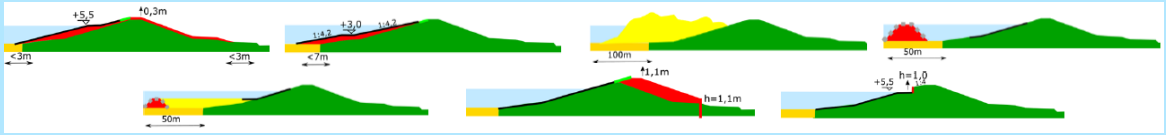
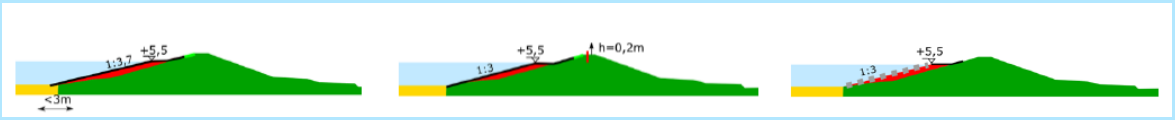
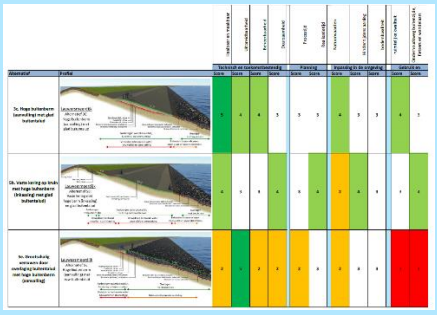
Thema	Criterium	Toelichting criterium	Methodiek beoordeling Zeef 0 (bouwstenen)	Methodiek beoordeling zeef 1 (alternatieven)	Methodiek beoordeling zeef 2 (keuze VKA)
2. Duurzaamheid					
	2.1 Levensduur	De gevoeligheid op (onvoorziene) veranderingen in maatgevende hydraulische belastingen. Dit in relatie tot de levensduur van materialen en ontwerp, waardoor versterking binnen 50 jaar (planperiode) benodigd is.	Deskundigen oordeel	Deskundigen oordeel	Deskundigen oordeel
	2.2 Milieu-impact aanleg	Milieu-impact van de winning, transport en verwerking van de grondstoffen benodigd voor de realisatiefase	Deskundigen oordeel	Kwantitatieve beoordeling met DuboCalc (MKI-waarde wordt vertaald naar zeefscore)	Kwantitatieve beoordeling met DuboCalc (MKI-waarde wordt vertaald naar zeefscore)
	2.3 Hergebruik bestaande materialen	De mogelijkheid die wordt geboden om bestaande materialen het te gebruiken	Deskundigen oordeel	Geen (toelichting: hergebruik wordt meegenomen in criterium 2.2 en criterium 2.4)	Geen (toelichting: hergebruik wordt meegenomen in criterium 2.2 en criterium 2.4)
	2.4 Milieu-impact levensduur 50 jaar	Milieu-impact van de dijk voor de levensduur van 50 jaar (inclusief beheer- en onderhoudswerkzaamheden)	n.v.t. criterium niet geschikt voor afzonderlijke bouwstenen	Kwantitatieve beoordeling met DuboCalc (MKI-waarde wordt vertaald naar zeefscore)	Kwantitatieve beoordeling met DuboCalc (MKI-waarde wordt vertaald naar zeefscore)
3. Kosten en Planning					
	3.1 Investeringskosten	Kwantitatieve inschatting van de investeringskosten	Deskundigenoordeel (kwalitatief)	Kostenramingen (directe kosten) per alternatief, kosten worden vertaald naar zeef-score	Kostenraming (SSK methodiek), separate vergelijking en niet in afwegingskader

Thema	Criterium	Toelichting criterium	Methodiek beoordeling Zeef 0 (bouwstenen)	Methodiek beoordeling zeef 1 (alternatieven)	Methodiek beoordeling zeef 2 (keuze VKA)
	3.2 Levensduurkosten	Kwantitatieve inschatting van de beheer- en onderhoudskosten tijdens de periode van 100jaar	Deskundigenoordeel (kwalitatief)	Kostenramingen (directe levensduurkosten) per alternatief, kosten worden vertaald naar zeef-score	Kostenraming/ LCC (SSK methodiek), separate vergelijking en niet in afwegingskader
	3.3 Proceduretijd i.r.t. vergunbaarheid	Tijd benodigd voor wijziging bestemmingsplannen, benodigde vergunningen, onteigening e.d.	Geen	Deskundigenoordeel	Deskundigenoordeel o.b.v. vergunningenscan en NRD voor de meest relevante procedures
	3.4 Realisatietijd	Technische uitvoeringsduur, mede i.r.t. stormseizoen.	geen	geen	Op basis van expert judgement uitvoeringsplanning

Thema	Criterium	Toelichting criterium	Methodiek beoordeling Zeef 0 (bouwstenen)	Methodiek beoordeling zeef 1 (alternatieven)	Methodiek beoordeling zeef 2 (keuze VKA)
4. Inpassing in de omgeving					
	4.1 Bijdrage aan ecologische verbeteringen van Waddengebied	Mogelijkheid voor combinatie met Rijke Dijk principes, interactie Wad en land.	Deskundigenoordeel en toetsing aan streefbeeld /schetsontwerp expertsessie Rijke Dijken	Deskundigenoordeel en toetsing aan streefbeeld /schetsontwerp expertsessie Rijke Dijken	Deskundigenoordeel ecoloog obv o.a. studie Alteburg en Wymenga, **alleen Landelijk**
	4.2 Effect op bestaande natuur	Beïnvloeding waardevolle habitats en leefgebieden beschermde soorten (N2000 / WNb).	Deskundigenoordeel obv mogelijkheid tot beperken ruimtebeslag	Deskundigenoordeel o.b.v. inschatting van het ruimtebeslag op natuurwaarden	Deskundigenoordeel ecoloog obv o.a. studie Alteburg en Wymenga
	4.3 Morfologie wad	Invloed op de stabiliteit van het wad en de verplaatsing van de geul op het wad.	geen	Deskundigenoordeel op basis van expert judgement **(alleen trajecten Landelijke dijk)**	Geen (In zeef 1 al geen onderscheid)
	4.4 Hinder tijdens aanleg	Uitvoeringsduur en –intensiteit (geluid- en stofhinder, verkeersoverlast door vrachtwagens).	geen	Geen	Geen (weinig bebouwing, kwestie van goed verkeersplan)
	4.5 Effect op kabels en leidingen	Mate waarin kabels en leidingen waarschijnijk verlegd moeten worden	geen	Deskundigenoordeel	Deskundigen oordeel op basis van KLIC gegevens en eerdere inventarisaties
	4.6 Mogelijkheid voor realisatie overige koppelkansen	Mate waarin koppelkansen van derden kunnen gerealiseerd worden (meekoppelen of inpassen)	Deskundigen oordeel op basis van de bekende koppelkansen en ontwerpateliers	Deskundigenoordeel gecombineerd met stakeholderoordeel (ontwerpateliers)	Deskundigenoordeel gecombineerd met stakeholderoordeel (ontwerpateliers)

Thema	Criterium	Toelichting criterium	Methodiek beoordeling Zeef 0 (bouwstenen)	Methodiek beoordeling zeef 1 (alternatieven)	Methodiek beoordeling zeef 2 (keuze VKA)
5. Gebruik en beleving van de dijk					
	5.1 Landschap en cultuurhistorie	Mate waarin het nieuwe profiel van de dijk aansluit bij het ontwerpkader Ruimtelijke kwaliteit vanuit landschappelijke waarden	Deskundigenoordeel	Deskundigenoordeel gecombineerd met stakeholderoordeel (ontwerpateliers)	Deskundigenoordeel gecombineerd met stakeholderoordeel (ontwerpateliers)
	5.2 Recreatieve beleving. Wandelen, fietsen, verblijven op dijk.	Gevolgen voor mogelijkheid tot fietsen/wandelen/ verblijven op de dijk	Deskundigenoordeel	Deskundigenoordeel gecombineerd met stakeholderoordeel (ontwerpateliers)	Deskundigenoordeel gecombineerd met stakeholderoordeel (ontwerpateliers)
	5.3 Woon- en werkfunctie	Beoordeling t.o.v. huid.ig gebruik haven en havendammen, onderhoudsweg. Positief bij een economische plus	geen	Deskundigenoordeel, gecombineerd met stakeholderoordeel (ontwerpateliers), **alleen traject Haven**	Geen (in zeef 1 al geen onderscheid)
	5.4 Verkeer en vervoer	Effect op bereikbaarheid en verkeersveiligheid	geen	Deskundigenoordeel, gecombineerd met stakeholderoordeel (ontwerpateliers)	Deskundigenoordeel, gecombineerd met stakeholderoordeel (ontwerpateliers). **Alleen Haven**

Bijlage 1- Visualisatie stappen in ontwerpproces tot VKA

Stap	
1	**Genereren (en beoordelen) bouwstenen (zeef 0)** Selecteren en waarderen van bouwstenen die een bijdrage leveren aan de waterveiligheidsopgave
	
2	**Genereren mogelijke oplossingsrichtingen en selecteren mogelijke alternatieven** oplossing = combinatie van bouwstenen waarmee de veiligheidsopgave wordt opgelost
	
3	**Selecteren kansrijke alternatieven (zeef 1)**
	
4	**Uitwerken kansrijke alternatieven**
5	**Beoordelen kansrijke alternatieven (zeef 2)**
	
6	**Uitwerken Voorkeursalternatief**

BIJLAGE 2

Beoordelingstabellen zeef 2

Overzichtstabellen

HKV LIJN IN WATER

Royal HaskoningDHV

	L1 Binnenwaarts versterken-glad boventalud	L2 Binnenwaarts versterken-ruw boventalud	L3 Buitenwaarts versterken -glad boventalud	L4 Buitenwaarts versterken-ruw boventalud
Techniek en toekomstbestendigheid	4,3	4,3	3,7	3,3
Duurzaamheid	3,0	3,7	3,0	3,0
Planning	4,0	4,0	3,0	3,0
Inpassing in de omgeving	3,5	3,8	2,8	3,3
Gebruik en beleving van de dijk	4,5	4,5	4,0	4,0
Onderdeel voorkeursalternatief?	JA	JA	NEE	NEE
Eindscore	**3,87**	**4,05**	**3,28**	**3,32**

Thema	Criterium Zeef 2	Toelichting criterium					Toelichting score (verkorte versie)
1. Technisch en Toekomstbestendigheid							
	Haalbaar en maakbaar	Zijn gebruikte technieken bewezen of innovatief? Hoe complex (1) zijn de technieken?	4	5	3	3	De maakbaarheid van de alternatieven binnenwaarts is groter en de kansen voor slim gebruiken huidige dijkopbouw/materialen zijn groter. Er zijn minder grondaanvullingen nodig (dus stabiliteit buitenwaarts geen issue), er hoeft niet gewerkt te worden in de intergetijdezone. Het werken in de intergetijdezone moet buiten het stormseizoen en tijdens laagwater, het verplaatsen van het teenschot is dus een nadeel bij de buitendijkse alternatieven. glad binnenwaarts heeft meer ruimtebeslag richting wegverharding en aangrenzende K&L
	Uitbreidbaarheid	Mate waarin toekomstige versterking mogelijk is in hoogte breedte en sterkte.	4	4	4	4	Alle alternatieven uitbreidbaar
	Beheerbaarheid	Gevolgen van de bouwsteen op het regulier beheer en onderhoud en tijdens calamiteiten, alsmede de mogelijkheid voor verbeteren van de beheersituatie.	5	4	4	3	Een rijroute onderin blijft bestaan bij handhaven huidige geometrie (positief alternatoeven binnendijks). Bij uitbreiding buitenwaarts geeft dit extra kosten en extra ruimtebeslag en is dit daarom niet voorzien in ontwerp. De rijroute als inspectieroute van bijv. drijfvuil op de stortsteen wordt gewaardeerd door beheerders. Een glad boventalud heeft de voorkeur van de beheerder.
2.Duurzaamheid							
	Levensduur	De gevoeligheid op (onvoorziene) veranderingen in maatgevende hydraulische belastingen en de levensduur van materialen, waardoor versterking binnen 50 jaar (planperiode) benodigd wordt.	3	3	3	3	Elk profiel ontworpen voor 50 jaar.
	Milieu-impact aanleg	MKI	€ 4.093.515,27	€ 3.865.938,49	€ 4.136.275,95	€ 4.251.683,89	
		Milieu-impact van de winning, transport en verwerking van de grondstoffen benodigd voor de realisatiefase	3	4	3	3	verschillende scores bepaald aan de hand van berekeningen Dubocalc
	Milieu-impact aanleg 50 jaar	MKI	€ 4.317.122,76	€ 4.039.332,09	€ 4.345.385,34	€ 4.395.435,37	
		Milieu-impact van de dijk voor de levensduur van 50 jaar (inclusief beheer- en onderhoudswerkzaamheden)	3	4	3	3	verschillende scores bepaald aan de hand van berekeningen Dubocalc
3. Planning							
	Benodigde procedures	Tijd benodigd voor wijziging bestemmingsplannen, benodigde vergunningen, onteigening e.d.	4	4	3	3	Buitenwaarts lastiger door werk in Natura 2000 gebied. Naar verwachting wel vergunbaar zonder compensatieopgave in de Waddenzee (effecten niet significant voor ecologie), mits het helder te motiveren is waarom binnenwaarts niet mogelijk is.
	Realisatieplanning	Technische uitvoeringsduur, mede i.r.t. stormseizoen.	4	4	3	3	Uitbreiding buitenwaarts vraagt meer werken in intergetijdezone (werken alleen tijdens laagwater). Dit heeft invloed op de realisatieplanning. Echter zijn alle alternatieven uitvoerbaar over een periode van 2 jaar, dit is de termijn die vanuit HWBP hiervoor staat. Daarom geen onderscheid gemaakt.
4. Inpassing in de omgeving							
	Bijdrage ecologische verbetering	Mogelijkheid voor combinatie met Rijke Dijk principes, interactie Wad en land.	4	5	2	3	Ruwe bekleding bovenbeloop zeer positief door koppeling met stenige vegetaties in droge zone en goede combinatie mogelijk met ecologische koppelprojecten. Die combinatie is ook goed te maken met alternatief L1. Alternatief L3 is niet meer te combineren met de beoogde ecologische plus ter plaatse van het Vierhuizergat, behalve door de geul te versmallen (=onwenselijk) en negatief. In mindere mate geldt dit ook voor alternatief L4 (score neutraal)
	Effect op bestaande natuur	Beïnvloeding waardevolle habitats en leefgebieden beschermde soorten (N2000/ WNb).	3	3	2	3	alternatef L3 betekend meer ruimtebeslag op het wad. Alternatief L4 is hierop nog te optimaliseren; alternatieven L1 en L2 kosten geen extra ruimtebeslag op het wad
	Effect op kabels en leidingen	Mate waarin kabels en leidingen waarschijnlijk verlegd moeten worden	3	3	3	3	Inmiddels aangetoond dat leiding bij alle alternatieven met erosiekrater geen problemen oplevert voor dijkveiligheid in maatgevende situatie. Bij binnenwaarts glad moeten er aanvullende beschermende maatregelen worden getroffen en is er afstemming nodig met de leidingbeheerders in de planuitwerking. Een licht nadeel voor binnenwaarts glad
	Mogelijkheid koppel-kansen	Mate waarin koppelkansen van derden gerealiseerd kunnen worden (meekoppelen of inpassen)	4	4	4	4	Alle oplossing gelijke mogelijkheden voor koppeling met fietsroute (kiek op diek).
5. Gebruik en beleving van de dijk (ruimtelijke kwaliteit)							
	Landschap en cultuurhistorie	Mate waarin de bouwsteen aansluit bij het ruimtelijk kwaliteitskader en de landschappelijke en cultuurhistorische waarden	4	4	4	4	Alle alternatieven voldoen positief aan het ruimtelijk kader, zijn mogelijk met een groen bovenbeloop en ecologische koppelprojecten voor extra landschappelijke meerwaarde.
	Recreatieve beleving	Gevolgen van de bouwsteen voor de beleving van de dijk en de mogelijkheid tot fietsen/wandelen/ verblijven op de dijk	5	5	4	4	Alle alternatieven zijn positief voor de recreatieve beleving met een fietsroute op de hoge stormberm. Bij de alternatieven L1 en L2 is er een extra fietsmogelijkheid.

	H1 Gedeeltelijk ophogen	H2 Verticale wand in dijk
Techniek en toekomstbestendigheid	3,3	4,7
Duurzaamheid	3,3	3,0
Planning	3,0	3,0
Inpassing in de omgeving	3,0	3,7
Gebruik en beleving van de dijk	3,0	4,3
Onderdeel voorkeursalternatief?	NEE	JA
Eindscore	**3,13**	**3,73**

Thema	Criterium Zeef 2	Toelichting criterium			Toelichting score (verkorte versie)
1. Technisch en Toekomstbestendigheid					
	Haalbaar en maakbaar	Zijn gebruikte technieken bewezen of innovatief? Hoe complex (1) zijn de technieken?	3	5	Keermuur is beter maakbaar door minder ruimte beslag (++). Grondoplossing vraagt meer inpassing/maatwerk bij Haventerrein.
	Uitbreidbaarheid	Mate waarin toekomstige versterking mogelijk is in hoogte breedte en sterkte.	4	4	Beide oplossingen zijn uitbreidbaar in hoogte. (+)
	Beheerbaarheid	Gevolgen van de bouwsteen op het regulier beheer en onderhoud en tijdens calamiteiten, alsmede de mogelijkheid voor verbeteren van de beheersituatie.	3	5	Keermuur is eenvoudig te beheren en vraagt alleen maaiwerk van kruin vanaf de wegzijde. De Havenzijde is daarbij verhard. Wel aandachtspunt om bekleding muren mooi vorm te geven.
2.Duurzaamheid					
	Levensduur	De gevoeligheid op (onvoorziene) veranderingen in maatgevende hydraulische belastingen en de levensduur van materialen, waardoor versterking binnen 50 jaar (planperiode) benodigd wordt.	4	3	Versterking in grond heeft langere levensduur omdat bij constructies rekening gehouden moet worden bij vervanging einde levensduur terwijl dit bij grond in principe niet het geval is.
	Milieu-impact aanleg	MIKI	€ 105.638,10	€ 108.064,17	
		Milieu-impact van de winning, transport en verwerking van de grondstoffen benodigd voor de realisatiefase	3	3	Berekend met DuboCalc, niet onderscheidend
	Milieu-impact aanleg 50 jaar	MIKI	€ 113.699,82	€ 111.842,43	
		Milieu-impact van de dijk voor de levensduur van 50 jaar (inclusief beheer- en onderhoudswerkzaamheden)	3	3	Berekend met DuboCalc, niet onderscheidend
3. Planning					
	Benodigde procedures	Tijd benodigd voor wijziging bestemmingsplannen, benodigde vergunningen, onteigening e.d.	3	3	Er is geen verschil in benodigde procedures. Voor beide oplossingen is een goede landschappelijke inpassing nodig.
	Realisatieplanning	Technische uitvoeringsduur, mede i.r.t. stormseizoen.	3	3	Dit is niet onderscheidend
4. Inpassing in de omgeving					
	Effect op bestaande natuur	Beïnvloeding waardevolle habitats en leefgebieden beschermde soorten (N2000/ WNb).	3	3	Er worden geen effecten verwacht
	Effect op kabels en leidingen	Mate waarin kabels en leidingen waarschijnlijk verlegd moeten worden	3	4	Bij verticale wand zijn er naar verwachting minder raakvlakken met K&L cat. 2 en cat. 3
	Mogelijkheid koppel-kansen	Mate waarin koppelkansen van derden gerealiseerd kunnen worden (meekoppelen of inpassen)	3	4	Bij de verticale wand is er een betere mogelijkheid een extra overrit te faciliteren zodanig dat het landschappelijk aantrekkelijk blijft.
5. Gebruik en beleving van de dijk (ruimtelijke kwaliteit)					
	Landschap en cultuurhistorie	Mate waarin de bouwsteen aansluit bij het ruimtelijk kwaliteitskader en de landschappelijke en cultuurhistorische waarden	3	4	Keermuur is een onderbreking van de huidige situatie waarbij er overal sprake is van een grondoplossing. Wel geeft dit meer ruimte op de kruin en minder ophoging ten opzichte van de provinciale weg. Het nieuwe element keermuur kan een waardevolle toevoeging zijn en schept het orde in het havenlandschap (positief). Grondoplossing sluit beter aan bij huidige situatie maar is niet overal passend, waardoor toch onderbreking van de oplossing nodig is. Daarom neutraal
	Recreatieve beleving	Gevolgen van de bouwsteen voor de beleving van de dijk en de mogelijkheid tot fietsen/wandelen/ verblijven op de dijk	3	5	Bij de keermuur ontstaat een extra recreatieve route voor voetgangers (zeer positief). Het blijft mogelijk vanaf de kruin het uitzicht te behouden als fietser bij de grondoplossing, net zoals in de huidige situatie (neutraal).
	verkeer en vervoer	Effect op bereikbaarheid en verkeersveiligheid	3	4	Beide oplossingen zorgen voor weinig verandering in de huidige situatie voor auto's en fietsers. Bij de keermuur draagt een duidelijker situatie voor voetgangers bij aan de verkeersveiligheid (positief)

BIJLAGE 3A

Hoeveelheden ontwerp

Afkomstig uit 3D model en dwarsprofielen

HKV LIJN IN WATER

Royal HaskoningDHV

Hoeveelhedensheet Lauwersmeerdijk - Vierhuizergat - VKA
output van 20 februari 2020 (C3D en CAD)

						4500m	2600m	4500m	2600m	580m	580m	400m	125m	50m	100m	50m	700m
Use?	Discipline	Activiteit	Eenheid	Civil3D codering	Toelichting	COR-Binnenwaarts-Glad-LD1	COR-Binnenwaarts-Glad-LD2	COR-Binnenwaarts-Ruw-LD-1	COR-Binnenwaarts-Ruw-LD-2	COR-Haven-Smalle-Kruinverhoging	COR-Haven-Verticale Wand	COR-Haven-Deeltraject-0	COR-Haven-Deeltraject-1	Haven-Deeltraject-2	Haven-Deeltraject-4	Haven-Deeltraject-6	COR-Haven-Deeltraject-8
1	Grondwerk	Ontgraven Grond	m3	MAT_V_GW_GROND		85.318	42.413	93.830	48.886	4.550	7.253	-	789	938	2.134	472	6.159
1	Grondwerk	Ontgraven Teelaarde	m3	MAT_V_GW_TEELAARDE		16.623	9.190	16.710	8.400	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Grondwerk	Aanbrengen Grond	m3	MAT_N_GW_GROND	aanname kern materiaal	41.876	38.473	909	15.473	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Grondwerk	Aanbrengen Teelaarde	m3	MAT_N_GW_TEELAARDE	top / groeilaag	24.469	13.025	20.777	11.654	1.014	710	-	234	268	-	133	-
1	Grondwerk	Aanbrengen Klei	m3	MAT_N_GW_KLEI	deklaag	93.556	50.093	79.411	54.837	6.133	4.627	-	763	670	1.454	333	5.600
1	Grondwerk	Aanbrengen Zand	m3	MAT_N_GW_ZAND	kernmateriaal	2.198	4.996	2.184	4.967	2.038	30	-	-	-	-	-	-
1	Bekledingen	Verwijderen Zetsteen	m2	MAT_V_OB_ZETSTEEN		-	-	-	-	-	-	9.803	-	-		-	-
1	Bekledingen	Verwijderen Waterbouwasfalt	m2	MAT_V_OB_WAB		75.109	44.258	75.109	44.258	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Bekledingen	Aanbrengen Grind	m3	MAT_N_OB_GRIND		1.597	909	3.687	2.075	278	281	-	10	-	250	-	559
1	Bekledingen	Aanbrengen Zetsteen	m3	MAT_N_OB_ZETSTEEN	let op! In m3. diverse hoogtes	13.212	6.861	13.212	6.861	719	707	2.941	25	-	409	-	1.397
1	Bekledingen	Aanbrengen Waterbouwasfalt	m2	MAT_N_OB_WAB		89.079	52.781	68.664	41.400	-	1.899	-	-	-	-	-	-
1	Bekledingen	Aanbrengen Granulaat	m3	MAT_N_OB_GRANULAAT		17.833	10.566	13.729	8.278	-	-	-					
1	Bekledingen	Aanbrengen Geotextiel	m2	MAT_N_OB_GEOTEXTIEL		15.883	9.038	36.861	20.744	3.350	3.504	-	124	-	2.046	-	6.986
1	Verhardingen	Verwijderen Asfalt	m2	MAT_V_VH_ASFALT	waterbouwasfalt (Haven)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.802
1	Verhardingen	Aanbrengen Asfalt	m2	MAT_N_VH_ASFALT	fietspad (aanbrengen is ook opbreken)	-	-	-	-	1.765	-	-	-	-	-	-	-
1	Bekledingen	Aanbrengen Zetsteen Ruw (Boventalud)	m2	MAT_N_OB_ZETSTEEN_RUW		-	-	20.594	11.484	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Bekledingen	Verwijderen koperslakblok	m3	MAT_V_OB_KOPERSLAKBLOK		15.692	8.968	15.692	8.968	-	-	-	-	-	-	-	-
1		Aanbrengen Betonelementen in trapvorm	m2		Haven										431		
1		Verwijderen Betonelementen	m2		Haven										314		
1		Aanbrengen Geogrid	m2		Haven											665	
1		L wand	m	MAT_N_LMUUR_BETON	Haven						573						
1	-	Geogrid aanbrengen binnentalud	m2	MAT_N_OB_GEOGRID	Hoeveelheiden 2D berekend	7.660	-	18.441	-	-	-	-	-	-	-	665	-
1	-	Teenberscherming - Stortsteen 300-1000	m3	MAT_N_OB_STORTSTEEN_300-1000	Hoeveelheiden 2D berekend	44.016	-	44.016	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	-	Teenberscherming - Stortsteen 60-300	m3	MAT_N_OB_STORTSTEEN_60-300	Hoeveelheiden 2D berekend	-	13.310	-	13.310	-	-	-	-	-	-	-	-
1	-	Binnendijkse weg - Weg minder breed	m		2D Berekend - geen onderscheid LD1/LD2	-	1.411	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	-	Binnendijkse weg - Berm verleggen	m		2D berekend - geen onderscheid LD1/LD2	3.837	-	1.506	-	-	-	-	-	-	-	-	-

BIJLAGE 3B

Kostennota

Exclusief bijlagen

HKV LIJN IN WATER

Royal HaskoningDHV

RAPPORT

Kostennota VKA Dijkversterking Lauwersmeerdijk - Vierhuizergat

Verkenningsfase

Klant: Waterschap Noorderzijlvest

Referentie: BG3034-RHD-ZZ-XX-RP-Z-0001
Status: Definitief/v2.0d
Datum: 1 april 2020

Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Postbus 1132
3800 BC Amersfoort
Water
Trade register number: 56515154

+31 88 348 20 00 **T**
+31 33 463 36 52 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document:	Kostennota VKA Dijkversterking Lauwersmeerdijk - Vierhuizergat
Ondertitel:	
Referentie:	BG3034-RHD-ZZ-XX-RP-Z-0001
Status:	v2.0d/Definitief
Datum:	1 april 2020
Projectnaam:	Dijkversterking
Projectnummer:	BG3034
Auteur(s):	Wouter Kanger

Opgesteld door:	Wouter Kanger
Gecontroleerd door:	Sander Post
Datum/paraaf:	1 april 2020
Goedgekeurd door:	Jan Valk
Datum/paraaf:	1 april 2020

Classificatie
Vertrouwelijk

Disclaimer

No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV Nederland B.V.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV Nederland B.V. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The integrated QHSE management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 and ISO 45001:2018.

Royal HaskoningDHV

Inhoud

1 Samenvatting 1

2 Inleiding 4

2.1 Aanleiding 4

2.2 Algemene omschrijving project 4

2.3 Subsidieregeling 5

2.4 Doel van de raming 7

3 Werkwijze 8

3.1 Inventarisatie 8

3.2 Prijspeil 8

3.3 Dossiervorming 8

3.4 Toetsing van de raming 9

3.5 Modelstructuur 9

4 Scope 11

4.1 Scope beschrijving 11

4.1.1 Voorkeursalternatief 11

4.1.2 Ontwerp 14

4.1.3 Projectdecompositie hoofdlijnen 16

4.1.4 Eisen aan de kostenraming 17

4.2 Scope wijzigingen 18

4.3 Uitsluitingen scope 18

4.4 Planning 19

4.5 Relatie met andere projecten 19

5 Interpretatie van de scope 20

5.1 Inleiding 20

5.2 Structuur van de raming 20

5.3 Algemene uitgangspunten 21

5.3.1 Aanleg 21

5.3.2 Beheer en Onderhoud 22

5.4 Toelichting modules 23

5.5 Uitgangspunten Ontwerp 31

5.6 Uitgangspunten Hoeveelheden 31

5.7 Uitgangspunten Prijzen 33

5.8 Uitgangspunt contractvorm 35

6 Risicoreservering 37
6.1 Risicodossier 37
6.2 Risicoreserveringen 37
6.2.1 Objectgebonden risicoreservering 37
6.2.2 Objectoverstijgende risicoreservering 37
6.2.3 Scheefte 37
6.3 Analyse totaalsom risicoreservering 38

7 Resultaten van de raming 40
7.1 Resultaten 40
7.2 Risicobijdrage en onzekerheden 42
7.3 Koppelprojecten 45

8 Verschillen analyse 47
8.1 Verschillen ten opzichte van vorige kostennota 47

9 Aanbevelingen 48
9.1 Algemene aanbevelingen volgende projectfase 48
9.2 Aanbevelingen risicobeheersing 48

Bijlagen

Bijlage 1 – Referenties
Bijlage 2 – Organisatie
Bijlage 3 – SSK raming
Bijlage 4 – Risicodossier
Bijlage 5 – Logboek
Bijlage 6 – Hoeveelheden
Bijlage 7 – Prijzen
Bijlage 8 – Ontwerpdocumenten

1 Samenvatting

Algemene Projectinformatie

De waddenzeedijk tussen Lauwersoog en het Vierhuizergat is gedeeltelijk afgekeurd, omdat deze niet voldoet aan de wettelijke norm. Waterschap Noorderzijlvest, de beheerder van deze dijk, gaat daarom over tot versterken in het kader van het nationale Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP).
De opgave voor dit traject betreft meerdere dijkvakken en meerdere faalmechanismen. Over het algemeen kan worden gesteld dat de bekleding van de dijken onvoldoende sterkte heeft en de dijk over een groot deel van de lengte niet voldoet aan de gewenste hoogte. De dijk is opgedeeld in drie trajecten:

- Haven (westelijk deel),
- Landelijke Dijk 1 (midden traject Vierhuizergat),
- Landelijke Dijk 2 (oostelijk deel Westpolder).

Momenteel bevindt het project zich in de Verkenningsfase en is er een voorkeursalternatief (VKA) opgesteld voor de drie dijkvakken. Het VKA is samengesteld uit de Kansrijke Alternatieven van de vorige fase binnen de Verkenning en bestaat uit:

- Haven: variant ‘Smalle kruinverhoging’ en variant ‘Verticale wand’
- Landelijke Dijk: 1. Binnenwaartse versterking met een variant voor ‘glad’ en ‘ruw’
- Landelijke Dijk: 2. Binnenwaartse versterking met een variant voor ‘glad’ en ‘ruw’

Het VKA is dus nog niet vastgesteld op één oplossingsrichting maar omvat nog varianten, voor verdere detaillering en onderzoek in de Planuitwerkingsfase.
Deze kostennota omvat de raming van kosten van het VKA voor de dijkversterking van de drie dijkvakken met daarbij de genoemde varianten.

Resultaten Projectraming Voorkeursalternatief

De ramingen van het VKA zijn gemaakt met behulp van de Standaard Systematiek Kostenramingen (SKK). De probabilistische Projectramingen (Investeringskosten en Levensduurkosten) hebben prijspeil 1 februari 2020 en zijn geraamd inclusief B.T.W. Het betreft raming versie 2.0d van 1 april 2020.

Samenvatting SSK	***variant 1***	***variant 2***	***variant 3***	***variant 4***
	Totaal	*Totaal*	*Totaal*	*Totaal*
Kostencategorieën				
Investeringskosten (indeling naar categorie):	**Kruin / Glad**	**Wand / Ruw**	**Kruin / Ruw**	**Wand / Glad**
Bouwkosten	**€ 40.278.646**	**€ 39.332.392**	**€ 39.001.283**	**€ 40.609.755**
Vastgoedkosten	**€ -**	**€ -**	**€ -**	**€ -**
Engineeringskosten Deelraming Eng. Planfase	€ 5.299.371	€ 5.299.371	€ 5.299.371	€ 5.299.371
Engineeringskosten Deelraming Eng. UO fase	€ 1.465.480	€ 1.465.480	€ 1.465.480	€ 1.465.480
Engineeringskosten Deelraming Eng. Realisatie	€ 5.472.294	€ 5.472.294	€ 5.472.294	€ 5.472.294
Engineeringskosten	**€ 12.237.145**	**€ 12.237.145**	**€ 12.237.145**	**€ 12.237.145**
Overige bijkomende kosten	**€ 3.732.689**	**€ 3.247.430**	**€ 3.694.368**	**€ 3.285.751**
Subtotaal investeringskosten	**€ 56.248.480**	**€ 54.816.968**	**€ 54.932.796**	**€ 56.132.652**
Objectoverstijgende risico's	€ 4.936.163	€ 4.864.588	€ 4.870.379	€ 4.930.372
Investeringskosten deterministisch	**€ 61.184.644**	**€ 59.681.555**	**€ 59.803.175**	**€ 61.063.023**
Scheefte	€ 1.088.123	€ 1.041.182	€ 1.000.533	€ 1.149.844
Investeringskosten exclusief BTW	**€ 62.272.767**	**€ 60.722.737**	**€ 60.803.708**	**€ 62.212.867**
BTW	€ 11.772.159	€ 11.451.333	€ 11.470.736	€ 11.756.751
Investeringskosten inclusief BTW	**€ 74.044.926**	**€ 72.174.070**	**€ 72.274.444**	**€ 73.969.618**
Investeringskosten inclusief BTW - CW	**€ 72.069.830**	**€ 70.251.781**	**€ 70.348.793**	**€ 71.997.215**

Tabel 1-1: Samenvatting SSK-raming Investeringskosten VKA varianten (combinatie Haven en Landelijke Dijk 1 en 2)

Levensduurkosten:	Kruin / Glad	Wand / Ruw	Kruin / Ruw	Wand / Glad
Subtotaal levensduurkosten	**€ 60.559.291**	**€ 63.356.298**	**€ 61.663.813**	**€ 62.251.777**
Objectoverstijgende risico's	€ 6.055.929	€ 6.335.630	€ 6.166.381	€ 6.225.178
Levensduurkosten deterministisch	**€ 66.615.220**	**€ 69.691.928**	**€ 67.830.194**	**€ 68.476.954**
Scheefte	€ 1.971.430	€ 1.813.634	€ 1.765.906	€ 2.129.532
Levensduurkosten exclusief BTW	**€ 68.586.650**	**€ 71.505.562**	**€ 69.596.100**	**€ 70.606.486**
BTW	€ 14.264.704	€ 14.871.782	€ 14.474.650	€ 14.684.791
Levensduurkosten inclusief BTW	**€ 82.851.354**	**€ 86.377.344**	**€ 84.070.750**	**€ 85.291.277**
Levensduurkosten inclusief BTW (contante waarde), d	**€ 16.222.658**	**€ 15.857.180**	**€ 15.403.760**	**€ 16.702.182**
t 70% zekerheid liggen de levensduurkosten inclusief BTW tussen	*€ 110.724.319*	*€ 115.761.424*	*€ 112.595.494*	*€ 114.139.977*
Variatiecoëfficiënt				
Projectkosten inclusief BTW	**€ 156.896.280**	**€ 158.551.414**	**€ 156.345.194**	**€ 159.260.895**
Projectkosten inclusief BTW (contante waarde), di	**€ 88.292.488**	**€ 86.108.960**	**€ 85.752.554**	**€ 88.699.397**
Budgetvaststelling investeringskosten:				
Investeringskosten inclusief BTW	€ 74.044.926	€ 72.174.070	€ 72.274.444	€ 73.969.618
Verkenningsfase kosten	**€ 4.849.766**	**€ 4.849.766**	**€ 4.849.766**	**€ 4.849.766**
Aan te houden risicoreservering en totaal budget invest	**€ 78.894.692**	**€ 77.023.836**	**€ 77.124.210**	**€ 78.819.384**

Tabel 1-2: Samenvatting SSK raming Levensduurkosten + totaal VKA (combinatie Haven en Landelijke Dijk 1 en 2)

In de investeringskosten van de varianten zijn de kosten voor de Planuitwerkingsfase, Uitvoerings-ontwerpfase en Engineering van de Realisatiefase in aparte deelramingen meegenomen. De kosten van de Verkenningsfase zijn hierbuiten gehouden maar wel in de totaaltelling voor het budget meegenomen, zie tabel 1-2.

De gewenste variatiecoëfficiënt voor deze fase bedraagt < 25%. De ramingen hebben een variatiecoëfficiënt van 17% en 18% voor de Investeringskosten en 32% voor de Levensduurkosten en vallen daarmee binnen de gestelde richtlijn.

De getoonde tabellen laten de resultaten van de kostenramingen zien zowel nominaal, als met een contante waarde (CW), waarbij een discontovoet van 3% is aangehouden. De looptijd van de investeringskosten bedraagt 3 jaar, de looptijd van de levensduurkosten bedraagt 100 jaar. Op basis van de Contante Waarde is Variant 3 het voordeligst.

In het deel Levensduurkosten zijn de beheer- en onderhoudskosten geraamd inclusief vervanging van de gerealiseerde objecten. De SSK genereert ook een overzicht van de gemiddeld jaarlijkse onderhoudskosten exclusief deze vervangingen; de resultaten zijn als volgt (nominaal, incl. BTW).

- Variant 1 € 297.555,- gemiddeld per jaar,
- Variant 2 € 291.544,- gemiddeld per jaar,
- Variant 3 € 278.375,- gemiddeld per jaar,
- Variant 4 € 311.247,- gemiddeld per jaar.

Subsidiabele kosten

Het Voorkeursalternatief is ontworpen met de ontwerpgedachte van een sobere en doelmatige dijkversterking. De Investeringskosten zijn voor 90% subsidiabel (bijdrage van het HWBP aan de totale projectkosten en 10% voor het Waterschap Noorderzijlvest). De Levensduurkosten zijn niet subsidiabel.

In de hierboven genoemde bedragen is niet gerekend met de Koppelkansen. Een aantal koppelprojecten zijn separaat geraamd:

- Natuurlijke overgangen en onderwaternatuur € 4.597.785,-
- Kwelderontwikkeling € 1.986.341,-
- Zoet-zoutovergang en vismigratie € 13.861.443,-

De Westelijke Havendam is niet geraamd (door Royal HaskoningDHV).

De kosten voor het compenseren van de bodemdaling als gevolg van gaswinning is tevens apart geraamd, de bedragen zijn deterministische investeringskosten inclusief BTW:

- Variant Binnenwaarts Glad: € 565.910,-.
- Variant Binnenwaarts Ruw: € 665.703,-.

Belangrijke projectrisico's en onzekerheden
Uit de probabilistische doorrekening komen posten naar voren welke een grote bijdrage leveren aan de bandbreedte van de kosten, dit zijn voor de investeringskosten onder andere:
Investeringskosten:

- Benoemde risico's
- Aanbrengen waterbouwasfalt
- Leveren breuksteen
- Leveren zetsteen

Tot de risico's behoort onder andere hergebruik van materialen: volume hergebruik klei is te optimistisch ingeschat of de kwaliteit is minder geschikt dan verwacht.

Levensduurkosten:

- Vervangen waterbouwasfalt
- Vervangen betonzuilen
- Risicoreserveringen

Aanbevelingen
In de Planuitwerkingsfase zal het ontwerp verder worden uitgewerkt, waarbij vooral gekeken zal (moeten) worden naar:

- Fasering en maakbaarheid van het werk,
- Aantal en locaties voor tijdelijke depots,
- Haalbaarheid loswal en onderzoek naar locatie, type constructie en voorzieningen,
- Integratie van koppelprojecten,
- Verleggingsplan kabels en leidingen met oog op waterveiligheid in de haven, waarbij ook inzicht komt in compensatieregeling,
- Raakvlak met leidingen langs de Kustweg
- Inzicht in grondstromen en hergebruikmogelijkheden (beschikbare klei uit het werk)
- Stikstof problematiek
- Mitigerende maatregelen
- Afstemming met Defensie over onderhoud onderhoudsweg

Aanbevelingen met betrekking tot risicobeheersing:
Waar mogelijk de kans en gevolgklassen nader onderbouwen voor de Planuitwerkingsfase. Dit is vooral mogelijk voor de gevolgkosten en dan focus op de risico's met grote gevolgkosten. Het risicodossier dient verder nog uitgebreid te worden met een duidelijke allocatie voor Opdrachtgever- en Opdrachtnemers-risico's.

2 Inleiding

2.1 Aanleiding

De Waddenzeedijk tussen de haven van Lauwersoog en de Westpolder is gedeeltelijk afgekeurd, omdat deze niet voldoet aan de wettelijke norm. Het project Lauwersmeerdijk – Vierhuizergat bestaat uit de versterking van normtraject 6-5 in het beheergebied van Waterschap Noorderzijlvest met een opgave vanuit de 3e toetsronde, waarin de asfaltbekleding is afgekeurd. Een nadere veiligheidsanalyse (HKV, 2018) heeft aangetoond dat de gehele dijkbekleding op het buitentalud en de dijkhoogte niet voldoen aan de eisen uit de Waterwet.
De Waterwet schrijft voor dat de primaire waterkeringen elke twaalf jaar moeten worden getoetst om te beoordelen of ze voldoen aan de wettelijke normen voor de waterveiligheid. De afgekeurde dijken worden versterkt binnen het landelijke hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP). Waterschap Noorderzijlvest is als beheerder en initiatiefnemer verantwoordelijk voor de voorbereiding en realisatie van de dijkversterking.

Het project volgt de fase-indeling conform de MIRT-systematiek. Momenteel bevindt het project zich in de verkenningsfase. Het doel van deze verkenning is om een voorkeursalternatief (VKA) vast te stellen. De periode 2020/2025 staat gepland voor de planuitwerkingsfase en realisatiefase. Het Waterschap is voornemens de planuitwerkingsfase en realisatiefase in bouwteam-verband uit te laten voeren.

2.2 Algemene omschrijving project

Het westelijk deel van de Lauwersmeerdijk, dat loopt tot aan de Cleveringsluizen, valt binnen het beheergebied van Wetterskip Fryslân. Dit deel maakt geen onderdeel uit van de verkenning. Het projectgebied betreft het dijklichaam in grond (inclusief bekleding, voor- en achterland) en de tusseneilanden van het Cleveringsluizen complex. De constructieve elementen van de Cleveringsluizen en de Robbengatsluis maken geen deel uit van het project, dit zijn de enige kunstwerken binnen het traject.
Direct ten oosten van de Cleveringsluizen ligt buitendijks de haven van Lauwersoog. Naast horecavoorzieningen zijn hier bedrijven gevestigd, voornamelijk visserij gerelateerd en is dit de haven voor de veerpont naar Schiermonnikoog. Binnendijks ligt de N361 en recreatievoorzieningen (jachthaven en camping).

In het midden van het projectgebied bevindt zich de getijdegeul “het Vierhuizergat” voor de dijk. Binnendijks ligt de Kustweg, een openbare weg. Daarachter ligt een oefenterrein van Defensie.
In het oostelijk deel van de dijk, richting de Westpolder, liggen buitendijks kwelders, en binnendijks deels het terrein van Defensie en deels agrarische percelen.

Het projectgebied is afgebeeld in figuur 2-1 op de volgende pagina.

Figuur 2-1: Projectgebied met de dijkvakken

Opdrachtgever:
De dijkversterking Lauwersmeerdijk - Vierhuizergat wordt uitgevoerd binnen het Hoogwaterbeschermings-programma (HWBP). De opdrachtgever is het Directoraat Generaal Water en Ruimte (DG-RW) van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. Het Ministerie is verantwoordelijk voor het beschikbaar stellen van financiën, de randvoorwaarden en het nemen van beslissingen aangaande de financiën door het Rijk. Het Waterschap Noorderzijlvest (OG) heeft de opdracht de dijkversterking te realiseren en is opdrachtgever voor de realisatie van het project.

Opdrachtnemer:
De opdrachtnemer voor deze Verkenningsfase is Royal HaskoningDHV (IB).

Zie bijlage 2 voor een overzicht van de bij de Verkenning betrokken sleutelfiguren van OG-zijde en IB-zijde.

2.3 Subsidieregeling

De kosten voor de versterking zijn (voor 90%) subsidiabel, mits voldaan wordt aan de eisen van de subsidieregeling.
De subsidieregeling bestaat (o.a.) uit:
- Regeling subsidies hoogwaterbescherming 2014 (geldend van 15 december 2017) [2]
- Deel B Handreiking subsidiabele en niet-subsidiabele kosten (januari 2019) [3]

De raming is gericht op de kosten voor de realisatiefase, de in de Subsidieregeling gestelde voorwaarden voor een maatregel die in een subsidieprogramma is vermeld als maatregel die zich in de Realisatiefase bevindt, worden hieronder benoemd. Daarna volgt een toelichting hoe deze zaken in de raming zijn verwerkt.
a) Kosten van voorbereiding, administratie en toezicht,
b) Kosten voor het verkrijgen van de voor deze fase benodigde vergunningen,
c) Kosten voorvloeiend uit een voor de realisatie van het werk gesloten overeenkomst van aanneming van werk,

d) Kosten van verwerving van een onroerende zaak of van een beperkt recht op een onroerende zaak gesloten overeenkomst,
e) Kosten voortvloeiend uit een overeenkomst ten behoeve van de realisatie van het werk (anders dan bedoeld in c en d,
f) Kosten ten gevolge van de voor het verleggen van kabels en leidingen verschuldigde nadeelcompensatie,
g) Kosten ten gevolge van nadeelcompensatie aan derden (anders dan f),
h) Kosten van bodemsanering,
i) Kosten van de opruiming van explosieven,
j) Kosten van een reservering voor voorziene en van een reservering voor onvoorziene risico's,
k) Kosten anders dan de kosten, bedoeld in de onderdelen a tot en met i, die in redelijkheid zijn aan te merken als realisatiekosten.

Niet voor reguliere vergoeding komen in aanmerking:
- de kosten voor bodemsanering die voor vergoeding in aanmerking komen op grond van het bepaalde bij of krachtens de Wet bodembescherming,
- de kosten voor de opruiming van explosieven die door een gemeente worden vergoed,
- de kosten die voortkomen uit achterstallig onderhoud,
- de kosten waarvoor reeds subsidie is versterkt,
- de kosten die de subsidieaanvrager op andere wijze vergoed kan krijgen.

De kosten van de het VKA zijn niet subsidiabel voor het deel 'Levensduurkosten'. De Investeringskosten zijn wel subsidiabel.

Hieronder volgt per onderdeel een toelichting op de in lid 1 genoemde punten:

Ad a: in de SSK-raming zijn de voorbereidingskosten en begeleidingskosten voor de uitvoering opgenomen vanaf Planuitwerkingsfase bij kostencategorie Engineering. De voorbereidingskosten van de Verkenningsfase zijn apart inzichtelijk gemaakt, zie ook bijlage 7.3. De kosten zijn eveneens subsidiabel.

Ad b: kosten voor het aanvragen van vergunningen maken onderdeel uit van de Engineeringskosten in de SSK-raming. De legeskosten zijn opgenomen bij de Overige Bijkomende Kosten in de SSK-raming.

Ad c: de realisatiekosten/ bouwkosten zijn geraamd op basis van het ontwerp.

Ad d: voor het project is geen grondverwerving nodig. Tijdelijk gebruik van gronden is voorzien in Nader te Detailleren.

Ad e: zie bij c.

Ad f: de kosten voor het maken van overeenkomsten ten behoeve van het verleggen van kabels en leidingen zijn onderdeel van de Engineeringskosten. De verleggingskosten zijn geraamd en opgenomen bij de Overige Bijkomende Kosten.

Ad g: nadeelcompensatie of planschade is niet als voorziene kosten geraamd, maar onderdeel van de risicoreservering.

Ad h: op dit moment zijn geen locaties bekend waar een bodemverontreiniging aanwezig is. Eventueel aantreffen van verontreinigingen is onderdeel van de risicoreservering

Ad i: er is geen reservering ogenomen voor het ruimen van (niet gesprongen) explosieven. In deze fase is nog niet bekend in welke mate explosieven voorkomen. Onderzoek is opgenomen bij Engineeringskosten in de SSK.

Ad j: de risicoreserveringen (benoemd en niet benoemd) zijn binnen de verschillende kostencategorieën opgenomen.

2.4 Doel van de raming

De kostennota heeft ten doel alle “ins” en “outs” van de kostenraming vast te leggen zodat transparant herleid kan worden hoe de raming tot stand is gekomen. Tevens geeft het inzicht in de opbouw, de trefzekerheid en de risico’s van het project.
Doel in deze projectfase, na zeef 2, is het ramen van de kosten ten behoeve van de subsidieaanvraag bij het hoogwaterbeschermingsprogramma. Verder geeft de raming inzicht in de te verwachten realisatiekosten.

3 Werkwijze

3.1 Inventarisatie

Voor het opstellen van de kostenramingen heeft met het interne projectteam overleg plaats gevonden ten aanzien van de varianten binnen het VKA, de bepaling van hoeveelheden van grondhoeveelheden en bekledingen en constructies. Verder is informatie verzameld van conditionerende onderzoeken en andere voor de raming relevante informatie. Hieronder een lijst van gebruikte documenten en bronnen. De binnen [..] aangeduide documenten zijn referenties en niet opgenomen als bijlage. De benoemde referenties zijn verder aangeduid in Bijlage 1.

- Offerte aanvraag, Nadere offerte aanvraag [1]
- Bijlage Nadere offerte aanvraag met PvE [2]
- Conditionerende onderzoeken bij offerte aanvraag [3]
- Conditionerende onderzoeken tijdens Verkenning [4]
- Notitie Kansrijke Alternatieven bij zeef 1 [5.1],
- Notitie Voorkeursalternatief bij zeef 2 [5.2],
- Ramingen Kansrijke Alternatieven [6]
- Eisen HWBP [7 en 8] subsidiewijzer,
- Factsheet LCC HWBP [9],
- Risicodossier VKA Realisatie en Planfase, bijlage 4.1 en 4.2,
- Hoeveelhedensheet 3D model, bijlage 6.1,
- Ontwerpprofielen varianten, bijlage 8.1,
- Beoordeling Kabels en Leidingen notitie, bijlage 8.2,
- Kostenraming Verkenningsfase en PU fase, bijlage 7.3 en 7.4,
- Planning Planuitwerkingsfase en Realisatiefase, bijlage 6.2,
- PPI rapportage met bijlagen PU fase [10].

In het voorjaar van 2019 (24 mei 2019) heeft een kennismakingsgesprek plaats gevonden met de manager projectbeheersing van het Waterschap Noorderzijlvest en van Royal HaskoningDHV met verder als doel om zaken rondom de kostenramingen te bespreken. In december 2019 heeft opnieuw een overleg plaats gevonden om met name de engineeringskosten voor de Planfase nader te onderbouwen bij de raming van kansrijke alternatieven. Op 28 februari heeft een overleg in het kader van de concept raming van het VKA plaats gevonden met de MPB van het Waterschap.

In de fase van zeef 1 zijn globale kostenramingen gemaakt van Mogelijke Oplossingen, welke geleid hebben tot Kansrijke Alternatieven. De K.A.-ramingen zijn gebruikt om het VKA mee op te stellen.

3.2 Prijspeil

Het prijspeil van de ramingen betreft 1 februari 2020. Ten opzichte van de K.A.-ramingen heeft er een indexering plaats gevonden op de gehanteerde tarieven van arbeid en materieel. Waar nodig zijn ook de leveranties bijgesteld.

3.3 Dossiervorming

De kostenraming van het VKA is tot stand gekomen op basis van de geïnventariseerde documenten en afstemming met het projectteam. De voor de kostenraming gehanteerde documenten zijn genoemd in paragraaf 3.1 Voor het opstellen van de raming is (digitaal) een projectdossier bijgehouden. De projectmap van Royal HaskoningDHV bestaat uit de volgende hoofdonderdelen:

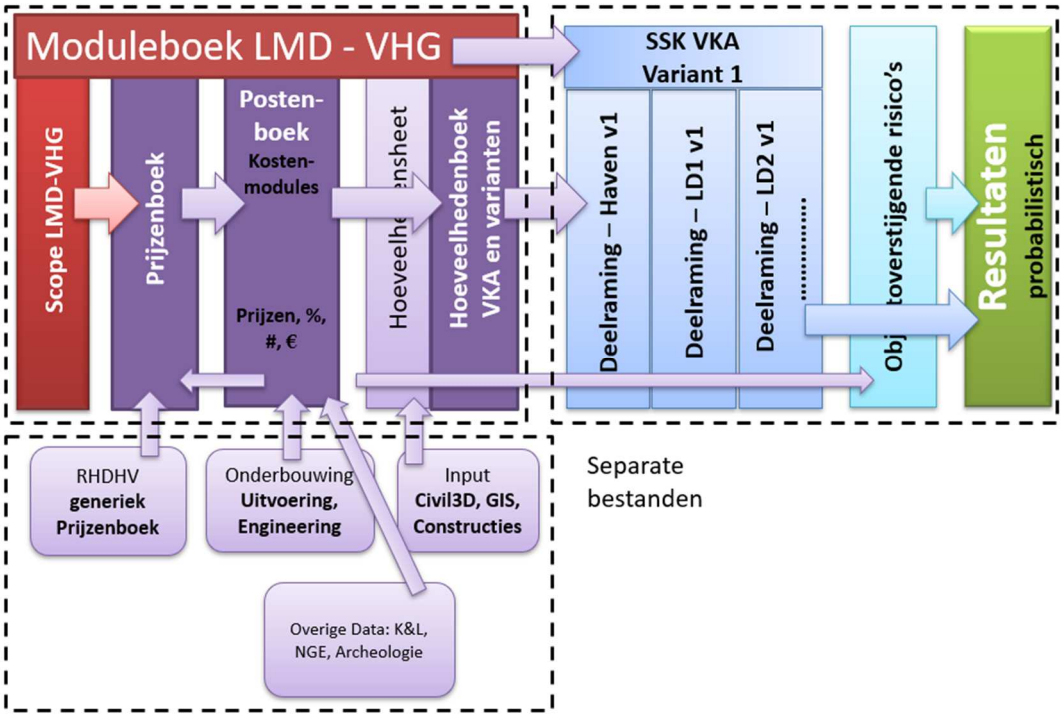
0. Ingediende versies,
1. SSK-raming en kostennota,
2. Logboek,
3. Proces,
4. Scope,
5. Ontwerp,
6. Hoeveelhedenboek,
7. Prijzenboek,
8. Risicoregister,
9. Objectenboom,
10. Voorgaande raming,
11. Toetsreacties.

3.4 Toetsing van de raming

De VKA-raming is op onderdelen getoetst tijdens het raamproces door Technisch Manager (Sander Post) van Royal HaskoningDHV en collegiaal getoetst door Roel Arts van Royal HaskoningDHV.
De huidige raming is versie 1.0c, hierin zijn tevens de toetsresultaten op de K.A.-ramingen door het Waterschap en het HWBP verwerkt. De wijzigingen en bevindingen zijn opgenomen in het logboek, bijlage 5.

3.5 Modelstructuur

De keuze van opdelen van het project in dijkvakken en daarbinnen verschillende varianten vraagt voor het genereren van kostenramingen om een gestructureerde opzet en aanpak.
Daarnaast zitten in de raming de nodige variabelen verwerkt, zaken die door de kostendeskundige en/of projectteam zijn ingeschat, waarbij zoveel mogelijk onderdelen zijn onderbouwd. Hieronder een toelichting op de gehanteerde onderdelen en structuur van de ramingen.



Figuur 3-1: schema SSK-raming VKA

De basis van de ramingen is het Moduleboek in een separaat Excel bestand. Hier is alle relevante externe data verzameld en onderbouwd, om vervolgens de aparte SSK-ramingen van het VKA met varianten mee samen te stellen. Zie schema hierboven, met als voorbeeld de SSK-raming variant 1.
Het Moduleboek omvat een tabblad Scope, met een beknopte beschrijving van de uitgangspunten en opbouw van de raming. Deze informatie is eveneens in deze Kostennota verwerkt.
In het Postenboek zijn per Module voor de Investeringskosten en Levensduurkosten de kostenposten uitgewerkt. In het postenboek zijn ook alle procentuele toeslagen opgenomen en spreidingen op hoeveelheden en prijzen.

Er is in het Moduleboek een prijzenboek samengesteld met prijsonderbouwingen van de kostenmodules. De eenheidsprijzen per kostenpost zijn naar het Postenboek gelinkt (zie paragraaf 5.7 voor verdere toelichting).

Van het VKA en de varianten zijn hoeveelheden bepaald op basis van berekeningen uit het Civil3D/Navisworks model. De output van Navisworks is verwerkt in een apart hoeveelhedensheet in Excel. Deze sheet is overgenomen in het Moduleboek en vervolgens heeft een nabewerking plaats gevonden om te komen tot de gewenste hoeveelheden (zie paragraaf 5.5 voor verder toelichting). De verzamelde hoeveelheden per kostenpost zijn direct doorgelinkt naar Excel-ramingen van de afzonderlijke alternatieven.

Er zijn twee SSK-ramingen gemaakt voor het VKA, zie paragraaf 4.1.3. De meekoppelkansen zijn in aparte SSK-ramingen gemaakt. Een toelichting hierop is verwerkt in paragraaf 7.3.

De VKA SSK (deel)ramingen bevatten alleen doorgelinkte data, geen handmatige invoer. De bestanden van het Moduleboek en de SSK-ramingen dienen altijd bij elkaar opgeslagen te worden.

4 Scope

In dit hoofdstuk worden de scope van het project en de gehanteerde uitgangspunten bij de kostenraming beschreven.

4.1 Scope beschrijving

De waterkering Lauwersmeerdijk - Vierhuizergat dient versterkt te worden om te voldoen aan de wettelijke eisen en normen volgens de Waterwet. De versterkingsopgave daartoe is opgenomen in het uitvoeringsprogramma van het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP – project 18D, traject 6-5).

De waterkering is op de meeste plekken afgekeurd op meer dan één veiligheidsaspect (faalmechanisme). Integrale versterking van de dijk vraagt dus om inzet van meerdere maatregelen. Het Waterschap Noorderzijlvest hanteert het uitgangspunt dat de dijken integraal versterkt worden voor de geplande levensduur, dat wil zeggen voor alle faalmechanismen, en niet alleen voor de mechanismen waarvoor de dijk op dit moment is afgekeurd. Daarmee wordt voorkómen dat meermalen achter elkaar versterkt moet worden. De versterking wordt uitgevoerd voor een ontwerplevensduur van 50 jaar, zie bijlage 8. De beheer- en onderhoudskosten (Levensduurkosten) zijn geraamd met een horizon van 100 jaar.

4.1.1 Voorkeursalternatief

Het Voorkeursalternatief is samengesteld uit de Kansrijke Alternatieven, door middel van diverse expert- en ontwerpsessies. Er is gekozen om binnen het VKA nog enkele varianten open te houden, deze worden in de volgende fase nader uitgewerkt om tot een definitieve keuze te komen.

Gedurende de verkenningsfase heeft een optimalisatie van de opgave plaatsgevonden op basis van geotechnisch onderzoek en modelstudies. Dit heeft geleid tot een minder grote versterkingsopgave. De uiteindelijke versterkingsopgave richt zich nu dus volledig op het versterken van de bekleding en het oplossen van de hoogte-opgave. Er wordt in basis gerekend met een toelaatbaar golfoverslagdebiet van 5 l/s/m (haventraject) en 10 l/s/m (landelijke dijktraject). De bouwstenen waarmee het ontwerp is samengesteld uit de Kansrijke Alternatieven zijn:

- Aanpassen bekleding (harde bekleding buitenbeloop),
- Profiel aanpassing (geometrisch talud en/of berm aanpassing),
- Constructieve aanpassing (bijvoorbeeld keermuur of damwand),
- Voorland- en achterlandmaatregelen (verhogen).

Voorafgaand aan het vaststellen van het VKA zijn de hydraulische randvoorwaarden herberekend en is de maatvoering aangepast van de meest kansrijke alternatieven voor het VKA. De aanpassingen hebben beperkt invloed op de alternatieven en de zeef 2 beoordeling gehad.

Het VKA met de varianten

Voor de Haven zijn twee varianten vastgesteld:

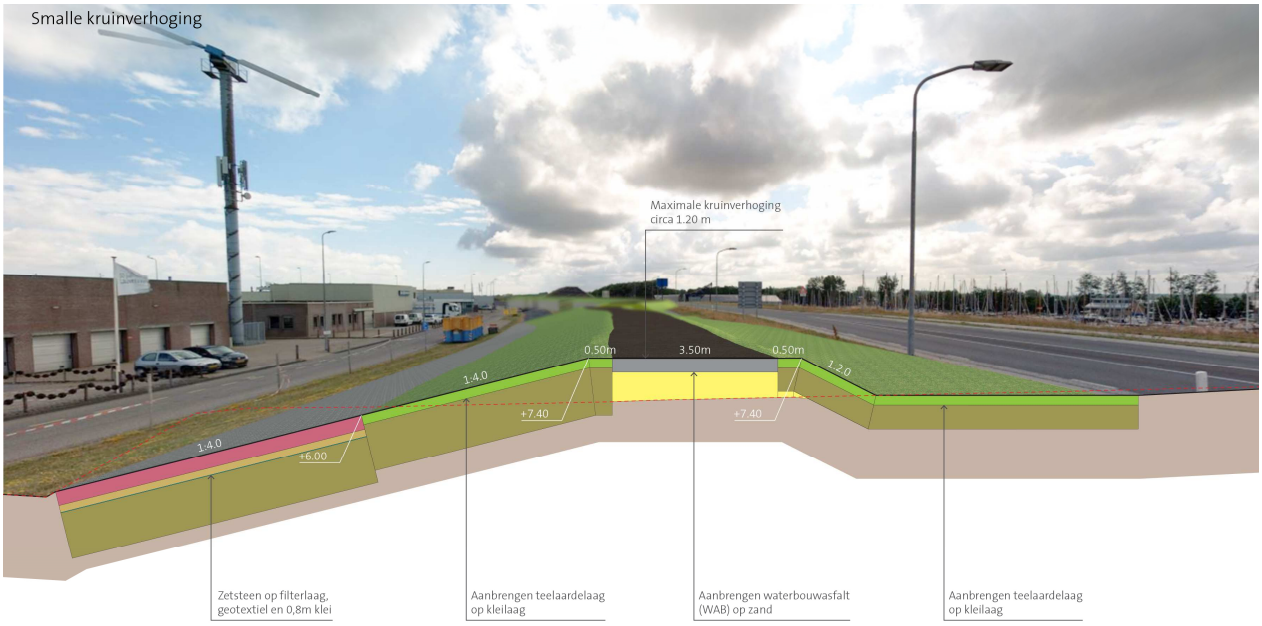
1. Smalle kruinverhoging
2. Verticale wand

De oplossingen kunnen slechts over een beperkt traject toegepast worden. Op bepaalde delen vinden andere maatregelen plaats welke niet onderscheidend zijn. Zie de volgende paragraaf 4.1.2 voor een gedetailleerde toelichting.

Variant 1 bestaat uit:

- Aanleg van een smalle kruinverhoging ter plaatse van het huidige fietspad, alleen op trajectdelen waar dit ingepast kan worden,
- Vernieuwen fietspad,

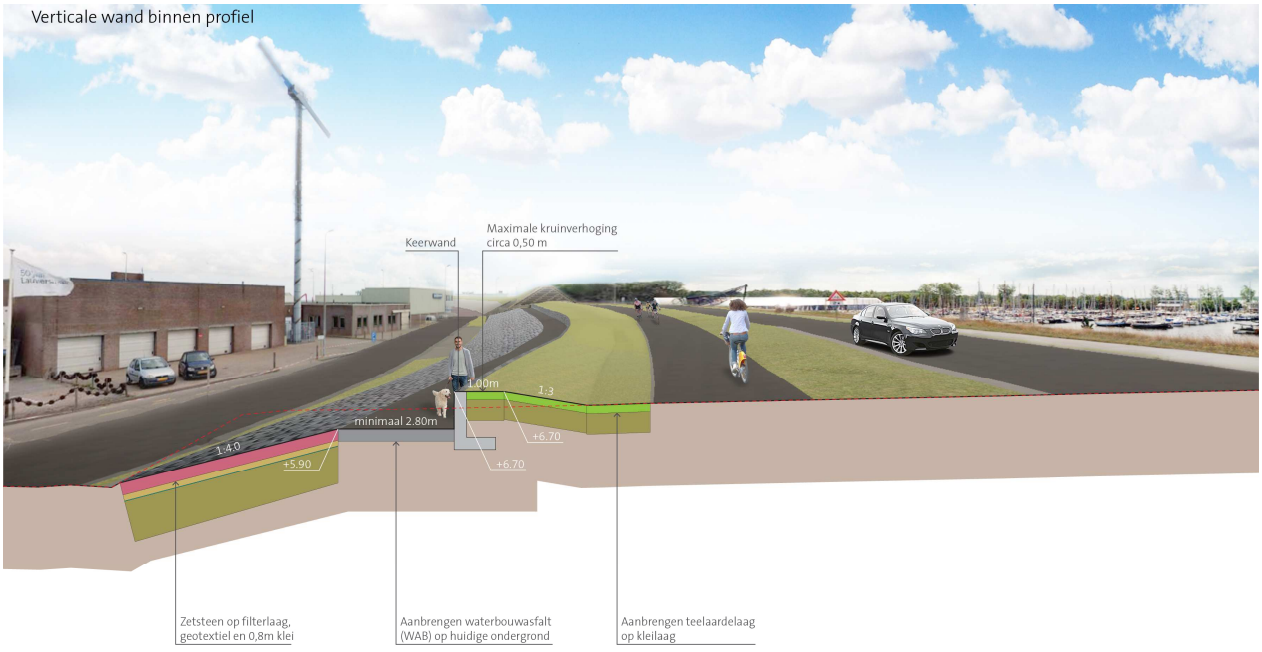
- Toepassen taludverflauwing, aanbrengen grondverbetering van klei en teelaarde,
- Aanbrengen van zetsteen in het onderbeloop.



Figuur 4-1: variant 1 – kruinverhoging

Variant 2 bestaat uit:

- Aanbrengen van een verticale wand, gerekend met een beklede betonnen L-muur,
- Aanpassen fietspad,
- Aanbrengen grondverbetering van klei en teelaarde,
- Aanbrengen zetsteen van zetsteen in het onderbeloop.



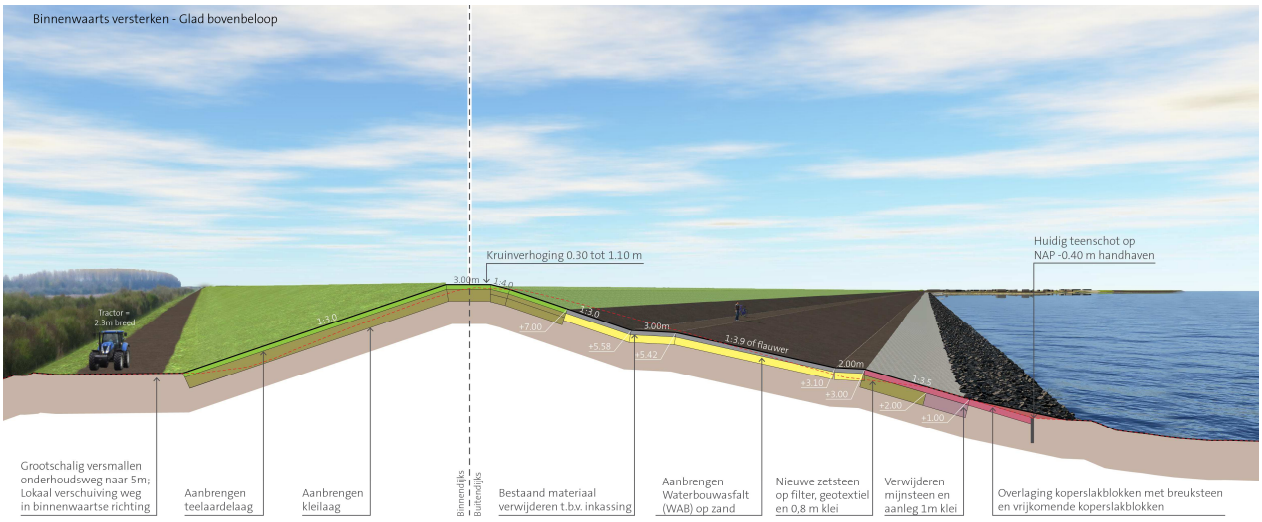
Figuur 4-2: variant 2 – verticale wand

Voor de Landelijke Dijk 1 en 2 is gekozen voor een binnenwaartse versterking met twee varianten:

1. Binnenwaartse versterking ‘glad’
2. Binnenwaartse versterking ‘ruw’

Variant 1, Binnenwaarts Glad, bestaande uit:

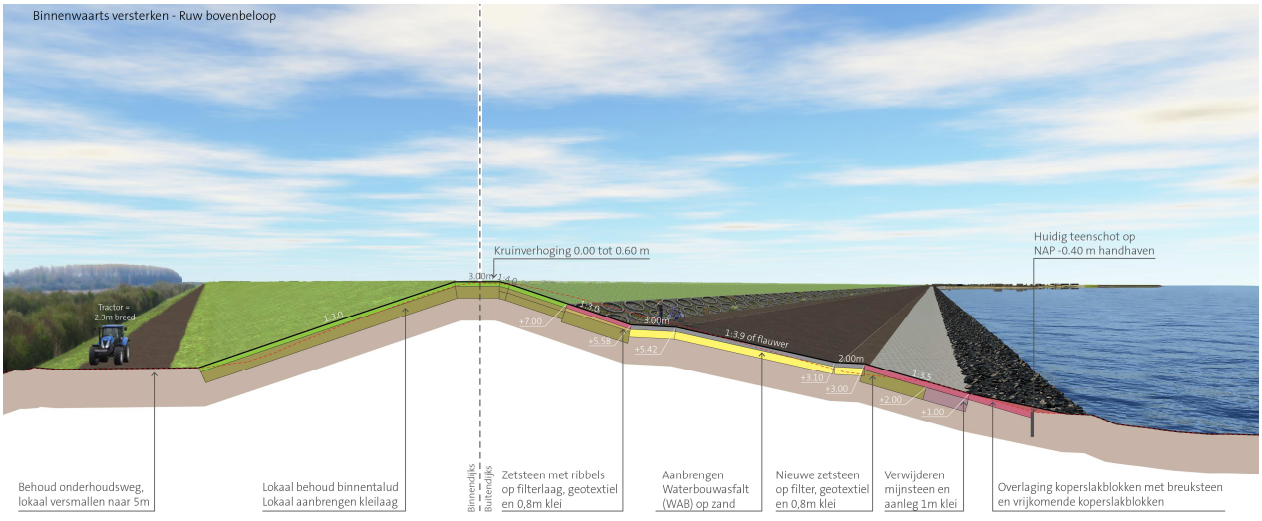
- Overlagen bestaande teenbestorting en onderste deel koperslakblokken,
- Aanbrengen zetsteenbekleding in onderbeloop (verwijderen koperslakblokken),
- Aanbrengen Waterbouwasfalt in bovenbeloop (verwijderen huidige asfaltbekleding),
- Aanbrengen klei en teelaardelaag in de kruin en binnendijks
- Aanpassingen aan de binnendijks gelegen weg (versmallen en verleggen).



Figuur 4-3: variant Binnenwaarts Glad

Variant 2, Binnenwaarts Ruw, bestaande uit:

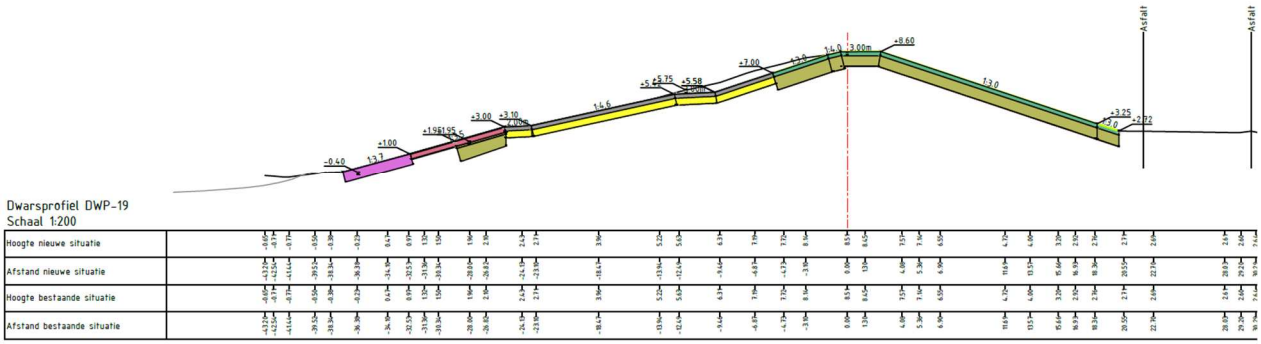
- Als alternatief 1, maar dan in het bovenbeloop een ‘ruwe’ zetsteen laag in plaats van WAB
- Geringere kruinverhoging,
- Beperktere aanpassing aan binnendijks gelegen weg (versmallen).



Figuur 4-4: variant Binnenwaarts Ruw

4.1.2 Ontwerp

Het VKA is in een technisch 3D model uitgewerkt op basis van de berekende geometrie en maatvoering. Het 3D model vormt de basis voor nadere ontwerpoptimalisaties in de Planuitwerkingsfase. Hieronder een gegenereerd profiel uit het 3D model (Landelijke Dijk 1, variant 1), zie bijlage 8.3 voor meerdere profielen.



Figuur 4-1: principe profiel uit CAD model

Het ontwerp is opgenomen in de 'Notitie Voorkeursalternatief' [5.2]. De elementen van het ontwerp welke betrekking hebben op de alternatieven (kleibekleding, zetsteen, bestorting en asfalt) worden toegelicht in hoofdstuk 5.4.

Haven

In het Havengebied is een groot deel van de waterkering niet op hoogte en is door ruimtegebrek ook niet op hoogte te brengen. Ten behoeve van het ontwerp is dit traject opgedeeld in 9 deeltrajecten, zie figuur 4-6 voor een overzicht.
Van de deeltrajecten zijn alleen 3, 5a / 5b en 7 onderscheidend in het ontwerp. De overige trajecten hebben één oplossingsrichting. In bijlage 8.3 is per deeltraject een toelichting gegeven op de maatregelen.

Deeltraject 0: De buitendijkse zijde bij de Cleveringsluizen wordt versterkt met een nieuwe interlock-zetsteenbekleding, conform opbouw van de dijkversterking aan de Friese zijde. De aanwezige zetsteenbekleding wordt verwijderd en afgevoerd

Deeltraject 1: over een lengte van ca.125 m wordt een kade aangelegd van ca. 0,50 m hoog, bestaande uit een kleibekleding en een lichte zetsteenbekleding van 20 cm op filterlaag en geotextiel, aan de buitendijkse zijde.

Figuur 4-2: Deelgebieden van traject Haven

Deeltraject 2: de berm rondom de rotonde wordt voorzien van een 0,5 m dikke kleilaag en daarna weer afgewerkt met teelgrond en ingezaaid met gras.

Deeltraject 4: rondom de sluis worden de trappen en elementenverhardingen verwijderd en na aanpassing van de ondergrond weer teruggebracht. De ondergrond wordt versterkt met een kleibekleding van 1 m. De 'groene' delen worden bekleding met klei van 0,5 m en afgedekt met een lichte zetsteenbekleding van 20 cm op filterlaag en geotextiel.

Deeltraject 6: de berm rondom het kruispunt wordt voorzien van een 0,5 m dikke kleilaag en daarna weer afgewerkt met teelgrond en ingezaaid met gras.

Deeltraject 8: hier is geen hoogteopgave. De bestaande asfalt bekleding wordt wel verwijderd en vervangen door een zetsteenbekleding van 20 cm op filterlaag en geotextiel.

Deeltraject 3, 5, 7: De varianten bestaan uit de aanleg van een smalle kruinverhoging, uitgevoerd in 0,5 m en 0,8 m klei, en een teelaardelaag. Het fietspad komt op de kruin te liggen. Over een trajectlengte van 180 m is een damwand nodig om een raakvlak met de provinciale weg te voorkomen.
De andere variant gaat uit van een keermuur langs het fietspad met daarachter een 0,5 m klei-ingraving en teelaardelaag tot aan de rijbaan (N361). De keermuur wordt uitgevoerd in beton, gerekend wordt met een prefab betonnen constructie, deels ingegraven en afgewerkt met een metselwerk bekleding. In het onderbeloop wordt een zetsteenbekleding van 30 cm op filterlaag en geotextiel voorzien.

Landelijke Dijk (deel 1 en 2)
De bestaande waterkering van de Landelijke Dijk (LD) is voornamelijk opgebouwd uit een zandkern met kleiafdekkingen en een teelaarde laag (grasbekleding). Op het buitentalud zijn harde bekledingen aanwezig in de vorm van zetsteen van koperslakblokken op mijnsteen in het onderbeloop en asfalt op zand daarboven. Het ontwerpproces richt zich in deze fase op het terugbrengen van vergelijkbare bekleding als in het huidige profiel aanwezig is. Dat wil zeggen: zetsteen, waterbouwasfalt en gras. Het ontwerp van het buitentalud wordt aangepast ten opzichte van de huidige situatie: inkassingen zorgen voor bermen in het talud. Dit bevordert het onderhoud en biedt kansen voor recreatieve fietsroute langs de dijk. In de Planuitwerkingsfase zal de exacte materiaalkeuze geoptimaliseerd en uitgewerkt worden. Hieronder een toelichting per bekledingstype.

Bestorting
Aan de teen van de waterkering ligt een steenbestorting. In het VKA is berekend dat deze bestorting ontoereikend is en daarom aangevuld moet worden met nieuwe stortsteen 60-300 kg bij LD2 en 300-1000 kg bij LD1.

Zetsteenbekleding
Op beide dijkvakken zijn delen waar de zetsteenbekleding niet meer voldoet. Uit berekeningen volgt dat deze bekleding verzwaard dient te worden. De aanwezige koperslakblokken van ca. 25 cm worden vervangen door betonzuilen van 40 cm (deels op de bestaande mijnsteen en op een nieuwe filterlaag met geotextiel).
Bij de Ruwe variant wordt in het bovenbeloop ook een zetsteenbekleding toegepast van variabele afmetingen, gemiddeld 30 cm hoog. Ook deze laag wordt op een filterlaag en geotextiel aangebracht.
In het benedenbeloop sluit de zetsteenbekleding aan op een deel te handhaven koperslakblokken. Uitgangspunt is namelijk dat het bestaande teenschot gehandhaafd kan blijven, omdat deze nog in goede staat verkeren.

In het bovenbeloop is gerekend met een overgangsband tussen de bovenzijde van de zetsteen en het waterbouwasfalt.

Waterbouwasfalt
De onderkant van de asfaltbekleding wordt hoger opgetrokken, en ook de bovenkant komt bij de Gladde variant hoger in het talud te liggen. Het asfalt is tevens op het einde van de levensduur en dient ook mede daarom vervangen te worden. Onder het asfalt komt een funderingslaag op geotextiel, waardoor de constructiedikte in het nieuwe ontwerp geringer uitgevoerd kan worden (0,15 m versus 0,20 m huidig).

Klei-/ Grasbekleding
De aanwezige kleibekleding voldoet voor een groot deel niet aan de benodigde erosiebestendigheids-klasse van dijkenklei. Door de binnenwaartse versterking wordt de kleibekleding verwijderd en de kern uitgebreid met zand of overige uit het werk vrijkomende grond. Voor de kleilaag op de kruin en het buitentalud (bovenbeloop) is een laagdikte van 0,80 m aangehouden en voor het binnentalud is een laagdikte van 0,60 m aangehouden. Op de kleilaag wordt een teelaardelaag terug- gebracht en ingezaaid.

4.1.3 Projectdecompositie hoofdlijnen

Het VKA bestaat uit een set maatregelen met twee varianten voor de Haven en twee voor de Landelijke Dijk. Er zijn daarom vier ramingen opgesteld. De dijktrajecten zoals bij de K.A.-ramingen zijn gehanteerd, zijn voor de VKA-ramingen gehandhaafd.
In onderstaande tabel zijn de trajecten en oplossingen binnen de SSK-ramingen weergegeven.

Deelraming	Dijkvak	SSK raming – varianten
1	Haven	Kruin of Wand (traject 3, 5a, 5b, 7)
2	Haven	Traject 0 (in beide varianten gelijk)
3	Haven	Traject 1 (in beide varianten gelijk)
4	Haven	Traject 2 (in beide varianten gelijk)
5	Haven	Traject 4 (in beide varianten gelijk)
6	Haven	Traject 6 (in beide varianten gelijk)
7	Haven	Traject 8 (in beide varianten gelijk)
8	Landelijke Dijk 1	Glad of Ruw
9	Landelijke Dijk 2	Glad of Ruw
10		Engineering Planuitwerkingsfase (in alle varianten gelijk)
11		Engineering Uitvoeringsontwerpfase (in alle varianten gelijk)
12		Engineering Realisatiefase (in alle varianten gelijk)
13		Objectoverstijgende risico's

Tabel 4-1: overzicht deelramingen en varianten

In de raming wordt verwezen naar de Varianten 1 t/m 4, voor de volledigheid is de samenstelling van de varianten hier genoemd:

1. Haven Smalle Kruinverhoging – Landelijke Dijk Glad
2. Haven Verticale Wand – Landelijke Dijk Ruw
3. Haven Smalle Kruinverhoging – Landelijke Dijk Ruw
4. Haven Verticale Wand – Landelijke Dijk Glad

In de raming zijn geen posten opgenomen welke niet voor subsidie in aanmerking komen, alle maatregelen worden geacht subsidiabel te zijn.
De raming is opgezet met kostenmodules welke zijn afgeleid van de oplossingsrichtingen en van de verschillende 'componenten' waar de dijkversterking uit bestaat. Een toelichting op deze modules is in paragraaf 5.2 verwerkt

4.1.4 Eisen aan de kostenraming

De eisen aan de kostenraming zijn vermeld in Hoofdstuk 6 in de bijlage 1 Nadere Offerteaanvraag [1]. Hiervoor wordt 'Stap 2: van Kansrijke Alternatieven naar Voorkeursalternatief' gebruikt om de VKA-raming aan te toetsen (er is geen kader voor het VKA gegeven).

Eisen uit contract:

1. De realisatiekosten per kansrijk alternatief plus alle additionele kosten (b.v. grondaankoop) dienen aan de hand van de SSK-systematiek (CROW) te worden geraamd. De bandbreedte dient daarbij te worden onderbouwd.
2. Bij het opstellen van de realisatiekosten en additionele kosten dient aanbestedende dienst vroegtijdig betrokken te worden. Bij het opstellen van de bouwkosten is het van belang een reële uitvoeringsmethode en -planning op te stellen met daaraan gekoppeld een betrouwbare onderbouwing van de directe en indirecte bouwkosten.
3. Bij de additionele kosten zal specifiek aandacht besteed worden aan de raming voor de personele kosten (o.a. afhankelijkheid met projectplanning en uitvoeringsplanning), overige bijkomende kosten (o.a. op basis van projectbegroting aanbestedende dienst), engineeringskosten (waarbij scheiding is in engineeringskosten van de aannemer en engineeringskosten van de aanbestedende dienst).
4. Vastgoedkosten (o.a. op basis van ruimtebeslag).
5. Onderbouwing van de risicoreservering (o.a. onder andere op basis van een risicodossier per alternatief.
6. De ramingen dienen aan te sluiten bij de kaders die het HWBP hieraan stelt.
7. In de SSK-raming dienen tevens per kansrijk alternatief alle geaccepteerde eisen per stakeholder (KES) verwerkt te worden. De SSK-raming dient zodanig te worden opgesteld dat de (meer)kosten per stakeholder inzichtelijk worden.
8. De beheer- en onderhoudskosten dienen aan de hand van de LCC (Life Cycle Costs) systematiek te worden bepaald. Hierbij dient onderscheidt gemaakt te zijn in dagelijks beheer en onderhoud en groot onderhoud.
9. Bovenstaande geldt voor zowel de het tracé Westpolder - Haven Lauwersoog als het tracé Haven Lauwersoog.
10. Kostenrapportages (per tracé SSK (probabilistisch) en per tracé LCC) KA.
11. Kostenrapportages (per tracé SSK (probabilistisch) en per tracé LCC) VKA.

Ad. 1. De SSK-systematiek 2010 is gehanteerd (CROW publicatie 137, model v3.05c). Er zijn twee VKA-ramingen opgesteld. De bandbreedte is probabilistisch bepaald door middel van het toepassen van spreidingen op de prijzen, hoeveelheden en opslagen-/ risicoreserveringen.

Ad. 2. Er heeft een startoverleg met de manager projectbeheersing van het Waterschap plaats gevonden over de kostenramingen in de Verkenningsfase. Voor de bouwkosten is uitgegaan van een

uitvoeringsplanning gebaseerd op hoofdlijnen (mijlpalen) zie paragraaf 4.4. De VKA-raming is afgestemd op de opgestelde planning. De tijdgebonden kosten zijn voor deze raming onderbouwd en aan deze hoofdplanning gerelateerd. Zie bijlage 7.1.

Ad. 3. De personele kosten/ Engineering voor het project is in een aparte bijlage onderbouwd voor de Planuitwerkingsfase en Realisatiefase. De Verkenningsfase kosten zijn conform de beschikking van het HWBP en als vast bedrag verwerkt.
Per fase is onderscheid gemaakt in de kosten voor de opdrachtgever (interne kosten en inhuur) en ingenieursbureau en aannemer.

Ad. 4. Binnen het VKA zijn geen vastgoedkosten van toepassing.

Ad. 5.Het risicodossier van de Planuitwerkingsfase en die van de Realisatiefase is verwerkt in de kostenramingen. Aan de basis liggen meerdere risicosessies en actualisaties van het dossier. De Niet Benoemde risicoreservering is conform richtlijnen van het HWBP toegepast. Zie hoofdstuk 6.

Ad. 6. De ramingen voldoen aan de kaders van het HWBP [7 en 8] en de Factsheet LCC [9] van het HWBP. Er zijn alleen subsidiabele kosten opgenomen bij de Investeringskosten. De verdeling risicoreservering ten opzichte van de basisraming/ voorziene kosten valt binnen de (oude) norm van het HWBP.

Ad. 7. De eisen per stakeholder zijn niet bekend/ vastgelegd in deze fase. De eisen van het Waterschap zelf zijn wel in de raming verwerkt. Daarnaast zijn maatregelen opgenomen als verkeersmaatregelen, omleidingsroutes langs de openbare wegen (Provincie, Gemeente). De kosten zijn in modules verwerkt en daarmee afzonderlijk inzichtelijk te maken.

Ad. 8. De ramingen zijn opgesteld voor de Investeringskosten en Levensduurkosten = LCC. Er is gerekend met inspecties, (preventief) onderhoud, correctieve maatregelen, en vervangingen.

Ad. 9. Er zijn ramingen opgesteld per dijktraject. Waarbij de Landelijke Dijk in twee delen is opgedeeld.

Ad. 10 en 11. De kostenrapportage voor het VKA is deze kostennota. Er is geen nota per alternatief, variant of per dijktraject, dat maakt e.e.a. onleesbaar. Bedoeld is waarschijnlijk een aparte SSK-output raming van de probabilistische berekening met daarin zowel Investeringskosten als de Levensduurkosten; dat is wel gedaan. De variatiecoëfficiënt bedraagt 18% en is passend voor deze fase.

4.2 Scope wijzigingen

In deze fase van het project zijn geen scope-wijzigingen te benoemen.

4.3 Uitsluitingen scope

De volgende kosten zijn niet meegenomen:

- Meekoppelkansen; enkele zijn wel geraamd maar niet meegenomen in de kostenraming voor de dijkversterking (zie paragraaf 4.5).
- Compenserende maatregelen; kosten voor intern/extern salderen in kader van de PAS zijn nog niet meegenomen.
- Westelijke Havendam,
- Mitigerende maatregelen zoals natuurcompensatie.

4.4 Planning

Momenteel loopt de verkenningsfase. De mogelijke alternatieven zijn afgewogen in zeef 1 en daarna zijn de kansrijke alternatieven afgewogen via zeef 2. Dit heeft geresulteerd in de voorliggende raming van het VKA. De Verkenningsfase loopt tot voorjaar 2020.
De Planuitwerkingsfase loopt gegeven de huidige planning gedurende 2020 tot en met 2022, en levert het Projectplan Waterwet (projectbesluit conform nieuwe Omgevingswet) op.
De realisatiefase start in 2023 en moet bij voorkeur 2025 gereed zijn, zie bijlage 6.2 voor de deterministische planing.

4.5 Relatie met andere projecten

Aan de dijkversterking zijn diverse andere projecten gekoppeld, dit zijn de meekoppelkansen. Daarnaast spelen autonome gebiedsontwikkelingen een rol in het projectgebied.
De volgende meekoppelkansen en projecten hebben een relatie met het project en worden meegenomen in de procedures (bron Notitie VKA [6]).

- Natuurlijke overgangen en onderwaternatuur*
- Kwelderontwikkeling*,
- Zoet-zout overgang en vismigratie Westpolder en Zoutkamperril*,
- Fietspad Kiek op de Diek (is ingepast in het ontwerp),
- Tweede ontsluiting haven
- Vernieuwen onderhoudsweg (bij fysiek raken al deels ingepast in ontwerp)
- Vervangen nutsleidingen (gas- en waterleiding) binnendijks
- Versterken bekleding westelijke havendam

*) zie paragraaf 7.3

De volgende initiatieven zijn nog in beeld voor latere inpassing:

- Wereld-erfgoed-centrum Waddenzee,

In de raming van het VKA zijn geen kosten opgenomen voor de meekoppelkansen en deze initiatieven.

5 Interpretatie van de scope

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de uitgangspunten en aannames beschreven welke zijn gebruikt voor de ramingen van de Kansrijke Alternatieven. Eerst wordt ingegaan op de kostenmodules waar de raming mee is opgebouwd en vervolgens meer ingezoomd op de uitgangspunten bij het ontwerp, hoeveelheden en prijzen.

5.2 Structuur van de raming

In het vorige hoofdstuk is (paragraaf 4.1.2 en 4.1.3) reeds aangegeven dat per alternatief een kostenraming is opgesteld en dat deze is ingedeeld conform de Dijkvakken waarover het dijktraject Lauwersmeerdijk - Vierhuizergat is verdeeld.
Voor de versterkingsmaatregelen zijn verschillende kostenmodules opgesteld. Daarnaast zijn modules opgesteld voor bijkomende werkzaamheden, zoals Niet Waterkerende Objecten en tijdelijke voorzieningen. In onderstaande tabel zijn de gehanteerde kostenmodules weergegeven voor investeringskosten.

Modulecode	Omschrijving
TEB	Teenbestorting: aanvullen met nieuwe breuksteen
OPS	Opsluitconstructie: verwijderen en aanbrengen overgangsband
GRW	Grondwerk t.b.v. waterkering en kades, inclusief geogrids
ZET	Zetsteenbekleding op het buitentalud (verwijderen en aanbrengen)
WAB	Waterbouwasfalt: verwijderen en aanbrengen, inclusief slijtlaag
CON	Aanbrengen constructie – keermuur/ damwand
WEG	Rijbaan: opbreken en aanleggen nieuwe rijbaan, of versmallen huidig profiel
FP	Fietspad: verplaatsen fietspad op kruin van kade in Havengebied
NWO	Diverse objecten, zoals afrasteringen, dijktrappen
LOS	Inrichten en verwijderen tijdelijke loswal
BD	Bodemdaling compensatie (correctie posten)
TM	Tijdelijke maatregelen: rijplaten, verkeersmaatregelen

Tabel 5-1: Overzicht modules Bouwkosten

Voor de levensduurkosten zijn de volgende modules opgenomen.

Modulecode	Omschrijving
BF	Onderhoud kering in bouwfase
ALG	Kosten voor inspecties, drijfvuil en ongedierte bestrijding
TEB	Onderhoud Teenbestorting: bijstorten en herplaatsen bestorting
OPS	Opsluitconstructie: reparaties, herstellen en vervanging
GRW	Maaibeheer, herstel erosie en maatregelen aan geogrids
ZET	Herstellen en vervangen zuilen
WAB	Herstel scheuren, slijtlaag en vervangingen
CON	Inspectie, herstel betonschade en vervanging

Tabel 5 2: Overzicht modules levensduurkosten

Bij de uitwerking van de Modules is onderscheid gemaakt tussen de Investeringskosten en de Levensduurkosten:

- Bij de Investeringskosten wordt de module code aangevuld met INV
- Bij de Levensduurkosten wordt de module code aangevuld met BO

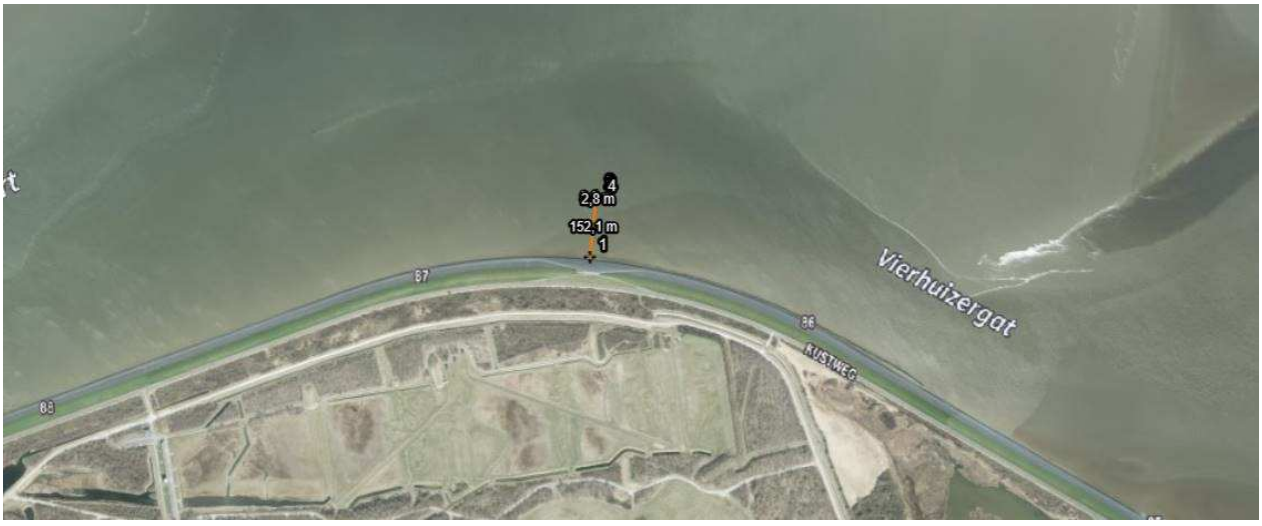
Per kostenmodule binnen Levensduurkosten is rekening gehouden met inspectie, onderhoud en vervanging. Zie verdere toelichting bij paragraaf 5.4.

5.3 Algemene uitgangspunten

5.3.1 Aanleg

De raming gaat uit van versterken van de waterkering binnen de uitvoeringsduur van 3 jaar, gerekend vanaf 2023. Uitgangspunt in de raming is dat de realisatie van versterking alleen in het 'open' seizoen plaats vindt, gedurende ca. 7 maanden. Alleen de voorbereidende en afrondende werkzaamheden kunnen in het gesloten seizoen uitgevoerd kunnen worden.
Er is nog niet gekeken naar werktijden in deze fase van het project (aantal werkuren per week).

Alle werkzaamheden zijn gerekend vanaf land. Wel is gerekend met aan- en afvoer van materialen via een tijdelijk te realiseren loswal op het wad. Gedacht is aan de locatie zoals in onderstaande luchtfoto is weergegeven. Bij deze locatie is een goede verdeling qua transportafstand te realiseren richting het westen en oosten. Een optie is om gebruik te maken van de haven bij Lauwersoog. Het nadeel hier is dat er dan overlast ontstaat voor de schippers en bedrijven aldaar. Maar de aannemer zal hier zelf ook hinder aan ondervinden. Daarnaast ligt de haven erg excentrisch van het project, waardoor langere transportroutes nodig zijn langs de dijk. Met een eigen loswal wordt daarnaast voorkomen dat menging van transportmiddelen met lokaalverkeer plaats vindt, waaronder recreatief (fiets)verkeer. Aangenomen kan dus worden dat een eigen loswal veiliger is, mits deze vergunbaar is.



Figuur 5-1: locatie loswal

In de raming is vooral gerekend met de aan- en afvoer van grond via de loswal, maar ook van zetsteenbekleding en breuksteen. Asfalt en materialen in kleinere volumes worden per as aangevoerd. In de raming is per post aangegeven of per as is gerekend, de rest wordt geacht per schip te worden aan-/afgevoerd.

Bij de grondposten is het uitgangspunt dat het direct uit het schip naar de plaats van verwerking wordt vervoerd. Bij de teelgrond wordt wel uitgegaan van een tussendepot. De zetsteen en breuksteen wordt eerst naar een depot vervoerd en opgeslagen en vandaar uit naar de plaats van verwerking gebracht. Deze werkwijze voor grond en overige materialen is nog te optimaliseren.
In de raming is voor het grondwerk gerekend met een kraan met bak van 1,75 m3 en producties tot ca. 125 m3/uur. De aanname is gebaseerd op het laagsgewijs afgraven van de grondbekledingen, dit betreft soms lagen van 0,30 m voor de teelgrond. Voor intern transport is veelal met een 24 ton (ca. 15 m3) dumper gerekend, voor extern transport met een vrachtwagen. In de raming is uitgegaan van transportroutes aan twee zijden van de dijk, voorzien van rijplaten.
Op de loswal staat een grotere kraan 50t met hogere producties tot 160 m3/uur.

De beschikbaarheid van depotruimte is wel een vereiste, mogelijk moet hier grond van Defensie gebruikt worden. Dit betekent aanleg van tijdelijke duikers in de watergang naast de Kustweg. Gebruik van depotruimte is voorzien in de eenmalige kosten en algemene bouwplaatskosten. De toe te passen duikers en dammen en huurkosten van grond in Nader te Detailleren.

De verkeersmaatregelen ten behoeve van de uitvoering zijn grotendeels beperkt tot het Havengebied. Het verkeer langs de Kustweg kan eventueel omgeleid worden, zodat de Kustweg tijdens het werk alleen voor bouwverkeer beschikbaar is. Er is rekening gehouden met een platenbaan.

5.3.2 Beheer en Onderhoud

De Levensduurkosten zijn gerekend over 100 jaar. Voor de dijkversterking zelf is gerekend met een ontwerplevensduur van 50 jaar. In de raming is niet gerekend met het upgraden/ verhogen van de kering na deze 50 jaar. Uitgangspunt is handhaven van het huidig ontwerp. Dit sluit aan bij de LCC-gedachte van het HWBP [9].
In de raming is niet gerekend met onderhoud aan openbare wegen, aangenomen wordt dat dit bij de wegbeheerder ligt (zijnde Provincie, gemeente, Defensie). Ook is geen onderhoud gerekend aan Niet Waterkerende Objecten (NWO's) dit is een relatief kleine post.
Voor het VKA is normaliter geen LCC-afweging meer nodig. Echter is er nu nog sprake van varianten waardoor een afweging op basis van de Contante Waarde wel mogelijk is. Deze afweging wordt in de Notitie VKA beschreven.

Voor de Levensduurkosten zijn zoals hiervoor genoemd dezelfde modules aangehouden als voor aanleg, indien onderscheidend in de alternatieven.
Voor het beheer en onderhoud is onderscheid gemaakt in:

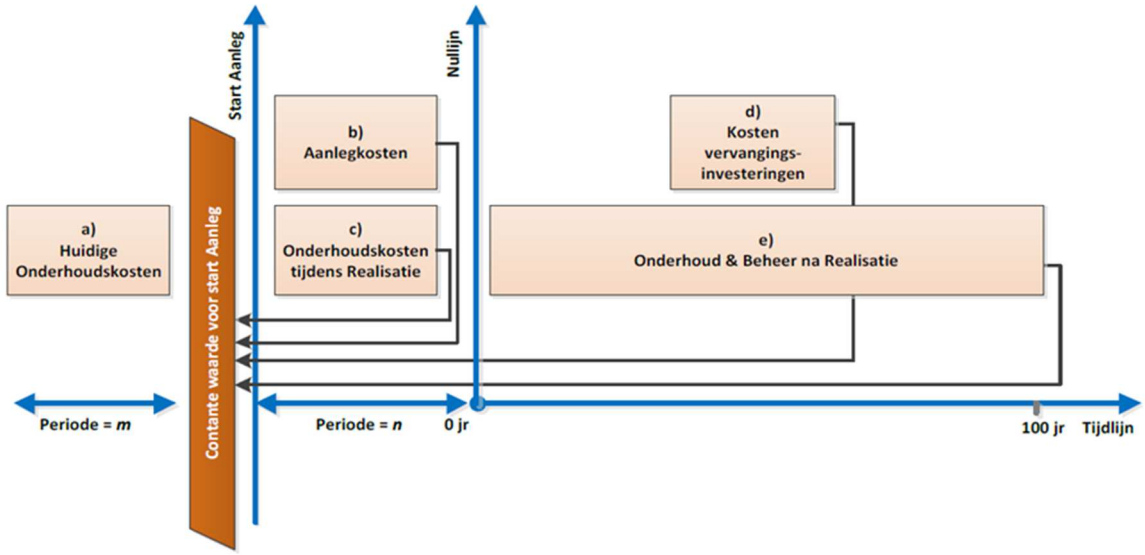
- de beheersmaatregelen tijdens de realisatie;
- beheersmaatregelen en inspecties na de realisatie;
- preventief en correctief onderhoud aan objecten, en
- vervanging van de gerealiseerde objecten.

Inspecties bestaan uit een jaarlijkse inspectie, zowel vanaf land als water. Er is gerekend met een (maandelijkse) schouw en de reguliere toestandinspectie, ongediertebestrijding.
Het onderhoud omvat o.a. maaibeheer, onderhoud aan bekledingen en constructies.
Vervangen is het opnieuw aanbrengen van de constructies, zoals aangelegd bij de bouwkosten. Er is dus geen rekening gehouden met zwaardere constructies of uitbreidingen als gevolg van nieuwe of gewijzigde ontwerpuitgangspunten. De grondonderdelen worden niet vervangen (na 100 jaar).

De figuur 5-2 op de volgende pagina laat de kosten zien welke van toepassing kunnen zijn.

a) Huidige onderhoudskosten zijn niet meegenomen (niet bekend en niet meegenomen),
b) Aanlegkosten, deze zijn ondergebracht bij de Investeringskosten,

c) Onderhoud tijdens de realisatie: alleen gerekend met schouw en maaibeheer. Aangenomen wordt dat tijdens de uitvoering geen overig onderhoud meer plaats vindt aan harde bekledingen of wegverhardingen.
d) Vervangingskosten. In de raming is gerekend met opbreken/ verwijderen van onderdelen en het opnieuw aanbrengen. Er is niet gerekend met restwaardes van materialen bij sloop.



Figuur 5-2: Schema LCC

De resultaten van de Levensduurkosten worden binnen de SSK op drie manieren gepresenteerd:

- in Nominale kosten;
- in Gekapitaliseerde kosten op basis van een contante waarde met discontovoet 3% [9];
- in Jaarlijkse kosten.

De jaarlijkse kostenberekening laat de deterministische waarde zien van alle onderhoudstaken, exclusief de taken tijdens de bouwfase en de grootschalige vervanging van objecten, gedeeld door de looptijd (100 jaar).

5.4 Toelichting modules

In deze paragraaf wordt toegelicht met welke uitgangspunten of aannames is gerekend per module. Algemeen: waar gesproken wordt over ‘afvoer’, is dit inclusief kosten van een erkende verwerker.

<u>TEB – Teenbestorting</u>
In beide varianten (Glad en Ruw) wordt buitendijks een zwaardere teenbestorting aangebracht. De bestaande bestorting wordt daarbij eerst uitgevlakt. Op de foto in figuur 5-3 is de bestaande breuksteen zichtbaar. Deze is overigens niet over het gehele traject van de Landelijke Dijk aanwezig.
In het ontwerp is gerekend met het bijstorten van breuksteen in de teen, sortering 60-300 kg in het deel Landelijke Dijk 2 en 300-1000 kg bij Landelijke Dijk 1. Deze breuksteen wordt per schip aangevoerd en via de loswal overgeslagen in een dumper. Deze vervoert de breuksteen eerst naar een depot. Vanuit het depot geladen, wordt de breuksteen naar de plaats van verwerking gebracht en verwerkt in de teen.
Deze aanname maakt mogelijk om (een deel van) de aanvoer van materialen al in het gesloten seizoen te laten plaats vinden.

Figuur 5-3: Teenbestorting, koperslakblokken en asfalt - Landelijke Dijk

OPS – Opsluitconstructie

Het teenschot ter opsluiting van de koperslakbekleding kan blijven zitten. Er is een overgangsband gerekend tussen deze koperslakblokken en de nieuw te plaatsen zetsteen.
In het bovenbeloop is ook gerekend met de aanleg van een betonnen opsluitband als overgang tussen de nieuwe zetsteenbekleding en waterbouwasfalt of grasovergang. Uitgangspunt is een band van 15 x 50 cm (o.a. Holcim). De materialen worden per schip aangevoerd.

GRW – Grondwerk

Binnen deze module zijn alle grondwerk maatregelen voorzien, ook indien deze ten behoeve van andere bekledingsopties zijn (zetsteen, waterbouwasfalt). Verder is ook het ingraven van een geogrid opgenomen in deze module.

Bij paragraaf 5.3.1 is al benoemd met welk materieel gerekend is en de werkwijze met betrekking tot de loswal en depotvorming.

Ten aanzien van het grondwerk zijn enkele aannames gedaan, deze worden hieronder toegelicht:

- Bij het ontwerp van de Landelijke Dijk is in het 3D model onderscheid gemaakt met ontgraven van teelgrond en een post voor ‘overige grond’. Dat is de bekleding van klei en kernmateriaal van zand, bij de hoeveelhedenbepaling is uitgegaan van 50% klei en 50% zand.
- Bij de Haven is alle te ontgraven grond in één hoeveelheid samengevat, in de raming is daarom onderscheid gemaakt naar teelgrond, klei en zand. De verhoudingen hierbij zijn resp. 20% - 40% - 40%.
- Er is gerekend met verlies aan grond als gevolg van transportbewegingen, depotvorming. Dit is uitgedrukt in een percentage: 5% op de te leveren grond. In dit percentage zit ook een deel compensatie als gevolg van het ‘te’ theoretisch uitgewerkte 3D model. Bij de variant Glad in de landelijke dijk is het percentage 10%; hier is nog aanvullend 5% voor compensatie zetting meegenomen.
- De teelaardelaag heeft een laagdikte van 20 cm.
- De aanwezige kleibekleding is voor een groot deel niet geschikt om hergebruikt te worden als dijkenklei, de aanname is 40% maximaal hergebruik als deklaag en 60% bijleveren.
- 70% van alle overige ontgraven grond wordt geacht herbruikbaar te zijn in het nieuwe dijklichaam, tenminste 30% wordt afgevoerd van het werk. Dit is een aanname en moet in de Planfase herijkt worden (geschiktheid fysisch en milieutechnisch). Het uitgangspunt is op alle dijktrajecten gelijk aangehouden.

- Qua transportafstanden is gerekend met:
  Loswal – Werkterrein: 2,2 km (de loswal ligt ongeveer in het midden van het totale dijktraject, naar weerszijden is de uiterste afstand ca. 4,4 km).
  Loswal – depot: 2,2 km.
  Depot – Werkterrein: 1,5 km (dit betekent meerder depots inrichten langs de dijk).

Voor de erosiebestendige maatregel is een geogrid(3D grid) aangehouden, deze wordt lokaal over het binnentalud toegepast van de Landelijke Dijk indien het berekende golfoverslagdebiet hoger is dan 10 l/s/m. Ook op een klein traject in de Haven is gerekend met een geogrid.

ZET – Zetsteenbekleding
Voor de Landelijke Dijk geldt het volgende:
De huidige bekleding van koperslakblokken in het onderbeloop, van ca. 25 cm, wordt grotendeels verwijderd en in de teen, als teenbestorting hergebruikt, zie figuur 5-3. Over een lengte van ca. 2 m blijven de blokken liggen (tegen het teenschot).
De bestaande onderlagen blijven gehandhaafd (dit is mijnsteen). Hoger in het talud waar geen mijnsteen meer ligt wordt een kleilaag ingegraven en daarop een nieuwe filterlaag en geotextiel aangebracht. In de nieuwe situatie is gerekend met het aanbrengen van betonzuilen 400 mm hoog in het onderbeloop. Aanname is dat de zetsteen mechanisch geplaatst kan worden. Bij de variant ‘Ruw’ wordt ook zetsteen toegepast in het bovenbeloop in de overgang naar de grasbekleding. Aangenomen is dat dit interlock-zetsteen profielen zijn met betonnen ringen met een wisselende hoogte, maar gemiddeld ca. 30 cm. De zetsteen kan deels mechanisch geplaatste worden, maar is vooral veel handwerk. De keuze voor het type zetsteen dient in de planuitwerkingsfase nader beschouwd te worden.

In de huidige dijk ligt tussen de waterbouwasfalt en grasbekleding een strook met betonblokken, deze blokken worden verwijderd en afgevoerd, zie onderstaande figuur.

Figuur 5-4: betonblokken in bestaande Landelijke Dijk

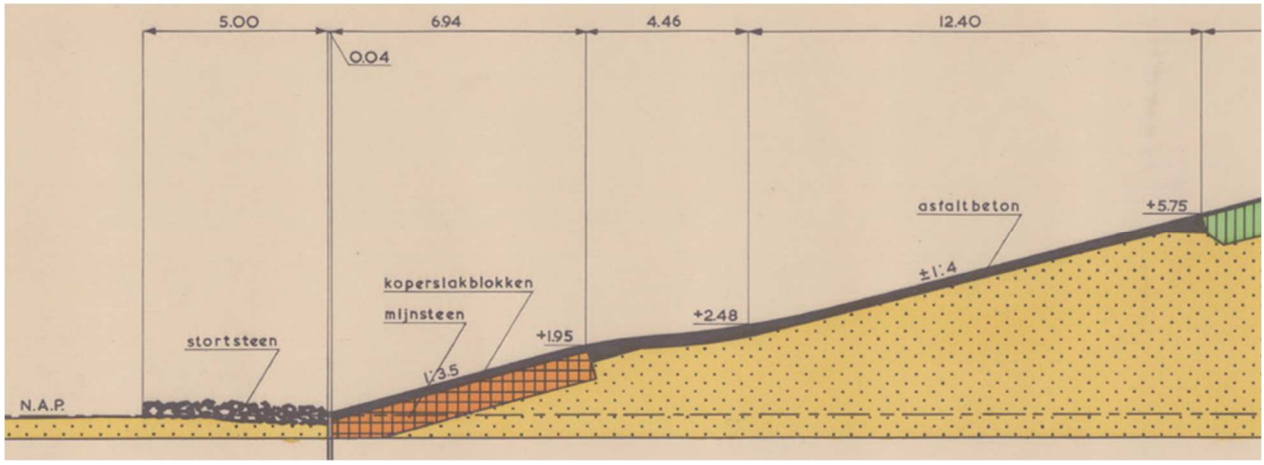
In het Havengebied geldt het volgende:
Langs de Cleveringsluizen wordt de bestaande zetsteen vervangen (afgevoerd) door een interlock zetsteen van 30 cm hoog op een filterlaag en geotextiel. Ook in traject 3, 5 en 7 wordt deze constructie toegepast. Op diverse andere locaties in het havengebied wordt een lichtere betonzuil toegepast, namelijk 20 cm, eveneens op een filterlaag en geotextiel.

In de raming is aangenomen dat alle zetsteen en het filtergrind per schip aangevoerd wordt. De geotextiel komt per as. Alle materialen worden eerst in depot opgeslagen en vandaaruit naar de plaats van verwerking gebracht. Hier wordt vooral een vrachtwagen ingezet.

WAB – Waterbouwasfalt

De bestaande asfalt laag is gemiddeld 20 cm dik en is niet teerhoudend, zo blijkt uit onderzoek. Verwijderen is gerekend doormiddel van sloopfrezen, het materiaal wordt naar een asfaltcentrale afgevoerd voor eventueel hergebruik in de aan te brengen funderingslaag (geringe 'recycling' kosten gerekend). Het is eventueel mogelijk het gefreesde asfalt in depot bij het werk op te slaan en later weer toe te passen. Dit is een punt voor de Planfase om verder te onderzoeken (is afhankelijk van beschikbare ruimte en werkfasering).

Onderstaande figuur laat een deel van het buitentalud zien met de teenbestorting, de koperslakbokken en asfaltconstructie.

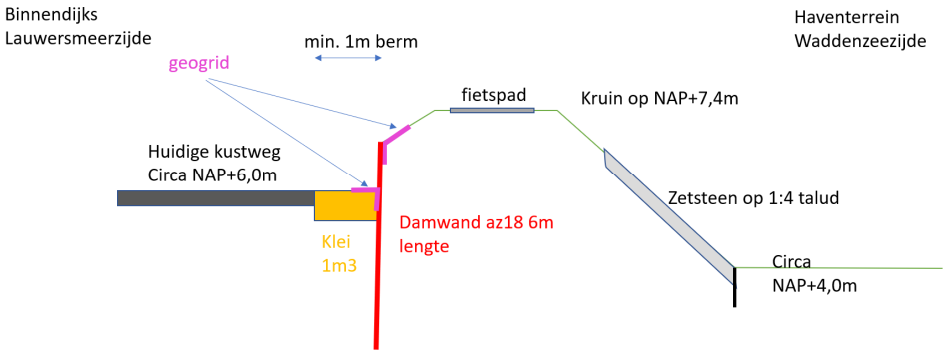


Figuur 5-5: buitendijkse zijde: opbouw bestaande Landelijke Dijk

De nieuwe waterbouwasfalt laag is 15 cm dik berekend maar is in de raming aangenomen op een gemiddelde dikte van 17 cm. De reden voor deze extra laagdikte is dat 15 cm een minimum betreft en dat binnen deze dikte ook de asfaltovergangen/ verdikkingen/ toleranties zijn opgenomen, zoals ook in figuur 5-4 is te zien.
Het asfalt wordt op een ondergrond van asfaltgranulaat (met zand gemengd) op kernmateriaal van zand aangebracht. In de raming is gerekend met 'handmatig' verwerken.
Op de asfaltverharding is een slijtlaag voorzien, steenslag 4/8 op bitumenemulsie.
Alle aan- en afvoer vindt per as plaats.

CON – Constructie

Bij de variant 'Kruinverhoging' is in de Haven over een lengte van 180 m in dijkvak 5 een stalen damwand voorzien om een grondaanvulling op te vangen. Het betreft een damwandprofiel AZ18 met een diepte van 6 m. De constructie wordt voorzien van een kleikist met geogrid bescherming. Indien voor deze variant wordt gekozen, dient deze constructie in de planuitwerkingsfase nader te worden uitgewerkt. Een schets van deze oplossing is opgenomen in onderstaand figuur.



In Variant 2 'Verticale Wand' bij de Haven is gerekend met het aanbrengen van een constructie langs het bestaande fietspad. Dit betreft een betonnen keerwand, welke op een betonnen werkvloer wordt geplaatst. Vooralsnog is uitgegaan van een prefab betonconstructie, welke gekoppeld is voor extra stabiliteit. De keermuur wordt per as aangevoerd, het gaat om een relatief kort traject. De afwerking bestaat uit een bekleding van metselwerk en een deksloof van metselwerk.

WEG – Rijbaan

Langs de Landelijke Dijk ligt de Kustweg, een weg die door Defensie wordt gebruikt en als onderhoudsweg door het Waterschap wordt gebruikt. Zowel bij de varianten Glad en Ruw is het nodig aanpassingen aan de Kustweg uit te voeren. Bij 'Glad' betreft het over een groot deel de verlegging van het gehele wegprofiel met ca. 3,5 m. Deze wordt meer binnenwaarts gelegd over totaal 3.800 m traject. Deze verschuiving betekent aanpassingen aan de berm (4 m3 per m extra grond aanbrengen, het verwijderen van een gecreosoteerde beschoeiing, en het rooien van begroeiing). De wegconstructie wordt dan over de volle breedte opgebroken inclusief fundering en van het werk afgevoerd.
Over een traject van 1.400 m bestaat de maatregel uit het versmallen van het huidig profiel naar 5 m (dit is 2 m smaller dan het huidige profiel).

Bij 'Ruw' gaat het om het verleggen van de gehele rijbaan over een traject van 1.500 m, met dezelfde bijkomende werkzaamheden als hierboven genoemd.
Uit conditionerend onderzoek blijkt dat het asfalt schoon is. De nieuwe constructie bestaat uit 17 cm asfalt op 25 cm steenfundering.

Aangenomen voor nu is dat tussenliggende delen van de weg niet worden vervangen, omdat deze subsidiabel zijn.

FP – Fietspad

In variant 'Kruinverhoging' in de Haven moet het bestaande fietspad opgebroken en op de kruin aangelegd worden. Het nieuwe fietspad pad blijft net als het huidige pad 3 m breed.
Aangenomen is dat zowel de asfaltverharding als de onderliggende puinfundering schoon is. De nieuwe constructie bestaat uit een steenfundering van 0,25 m dik en een asfaltverharding van totaal 0,11 m dik. Het asfalt heeft een zwarte deklaag.

NWO – Diverse Objecten

In het dijktraject zijn diverse Niet Waterkerende Objecten aanwezig. Hieronder vallen talud-trappen, lichtmasten, veerroosters, hekwerken/poorten, een bankje, uitkijkpunt en afrasteringen. In deze raming is alleen rekening gehouden met het verwijderen en terugplaatsen van lichtmasten, afrasteringen, dijktrappen en de aanleg van een hemelwaterriool langs de N361 in het havengebied. De overige objecten zijn in geringe mate aanwezig, maatregelen hieraan worden gezien als Nader te Detailleren. De hoeveelheden zijn globaal bepaald per trajectdeel, waar dijkversterkingsmaatregelen plaats vinden. De

dijktrappen en elementenverharding van het plein in deeltraject 4 van de Haven zijn in Autocad bepaald. Gerekend is met nieuw te leveren materiaal, maar mogelijk kan het aanwezige materiaal hergebruikt worden (beoordeling in Planfase)
De lichtmasten staan eveneens in het Havengebied en dienen alleen tijdelijk verplaatst te worden, niet gerekend met nieuwe masten.

LOS – Loswal
Zoals bij paragraaf 5.3.1 al is aangegeven is in de raming het uitgangspunt dat er een tijdelijke loswal in het wad wordt aangelegd om aan- en afvoer van o.a. grond mogelijk te maken. Gebruik maken van de bestaande haven wordt niet realistisch gezien, met het oog op het huidige gebruik (visserij en veerpont). Voorwaarde voor de tijdelijke loswal is dat hiervoor een vergunning wordt aangevraagd en beschikt, aangezien deze in een Natura 2000 gebied wordt aangelegd. Dit is in het risicodossier meegenomen.
De raming van de loswal is in een aparte SSK uitgewerkt, bijlage 7.2, het totaalbedrag is opgenomen als euro post. Vervolgens zijn de kosten procentueel toebedeeld aan de verschillende dijktrajecten.
De loswal bestaat uit een kern van zand, afgedekt met een stortsteenbekleding 10-60 kg, 0,5 m dik op geotextiel. De lengte van de loswal is op 150 m aangehouden met een kruinbreedte van 10 m. Voor het aanmeren van schepen is een kade geraamd met een tijdelijke damwand, bolders en meerpalen.
In het bedrag is ook de los-kraan opgenomen voor de periode dat hij niet actief is, in dat geval zijn de brandstofkosten en machinist in mindering gebracht op het tarief. Het afvoeren van grond per schip vindt plaats via een stortbrug, waarbij dumpers achterwaarts de grond in het schip dumpen.

TM – Tijdelijke Maatregelen
Bij de tijdelijke maatregelen is gerekend met het toepassen van verkeersmaatregelen en omleidingsroutes langs openbare wegen. De kosten zijn als euro-posten opgenomen en verdeeld over de deeltrajecten. De verkeersmaatregelen bestaan uit eenvoudige maatregelen, zoals toepassen bebording, schildjes en hekken. Er is onderscheid gemaakt in het deel rondom de Haven en de Landelijke Dijk, waarbij het havengebied uiteraard meer impact heeft en dus hogere kosten kent.

Langs het gehele traject is een rijplatenverharding gerekend (twee zijden van de dijk). Deze aanname is gebaseerd op de ervaringen van het Waterschap bij dijkversterking Eemshaven-Delfzijl. Hier is een prijs omgerekend naar strekkende meters.

BD – Bodemdaling
Als gevolg van gaswinning is de verwachting dat de bodem ter plaatse van het project 6 cm gaat dalen. Dit betekent dat ter compensatie een hogere dijk aangelegd dient te worden. De kosten voor deze compensatie komt voor rekening van de Commissie Bodemdaling.
In de raming is gerekend met 6 cm extra kleibekleding over het deel buitentalud, kruin en gehele binnentalud. Verder dient de buitendijkse harde bekleding in het boventalud hoger opgetrokken te worden: dit is resulteert in een extra taludlengte van 19 cm. Er is per variant onderscheid gemaakt: WAB of Ruwe Zetsteen.

De kosten van de maatregelen zijn op investeringsniveau geraamd en in aparte ramingen opgenomen, zie bijlage 7.6 en 7.7. De kosten zijn in de VKA raming bij de module BD – Bodemdaling in mindering gebracht.

ENG – Engineering
De kosten voor Uitvoering (onderdeel van Indirecte Bouwkosten) en Engineeringskosten van de realisatiefase zijn globaal onderbouwd, in een aparte bijlage 7.1. Daarbij is uitgegaan van inzet van projectrollen en de gemiddelde inzet per maand. De totale projectduur is ontleend aan de deterministische

planning, bijlage 6.2. De Engineeringskosten zijn verdeeld naar Opdrachtgever (intern en inhuur), Ingenieursbureau en Opdrachtnemer (aannemer).
De kosten van Opdrachtgever 'intern' zijn exclusief BTW geraamd en 'extern' zijn inclusief BTW.
De bedragen voor de Planfase en de Uitvoeringsontwerpfase zijn ontleend aan een raming van het Waterschap, zie bijlage 7.4. Hierin zijn kosten geraamd voor de OG, IB en ON.
De Verkenningsfase is niet meegenomen in de raming, maar als post opgevoerd bij de budgetreservering in het SSK samenvattingsblad (zie bijlage 7.3). De raming van de Planuitwerkingsfase is de 80% versie, waarmee eerder is gecommuniceerd richting het HWBP. De onderdelen inclusief uitloop, zoals door het Waterschap zijn bepaald zijn één op één overgenomen, inclusief de bijbehorende BTW percentages.
De kosten van de Realisatiefase zijn voor de Opdrachtnemer globaal geraamd door Royal HaskoningDHV, zie bijlage 7.1. De kosten voor de Opdrachtgever in de Realisatiefase zijn bepaald aan de hand van de kosten van de PU fase en vermenigvuldigd met de factor tijd: 3,25 jaar voor Realisatie / 2,5 jaar voor de Planfase.

Op verzoek van het Waterschap Noorderzijlvest zijn de engineeringskosten in aparte deelramingen verwerkt:

- Engineering Planuitwerkingsfase,
- Engineering Uitvoeringsontwerp,
- Engineering Realisatiefase.

Voor alle 'varianten' is het uitgangspunt dat gelijke inspanning nodig is om de versterking te realiseren. Binnen de deelramingen van Engineering is een aparte post voor Beheersmaatregelen opgenomen. Voor de Planuitwerkingsfase gebaseerd op een inschatting en voor de Realisatiefase op basis van het risicodossier bepaald.
Op basis van de PPI rapportage, zie bijlage 6.4 is bepaald dat er gerekend moet worden met een grote kans op uitloop in de planning. Het verschil tussen de P50 waarde en de deterministische waarde is in de raming meegenomen. De uitloop voor de Realisatiefase is bepaald op 10 maanden en hiermee zijn de tijdgebonden kosten met een gemiddeld maandbedrag vermenigvuldigd. Voor de Planfase is de uitloop ca. 3 maanden, de kosten hiervoor waren al meegenomen in de raming van het Waterschap.

<u>Kabels en Leidingen</u>
De kabels en leidingen in het projectgebied zijn geïnventariseerd. Deze liggen vooral in het gedeelte van het Havengebied. Op basis van een quick-scan, zie bijlage 8.2, is onderzoek gedaan naar de impact van de kabels en leidingen op het dijkontwerp in het Havengebied.
Er is een globaal verleggingsplan opgesteld op basis van het ontwerp met de Verticale Wand, het omvat een per kabel en of leiding geschatte lengte, zie bijlage 6.3. In het prijzenboek zijn de verleggingen globaal onderbouwd, waarbij nu uit is gegaan van factor 1,5 voor de verleggingslengte (1 m verwijderen is 1,5 m nieuw aanleggen). Bij de kabels en leidingen van nutsbedrijven is aangenomen dat er een reductie op de kosten voor het materiaal is van 30% als gevolg van de NKL regeling. In de genoemde notitie is aangegeven dat inpassing door middel van een damwandconstructie ook tot de mogelijkheden behoort. Er zijn wel enkele kruisingen voorzien met erosieschermen, maar niet over grote trajectlengtes. Momenteel loopt een gedetailleerder onderzoek naar de kabels en leidingen.
Voor het ontwerp Smalle Kruin is de impact op de verlegging van kabels en leidingen groter vanwege het grote ruimtegebruik, er is gerekend met 50% meer kosten voor verlegging.

Langs de dijk zijn enkele leidingen aanwezig, aan de binnenzijde van de Kustweg, dus niet direct in het invloedsgebied van de dijkversterking. Wel is er een risico opgenomen in het dossier dat er mogelijks schade optreedt als gevolg van de werkzaamheden. Er loopt een apart onderzoek naar deze leidingen (gas en water) om te kijken of deze vervangen dienen te worden. Dit wordt als meekoppelkans gezien, in

de VKA raming zijn voor deze leidingen dan ook geen kosten opgenomen, behalve beschermingsmaatregelen in de post Nader te Detailleren.

BO-BF – Beheer huidige kering tijdens de bouwfase
Binnen deze module is gerekend met maandelijkse schouw, verzamelen drijfvuil en maaibeheer. Het maaibeheer is met 2 maaibeurten per jaar over 50% van het totale oppervlak. Op de overige delen is de versterking in uitvoering. In beide varianten is het beheer tijdens de bouwfase gelijk aangehouden.

BO-ALG – Algemeen
Deze maatregelen vinden plaats na de realisatiefase. In deze module zijn vooral inspecties opgenomen, drijfvuil verzamelen en ongediertebestrijding. Er zijn geen mitigerende maatregelen benoemd om ongedierte tegen te gaan.

BO-TEB – Teenbestorting
De aanwezige breuksteen zal door storm en getijde invloeden verplaatsen, het onderhoud bestaat uit het herstellen van de teenbestorting en het bijleveren van breuksteen (gerekend met 1 x per 10 jaar) over 10% van het oppervlak. Er is geen vervanging gerekend.

BO-OPS – Opsluitconstructie
Er zijn reparaties en herstelmaatregelen voorzien aan het teenschot en overgangsband, 1 x per 20 jaar over 2% van de lengte. Verder alleen vervanging van de constructies gelijk met vervanging van de bekleding waar deze opsluiting voor dient.

BO-GRW – Groene kering/ grondwerk
Na aanleg van de bekledingen is de aanname dat in de eerste jaren erosie zal optreden, deze schade aan de grasbekleding wordt dan hersteld. Gerekend met jaarlijks herstel, gedurende de eerste 5 jaar en 5% van het oppervlak per keer.
Het gras wordt 2 keer per jaar gemaaid, er is niet gerekend met begrazing in de kostenraming, of met verpachten van de grond ten behoeve van het beheer.
De geogrids hebben naar verwachting beperkt onderhoud nodig (losse delen weer vastzetten 1 x per 4 jaar over 10% van het oppervlak). Daarnaast gerekend met vervanging na 50 jaar.

BO-ZET – Zetsteen
Elke 20 jaar is onderhoud voorzien aan de zetsteenbekleding (verzakte delen herstellen en opnieuw voorzien van split), gerekend met 5% van het oppervlak.
Alle genoemde zetsteen typen bij de investeringskosten worden vervangen na 80 jaar, inclusief de onderlagen.

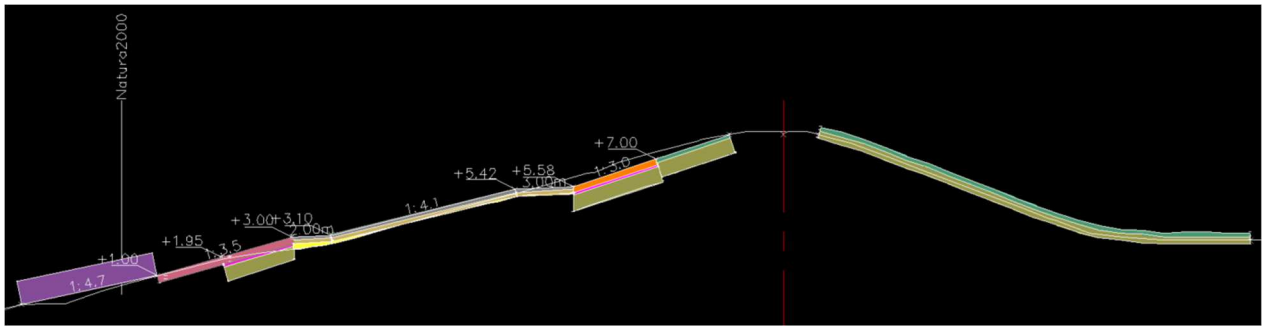
BO-WAB – Waterbouwasfalt
De waterbouwasfalt gaat 40 jaar mee (uitgangspunt in de raming). Het onderhoud bestaat verder uit herstel van de slijtlaag (100% van het oppervlak) en herstel van scheuren, aanname 3%, elke 10 jaar.

BO-CON – Constructie
Het beheer aan de keerwand bestaat uit het uitvoeren van inspecties door middel van steekproeven. Hiertoe wordt de constructie vrij gegraven. Gerekend is met 1 keer per jaar en over 5% van het oppervlak per keer. Elke 10 jaar wordt betonschade gerepareerd, de keermuur wordt na 100 jaar vervangen.
De stalen damwand wordt ook geïnspecteerd door middel van steekproeven, verder geen onderhoud voorzien. Vervanging is na 100 jaar.

Opmerking ten aanzien van het beheer en onderhoud en de gehanteerde frequenties: in de raming kan het zo zijn dat een onderhoudsmaatregel samenvalt met het jaar van vervanging, dit aspect is gezien de beperkte impact (contante waarde) niet hersteld.

5.5 Uitgangspunten Ontwerp

Een aantal ontwerpuitgangspunten zijn reeds benoemd in de voorgaande paragraaf. Het ontwerp van de dijk is gemaakt in Civil3D en gebaseerd op het hoogtemodel en de legger van het Waterschap Noorderzijlvest. Verder is gebruik gemaakt van de BGT (Basisregistratie Grootschalige Topografie). Alle objecten, zowel bestaand als nieuw, zijn gecodeerd. Met deze laagnamen is het ontwerp opgezet en zijn hoeveelheden uitgetrokken in kuub (uit Civil3D). Er heeft een bewerking plaats gevonden om de hoeveelheden van m3 naar m2 of ton om te zetten zodat dit passend is bij de posten en prijzen in de raming.



Figuur 5-6: doorsnede uit 3D ontwerp

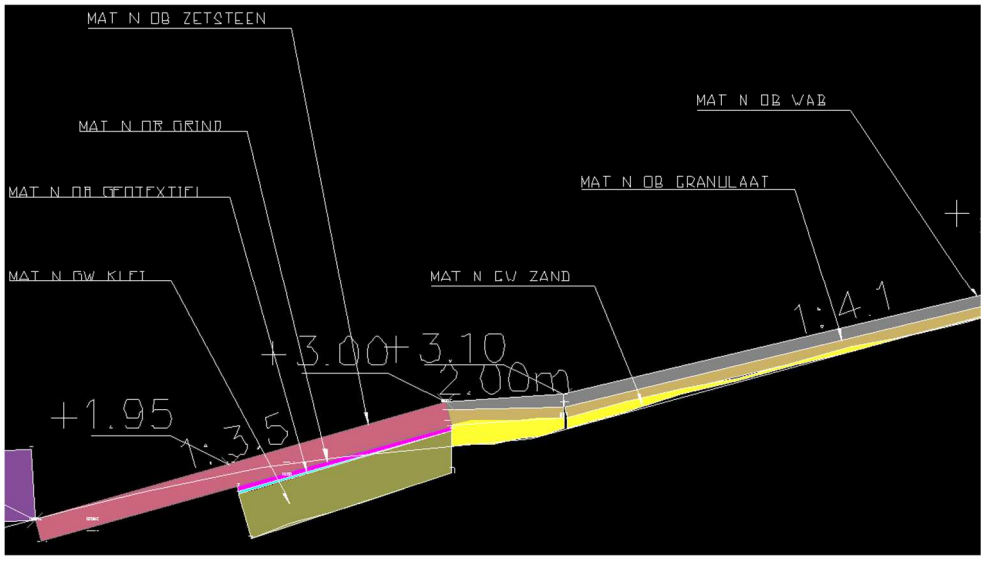
5.6 Uitgangspunten Hoeveelheden

De hoeveelheden zijn ontleend aan het Civil3D ontwerp en vastgelegd in een Excel-sheet, zie bijlage 6.1. In het model is nog beperkt onderscheid gemaakt in de opbouw van de huidige grondbekledingen (zand, klei en teelaarde). In paragraaf 5.4 is dit bij Module Grondwerk toegelicht. Voor de nieuwe grondbekledingen is dit onderscheid in het 3D model wel gemaakt.
De hoeveelheden zijn gebaseerd op de ontwerpprofielen. Er is bij de Landelijke Dijk, variant Glad, gerekend met 5% extra volume als gevolg van te verwachten zettingen. Bij variant Ruw wordt de kruin niet of beperkt verhoogd waardoor deze toevoeging hier niet nodig is.

Hieronder een uitsnede uit het hoeveelhedenmodel.

Ontgraven Grond	m3	MAT_V_GW_GROND
Ontgraven Teelaarde	m3	MAT_V_GW_TEELAARDE
Aanbrengen Grond	m3	MAT_N_GW_GROND
Aanbrengen Teelaarde	m3	MAT_N_GW_TEELAARDE
Aanbrengen Klei	m3	MAT_N_GW_KLEI
Aanbrengen Zand	m3	MAT_N_GW_ZAND
Verwijderen Zetsteen	m2	MAT_V_OB_ZETSTEEN
Verwijderen Waterbouwasfalt	m2	MAT_V_OB_WAB
Aanbrengen Grind	m3	MAT_N_OB_GRIND
Aanbrengen Zetsteen	m3	MAT_N_OB_ZETSTEEN
Aanbrengen Waterbouwasfalt	m2	MAT_N_OB_WAB
Aanbrengen Granulaat	m3	MAT_N_OB_GRANULAAT
Aanbrengen Geotextiel	m2	MAT_N_OB_GEOTEXTIEL
Verwijderen Asfalt	m2	MAT_V_VH_ASFALT
Aanbrengen Asfalt	m2	MAT_N_VH_ASFALT
Aanbrengen Zetsteen Ruw (Boventalud)	m2	MAT_N_OB_ZETSTEEN_RUW
Verwijderen koperslakblok	m3	MAT_V_OB_KOPERSLAKBLOK

Figuur 5-7: uitsnede codes 3D model omgezet naar hoeveelheden



Figuur 5-8: codes 3D model in het ontwerp

Alle volumes zijn gekoppeld aan een objectcode. Hierin worden onderscheid gemaakt in twee typen:

- MAT_N codes voor Nieuw aan te brengen;
- MAT_V codes voor te Verwijderen.

De samenvatting van hoeveelheden uit het 3D model is één op één in het Moduleboek gekopieerd. De hoeveelheden zijn hier verder bewerkt en vervolgens doorgelinkt naar het Hoeveelhedenboek en toegedeeld aan de deeltrajecten en gekoppeld aan de kostenposten van de modules. Hoeveelheden welke niet uit Civil3D komen zijn handmatig bepaald met behulp van Globespotter en de GIS-viewer of gewoon ingeschat, dit zijn hoeveelheden als te verwijderen/ aan te brengen afrasteringen.

Spreidingen Hoeveelheden (investeringskosten)
De spreidingen op de berekende hoeveelheden zijn verwerkt in de sheet Postenboek van Moduleboek. Er is een beknopte toelichting opgenomen voor de gehanteerde spreidingen.
Aspecten waarnaar gekeken is bij bepaling van de spreidingen:

- De hoeveelheden uit het 3D model zijn theoretisch bepaald op basis van ontwerpprofielen, niet rekening gehouden met overgangsconstructies, aansluitingen op bestaande constructies*,
- Mogelijke afwijkingen in het DTM
- Meet onnauwkeurigheden bij handmatig bepaalde hoeveelheden
- Ontwerpoptimalisaties of -aanpassingen binnen de gekozen modules zijn mogelijk,
- Opbouw van bestaande dijk wijkt af van de aannames,
- Compensatie voor zetting en klink
- Mate van hergebruik van materialen nog niet zeker
- Materialen direct toepassen of via tussendepot
- Verdeling schoon/ verontreinigd is anders dan aangenomen

*) een correctie op de grondhoeveelheden is doorgevoerd door toepassing van een toeslagpercentage bij de te leveren grond (deels voor het opvangen van verliezen bij transporten etc.), maar ook ter compensatie van het ontbreken van overgangen, zie figuur 5-6.

5.7 Uitgangspunten Prijzen

In het Moduleboek is in het tabblad “Prijzenboek” een overzicht gegeven van de onderbouwing van de eenheidsprijzen. Dit betreffen onderbouwingen op niveau van arbeid, materieel en materialen. Deze onderbouwingen zijn doorgelinkt naar het Postenboek. De codering van de prijzen is gelijk aan de code van de post.
Nagenoeg alle eenheidsprijzen zijn onderbouwd (zowel van de Investeringskosten als de Levens-duurkosten).
Er zijn enkele europosten opgenomen, deze zijn waar mogelijk ook onderbouwd. De verdeling over de deeltrajecten is als volgt gekozen:

- Haven: 11%
- Landelijke Dijk 1: 57%
- Landelijke Dijk 2: 32%

In een aantal gevallen zijn de kosten naar rato verdeeld op basis van dijkvaklengte.

In de raming zijn percentages voor opslagen en risico’s toegepast. De percentages zijn gehanteerd conform de SSK-methodiek voor Nader te Detailleren, indirecte kosten (aannemersopslagen), vergunningen, verzekeringen en risicotoeslagen.

Onder de post Nader te Detailleren worden kosten voorzien welke in deze fase van het project niet in detail worden geraamd met hoeveelheden en prijzen, gezien hun kleinschalig of éénmalig karakter. Onder deze post kunnen onder andere de volgende kostenposten worden benoemd:

- verwijderen hekken en poorten in afrasteringen, en andere nog niet geraamde NWO’s,
- toepassen inkassingen bij aanvulling grond in de dijk,
- dag faseovergangen,
- maatregelen als afdekken depot, maatregelen tegen verstuiving, schoonmaken platenbaan
- schoonhouden openbare wegen gedurende de uitvoering
- hoogwater maatregelen (oefeningen, materialen in depot),
- maatregelen ter bescherming van kabels en leidingen (proefsleuven, ondersteuning)
- overgangen elementen verhardingen in Havengebied.

In het Moduleboek, Bijlage 3.1 is een uitgebreide lijst opgenomen van mogelijke kostenposten en tevens met een grove kosteninschatting hierbij om te toetsen of het totale percentage dekkend is voor deze post Nader te Detailleren.

Percentages Bouwkosten

Tabel 5-3 Percentages bouwkosten

Bouwkosten	Percentage
Nader te detailleren bouwkosten	10 %
Eenmalige kosten*	2 %
Algemene bouwplaatskosten	2 %
Uitvoeringskosten **	Euro bedrag
Algemene kosten	9 %
Winst	3 %
Risico	2 %
Niet benoemd Objectrisico Bouwkosten	5%

*) Binnen de Eenmalige Kosten is in de raming ook nog een euro-bedrag opgenomen voor aan- en afvoer van materieel.
**) De kosten voor Uitvoering binnen de Indirecte Bouwkosten zijn onderbouwd, zie bijlage 7.1 en opgenomen als europost. Het bedrag vertegenwoordigd ongeveer een percentage van 8%.
De Algemene Kosten en W&R zijn door het Waterschap vastgesteld op totaal 14%.

Er zijn geen vastgoedkosten in de raming opgenomen, aangenomen is dat dit niet van toepassing is. Eventuele huur van gronden is voorzien in de Bouwkosten (onderdeel nader te detailleren).

Percentages Engineeringskosten

Tabel 5-4: Percentages engineeringskosten

Engineeringskosten	Percentage
Algemene kosten*	9%
Winst & Risico*	5%
Niet benoemd objectrisico	5%

Bij de Engineeringskosten zijn alle bedragen als euro-bedragen opgenomen, op basis van onderbouwing (zie bijlage 7.1, 7.3 en 7.4). Er zijn alleen over de kosten van de opdrachtnemer indirecte kosten (*) opgenomen en een Niet Benoemd risicopercentage voorzien.

Percentages Overige Bijkomende kosten

Tabel 5-5: Percentages overige bijkomende kosten

Overige Bijkomende Kosten	Percentage
Leges en heffingen uit vergunningen OG	0,5 %
Verzekeringspremies ON	1,5 %
Communicatiekosten OG	0,5 %
Compenserende maatregelen OG	0,5 %
Algemene kosten*	9%

Winst & Risico*	5%
Niet benoemd objectrisico	5 %

Bij de Overige Bijkomende kosten zijn indirecte kosten meegenomen over de kosten van de ON tijdens de uitvoering. Verder zijn kosten voor OG meegenomen als percentage voor Leges.
Diverse kosten binnen deze categorie zijn als europost meengenomen en in het Prijzenboek onderbouwd.
Net als bij de Engineering zijn over de kosten van de Opdrachtnemer indirecte kosten (*) meegenomen.

Spreidingen Prijzen (investeringskosten)
De spreidingen op de eenheidsprijzen zijn verwerkt in de sheet Postenboek van Moduleboek. Er is een beknopte toelichting opgenomen voor de gehanteerde spreidingen in deze sheet. Zaken die de spreiding beïnvloeden zijn onder andere:

- ontwerpvariaties nog mogelijk
- productie van materieel en inzet grootte van het materieel
- depotlocatie (afstand tot het werk)
- leverantieprijzen (waarbij deels aanname per as en via water)
- aannames met betrekking tot acceptatiekosten van vrijkomende materialen (hergebruik mogelijkheden)

Percentages Levensduurkosten

Tabel 5-6: Percentages Levensduurkosten

Levensduurkosten	Percentage
Nader te detailleren bouwkosten	10 %
Eenmalige kosten	2 %
Algemene bouwplaatskosten	2 %
Uitvoeringskosten	6 %
Algemene kosten	9 %
Winst	3 %
Risico	2 %
Engineeringskosten	2 %
Leges & heffingen	1 %
Overige kosten	1 %
Niet benoemd objectrisico	5 %

Voor Objectoverstijgende risico's zie volgend hoofdstuk.

5.8 Uitgangspunt contractvorm

Er wordt uitgegaan van een geïntegreerde contractvorm (bouwteam verband). In de kostenraming zijn de Engineeringskosten per projectfase weergegeven: Planuitwerkingsfase, Uitvoeringsontwerpfase en Realisatiefase. In het bouwteamverband wordt het uitvoeringsontwerp binnen de planuitwerkingsfase uitgevoerd terwijl dit normaliter na aanbesteding/gunning in de realisatiefase plaats vindt. Met dit

samenwerkingsverband wordt ingestoken op het beheersen van uitvoeringsrisico's in de planuitwerkingsfase.

6 Risicoreservering

6.1 Risicodossier

Er is recent een risicodossier opgesteld door het Waterschap Noorderzijlvest voor de Planuitwerkingsfase en Realisatiefase. Er is gekozen om de risico's van de Planuitwerkingsfase uit het register behorende bij de PU-raming te hanteren (stand november 2019). Voor de Realisatiefase is het recente dossier gebruikt van 16 maart 2020. Zie bijlage 4.1 en 4.2. De kans van optreden en de mogelijke gevolgkosten zijn op basis van 'klassen' bepaald. Zie de tabel hieronder met welke waarden gerekend is.

Tabel 6-1: Kans- en gevolgklassen risicodossiers

Klasse	Rekenwaarde Kans [%]	Rekenwaarde Gevolg PU [€]	Rekenwaarde Gevolg REA [€]
1	3,50%	€ 25.000	€ 125.000
2	7,50%	€ 100.000	€ 500.000
3	17,50%	€ 225.000	€ 1.125.000
4	37,50%	€ 400.000	€ 2.000.000
5	75,00%	€ 750.000	€ 3.000.000

Het risicoregister van PU fase en Realisatiefase is opgesteld met risico's ná beheersmaatregelen.

6.2 Risicoreserveringen

6.2.1 Objectgebonden risicoreservering

In de kostenraming is een reservering opgenomen voor Niet Benoemde risico's bij Bouwkosten, Engineeringskosten (PU, UO en Realisatie) en Overige Bijkomende Kosten van 5%. Voor de Levensduurkosten is ook een percentage opgenomen van 5%. Er zijn geen benoemde risico's voorzien bij de objecten/ deelramingen.

6.2.2 Objectoverstijgende risicoreservering

Bij de Objectoverstijgende risicoreservering is een percentage Niet Benoemde risicoreservering opgenomen van 5%. Voor de Levensduurkosten is dat 10%. Om te voorkomen dat over de Planuitwerkingsfase en Uitvoeringsontwerpfase dubbel gerekend wordt met een Niet Benoemde risicoreservering is dit in mindering gebracht bij de Objectoverstijgende risicoreservering.
Totaal zijn 19 benoemde risico's bij de Planuitwerkingsfase en 18 benoemde risico's bij de Realisatiefase opgenomen, er zijn geen risico's benoemd voor de Levensduurkosten. De totale reservering op basis van het dossier bedraag respectievelijk € 1,25 K en € 2,3 M excl. BTW. Zie tabel 6-5 voor de totale risicoreservering per variant.

6.2.3 Scheefte

De ramingen zijn probabilistisch doorgerekend met het programma Risicoraming van CIT-groep uit Goes. Scheefte is het verschil tussen de Gemiddelde Waarde (Mu) en de Deterministische waarde van de Investeringskosten en Levensduurkosten. Scheefte wordt veroorzaakt door de toegepaste spreidingen op de Hoeveelheden, Prijzen en Procentuele toeslagen in de raming. Een 'positieve (+)' scheefte laat zien

dat overall met meer onzekerheid ‘naar boven’ is gerekend dan ‘naar beneden’. De scheefte wordt toegevoegd aan de risicoreservering.
In onderstaande tabellen wordt verwezen naar de Varianten 1 t/m 4, voor de volledigheid is de samenstelling van de varianten hier nog een keer genoemd:

- Variant 1: Haven Smalle Kruinverhoging – Landelijke Dijk Glad
- Variant 2: Haven Verticale Wand – Landelijke Dijk Ruw
- Variant 3: Haven Smalle Kruinverhoging – Landelijke Dijk Ruw
- Variant 4: Haven Verticale Wand – Landelijke Dijk Glad

Tabel 6-3: Overzicht scheefte per variant

Scheefte	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4
Scheefte Investeringskosten	1,8%	1,7%	1,7%	1,9%
Scheefte Levensduurkosten	3,0%	2,6%	2,6%	3,1%

De getoonde waarden zijn niet vreemd bij een Verkenningsfase.

6.3 Analyse totaalsom risicoreservering

Het HWBP stelt in de nieuwe regeling Deel B [8] geen eisen meer aan de totale risicoreservering binnen een kostenraming of aan de verdeling tussen ‘benoemd’ en ‘niet benoemd’ voor wat betreft de Realisatiefase. Een en ander vindt plaats op basis van toetsing. De kosten voor beheersmaatregelen mogen geen onderdeel uitmaken van de risicoreservering. Voor de Planuitwerkingskosten geldt een maximaal Niet Benoemd percentage van 5%, daar is rekening mee gehouden.

Hieronder volgt een overzicht van de procentuele risicoreservering ten opzichte van de Voorziene Investeringskosten en -Levensduurkosten.

Tabel 6-4: overzicht risicoreservering t.o.v. Voorziene kosten per variant

Risicoreservering t.o.v. voorzien	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4
Aandeel bij Investeringskosten	15,5%	15,5%	15,5%	16,0%
Aandeel bij Levensduurkosten	18,9%	18,5%	18,5%	19,1%

In de tabel hieronder is een overzicht van totale risicoreservering per variant weergegeven.

Tabel 6-5: overzicht risicoreservering verdeling per categorie

Risicoreservering in de ramingen	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4
Risicoreservering Object Bouwkosten	€ 1.918.031	€ 1.872.971	€ 1.857.204	€ 1.933.798
Risicoreservering Object Engineeringskosten	€ 582.721	€ 582.721	€ 582.721	€ 582.721
Risicoreservering Object Overige Bijk. Kosten	€ 177.747	€ 154.640	€ 175.922	€ 156.464
Benoemde risico’s PU-fase	€ 125.250	€ 125.250	€ 125.250	€ 125.250
Benoemde risico’s Realisatiefase	€ 2.320.625	€ 2.320.625	€ 2.320.625	€ 2.320.625
Onbenoemde objectoverstijgende risico's	€ 2.615.538	€ 2.543.963	€ 2.549.754	€ 2.609.747
Scheefte	€ 1.088.123	€ 1.041.182	€ 1.000.533	€ 1.149.844
Risicoreservering – TOTAAL (excl. BTW)	**€ 8.702.785**	**€ 8.516.101**	**€ 8.486.760**	**€ 8.753.199**

Het risicodossier kent geen variant onderscheidende risico's. Het Havengebied is relatief klein qua trajectlengte en ingrepen, maar is wel complex vanwege de inpassing en omgevingsinvloeden. De Landelijke Dijk kent nagenoeg geen complexiteit en bevat het grootste deel van de dijkversterking (in trajectlengte en totale kosten). De totale risicoreservering lijkt daarmee passend voor deze fase.

Het aandeel Benoemd inclusief Scheefte ten opzichte van de totale reservering is hieronder weergegeven.

Tabel 6-6: overzicht Benoemd / Niet Benoemde risicoreservering per variant

Risicoverdeling	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4
Benoemd aandeel + scheefte	39,2%	39,5%	39,1%	39,6%
Benoemd aandeel – scheefte	26,7%	27,2%	27,3%	26,5%

In het dossier van de Realisatiefase komen vier risico's voor met gevolgkosten € 2 M. Bij optreden van deze 4 grootste risico's is de totale reservering net passend. De kans van optreden is relatief klein, tussen 3,5% en maximaal 17,5%.

Binnen het dossier van de Planuitwerkingsfase is het hoogste risico: ON/IB komen met alternatieven die niet passen binnen het VKA: 17,5% met € 225.000,- aan gevolgkosten. De totale reservering van de PU fase bedraagt € 125.250,- en is daarmee ontoereikend indien het risico zou optreden.

7 Resultaten van de raming

7.1 Resultaten

De ramingen van de het Voorkeursalternatief zijn gemaakt met behulp van de Standaard Systematiek Kostenramingen (SKK). De ramingen hebben prijspeil 1 februari 2020 en zijn geraamd inclusief B.T.W. De Projectkosten (Investeringskosten en Levensduurkosten) zijn hieronder weergegeven op per variant, nominaal en gekapitaliseerd. Het betreft versie 2.0d van 1 april 2020. Zie bijlage 3 voor de ramingen en een samenvatting.

Samenvatting SSK	*variant 1*	*variant 2*	*variant 3*	*variant 4*
	Totaal	*Totaal*	*Totaal*	*Totaal*
Kostencategorieën				
Investeringskosten (indeling naar categorie):	**Kruin / Glad**	**Wand / Ruw**	**Kruin / Ruw**	**Wand / Glad**
Bouwkosten	**€ 40.278.646**	**€ 39.332.392**	**€ 39.001.283**	**€ 40.609.755**
Vastgoedkosten	**€ -**	**€ -**	**€ -**	**€ -**
Engineeringskosten Deelraming Eng. Planfase	€ 5.299.371	€ 5.299.371	€ 5.299.371	€ 5.299.371
Engineeringskosten Deelraming Eng. UO fase	€ 1.465.480	€ 1.465.480	€ 1.465.480	€ 1.465.480
Engineeringskosten Deelraming Eng. Realisatie	€ 5.472.294	€ 5.472.294	€ 5.472.294	€ 5.472.294
Engineeringskosten	**€ 12.237.145**	**€ 12.237.145**	**€ 12.237.145**	**€ 12.237.145**
Overige bijkomende kosten	**€ 3.732.689**	**€ 3.247.430**	**€ 3.694.368**	**€ 3.285.751**
Subtotaal investeringskosten	**€ 56.248.480**	**€ 54.816.968**	**€ 54.932.796**	**€ 56.132.652**
Objectoverstijgende risico's	€ 4.936.163	€ 4.864.588	€ 4.870.379	€ 4.930.372
Investeringskosten deterministisch	**€ 61.184.644**	**€ 59.681.555**	**€ 59.803.175**	**€ 61.063.023**
Scheefte	€ 1.088.123	€ 1.041.182	€ 1.000.533	€ 1.149.844
Investeringskosten exclusief BTW	**€ 62.272.767**	**€ 60.722.737**	**€ 60.803.708**	**€ 62.212.867**
BTW	€ 11.772.159	€ 11.451.333	€ 11.470.736	€ 11.756.751
Investeringskosten inclusief BTW	**€ 74.044.926**	**€ 72.174.070**	**€ 72.274.444**	**€ 73.969.618**
Investeringskosten inclusief BTW - CW	**€ 72.069.830**	**€ 70.251.781**	**€ 70.348.793**	**€ 71.997.215**

Tabel 7-1: Samenvatting SSK-raming Investeringskosten VKA varianten (combinatie Haven en Landelijke Dijk 1 en 2)

Levensduurkosten:	**Kruin / Glad**	**Wand / Ruw**	**Kruin / Ruw**	**Wand / Glad**
Subtotaal levensduurkosten	**€ 60.559.291**	**€ 63.356.298**	**€ 61.663.813**	**€ 62.251.777**
Objectoverstijgende risico's	€ 6.055.929	€ 6.335.630	€ 6.166.381	€ 6.225.178
Levensduurkosten deterministisch	**€ 66.615.220**	**€ 69.691.928**	**€ 67.830.194**	**€ 68.476.954**
Scheefte	€ 1.971.430	€ 1.813.634	€ 1.765.906	€ 2.129.532
Levensduurkosten exclusief BTW	**€ 68.586.650**	**€ 71.505.562**	**€ 69.596.100**	**€ 70.606.486**
BTW	€ 14.264.704	€ 14.871.782	€ 14.474.650	€ 14.684.791
Levensduurkosten inclusief BTW	**€ 82.851.354**	**€ 86.377.344**	**€ 84.070.750**	**€ 85.291.277**
Levensduurkosten inclusief BTW (contante waarde), d	**€ 16.222.658**	**€ 15.857.180**	**€ 15.403.760**	**€ 16.702.182**
t 70% zekerheid liggen de levensduurkosten inclusief BTW tussen	*€ 110.724.319*	*€ 115.761.424*	*€ 112.595.494*	*€ 114.139.977*
Variatiecoëfficiënt				
Projectkosten inclusief BTW	**€ 156.896.280**	**€ 158.551.414**	**€ 156.345.194**	**€ 159.260.895**
Projectkosten inclusief BTW (contante waarde), di	**€ 88.292.488**	**€ 86.108.960**	**€ 85.752.554**	**€ 88.699.397**
Budgetvaststelling investeringskosten:				
Investeringskosten inclusief BTW	€ 74.044.926	€ 72.174.070	€ 72.274.444	€ 73.969.618
Verkenningsfase kosten	**€ 4.849.766**	**€ 4.849.766**	**€ 4.849.766**	**€ 4.849.766**
Aan te houden risicoreservering en totaal budget invest	**€ 78.894.692**	**€ 77.023.836**	**€ 77.124.210**	**€ 78.819.384**

Tabel 7-2: Samenvatting SSK raming Levensduurkosten + totaal VKA (combinatie Haven en Landelijke Dijk 1 en 2)

In de investeringskosten van de varianten zijn de kosten voor de Planuitwerkingsfase, Uitvoerings-ontwerpfase en Engineering van de Realisatiefase in aparte deelramingen meegenomen. De kosten van de Verkenningsfase zijn hierbuiten gehouden maar wel in de totaaltelling voor het budget meegenomen, zie tabel 7-2.

De gewenste variatiecoëfficiënt voor deze fase bedraagt < 25%. De ramingen hebben een variatiecoëfficiënt van 17% en 18% voor de Investeringskosten en 32% voor de Levensduurkosten en vallen daarmee binnen de gestelde richtlijn.

De getoonde tabellen laten de resultaten van de kostenramingen zien zowel nominaal, als met een contante waarde (CW), waarbij een discontovoet van 3% is aangehouden. De looptijd van de investeringskosten bedraagt 3 jaar, de looptijd van de levensduurkosten bedraagt 100 jaar. Op basis van de Contante Waarde zijn Variant 2 en 3 het voordeligst en nagenoeg gelijk aan elkaar.

In het deel Levensduurkosten zijn de beheer- en onderhoudskosten geraamd inclusief vervanging van de gerealiseerde objecten. De SSK genereert ook een overzicht van de gemiddeld jaarlijkse onderhoudskosten exclusief deze vervangingen; de resultaten zijn als volgt (nominaal, incl. BTW).

- Variant 1 € 297.555,- gemiddeld per jaar,
- Variant 2 € 291.544,- gemiddeld per jaar,
- Variant 3 € 278.375,- gemiddeld per jaar,
- Variant 4 € 311.247,- gemiddeld per jaar

Resultaten per variant

De ramingen zijn voor de gehele dijk opgesteld, dus met een variant voor het Haven-deel en een variant voor de Landelijke Dijk. De kosten voor Engineering en Risico's zijn namelijk niet zondermeer over een specifiek dijktraject te verdelen. Toch is het nodig de varianten ook afzonderlijk te beschouwen, om zo de onderlinge verschillen beter inzichtelijk te kunnen maken. In de onderstaande tabellen zijn de kosten per variant weergegeven, waarbij risicoreserveringen en engineeringskosten naar rato zijn verdeeld.

Varianten	Investeringskosten (incl. BTW)
Haven variant 1 - Smalle kruinverhoging	€ 11,58 mln.
Haven variant 2 - Inkassing in talud met verticale wand	€ 11,47 mln.
Landelijke Dijk variant 1 - Binnenwaarts met 'glad' boventalud	€ 62,46 mln.
Landelijke Dijk variant 2 - Binnenwaarts met 'ruw' boventalud	€ 60,70 mln.

Tabel 7-3 Investeringskosten per variant

Tabel 7-3 laat zien dat de kosten van de Smalle Kruinverhoging ten opzichte van Verticale Wand iets hoger zijn. De Bouwkosten van de Smalle Kruinverhoging zijn wel lager dan bij de Verticale Wand, maar dit wordt gecompenseerd door hogere kosten voor verleggen van kabels en leidingen (welke bij Overige Bijkomende Kosten zijn voorzien).
Het verschil tussen de Landelijke Dijk met een glad boventalud en een ruw boventalud bedraagt ca. € 2 mln. Bij de oplossing met ruw boventalud is de hoogte van de dijk lager, dan bij een glad boventalud. Dit leidt tot minder volume grondwerk (dus in hoogte en daarmee ook de breedte van de dijk). En hoewel de constructie van ruwe zetsteen relatief duur is vergeleken met aanbrengen van extra klei of waterbouwasfalt, weegt dat niet op tegen het extra grondwerk. De lagere kosten van deze variant komen naast minder grondwerk ook door een veel kleinere impact op de binnendijks gelegen Kustweg. Bij de variant met glad boventalud moet de weg over ca. 3.800 m verlegd worden tegenover 1.500 m bij de variant met ruw boventalud.

Varianten	Levensduurkosten (incl. BTW)	Levensduurkosten contante waarde
H variant 1 - Smalle kruinverhoging	€ 11,05 mln.	€ 1,84 mln.
H variant 2 - Inkassing in talud met verticale wand	€ 13,32 mln.	€ 2,29 mln.
LD variant 1 - Binnenwaarts met 'glad' boventalud	€ 71,80 mln.	€ 14,38 mln.
LD variant 2 - Binnenwaarts met verruwing boventalud	€ 73,05 mln.	€ 13,56 mln.

Tabel 7-4 Levensduurkosten per variant

De Haven varianten geven in de levensduurkosten een onderscheidend verschil; zowel nominaal als bij de contante waarde is de Verticale Wand duurder. Dit wordt veroorzaakt door het onderhoud aan de wand: herstel metselwerk/ betonreparatie en de vervangingskosten na 100 jaar. Bij de Smalle Kruinverhoging is ook een constructie voorzien, een stalen damwand, maar hier is behalve incidentele inspectie alleen vervanging gerekend na 100 jaar. Daarbij komt dat de totale aanleg- en vervangingskosten van de stalen damwand ook lager zijn.

Bij de Landelijke dijk is er onderscheid in de resultaten bij de varianten tussen de nominale kosten en de contante waarde. Bij de nominale kosten is de oplossing met glad boventalud voordeliger maar bij de contante waarde is dat de oplossing met ruw boventalud. In de raming is de onderhoudsfrequentie en omvang van het onderhoud bij het ruwe boventalud geringer dan bij de asfalt bekleding in het boventalud. Opgemerkt wordt dat het onderhoud aan de Kustweg niet mee is genomen in de Levensduurkosten (geldt voor beide varianten).

7.2 Risicobijdrage en onzekerheden

Uit de probabilistische doorrekening komen posten naar voren welke een grote bijdrage leveren aan de bandbreedte van de kosten, zie hieronder (de tabellen zijn opgenomen in de SSK-ramingen in bijlage 3).

Hergebruik bouwstoffen en grond te optimistisch ingeschat, in praktijk niet herbruikbaar en/of andere kwaliteit dan voorzien, (object: O.o. risico's, oorzaak: hoeveelheid)	7,8%
Onverwachte verontreinigingen (o.a. PFAS) in grond aangetroffen, (object: O.o. risico's, oorzaak: hoeveelheid)	7,4%
Gecalculeerde hoeveelheden blijken niet te kloppen, (object: O.o. risico's, oorzaak: hoeveelheid)	7,3%
Niet benoemd objectoverstijgend risico investeringskosten (%), (object: O.o. risico's, oorzaak: hoeveelheid)	6,0%
aanbrengen waterbouwasfalt 0,17 m (aanvoer per as), (object: LD1 v1 Glad, oorzaak: prijs)	3,8%
leveren breuksteen 300-1000 kg, lossen uit schip, vervoeren naar depot, (object: LD1 v1 Glad, oorzaak: prijs)	3,6%
leveren breuksteen 300-1000 kg, lossen uit schip, vervoeren naar depot, (object: LD1 v1 Glad, oorzaak: hoeveelheid)	2,8%
aanbrengen waterbouwasfalt 0,17 m (aanvoer per as), (object: LD1 v1 Glad, oorzaak: hoeveelheid)	2,7%
Overig	58,6%
Totaal	100,0%

Figuur 7-3: risicobijdrage investeringskosten variant 1

vervangen waterbouwasfalt met slijtlaag, (object: LD1 v1 Glad, oorzaak: hoeveelheid)	21,5%
vervangen waterbouwasfalt met slijtlaag, (object: LD1 v1 Glad, oorzaak: prijs)	20,6%
vervangen waterbouwasfalt met slijtlaag, (object: LD2 v1 Glad, oorzaak: prijs)	7,1%
vervangen waterbouwasfalt met slijtlaag, (object: LD2 v1 Glad, oorzaak: hoeveelheid)	7,1%
Niet benoemd objectoverstijgend risico levensduurkosten (%), (object: O.o. risico's, oorzaak: hoeveelheid)	5,3%
vervangen betonzuil 400 mm met onderlagen, (object: LD1 v1 Glad, oorzaak: prijs)	3,4%
vervangen betonzuil 400 mm met onderlagen, (object: LD1 v1 Glad, oorzaak: hoeveelheid)	3,0%
onderhoud / bijwerken slijtlaag, (object: LD1 v1 Glad, oorzaak: hoeveelheid)	2,3%
Overig	29,6%
Totaal	100,0%

Figuur 7-4: risicobijdrage levensduurkosten variant 1

Hergebruik bouwstoffen en grond te optimistisch ingeschat, in praktijk niet herbruikbaar en/of andere kwaliteit dan voorzien, (object: O.o. risico's, oorzaak: hoeveelheid)	9,0%
Onverwachte verontreinigingen (o.a. PFAS) in grond aangetroffen, (object: O.o. risico's, oorzaak: hoeveelheid)	7,9%
Niet benoemd objectoverstijgend risico investeringskosten (%), (object: O.o. risico's, oorzaak: hoeveelheid)	7,4%
Gecalculeerde hoeveelheden blijken niet te kloppen, (object: O.o. risico's, oorzaak: hoeveelheid)	7,4%
leveren breuksteen 300-1000 kg, lossen uit schip, vervoeren naar depot, (object: LD1 v2 Ruw, oorzaak: hoeveelheid)	3,2%
leveren breuksteen 300-1000 kg, lossen uit schip, vervoeren naar depot, (object: LD1 v2 Ruw, oorzaak: prijs)	3,2%
leveren zetsteen beton 400 mm, lossen uit schip, vervoeren naar depot, (object: LD1 v2 Ruw, oorzaak: hoeveelheid)	3,2%
aanbrengen waterbouwasfalt 0,17 m (aanvoer per as), (object: LD1 v2 Ruw, oorzaak: prijs)	3,0%
Overig	55,7%
Totaal	100,0%

Figuur 7-5: risicobijdrage investeringskosten variant 2

vervangen waterbouwasfalt met slijtlaag, (object: LD1 v2 Ruw, oorzaak: prijs)	17,0%
vervangen waterbouwasfalt met slijtlaag, (object: LD1 v2 Ruw, oorzaak: hoeveelheid)	16,6%
Niet benoemd objectoverstijgend risico levensduurkosten (%), (object: O.o. risico's, oorzaak: hoeveelheid)	7,2%
vervangen waterbouwasfalt met slijtlaag, (object: LD2 v2 Ruw, oorzaak: hoeveelheid)	6,7%
vervangen waterbouwasfalt met slijtlaag, (object: LD2 v2 Ruw, oorzaak: prijs)	5,4%
vervangen betonzuil 400 mm met onderlagen, (object: LD1 v2 Ruw, oorzaak: hoeveelheid)	4,1%
vervangen betonzuil 400 mm met onderlagen, (object: LD1 v2 Ruw, oorzaak: prijs)	3,5%
vervangen grasbekleding (herstel toplaag), (object: LD1 v2 Ruw, oorzaak: hoeveelheid)	2,9%
Overig	36,7%
Totaal	100,0%

Figuur 7-6: risicobijdrage levensduurkosten variant 2

Onverwachte verontreinigingen (o.a. PFAS) in grond aangetroffen, (object: O.o. risico's, oorzaak: hoeveelheid)	8,4%
Gecalculeerde hoeveelheden blijken niet te kloppen, (object: O.o. risico's, oorzaak: hoeveelheid)	8,2%
Hergebruik bouwstoffen en grond te optimistisch ingeschat, in praktijk niet herbruikbaar en/of andere kwaliteit dan voorzien, (object: O.o. risico's, oorzaak: hoeveelheid)	8,0%
Niet benoemd objectoverstijgend risico investeringskosten (%), (object: O.o. risico's, oorzaak: hoeveelheid)	6,0%
leveren zetsteen beton 400 mm, lossen uit schip, vervoeren naar depot, (object: LD1 v1 Ruw, oorzaak: hoeveelheid)	3,7%
leveren breuksteen 300-1000 kg, lossen uit schip, vervoeren naar depot, (object: LD1 v1 Ruw, oorzaak: prijs)	3,6%
leveren breuksteen 300-1000 kg, lossen uit schip, vervoeren naar depot, (object: LD1 v1 Ruw, oorzaak: hoeveelheid)	2,9%
aanbrengen waterbouwasfalt 0,17 m (aanvoer per as), (object: LD1 v1 Ruw, oorzaak: prijs)	2,9%
Overig	56,3%
Totaal	100,0%

Figuur 7-7: risicobijdrage investeringskosten variant 3

vervangen waterbouwasfalt met slijtlaag, (object: LD1 v1 Ruw, oorzaak: hoeveelheid)	17,2%
vervangen waterbouwasfalt met slijtlaag, (object: LD1 v1 Ruw, oorzaak: prijs)	16,6%
vervangen waterbouwasfalt met slijtlaag, (object: LD2 v1 Ruw, oorzaak: hoeveelheid)	5,9%
Niet benoemd objectoverstijgend risico levensduurkosten (%), (object: O.o. risico's, oorzaak: hoeveelheid)	5,9%
vervangen waterbouwasfalt met slijtlaag, (object: LD2 v1 Ruw, oorzaak: prijs)	5,2%
vervangen betonzuil 400 mm met onderlagen, (object: LD1 v1 Ruw, oorzaak: hoeveelheid)	4,9%
vervangen betonzuil 400 mm met onderlagen, (object: LD1 v1 Ruw, oorzaak: prijs)	4,0%
vervangen grasbekleding (herstel toplaag), (object: LD1 v1 Ruw, oorzaak: hoeveelheid)	2,5%
Overig	37,9%
Totaal	100,0%

Figuur 7-8: risicobijdrage levensduurkosten variant 3

Gecalculeerde hoeveelheden blijken niet te kloppen, (object: O.o. risico's, oorzaak: hoeveelheid)	7,6%
Hergebruik bouwstoffen en grond te optimistisch ingeschat, in praktijk niet herbruikbaar en/of andere kwaliteit dan voorzien, (object: O.o. risico's, oorzaak: hoeveelheid)	7,3%
Onverwachte verontreinigingen (o.a. PFAS) in grond aangetroffen, (object: O.o. risico's, oorzaak: hoeveelheid)	6,7%
Niet benoemd objectoverstijgend risico investeringskosten (%), (object: O.o. risico's, oorzaak: hoeveelheid)	6,1%
aanbrengen waterbouwasfalt 0,17 m (aanvoer per as), (object: LD1 v1 Glad, oorzaak: prijs)	5,3%
leveren breuksteen 300-1000 kg, lossen uit schip, vervoeren naar depot, (object: LD1 v1 Glad, oorzaak: prijs)	3,2%
Onverwachte K&L (onbekende K&L in haven), (object: O.o. risico's, oorzaak: hoeveelheid)	3,2%
leveren breuksteen 300-1000 kg, lossen uit schip, vervoeren naar depot, (object: LD1 v1 Glad, oorzaak: hoeveelheid)	3,1%
Overig	57,4%
Totaal	100,0%

Figuur 7-9: risicobijdrage investeringskosten variant 4

vervangen waterbouwasfalt met slijtlaag, (object: LD1 v1 Glad, oorzaak: hoeveelheid)	22,3%
vervangen waterbouwasfalt met slijtlaag, (object: LD1 v1 Glad, oorzaak: prijs)	20,9%
vervangen waterbouwasfalt met slijtlaag, (object: LD2 v1 Glad, oorzaak: prijs)	7,4%
vervangen waterbouwasfalt met slijtlaag, (object: LD2 v1 Glad, oorzaak: hoeveelheid)	7,1%
Niet benoemd objectoverstijgend risico levensduurkosten (%), (object: O.o. risico's, oorzaak: hoeveelheid)	5,8%
onderhoud / bijwerken slijtlaag, (object: LD1 v1 Glad, oorzaak: hoeveelheid)	2,8%
vervangen betonzuil 400 mm met onderlagen, (object: LD1 v1 Glad, oorzaak: hoeveelheid)	2,8%
vervangen betonzuil 400 mm met onderlagen, (object: LD1 v1 Glad, oorzaak: prijs)	2,8%
Overig	28,0%
Totaal	100,0%

Figuur 7-10: risicobijdrage levensduurkosten variant 4

7.3 Koppelprojecten

In paragraaf 4.5 zijn de mogelijke koppelprojecten benoemd. Van enkele van de koppelprojecten zijn door Royal HaskoningDHV kostenramingen opgesteld. De projecten en ramingen worden in deze paragraaf benoemd, ook in welke mate deze inhaken op de dijkversterking.
Voor de volgende koppelprojecten zijn kostenramingen gemaakt, zie bijlage 7.5:

1. Natuurlijke overgangen en onderwaternatuur*
2. Kwelderontwikkeling*,
3. Zoet-zout overgang en vismigratie Westpolder en Zoutkamperril*,

De kosten zijn geraamd in november 2019 en daarna niet meer geactualiseerd naar huidig prijspeil.
Zie bijlage 7.5 voor de raming van deze ecologische plussen, deze zijn op investeringskostenniveau inclusief BTW.

- Natuurlijke overgangen en onderwaternatuur € 4.597.785,-
- Kwelderontwikkeling € 1.986.341,-
- Zoet-zoutovergang en vismigratie € 13.861.443,-

De Westelijke Havendam is niet geraamd (door Royal HaskoningDHV).

De kosten voor het compenseren van de bodemdaling als gevolg van gaswinning is tevens apart geraamd, de bedragen zijn deterministische investeringskosten inclusief BTW:

- Variant Binnenwaarts Glad: € 565.910,-.
- Variant Binnenwaarts Ruw: € 665.703,-.

Zie bijlage 7.6 en 7.7 voor de ramingen.

Samenhang van de koppelprojecten met de dijkversterking
Algemeen: aangenomen wordt dat de koppelprojecten binnen het contract van de dijkversterking worden meegenomen, hiermee zal de realisatie van de koppelprojecten efficiënt(er) plaats kunnen vinden. De maatregelen worden dan opgenomen in de totale projectplanning. Zo kan met gebruik van bijvoorbeeld de loswal de aan- en afvoer van materialen voordelig plaats vinden. In de raming van de koppelprojecten (natuurlijke overgang) is hier al rekening mee gehouden.

Ad. 1: Natuurlijke overgangen en onderwaternatuur. In deze ‘module’ is het plaatsen van breuksteen voorzien op het wad in de overgang van nat naar droog. In het ontwerp van de dijkversterking is ook gerekend met het plaatsen van breuksteen in de teenconstructie over de gehele lengte van de Landelijke Dijk 1 en een deel van Landelijke Dijk 2. Er is daarmee een overlap met de constructie van de natuurlijke

overgangen in de koppelkans. De beoogde gewichtsklassen zijn niet helemaal vergelijkbaar en ook de plaatsing in het dwarsprofiel zal niet helemaal overeenkomen. De exacte samenloop/ overlap moet daarom nog bekeken worden in de planuitwerkingsfase..
Feit is wel dat er in het kader van de dijkversterking de berekende teenconstructie minimaal benodigd is voor waterveiligheid, eventueel voordeel uit de samenloop is dan vooral voor het koppelproject.

Ad. 2: Kwelderontwikkeling. De kwelderontwikkeling vindt vooral plaats ter hoogte van de Landelijke Dijk 2, buitendijks en heeft geen directe samenloop met de dijkversterking.

Ad. 3: Zoet-zoutovergang en vismigratie. Voor de zoet-zoutovergang wordt een in/uitlaat door de dijk aangelegd. Afhankelijk van de uitvoeringswijze zal een stuk dijk afgegraven worden en later weer hersteld. Het nieuwe ontwerp van de dijk heeft daar beperkt invloed op. Binnendijks wordt een vijzelgemaal aangelegd om verbinding te maken met het zoute kwelgebied, zoals weergegeven in figuur 2-1. De vismigratiemaatregelen bestaan vooral uit het aanleggen van vistrappen in de binnendijks gelegen gebieden. Deze grijpen niet in op de dijkversterking.

Bodemdaling: Het waterschap kan het deel dijkverhoging wat meegenomen is ten behoeve van de bodemdaling gecompenseerd krijgen via de Commissie Bodemdaling. De omvang van de compensatie is in een aparte raming opgenomen, zie bijlage 7.6. De geraamde kosten zijn vervolgens in de raming van de dijkversterking in mindering gebracht.

8 Verschillen analyse

8.1 Verschillen ten opzichte van vorige kostennota

In deze paragraaf worden de verschillen benoemd tussen de verschillende versies van de raming, waarbij ook die van de Kansrijke Alternatieven zijn meegenomen voor een compleet beeld.

Verschillen tussen Kansrijke Alternatieven - versie 1 en 2:
De verschillen tussen de eerste en tweede uitgave zijn de volgende:

- Kleibekleding Alternatief 2: Binnenwaarts Ruw bij Landelijke Dijk 1 aangepast (minder volume);
- Toevoegen posten aanpassen Kustweg (vervangen of gedeeltelijk slopen) bij Binnenwaarts Glad resp. Binnenwaarts Ruw:
- Aanpassingen in de Engineeringskosten (Planuitwerkingsfase):
- Aanpassen kwaliteit van op te breken Waterbouwasfalt, van deels teerhoudend naar volledig schoon;
- Zetsteenbekleding 300 mm naar 400 mm in onderbeloop;
- Zetsteenbekleding ruw van 400 mm naar minimaal 200 mm in bovenbeloop;
- WAB asfalt niet vervangen naar 300 mm maar 200 mm;
- Stortsteen in kreukelberm niet 10-60 sortering maar 40-200 kg sortering;
- Toevoegen risicodossier met benoemde risico's, en het aandeel Niet Benoemd hierop aanpassen van 20% naar 10%.

Verschillen tussen Kansrijke Alternatieven - versie 2 en 3:
De verschillen met de voorgaande uitgave zijn de volgende:

- Er zijn percentages Niet Benoemde risicoreservering opgenomen bij de Bouwkosten en Engineeringskosten.
- Aanpassingen doorgevoerd in de Engineeringskosten, en uitloop-kosten toegevoegd,
- Kostenverdeling (procentueel) van europosten aangepast tussen de 3 dijkvakken,
- Enkele tarieven en prijsonderbouwingen aangepast (WAB nu handmatig in plaats van machinaal verwerken, leverantieprijs Basalton 400 mm),
- Hergebruik koperslakkeien op locatie in plaats van afvoeren.

Verschillen tussen raming Kansrijke Alternatieven v3.0d en het VKA versie 1.0d

- In het VKA is de oplossing 'buitenwaartse versterking' komen te vervallen.
- De kosten van de Verkenningsfase zijn uit de VKA-raming gelaten.
- De kosten voor de UO fase zijn in een aparte deelraming opgenomen.
- De stortsteen in de kreukelberm is vergroot naar gewichtsklasse 60-300 en 300-1000 kg.
- De dikte van het waterbouwasfaltpakket is verkleind naar 15 cm, maar wel op een funderingslaag van asfaltgranulaat van 25 cm
- Hergebruik van klei in het werk: aanname is bijgesteld van 70% naar 40% geschikt als dijkenklei.
- Overtollige grond is nu 'om niet' afvoeren opgenomen, in plaats van tegen afzetkosten.
- Bij de Haven oplossing 'Kruinverhoging' is een stalen damwand AZ18 toegevoegd.
- Het opbreken/ versmallen van de Kustweg is in het VKA herzien, nu over grotere lengtes nodig.
- Verlegging van kabels en leidingen is nu opgenomen.
- Engineeringkosten Planuitwerkingsfase en Realisatiefase zijn herzien.
- Van de PU-fase zijn benoemde risico's opgenomen (bij Object Overstijgende risico's).
- In de raming is een post voor compensatie bodemdaling opgenomen (aftrekpost).

Zie het logboek voor de wijzigingen (zowel van Kansrijke Alternatieven als van het VKA), bijlage 5.

9 Aanbevelingen

9.1 Algemene aanbevelingen volgende projectfase

In de Planuitwerkingsfase zal het ontwerp verder worden uitgewerkt, waarbij vooral gekeken zal (moeten) worden naar:

- Fasering en maakbaarheid van het werk,
- Aantal en locaties voor tijdelijke depots,
- Haalbaarheid loswal en onderzoek naar locatie, type constructie en voorzieningen,
- Bepalen van aanleghoogtes,
- Integratie van koppelprojecten,
- Verleggingsplan kabels en leidingen met oog op waterveiligheid in de haven, waarbij ook inzicht komt in compensatieregeling,
- Raakvlak met leidingen langs de Kustweg
- Inzicht in grondstromen en hergebruikmogelijkheden (beschikbare klei uit het werk)
- Stikstof problematiek
- Mitigerende maatregelen
- Afstemming met Defensie over onderhoud onderhoudsweg

9.2 Aanbevelingen risicobeheersing

Waar mogelijk de kans en gevolgklassen nader onderbouwen voor de Planuitwerkingsfase. Dit is vooral mogelijk voor de gevolgkosten en dan focus op de risico's met grote gevolgkosten. Het risicodossier dient verder nog uitgebreid te worden met een duidelijke allocatie voor Opdrachtgever- en Opdrachtnemers-risico's.

Bijlage 1 – Referenties

ref.nr.	opsteller	Datum	omschrijving	document	type
1	NZV	16-7-2018	Offerte aanvraag,	41046-Traject VKA Dijkversterking Lauwermeerdijk-Vierhuizergat-16072018	pdf
2	NZV	sep-19	Nadere offerte aanvraag	Bijlage 1_Nadere offerte aanvraag	pdf
3	NZV	divers	Conditionerende onderzoeken	Bijlage 4_ Archeologisch onderzoek_defintief Bijlage 5_Cultuurhistorisch onderzoek_definitief Bijlage 7_Inventarisatie Kabels en Leidingen_definitief Bijlage 8_Niet gesprongen explosieven_definitief Bijlage 9_Ecologisch onderzoek_definitief	pdf
4	RHDHV		Conditionerende onderzoeken		pdf
5.1	RHDHV	27-5-2019	Nota Kansrijke Alternatieven	BG3034-notitie Kansrijke Alternatieven-v1.0_incl. bijlagen	pdf
5.2	RHDHV	27-2-2020	Notitie VKA	Notitie VKA P03 incl. bijlagen	pdf
6	RHDHV	8-1-2020	raming Kansrijke Alternatieven	BG3034 Raming Kansrijke Alternatieven v3.0d	excel
7	HWBP	2014	Subsidiregeling HWBP	regeling subsidies	pdf
8	HWBP	30-jan-19	Subsidiregeling HWBP	Deel B, werkwijze bij het vaststellen van Subsidiabele kosten	pdf
9	HWBP	1-sep-16	Fachtsheet LCC	Factsheet HWBP LCC in dijkversterking sept 2016	pdf

Bijlage 2 – Organisatie

Sleutelfunctionarissen Waterschap Noorderzijlvest

Projectmanager	Ate Wijnstra
Technisch Manager	Bert de Wolf
Manager Projectbeheersing	Harm Haga
Omgevingsmanager	Peter van Dijken, Eddi Ottens
Contractmanager	Heine van Maar
Kostendeskundige	n.t.b.

Sleutelfiguren Royal HaskoningDHV

Projectmanager	Jan Valk
Technisch manager	Sander Post
Manager Projectbeheersing	Lisanne Huijs
Omgevingsmanager	Martijn van Houten
Contractmanager	Jan Valk
Kostendeskundige	Wouter Kanger

Bijlage 3 – SSK-raming

Bijlage 3.1 Moduleboek SSK Verkenning VKA
Bijlage 3.2 SSK PROB variant 1 VKA ‘kruin’ en ‘glad’
Bijlage 3.3 SSK PROB variant 2 VKA ‘verticale wand’ en ‘ruw’
Bijlage 3.4 SSK PROB variant 3 VKA ‘kruin’ en ‘ruw’
Bijlage 3.5 SSK PROB variant 4 VKA ‘verticale wand’ en ‘glad’
Bijlage 3.6 samenvatting variant 1 t/m 4

Bijlage 4 – Risicodossier

Bijlage 4.1 Risicodossier Planuitwerkingsfase
Bijlage 4.2 Risicodossier Realisatiefase

Bijlage 5 – Logboek

Logboek, behorende bij ramingsversie 2.0d van het VKA

Bijlage 6 – Hoeveelheden

Bijlage 6.1 Hoeveelheden data sheet 3D ontwerp
Bijlage 6.2 Deterministische planning
Bijlage 6.3 Kabels en Leidingen
Bijlage 6.4 PPI uitkomsten

Bijlage 7 – Prijzen

Bijlage 7.1 Engineeringskosten en Uitvoeringskosten Realisatiefase
Bijlage 7.2 Onderbouwing Loswal
Bijlage 7.3 SSK raming Verkenningsfase
Bijlage 7.4 SSK raming PU fase
Bijlage 7.5 raming koppelkansen Ecologische plus
Bijlage 7.6 raming Bodemdaling Glad
Bijlage 7.7 raming Bodemdaling Ruw

Bijlage 8 – Ontwerpdocumenten

Bijlage 8.1 maatgevende profielen VKA Landelijke Dijk variant Glad en Ruw
Bijlage 8.2 notitie Kabels en Leidingen
Bijlage 8.3 ontwerp elementen Haven

BIJLAGE 4

Bijlage 4 Berekening milieueffecten alternatieven

Royal HaskoningDHV

MKI-berekeningen dijkversterkingen	
Project	Lauwersmeerdijk-Vierhuizengat
Projectnummer	BG3034
Opdrachtgever	Waterschap Noorderzijlvest
Fase	Verkenningsfase
MKI-calculator	Michiel Wolbers
Reviewer	Jorrit Zuidema
Versie	1.5
Datum	24-10-2019

Invoer

In de sheet **Invoer** zijn enkele parameters in te voeren die van invloed zijn op de MKI-berekening. Hierbij gaat het om de levensduren van de dijkversterkingen en onderdelen. Ook de frequentie van het gras maaien kan hier worden ingevuld. Tot slot is het mogelijk om wel of geen beheer en onderhoud mee te nemen. Indien het niet wordt meegenomen, wordt enkel de MKI-waarde van de realisatie gegeven.

Overzicht

In de sheet **Overzicht** zijn de MKI-waardes van de verschillende varianten per deelvak aangegeven. In de bijgevoegde grafiek is snel inzichtelijk hoe de verschillende varianten zich tot elkaar verhouden en welke variant per deelvak de laagste MKI heeft. Ook staan hier de MKI-waarde voor de wegverharding weergegeven.

Export DC

In de sheet **Export DC** is de uitdraai vanuit DuboCalc gepresenteerd die als basis dient voor deze sheet.

MKI-waardes

In de sheet **MKI-waardes** zijn de MKI-waardes gegeven voor elke functionele eenheid (voor 1 levensduur). Tevens zijn hier de uitgangspunten voor de verschillende default-waardes gegeven.

MKI_Landelijke dijken, MKI_haven & MKI_wegverharding

In deze sheets zijn de getallen uit de kostenramingen gekoppeld aan de MKI-waardes per element. Per hoofdelement en per variant zijn de MKI-waardes weergegeven.

Input_Landelijke dijken & Input_haven

In deze sheets zijn de getallen uit de kostenramingen weergegeven. Deze getallen dienen als input voor de MKI-berekeningen.

Legenda celkleuren

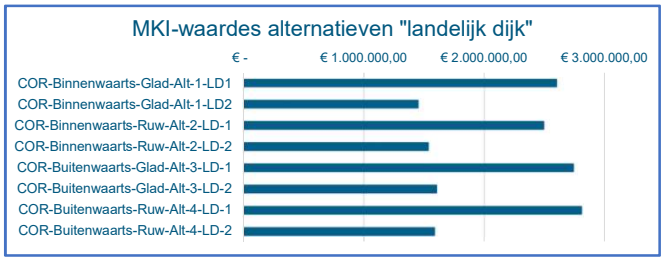
Link naar een andere cel
Omrekenfactor MKI-waarde
Invoer vanuit kostenramingen
Uitkomst MKI-berekening
Invoervariabelen

Projectnaam	Lauwersmeerdijk-Vierhuizengat		
Levensduur project	50	jaar	*min. 0 jaar en max 100 jaar*
Beheer en onderhoud	Wel	beheer en onderhoud	*beheer en onderhoud van de dijk*
Frequentie maaien	2	keer/jaar	*bij 0 keer maaien vindt er* ***geen onderhoud*** *plaats*
Maaien m.b.v. diesel-tractoren	100	jaar	*min. 0 jaar en max 100 jaar**
Zetsteen vervangen na	80	jaar	*min. 0 jaar en max 100 jaar*
Breuksteen vervangen na	1000	jaar	*wordt in principe niet vervangen*
WBA / OSA vervangen na	40	jaar	*min. 0 jaar en max 100 jaar*
Deklaag asfalt vervangen	15	jaar	*min. 0 jaar en max 100 jaar*
Tussen- en onderlaag asfalt vervangen na	30	jaar	*min. 0 jaar en max 100 jaar*
Stenen vervangen na	25	jaar	*min. 0 jaar en max 100 jaar*

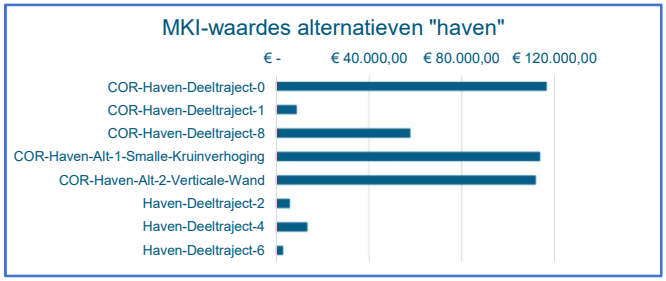
**Inschatting wanneer diesel-tractoren worden vervangen door elektrische tractoren en er dus geen dieselverbruik*

Overzicht reslutaten

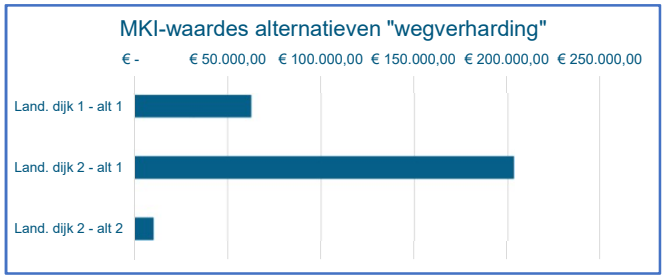
Naam alternatief	MKI-waarde
COR-Binnenwaarts-Glad-Alt-1-LD1	€ 2.600.480,80
COR-Binnenwaarts-Glad-Alt-1-LD2	€ 1.451.236,68
COR-Binnenwaarts-Ruw-Alt-2-LD-1	€ 2.493.494,11
COR-Binnenwaarts-Ruw-Alt-2-LD-2	€ 1.535.627,00
COR-Buitenwaarts-Glad-Alt-3-LD-1	€ 2.740.484,02
COR-Buitenwaarts-Glad-Alt-3-LD-2	€ 1.604.901,32
COR-Buitenwaarts-Ruw-Alt-4-LD-1	€ 2.807.542,11
COR-Buitenwaarts-Ruw-Alt-4-LD-2	€ 1.587.911,26



Naam alternatief	MKI-waarde
COR-Haven-Deeltraject-0	€ 116.550,53
COR-Haven-Deeltraject-1	€ 8.825,71
COR-Haven-Deeltraject-8	€ 57.773,31
COR-Haven-Alt-1-Smalle-Kruinverhoging	€ 113.699,82
COR-Haven-Alt-2-Verticale-Wand	€ 111.842,43
Haven-Deeltraject-2	€ 5.828,38
Haven-Deeltraject-4	€ 13.401,64
Haven-Deeltraject-6	€ 2.911,08



Naam alternatief	MKI-waarde
Land. dijk 1 - alt 1	€ 62.448,30
Land. dijk 2 - alt 1	€ 202.956,98
Land. dijk 2 - alt 2	€ 10.210,98



Project	Lauwersmeerdijk-Vierhuizeng													
Levensduur project	50 [jaar]					Naam variant	COR-Haven-Deeltraject-0	COR-Haven-Deeltraject-1	COR-Haven-Deeltraject-8	COR-Haven-Alt-1-Smalle-Kruinverhoging	COR-Haven-Alt-2-Verticale-Wand	Haven-Deeltraject-2	Haven-Deeltraject-4	Haven-Deeltraject-6
						Lengte dijkvak [m1]	1	1	1	1	1	1	1	1
						MKI-waarde variant	€ 116.550,53	€ 8.825,71	€ 57.773,31	€ 113.699,82	€ 111.842,43	€ 5.828,38	€ 13.401,64	€ 2.911,08
Hoofdelement	**Element**	**Subelement**	**Invoer-item**	**MKI-waarde**		**Eenheid**								
Grondoplossing														
Ontgraven grond	Ontgraven						€ -	€ 2.895,38	€ 1.567,30	€ 21.238,32	€ 21.783,01	€ 2.629,46	€ 5.980,87	€ 1.323,56
		Intern transport												
			o-in - grond per as	€	1,41	m3/m1	0,00	1.032,86	559,10	7.576,29	7.770,60	938,00	2.133,54	472,15
			o-in - klei per as	€	1,57	m3/m1								
			o-in - zand per as	€	1,34	m3/m1								
		Extern transport												
			o-ex - grond per as	€	2,35	m3/m1								
			o-ex - grond per schip	€	1,39	m3/m1	0,00	1.032,86	559,10	7.576,29	7.770,60	938,00	2.133,54	472,15
			o-ex - klei per as	€	3,96	m3/m1								
			o-ex - klei per schip	€	2,08	m3/m1								
			o-ex - zand per as	€	2,90	m3/m1								
			o-ex - zand per schip	€	1,83	m3/m1								
Aanbrengen grond	Aanbrengen						€ -	€ 4.592,26	€ -	€ 34.531,62	€ 15.612,79	€ 3.198,92	€ 5.311,76	€ 1.587,52
		Extern transport												
			a-ex - grond per as	€	2,35	m3/m1								
			a-ex - grond per schip	€	1,39	m3/m1	0,00	310,82	0,00	1.021,74	742,17	268,00	0,00	133,00
			a-ex - klei per as	€	3,96	m3/m1								
			a-ex - klei per schip	€	2,08	m3/m1	0,00	1.018,55	0,00	7.445,68	3.699,13	670,00	1.454,00	332,50
			a-ex - zand per as	€	2,90	m3/m1								
			a-ex - zand per schip	€	1,83	m3/m1	0,00	0,00	0,00	1.409,41	5,88	0,00	0,00	0,00
		Intern transport												
			a-in - grond per as	€	1,41	m3/m1	0,00	310,82	0,00	1.021,74	742,17	268,00	0,00	133,00
			a-in - klei per as	€	1,57	m3/m1	0,00	1.018,55	0,00	7.445,68	3.699,13	670,00	1.454,00	332,50
			a-in - zand per as	€	1,34	m3/m1	0,00	0,00	0,00	1.409,41	5,88	0,00	0,00	0,00
Zachte bekleding							€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
			Onderhoud gras	€	0,01	m2/m1								
Harde bekleding							€ 116.550,53	€ 1.338,06	€ 56.206,01	€ 41.931,77	€ 54.341,90	€ -	€ 2.109,01	€ -
			Harde bekleding verwijderen	€	1,07	m2/m1	11.525,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			Zetsteen aanbrengen	€	12,66	m2/m1	8.232,80	95,08	3.992,99	2.989,01	2.625,73	0,00	0,00	0,00
			WBA aanbrengen	€	7,88	m2/m1	0,00	0,00	0,00	0,00	2.397,97	0,00	0,00	0,00
			WBA verwijderen	€	0,01	m2/m1	0,00	0,00	1.397,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			Stortsteen aanbrengen	€	40,68	m2/m1								
			Granulaat aanbrengen	€	1,31	m2/m1	0,00	53,25	2.236,39	2.092,50	1.133,93	0,00	999,52	0,00
			Geotextiel aanbrengen	€	0,39	m2/m1	0,00	166,40	6.990,46	3.487,61	1.881,57	0,00	2.046,00	0,00
Kwelscherm							€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
			Stalen kwelscherm	€	12,55	m2/m1								
VZG							€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
			VZG	€	0,39	m2/m1								
Damwand							€ -	€ -	€ -	€ -	€ 20.104,73	€ -	€ -	€ -
			Stalen damwand	€	17,81	m2/m1								
			- verankering	€	12,20	m1/m1								
			Betonnen damwand	€	43,86	m3/m1	0,00	0,00	0,00	0,00	458,40	0,00	0,00	0,00
Weg														
Weg verwijderen	Onderhoudspad verwijderen						€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
			Fundering verwijderen	€	0,25	m2/m1								
			Tussen- en onderlaag verwijder	€	0,53	m2/m1								
			Deklaag verwijderen	€	0,14	m2/m1								
			Stenen verwijderen	€	0,71	m2/m1								
Weg aanbrengen	Onderhoudspad aanbrengen						€ -	€ -	€ -	€ 15.998,11	€ -	€ -	€ -	€ -
			Fundering aanbrengen	€	1,31	m2/m1	0,00	0,00	0,00	986,85	0,00	0,00	0,00	0,00
			Deklaag aanbrengen	€	7,36	m2/m1	0,00	0,00	0,00	986,85	0,00	0,00	0,00	0,00
			Tussen- en onderlaag aanbren	€	7,54	m2/m1	0,00	0,00	0,00	986,85	0,00	0,00	0,00	0,00
			Stenen aanbrengen	€	6,64	m2/m1								

Project	Lauwersmeerdijk-Vierhuizenga					**Naam variant**	COR-Binnenwaarts-Glad-Alt-1-LD1	COR-Binnenwaarts-Glad-Alt-1-LD2	COR-Binnenwaarts-Ruw-Alt-2-LD-1	COR-Binnenwaarts-Ruw-Alt-2-LD-2	COR-Buitenwaarts-Glad-Alt-3-LD-1	COR-Buitenwaarts-Glad-Alt-3-LD-2	COR-Buitenwaarts-Ruw-Alt-4-LD-1	COR-Buitenwaarts-Ruw-Alt-4-LD-2
Levensduur project	50	**[jaar]**				**Lengte dijkvak [m1]**	1	1	1	1	1	1	1	1
						MKI-waarde variant	€ 2.600.480,80	€ 1.451.236,68	€ 2.493.494,11	€ 1.535.627,00	€ 2.740.484,02	€ 1.604.901,32	€ 2.807.542,11	€ 1.587.911,26
Hoofdelement	**Element**	**Subelement**	**Invoer-item**	**MKI-waarde**		**Eenheid**								
Grondoplossing														
Ontgraven grond	Ontgraven						€ 306.623,97	€ 105.994,30	€ 296.412,49	€ 166.643,38	€ 98.255,63	€ 49.695,92	€ 232.583,40	€ 87.977,58
		Intern transport												
			o-in - grond per as	€ 1,41		m3/m1	157.567,85	66.557,41	138.377,91	86.313,00	49.324,84	26.591,55	107.313,90	42.763,30
			o-in - klei per as	€ 1,57		m3/m1	0,00	0,00	0,00	0,00	2.294,07	464,92	5.247,66	1.759,67
			o-in - zand per as	€ 1,34		m3/m1								
		Extern transport												
			o-ex - grond per as	€ 2,35		m3/m1								
			o-ex - grond per schip	€ 1,39		m3/m1	60.308,01	8.535,90	72.498,52	32.085,25	17.917,65	8.175,11	52.237,96	17.804,23
			o-ex - klei per as	€ 3,96		m3/m1								
			o-ex - klei per schip	€ 2,08		m3/m1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			o-ex - zand per as	€ 2,90		m3/m1								
			o-ex - zand per schip	€ 1,83		m3/m1								
Aanbrengen grond	Aanbrengen						€ 478.224,84	€ 321.161,16	€ 257.342,64	€ 275.657,74	€ 539.416,01	€ 394.733,88	€ 316.569,72	€ 265.117,07
		Extern transport												
			a-ex - grond per as	€ 2,35		m3/m1								
			a-ex - grond per schip	€ 1,39		m3/m1	3.152,31	6.127,73	0,00	110,77	6.274,25	4.515,98	0,00	0,00
			a-ex - klei per as	€ 3,96		m3/m1								
			a-ex - klei per schip	€ 2,08		m3/m1	49.340,17	36.453,21	12.757,65	34.752,77	54.205,24	33.986,11	27.534,45	28.833,67
			a-ex - zand per as	€ 2,90		m3/m1								
			a-ex - zand per schip	€ 1,83		m3/m1	44.700,33	26.681,86	34.347,53	20.907,62	86.036,97	72.402,77	38.837,68	37.555,98
		Intern transport												
			a-in - grond per as	€ 1,41		m3/m1	37.385,01	37.526,28	10.528,23	19.813,32	17.951,50	12.295,80	12.150,38	7.853,75
			a-in - klei per as	€ 1,57		m3/m1	112.367,30	63.076,17	68.108,81	69.277,97	76.229,24	45.087,65	75.707,68	47.698,65
			a-in - zand per as	€ 1,34		m3/m1	44.700,33	26.681,86	34.347,53	20.907,62	86.036,97	72.402,77	38.837,68	37.555,98
Zachte bekleding							€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
			Onderhoud gras	€ 0,01		m2/m1								
Harde bekleding							€ 1.815.631,99	€ 1.024.081,22	€ 1.939.738,98	€ 1.093.325,88	€ 2.102.812,38	€ 1.160.471,53	€ 2.258.389,00	€ 1.234.816,61
			Harde bekleding verwijderen	€ 1,07		m2/m1	38.835,02	22.175,53	38.835,02	22.175,53	38.835,02	22.175,53	38.835,02	22.175,53
			Zetsteen aanbrengen	€ 12,66		m2/m1	33.029,00	17.153,00	53.622,89	28.637,44	56.008,92	28.893,08	82.247,96	42.842,89
			WBA aanbrengen	€ 7,88		m2/m1	89.115,95	52.802,46	68.653,96	41.394,88	84.258,04	48.458,79	57.938,25	33.308,86
			WBA verwijderen	€ 0,01		m2/m1	75.108,73	44.257,94	75.109,50	44.257,94	75.108,73	44.257,94	75.108,73	44.257,94
			Stortsteen aanbrengen	€ 40,68		m2/m1	15.596,52	8.754,96	15.596,51	8.754,96	15.297,46	8.727,88	15.288,68	8.741,23
			Granulaat aanbrengen	€ 1,31		m2/m1	9.566,52	5.443,91	22.126,17	12.451,93	33.419,75	17.235,71	49.315,81	25.694,61
			Geotextiel aanbrengen	€ 0,39		m2/m1	15.814,04	8.998,74	36.867,27	20.748,31	55.589,59	28.666,85	82.173,49	42.817,67
Kwelscherm							€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
			Stalen kwelscherm	€ 12,55		m2/m1								
VZG							€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
			VZG	€ 0,39		m2/m1								
Damwand							€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
			Stalen damwand	€ 17,81		m2/m1								
			- verankering	€ 12,20		m1/m1								
			Betonnen damwand	€ 43,86		m3/m1								
Weg														
Weg verwijderen	Onderhoudspad verwijderen						€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
			Fundering verwijderen	€ 0,25		m2/m1								
			Tussen- en onderlaag verwijde	€ 0,53		m2/m1								
			Deklaag verwijderen	€ 0,14		m2/m1								
			Stenen verwijderen	€ 0,71		m2/m1								
Weg aanbrengen	Onderhoudspad aanbrengen						€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
			Fundering aanbrengen	€ 1,31		m2/m1								
			Deklaag aanbrengen	€ 7,36		m2/m1								
			Tussen- en onderlaag aanbren	€ 7,54		m2/m1								
			Stenen aanbrengen	€ 6,64		m2/m1								

Project	Lauwersmeerdijk-Vierhuizenga					**Naam variant**	Land. dijk 1 - alt 1	Land. dijk 2 - alt 1	Land. dijk 2 - alt 2
Levensduur project	1	**[jaar]**				**Lengte dijkvak [m1]**	1	1	1
						MKI-waarde variant	€ 62.448,30	€ 202.956,98	€ 10.210,98
Hoofdelement	**Element**	**Subelement**	**Invoer-item**	**MKI-waarde**		**Eenheid**			
Grondoplossing									
Ontgraven grond	Ontgraven						€ 3.367,63	€ 10.944,80	€ -
		Intern transport							
			o-in - grond per as	€	1,41	m3/m1			
			o-in - klei per as	€	1,57	m3/m1			
			o-in - zand per as	€	1,34	m3/m1	2.520,00	8.190,00	
		Extern transport							
			o-ex - grond per as	€	2,35	m3/m1			
			o-ex - grond per schip	€	1,39	m3/m1			
			o-ex - klei per as	€	3,96	m3/m1			
			o-ex - klei per schip	€	2,08	m3/m1			
			o-ex - zand per as	€	2,90	m3/m1			
			o-ex - zand per schip	€	1,83	m3/m1			
Aanbrengen grond	Aanbrengen						€ 7.587,15	€ 24.658,24	€ 7.233,46
		Extern transport							
			a-ex - grond per as	€	2,35	m3/m1	1.120,00	3.640,00	1.920,00
			a-ex - grond per schip	€	1,39	m3/m1			
			a-ex - klei per as	€	3,96	m3/m1			
			a-ex - klei per schip	€	2,08	m3/m1			
			a-ex - zand per as	€	2,90	m3/m1			
			a-ex - zand per schip	€	1,83	m3/m1			
		Intern transport							
			a-in - grond per as	€	1,41	m3/m1	1.120,00	3.640,00	1.920,00
			a-in - klei per as	€	1,57	m3/m1			
			a-in - zand per as	€	1,34	m3/m1	2.520,00	8.190,00	
Zachte bekleding							€ -	€ -	€ -
			Onderhoud gras	€	0,01	m2/m1			
Harde bekleding							€ -	€ -	€ -
			Harde bekleding verwijderen	€	1,07	m2/m1			
			Zetsteen aanbrengen	€	12,66	m2/m1			
			WBA aanbrengen	€	6,30	m2/m1			
			Stortsteen aanbrengen	€	40,68	m2/m1			
			Granulaat aanbrengen	€	1,31	m2/m1			
			Geotextiel aanbrengen	€	0,39	m2/m1			
Kwelscherm							€ -	€ -	€ -
			Stalen kwelscherm	€	12,55	m2/m1			
VZG							€ -	€ -	€ -
			VZG	€	0,39	m2/m1			
Damwand							€ -	€ -	€ -
			Stalen damwand	€	17,81	m2/m1			
			- verankering	€	12,20	m1/m1			
			Betonnen damwand	€	43,86	m3/m1			
Weg									
Weg verwijderen	Onderhoudspad verwijderen						€ 5.356,20	€ 17.407,67	€ 2.977,52
			Fundering verwijderen	€	0,25	m2/m1	6.440,00	20.930,00	5.520,00
			Tussen- en onderlaag verwijde	€	0,53	m2/m1	5.600,00	18.200,00	2.400,00
			Deklaag verwijderen	€	0,14	m2/m1	5.600,00	18.200,00	2.400,00
			Stenen verwijderen	€	0,71	m2/m1			
Weg aanbrengen	Onderhoudspad aanbrengen						€ 46.137,31	€ 149.946,27	€ -
			Fundering aanbrengen	€	1,31	m2/m1	6.440,00	20.930,00	
			Deklaag aanbrengen	€	2,21	m2/m1	5.600,00	18.200,00	
			Tussen- en onderlaag aanbren	€	4,52	m2/m1	5.600,00	18.200,00	
			Stenen aanbrengen	€	3,32	m2/m1			

BIJLAGE 5A

Toetsing alternatieven aan OI2014v4

Royal HaskoningDHV

Notitie / Memo

HaskoningDHV Nederland B.V.
Water

Aan:	Waterschap Noorderzijlvest
Van:	Sander Post (RHDHV), Gerbert Pleiter (HKV) e.a.
Datum:	Wednesday, 18 March 2020
Kopie:	
Ons kenmerk:	BG3034WATNT2002281213
Classificatie:	Click to enter "Classification Text"

Onderwerp: **Toetsing van het ontwerp aan het OI2014v4 in het kader van integraal ontwerpen**

---

1 Toetsing ontwerp kansrijke alternatieven voor VKA aan het OI2014v4 in het kader van integraal ontwerpen

De kansrijke alternatieven in deze nota zijn ontworpen op basis van het ontwerp instrumentarium OI2014v4. Deze bijlage heeft tot doel om aan te tonen dat de kansrijke alternatieven voldoen aan het OI2014v4.

De uitgangspunten die gehanteerd worden bij de uitwerking van de kansrijke alternatieven en verificatie aan het OI2014v4 zijn uitgebreid beschreven in de Technische Uitgangspunten Notitie Op hoofdlijnen worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Verificatie van de kansrijke alternatieve vindt plaats o.b.v. het OI2014v4 en de schematiseringshandleidingen van het WBI2017.
- De focus in deze fase van het ontwerpproces ligt op de onderbouwing van de alternatieven. Optimalisatie van dimensies, bijv. de steen- of asfaltdikte van de bekleding op het buitentalud, wordt uitgewerkt in de volgende fases van het project (planfase).
- T.b.v. het ontwerp zijn de uitkomsten over de steen- of asfaltdikte van de bekleding op het buitentalud geverifieerd aan de hand van ervaringsgetallen.

De onderbouwing van het ontwerp in deze bijlage richt zich op de alternatieven binnenwaarts ruw (L2) en binnenwaarts glad (L1) voor het landelijke dijktraject en op de alternatieven “smalle kruinverhoging (H1)” en “verticale wand (H2)” voor het havendijktraject.

Belangrijk om op te merken dat toetsing en aansluitend ontwerp van niet waterkerende objecten (NWO’s) en kabels en leidingen (K&L) door het waterschap is georganiseerd in de planuitwerking. Vanwege de impact op de projectrisico’s is de toets van kabels en leidingen gestart aan het eind van de verkenningsfase (lopend).

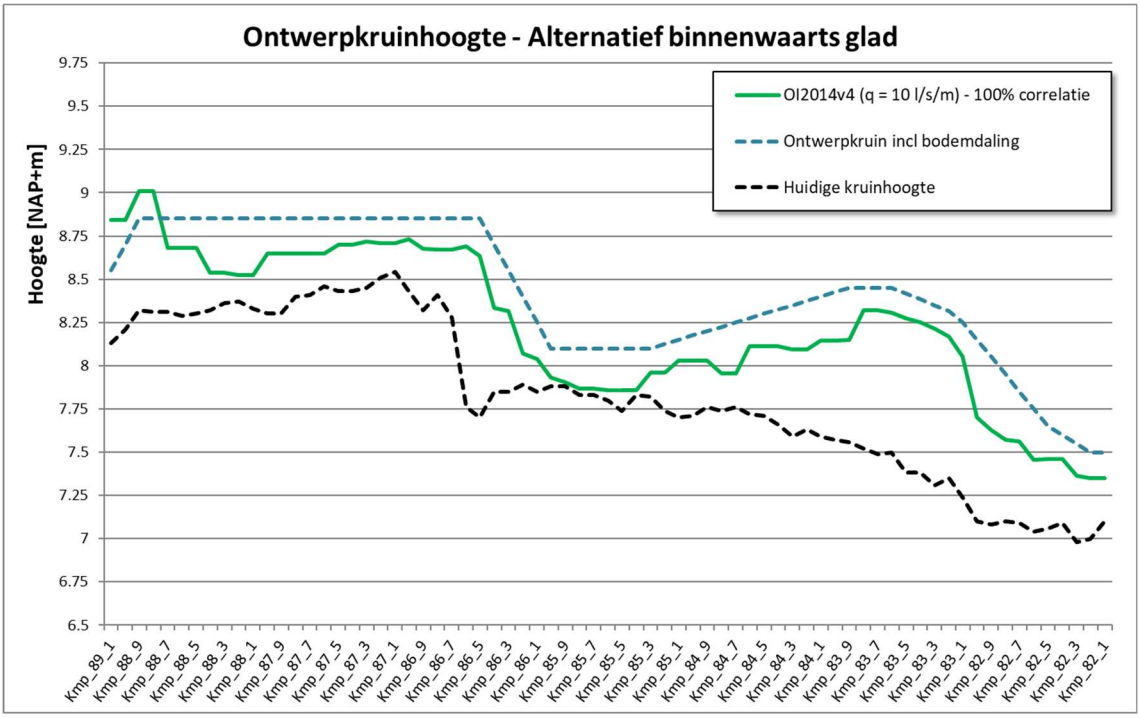
1.1 Overloop en overslag

1.1.1 Landelijke Dijk

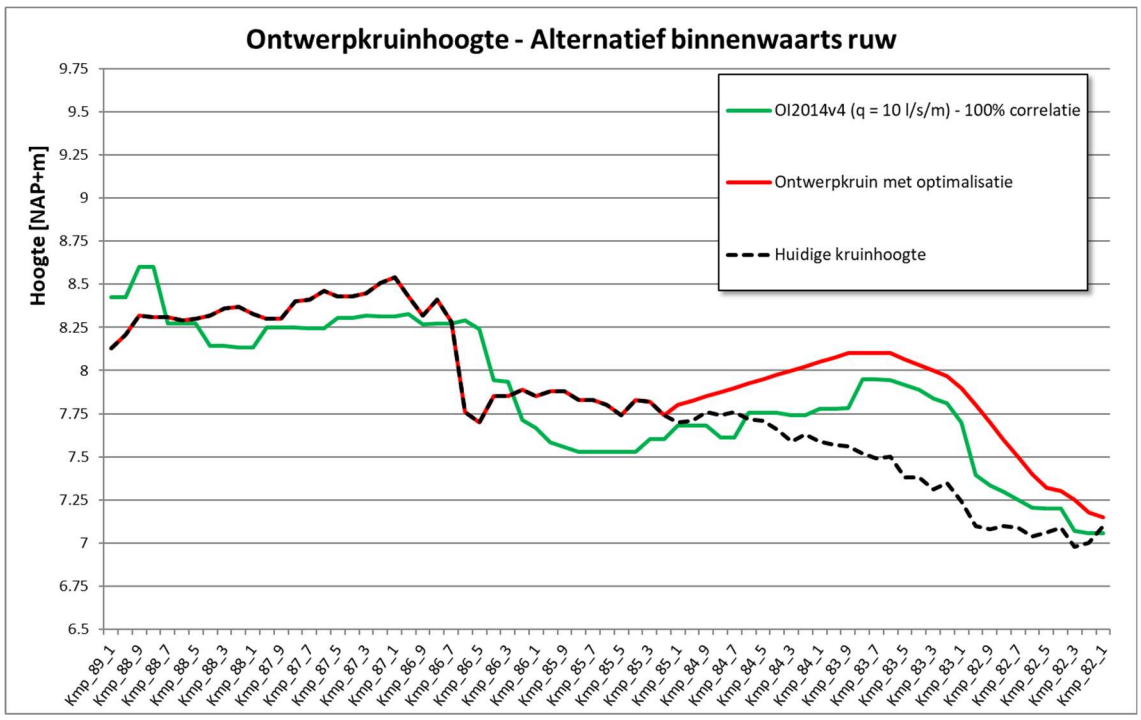
De figuren laten de benodigde, aanwezige en ontwerpkruinhoogte zien van de verschillende alternatieven voor de landelijke dijk:

- De zwarte stippellijn geeft de huidige kruinhoogte van de Lauwersmeerdijk aan;

- De groene lijn geeft het HBN (de minimaal benodigde kruinhoogte voor een golf overslagdebiet van 10 l/s/m) weer. De uitgangspunten bij de HBN berekeningen zijn beschreven in de technische uitgangspunten notitie.
- De blauwe stippellijn geeft de ontwerpkruinhoogte voor het alternatief binnenwaarts glad weer. Deze kruinhoogte is gebruikt in het 3D model en gebruikt voor de hoeveelhedenbepaling en daarmee ook de kosteninschattingen.
- De rode lijn geeft de ontwerpkruinhoogte voor het alternatief binnenwaarts ruw weer. Deze kruinhoogte is gebruikt in het 3D model en gebruikt voor de hoeveelhedenbepaling en daarmee ook de kosteninschattingen.
- Voor alle bekledingstypen is gerekend met een ruwheidsfactor van 1,0, behalve voor de zetsteen met ribbels op het boventalud. Hier is een ruwheidsfactor van 0,6 gehanteerd. Dit is behoorlijk ruw en voor nu alleen mogelijk geacht in de golfoploopzone. In de planuitwerkingsfase moet deze factor afhankelijk van de keuze van het type zetsteen worden geverifieerd.
- Op een aantal plekken ligt de ontwerpkruinhoogte lager dan de HBN lijn (de minimaal benodigde kruinhoogte voor een golf overslagdebiet van 10 l/s/m), dit betekent dus dat er lokaal meer overslag zal optreden tijdens maatgevende stormcondities voor het zichtjaar 2075. In de planuitwerking dient te worden onderzocht of aanvullende maatregelen nodig zijn om dit lokaal hogere overslagdebiet te kunnen weerstaan. In de huidige kostenraming is hier een kostenpost opgenomen.



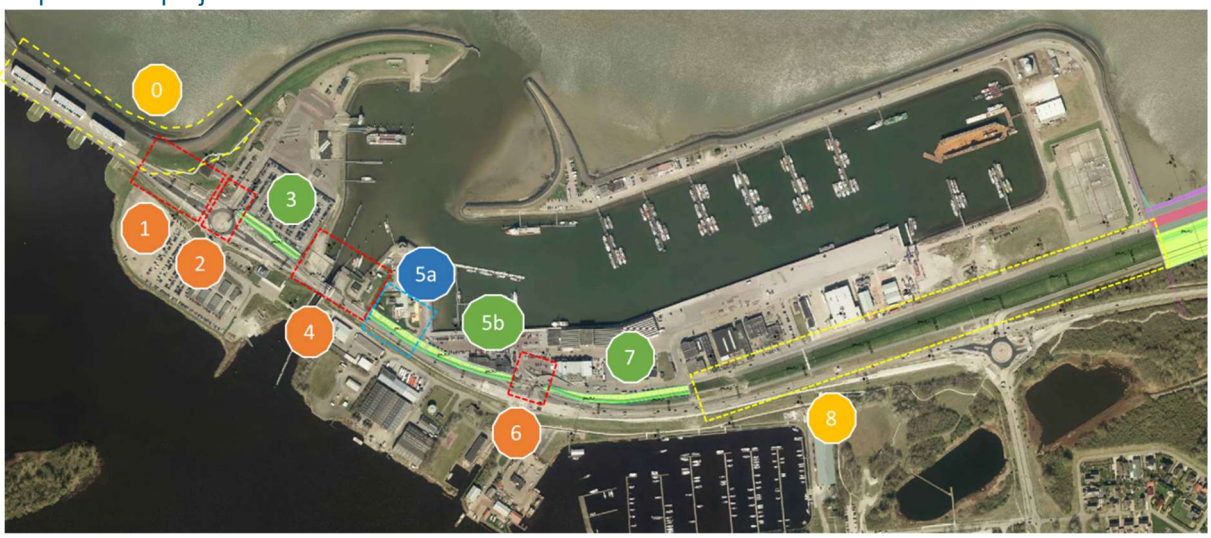
Figuur 1-1: Benodigde, aanwezige en ontwerpkruinhoogte voor alternatief v1.2 (binnenwaarts glad).



Figuur 1-2: Benodigde, aanwezige en ontwerpkruinhoogte voor alternatief v1.3 (binnenwaarts ruw).

1.1.2 Haven Lauwersoog

In de haven is op dit moment geen sprake van een uniform profiel, ook fluctueert de hoogte-opgave over dit dijktraject sterk. Gekozen is om de haven te verdelen in deelgebieden, de deelgebieden zijn weergegeven in Figuur 1-3. Het ontwerp voor de verschillende deelgebieden in de haven wordt in deze paragraaf technisch toegelicht. Voor de deelgebieden 3, 5b en 7 is sprake van een regulier alternatief (keuze uit twee kansrijke alternatieven), voor de andere deelgebieden is slechts 1 type maatwerkoplossing uitgewerkt. In de verkenningsfase is aangetoond dat de havendammen geen reële bouwstenen zijn om de primaire waterveiligheidsopgave op te lossen. Het versterken van de bekleding op de westelijke havendam (onderhoudsopgave) wordt mogelijk als koppelproject toegevoegd aan de scope van dit project.

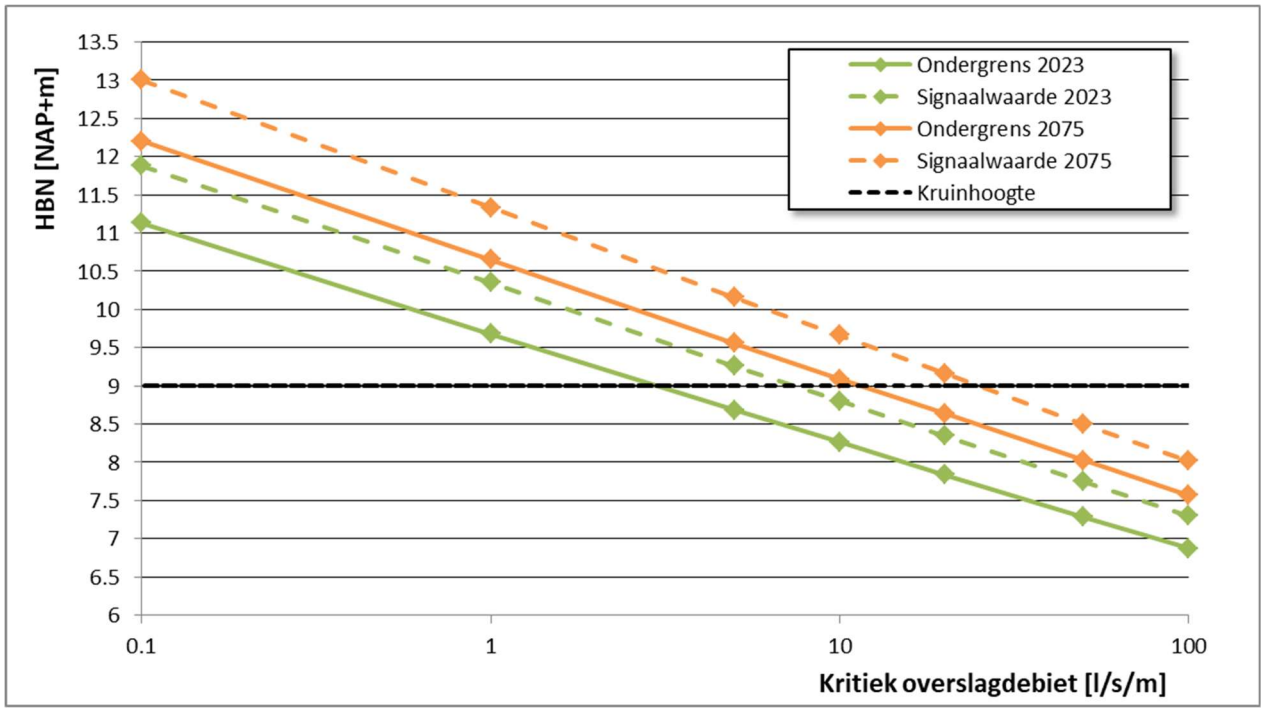


Figuur 1-3 Deelgebieden Haven Lauwersoog

Deelgebied 0: Cleveringsluizen

Het HBN bij 10 l/s/m in 2075 bij de ondergrens is gelijk aan NAP+9,09 m. Bij een overslagdebiet van 20 l/s/m is sprake van een HBN van NAP+8,64m. De huidige kruinhoogte is gelijk aan NAP+9,0m. Voor de Cleveringsluizen is daarom geen hoogte-opgave voorzien. Dit betekent dat sprake is van een overslagdebiet dat gering hoger is dan 10 l/s/m (12 l/s/m). Omdat geen sprake is van een regulier binnentalud van gras is een iets hogere erosiebestendigheid dan 10 l/s/m toelaatbaar geacht (niet nader gespecificeerd). Voor de Cleveringsluizen is geen hoogteopgave voorzien.

N.B. voor deze beschouwing is een wandruwheid van 1,0 verondersteld, terwijl voor bepaalde type zetsteen met een lagere wandruwheid kan worden gerekend**.** Waarschijnlijk zorgt het meenemen van wandruwheid dat het golfoverslagdebiet onder de 10 l/s/m uitkomt.



Figuur 1-4 HBN bij de Cleverlingsluizen

Deelgebied 1: Restaurant 'Waddengenot aan Zee'

Het maaiveld van dit deelgebied is gelegen op circa NAP+6,0 m. De maatgevende waterstand ligt iets hoger dan dit maaiveldniveau. Vanwege de beschutte ligging en het hooggelegen voorland (haventerrein) is de golfaanval zeer minimaal. Uit praktisch oogpunt is gekozen om een kade met een kleilaag aan te leggen van circa 50cm hoog. Door de ophoging van 50cm wordt ruimschoots aan het maximaal toelaatbare golfoverslagdebiet van 5 l/s/m voldoen.

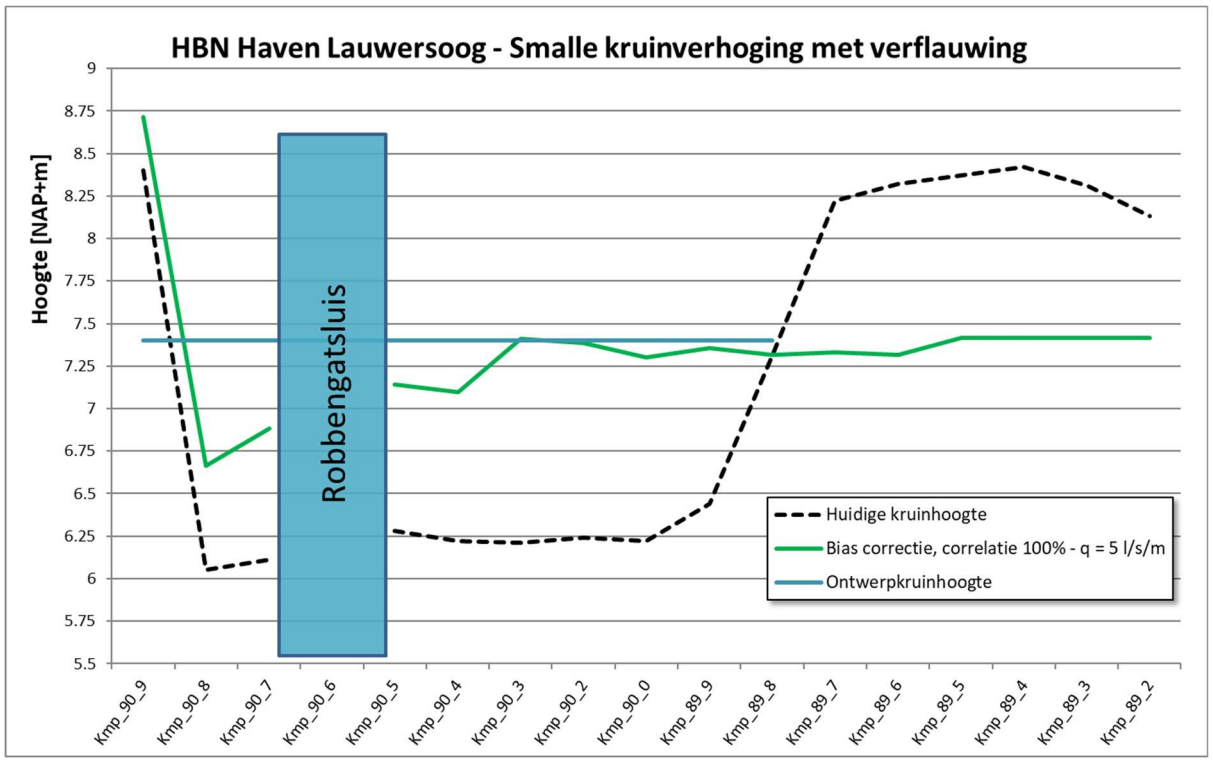
Deelgebied 2: Rotonde Scheepspark – Zeedijk en N361

De rotonde is gelegen op NAP+6,2 m. De zeedijk (de oprit naar de Lauwersmeerdijk) is geschematiseerd als een 1op8 talud. In werkelijkheid is dit talud flauwer, maar door de beperkingen van de software is het schematiseren van een flauwer talud niet mogelijk. Het HBN bij q = 5 l/s/m, in 2075 bij de ondergrens is gelijk aan circa NAP+6,3m. Het HBN is nagenoeg gelijk aan de kruinhoogte. Een kruinophoging is niet strikt nodig als de overgangen worden gedimensioneerd op een overslagdebiet van 5 l/s/m. Omdat hier veel overgangen in het profiel zitten, kan dit een zwakke plek zijn in het dijktraject, daarom is in het ontwerp een klei-ingraving (van 80cm op het buitentalud en 50cm exclusief teelaarde) opgenomen aan de randen van de rotonde.

Deelgebied 3, 5 en 7: Kansrijke alternatieven havengebied

Voor de deelgebieden 3, 5 en 7 zijn de beschreven kansrijke alternatieven uitvoerbaar.

- Voor de variant met het 1 op 4 talud varieert het HBN tussen de NAP+6,7m en NAP+7,4 m. De ontwerphoogte is aangenomen op NAP+7,4 m (zie Figuur 1-5)
- Voor de variant met de berm en de golfmuur is het HBN en de ontwerpkruinhoogte gelijk aan NAP+6,7 m met een berm op NAP+5,9 m. De dimensionering van de variant met de golfmuur wordt in een aparte bijlage onderbouwd.



Figuur 1-5: Benodigde, aanwezige en ontwerpkruinhoogte voor alternatief H2.1 (smalle kruinverhoging), uiterst links liggen de Cleveringsluizen en uiterst rechts sluit de dijk aan op het landelijke dijktraject; de gekozen instelling is: bias-correctie i.c.m. correlatie 100%

Deelgebied 4: Robbengatsluis

Bij de Robbengatsluis is sprake van meer dan 100 l/s/m golfoverslagdebiet. Er is gekozen om dit deelgebied overslagbestendig te maken. Zo is in het ontwerp op het hele dijklichaam een steenbekleding op een kleilaag voorzien. De impact van een dergelijk hoog overslagdebiet kan impact hebben op het achterland/binnendijkse haventerrein. Dit is een aandachtspunt voor de planuitwerkingsfase.

Deelgebied 6: Rotonde Oprit Restaurant Schierzicht

De aanwezige kruinhoogte is gelijk aan NAP+6,6m. De weg naar de rotonde bestaat uit de oprit naar restaurant Schierzicht en een afslag naar het oostelijk gelegen industrie terrein. Vanwege de aanwezigheid van de muur/damwand bij de afrit naar de haven is de oprit bij restaurant Schierzicht maatgevend voor de mate van golfoverslag. Uitgaande van de oprit als oploopprofiel is het HBN (2075, ondergrens, q = 5l/s/m) gelijk aan NAP+6,54m. Daarom is hier niet direct een kruinverhoging nodig, wel is in het ontwerp nu aangenomen dat de bij oksels van de rotonde de huidige grond (niet erosiebestendig) wordt vervangen voor een erosiebestendige kleilaag.

Deelgebied 8: Oostelijk havengebied
In de veiligheidsbeoordeling is aangetoond dat hier geen sprake is van een hoogteopgave, op dit deel van de dijk dient alleen de harde bekleding vervangen te worden. Op dit moment wordt uitgegaan van een nieuwe zetsteenbekleding.

1.2 Bekledingen Buitentalud

1.2.1 Zetsteen (west- en oost landelijk)

De gehanteerde aanpak voor wat betreft de dimensionering van de steenzettingen is puntsgewijs als volgt samen te vatten:

- Voor het ontwerp van de steenbekledingen wordt gebruikt gemaakt van Steentoets (tabblad Ontwerp).
- Overschrijdingskans voor het ontwerp is gelijk aan de maximaal toelaatbare overstromingskans (1:1000). De hydraulische randvoorwaarden voor deze kans zijn gehanteerd voor het ontwerp.
- De veiligheidsfactor bij het ontwerp van steenbekledingen bedraagt 1,2. Deze factor wordt doorgaans op de toplaagdikte toegepast.
- Er zijn twee deelgebieden voor de landelijke dijk gedefinieerd. Voor deze gebieden zijn standaard-oplossingen bepaald. De grens van deze gebieden ligt bij dijkpaal dp84,7. Ten westen van dp84.7 zijn de golfcondities zwaarder dan ten oosten van dp84.7.

De ligging van genoemde dijkpalen en trajecten zien in onderstaand figuur weergegeven.

Figuur 1-6: Ligging dijktrajecten ontwerp zetsteen

De keuze voor het type zetsteen is nog niet gemaakt, ter indicatie zijn voor nu de volgende typen zetsteen beschouwd:

- Basalton
- Hillblock
- Verkalit mgv

De helling en het verloop van het ondertalud van de alternatieven Binnenwaarts ruw en binnenwaarts glad zijn gelijk en dus verschilt het ontwerp tussen beide alternatieven niet. Bij alternatief binnenwaarts ruw is ook het zetsteen op het boventalud ontworpen.

Resultaten

De berekeningen zijn uitgevoerd met Steentoets 17.1.1. Er is een balans gezocht tussen optimalisatie van de steenzetting en de benodigde nauwkeurigheid van de opbouw van de bekledingsconstructie in dit stadium van het ontwerp. Bij de dimensionering zijn de volgende randvoorwaarden gehanteerd en iteraties uitgevoerd:

- Dikte van de filterlaag is overal 10 cm. Een dunnere filterlaag kan leiden tot een minder dikke toplaag (zetsteen), echter wordt dit niet aangeraden in verband met praktische uitvoerbaarheid.
- Voor het open oppervlak en karakteristieke opening zijn standaardwaarden aangehouden.
- De porositeit van de eerste filterlaag is overal gelijk (0,4).
- Op dit moment bevindt zich een mijnsteenlaag van 1m dikte onder de huidige zetsteen (koperslakblokken). Er is van uitgegaan dat de mijnsteenlaag behouden kan blijven. Conditionerend onderzoek heeft uitgewezen dat de mijnsteen niet is verpapt, en daarmee kan deze laag dus niet als een zeer slechtdoorlatende laag (bijvoorbeeld klei) worden geschematiseerd. Gezien de aard van het onderzoek naar de mijnsteen is er geen meer specifieke informatie beschikbaar van de korrelverdelingen en doorlatendheid van de mijnsteen. Om de mijnsteen toch te kunnen schematiseren op een wijze die niet onrealistisch conservatieve resultaten oplevert, is gebruik gemaakt van onderzoek dat is gerapporteerd in 'Veldonderzoek betreffende onderlagen van steenzettingen in Zeeland' van Deltares uit februari 2014.
  Op basis van diverse opbreeklocaties is in de betreffende studie van minstens 4 locaties met los gepakte mijnsteen aangetoond dat de doorlatendheid van deze laag overal kleiner is dan $2*10^{-5}$ m/s. Beter verdichte mijnsteen levert kleinere waarden voor de doorlatendheid. Als ontwerpuitgangspunt wordt gehanteerd dat bij de Lauwersmeerdijk een conservatieve losse pakking van de mijnsteen aanwezig is.
  In het rapport 'Veldonderzoek betreffende onderlagen van steenzettingen in Zeeland', is eveneens een vergelijking gemaakt van de doorlatendheden die zijn gemeten in laboratoriumonderzoek en de doorlatendheden die in Steentoets worden gebruikt aan de hand van de invoerparameters D_{15} en porositeit.
  Uit het onderzoek blijkt dat de doorlatendheid van de losgepakte mijnsteen nauwelijks afhangt van de waarde van D_{15} van de mijnsteen. Indien in Steentoets een porositeit van 0,3 wordt gehanteerd (default-waarde voor mijnsteen) dan geeft een D_{15} = 0.1 mm een doorlatendheid in orde 2*10-5 m/s en is daarmee een representatieve waarde voor de eerder in het laboratorium vastgestelde doorlatendheid voor los gepakte mijnsteen.
  Steentoets staat alleen waarden van D_{15} toe die groter zijn dan 0,5 mm. Deze waarde is, in combinatie met een porositeit van 0,3 gehanteerd bij het dimensioneren van de steenbekleding. In de planuitwerkingsfase dient verder onderzocht te worden of het mijnsteen behouden kan blijven of vervangen dient te worden door klei. Hiervoor kan het zinvol zijn de korrelverdeling en doorlatendheid van de mijnsteen te bepalen. Onderzoek naar deze waarden wordt dan ook aanbevolen.
- De gradering van de filterlaag voor basalton en Hillbocks is gebaseerd op standaardwaarden voor D_{f15} die door de producenten van de steenzettingen worden aanbevolen. De waarde voor D_{f15} ligt voor de basalton en Hillblocks tussen 16 en 20 mm. De waarde van 16 mm is gehanteerd in de berekening.
- Voor de oplossing met Verkalit is gebruik gemaakt van de rapportage "Stabiliteit van Verkalit® mgv - Steenzetting bij golfaanval - Vergelijkend onderzoek zetstenen voor dijken" van Deltares om het vertrekpunt bij de dimensionering van de filterconstructie zo effectief mogelijk op te zetten.
- De laag onder de mijnsteen is geschematiseerd als zandondergrond. De sterkte van de bekledingsconstructie wordt daarmee geleverd door de toplaag en 2 filterlagen.
- Voor de berekeningen van beide taluddelen (onder- en boventalud) is gerekend met een constructie zonder geotextiel. Hiermee wordt rekentechnisch aangetoond dat een geotextiel niet nodig is en geen invloed heeft op de maatgevende faalmechanismen.

Praktisch gezien is het aan te raden wél een geotextiel aan te brengen met het oog op de toekomstgerichtheid/robuustheid van het ontwerp. Voor het benedentalud is een geotextiel tussen eerste filterlaag en onderliggende mijnsteen nodig. Hierbij dient rekening gehouden te worden dat het geotextiel niet verstopt raakt en overdrukken onder het geotextiel opbouwen. Een voordeel van deze aanpak/schematisering is dat het al dan niet verwijderen van onderlagen (bijvoorbeeld mijnsteen) geen invloed heeft op de variantenkeuzen met of zonder geotextiel.

- Er is gerekend met de aanwezigheid van breuksteen op het onderste taluddeel. Hierbij is gekozen voor 'standaard' breuksteen en geen overlaging. Dit aangezien in de ontwerpmodus een breuksteenoverlaging voor foutmeldingen zorgt.

Tabel 1-1: Resultaten Zetsteenberekeningen Landelijke dijk.

Km	Type	Taluddeel	Ondergrens	Bovengrens	Cotan(alfa)	Steendikte	D15,filter
[-]	[-]	[-]	[NAP+m]	[NAP+m]	[-]	[m]	[mm]
Basalton							
83.9	Basalton	ondertalud	1.00	3.00	0.286	**0.35**	**16**
83.9	Basalton	boventalud	5.58	7.00	0.333	**0.15**	**16**
86.5	Basalton	ondertalud	1.00	3.00	0.286	**0.40**	**16**
86.5	Basalton	boventalud	5.58	7.00	0.333	**0.15**	**16**
Hillblock							
83.9	Hillblock	ondertalud	1.00	3.00	0.286	**0.35**	**16**
83.9	Hillblock	boventalud	5.58	7.00	0.333	**0.15**	**16**
86.5	Hillblock	ondertalud	1.00	3.00	0.286	**0.45**	**16**
86.5	Hillblock	boventalud	5.58	7.00	0.333	**0.15**	**16**
Verkalit mgv							
83.9	Verkalit	ondertalud	1.00	3.00	0.286	**0.40**	**3**
83.9	Verkalit	boventalud	5.58	7.00	0.333	**0.15**	**3**
86.5	Verkalit	ondertalud	1.00	3.00	0.286	**0.40**	**3**
86.5	Verkalit	boventalud	5.58	7.00	0.333	**0.20**	**3**

Aandachtspunten en opmerkingen bij de dimensionering van het landelijk deel

- Globaal liggen de vereiste steendiktes rond de 40 cm voor de landelijke dijktraject. Specifiek voor de zwaarst aangevallen locatie blijken de Hillblocks de hoogste benodigde steendiktes op te leveren.
- Voor de Verkalit is een fijnere filterlaag mogelijk. Om afschuivingen te voorkomen is het raadzaam een minder glad geotextiel toe te passen. In de proeven in "Stabiliteit van Verkalit® mgv - Steenzetting bij golfaanval - Vergelijkend onderzoek zetstenen voor dijken" is het dikkere (in vergelijking met de Geolon-serie) non-woven Naue Terrafix 609 toegepast.

- Verkalit heeft als voordeel dat de stenen in elkaar haken (interlocking). Daarnaast profiteert vooral Verkalit van een dunnere filterlaag, mogelijk kan worden onderzocht of dit maakbaar/uitvoerbaar is.
- In het ontwerp is voor alle alternatieven in dit stadium uitgegaan van een uniforme zetsteendikte op het ondertalud van 40cm voor al het zetsteen dat nieuw wordt aangebracht.
- In het ontwerp is voor alle alternatieven in dit stadium uitgegaan van een uniforme zetsteendikte op het boventalud van 20cm voor al het zetsteen dat nieuw wordt aangebracht. Dit is exclusief uitstekende delen om golfoploop tegen te gaan. Deze elementen zijn niet uitgewerkt.

Met betrekking tot het ontwerp in vervolgfasen worden de volgende aandachtspunten voor de zetsteenbekleding meegegeven:

- De stabiliteit van de zetstenen met een hogere wandruwheid
- Dimensionering van overgangsconstructies (bijvoorbeeld WAB/zetsteen)
- Het wel/niet toepassen van een waterslot

1.2.2 Zetsteen (haven)

De gehanteerde aanpak voor wat betreft de dimensionering van de steenzettingen is puntsgewijs als volgt samen te vatten:

- Voor het ontwerp van de steenbekledingen is gebruikt gemaakt van Steentoets 17.1.1 (tabblad Ontwerp).
- Overschrijdingskans voor het ontwerp is gelijk aan de maximaal toelaatbare overstromingskans (1:1000). De hydraulische randvoorwaarden voor deze kans zijn gehanteerd voor het ontwerp.
- De geadviseerde veiligheidsfactor bij het ontwerp van steenbekledingen bedraagt 1,2. Deze factor wordt doorgaans op de toplaagdikte toegepast. Dit is gehandhaafd.
- Voor het haventraject zijn drie locaties beschouwd: twee dwarsprofielen binnen het haventerrein waar verschillen in opbouw bepalend zijn voor het onderscheid in locaties.
    - De eerste locatie ligt ter plaatse van dijkpaal 89.3. Hier is een vrij hoog dijklichaam aanwezig. De huidige asfaltbekleding wordt verwijderd en vervangen voor een zetsteenbekleding met een onderliggende kleilaag van 0,8m dik. De huidige taludhelling van 1:4 blijft gehandhaafd.
    - De tweede locatie ligt ter plaatse van dijkpaal 90.0. Hier ligt buitendijks een haventerrein en het buitentalud wordt onafhankelijk van de keuze voor het alternatief “smalle kruinverhoging” of “verticale wand” verflauwd naar 1:4 en voorzien van een nieuwe kleilaag onder de zetsteenbekleding.
    - De derde locatie ligt ter plaatse van Robbengatsluis (dp 90.6). Hier wordt de huidige bekleding vervangen en voorzien van een kleilaag. Het profiel wordt geprofileerd tot een 1:3 talud. Hier is geen voorland aanwezig.
- Aangezien de verwachting is dat de maatgevende golfcondities beperkt zullen zijn als gevolg van de relatief (golf)luwe ligging van de kering, is één type steenzuil gehanteerd (Basalton+).
- Voor de locaties in de haven is een hoog voorland aanwezig. Dit voorland met een hoogte van NAP+3,8 m is meegenomen bij het afleiden van de hydraulische randvoorwaarden.
- Voor de locatie ter hoogte van de Robbengatsluis is zonder voorland gerekend, maar is wel golfreductie van de havendam in rekening gebracht. De hoogte van de havendam waar mee gerekend is bedraagt NAP+3,5 m en is gebaseerd op de gemiddelde hoogteligging van het maaiveld bij de parkeerplaatsen bij het Scheepspark.

Resultaten

De berekeningen zijn uitgevoerd met Steentoets 17.1.1. Bij de dimensionering zijn de volgende randvoorwaarden gehanteerd en iteraties uitgevoerd:

- Dikte van de filterlaag is overal 10 cm. Een dunnere filterlaag kan leiden tot een minder dikke toplaag (zetsteen), echter wordt dit niet aangeraden in verband met praktische uitvoerbaarheid.
- Voor het open oppervlak en karakteristieke opening zijn standaardwaarden aangehouden.
- De porositeit van de eerste filterlaag is overal gelijk (0,4).
- De gradering van de filterlaag is gebaseerd op standaardwaarden voor D_{f15} die door de producenten van de steenzettingen worden aanbevolen. De waarde voor D_{f15} ligt voor basalton tussen 16 en 20 mm. De waarde van 16 mm is gehanteerd in de berekening.
- Onder de filterlaag wordt een geotextiel aangebracht, boven een kleilaag met een dikte van 80 cm. Voor de erosieklasse van de klei is c2 aangenomen.

Tabel 1-2: Resultaten Zetsteenberekeningen Haven.

Km	Type	Taluddeel	Ondergrens	Bovengrens	Cotan(alfa)	Steendikte	D15,filter
[-]	[-]	[-]	[NAP+m]	[NAP+m]	[-]	[m]	[mm]
Basalton							
89.3	Basalton	ondertalud	3.80	6.50	0.250	**0.10**	**16**
90.0	Basalton	ondertalud	3.80	5.90	0.250	**0.10**	**16**
90.6	Basalton	ondertalud	0.00	6.00	0.333	**0.20**	**16**

Aandachtspunten en opmerkingen bij de dimensionering

- Bij de locaties in de haven zorgt met name de hoge ligging van het voorland voor lage maatgevende golfcondities. Een steendikte van 10 cm zorgt al voor voldoende toplaagstabiliteit. Bij veel type zetstenen is 20cm echter de minimale afmeting. Deze afmeting is aangenomen in het ontwerp.

1.2.3 Breuksteen (landelijke dijk)

De breuksteen die aan de teen wordt geplaatst is geverifieerd op basis van het KPR-advies “Breuksteenbekleding Lauwersmeerdijk” d.d. 25-07-2017. Kort samengevat worden hierin de volgende adviezen/aanpak aangedragen:

- Geadviseerd wordt om bij het ontwerp van de breuksteenoverlaging in eerste instantie gebruik te maken de resultaten van de kalibratiestudie van Deltares voor breuksteenoverlagingen op ondiep water, uitgaande van een overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de maximaal toelaatbare overstromingskans. De bijbehorende rekenregels zijn geïmplementeerd in Steentoets, waarmee bovenstaande adviezen en aanbevelingen gevolg worden.
- Overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de maximaal toelaatbare overstromingskans (1:1000).
- Schadegetal van 4.
- Veiligheidsfactor van 1,0.

Alternatieven

De binnenwaartse alternatieven hebben in het huidige ontwerp een breuksteenoverlaging over de huidige koperslakblokken (tot NAP+1,0m. Daarnaast wordt aangeraden om eventuele hellingen van dit deel uit te vlakken. Steile hellingen kunnen leiden tot een instabiele teen of het toepassen van grote benodigde steensorteringen.

Maatgevende locaties
Het traject is opgedeeld in 2 delen: westelijk van dijkpaal dp84.7 en oostelijk. De maatgevende hydraulische randvoorwaardelocaties is bepaald door de maximale golfhoogte bij T=1000 jaar (zichtjaar 2075) op te zoeken voor een rekenwaterstand van NAP+1,5m. Dit peil ligt net boven de hoogte op het talud, tot waar de breuksteenoverlaging aangebracht wordt. Hierbij is rekening gehouden met het gegeven dat de bovenkant van de breuksteenoverlaging boven NAP+1,0m zal komen te liggen, en dat er altijd sprake is van golfterugloop op het moment dat de maatgevende golfklappen optreden. Deze praktische aanpak is aangehouden aangezien de maximale golfhoogtes op de twee trajecten alleen dienen om de *locatie* van de maatgevende belasting te kunnen vinden.

De volgende locaties blijken maatgevend te zijn voor de hydraulische randvoorwaarden:
- West: 88.8
- Oost: 84.5

Resultaten
Op basis van de berekeningen blijken de volgende sorteringen te voldoen.
- West: 300 – 1000 kg ($D_{n50,min}$ = 0,60 m; dit is de maximale rekenwaarde binnen Steentoets)
- Oost: 60 – 300 kg ($D_{n50,min}$ = 0,42 m; dit is minimale Dn50 voor deze sortering breuksteen)

Aangezien het voorland niet op alle plaatsen onderscheidend (beduidend hoger of steiler oplopend dan het meer zeewaarts gelegen voorland) aanwezig is en de maatgevende golfcondities op ‘ongunstige’ locaties zijn gekozen, is eventueel voorland bij het afleiden van maatgevende golfcondities niet (expliciet) in rekening gebracht. Er is wel een controle uitgevoerd op de maatgevende golfcondities die uit Steentoets volgen. Hieruit blijkt dat de significante golfhoogtes in deze situatie niet groter zijn dan de halve waterdiepte (gebaseerd op de teenligging van de dwarsprofielinformatie).

Op locaties waar (lokaal) voorland aanwezig is, kan in vervolgfase geoptimaliseerd worden met betrekking tot de sortering van de breuksteen. Voor het afwegen van verschillende varianten is dit onderdeel echter naar verwachting nauwelijks onderscheidend.

1.2.4 Waterbouwasfalt (WAB)

Bij het dimensioneren van de benodigde dikte van waterbouwasfalt is gebruik gemaakt van de informatie uit het memo “Parameters voor ontwerp van waterbouwasfaltbeton (WAB)” d.d. 7 december 2018 van Robert ’t Hart. Dit is een van meest recente richtlijnen voor het ontwerp van asfaltbekledingen. Naast dit memo is tevens gebruikt gemaakt van de documenten waar in het betreffende memo naar verwezen wordt. Tot slot is informatie uit het reviewmemo (“Review ontwerpdocumenten VKA van dijk Lauwersmeer – Vierhuizergat” d.d. 18 november 2019) betrokken bij het ontwerp.

Alternatieven
De volgende alternatieven zijn doorgerekend:
- Binnenwaarts ruw en binnenwaarts glad, de maatgevende belasting vindt plaats op de onderrand van het asfalt.

Maatgevende locaties

Het traject is opgedeeld in 2 delen: westelijk van dijkpaal dp84.7 en oostelijk. De maatgevende hydraulische randvoorwaardelocaties is bepaald door de maximale golfhoogte bij T=1000 jaar (zichtjaar 2075) op te zoeken voor een rekenwaterstand van NAP+3,0m. Ter hoogte van dit peil ligt de onderrand van het asfalt voor alle varianten. Deze onderrand is veelal maatgevend bij het beoordelen/ontwerp van de asfaltbekleding van WAB.
Deze praktische aanpak is aangehouden aangezien de maximale golfhoogtes op de twee trajecten alleen dienen om de *locatie* van de maatgevende belasting te kunnen vinden.

De volgende locaties blijken maatgevend te zijn voor de hydraulische randvoorwaarden:

- West: 88.8
- Oost: 84.0

Ontwerpparameters
De volgende parameters zijn gehanteerd bij de ontwerpberekeningen:

- Hoogte voorland NAP+0m (invoer BM asfalt)
- Hellingen 1:4,4 en 1:4,0
- Ligging onderrand asfalt: NAP+3,0m.
- Buigtreksterkte: 4,3 MPa (ontwerpwaarde uit “Review ontwerpdocumenten VKA van dijk Lauwersmeer – Vierhuizergat”, gebaseerd op een ontwerplevensduur van 40 jaar en gemiddelde holle ruimtepercentage van 4%).
- Stijfheidsmodulus asfalttoplaag: 11545 MPa (Meest ongunstige waarde uit “Review ontwerpdocumenten VKA van dijk Lauwersmeer – Vierhuizergat”, gebaseerd op een ontwerplevensduur van 40 jaar).
- Dwarscontractiecoëfficiënt: 0,35.
- Vermoeiingsparameters: 0,5 en 4,8.
- Veerconstante ondergrond: 64 MPa/m (default-waarde voor zandige ondergrond).
- Variatiecoëfficiënt van de buigtreksterkte: 0,35 (gebaseerd op spreiding eind levensduur).
- Lengte dijktraject: 13,7 km.

Noot: bij het bepalen van de benodigde asfaltdiktes is er van uitgegaan dat de freatische lijn in de dijk onder maatgevende omstandigheden beneden NAP+3,0 m blijft.

Resultaten golfklap
Op basis van de berekeningen met BM Asfalt blijken de volgende diktes te voldoen.

- West: dikte vanaf 0,15 m voldoet
- Oost: dikte vanaf 0,10 m voldoet

Hierbij wordt opgemerkt dat de eerste taluddelen van WAB vaak horizontaal liggen. Formeel dient voor deze delen bij het schematiseren de helling van het onderliggende taluddeel gehanteerd te worden. Gezien de beperkte afmetingen van dit horizontale deel in vergelijking tot de rest van het profiel en het doel van deze dimensionering (hoeveelheidbepaling) is dit niet meegenomen bij het schematiseren. In de detaillering zal overigens meestal bij de overgang steenbekleding – asfalt het waterbouwasfalt lokaal dikker worden aanbracht, waarmee dit effect ondervangen wordt.

In het ontwerp is uitgegaan van een WAB dikte van 150mm in verband met praktische uitvoerbaarheid gedurende aanleg.

Resultaten opdrukken asfalt

De hoogte van het asfalt ligt boven NAP+3,0 meter. Als randvoorwaarde voor het ontwerp is gehanteerd dat de grondwaterwaterstand (freatische lijn) niet boven dit niveau uitkomt. (zie uitgangspuntennotitie). Als gevolg van de hoogte van de onderrand van het asfalt boven NAP+3,0m zal de kans op opdrukken van asfalt verwaarloosbaar klein zijn. Het optrekken van de zetsteenbekleding is mogelijk, maar kan negatief effect hebben op STBI.

1.2.5 Bekledingen Cleveringsluizen

De gehanteerde aanpak voor wat betreft de dimensionering van de steenzettingen ter plaatse van de Cleveringsluizen is puntsgewijs als volgt samen te vatten:

- Voor het ontwerp van de steenbekledingen wordt gebruikt gemaakt van Steentoets v17.1.1 (tabblad Ontwerp).
- Overschrijdingskans voor het ontwerp is gelijk aan de maximaal toelaatbare overstromingskans (1:1000). De hydraulische randvoorwaarden voor deze kans zijn gehanteerd voor het ontwerp.
- De geadviseerde veiligheidsfactor bij het ontwerp van steenbekledingen bedraagt 1,2. Deze factor wordt doorgaans op de toplaagdikte toegepast.
- Er is 1 doorsnede doorgerekend. Voor deze doorsnede is onderzocht of en op welke wijze een bekleding van Verkalit voldoet aan de ontwerprandvoorwaarden. Verkalit heeft hier de voorkeur, omdat het aangrenzende dijkvak momenteel in opdracht van het Wetterskip versterkt wordt met Verkalit.

Alternatieven

In eerste instantie is beschouwd in hoeverre de huidige bekledingsopbouw stabiel is onder maatgevende ontwerprandvoorwaarden. Achtereenvolgens is onderzocht welke onderdelen van de bekleding aangepast dienen te worden, om te voldoen aan de ontwerpeisen. Hierbij is met kleine stappen gewerkt, met het oog op het minimaliseren van de benodigde aanpassingen.

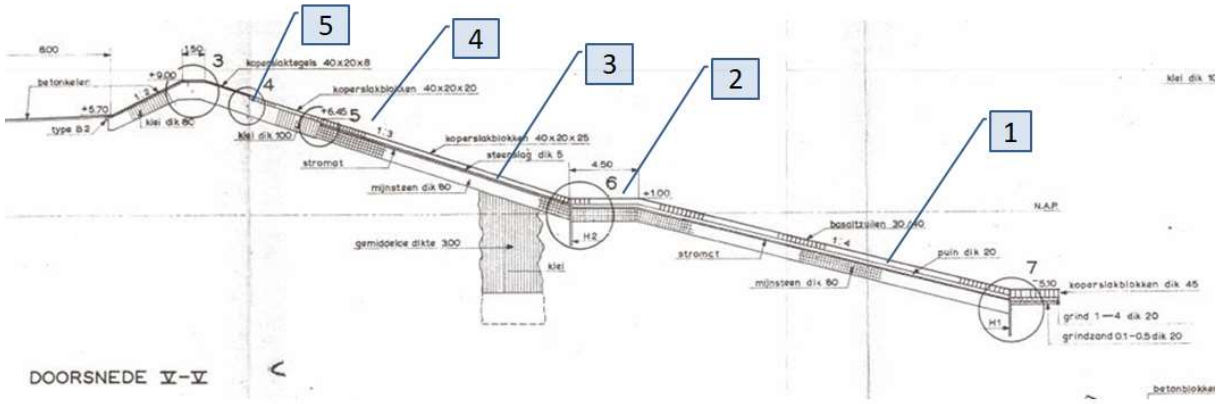
Van de mijnsteen is op basis van veldonderzoek bekend, dat de mijnsteen niet verpapt is. Er is daarmee geen aanleiding/grond om de mijnsteen te schematiseren als een kleilaag. De mijnsteen is op basis van eerdere studies geschematiseerd. De wijze waarop dit is uitgevoerd, is beschreven in paragraaf 1.2.1.

Maatgevende locatie

De dwarsdoorsneden ter plaatse van de sluizen zijn constant. De meest maatgevende locatie is in dit geval gebaseerd op de zwaarte van hydraulische randvoorwaarden. Ter plaatse van dp90.9 zijn de randvoorwaarden het meest ongunstig. Deze locatie is aangehouden voor de ontwerpberekening.
Een doorsnede van het talud ter plaatse van de sluizen is onderstaand weergegeven. Er zijn voor dit profiel 5 taluddelen aangehouden:

1. Ondertalud van basalt tussen NAP-5.1 en +1.0 m.
2. Berm van basalt op NAP+1.0m.
3. Koperslakblokken 40x20x25 cm tussen NAP+1.0 en +6.45m.
4. Koperslakblokken 40x20x20 cm tussen NAP+6.45 en +7.8m.
5. Koperslaktegels 40x20x8 cm tussen NAP+7.8m en de kruin van de kering.

De overgang van koperslakblok en koperslaktegels is niet op precies tekening op tekening aangegeven. De hoogte van deze overgang is geschat op basis van onderstaande tekening.



Resultaten

De berekeningen zijn uitgevoerd met Steentoets 17.1.1. Indien de huidige situatie wordt doorgerekend, voldoet alleen taluddeel 4. Alle afgekeurde delen voldoen niet op toplaagstabiliteit.

Voor wat betreft verbeteralternatieven is getracht om de opbouw van het ondertalud (beneden NAP+1.0m) zo min mogelijk aan te passen. Op de toegeleverde tekening loopt het ondertalud van basaltzuilen van NAP+1.0m tot NAP-5.1m. Gezien het talud onder dagelijkse omstandigheden grotendeels onder water ligt, is het uitvoeringstechnisch lastiger om deze bekleding te vervangen. Aanpassingen zijn dan ook alleen doorgevoerd door aanpassingen aan de toplaag. De dikte van de filterlaag voor dit onderste taluddeel is niet aangepast. Voor alle filterlagen is uitgegaan van een D_{f15} van 16 mm.

In de tekening is een stromat zichtbaar. Omdat niet duidelijk is af deze stromat (zeker 40 jaar na aanleg) nog aanwezig is, is deze niet meegenomen.

Verbetering van de taluddelen 1 t/m 3 is doorgerekend aan de hand van 2 varianten:

- Vervanging van de bekleding door basaltzuilen
- Vervanging van de bekleding door Verkalit met verschillende soortelijke gewichten.

Taluddelen 4 en 5 liggen in de golfoploopzone. Taluddeel 5 – boven NAP+7.8m - voldoet net niet als gevolg van de kleine dikte van de koperslagtegels (8 cm). De dikte van de deze tegels is vergroot tot deze voldoet (stappen van 5 cm). Uit de analyse blijkt dat bij een dikte van 10 cm voor de koperslaktegels wel een stabiele constructie aanwezig is.

Tabel 1-2: Resultaten Zetsteenberekeningen Cleveringssluizen

Type	Taluddeel	Ondergr.	Bovengr.	Cotan (alfa)	Steen-dikte	Dikte filter	D15,filter
[-]	[-]	[NAP+m]	[NAP+m]	[-]	[m]	[m]	[mm]
Basalt							
Basalt	ondertalud	-5.10	+1.00	0.25	0.35	0.20*	16
Basalt	berm	+1.00	+1.00	-	0.45	0.10	16
Basalt	boventalud	+1.00	+6.45	0.333	0.40	0.10	16
Koperslakblok	boventalud	+6.45	+7.80	0.333	0.20	0.05*	16
Koperslaktegel	boventalud	+7.80	+9.00	0.333	0.10	0.05*	16
Verkalit 2300 kg/m^3							

Basalt	ondertalud	-5.10	+1.00	0.25	0.35	0.20*	16
Verkalit mgv	berm	+1.00	+1.00	-	0.45	0.07	3
Verkalit mgv	boventalud	+1.00	+6.45	0.333	0.35	0.07	3
Koperslakblok	boventalud	+6.45	+7.80	0.333	0.20	0.05*	16
Koperslaktegel	boventalud	+7.80	+9.00	0.333	0.10	0.05*	16
Verkalit 2500 kg/m^3							
Basalt	ondertalud	-5.10	+1.00	0.25	0.35	0.20*	16
Verkalit mgv	berm	+1.00	+1.00	-	0.40	0.07	3
Verkalit mgv	boventalud	+1.00	+6.45	0.333	0.35	0.07	3
Koperslakblok	boventalud	+6.45	+7.80	0.333	0.20	0.05*	16
Koperslaktegel	boventalud	+7.80	+9.00	0.333	0.10	0.05*	16
Verkalit 2900 kg/m^3							
Basalt	ondertalud	-5.10	+1.00	0.25	0.35	0.20*	16
Verkalit mgv	berm	+1.00	+1.00	-	0.35	0.07	3
Verkalit mgv	boventalud	+1.00	+6.45	0.333	0.30	0.07	3
Koperslakblok	boventalud	+6.45	+7.80	0.333	0.20	0.05*	16
Koperslaktegel	boventalud	+7.80	+9.00	0.333	0.10	0.05*	16

(*) huidige filterdikte

Voor wat betreft de filterconstructie en onderlagen geldt dat bij bovenstaande ontwerpvarianten het ontwerp zonder geotextiel is doorgerekend. Voor stabiliteit van de toplaag kan rekentechnisch dus worden volstaan zonder geotextiel. In verband met verbetering wordt echter wel aanbevolen in vervolgfasen het ontwerp met geotextiel uit te detailleren.

Met betrekking tot het ontwerp in vervolgfasen worden de volgende aandachtspunten meegegeven:
- De aansluiting op de uitstroomconstructie dient nog uitgedetailleerd te worden.
- Er zijn volgens opdrachtgever verzakkingen gesignaleerd op dit traject, hier dient men tijdens vervolgfasen aandacht aan te schenken.

1.2.6 Overgang hard-zacht

De overgang hard-zacht is gedimensioneerd conform het OI2014v4. Hieruit blijkt dat de overgang hard zacht gelijk ligt aan de waterstand bij de doorsnede-eis van GEBU (o.b.v. de ondergrens) met een extra opslag van 10% van de $z_{2\%}$ golfoploophoogte. Voor golfoploop is geen aanvullende verhoging van de overgang voorzien. In geval de grasbekleding in de golfklap zone komt te liggen is vrijwel direct sprake van falen een verlaging tot onder het niveau van de waterstand bij doorsnede eis is dus ook niet nodig.

- De waterstand bij doorsnede eis (o.b.v. de ondergrens) varieert tussen de NAP+6,25m (kmp90.0 – Cleverlingsluizen) en NAP+6,45m (kmp82.0 – oostelijke trajectgrens);
- De opslag van 10% van de $z_{2\%}$ golfoploophoogte varieert tussen de 0,3 – 0,5 m;

Voor de overgang hard-zacht is in de verkenningsfase een niveau van NAP+7,0m toegepast.

We raden aan in de planfase te overwegen of ruimtelijke differentiatie van de overgang hard/zacht wenselijk is en of de opslag van 10% van de $z_{2\%}$ golfoploophoogte (zoals beschreven in het OI2014v4) noodzakelijk is. In de expertsessie over de grasbekleding is middels verkennende analyses laten zien dat deze opslag niet nodig is, waardoor een harde bekleding tot circa NAP+6,5m mogelijk wordt. Dit is nu nog niet meegenomen in het ontwerp.

1.3 Macrostabiliteit

In de herziene beoordeling (zie de technische uitgangspunten) en de veiligheidsbeoordeling (HKV, 2018) is laten zien dat geen opgave is voor STBI en STBU. Gezien de ontwerpen leiden tot een herziene geometrie, is geverifieerd of de ontwerpen voldoen voor de faalmechanismen STBI en STBU. De vakindeling uit de beoordeling is in onderstaande figuur weergegeven.

Voor STBI en STBU is de ligging van de freatische lijn van belang. In de uitgangspunten is beschreven dat de freatische lijn niet tegen de binnenzijde van het asfalt mag staan omdat anders de rekenregels voor asfalt golfklap (AGK) dan niet van toepassing zijn. In de kansrijke alternatieven van de landelijke dijk ligt de onderrand van het asfalt op NAP+3,0m. Dit betekent dat de freatische lijn niet hoger mag komen dan dit niveau. Dit niveau van de freatische lijn is toegepast in de verificatie voor STBI en STBU van de kansrijke alternatieven voor de landelijke dijk. Voor de kansrijke alternatieven zijn de freatische niveaus afgeleid uit de peilbuisanalyse toegepast (zie uitgangspuntnotitie). De overige uitgangspunten zijn tevens beschreven in de technische uitgangspuntennotitie.

Voor STBI en STBU zijn alle ondergrond-scenario's beschouwd zoals deze ook zijn toegepast in de veiligheidsbeoordeling. De gevonden veiligheidsfactoren voor de kansrijke alternatieven zijn weergegeven in de tabellen 1-4, 1-5 en 1-6. Voor STBI is alleen het alternatief met de binnenwaartse versterking geverifieerd omdat deze leidt tot de grootste hoogteopgave. Hierbij is aangenomen dat de huidige berm niet wordt uitgebreid of opgehoogd. Dit is het ongunstigste ontwerp voor STBI.

Bij de validatie van het ontwerp aan het OI2014v4 wordt een schematiseringsfactor van 1,1 aangehouden. Gezien de validatie uitgevoerd is voor alle bekende ondergrondscenario's en de freatische lijn naar verwachting significant lager (en zeker niet hoger) ligt dan de nu aangehouden NAP+3,0 m zou o.b.v. het TRGS onderbouwd kunnen worden dat een lagere schematiseringsfactor mogelijk is. Zoals in de uitgangspuntennotitie ook is aangegeven is in de verkenningsfase echter vastgehouden aan een minimale schematiseringsfactor van 1,1 (zie Tabel 1-3).

Tabel 1-3: Veiligheidsfactoren STBI

SCENARIO UIT BEOORDELING	BEREKENDE VEILIGHEIDSFACTOR
VAK 3.2 - SCENARIO 6025_1B1	1,43
VAK 3.2 - SCENARIO 6025_1B2	1,48
VAK 3.3 - SCENARIO 6025_1B2	1,55
VAK 3.4 - SCENARIO 6025_1B1	1,38
VAK 3.4 - SCENARIO 6025_1B2	1,55
VAK 3.5 - SCENARIO 6025_1B2	1,54
VAK 3.5 - SCENARIO 6025_1B4	1,41
VAK 3.6 - SCENARIO 6025_1B4	1,43
VAK 3.6 - SCENARIO 6025_1B5	1,53
VAK 4.1 - SCENARIO 6024_1B1	1,54
VAK 4.1 - SCENARIO 6024_1B2	1,39
VAK 4.1 - SCENARIO 6024_1B3	1,55

Tabel 1-4: Toegepast veiligheidsfactoren voor het bepalen van de eisen voor STBI en STBU

	SCHADEFACTOR	SCHEMATISERINGSFACTOR	VEILIGHEIDSFACTOR
STBI – ONDERGRENS	1,14	1,1	1,25

STBI – SIGNAALWAARDE	**1,18**	**1,1**	**1,30**
STBU – ONDERGRENS	**1,11**	**1,1**	**1,22**
STBU - SIGNAALWAARDE	**1,15**	**1,1**	**1,27**

Tabel 1-5: Veiligheidsfactoren STBU – haven

SCENARIO UIT BEOORDELING	BERM MET MUUR	TALUD ZONDER BERM
VAK 2.1 - SCENARIO 6025_1B2	**1,62**	**1,27**

Tabel 1-6: Veiligheidsfactoren STBU – landelijke dijk

SCENARIO UIT BEOORDELING	VEILIGHEIDSFACTOR BUITENWAARTSE VERSTERKING	VEILIGHEIDSFACTOR BINNENWAARTSE VERSTERKING
VAK 3.2 - SCENARIO 6025_1B2	**1,63**	**1,71**
VAK 3.1 - SCENARIO 6025_1B2	**1,27**	**1,26**
VAK 3.4 - SCENARIO 6025_1B2	**1,70**	**1,38**
VAK 3.4 - SCENARIO 6025_1B4	**1,69**	**1,42**
VAK 3.4 - SCENARIO 6025_1B5	**1,38**	**1,67**
VAK 4.1 - SCENARIO 6024_1B1	**1,83**	**1,83**

De resultaten laten zien dat het ontwerp voldoet aan de gestelde eisen. In de analyse is gebleken dat een talud van steiler dan 1 op 2.5 in de regel leidt tot een opgave STBU. Het wordt daarom aangeraden geen steilere taluds aan te leggen, daarbij wordt opgemerkt dat met het oog op beheer, een steiler ondertalud dan 1:3 niet wenselijk is. In het ontwerp is daarom uitgegaan van een 1 op 3 talud.

In de beoordeling van de Lauwersmeerdijk [HKV, 2018] is laten zien dan als het overslagdebiet gelijk is aan 10 l/s/m er geen sprake is van een opgave voor STBI en golfoverslag. Dit is bevestigd in een nadere analyse over de relatie tussen golfoverslag en de overige faalmechanismen [RHDHV en HKV, 2020]. Daarom is in deze alternatieven studie geen nadere analyses gedaan voor macrostabiliteit i.c.m. significante golfoverslag.

1.4 Opbarsten, piping en heave

In de technische uitgangspunten notitie (Bijlage - herziene beoordeling STBU/STPH) is laten zien dat piping niet tot de versterkingsscope behoort. De kansrijke alternatieven hebben geen invloed op de faalkans voor piping. Aangezien de huidige situatie voldoet, voldoen de kansrijke alternatieven ook aan de eisen voor STPH.

1.5 Indirecte faalmechanismen

De voorlanden zijn in de beoordeling beschouwd met als oordeel faalkans verwaarloosbaar (zie HKV [2018]). Gezien in het VKA geen wijzigingen in het voorland zijn voorzien blijft dit oordeel gehandhaafd. Voor GABU is ter plaatse van de waterlijn (T = 1.000 in 2075) voor alle dijkvakken een harde bekleding aanwezig in de alternatieven. GABU is daarom geen relevant faalmechanisme. Voor GABI is bij de beoordeling [HKV, 2018] sprake van enkele dijkpalen die niet aan de eisen voldoen. Het golfoverslagdebiet bij de norm (T = 1.000 in 2075) was tussen de 5-10 l/s/m. Bij een overslagdebiet van ongeveer 5 l/s/m (T = 1.000 in 2075) wordt aan de eisen van GABI voldoen. In vergelijking met de beoordeling is sprake van een dikkere of gelijke dikte van de kleilaag en neemt de kans op golfoverslag significant af (door verruwing van het buitentalud of kruinverhoging zodanig dat de kans op 10 l/s/m gelijk is aan T = 12.500 jaar). Bij de norm is het overslagdebiet dan ruim kleiner dan 5 l/s/m. Daarom is ook voor GABI de faalkans verwaarloosbaar. Dit is in lijn met het oordeel voor STBI i.c.m. significante overslag.

BIJLAGE 5B

Verantwoording ontwerpberekeningen golfmuur

Royal HaskoningDHV

Notitie / Memo

HaskoningDHV Nederland B.V.
Water

Aan:	Ontwerpteam LMD-VHG
Van:	Sander Post, Maarten Schoemaker, Clara Spoorenberg, Leslie Mooyaart
Datum:	Februari 2020 (aangepast aan nieuwe HR)
Kopie:	
Ons kenmerk:	BG3034 DVS LMD-VHG
Classificatie:	Projectgerelateerd

Onderwerp: **Golfoverslag en stabiliteit golfmuur in dijk voor haven Lauwersoog**

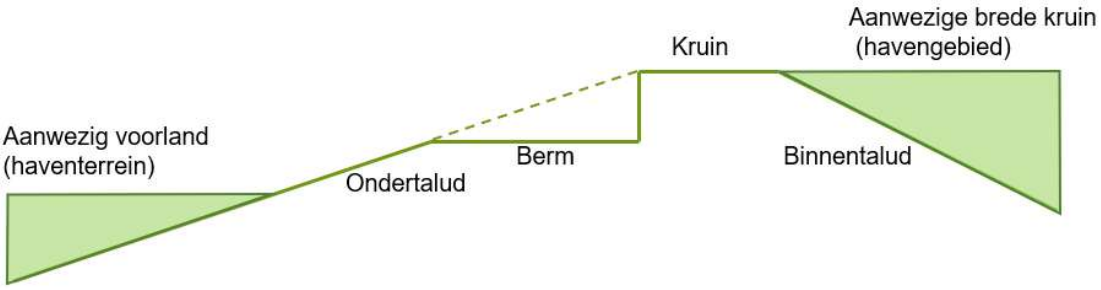
---

1 Introductie

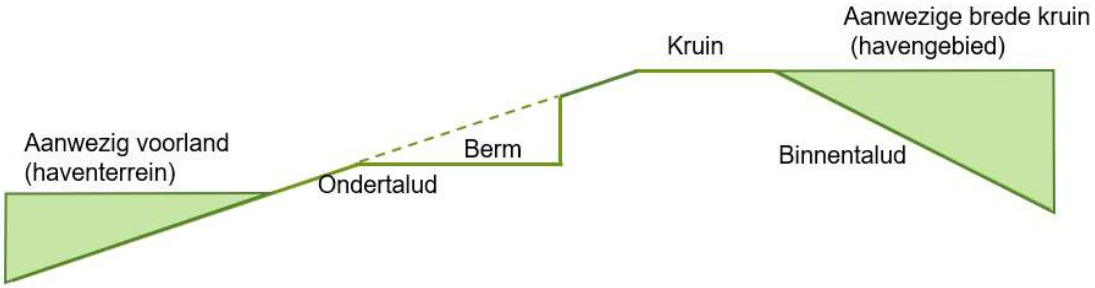
1.1 Situatie

Het dijktraject Lauwersmeer – Vierhuizergat dient versterkt te worden. Onderdeel van het versterkingstraject is de dijk bij de haven van de Lauwersoog. De ligging van dit dijktraject is weergegeven in Figuur 1-1. De versterkingsopgave bestaat uit het beperken van de golfoverslag tijdens maatgevende condities en het versterken/vervangen van de bekleding op het buitentalud. In de verkenningsfase van de dijkversterking zijn inmiddels twee kansrijke alternatieven geselecteerd om de havendijk te versterken. Het eerste alternatief bestaat uit het verflauwen van het buitentalud en het verhogen van de kruin met grond. Bij het tweede alternatief wordt een golfmuur toegepast om de golfoverslag over de kering te beperken. Het concept van een golfmuur in de dijk is weergegeven in Figuur 1-2 en Figuur 1-3.
Het concept gaat uit van een inkassing (“hap uit de dijk”) waardoor een berm ontstaat met direct daarachter een golfmuur. Achter de golfmuur kan direct de kruin liggen (Figuur 1-2) of loopt het talud verder door (Figuur 3-1). Het voordeel van een alternatief met een golfmuur is dat een verticaal element in vergelijking met een doorlopend talud erg efficiënt is om golfoploop te beperken. De hoogte-opgave kan op deze manier sterk worden gereduceerd. Doordat de berm en golfmuur worden ingekast is het ruimtebeslag beperkt en ontstaat zelfs ruimte voor een andere functies zoals een fietspad.
In voorliggende memo wordt een eerste stap gezet in het ontwerp van een alternatief met een golfmuur aan de hand van vigerende overslagbepalingen die zijn verkregen uit vergelijkbare proefopstellingen.

Figuur 1-1 – Ligging Lauwersmeerdijk bij haven Lauwersoog, in blauw aangegeven de primaire kering



Figuur 1-2 – Concept van een golfmuur in een dijk



Figuur 1-3 – Concept van een golfmuur in een dijk met doorlopend boventalud

1.2 Stappenplan

Het concept van een golfmuur als onderdeel van een dijk is eerder voorgesteld tijdens de HWBP verkenningsfase van dijkversterking Vlieland. De golfmuur-variant werd aanvankelijk zelfs als voorkeursvariant (VKA) gekozen, totdat een verandering (afname) in de hydraulische randvoorwaarden een versterking in grond meer passend maakte. Desondanks is ervaring opgedaan in het ontwerp van

een golfmuur. Al snel werd duidelijk dat een dergelijke dijkversterkingsmaatregel niet standaard wordt ondersteund door de software dat is aangeboden in het kader van het Ontwerpinstrumentarium (OI2014) of het Wettelijk beoordelingsinstrumentarium (WBI2017), welke op korte termijn worden samengevoegd tot het Beoordelings- en Ontwerpinstrumentarium (BOI). Dit betekent dat een som op maat gemaakt dient te worden, ook wel “Toets op maat” genoemd. Daarnaast bleek dat het effect van de geometrie (berm op maatgevend hoogwater met direct daarachter een golfmuur) op golfoverslag onvoldoende bekend was. Rijkswaterstaat Noord-Nederland heeft daarom gekozen om de opstelling op schaal na te bouwen in het Deltabasin van Deltares en uitgebreid te testen. Dit heeft geleid tot vernieuwde inzichten en nieuwe ontwerpformules die worden opgenomen in de nieuwe versie van de EurOtop (de Europese leidraad voor golfoverslag over dijken en constructies).
Voor het ontwerp van de golfmuur van de Lauwersmeerdijk kan hier nuttig gebruik gemaakt van worden om te komen tot een schetsontwerp. Concreet worden de volgende stappen gevolgd:

- Bepaling hydraulische randvoorwaarden golfoverslag voor dijk met normaal talud (hoofdstuk 2)
- Bepaling methode voor golfoverslag met oog op toepasbaarheidslimieten (hoofdstuk 3)
- Bepalen golfoverslag alternatieven (hoofdstuk 4)
- Bepalen passend schetsontwerp voor haven Lauwersoog (hoofdstuk 5)
- Bepalen benodigde constructieve sterkte van de golfmuur (hoofdstuk 6)
- Bepalen geotechnische aandachtspunten van het ontwerp (hoofdstuk 7)

Het te hanteren zichtjaar is hierbij 2075, waarbij een doorkijk gegeven zal worden naar 2125. Het ontwerp zal worden gemaakt voor de overslageis van 5 l/s/m en 10 l/s/m. In de volgende hoofdstukken zijn deze stappen uitgewerkt, hetgeen uiteindelijk leidt tot een aanbevolen ontwerp. De huidige kruinhoogte is circa NAP+6.20m. De wens is om deze zo min mogelijk te verhogen.

In de verkenningsfase wordt ook de benodigde constructieve sterkte van de golfmuur berekend om afschuiving en kantelen te voorkomen tijdens maatgevende condities. Daarnaast zijn geotechnische aandachtspunten onderzocht. Dit wordt leidt tot een ontwerp van de golfmuur op schetsontwerpniveau. In voorliggende memo worden deze aspecten en de bijhorende berekeningen kort toegelicht. In de volgende fase van de dijkversterking is een meer gedetailleerde beschouwing raadzaam.

2 Hydraulische randvoorwaarden

De hydraulische randvoorwaarden zijn eerder bepaald door en vastgelegd in de Technische uitgangspuntennotitie **Error! Reference source not found.** voor 2075 en 2125 voor de maatgevende locaties 90.6 (nabij Robbengatsluis) en 90.0 (nabij Vishandel Sterkenburg). Deze zijn samengevat in de onderstaande tabellen.

Tabel 1 – Hydraulische randvoorwaarden maatgevende locaties zichtjaar 2075

Parameter	90.6 (5 l/s/m)	90.6 (10 l/s/m)	90.0 (5 l/s/m)	90.0 (10 l/s/m)
Hydra-punt	00012	00012	00007	00007
Waterstand [m+NAP]	5.57	5.58	5.88	5.87
Golfhoogte [m]	1.79	1.79	0.97	0.96
Periode [s]	5.51	5.52	4.73	4.73
Hoek tov N [º]	336	336	328.3	328.3
Dijknormaal [º]	35	35	3.0	3.0
Hoek van inval [º]	59	59	34.7	42.4

Tabel 2 – Hydraulische randvoorwaarden maatgevende locaties zichtjaar 2125

Parameter	90.6 (5 l/s/m)	90.6 (10 l/s/m)	90.0 (5 l/s/m)	90.0 (10 l/s/m)
Waterstand [m+NAP]	6.04	6.05	6.39	6.39
Golfhoogte [m]	2.08	2.08	1.26	1.25
Periode [s]	5.71	5.71	4.93	4.93
Hoek tov N [º]	335.1	335.1	326.9	326.9
Dijknormaal [º]	35	35	3.0	3.0
Hoek van inval [º]	59.9	59.9	36.1	36.1

Enkele opmerkingen bij bovenstaande tabel;

- de Hydra-NL berekeningen zijn gemaakt met een aangepaste database (volledige correlatie tussen de modelonzekerheid van de golfhoogte en die van de spectrale golfperiode);
- Er is gerekend met een zeespiegelstijging van 0.43 m als toename van de zee voor het scenario 2068W+;
- Er is gerekend met een terugkeertijd van 12500 jaar;
- De waterstand, Hm0, Tm-0,1 en golfrichting in de tabel corresponderen met die van de hoofdillustratiepunten. Het hoofdillustratiepunt is nauwelijks afhankelijk van het kritieke overslagdebiet. Dat lijkt misschien gek, maar is het ook weer niet. Dit komt omdat steeds voor dezelfde terugkeertijd gerekend wordt (T = 12500 jaar): bij een groter kritiek overslagdebiet hoort een lager HBN. En de randvoorwaarden, waarbij dan het HBN volgt, zijn dezelfde als bij het kleinere kritieke overslagdebiet.

3 Methode overslagbepaling

Voor het bepalen van golfoverslag is de EurOtop 2018 handleiding leidend [2]. In de EurOtop 2018 staan verschillende methoden om de hoeveelheid golfoverslag te schatten voor configuraties met een verticale golfwand en een berm. Echter, geen van de methoden in de EurOtop 2018, beschrijven de configuratie geheel passend.

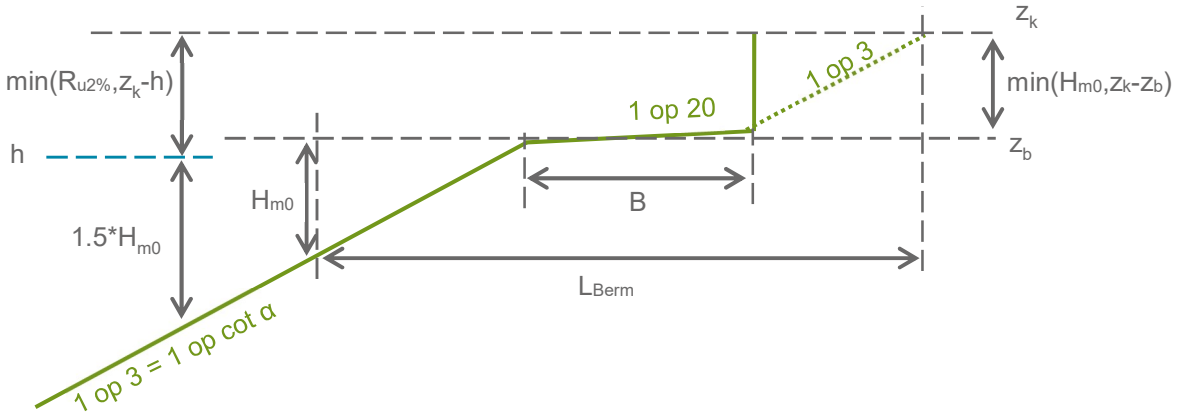
Bovendien zijn, net als bij Vlieland, de maatgevende golven; korte, brekende en zeer schuin invallende golven. Deze specifieke combinatie was nog nooit eerder getest in schaalmodellen met golfmuren. Dit

leidde voor dijkversterking Vlieland tot te veel onzekerheden in het ontwerp. Daarom zijn in mei 2018 voor Vlieland 3D schaalproeven uitgevoerd om meer zekerheid te krijgen over de golfoverslag bij het golfmuurontwerp voor Vlieland. De tests werden uitgevoerd in de Deltabasin op Deltares om schuine inkomende golven (50º) te kunnen reproduceren. Naderhand zijn deze testen uitgewerkt en heeft dit geleid tot een nieuwe methode voor bepalen van de hoeveelheid golfoverslag in vergelijkbare situaties **Error! Reference source not found.**. De nieuwe methode is als volgt te omschrijven. Als basis worden de overslagformules vanuit de EurOtop 2018 handleiding gehanteerd, toegepast zal worden de 'design value equation'.

Brekende golven: $\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = \frac{0.026}{\sqrt{tan\alpha}} \cdot \gamma_b \cdot \xi_{m-1,0} \cdot exp\left[-\left(2.5 \cdot \frac{R_c}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\xi_{m-1,0} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v}\right)^{1.3}\right]$ (Vgl 1)

Met maximum (niet-brekende golven): $\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = 0.1035 \cdot exp\left[-\left(1.35 \cdot \frac{R_c}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma^*}\right)^{1.3}\right]$ (Vgl 2)

Het berekenen van de golfoverslag is het invullen van bovenstaande formule. Voor het invullen van de variabelen wordt voor het toegepaste concept van een muur in de dijk geschematiseerd conform Figuur 3-1.



Figuur 3-1 – Schematisatie muur in dijk in de EurOtop formules

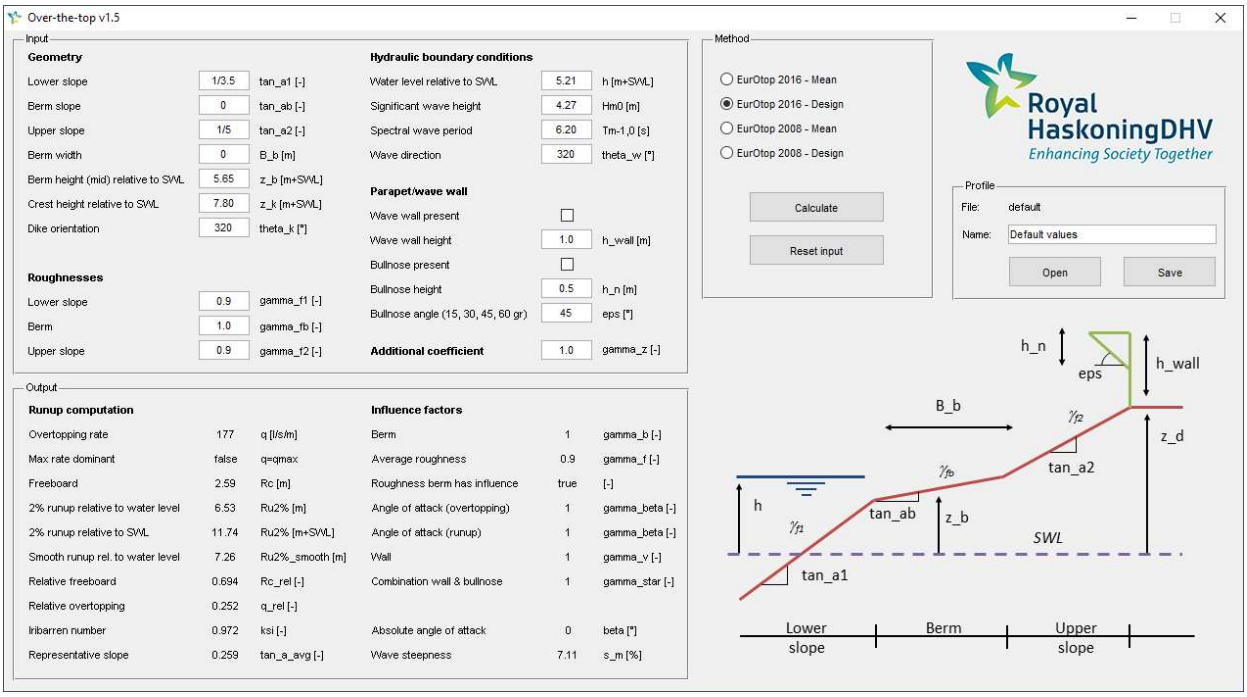
Voor het gemiddelde talud en het Iribarren getal wordt het ondertalud gebruikt. De invloed van de berm wordt op conventionele manier bepaald, alleen dan op basis van een fictief boventalud dat gelijk is aan het ondertalud dat doorloopt tot aan de kruin. De invloed van de hoek van inval is conform de EurOtop 2018. Voor de invloed van de muur wordt een invloedsfactor toegepast van $\gamma_v = 0.84$.

Toepasbaarheid van de bovenstaande methode is beperkt. De invloedsfactor voor de muur is enkel afgeleid voor een ondertalud van 1 op 3. De toepasbaarheid van de formule voor een ander ondertalud dan 1 op 3 is onzeker. Andere limieten van toepasbaarheid zijn aangegeven in de onderstaande tabel. Het te ontwerpen dijkprofiel valt niet geheel binnen de limieten, want het beoogd talud is flauwer (1op4). De methode geldt ook indien een talud doorloopt boven de muur, zolang aan deze voorwaarden wordt voldaan. De fysische reden hierachter is dat de horizontale energie in het water wordt omgezet in verticale energie.

Tabel 3 – Limieten toepasbaarheid golfmuur

Parameter	Loodrechte hoek van inval	Hoek van inval ongeveer 50 gr	Hoek van inval ca 50 gr en verhoogde waterstand
Kruin	Mag hoger dan muur zijn (talud loopt door boven muur)	Mag hoger dan muur zijn (talud loopt door boven muur)	Mag hoger dan muur zijn (talud loopt door boven muur)
Ondertalud	1 op 3	1 op 3	1 op 3
Muurhoogte	Zie golfhoogte	Zie golfhoogte	Zie golfhoogte
Waterstand	< berm niveau	< berm niveau	< berm niveau + 1/5*H_{m0}
Bermafmetingen	Dusdanig dat γ_b > 0.65	Dusdanig dat γ_b > 0.65	Dusdanig dat γ_b > 0.75
Golfhoogte	Niet hoger dan 1.5 maal de hoogte van de muur indien de waterstand gelijk is aan de berm, hoger indien de waterstand lager is dan de berm	Niet hoger dan 1.7 maal de hoogte van de muur indien de waterstand gelijk is aan de berm, hoger indien de waterstand lager is dan de berm	Niet hoger dan 1.5 maal de hoogte van de muur indien waterstand gelijk is aan berm niveau + 1/5*H_{m0}
Golfsteilheid	~5.5% (kortkammig)	~5.5% (kortkammig)	~5.5% (kortkammig)
Hoek van inval	>= 0º	>= ~50º	~50º
Ruwheid	Nvt	Nvt	Nvt

Voor het berekenen van de golfoverslag wordt verder gebruik gemaakt van de door Royal HaskoningDHV ontworpen tool “Over-the-top v1.6”. Dit programma is in staat overslag uit te rekenen met aangepaste profielen en invoer, zoals hier vereist is, zie onderstaande figuur.



Figuur 3-2 – Screenshot van Over-the-top v1.6

4 Bepalen golfoverslag alternatieven

4.1 Berekeningen met doorgaand talud

Om het effect van de inpassing van de golfmuur inzichtelijk te maken zijn overslagberekeningen opgesteld voor een normaal doorlopend dijktalud met wandruwheden van 1,0, zie tabel 4 en 5.

Tabel 4 – Recht talud DP90.6

Nummer	Zichtjaar	taludhelling	Doel overslag [l/s/m]	Kruinhoogte [m]	Overslag 2075 [l/s/m]	Overslag 2125 [l/s/m]
Huidig	2075	1/2.1	huidig	6.2	469	796
1	2075	1/2.1	5	9.3	4.81	29
2	2075	1/2.1	10	8.9	9.7	50
3	2075	1/3	5	8.9	4.6	22
4	2075	1/3	10	8.5	9.6	41
5	2125	1/3	5	9.9	0.6	4.2
6	2125	1/3	10	9.4	1.7	9.9

Tabel 5 – Recht talud DP90.0

Nummer	Zichtjaar	taludhelling	Doel overslag [l/s/m]	Kruinhoogte [m]	Overslag 2075 [l/s/m]	Overslag 2125 [l/s/m]
huidig	2075	1:4	huidig	6.2	136	overloop
1	2075	1:4	5	7.4	4.0	46
2	2075	1:4	10	7.2	7.8	74
3	2075	1:3	5	7.8	4.6	47
4	2075	1:3	10	7.6	8.1	68
5	2125	1:3	5	8.9	0.2	4.8
6	2125	1:3	10	8.6	0.4	9.3

4.2 Resultaten overslagberekeningen met golfmuur

Getracht is om zo veel mogelijk combinaties te berekenen van mogelijke dijk- en golfmuur-alternatieven die binnen de toepasbaarheidslimieten van de afgeleide formules vallen. Hiertoe zijn de volgende uitgangspunten zijn gehanteerd:

- Het ondertalud en het eventueel doorlopende boventalud bedraagt 1 op 3.
    - Een enkele keer is uitgegaan van 1:4, dit is op conservatieve manier berekend.
- Talud berm is 1 op 40 voor drainage. In de golfoverslagberekening wordt het bermtalud verwaarloosd en bedraagt deze dus 0.
- De verhouding tussen bermbreedte en bermhoogte bedraagt 1 op 3, conform geteste condities en omdat zo daadwerkelijk een hap uit de dijk wordt gecreëerd. En enkele keer is 1:4 aangehouden.
- De berm ligt over het algemeen op hetzelfde niveau als de waterstand

In de onderstaande tabellen staan voor deze configuraties. Voor iedere berekening is eerst aangegeven welke specificaties ze omvatten (zichtjaar, doel overslag en doorlopend boventalud), daarna de geometrische parameters (bermligging, breedte berm, hoogte muur, hoogte eventueel doorlopend boventalud en kruinhoogte) op basis waarvan schetsen en een inpassing kunnen worden gemaakt, waarna tot slot de berekende hoeveelheid golfoverslag voor beide zichtjaren 2075 en 2125 wordt weergegeven.

In de tabellen geldt het volgende voor de kleuren:

- zwart: binnen de geldigheidsgrenzen
- Oranje: twijfel over de waarheid van dit getal, omdat deze nét over de grenswaarde van de geldigheid heen gaat. (conservatief ingeschat)
- Rood: ongeldig, over de grens van de geldigheid. Getal ter indicatie van orde grootte

Tabel 6 – Resultaten DP90.6

Nummer	Zichtjaar	Taludhelling	Doel overslag [l/s/m]	Doorlopend talud	Bermligging [m+NAP]	Berm breedte [m]	Muurhoogte [m]	Hoogte doorlopend talud [m]	Kruinhoogte [m]	Overslag 2075 [l/s/m]	Overslag 2125 [l/s/m]
1	2075	1/3	5	Nee	6.0	4.2	1.5	-	7.5	4.2	31
1*	2075	1/4	5	Nee	6.0	4	1.1	-	7.1	3.8	39
2	2075	1/3	10	Nee	6.0	3.6	1.3	-	7.3	8.9	56
3	2075	1/3	5	Ja	6.0	3	1	0.7	7.7	4.4	30
3*	2075	1/4	5	ja	6.0	2.8	0.8	0.4	7.2	4.7	40
4	2075	1/3	10	Ja	6.0	2.4	0.8	0.7	7.5	7.4	54
5	2125	1/3	5	Nee	6.4	5.1	1.7	-	8.1	0.8	5.4
6	2125	1/3	10	Nee	6.4	4.8	1.6	-	8.0	1.1	7.6
7	2125	1/3	5	Ja	6.4	3.6	1.2	0.8	8.4	0.6	5.0
8	2125	1/3	10	Ja	6.4	3.3	1.1	0.7	8.2	1.3	8.8

Tabel 7 – Resultaten DP90.0

Nummer	Zichtjaar	taludhelling	Doel overslag [l/s/m]	Doorlopend talud	Bermligging [m+NAP]	Berm breedte [m]	Muurhoogte [m]	Hoogte doorlopend talud [m]	Kruinhoogte [m]	Overslag 2075 [l/s/m]	Overslag 2125 [l/s/m]
13	2075	1:3	5	Nee	5.9	3	1	-	6.9	4.9	92.2
13*	2075	1:4	5	nee	5.9	2.8	0.8		6.7	4.87	117
14	2075	1:3	10	Nee	5.9	2.7	0.9	-	6.8	8.6	123
15	2075	1:3	5	Ja	5.9	2.1	0.7	0.5	7.1	3.8	71
15*	2075	1:4	5	Ja	5.9	2.4	0.6	0.3	6.8	3.9	93
16	2075	1:3	10	Ja	5.9	2.1	0.7	0.3	6.9	8.7	112
17	2125	1:3	5	Nee	6.4	3.7	1.3	-	7.7	0.5	4.8
18	2125	1:3	10	Nee	6.4	3.0	1.2	-	7.6	1.1	9.8
19	2125	1:3	5	Ja	6.4	3.0	1.0	0.4	7.8	0.5	4.9
20	2125	1:3	10	Ja	6.4	3.0	1.0	0.2	7.6	1.1	9.8

5 Bepalen passend schetsontwerp

Ter plaatse van de Robbengatsluis (t.p.v. 90.6) is de ruimte te beperkt om een dijkontwerp (zelfs met een golfmuur) te realiseren, er is daarom gekozen om bij op deze locatie te kiezen voor maatregelen om de dijk overslagbestendig te maken. Het berekende overslagdebiet op deze locatie is in 2075 circa 468 l/s/m (met wandruwheid 1,0).

Op andere delen van het havendijktraject is het toepassen van een dijkversterking met een verticale wand wel goed mogelijk.. Dit ontwerp heeft (zeer waarschijnlijk) een golfoverslagdebiet van minder dan 5 l/s/m voor het zichtjaar 2075 en voldoet daarmee aan de ontwerpeis. Opgemerkt dient te worden dat de invloed van een 1:4 talud in combinatie met een berm en golfmuur niet is onderzocht in de proevenserie en dus feitelijk buiten het toepassingsgebied valt van de gebruikte formule.

Figuur 5-1: Visualisatie keuze schetsontwerp met golfmuur (rode stippelijn geeft huidig profiel weer)

6 Bepalen benodigde constructieve sterkte van de golfmuur

Een eerste verkennende berekening om de constructieve sterkte van de muur te bepalen is opgenomen in Bijlage 1. Hierbij is een belastingssituatie gekozen die hoort bij 1/12.500 per jaar voor zichtjaar 2075.

Gezien de fase van het project en de mogelijkheden dat (zwaar) verkeer op en rond de L-muur komt te rijden is gekozen voor een meer robuust ontwerp van de muur:

- Dikte wanden: 0,3 m
- Funderingsniveau L-muur: NAP + 5,30 m (keermuur 1,4 meter hoog)
- Breedte voet keermuur: 1,0 m
- Gewapend beton
- Fundering op zand (muur deels ingegraven)

Aanbevolen wordt om in de planuitwerking, als de werkelijke belastingen duidelijker zijn (dus ook de belastingen buiten de hydraulische belastingen), de keermuur opnieuw en in meer detail verder te

ontwerpen. Opgemerkt wordt dat de golfbelasting minimaal is, aangezien de muur grotendeels boven de golfklapzone ligt en beschermt wordt door een flauw talud en aangrenzende berm.

7 Bepalen geotechnische aandachtspunten van het ontwerp

Indien de keermuur functioneel onderdeel uitmaakt van de waterkering (golfoverslagreductie), moet de stabiliteit van de keermuur voldoen aan de eisen die aan de waterkering gesteld worden. De keermuur vormt een langsconstructie, echter heeft geen stabiliteitsverhogende functie. Er is evenmin sprake van een restprofiel, aangezien de keermuur zich in het buitentalud bevindt. Afschuiven van het buitentalud tijdens MHW is niet aan de orde. Bij afschuiven tijdens val na MHW is er geen sprake meer van golfbelasting.

De keermuur wordt in eerste instantie ontworpen als verticale constructie die bestand moet zijn tegen de krachten uit brekende golven (hydraulische belasting) tijdens maatgevende hoogwatercondities. Daarnaast dient de keermuur als grondkering die, eveneens gedurende maatgevende condities, de kruin en het binnentalud in stand moet houden. De keermuur heeft geen constructieve functie met betrekking tot het vergroten van de stabiliteit van de waterkering voor de ontwerpsporen macrostabiliteit en piping. Wel dient gecontroleerd te worden of de keermuur de stabiliteit van de waterkering niet nadelig beïnvloedt gedurende de levensduur.

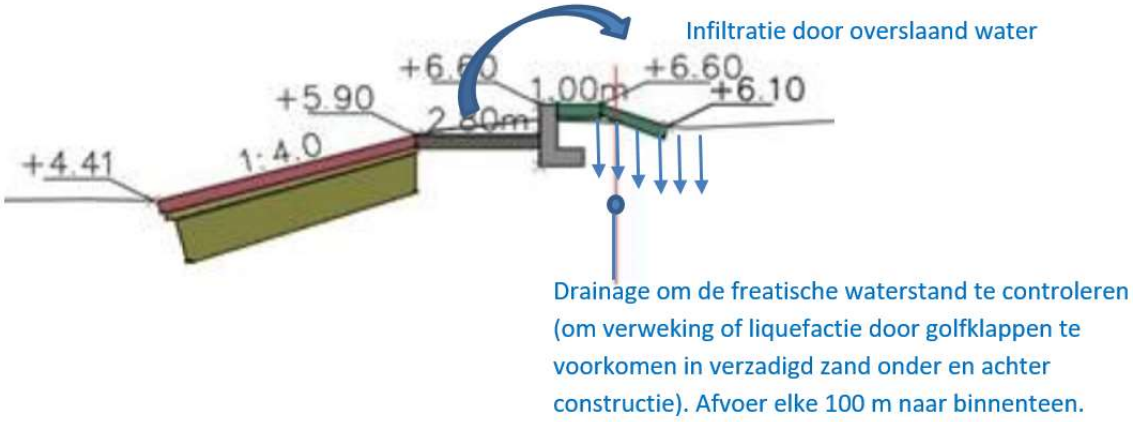
Hydraulische belasting
Bij MHW staat het water juist tegen de voet van de keermuur. Er is derhalve geen sprake van een verval over de keermuur onder maatgevende condities. De constructie hoeft daarom niet beoordeeld te worden op piping.
Wel kunnen er onder maatgevende hoogwatercondities golven met een golfhoogte van ruim 1m voorkomen. Deze golven kunnen een belasting op de keerwand leveren in de vorm van golfklappen, zie hoofdstuk 6.

Maatgevende situaties draagkracht constructie
De ontwerpsituaties die getoetst moeten worden met betrekking tot de stabiliteit van de constructie omvatten:

- Dagelijkse omstandigheden, al dan niet met bovenbelasting;
- Hoogwater, golfklappen;
- Hoogwater, golfklappen en verzadiging kruin door overslag (liquefactie van het grondlichaam door stootkrachten);
- Kruiend ijs, niet per definitie in combinatie met hoogwater.

Onder dagelijkse omstandigheden voldoet een L-wand met een voet van 1,6 m ($H_{ontwerp}$ = 1,6 H_s) bij een kerende hoogte van 0,8m. Onder deze omstandigheden is een funderingsconstructie (palen of damwand) niet noodzakelijk.

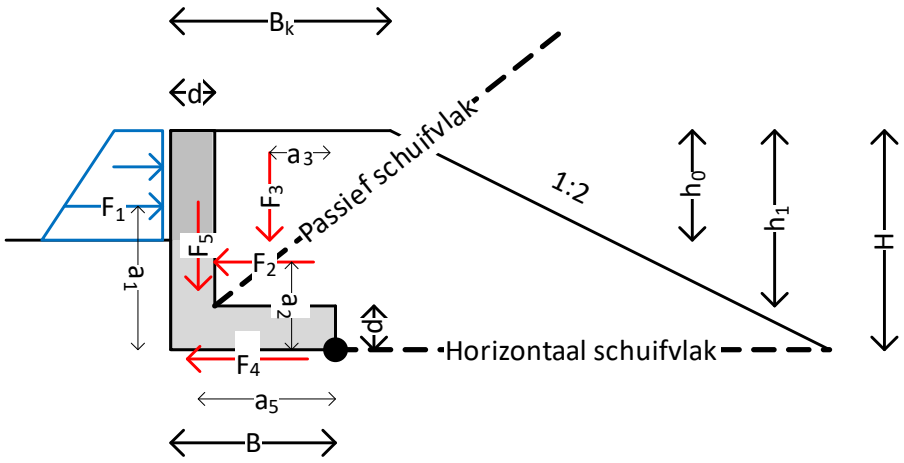
Met betrekking tot de situatie bij overslag wordt opgemerkt dat om verweking of liquefactie door golfklappen te voorkomen, de freatische lijn gecontroleerd moet worden ruim onder de fundering van de keermuur. Hiertoe dient een langsdrainage aangebracht te worden zoals opgenomen in onderstaande figuur. Elke 100 m wordt een aftakking naar de binnenteen van de dijk aangebracht.



8 Referenties

[1] Technische Uitgangspuntennotitie, oktober 2019, RHDHV-HKV
[2] EurOtop 2018
[3] The influence of a berm and a wave wall at dikes on overtopping by oblique and breaking waves, 2019, Schoemaker, Zijlstra, Van der Meer, Van Doorslaer,

Bijlage 1 Constructieve berekening Keermuur



Definities

F_1 Golfkracht [kN/m]

F_2 Passieve gronddrukkracht [kN/m]

F_3 Gewicht grond [kN/m]

F_4 Wrijvingskracht horizontaal schuifvlak [kN/m]

F_5 Eigen gewicht keermuur [kN/m]

Uitgangspunten

- Verschil in waterdruk verwaarloosbaar
- Onder SWL gerekend met gewicht beton onder water
- Alleen gerekend met passieve druk over h_1
- Passieve drukcoefficient van K_p=1,5, weinig vervorming.
- Kantelen in verzadigde situatie zonder golfdruk niet beschouwd.
- Geen verkeersbelasting

Krachten

F_1 = 9.2 kN/m

F_2 = ½*K_p*rho_g*g*h_1^2

F_3 = rho_g*g*(B-d)*h_1

F_5 = rho_b*g*d*h_0+(rho_b-rho_w)*g*{(H-h_0)*d+(B-d)*d}

F_4 = {F_3 + F_5 + rho_g*g*(B_k-B)*H + ½*rho_g*g*2*H^2} tan delta

Armen

$a_1 = H - h_0 + 0{,}42$

$a_2 = d + 1/3 * h_1$

$a_3 = ½ * (B-d)$

$a_5 = 1/F_5 *[rho\_b*g*d*h_0*(B-d)+(rho\_b-rho\_w)*g*\{(H-h_0)*d*(B-d)+1/2*(B-d)^2*d\}]$

<u>Evenwichtsvergelijkingen</u>

Horizontaal schuifvlak

$F_1 / F_4 =< 2/3$

Passief schuifvlak

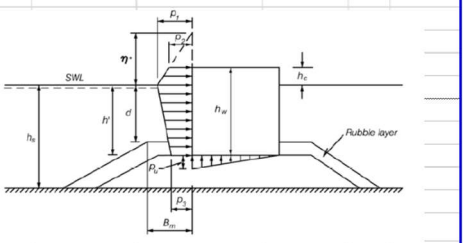
$F_1 / F_2 =< 2/3$

Kantelen met golfdruk

$F_1 * a_1 / (F_2 * a_2 + F_3 * a_3 + F_5 * a_5) <= 2/3$

WAVE PRESSURE ON VERTICAL STRUCTURE - GODA

Project:	Dijkverbetering LMD-VHG
Part:	Golfbelasting muur
Date:	2/21/2020
By:	Spo



Boundary conditions

SWL	5.9	[m NAP]	
Toe depth	0	[m NAP]	
Reflectiecoeff (λ)	0.45		
H_{design}	1.6	[m]	H_d=1,6*H_s
Tm1,0	4.9	[s]	
T_p	5.4	[s]	
h_c	0.8	[m]	Verrekening 1:20 berm
h_s	6	[m]	
h_b [1]	1.3	[m]	
d	0.01	[m]	
h_w	0.8	[m]	
Density γ_{sea}	10.25	[kN/m^3]	
Wave angle	36	°	

[1] H_b is the depth at a distance of $5H_{design}$ from the structure

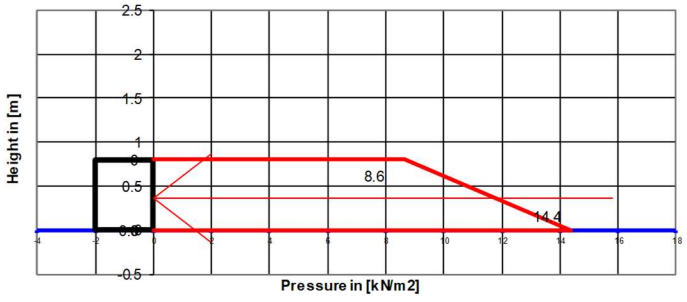
Wave characteristics

Wave length (based on T_s = 1.1T_m)	L_0	=	37.5	[m]
Local wave length (with T_s)	L	=	40.3	[m]
Wave steepness	s	=	0.043	[-]
$\alpha_1 = 0.6 + 0.5\left[\frac{4\pi h_s/L}{\sinh(4\pi h_s/L)}\right]^2$		=	0.774	[-]
$\alpha_2 = \min\left(\frac{h_b - d}{3h_b}\cdot\left(\frac{H_{design}}{d}\right)^2 ; \frac{2d}{H_{design}}\right)$		=	0.30	[-]
$\alpha_3 = 1 - \frac{h_w - h_c}{h_s}\left[1 - \frac{1}{\cosh(2\pi h_s/L)}\right]$		=	1.000	[-]
$\eta^* = 0.75(1+\cos\beta)\lambda_1 H_{design}$		=	2.00	[m]

Wave pressures

Pressure p_1	$p_1 = 0.5(1+\cos\beta)(\lambda_1\alpha_1 + \lambda_2\alpha_2\cos^2\beta)\rho_w g \cdot H_{design}$	=	14.4 [kN/m^2]
Pressure p_2	$p_2 = \begin{cases}\left(1-\frac{h_c}{\eta^*}\right)p_1 & \text{for } \eta^* > h_c \\ 0 & \text{for } \eta^* \le h_c\end{cases}$	=	8.6 [kN/m^2]
Resultant of wave pressure q_w		=	9.2 [kN/m]
Including safety factor 1,25			11.5 [kN/m]
At level		=	-0.37 [m] below water level

Graph of wave pressure distribution



Parameter	Symbool	Waarde	Dimensie								
Input											
Keerhoogte	h_0	0.8	[m]			Ontwerpwaterstand voor golfoverslag: NAP+5,9m					
Hoogte keermuur	H	1.4	[m]			Maatgevende golfhoogte; 1.90cm (Hs=1,2m)					
Breedte keermuur	B	1.0	[m]			Golfperiode: 4.9s					
Dikte keermuur	d	0.3	[m]			Hoek van inval; 36graden					
Breedte kruin	B_k	1	[m]			Golfoverslagdebiet: 5 l/s/m in 2075					
Talud binnenzijde	cotan	3	[-]								
Gewicht water	rho_w	10.25	[kN/m3]								
Gewicht beton	rho_b	23	[kN/m3]								
Gewicht grond	rho_g	18	[kN/m3]								
Passieve drukcoefficient	K_p	1.5	[-]								
Actieve drukcoefficient	K_a	0.3	[-]								
Wandwrijvingshoek	delta	20	[graden]								
Golfkracht	F1	9.2	[kN/m]								
Unity check		0.67	[-]								
Verwerking											
Hoogte binnenzijde	h1	1.1	[m]								
Passieve gronddrukkracht	F2	16	[kN/m]								
Gewicht grond	F3	14	[kN/m]								
Eigen gewicht keermuur	F5	10	[kN/m]								
Wrijvingskracht horizontaal schuifMak	F4	28	[kN/m]								
	a1	0.97	[m]								
	a2	0.67	[m]								
	a3	0.35	[m]								
	a5	0.72	[m]								
Output - evenwichtsvergelijkingen											
Horizontaal schuifMak (unity check)		0.33									
Passief schuifMak (unity check)		0.56									
Kantelevenwicht (unity check)		0.38									
				Uitsplitsing F5	F	a	M				
				Boven water	5.52	0.85	4.7				
				Onder water muur	2.30	0.85	2.0				
				Onder water vloer	2.6775	0.35	0.9				
					10.5	0.72	7.6				

BIJLAGE 7

Quick scan beoordeling kabels en leidingen

Eenvoudige toets met erosiekrater en controle macrostabiliteit binnenwaarts (2 memo's)

Royal HaskoningDHV

Notitie / Memo

HaskoningDHV Nederland B.V.
Water

Aan:	Sander Post
Van:	Harm Snoeren
Datum:	30-10-2019
Kopie:	-
Ons kenmerk:	BG3034-RHD-ZZ-XX-NT-Z-0001
Classificatie:	Projectgerelateerd

Onderwerp: **Beoordeling k&l, dijkversterking Lauwersmeerdijk - Vierhuizergat**

---

1 Inleiding

Voor het dijkversterkingsproject Lauwersmeerdijk – Vierhuizergat (10 km lang in de provincie Groningen) is in onderliggende memo een beschouwing gemaakt van het effect van de kabels en leidingen op de kosten en planning. Het dijkversterkingsproject zit momenteel in de verkenningsfase waarbij het binnenwaartse dijkversterking alternatief kansrijk wordt geacht.
Ruwweg is het project verdeeld in in twee deelgebieden:

- Het landelijke dijktraject;
- De haven van Lauwersoog.

In hoofdstuk 3 zijn de kabels en leidingen in het landelijke traject beschouwd. In hoofdstuk 4 is dit voor de haven van Lauwersoog gedaan.

2 Referenties

De volgende gegevens zijn gebruikt voor het opstellen van deze memo: zie bijlage 2

3 Landelijke dijktraject

3.1 Situatie

In Figuur 2.1 is het landelijke dijktraject weergegeven met daarop de gegevens uit de KLIC ten aanzien van kabels en leidingen. In Figuur 2.2 zijn de maatgevende dwarsdoorsneden van de waterkering met de dijkversterking (voorkeursalternatief) gegeven.

Figuur 3.1 Overzicht landelijk dijktraject

3.2 Leidinggegevens

3.2.1 Waterleiding

Langs de dijk ligt een asbestcement (AC) transportleiding met een diameter van 200 mm (lengte circa 7 km). De wanddikte van de leiding is vooralsnog niet bekend. De leiding heeft een druk van 2,5 à 3,5 bar, die varieert over het verloop van de dag. Plaatselijk zijn enkele stukken AC-leiding vervangen door PVC, met name ter plaatse van de wegkruisingen. De dekking van de leiding (standaard) is circa 1,0 meter minus maaiveld.

De exacte ligging en dekking moet in het veld worden vastgesteld, bijvoorbeeld door middel van (handmatige) proefsleuven. De ervaring is dat AC-leidingen over het algemeen zeer gevoelig zijn voor schade (scheuren) als gevolg van bijvoorbeeld trillingen.

3.2.2 Gasleiding

De hogedruk gasleiding betreft een PE-leiding (kunststof) met een diameter van 110 mm. De wanddikte bedraagt 12,6 mm. Er staat een druk op van 4 bar. Deze leiding loopt parallel aan de dijk in het traject tussen Lauwersoog (haven) en Westpolder (lengte circa 7 km). Ter plaatse van Westpolder loopt een aansluitleiding in oostelijke richting (richting Eendenkooi). Dit is eveneens een PE-leiding maar met een diameter van 32 mm. De standaard gronddekking van de gasleidingen is 0,8 tot 1,0 meter minus maaiveld. Er kunnen geen gegarandeerde uitspraken worden gedaan over de exacte ligging en diepte. Dit dient bij werkzaamheden geverifieerd te worden door middel van proefsleuven.

Overeenkomstig de overzichtstekening in bijlage 1 betreft het hier een hogedruk gasleiding. Het is gangbaar dat van een hogedruk gasleiding wordt gesproken indien de druk hoger is dan 10 bar. Hier is

echter een druk van 4 bar opgegeven. Kortom een verificatie van de werkelijk optredende druk is aanbevolen.

3.2.3 Laagspanning kabel

Over een lengte van circa 3 km ligt een laagspanning kabel van Defensie parallel met de waterleiding en de gasleiding. Deze kabel heeft geen nadelige invloed op de waterkering veiligheid. De afstand van deze kabel tot de waterleiding is circa 3 m. Het uitgangspunt is dat deze kabel kan blijven liggen. Nadere beschouwingen omtrent deze kabel zijn niet opgenomen in deze memo.

3.2.4 KPN datakabel

Aan de westzijde is een KPN datakabel aanwezig. Deze ligt over een lengte van circa 400 m in de zuidelijke berm van de bestaande weg. Overeenkomstig doorsneden alt 1 en alt 2 schuift de berm in zuidelijke richting op (zie Figuur 2.2). Over deze 400 m moet rekening worden gehouden met het verleggen van deze datakabel.
De datakabel kruist tevens de waterkering. In verband met eventuele zettingen en tevens de gronddekking op deze datakabel moet deze hoogstwaarschijnlijk worden herlegd. Nadere beschouwingen omtrent deze kabel zijn niet opgenomen in deze memo.

3.3 Nadere beschouwing waterleiding en gasleiding

3.3.1 Bepaling veiligheidszone

De NEN3651 is van toepassing voor leidingen die binnen de veiligheidszone zijn gelegen. De veiligheidszone bestaat uit een stabiliteitszone en een verstoringszone. Wanneer de stabiliteitszone wordt gebaseerd op de vuistregel 4 x H resulteert dit in de breedtes zoals gepresenteerd in Tabel 3.1. De stabiliteitszone is voor zowel de huidige als de nieuwe situatie van de waterkering gegeven. In Figuur 2.2 zijn de stabiliteitszone schematisch ingetekend ten opzichte van de insteek van het talud en de berm (punt A). Daarbij is ervan uitgegaan dat de berm geen onderdeel uitmaakt van de waterkering. Op deze berm is een weg aanwezig. Wanneer deze berm wel onderdeel uitmaakt van de waterkering zal de stabiliteitszone vanaf de insteek van het talud van de berm aangrijpen (punt B). Het uitgangspunt dient nader met de waterkeringbeheerder en dijkontwerper te worden afgestemd.
De hier gepresenteerde stabiliteitszones kunnen verder worden geoptimaliseerd wanneer stabiliteitberekeningen worden uitgevoerd.

Tabel 3.1 Stabiliteitszones (gebaseerd op 4 x H vuistregel)

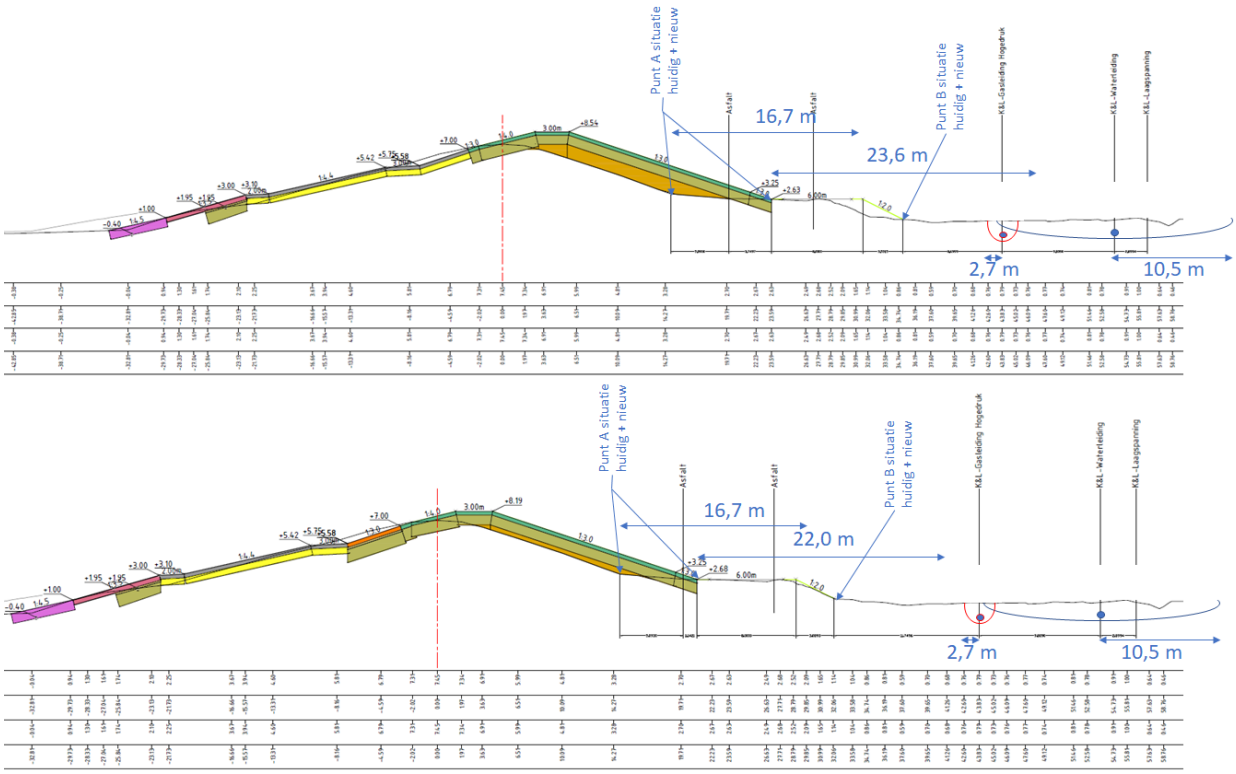
Doorsnede		alt1		alt2	
Situatie		Huidig	Nieuw	Huidig	Nieuw
bk waterkering	[m NAP]	7,45	8,54	7,45	8,19
teen dijk (links van weg)(a)	[m NAP]	3,28	2,63	3,28	2,68
teen dijk (rechts van weg)(b)	[m NAP]	0,86	0,86	1,14	1,14
Stabilteitszone t.o.v. punt A	[m]	**16,68**	**23,64**	**16,68**	**22,04**
Stabilteitszone t.o.v. punt B	[m]	26,36	30,72	25,24	28,2

Opmerking: In verband met de leesbaarheid zijn enkel de vet gedrukte stabiliteitzones aangeduid in Figuur 2.1.

Voor beide leidingen is de verstoringszone bepaald op basis van de NEN3651. In onderstaande figuren is de verstoringszone schematisch ingetekend. De berekening van de verstoringszone is gegeven in bijlage 1 en bedraagt:

- Waterleiding: Rb = halve breedte erosiezone = 10,5 m.

- Gasleiding: Rb = halve breedte erosiezone = 2,7 m.



Figuur 3.2 Maatgevende dwarsdoorsneden met stabiliteitszones en verstoringszones (boven: alt 1, onder: alt 2)

De conclusie is dat zowel de gasleiding als ook de waterleiding binnen de veiligheidzone zijn gelegen bij doorsnede alt 1. De stabiliteitszone en de verstoringszone overlappen elkaar namelijk in de nieuwe situatie uitgaande van punt A als aanvangspunt stabiliteitszone. Wanneer wordt uitgegaan van punt B is de overlap van beide zones nog groter.
Voor doorsnede alt 2 in de nieuwe situatie overlappen de zones elkaar niet wanneer wordt uitgegaan van punt A als aanvangspunt stabiliteitszone. Oftewel de leidingen liggen buiten de veiligheidszone. Wanneer wordt uitgegaan van punt B als aanvangspunt stabiliteitszone liggen de leidingen wel binnen de veiligheidszone.

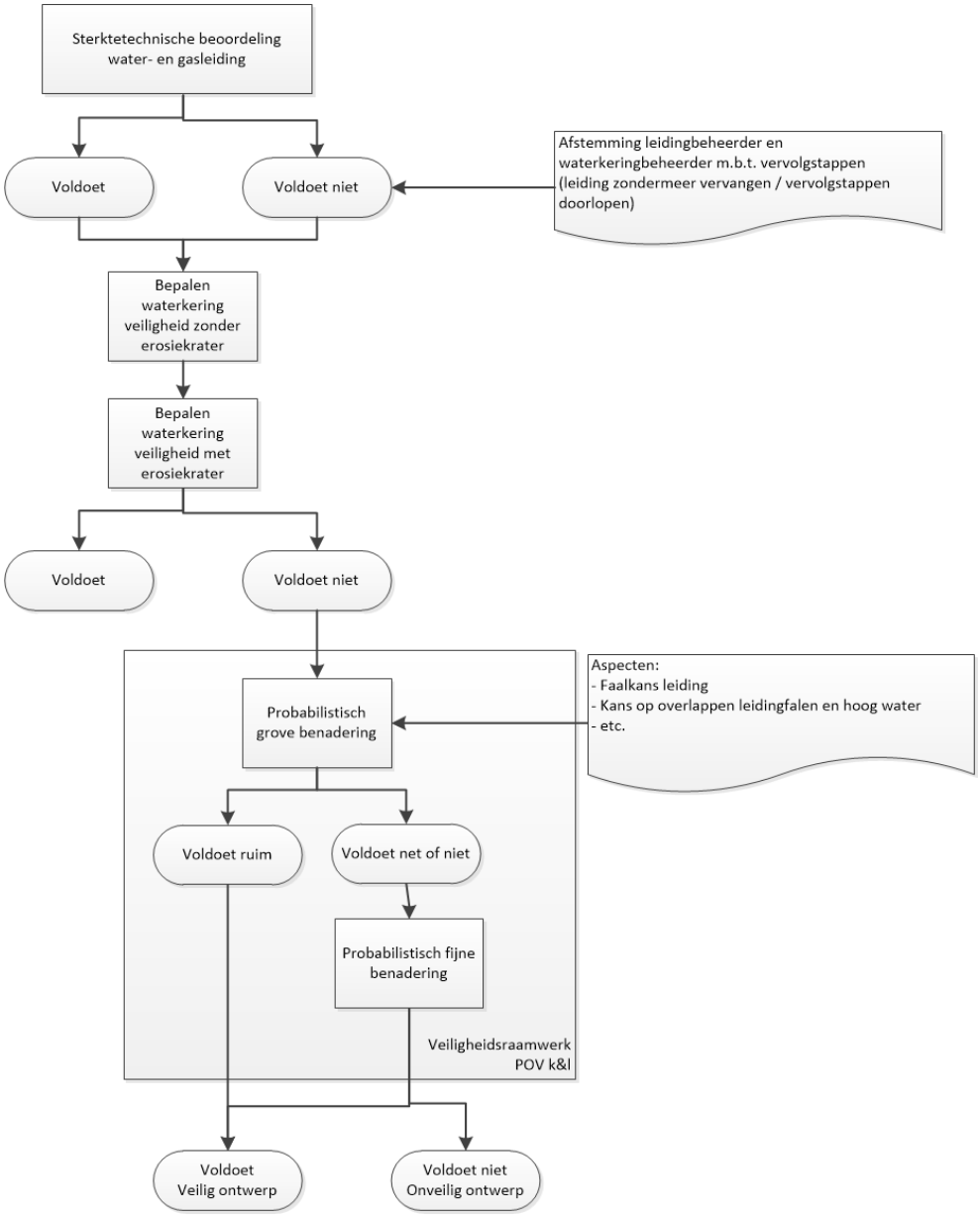
3.3.2 Vervolgstappen

Aangezien de leidingen binnen de veiligheidszone zijn gelegen zijn de eisen uit de NEN3651 van toepassing. De volgende vervolgstappen dienen onder andere te worden doorlopen alvorens een definitieve uitspraak kan worden gedaan:

- De leiding dient sterktetechnisch te voldoen. Van zowel de waterleiding als ook de gasleiding dient aan de hand van een sterkteberekening te worden aangetoond dat deze sterktetechnisch voldoet. Blijkt nu dat een leiding niet voldoet dan dient afgestemd te worden tussen de leidingbeheerder en waterkeringbeheerder om de leiding zondermeer te verwijderen of dat verdere vervolgstappen moeten worden doorlopen (zie volgende bullit). In deze discussie dient rekening te worden gehouden met het feit dat het hier een waterleiding van asbestcement betreft. Dergelijke leidingen zijn over het algemeen uiterst gevoelig voor falen wat mogelijk van invloed is op de uitvoering (passage materieel).
- Overeenkomstig de NEN3651 moet worden aangetoond dat de veiligheid van de waterkering niet in het geding komt. Met stabiliteitberekeningen moet worden beoordeeld in hoeverre de erosiekrater

invloed heeft op de faalkans van de waterkering. Momenteel werkt het POV k&l aan een veiligheidsraamwerk waarin de methodiek in concept is vastgesteld. Op hoofdlijnen zouden de volgende stappen moeten worden doorlopen zie Figuur 3.3.

Aangezien de lengte van het dijktracé met deze parallel gelegen leidingen aanzienlijk is loont het ons inziens de moeite om de beschouwingen overeenkomstig het veiligheidsraamwerk te doorlopen.



Figuur 3.3 Vervolgstappen water- en gasleiding

3.3.3 Financieel

In hoeverre de kosten voor de vervolgstappen danwel het daadwerkelijk moeten aanpassen van de leidingen voor rekening komen van het Waterschap of netbeheerders hangt onder meer af van:

- In hoeverre de leidingen in de huidige situatie al binnen de veiligheidszone liggen. Dit heeft ondermeer te maken met de reikwijdte van de stabiliteitszone en het aanvangspunt daarvan (punt A of B, zie Figuur 3.2).
- Eventuele beschikbare vergunningen en voorwaarden.
- Huidige staat van de leidingen (jaar van aanleg, levensduur, etc.).
- NKL regeling.
- Bevindingen uit sterktetechnische beschouwing.
- Resultaten uit doorlopen vervolgstappen.

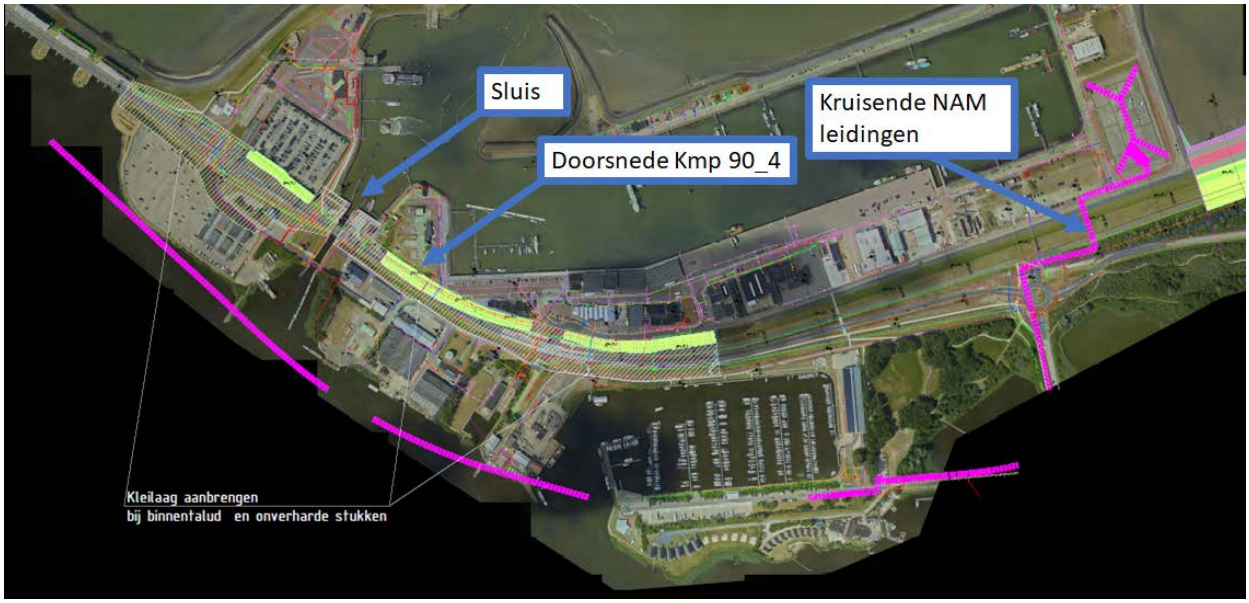
Vooruitlopend op de resultaten kan voor de verkenningsfase ervan worden uitgegaan dat de waterleiding zal worden vervangen en de gasleiding kan blijven liggen. Uitgangspunt is dat 100% van de kosten (i.r.t. nadere beschouwingen, overleggen en de realisatie vervanging inclusief materiaal - 7 km AC) voor rekening van het Waterschap komt. Het betreft hier een voorlopig te hanteren “worst case” uitgangspunt welke nader geverifieerd moet worden.

De doorlooptijd voor de sterkteberekeningen en vervolgstappen is circa 6 tot 12 maanden. De daadwerkelijke verlegging inclusief ontwerp van de te vervangen AC leiding zal circa 6 maanden omvatten.

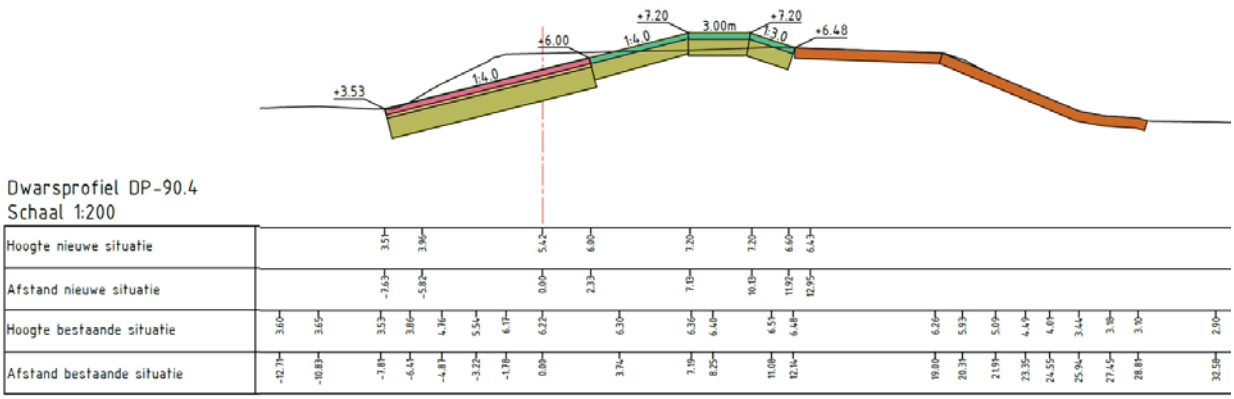
4 De haven van Lauwersoog

4.1 Situatie

In Figuur 4.1 is de de geplande dijkversterking in bovenaanzicht gegeven. In Figuur 4.2 is een kenmerkende doorsnede van de dijk gegeven. Op Figuur 4.1 is met een groene arcering het ruimtebeslag van de daadwerkelijke versterking ingetekend (zie ook dwarsprofiel). De daadwerkelijke ophoging van de kruin bedraagt circa 0,7 m. Ter plaatse van de wit gearceerde gebieden wordt een kleilaag van 0,5 m ingegraven. Nabij de sluis zal deze kleilaag uitgevoerd worden met zetsteen. De dijk kan hier niet omhoog vanwege de aansluiting op de sluishoofden en brug. De ingegraven kleilaag en het zetsteen worden aangebracht om erosie door overslag op te vangen.



Figuur 4.1 Dijkversterking havendijk

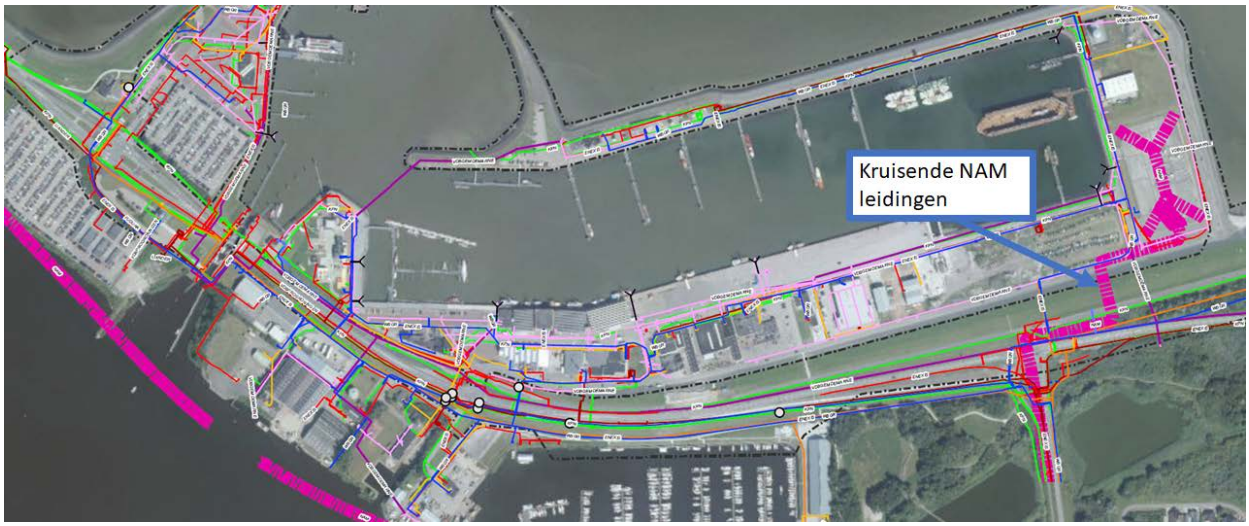


Figuur 4.2 Doorsnede dijk DP-90.4

4.2 Leidinggegevens

In de havendijk ligt een heel scala aan kabels en leidingen zie Figuur 4.3. Varierend van LS en MS kabels, data kabels, lage en hogedruk gasleidingen, waterleidingen, rioolpersleidingen, en mantelbuizen etc. Deze kabels en leidingen liggen zowel kruisend als parallel aan als in de dijk.

In het verleden betrof het hier geen dijk waardoor destijds geen actief beleid is gevoerd om kabels en leidingen te weren uit deze dijk.



Figuur 4.3 Aanwezige kabels en leidingen

4.3 Aandachtspunten k&l aspecten

- Ingraven van de kleibekleding en plaatsen zetsteenbekleding met een dikte van 0,5 m iszonder verleggingen van kabels en leidingen mogelijk, behoudens:
  - Ter plaatse van AC leidingen omdat deze zeer gevoelig zijn voor vervormingen in de ondergrond of gewijzigde bovenbelasting.
  - Kabels liggen normaliter met een gronddekking van circa 0,6 m. Ten aanzien van het ontgraven van het maaiveld en vervolgens weer aanvullen dienen extra maatregelen te worden getroffen om de kabels niet te beschadigen.
- Kruisende kabels en leidingen:
  - Kruisende leidingen dienen ten minste boven het ontwerppeil te worden aangebracht.
  - Afhankelijk van het medium, de inwendige druk en diameter moet worden bepaald of een damwandconstructie (voormalig vervangende waterkering) benodigd is.
  - De damwandconstructie is noodzakelijk voor onderstaande situaties. De breedtes van het damwandscherm zijn gebaseerd op een benadering. Omdat deze afhankelijk zijn van de druk en diameter kan hier geen eindoordeel worden gegeven omdat deze vooralsnog niet inzichtelijk zijn):
    - Gasleidingen: druk > 10 bar: breedte damwandscherm 20 m.
    - Vloeistof leidingen: druk > 10 bar: breedte damwandscherm 25 m.
    - Vloeistof leidingen: druk ≤ 4 bar en inwendige diameter ≤ 100 mm: geen damwandscherm.
    - Vloeistof leidingen: druk 4 bar en inwendige diameter > 100 mm en ≤ 220 mm : wel damwandscherm (breedte circa 9,5 m).

- Vloeistof leidingen: druk 4 bar en inwendige diameter > 220 mm: wel damwandscherm (breedte circa 25 m).

- Kruisende kabels en leidingen zoveel als mogelijk bundelen.
- Mantelbuizen voorzien van afsluitmanchet.
- Damwand doorvoeren van kabels en leidingen voorzien van waterdichte afsluiting van neopreen. Verschilvervormingen moeten opneembaar zijn.
- Ter plaatse van kruisende leidingen moeten kwelschermen worden aangebracht in de kruin van de waterkering. Uitgegaan kan worden van een PE plaat in een kleikist.

- Daar waar het huidige maaiveld wordt opgehoogd moeten de zettingen inzichtelijk worden gemaakt. Vervolgens moet aan de hand van bijvoorbeeld leidingsterkteberekeningen worden aangetoond dat de zettingen acceptabel zijn.
- Leidingen dienen te voldoen aan de eisen uit NEN3651. Aan de hand van leidingsterkteberekeningen moet worden aangetoond dat de leidingen voldoen.
- Een parallele ligging van leidingen binnen het profiel van de waterkering kan worden overwogen indien voldaan wordt aan de voorwaarde dat bij breuk het theoretisch profiel van de waterkering aanwezig blijft of wordt aangetoond dat de toelaatbare disfunctiekans van de waterkering niet wordt overschreden. Om dit aan te tonen dienen de vervolgstappen zoals aangegeven in paragraaf 3.3.2 te worden gevolgd.
- Vanwege de beperkte kruinbreedte van 3 m zal er weinig restprofiel overblijven op het moment dat een erosiekrater optreedt. De hogedruk gasleidingen en de vloeistof leidingen groter dan 220 mm (inwendige diameter) moeten hoogstwaarschijnlijk worden verlegd.
- Op het moment dat ervoor wordt gekozen om kabels en leidingen onder de kleibekleiding of zetsteenbekleding te laten liggen zal een netbeheerder bij storingen zijn kabel of leiding willen benaderen. Dit komt de kwaliteit van de bekleding niet ten goede. Daarnaast zal de waterkeringbeheerder niet zondermeer accepteren dat in het gesloten seizoen (stormseizoen) gewerkt wordt in de dijk.
- Van de overige leidingen die in de veiligheidszone liggen maar buiten het waterstaatswerk moet eveneens worden aangetoond dat deze voldoen.

Op hoofdlijnen is in Tabel 4.1 per dijktraject een beoordeling van de kabels en leidingen gegeven die in het waterstaatswerk liggen. Het betreft hier geen volledige beschouwing omdat diameters en drukken niet inzichtelijk zijn. De leidingen buiten de veiligheidszone zijn niet beoordeeld.

Tabel 4.1 Beschouwing kabels en leidingen in relatie tot dijkversterking

Van Kmp	Tot Kmp	Relatie tot Figuur 4.1	Parallel	Kruisend
Kmp 90_8	Kmp 90_65	Groene arcering	KPN kabels: verwijderen i.v.m. te grote gronddekking	-
Kmp 90_45	Kmp 90_15	Groene arcering	LS kabels, KPN kabels: verwijderen i.v.m. te grote gronddekking Waterleiding, rioolpersleiding: verwijderen i.v.m. te grote gronddekking en ontoereikend restprofiel	MS kabel: mantelbuis aanpassen, kwelscherm aanbrengen Waterleiding: mantelbuis aanpassen, kwelscherm aanbrengen

			LG gasleiding: verwijderen i.v.m. te grote gronddekking	
Kmp 90_1	Kmp 89_85	Groene arcering	MS en LS kabels, KPN kabels: verwijderen i.v.m. te grote gronddekking	MS en LS kabels, KPN kabels : mantelbuis aanpassen, kwelscherm aanbrengen Waterleiding: mantelbuis aanpassen, kwelscherm aanbrengen
Kmp 91_0	Kmp 90_56	Witte arcering	KPN kabels, MS kabels, LS kabels: De kabels kunnen worden behouden mits maatregelen in de uitvoering worden genomen in verband met mogelijke beschadiging. Wanneer de netbeheerder in verband met storingen werkzaamheden aan een kabel wil uitvoeren zal de kleibekleding of de zetsteenbekleding verwijderd moeten worden. Dergelijke werkzaamheden kunnen hoogstwaarschijnlijk enkel buiten het gesloten seizoen (stormseizoen) plaatsvinden. Dit is enerzijds onwenselijk voor het Waterschap als ook voor de netbeheerders waardoor verlegging buiten het dijkprofiel aanbevolen wordt. Waterleiding, hogedrukgasleiding, riool persleiding, mantelbuizen: Voor de leidingen zijn vergelijkbare aspecten van toepassing als voor de kabels. Bijkomend is nog dat moet worden aangetoond dat de waterkeringveiligheid niet in het geding komt indien een lekkage onder de bekleding optreedt. De verwachting is dat leidingfalen niet resulteert in extra overslag bij parallel gelegen leidingen. Voor kruisende leidingen zou dit nader onderzocht moeten worden.	
Kmp 90_56	Kmp 89_85		KPN kabels, MS kabels, LS kabels: idem aan Kmp 91_0 tot Kmp 90_56 Waterleiding, lage en hogedruk gasleiding, riool persleiding, mantelbuizen: idem aan Kmp 91_0 tot Kmp 90_56	
Kmp 89_4	Kmp 89_.2	-	NAM leiding: Beoordeeld moet worden in hoeverre de kruising is uitgevoerd overeenkomstig de eisen uit de NEN3651. In het verleden betrof het hier nog geen dijk. Bij dit dijkversterkingsproject wordt de dijk hier niet aangepast. Vanwege de geplande reconstructies is het advies deze leiding eveneens in de beoordeling mee te nemen.	

4.4 Oordeel

Het handhaven van de huidige kabels en leidingen is ons inziens niet wenselijk vanuit beheersaspect en toekomstvisie (robuuste oplossing). Daarnaast moeten er teveel ingrepen worden getroffen alvorens een veilige situatie kan worden gecreëerd. *Overwogen kan worden om voor een kenmerkende dwarsdoorsnede nog een beschouwing uit te voeren in hoeverre de disfunctiekans wordt beïnvloed door de aanwezigheid van een specifieke leiding. Dit heeft enkel nut wanneer hierna genoemde aspecten niet zwaarwegend genoeg zijn.*

Het is gebruikelijk om kabels en leidingen zoveel als mogelijk te weren binnen de veiligheidszone van waterkeringen. Nu is het wellicht het moment om waar mogelijk kabels en leidingen te verleggen naar een aparte strook buiten de veiligheidszone. Bij toekomstige dijkversterkingen vormen de kabels en leidingen dan ook een minder groot probleem.
Veel mogelijkheden voor een aparte kabel en leidingenstrook zijn er niet. De haalbaarheid voor een strook aan de zuidzijde van de waterkering buiten het waterstaatswerk is wellicht mogelijk. Dit wordt wellicht beter haalbaar wanneer de breedte van de aan te brengen kleibekleding (witte arcering in Figuur 4.1) aan de zuidzijde wordt beperkt.

De aanpassingen aan kabels en leidingen zijn naar verwachting van die orde dat andere dijkversterkingsopties kansrijk worden. Gedacht wordt aan het aanbrengen van een damwandconstructie parallel aan de waterkering. Deze damwandconstructie zal dan boven het maaiveld uitsteken en overslag moeten beperken / voorkomen. Eventuele risico's vanuit kabels en leidingen worden daarmee afgewend. Kabels en leidingen kunnen dan grotendeels gehandhaafd blijven. Wel dienen damwanddoorvoeren worden gemaakt en dient rekening te worden gehouden met leidingen die gevoelig zijn voor trillingen en verzakkingen door het aanbrengen van de damwanden. De eisen ten aanzien van deze damwandconstructie moeten voorafgaand worden verkend (eisen waterkerend kunstwerk).

4.5 Financieel

Aanbevolen wordt om in overleg met het Waterschap te bepalen wat de gewenste eindsituatie (visie kabels en leidingen in dijken) is. Voor de verkenningsfase zouden de volgende varianten ten opzichte van elkaar beschouwd moeten worden:

- Kabels en leidingen verplaatsen naar een nieuwe kabel en leidingenstrook buiten de veiligheidszone.
- Damwandconstructie aanbrengen en kabels en leidingen zoveel als mogelijk behouden. Inclusief de benodigde damwanddoorvoeren. Voorwaarde hiervoor is dat de bestaande kabels en leidingen voldoen aan de nog te toetsen sterkte-eisen.

5 Referenties

De volgende gegevens zijn gebruikt voor het opstellen van deze memo: zie bijlage 2:
[ref. 1] Tekening Royal HaskoningDHV "Overzicht DWP.pdf" (bijlage 2).
[ref. 2] Tekening ingenieursbureau MUG "Dijkverbetering Lauwersmeerdijk – Vierhuizergat, Waterschap Noorderzijlvest, onderdeel Klic 1 van 3, status: definitief, wijziging: 0, d.d. 13-2-2018" (bijlage 2).
[ref. 3] Concept tekening Royal HaskoningDHV "Alt-1-Binnenwaarts-glad.pdf" (bijlage 2).
[ref. 4] Concept tekening Royal HaskoningDHV "Alt-2-Binnenwaarts-ruw.pdf" (bijlage 2).
[ref. 5] Concept tekening Royal HaskoningDHV "BG3034-COR-Kansrijke-Alternatieven-Bovenaanzicht-Haven-v5.pdf" (bijlage 2).

De in bijlage 2 opgenomen tekeningen met [ref. 3] tot en met [ref. 5] geven een indicatie van de dijkversterkingsalternatieven. Deze alternatieven zullen op het moment van schrijven van deze memo nog verder worden geoptimaliseerd. Het doel van deze concept tekeningen is om de aandachtspunten rond K&L inzichtelijk te maken voor de planuitwerkingsfase.

Bijlage 1: Berekening verstoringszones landelijk dijktracé

BEREKENING VERSTORINGSZONE VOOR VLOEISTOFLEIDINGEN

Project:	**Feyenoord, Evides 1420 staal**
Betreft:	**Bepaling verstoringszone conform NEN 3651 paragraaf A.2.2**
d.d.:	**15-10-2019**
Status revisie:	**versie 0.4_09-05-2018**

BASISGEGEVENS

inwendige druk		mwk	35
uitwendige diameter		m	0,200
wanddikte		m	0

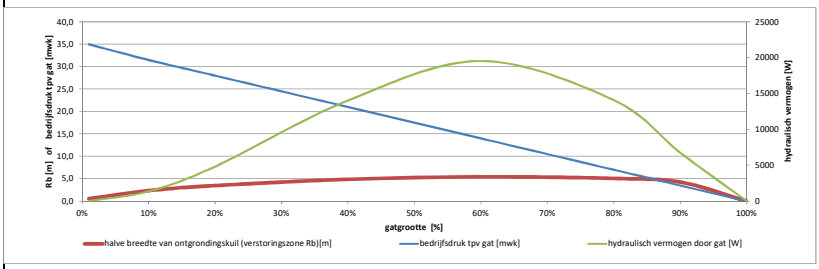
VERSTORINGSZONE (VLOEISTOFLEIDINGEN)

Vereenvoudigde berekeningsmethode, conform NEN3651, bijlage A.2.3

inwendige diameter leiding (Di)		m	0,200	
maximale bedrijfsdruk (pd)		mwk	35	
verstoringszone (R_b)(eenvoudige vuistregel)		m	**11,1**	conform NEN3651, d.d. 2012

Uitgebreide berekeningsmethode, conform NEN3651, bijlage A.2.2

inwendige diameter van leiding	D_i	m	0,2								
ro		kg/m³	1000								
g		m/s²	9,81								
gatgrote (percentage van leidingdiameter)		%	1%	10%	20%	40%	60%	80%	90%	100%	100%
gat grote (d_g)	(tussen 0 en D_i)	m	0,002	0,02	0,04	0,08	0,12	0,16	0,18	0,2	0,2
oppervlak van het door lek of breuk veroorzaakt gat in de leiding (A_{gat})		m^2	3,14E-06	3,14E-04	1,26E-03	5,03E-03	1,13E-02	2,01E-02	2,54E-02	3,14E-02	3,14E-02
bedrijfsdruk ter plaatse van het gat (h)	(druk aflopend tot diameter leiding)	mwk	35	31,5	28	21	14	7	3,5	0	35
debiet door het gat (q_g)(formule Torricelli)		m^3/s	0,00	0,00	0,02	0,07	0,14	0,20	0,20	0,00	0,45
stroomsnelheid uit het gat		m/s	14,28	14,13	13,99	13,56	12,58	10,19	7,73	0,00	14,28
hydraulisch vermogen uitstroming (P)		W	15	1372	4828	14045	19544	14074	6751	0	154048
afvoercoëfficiënt bij het gat (micro)	(0,6 voor klein gat bij hoge druk, 1 voor groot gat bij lage druk)	-	0,55	0,57	0,60	0,67	0,76	0,87	0,93	1,00	0,55
verstoringszone straal R_b		m	0,6	2,3	3,5	4,9	5,4	5,1	4,2	0,0	10,5



situatie plotseling optreden volledige breuk en maximale druk	accuut optreden volledige breuk		
bedrijfsdruk ter plaatse van het gat (h)		mwk	35
debiet door het gat (Q)		m³/uur	0,45
verstoringszone straal R_b			**10,5**

eindconclusie			
kan de leiding plotseling volledig breken	(materiaal en systeem afhankelijk)	-	ja
resulterende verstoringszone (Rb)(uitgebreide berekening)		m	**10,5**

aandachtspunten

materiaal afhankelijk treedt er een andere breuk / gat op
> staal zal niet volledig afschuiven
> pvc geeft een lengte scheur bij hoge drukleidingen
> pvc kan ook tpv koppeling afschuiven
> volledige afschuiving mogelijk bij ngy, ggy, pvc, beton
> hoe is de pomp geregeld. Is pomp druk gestuurd of debiet gestuurd
> is er een watertoren aanwezig die druk gelijk houdt
> hoe werkt het leidingsysteem

BEREKENING VERSTORINGSZONE VOOR GASLEIDINGEN

Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together

Project:	-
Betreft:	**Bepaling verstoringszone conform NEN 3651 paragraaf A.1**
d.d.:	**15-10-2019**
Status revisie:	**versie 0.3_02-07-2019**

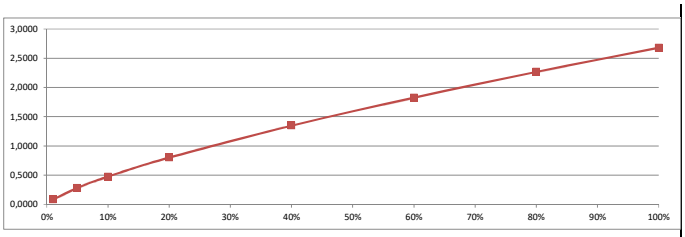
BASISGEGEVENS

inwendige druk van het gas in de leiding (p0)		Pa	4,00E+05	N/mm²	0,4	MPa	0,4	bar	4
uitwendige diameter		m	0,110	mm	110				
wanddikte		m	0	mm	0				
inwendige diameter		m	0,11	mm	110				
dichtheid van aardgas (rho_0)		kg/m³	0,833						
dimensieloze constante voor adiabatische isentropische expansie		-	1,33						
omgevingsdruk (p_omg)		Pa	101300						
vochtgehalte van de grond (w)		%	5						
constante afhankelijk van grondsoort en vochtgehalte (R(w))	zie grafiek A.2	-	0,025	<== waarde aflezen uit grafiek					
g		m/s²	9,81						
gronddekking op leiding (H)		m	1,00						
diepte van de kuil (Dk)	w < 2% ==> Dk =3xD0 + H 2% < w < 5% ==> Dk =40xR(w)xD0 + H w > 5% ==> Dk =1,6xD0 + H	m	1,11						
tijdsduur van de uitstroming (t)		s	7200						

EROSIEZONE (GASLEIDINGEN)

gebaseerd op eenvoudige vuistregel

gatgrote (percentage van leidingdiameter)		%	1%	5%	10%	20%	40%	60%	80%	100%
gat grote (d_g)	(tussen 0 en D_i)	m	0,0011	0,0055	0,011	0,022	0,044	0,066	0,088	0,11
inwendige druk van het gas tpv het gat (p*)		Pa	4,00E+05	4,00E+05	4,00E+05	4,00E+05	4,00E+05	4,00E+05	4,00E+05	4,00E+05
dichtheid van het uitstromende gas tpv het gat (rho*)		kg/m³	8,33E-01	8,33E-01	8,33E-01	8,33E-01	8,33E-01	8,33E-01	8,33E-01	8,33E-01
kritische uitstroomsnelheid van het gas (u*)		m/s	20	20	20	20	20	20	20	20
oppervlakte van de uitstroomopening of scheur, maximaal gelijk aan de doorsnede van de buisleiding (A)		m²	9,50E-07	2,38E-05	9,50E-05	3,80E-04	1,52E-03	3,42E-03	6,08E-03	9,50E-03
gastransport tpv het gat (Q)			1,58E-05	3,96E-04	1,58E-03	6,33E-03	2,53E-02	5,70E-02	1,01E-01	1,58E-01
impulsflux van de straal (I)		N	2,84E-01	7,10E+00	2,84E+01	1,14E+02	4,55E+02	1,02E+03	1,82E+03	2,84E+03
lengte van de ontgronding (G_B)		m	0,0847	0,2832	0,4763	0,8010	1,3472	1,8260	2,2657	2,6784



resulterende verstoringszone door ersosie (G_B)		m	**2,7**

EXPLOSIEZONE (GASLEIDINGEN)

absolute ontwerpdruk (p_d)	MPa	0,4
diepte van de leidingas (=hart leiding) (w)	m	1,1
straal explosiekrater (t)	m	kwetser
straal plastische zone (t_p)	m	
getalwaarde ladinggewicht (L)	kg	0,0
straal plastische zone bij kwetser (t is ongeveer 0) (r)	m	0,4
resulterende verstoringszone door explosie	m	**0,4**

$$t = \sqrt{\left\{2{,}97\left(D_i^{\,3}\,p_d\right)^{2/5} - 0{,}83w^2 + 1{,}40w\left(D_i^{\,3}\,p_d\right)^{1/5}\right\}}$$

VERWEKINGSZONE (GASLEIDINGEN)

absolute ontwerpdruk (p_d)	MPa	0,4
resulterende verwekingszone voor leidingen evenwijdig aan waterstaatswerken (E_l)	m	**1,5**

RESULTERENDE VERSTORINGSZONE (GASLEIDINGEN)

type gasleiding obv NEN3651	-	lage druk gasleiding
resulterende verstoringszone	m	2,7
klein gat in zijkant: (G_L = 0,5 x G_B)	**m**	**1,3**
volledige afschuiving en 2-zijdige uitstroming (G_L = 2 x G_B)	**m**	**5,4**
groot gat in zijkant of eenzijdige uitstroming (G_L = G_B)	**m**	**2,7**
klein gat in zijkant: (G_L = 0,5 x G_B)	**m**	**1,3**

Bijlage 2: Tekeningen

revisie	omschrijving	getekend	gecontroleerd	akkoord	datum

opdrachtgever

project

omschrijving

formaat	schaal	fase	bladnr.	van
AX	1:XXXX			

HaskoningDHV Nederland B.V.
Water

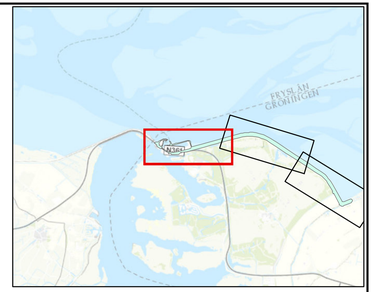
documentstatus

documentversie

projectnummer / tekeningnummer
8W88888.W8 / 0000-00

© Royal HaskoningDHV
Deze tekening mag niet worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt d.m.v. druk,fotokopie,microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Royal HaskoningDHV, noch mag deze zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk waarvoor zij is vervaardigd.

Filename : D:\Box Sync\BG3034 Team DVS Lauwersmeerdijk\BG3034 Technical Data (Lauwersmeer NZV)\12 BIM & GIS\01 WIP\02 C3D\04 Corridors\02 Kansrijke Alternatieven\BG3034-COR-Binnenwaarts-R



Legenda

- Leidingenpaal
- Drinkwaterleiding
- duikers_Havengebied
- overige
- buisleiding gevaarlijke inhoud
- datatransport
- gasleiding hogedruk
- gasleiding lagedruk
- laagspanning
- middenspanning
- waterleiding
- riool vrijverval
- riool onder druk
- grens
- Luchtfoto

0 250 Meters

N

Service Layer Credits: Esri Nederland, Beeldmateriaal.nl
Esri Nederland & Community Maps Contributors

MUG INGENIEURSBUREAU

Zernikelaan 8
9351 VA LEEK

Postbus 136
9350 AC LEEK

0594 55 24 20
info@mug.nl
www.mug.nl

Wijz.	Get.	Gec.	Omschrijving	Datum
0	AHu	AWe	Eerste uitgave	13-2-2018

Project:
Dijkverbetering Lauwersmeerdijk-Vierhuizergat

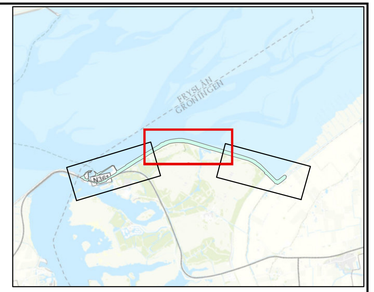
Projectnummer: 51220517
Bijlage: -
Schaal: 1:5000
Formaat: A3

Opdrachtgever:
Waterschap Noorderzijlvest

DEFINITIEF

Onderdeel:
KLIC 1 van 3

PRAKTISCHE DENKERS



Legenda

- Drinkwaterleiding
- overige
- datatransport
- gasleiding hogedruk
- gasleiding lagedruk
- laagspanning
- middenspanning
- waterleiding
- riool vrijverval
- grens
- Luchtfoto

0 250 Meters

N

Service Layer Credits: Esri Nederland, Beeldmateriaal.nl
Esri Nederland & Community Maps Contributors

0	AHu	AWe	Eerste uitgave	13-2-2018
Wijz.	Gert.	Gec.	Omschrijving	Datum

MUG INGENIEURSBUREAU
Zernikelaan 8
9351 VA LEEK
Postbus 136
9350 AC LEEK
0594 55 24 20
info@mug.nl
www.mug.nl

Project:
Dijkverbetering Lauwersmeerdijk-Vierhuizergat

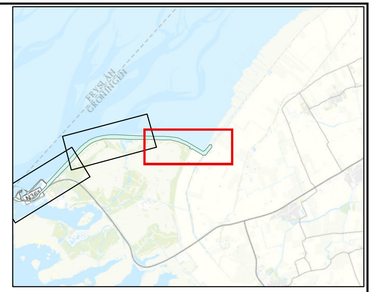
Projectnummer: 51220517
Bijlage: -
Schaal: 1:5000
Formaat: A3

Opdrachtgever:
Waterschap Noorderzijlvest

DEFINITIEF

Onderdeel:
KLIC 2 van 3

PRAKTISCHE DENKERS



Legenda

- Afsluiter eigen waterleiding
- Leidingenpaal
- Drinkwaterleiding
- overige
- datatransport
- gasleiding hogedruk
- gasleiding lagedruk
- laagspanning
- waterleiding
- grens
- Luchtfoto

0 250 Meters

N

Service Layer Credits: Esri Nederland, Beeldmateriaal.nl
Esri Nederland & Community Maps Contributors

MUG INGENIEURSBUREAU

Zernikelaan 8
9351 VA LEEK

Postbus 136
9350 AC LEEK

0594 55 24 20
info@mug.nl
www.mug.nl

0	AHu	AWe	Eerste uitgave	13-2-2018
Wijz.	Get.	Gec.	Omschrijving	Datum

Project:
Dijkverbetering Lauwersmeerdijk-Vierhuizergat

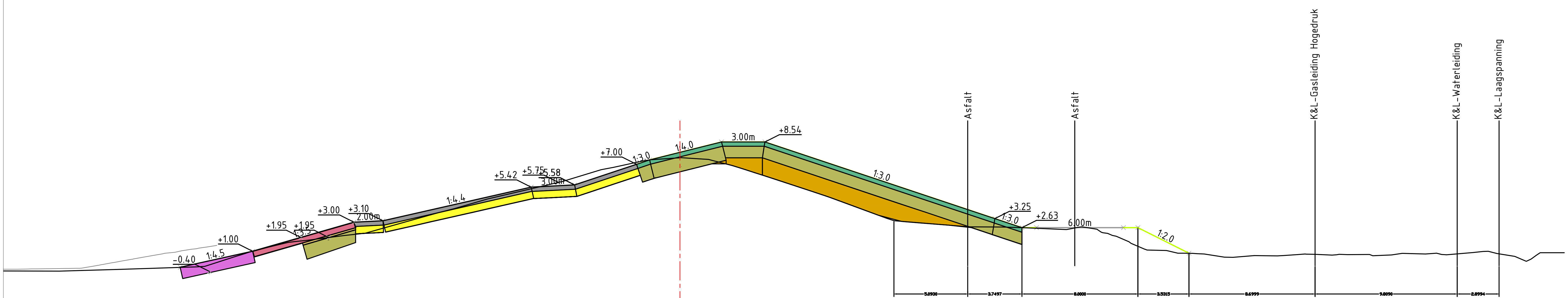
Projectnummer: 51220517
Bijlage: -
Schaal: 1:5000
Formaat: A3

Opdrachtgever:
Waterschap Noorderzijlvest

DEFINITIEF

Onderdeel:
KLIC 3 van 3

PRAKTISCHE DENKERS

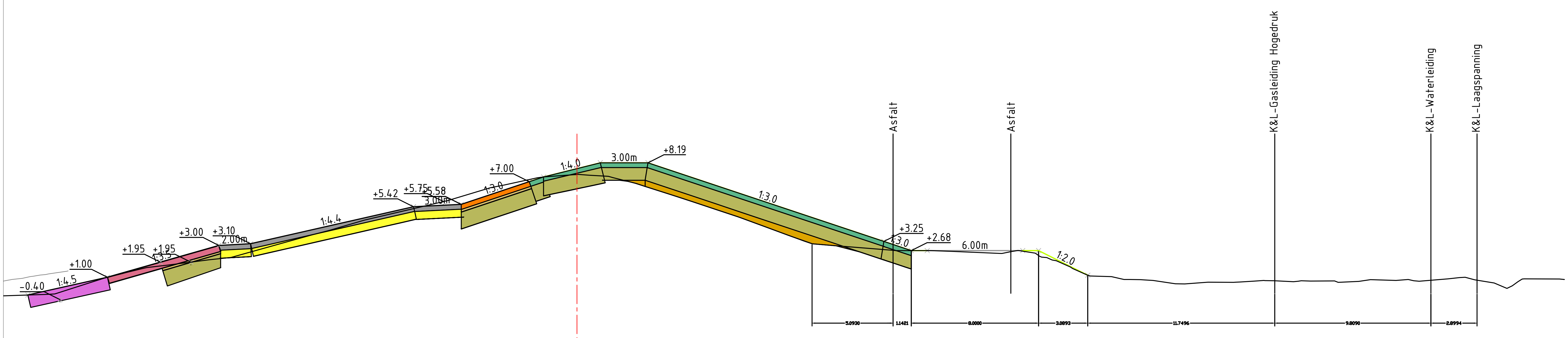


-0.38	-0.25	-0.04	0.94	1.30	1.61	1.74	2.10	2.25	3.67	3.94	4.60
-42.85	-38.71	-32.81	-29.73	-28.33	-27.04	-25.84	-23.13	-21.73	-16.66	-15.57	-13.31
-0.38	-0.25	-0.04	0.94	1.30	1.61	1.74	2.10	2.25	3.67	3.94	4.60
-42.85	-38.71	-32.81	-29.73	-28.33	-27.04	-25.84	-23.13	-21.73	-16.66	-15.57	-13.31

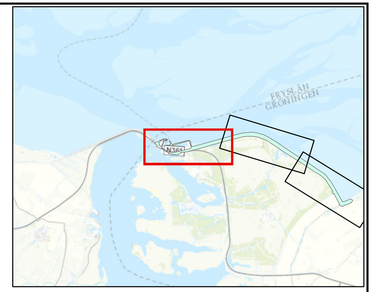
5.81	6.79	7.31	7.45	7.34	6.91	5.99	4.81	3.28	2.70	2.67	2.63
-8.16	-4.59	-2.02	0.00	1.97	3.63	6.51	10.09	14.27	19.71	22.23	23.59
5.81	6.79	7.31	7.45	7.34	6.91	5.99	4.81	3.28	2.70	2.67	2.63
-8.16	-4.59	-2.02	0.00	1.97	3.63	6.51	10.09	14.27	19.71	22.23	23.59

2.49	2.68	2.52	2.09	1.65	1.14	1.04	0.86	0.81	0.59	0.70	0.68
26.63	27.71	28.79	29.85	30.99	32.06	33.58	34.74	36.19	37.60	39.65	41.26
2.49	2.68	2.52	2.09	1.65	1.14	1.04	0.86	0.81	0.59	0.70	0.68
26.63	27.71	28.79	29.85	30.99	32.06	33.58	34.74	36.19	37.60	39.65	41.26

0.76	0.79	0.73	0.76	0.77	0.74	0.81	0.78	0.91	1.00	0.64	0.46	0.90
42.60	43.83	45.02	46.09	47.60	49.12	51.46	52.58	54.73	55.81	57.63	58.76	61.05
0.76	0.79	0.73	0.76	0.77	0.74	0.81	0.78	0.91	1.00	0.64	0.46	0.90
42.60	43.83	45.02	46.09	47.60	49.12	51.46	52.58	54.73	55.81	57.63	58.76	61.05



-0.04	0.94	1.30	1.61	1.74	2.10	2.25	3.67	3.94	4.60	5.81	6.79	7.31	7.45	7.34	6.91	5.99	4.81	3.28	2.70	2.67	2.63	2.49	2.68	2.52	2.09	1.65	1.14	1.04	0.86	0.81	0.59	0.70	0.68	0.76	0.79	0.73	0.76	0.77	0.74	0.81	0.78	0.91	1.00	0.64	0.46	0.82 0.86
-32.81	-29.73	-28.33	-27.04	-25.84	-23.13	-21.73	-16.66	-15.57	-13.31	-8.16	-4.59	-2.02	0.00	1.97	3.63	6.51	10.09	14.27	19.71	22.23	23.59	26.63	27.71	28.79	29.85	30.99	32.06	33.58	34.74	36.19	37.60	39.65	41.26	42.60	43.83	45.02	46.09	47.60	49.12	51.46	52.58	54.73	55.81	57.63	58.76	61.73 62.04
-0.04	0.94	1.30	1.61	1.74	2.10	2.25	3.67	3.94	4.60	5.81	6.79	7.31	7.45	7.34	6.91	5.99	4.81	3.28	2.70	2.67	2.63	2.49	2.68	2.52	2.09	1.65	1.14	1.04	0.86	0.81	0.59	0.70	0.68	0.76	0.79	0.73	0.76	0.77	0.74	0.81	0.78	0.91	1.00	0.64	0.46	0.82 0.86
-32.81	-29.73	-28.33	-27.04	-25.84	-23.13	-21.73	-16.66	-15.57	-13.31	-8.16	-4.59	-2.02	0.00	1.97	3.63	6.51	10.09	14.27	19.71	22.23	23.59	26.63	27.71	28.79	29.85	30.99	32.06	33.58	34.74	36.19	37.60	39.65	41.26	42.60	43.83	45.02	46.09	47.60	49.12	51.46	52.58	54.73	55.81	57.63	58.76	61.73 62.04



Legenda

- Leidingenpaal
- Drinkwaterleiding
- duikers_Havengebied
- overige
- buisleiding gevaarlijke inhoud
- datatransport
- gasleiding hogedruk
- gasleiding lagedruk
- laagspanning
- middenspanning
- waterleiding
- riool vrijverval
- riool onder druk
- grens
- Luchtfoto

0 250 Meters

N

Service Layer Credits: Esri Nederland, Beeldmateriaal.nl
Esri Nederland & Community Maps Contributors

MUG INGENIEURSBUREAU

Zernikelaan 8
9351 VA LEEK

Postbus 136
9350 AC LEEK

0594 55 24 20
info@mug.nl
www.mug.nl

Wijz.	Get.	Gec.	Omschrijving	Datum
0	AHu	AWe	Eerste uitgave	13-2-2018

Project:
Dijkverbetering Lauwersmeerdijk-Vierhuizergat

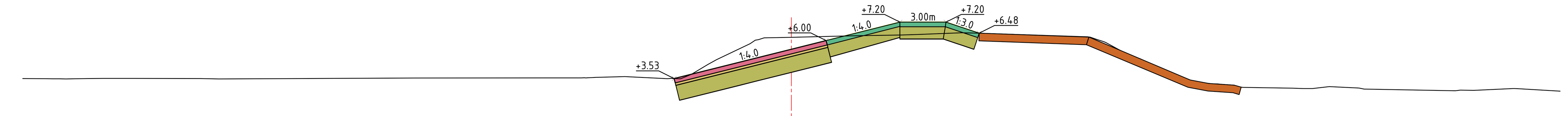
Projectnummer: 51220517
Bijlage: -
Schaal: 1:5000
Formaat: A3

Opdrachtgever:
Waterschap Noorderzijlvest

DEFINITIEF

Onderdeel:
KLIC 1 van 3

PRAKTISCHE DENKERS



Dwarsprofiel DP-90.4
Schaal 1:200

Hoogte nieuwe situatie	3.51 3.96 5.42 6.00 7.20 7.20 6.60 6.43
Afstand nieuwe situatie	-7.63 -5.82 0.00 2.33 7.13 10.13 11.92 12.95
Hoogte bestaande situatie	3.53 3.52 3.50 3.53 3.54 3.53 3.53 3.50 3.51 3.55 3.56 3.57 3.60 3.65 3.53 3.86 4.76 5.54 6.17 6.22 6.30 6.36 6.40 6.51 6.48 6.26 5.93 5.09 4.49 4.01 3.44 3.18 3.10 2.90 2.88 3.00 2.91 2.73 2.76 2.88 2.71
Afstand bestaande situatie	-50.00 -48.49 -47.20 -45.77 -44.75 -42.73 -38.44 -37.27 -35.40 -28.30 -24.50 -16.05 -12.71 -10.83 -7.81 -6.41 -4.87 -3.22 -1.78 0.00 3.74 7.19 8.25 11.08 12.14 19.00 20.31 21.91 23.35 24.55 25.94 27.45 28.81 32.58 33.89 34.99 36.92 43.19 44.37 46.92 50.00

revisie	omschrijving	getekend	gecontroleerd	akkoord	datum

opdrachtgever

project

omschrijving

© Royal HaskoningDHV
Deze tekening mag niet worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt d.m.v. druk,fotokopie,microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Royal HaskoningDHV, noch mag deze zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk waarvoor zij is vervaardigd.

Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together
HaskoningDHV Nederland B.V.
Water

formaat	schaal	fase	bladnr.	van
AX	1:XXXX			

documentstatus | documentversie

projectnummer / tekeningnummer
8W88888.W8 / 0000-00

Filename : D:\Box Sync\BG3034 Team DVS Lauwersmeerdijk\BG3034 Technical Data (Lauwersmeer NZV)\12 BIM & GIS\01 WIP\02 C3D\04 Corridors\BG3034-COR-Kansrijke-Alternatieven.dwg

Notitie / Memo

HaskoningDHV Nederland B.V.
Maritime & Aviation

Aan:	Sander Post
Van:	Clara Spoorenberg
Datum:	Friday, 01 November 2019
Kopie:	Harm Snoeren, Gerbert Pleijter
Ons kenmerk:	BG3034-RHD-ZZ-XX-NT-Z-0003
Classificatie:	Projectgerelateerd

Onderwerp: **Waterkering Vierhuizergat - Nadere beschouwing invloedszone NWOkl**

Inleiding

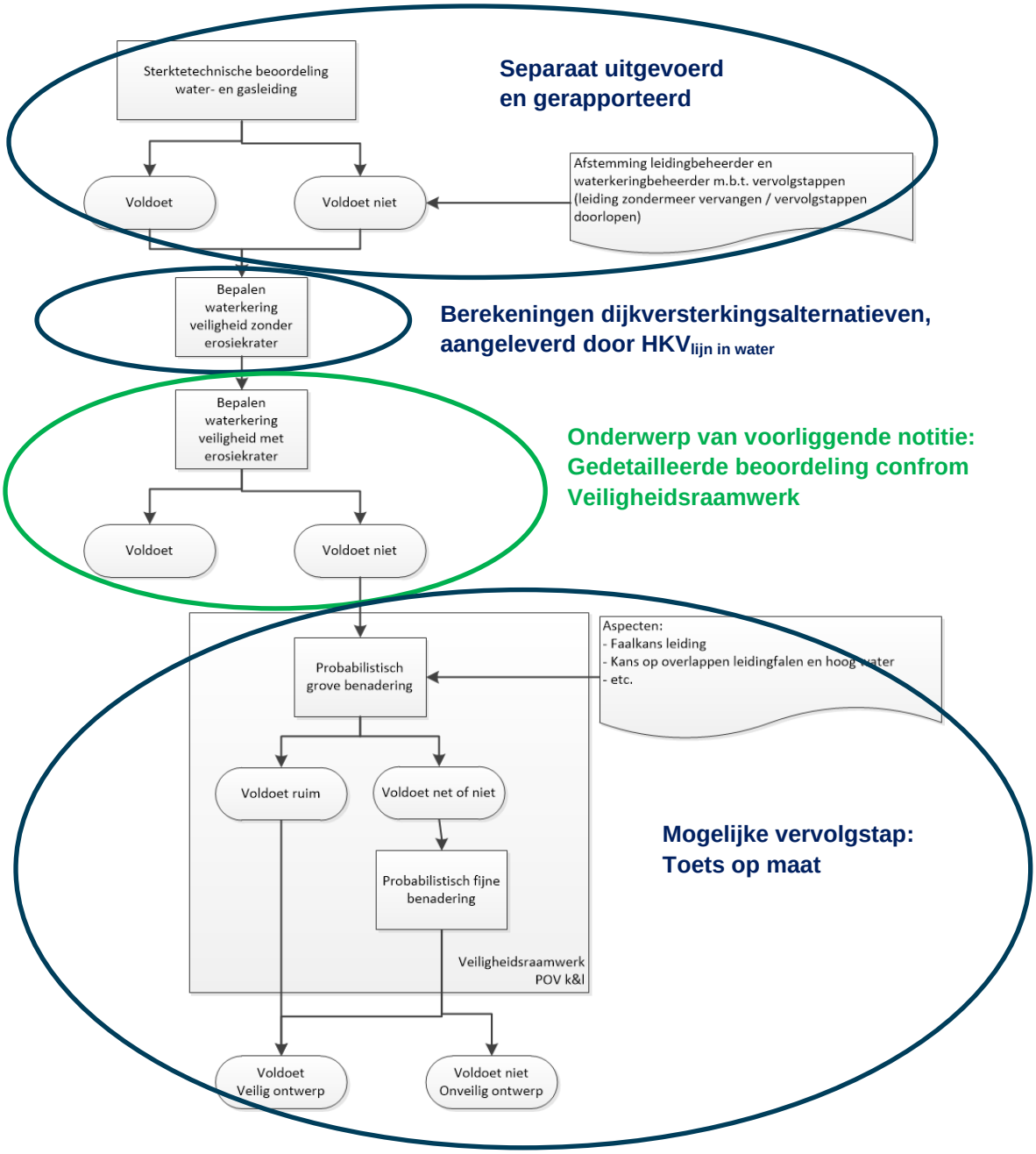
In de notitie “Beoordeling k&l, dijkversterking Lauwersmeerdijk – Vierhuizergat” (RHDHV, 31-10-2019) is de eenvoudige beoordeling opgenomen van de kabels en leidingen in het landelijk dijktraject van waterkering Vierhuizergat.
Uit de analyses blijkt dat ten gevolge van de dijkversterking van het buitentalud (binnenwaarste asverschuiving), de verstoringszone van de leidingen (gasleiding en waterleiding) binnen de veiligheidszone (eenvoudige rekenregel: 4*ΔH) valt. Op basis hiervan is geconcludeerd om een nadere beschouwing conform het “WBI Veiligheidsraamwerk Kabels en Leidingen” (Deltares, 2018) uit te voeren.
In voorliggende notitie zijn de resultaten van de gedetailleerde beoordeling conform het Veiligheidsraamwerk opgenomen. Het betreft de nadere onderbouwing van het schadecriterium: het effect van leidingfalen is hiertoe in de schematisering van het directe faalmechanisme verwerkt (erosiekrater als gevolg van gapend lek).
Het doel van deze notitie is om na te gaan of de invloed op de veiligheid of faalkans al dan niet significant is.
De sterktetechnische beoordeling van de leidingen is elders gerapporteerd. In Figuur 1 is de scope van voorliggende notitie aangegeven.

Daarnaast is in voorliggende notitie een quick scan op de kabels en leidingen in het haventraject opgenomen.

Aanpak gedetailleerde beoordeling conform Veiligheidsraamwerk

Aan de hand van de ontwerpberekeningen voor het buitentalud (aangeleverd door HKV) is de veiligheidsfactor zonder erosiekrater bepaald. Om de veiligheid met erosiekrater (schadecrieterium) te bepalen, zijn de volgende stappen doorlopen:

1. Beide erosiekraters: In eerste instantie zijn beide erosiekraters tegelijkertijd geschematiseerd conform figuur 3.2 uit de notitie “Beoordeling k&l, dijkversterking Lauwersmeerdijk – Vierhuizergat” (RHDHV, 31-10-2019). Wanneer in deze schematisering nog steeds voldaan wordt aan de minimaal vereiste stabiliteitsfactor, is het oordeel “voldoet” toegekend. Indien niet aan de minimaal vereiste stabiliteit voldaan wordt, is stap 2 uitgevoerd;
2. Erosiekrater gasleiding en waterleiding separaat: Vervolgens zijn beide erosiekraters onafhankelijk van elkaar geschematiseerd conform figuur 3.2 uit de notitie “Beoordeling k&l, dijkversterking Lauwersmeerdijk – Vierhuizergat” (RHDHV, 31-10-2019). Wanneer in deze schematisering voor beide leidingen wel voldaan wordt aan de minimaal vereiste stabiliteitsfactor, is het oordeel “voldoet” toegekend. Indien niet aan de minimaal vereiste stabiliteit voldaan wordt, is de vervolgstap Toets op maat benodigd. Deze stap maakt geen onderdeel uit van voorliggende notitie.



Figuur 1: Aanpak beoordeling leidingen conform Veiligheidsraamwerk

De beoordeling is uitgevoerd op de directe faalmechanismen: Piping en macrostabiliteit binnenwaarts. Voor macrostabiliteit binnenwaarts geldt de minimaal vereiste stabiliteitfactor van S.F. ≥ 1,18, deze is als volgt opgebouwd:
Schadefactor γ_n = 1,08
Modelfactor (model Uplift-Van) γ_m = 1,06
Schematiseringsfactor γ_d = 1,0

Met betrekking tot de schematiseringsfactor wordt opgemerkt dat hiervoor in de UGP notitie is uitgegaan van γ_d = 1,1. In het kader van voorliggende beschouwing is deze waarde verlaagd op basis van de volgende overwegingen:

- In het vervolgtraject is aanvullende informatie met betrekking tot de hydrologische uitgangspunten beschikbaar gekomen. De onzekerheid in de uitgevoerde extrapolaties naar maatgevende condities zijn opgenomen in het basisscenario. Derhalve is de kans dat de hydrologische uitgangspunten ongunstiger zijn dan in de basisschematisering zeer gering;
- Voor de bodemopbouw is niet uitgegaan van een basisscenario, hiervoor zijn de scenario's uit het (op basis van locale informatie aangevulde) SOS gehanteerd. Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat ook de onzekerheden in de schematisering van de grondlagen zeer gering zijn;
- Er zijn relatief veel doorsneden doorgerekend, waaruit blijkt dat de variaties in geometrie in dit dijktraject gering zijn. Derhalve zullen ook de onzekerheden in de geometrie beperkt zijn.

Voor piping is de beoordeling van de invloed van de erosiekraters uitgevoerd op basis van de notitie "STBU_STPH_LMD – Groningen" ($HKV_{lijn\ in\ water}$, 1 mei 2019).

Resultaten schadecriterium landelijk dijktraject Vierhuizergat – macrostabiliteit binnenwaarts

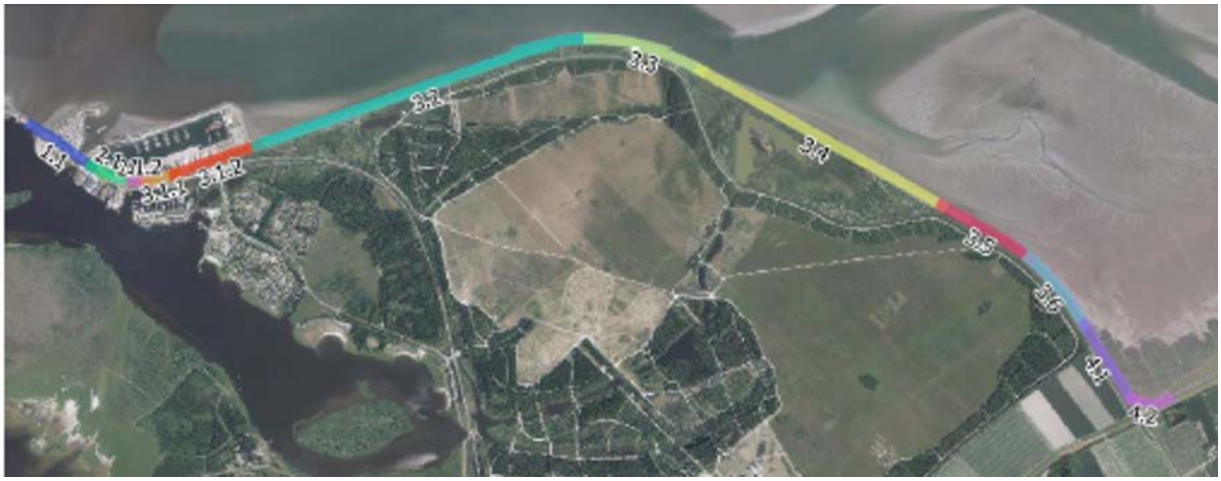
De resultaten van de berekeningen met betrekking tot macrostabiliteit binnenwaarts zijn opgenomen in onderstaande tabel.

Tabel 1: Resultaten berekeningen invloed erosiekrater macrostabiliteit binnenwaarts (eis: $S.F._{signaalwaarde} \geq 1{,}18$)

Berekening [1)]	S.F. ontwerp	S.F. beide kraters [2)]	S.F. gasleiding	S.F. waterleiding	Oordeel
vak3.2_scenario_6025_1b1	1,43	1,34	n.v.t.	n.v.t.	Voldoet
vak3.2_scenario_6025_1b2	1,48	1,48	n.v.t.	n.v.t.	Voldoet
vak3.3_scenario_6025_1b2	1,54	1,54	n.v.t.	n.v.t.	Voldoet
vak3.4_scenario_6025_1b1	1,38	1,19	1,21	1,22	Voldoet
vak3.4_scenario_6025_1b2	1,55	1,55	n.v.t.	n.v.t.	Voldoet
vak3.5_scenario_6025_1b2	1,54	1,54	n.v.t.	n.v.t.	Voldoet
vak3.5_scenario_6025_1b4	1,41	1,26	n.v.t.	n.v.t.	Voldoet
vak3.6_scenario_6025_1b4	1,43	1,35	n.v.t.	n.v.t.	Voldoet
vak3.6_scenario_6025_1b5	1,53	1,53	n.v.t.	n.v.t.	Voldoet
vak4.1_scenario_6024_1b1	1,54	1,54	n.v.t.	n.v.t.	Voldoet
vak4.1_scenario_6024_1b2	1,39	1,25	1,32	1,23	Voldoet
vak4.1_scenario_6024_1b3	1,55	1,42	n.v.t.	n.v.t.	Voldoet

[1)] Hierin is de dijkvakindeling conform het faalmechanisme STBI aangehouden, zoals weergegeven in Figuur 2.

[2)] Wanneer de berekende S.F. met gecombineerde krater lager is dan 1,26 (dit is equivalent aan de minimaal vereiste stabiliteitsfactor bij het hanteren van een schematiseringsfactor van 1,1), is voor beide leidingen afzonderlijk de invloed van de krater op de macrostabiliteit binnenwaarts bepaald. Deze berekeningen zijn ter informatie opgenomen.



Figuur 2: Locaties dijkvakken STBI

Resultaten schadecriterium landelijk dijktraject Vierhuizergat – piping

De resultaten van de beoordeling op piping zijn onderstaand opgenomen. Hiervoor zijn geen berekeningen uitgevoerd, maar is de volgende redeneerlijn gevolgd:

- Het merendeel van het traject betreft een zand-op-zanddijk. Dit bodemtype is niet pipinggevoelig. Een eventuele erosiekrater heeft dan ook geen effect op dit faalmechanisme. Het oordeel is “voldoet”;
- Indien er een samendrukbare laag onder de dijk aanwezig is, is gecontroleerd op opbarsten. Gezien de (relatief ondiepe) ligging van deze pipinggevoelige (zand)laag, is er van uitgegaan dat opbarsten altijd optreedt. Het opbarstpunt is hierbij altijd aan de teen van de dijk gelegen, terwijl een eventuele erosiekrater op enkele meters van de teen ligt. Dit opbarstpunt is derhalve niet maatgevend. Wanneer de kwelweglengte in het ontwerp voldoende is (alle vakken behalve 3.3), is het oordeel “voldoet”;
- Vak 3.3 is gelegen bij de getijdegeul Vierhuizergat. Op dit traject is nagenoeg geen voorland aanwezig. Dit vak is in de aanvullende beoordeling in notitie “STBU_STPH_LMD – Groningen” ($HKV_{\text{lijn in water}}$, 1 mei 2019) goedgekeurd op piping voor zichtjaar 2023 (veiligheidsbeoordeling). Voor het ontwerpzichtjaar 2075 is het oordeel vooralsnog onvoldoende. In deze nadere beoordeling is het opbarstpunt in de kwelsloot aangenomen. Een eventuele erosiekrater ligt dichter bij de teen van de dijk en heeft derhalve een negatieve invloed op het mechanisme piping. Onderstaand wordt verder ingegaan op een nadere beschouwing van dit vak 3.3 en de invloed van een erosiekrater op het mechanisme piping.

In de aanvullende beoordeling voldoet dit dijkvak juist aan de criteria voor het faalmechanisme piping. Bij ongunstiger uitgangspunten, zoals het verkorten van de kwelweglengte door een erosiekrater, voldoet het vak niet meer.

Er zijn echter verschillende argumenten om een nadere beschouwing op de kans op piping uit te voeren, gegeven de kans op een erosiekrater door leidingfalen:

- Het betreffende traject dat mogelijk pipinggevoelig is, is slechts 300 m lang. Het totale dijktraject waarin leidingen in het achterland liggen, heeft een lengte van 7 km. De kans dat juist in dit traject een erosiekrater zal optreden is zeer gering;
- Het samenvallen van leidingfalen met hoogwatercondities waarbij het risico op piping bestaat, is eveneens klein;
- In de beoordeling van vak 3.3 is er vanuit gegaan dat de bodemopbouw pipinggevoelig is. Hierbij is verondersteld dat de dunne kleilenzen aaneengesloten en over een bepaalde lengte van het dijktraject, van buiten- naar binnendijks voorkomen en daarmee een cohesieve laag vormen

waaronder zich een pipe kan ontwikkelen. Wadzanden worden in het algemeen niet als bijzonder pipinggevoelig beschouwd. Het verschil in lithologie tussen de cohesieve en de zandlagen is vaak beperkt of de overgang tussen deze lagen is geleidelijk, waardoor geen sprake is van een eenduidige cohesieve laag waaronder een pipe kan ontwikkelen. De kans dat de bodemopbouw in het geheel niet pipinggevoelig is, is daarom ook kleiner dan 1.

Wanneer de kans op het optreden van een erosiekrater in dit traject, gelijktijdig met maatgevende hoogwatercondities, op 1% wordt ingeschat, wordt voor 2023 nog voldaan aan de signaalwaarde wanneer de kans op een pipinggevoelige bodemopbouw 85% bedraagt.
Op basis van deze overweging en de inschatting dat de kans op een pipinggevoelige bodemopbouw ten hoogste 50% bedraagt, wordt voor dit vak voldaan aan het faalmechanisme piping voor de beoordeling van de aanwezige gas- en waterleiding (NWOkl). De numerieke onderbouwing is onderstaand opgenomen.
Naar analogie met de notitie “STBU_STPH_LMD – Groningen” ($HKV_{lijn\ in\ water}$, 1 mei 2019) is het vak voor 2075 vooralsnog afgekeurd op dit mechanisme. Voor mogelijke optimalisatiemogelijkheden wordt verwezen naar de aanbevelingen in de betreffende notitie.

	Beschrijving dijksectie		Aanscherping - 2023 - signaalwaarde - zonder krater	Aanscherping - 2050 - signaalwaarde - met krater
Algemeen	Waterstand bij norm [m NAP]		5,03	5,03
	Norm [Terugkeertijd]		3000	3000
	Trajectlengte [km]		13,40	13,40
	Faalkansruimtefactor [-]		0,24	0,24
	a [-]		0,40	0,40
	b [-]		300	300
	N [-]		19	19
	$P_{eis,dsn}$ [kans per jaar]		1/235833	1/235833
Piping gegevens	Aanwezige kwelweglengte [m]	KW	109,62	85,00
	Kwelslootpeil [m NAP]	KW	-1,60	-1,60
	Korreldiameter [m]	KW	1,31E-04	1,31E-04
	Dikte deklaag [m]	KW	1,82	1,82
	Dikte zandlaag [m]	KW	6,86	6,86
	Doorlatendheid zandlaag [m/s]	KW	1,75E-04	1,75E-04
	Doorlatendheid zandlaag [m/dag]		15	15
Berekening Piping	Aanwezig verval Δh [m]		6,08	6,08
	Fres - Sellmeijer [-]		0,31	0,31
	Fscale - Sellmeijer [-]		0,13	0,14
	Fgeo - Sellmeijer [-]		1,77	1,67
	Kritiek verval Sellmeijer [-]		7,61	6,04
	Schematiseringsfactor [-]		1	1
	aanwezige veiligheidsfactor [-]		1,25	0,99
	Ingeschatte betrouwbaarheidsindex [-]		4,45	3,83
	Ingeschatte faalkans [kans per jaar]		1/236154	1/15626
Berekening Opbarsten	Volumegewicht deklaag verzadigd [kN/m3]	KW	12,11	12,11
	Maaiveldniveau binnendijks [m NAP]	KW	-1,76	-1,76
	kritiek stijghoogte verschil [m]		0,38	0,38
	optredend stijghoogteverschil [m]		6,12	6,12
	Stabiliteitsfactor [-]		0,06	0,06
	Ingeschatte betrouwbaarheidsindex [-]		-2,42	-2,42
	Ingeschatte faalkans [kans per jaar]		1/1	1/1
Berekening Heave	Kritieke heave gradient		0,3	0,3
	Berekende heave gradient		3,36	3,36
	Stabiliteitsfactor heave [-]		0,09	0,09
	Ingeschatte betrouwbaarheidsindex [-]		-0,84	-0,84
	Ingeschatte faalkans [kans per jaar]		1/1	1/1
			2023	2050
Ingeschatte faalkans			***1/236154***	***1/15626***
			236154	15626
	Signaalwaarde		1/235.849 per jaar	1/235.849 per jaar
	Kans aanwezigheid kleilenzen		0,85	0,85
	Kans op samenvallen hoogwater en krater op de maatgevende locatie		0,01	0,04
	Faalkans SPTH		243468 per jaar	177581 per jaar

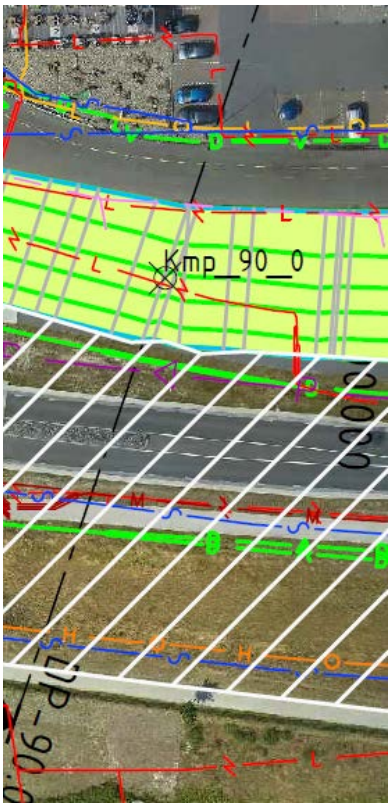
Figuur 3: beoordeling piping NWOkl vak3.3 (aangeleverd door $HKV_{lijn\ in\ water}$)

Quick scan kabels en leidingen havenplateau Lauwersoog – geotechnische beschouwing

In het traject havenplateau Lauwersoog liggen talloze kabels en leidingen (KLIC tekening met kenmerk B2.5_haven K&L overzicht), varierend van LS en MS kabels, data kabels, lage en hoge druk gasleidingen, waterleidingen, rioolpersleidingen, en mantelbuizen etc. Deze kabels en leidingen liggen zowel kruisend als parallel aan als in de dijk.

In de notitie “Beoordeling k&l, dijkversterking Lauwersmeerdijk – Vierhuizergat” (RHDHV, 31 oktober 2019) is een inventarisatie van kabels en leidingen binnen de invloedszone van de waterkering opgenomen. In het oordeel in deze notitie is het volgende advies opgenomen: “*Overwogen kan worden om voor een kenmerkende dwarsdoorsnede nog een beschouwing uit te voeren in hoeverre de disfunctiekans wordt beinvloed door de aanwezigheid van een specifieke leiding.”*
Onderstaand is een geotechnische beschouwing opgenomen met betrekking op de invloed van de kabels en leidingen op de waterkeringveiligheid.

Het staat buiten kijf dat kruisende vloeistofleidingen uitsluitend kunnen voldoen aan de eisen met betrekking tot de waterkeringveiligheid, wanneer deze ofwel volledig (inclusief eventuele erosiekrater) buiten het beoordelingsprofiel vallen ofwel voorzien zijn van een vervangende waterkering. Kruisende leidingen (zoals de waterleiding of de NAM leiding) zijn derhalve in dit kader niet beschouwd.
De geotechnische beoordeling betreft een profiel met parallelle leidingen zoals DP90.0 (uitsnede rechts).
In de kruin bevinden zich een rioolpersleiding en een waterleiding. In de binnenteen en in het voorland bevinden zich eveneens waterleidingen.
Omdat zich hier zowel binnen- als buitendijks een haven bevindt, voldoet dit traject maar juist aan de eisen voor macrostabiliteit. Dit betekent dat een eventuele erosiekrater er toe leidt dat het oordeel op deze faalmechanismen onvoldoende wordt. En aangezien er sprake is van meerdere leidingen, is het onwaarschijnlijk dat op basis van een Toets op Maat (met inschatting optredenscriterium versus schadecriterium) wel tot een voldoende oordeel gekomen wordt.
Het aanbrengen van een volledig vervangende waterkering op dit traject, zoals voorgesteld in de notitie “Beoordeling k&l, dijkversterking Lauwersmeerdijk – Vierhuizergat” wordt daarom ook vanuit geotechnisch oogpunt als meest kansrijk gezien.
Wel wordt geadviseerd om een expertsessie te organiseren om alle mogelijkheden nogmaals de revue te laten passeren en een eenduidige afweging voor dit traject te onderbouwen.



BIJLAGE 8

Vergunningenscan alternatieven

Royal HaskoningDHV

Notitie / Memo

HaskoningDHV Nederland B.V.
Water

Aan: Waterschap Noorderzijlvest
Van: Martijn van Houten
Datum: Wednesday, 06 November 2019
Kopie:

Classificatie: Projectgerelateerd

Onderwerp: **Vergunningenscan DVS Lauwersmeerdijk-Vierhuizergat obv Kansrijke Alternatieven**

1.1 Vergunningenscan

Op basis van de kansrijke alternatieven is bepaald welk wettelijk kader mogelijk van toepassing is op het project. In tabel 1 staat weergegeven welk wettelijk kader van toepassing is op het project en welke (hoofd)vergunningprocedures mogelijk worden doorlopen. Deze tabel (uitgebreidere versie) is ook toegevoegd bijlage 1. In de bijlage is per kansrijk alternatief aangegeven of een (hoofd)procedure/vergunning van toepassing is bij het ontwerp of niet op basis van de huidige kennis. Daarnaast is aangegeven welke uitvoeringsvergunningen en meldingen te verwachten zijn.

Voorliggende vergunningscan richt zich vooral op het onderscheid van Kansrijke Alternatieven. Bij het opstellen van het VKA zal de vergunningscan nader worden geactualiseerd. De uitvoeringsvergunningen zijn vooral afhankelijk van de wijze van uitvoering. Aanscherping en aanvulling van de benodigde uitvoeringsvergunningen zal in de planuitwerkingsfase plaatsvinden.

Kansrijke alternatieven
De volgende kansrijke alternatieven zijn hierbij beschouwd. De mogelijke (ecologische) koppelprojecten zijn niet meegenomen in deze vergunningscan.

De uitgewerkte alternatieven voor traject Haven zijn;
- H 1 - Smalle kruinverhoging: Oplossen van het hoogtetekort zoveel mogelijk in grond (binnen beschikbare ruimte tussen huidig Haventerrein en huidige provinciale weg), in combinatie met het versterken van de buitendijkse bekleding
- H 2 - Inkassing in talud met verticale wand: Oplossen van het hoogtetekort met een verticale wand in profiel in combinatie met het versterken van de buitendijkse bekleding

De uitgewerkte alternatieven voor traject Landelijke dijk zijn;
- L 1 - Uitbreiding binnenwaarts met glad boventalud
- L 2 - Uitbreiding binnenwaarts met verruwing van het boventalud
- L 3 - Uitbreiding buitenwaarts met glad boventalud
- L 4 - Uitbreiding buitenwaarts met verruwing van het boventalud

In algemene zin zijn de kansrijke alternatieven op dit moment weinig onderscheidend ten aanzien van de benodigde vergunningen, met uitzondering van de Wet Natuurbescherming. Daarbij speelt dat ook de uitvoeringswijze mede bepalend is voor de noodzaak van het aanvragen van een vergunning.

Soort vergunning/besluit/ontheffing	Omschrijving vergunningsplichtige activiteit	Wettelijk kader	Bevoegd gezag
Projectplan Waterwet	aanleg of wijziging van een waterstaatwerk	art. 5.4 van de Waterwet	Waterschap NZV
Projectbesluit	Werken in beschermingszone van waterkering zeedijk (sloop en bouwwerkzaamheden)	omgevingswet (per 2021)	Waterschap NZV
M.E.R. (beoordeling)	Een dijkversterking is volgens categorie D3.2 van het Besluit m.e.r. een m.e.r.-beoordelings-plichtige activiteit.	wet milieubeheer/Besluit M.E.R.	Provincie Groningen
Bestemmingsplan wijziging	afwijken van het bestemmingsplan	Wet ruimtelijke ordening (Wro) / Wet algemene bepalingen omgevingsrecht (Wabo)	Gemeente Hogeland
onteigeningsprocedure	verkrijgen van gronden	Titel II van de Onteigeningswet	Ministerie van IW
gedoogplichtprocedure	toestaan van werkzaamheden aan de waterkering	Waterwet	NZV
Omgevingsvergunning	Aanleg werkzaamheden	art. 2.2. 1e onder j. Wet algemene bepalingen Omgevingswet	Gemeente Hogeland
Vergunning Wet natuurbescherming - Beschermde Gebieden	verstoren/negatief beïnvloeden van beschermde (Natura2000) gebieden	Artikel 1.3 lid 2 van de Wet Natuurbescherming	Provincie Groningen / Ministerie LNV
Ontheffing Wet Natuurbescherming - beschermde soorten	verstoren van beschermde dier- en plantsoorten	Artikel 1.3 lid 2 van de Wet Natuurbescherming	Provincie Groningen / Ministerie LNV
PAS-melding	Er komt een stikstofgevoelig habitat voor (N2000 gebieden)	art. 1.3 Besluit Natuurbescherming	Provincie Groningen
Ontgrondingenvergunning	Ontgronden	Art. 6,1a van Omgevingsverordening provincie Groningen 2016	Provincie Groningen

1.2 Procedures en vergunningen

Projectplanprocedure Waterwet (gecoördineerde procedure)

De Waterwet (WtW) verplicht de waterbeheerder om voor de aanleg of wijziging van een waterstaatswerk een projectplan vast te stellen. Voor aanleg, verlegging en versterking van primaire waterkeringen (en in de gevallen bij of krachtens provinciale verordening bepaald) is de projectprocedure van toepassing. Voor de voorbereiding van het projectplan en de besluiten die voor de uitvoering van het projectplan nodig zijn, met uitzondering van onteigeningsbesluiten en besluiten over nadeelcompensatie,

voorziet de WtW in een specifieke coördinatieprocedure. De coördinatieprocedure leidt ertoe dat alle besluiten binnen hetzelfde tijdsbestek worden genomen.

Het projectplan Waterwet is voor alle kansrijke alternatieven noodzakelijk en in geval van omgevingswet (zie onder) het Projectbesluit.

Projectbesluit Omgevingswet
Vanaf 2021 wordt de nieuwe Omgevingswet van kracht. Het Projectplan Waterwet voor de versterking van primaire keringen wordt dan vervangen door het Projectbesluit in het kader van de Omgevingswet. De procedure voor het projectplan en het projectbesluit zijn op veel vlakken gelijk. Voor Lauwersmeer-Vierhuizergat kan in principe nog gebruik worden gemaakt van het Projectplan Waterwet, maar er wordt alvast geanticipeerd op de Omgevingswet, met het Porjectplan Waterwet als terugvaloptie. Een belangrijk aspect van de nieuwe wet is dat bij het voorbereiden van projecten, al vroeg in het proces aan de omgeving wordt gevraagd om mogelijke oplossingen aan te dragen. Op dit moment vindt besluitvorming en afstemming met de verschillende overheden plaats op welke wijze Waterschap Noorderzijlvest invulling geeft aan de Omgevingswet.

Het projectbesluit of projectplan Waterwet is voor alle kansrijke alternatieven noodzakelijk

Milieueffectrapportage (m.e.r.)
Op de dijkverbetering is het Besluit m.e.r. van toepassing. Dit besluit biedt de juridische basis voor de milieueffectrapportage (m.e.r.), een wettelijk verplichte onderzoeksprocedure die moet worden uitgevoerd bij de voorbereiding van belangrijke besluiten die van invloed op het milieu kunnen zijn. Een dijkverbetering is altijd m.e.r. beoordeling plichtig, maar niet altijd m.e.r. plichtig (alleen wanneer significante effecten op het milieu ten gevolge van de dijkversterking niet uit te sluiten zijn). Dit betekent dat moet worden bepaald of de dijkversterking belangrijke nadelige milieugevolgen kan hebben. Als dit zo is, moet een m.e.r.-procedure worden doorlopen en een MER worden opgesteld. Waterschap Noorderzijlvest heeft ervoor gekozen om voor de dijkversterking direct de procedure tot het opstellen van een MER te doorlopen.

Daarnaast is het mogelijk dat de dijkversterking en/of de koppelkansen leiden tot significante effecten op het Natura- 2000 gebied de Waddenzee. Als significante effecten op het Natura 2000- gebied niet uit te sluiten zijn, dan is een Passende Beoordeling nodig conform de Wet Natuurbescherming. Indien er sprake is van een bestemmingsplanwijziging, dan dient er ook een plan m.e.r. procedure doorlopen te worden, conform art. 7.2a lid 1 van de Wet Milieubeheer.

De keuze voor het opstellen van een MER is onafhankelijk van de kansrijke alternatieven gemaakt.

Bestemmingsplanprocedure
In de verkenningsfase is geïnventariseerd of de verschillende oplossingen voor de dijkversterking passen binnen de vigerende bestemmingsplannen.

De ‘havendijk’ valt onder het bestemmingsplan ‘Bestemmingsplan Lauwersoog’ en heeft de dubbelbestemming groen/waterstaat-waterkering 1 en is mede bestemd voor de bescherming, ophoging, verbreding en verbetering van het doelmatig en veilig functioneren van de primaire waterkering. Daarnaast is voorzien in een ‘vrijwaringszone’ van 100 m aan weerzijde van de dijk. Dit zijn de gronden, naast de andere voor die gronden aangewezen bestemmingen, tevens aangeduid voor de bescherming, ophoging, verbreding en verbetering van het doelmatig en veilig functioneren van de nabijgelegen primaire waterkering met de daarbij behorende bouwwerken, geen gebouwen zijnde

De landelijke dijk valt onder de beheersverordening ‘Natuurgebieden 2014’. De waterkering en de bijbehorende beschermingszone zijn voorzien van een bestemmingsregeling, dit is aangepast in besluitsubvlakken. De waterkering zelf kent een besluitsubvlak ‘Waterkering’. De zone rondom de dijk (de beschermingszone) kent een besluitsubvlak ‘vrijwaringszone – dijk’. De beheersverordening regelt het bestaande gebruik. Dit betekent dat er geen wijzigingen plaatsvinden die negatieve effecten hebben op de Waddenzee, het waddengebied en de primaire waterkering.

Zolang de kansrijke alternatieven binnen de zone ‘waterkering’ en ‘vrijwaringszone-dijk’ liggen is geen bestemmingsplanprocedure noodzakelijk. Alternatieven L1 en L2 blijven binnen het huidig profiel. Alternatieven L3 en L4 gaan enkele meters het Natura2000 de Waddenzee in, maar blijven ruim binnen de aangemerkte ‘vrijwaringzone-dijk’.

Vergunningen
De belangrijkste vergunning waarbij de kansrijke alternatieven onderscheidend zijn betreft de Wet Natuurbescherming.

Voor alle alternatieven zowel in de Haven als langs de Landelijke Dijk geldt dat de wijze van uitvoeren (bijvoorbeeld de aanleg van een loswal) en mogelijk bijbehorende stikstofuitstoot kan leiden tot negatieve effecten, waarvoor een vergunning aan dient te worden gevraagd. Dit dient nog nader in beeld te worden gebracht in de planuitwerkingsfase rekening houdende met nieuw stikstofbeleid. Ten aanzien van het dijkontwerp geldt dat de alternatieven L3 en L4 enkele meters de Waddenzee in gaan, waarmee de noodzaak voor een Vergunning Wet Natuurbescherming zeer waarschijnlijk is. Dit vereist een afstemming met bevoegd gezag over vergunbaarheid waarbij de in de verkenningsfase uitgevoerde ecologische onderzoeken naar bijv. de kwaliteit van de wadplaten kunnen worden betrokken en overeenstemming met belanghebbende natuurpartijen.

1.3 Vervolgstappen

Alle procedures starten formeel pas in de planuitwerkingsfase, met uitzondering van de m.e.r.-procedure; de Notitie Reikwijdte en detailniveau wordt opgesteld in de verkenningsfase. Op dit moment is het vooral van belang om te beoordelen op welke wijze om wordt gegaan met de Omgevingswet en wie welke verantwoordelijkheden daarin krijgt. Daarnaast wordt bestaande wetgeving vervangen door de omgevingswet, waardoor de uitgevoerde vergunningscan moet worden geactualiseerd naar de meest recente geldende (overgangs)wetgeving op dat moment.

Vanuit het perspectief van de Wet Natuurbescherming is het van belang om op korte termijn af te stemmen met bevoegd gezag over de vergunbaarheid van de alternatieven L3 en L4. Daarbij is het wenselijk en noodzakelijk om dit in samenhang met mogelijke ecologische koppelkansen te beschouwen en in afstemming met belanghebbenden zoals.

BIJLAGE 9

Aanscherping ontwerpopgave en herijking hydraulische randvoorwaarden

Naar aanleiding review Deltares-HWBP

Royal HaskoningDHV

Waterschap Noorderzijlvest

Aanscherping ontwerpopgave Dijkversterking Lauwersmeerdijk – Vierhuizergat

Vaststelling van de hydraulische belastingen en onderbouwing van het kritisch overslagdebiet voor het HWBP project Lauwersmeerdijk – Vierhuizergat naar aanleiding van de review HWBP en Deltares

Definitief V3.0

Auteur(s)
Bert de Wolff
Sander Post
Gerbert Pleijter
Vincent Vuik

Februari 2019

Inhoud

1. Inleiding 4
1.1. Projectachtergrond 4
1.2. Stand van zaken: Verkenningsfase HWBP Lauwersmeerdijk – Vierhuizergat 5
1.3. Review HWBP, Deltares en expertteam 7
1.4. Doel van deze memo en leeswijzer 9
2. Hydraulische belastingen Lauwersmeerdijk - Vierhuizergat 10
2.1. Verhoging HBN bij kmp 83.5 10
2.2. Golfsteilheden 12
2.3. Invloed van morfologische veranderingen op de hydraulische belastingen 19
2.4. Indicatieve impact op de kosten 20
2.5. Conclusies hydraulische belastingen 21
3. Kritische overslagdebiet 22
3.1. Aanleiding 22
3.2. Huidige waterkering en type overgangen 23
3.3. Uitgevoerde gevoeligheidsanalyses kruinhoogte 25
3.4. Interactie met andere faalmechanismen 28
3.5. Indicatieve impact op de ontwerpkosten 29
3.6. Conclusie 30
4. Samenvatting 33
4.1. Hydraulische belastingen 33
4.2. Kritiek overslagdebiet 33
4.3. Voorstel ontwerphoogte landelijke dijk 34
5. Referenties 36
Bijlage A: Nadere beschouwing invloed overslagdebiet op geotechnische faalmechanismen 38
Bijlage B: Nadere onderzoek variaties in het HBN 39
Bijlage C: Review Deltares op de variantennota 40
Bijlage D: Notulen gesprek review op variantennota 41
Bijlage E: Kosteninschatting alternatieven 42
Bijlage F: verslag expertsessie 20 januari 2020 43

1. Inleiding

1.1. Projectachtergrond

Normtraject 6-5 is gelegen langs de Waddenzee en meer specifiek ten noorden van het Lauwersmeer. De dijk werd in 1969 aangelegd om de Lauwerszee af te dammen. Het westelijk deel van de Lauwersmeerdijk valt binnen het beheergebied van Wetterskip Fryslân en loopt tot aan de Cleveringsluizen. Het oostelijk deel valt binnen het beheergebied van waterschap Noorderzijlvest (NZV). Binnen het traject van Noorderzijlvest zijn twee kunstwerken in de Lauwersmeerdijk aanwezig; de Cleveringsluizen en de Robbengatsluis. Direct ten oosten van de Cleveringsluizen ligt de haven van Lauwersoog. De ligging van het traject is weergegeven in Figuur 1.

Figuur 1: Normtraject 6-5 (oranje lijn). Het HWBP Project Lauwersmeerdijk – Vierhuizergat loopt van kmp 91,0 t/m kmp 82,0

Het HWBP-project Lauwersmeerdijk – Vierhuizergat bestaat uit de versterking van dijktraject 6-5 in het beheergebied van Waterschap Noorderzijlvest met een opgave vanuit de 3e toetsronde, waarin de asfaltbekleding (AGK en AWO) is afgekeurd (NZV [2010]). In de WBI-beoordeling (NZV [2018] en HKV [2018]) is tevens aangetoond dat de faalmechanismen zetsteenbekleding (ZST) en grasbekleding (GEKB en GEBU) traject dekkend niet voldoen aan de eisen uit de Waterwet. De kunstwerken voldoen wel aan de eisen uit de Waterwet. Wel wordt aanbevolen de bekledingen bij de Cleveringsluis te vervangen (NZV [2018] en Van Bree [2019]).
Momenteel bevindt het project zich in de verkenningsfase. Het doel van deze verkenning is om het voorkeursalternatief (VKA) vast te stellen voor de dijkversterking het dijktraject.

Royal HaskoningDHV en HKV hebben op 21-12-2018 opdracht gekregen om de Verkenningsfase af te ronden en te begeleiden tot de keuze van een Voorkeursalternatief (VKA). De Verkenningsfase wordt conform de HWBP-werkwijze uitgevoerd. In het ontwerpproces van de verkenningsfase wordt gewerkt van grof naar fijn om te komen tot een VKA.
De verkenningsfase is daarom ingedeeld in de volgende deelfasen:

- Opstartfase: Kennismaken, analyseren en uitgangspunten vaststellen
- Inventariseren en selecteren kansrijke bouwstenen (zeef 0)
- Selectie oplossingen en samenstellen kansrijke alternatieven (zeef 1)
- Uitwerken kansrijke alternatieven en selecteren voorkeursoplossing (zeef 2)

Bij de start van de verkenningsfase is de geotechnische opgave nader onderzocht. Op basis van geohydrologisch onderzoek is de opgave voor de geotechnische sporen macrostabiliteit buitenwaarts (STBU), macrostabiliteit binnenwaarts (STBI) en piping (STPH) bijgesteld (RHDHV & HKV [2019]) naar voldoende. De ontwerpopgave voor de huidige verkenningsfase betreft daarom alleen de faalmechanismen op het buitentalud (ZST, AGK, AWO en GEBU) en de opgave aan de grasbekleding op het binnentalud (GEKB en GABI). Inmiddels kan de verkenningsfase van het project bijna kan worden afgerond en start spoedig de planuitwerkingsfase. Er is gekozen om vanaf deze fase in bouwteamverband te werken.

1.2. Stand van zaken: Verkenningsfase HWBP Lauwersmeerdijk – Vierhuizergat

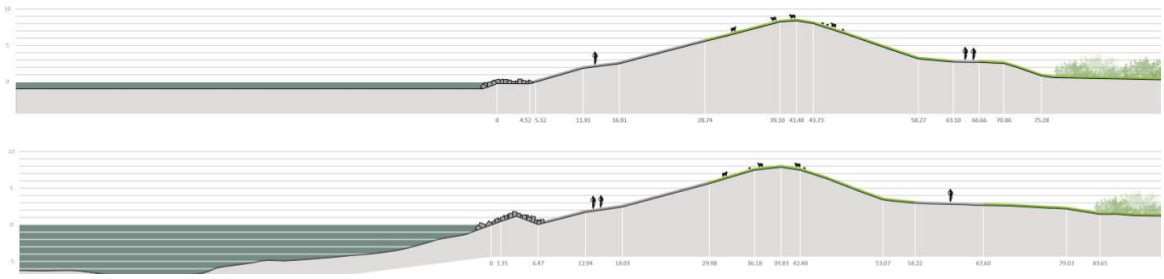
Inmiddels bevindt het project zich in de fase “uitwerken kansrijke alternatieven en selecteren voorkeursalternatief (VKA)”. Vanwege de sterke afwijkende geometrie en versterkingsopgave is al vroeg in de verkenningsfase besloten om een knip te leggen tussen het haventraject (dp89.0 tot dp91.0) en het landelijke dijk traject (dp82.0 tot dp89.0). Er is dus toegewerkt naar een voorkeursalternatief voor het haventraject en een voorkeursalternatief voor het landelijke dijk traject.

Binnen het haventraject varieert de dijkgeometrie en het voorland (het haventerrein) sterk. In het westelijke gedeelte is de kruin breed, relatief laag en ligt de provinciale weg op de kruin van de dijk, meer oostelijk wordt een echte dijk zichtbaar. Hier ligt de provinciale weg achter de kruin van de dijk. Door deze verschillen in geometrie varieert de hoogte-opgave binnen dit traject ook sterk. In het oostelijk gedeelte is er geen kruinhoogte-tekort terwijl in het westelijke gedeelte juist wel een kruinhoogte-tekort is, lokaal zelfs meer dan 2 m. Door deze grote verschillen zal het versterken van de havendijk sowieso vragen om maatwerk. Figuur 2 toont de twee verschillende kenmerkende dwarsprofielen van de havendijk.

Figuur 2: kenmerkende dwarsprofielen haventraject; (westelijk deel figuur boven en oostelijk deel figuur onder). Het oostelijk deel kent geen hoogteopgave maar alleen een bekledingsopgave)

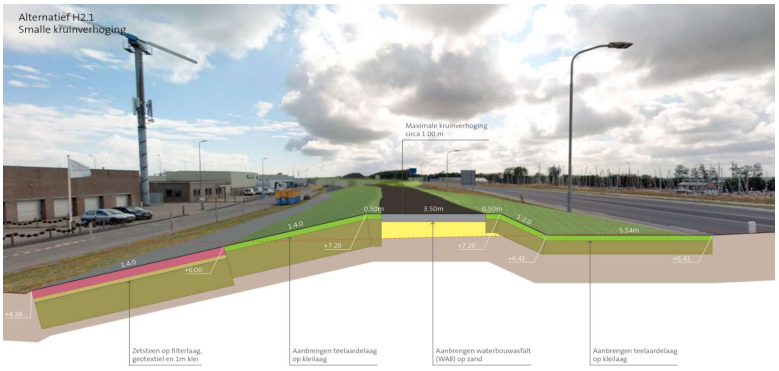
De dijkgeometrie van het landelijke dijktraject is een stuk uniformer. Het betreft een zanddijk met een klei- en grasbekleding. Het buitentalud van de dijk is verder bekleed met steenzettingen en asfalt. Boven de teen van de dijk liggen koperslakblokken met een 1:3,5 helling. Vanaf circa NAP+2m ligt een smalle berm van asfalt. De asfaltbekleding loopt door op het boventalud tot circa NAP+6m Boven de asfaltbekleding ligt een strook betonblokken en klinkers, waarna de grasbekleding begint. De kruinhoogte ligt in het westen op circa NAP+8,5m en loopt richting het

oosten af tot circa NAP+7,0m. De kruin en het binnentalud zijn bekleed met gras. Over een deel van het traject (dp85.7 - dp87.1) ligt een diepe getijdegeul (Vierhuizergat) recht voor de dijk. Deze getijdegeul is in 2012 met spoed gefixeerd met een staalslakbestorting om de stabiliteit van de dijk te garanderen. In het uiterste oosten van het dijktraject ligt een kwelder voor de dijk. Figuur 3 toont twee verschillende kenmerkende dwarsprofielen van de landelijke dijk.



Figuur 3: Kenmerkende dwarsprofielen deeltraject Landelijke dijk (onder: locatie Vierhuizergat)

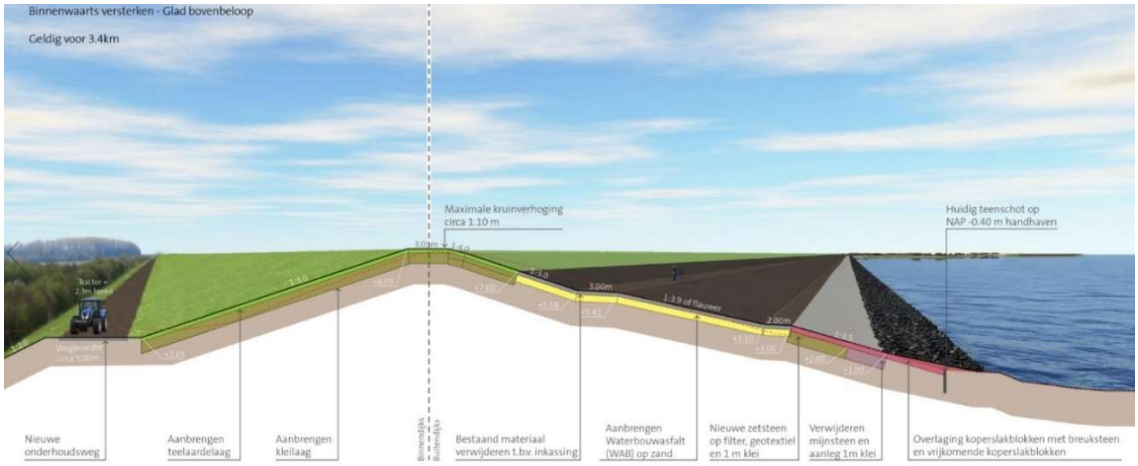
Voor de havendijk zijn na zeef 1 (van mogelijke alternatieven naar kansrijke alternatieven) en zeef 2 (van kansrijke alternatieven naar selectie VKA) nog twee alternatieven overgebleven. Hierbij dient opgemerkt te worden dat bij beide alternatieven lokaal maatwerk nodig is. Bij het eerste alternatief wordt het buitentalud binnen profiel verflauwd en de dijk over een smalle breedte in grond verhoogd. In Figuur 4 is een dwarsprofiel van dit alternatief weergegeven. Bij het tweede alternatief wordt wederom het buitentalud van de dijk binnen profiel verhoogd en wordt een smalle berm ingekast, waar direct achter deze berm een verticale wand wordt geplaatst. In Figuur 5 is een dwarsprofiel van dit alternatief weergegeven.



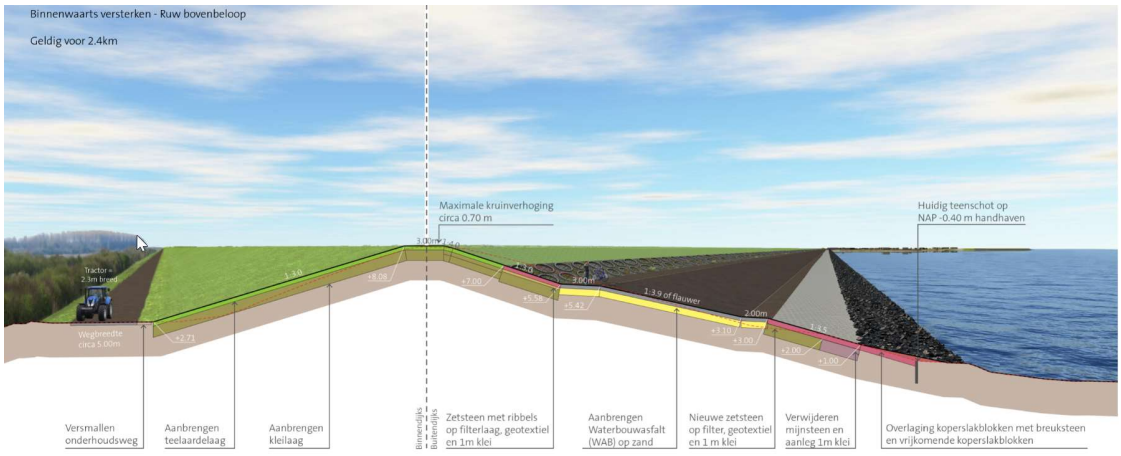
Figuur 4: Kansrijk alternatief havendijk H2.1 (smalle kruinverhoging)

Figuur 5: Kansrijk alternatief havendijk H5.1 (verticale wand binnen profiel)

Voor het landelijke dijktraject zijn na het toepassen van de twee zeefmomenten nog twee alternatieven overgebleven. Bij beide alternatieven wordt de bekleding op het buitentalud versterkt, waarbij wel het huidige buitentalud grotendeels behouden zal blijven. De dijk wordt, waar dat nodig is, in binnenwaartse richting verhoogd en uitgebreid. Het verschil tussen beide alternatieven zit in de dijkbekleding van het boventalud; bij het eerste alternatief is gekozen voor een gladde bekleding (bijvoorbeeld asfalt) en bij het tweede alternatief is gekozen voor een ruwe bekleding (bijvoorbeeld zetsteen met ribbels). Door de toepassing van ruwheid op het boventalud wordt de hoogte-opgave met circa 40-50cm verminderd. De alternatieven zijn weergegeven in Figuur 6 en Figuur 7.



Figuur 6: Kansrijk alternatief landelijke dijk (Binnenwaarts met glad bovenbeloop)



Figuur 7: Kansrijk alternatief landelijke dijk (Binnenwaarts met ruw bovenbeloop)

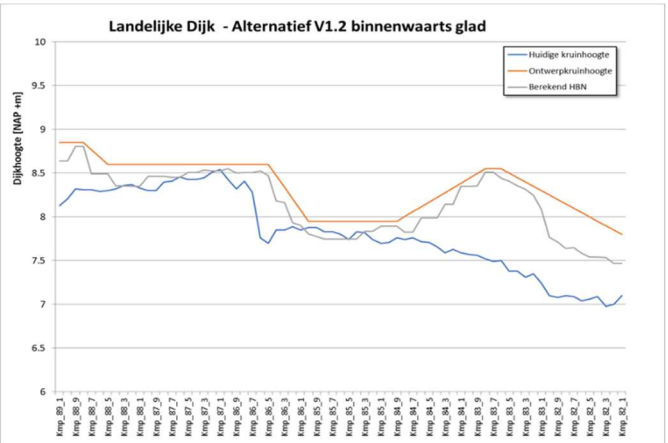
1.3. Review HWBP, Deltares en expertteam

De tussenstand van de verkenningsfase is gerapporteerd in een variantennota (RHDHV/HKV [2019b]). Deze variantennota had het specifieke doel om inschrijvende partijen (in het kader van de diensten- en werkenaanbesteding voor de planuitwerkingsfase) inzicht te geven in de stand van zaken van het ontwerpproces en het verwachte uitwerkingsniveau van het VKA. Het waterschap Noorderzijlvest heeft in de verkenningsfase de belangrijkste documenten continu laten reviewen door Deltares en derhalve is ook de variantennota door Deltares gereviewd.

Deze review is op 18 november 2019 opgeleverd naar het waterschap (Mark Klein Breteler, kenmerk 11204781-002-HYE-0001). Aansluitend is de review in aanwezigheid van de projectbegeleider van het HWBP besproken op 26 november 2019. In de review oordeelt Deltares dat de rapportage een duidelijk beeld geeft van het proces dat heeft geleid tot de gekozen varianten. Daarin zijn de uitgangspunten, zoals geformuleerd in de Technische uitgangspuntennotitie (RHDHV/HKV [2019a]) goed opgevolgd en is het in overeenstemming met OI-2014. Echter wordt ook gezamenlijk geconcludeerd dat een aantal zaken nadere bestudering behoeven.
De volgende zaken zijn de afgelopen tijd onderzocht:

1. Het verloop van het berekende hydraulisch belastingsniveau (HBN) langs het landelijke deel van de Lauwersmeerdijk wijkt sterk af van het verloop van de huidige kruinhoogte (zie Figuur 8) en komt niet geheel overeen met het ontwerpersgevoel. Zo valt de hoge piek op bij dijkpaal 83.5, terwijl de golfbelasting hier zeer schuin invalt (hoek van inval tot 70graden). Daarnaast is bij dijkpaal 89.0 sprake van een opvallende hoge piek (HBN circa NAP+8,8m), hier grenst de dijk aan het haventerrein en is een grote kruinverhoging moeilijk inpasbaar.
2. De golfsteilheid is over het algemeen erg hoog. Dit geldt zowel voor de golfhoogte in het illustratiepunt van de HBN-berekeningen als de golfbelastingen voor bekledingen. In de review van Deltares en het HWBP (november 2019) wordt geadviseerd om in het ontwerp uit te gaan van reële ontwerpbelastingen (golfsteilheden).
3. De bias-correctie die onderdeel is van de gedefinieerde modelonzekerheden op de golfhoogte en -periode is met omgekeerd teken in de WBI2017 databases opgenomen [RWS WVL, 4 september 2019].
4. De modelonzekerheden in de golfhoogte en periode zijn in het WBI2017 onafhankelijk verondersteld. Nader onderzoek heeft uitgewezen dat de correlatie tussen beide modelonzekerheden ongeveer 37% bedraagt (Smale [2019]). In de variantennota is het effect van deze correlatie nog niet meegenomen.
5. De diepe getijdengeulen direct voor de Lauwersmeerdijk hebben significante invloed op de berekende hydraulische belastingen. Daarom is in kaart gebracht hoe morfologische veranderingen van de geulen en platen het HBN beïnvloeden.
6. De onderbouwing van het gekozen golfoverslagdebiet is nog onvolledig. Zo was het golfoverslagdebiet slechts beperkt probabilistisch beschouwd.

In deze memo wordt voor elk van bovenstaande punten een (nieuw) ontwerpuitgangspunt onderbouwd. De ontwerpkruinhoogte (conform variantennota) voor het alternatief Binnenwaarts glad is weergegeven in Figuur 8.



Figuur 8: Verloop van het HBN (grijze lijn), ontwerpkruinhoogte (oranje lijn) en huidige kruinhoogte (blauwe lijn) op het Landelijke deel van de Lauwersmeerdijk voor kansrijk alternatief binnenwaard glad.

Op 13 januari 2020 is de conceptversie van deze memo (met onderliggende bijlagen) ter beoordeling voor gelegd aan een team van experts. Op 20 januari 2020 zijn tijdens een expertsessie de stukken doorgenomen en is er consensus ontstaan over de te hanteren ontwerpuitgangspunten. De in de expertsessie geformuleerde adviezen zijn verwerkt in deze definitieve versie.

1.4. Doel van deze memo en leeswijzer

In voorliggende memo worden de belangrijkste reviewpunten conform hoofdstuk 1.3 in hoofdlijnen en samenvattend behandeld. Daarbij worden voorstellen gedaan voor (nieuwe) ontwerpuitgangspunten voor de dijkversterking.

Deze memo heeft tot doel de hydraulische ontwerpuitgangspunten nader te onderbouwen zodat er een sobere en doelmatige set ontwerpuitgangspunten wordt gekozen. Deze ontwerpuitgangspunten zullen worden vastgelegd in de Technische Uitgangspuntennotitie (TUN versie 4.0). De TUN 4.0 vormt de basis voor het te kiezen VKA en zal ook de basis gaan vormen voor de uitwerken van het VKA tot een definitief ontwerp (DO) in de planuitwerkingsfase.

De keuze voor uitgangspunten worden in deze memo gemotiveerd;

- In hoofdstuk 2 wordt de keuze voor de toe te passen hydraulische randvoorwaarden voor ontwerpspoor hoogte (bepaling HBN) en bekleding vastgesteld. Hiervoor zijn golfrandvoorwaarden geverifieerd aan eerder uitgevoerde SWAN berekeningen.
- In hoofdstuk 3 wordt de keuze voor het toe te passen golfoverslagdebiet voor de twee trajecten Landelijke dijk en Haven onderbouwd. (zie hoofdstuk 2)
- In hoofdstuk 4 worden de gekozen uitgangspunten kort herhaald en wordt de uiteindelijke pontwerpopgave voor toetsspoor hoogte bepaald.

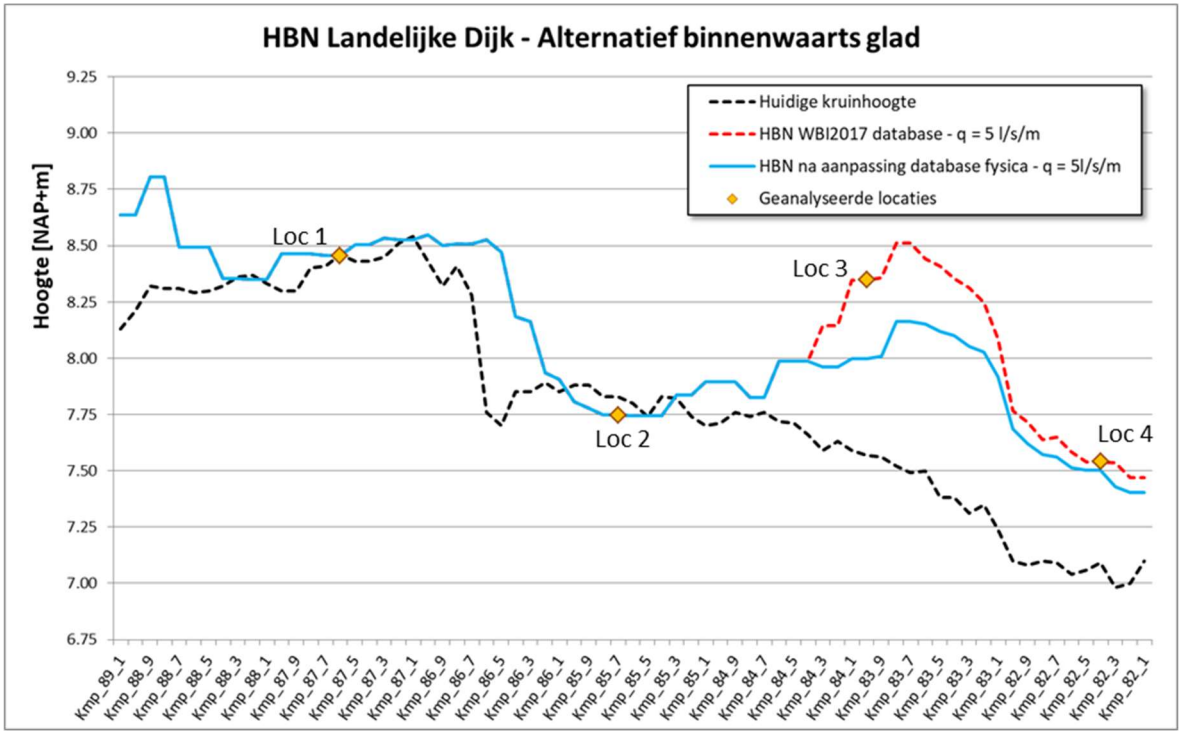
2. Hydraulische belastingen Lauwersmeerdijk - Vierhuizergat

2.1. Verhoging HBN bij kmp 83.5

De hydraulische belastingen zijn voor het HWBP project Lauwersmeerdijk – Vierhuizergat afgeleid op basis van de WBI2017-database. In deze database zijn de SWAN-resultaten opgenomen zoals deze voor WTI2011 zijn afgeleid. Bij analyse van de resultaten viel op dat het HBN nabij de kaap van de Lauwersmeerdijk sterk afneemt (zie het verschil tussen Loc 1 en Loc 2 in Figuur 9). Meer naar het oosten neemt het HBN weer toe terwijl de golven nog steeds schuin invallen (zie Loc 3 in Figuur 9). Daarnaast valt de piek in het HBN bij dijkpaal 89.0 op. Bij de analyse van deze SWAN-gegevens en database fysica viel het volgende op (zie voor een uitvoerige onderbouwing Bijlage B):

- Voor het samenstellen van de WTI2011 database (die in WBI2017 nog ongewijzigd wordt toegepast) zijn verschillende SWAN-modellen gebruikt: het zogenaamde G3-model voor de oostelijke Waddenzee en het G4-model voor het centrale deel van de Waddenzee. De knip tussen deze twee modellen ligt toevalligerwijs precies in normtraject 6-5 en resulteert in een hoger HBN oostelijk van dijkpaal 83.5. In het G3-model is refractielimitering ingevoerd om de golfmetingen in de Oostelijke Waddenzee beter te kunnen benaderen met de SWAN berekeningen. De knip tussen de modellen is destijds gelegd op RD-coördinaat x=215.000 m.
- Tussen de dijkpalen 84. 0 en 83.5 zit een onjuistheid in het waterstandsveld dat gebruikt is voor de SWAN berekeningen voor de windrichting 300 graden t.o.v. noord. Door deze onjuistheid zijn hoge golven aan relatief lage waterstanden in de database toegewezen. Hierdoor wordt het HBN overschat.

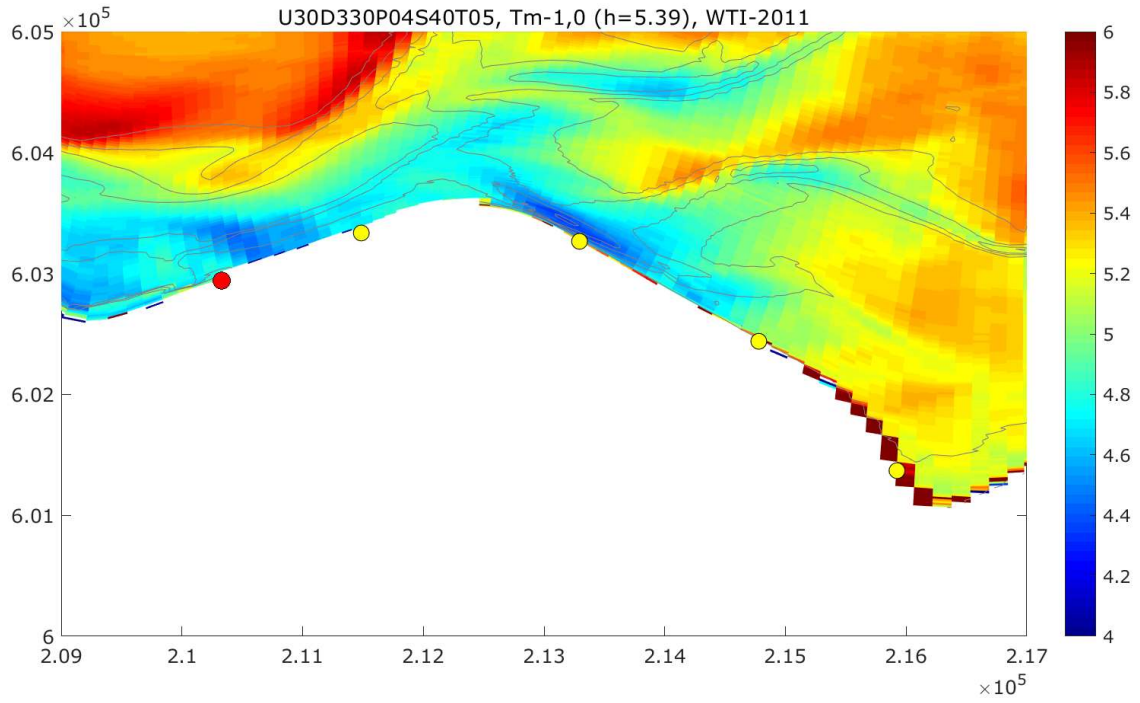
Na overleg met Deltares (pers. com. Jacco Groeneweg en vastgelegd per mail)) is voorgesteld om de knip tussen de twee SWAN-modellen te verleggen naar de scheiding tussen traject 6-5 en 6-6. Dit betekent dat voor het hele normtraject 6-5 wordt uitgegaan van het G4 SWAN-model. Daarnaast is de onjuistheid in het waterstandsveld van de SWAN berekeningen gecorrigeerd (zie Bijlage B).



Figuur 9: HBN o.b.v. WBI2017 database (rode stippellijn) en het HBN na aanpassing de database fysica (blauwe lijn).

Figuur 9 laat het HBN zien op basis van de originele WBI2017 database (rode lijn) en de gecorrigeerde database (blauwe lijn). Een uitvoerige duiding van dit verloop van het HBN is opgenomen in Bijlage B. We merken hierover samenvattend het volgende op:

- Van dijkpaal 89.0 t/m 87.0 is sprake van frontale golfaanval en relatief korte golven die worden beïnvloed door de aanwezigheid van de diepe getijdengeul door de dijk (zie Figuur 10).
- De piek nabij dijkpaal 89.0 wordt veroorzaakt door een golfhoogte die orde 0,2 m hoger en een golfperiode die orde 0,3 langer is dan de omliggende locaties. Beide zijn ongunstig voor het HBN. Dit verschil in golfhoogte en golfperiode is ook terug te zien in de SWAN berekeningen (zie bijv. Figuur 10 waar de golfperiode nabij het rode punt is hoger is dan op de omliggende locaties). Het verschil is in beperkte mate te duiden vanuit de fysica.
- Ten oosten van dijkpaal 87.0 draait de oriëntatie van Lauwersmeerdijk van NW naar NO. Hierdoor neemt de golfhoek van inval af. Daarnaast is sprake van een sterke invloed van de getijdengeul waardoor tussen dijkpaal 87.0 en dijkpaal 85.0 sprake is van korte golven dan in de omliggende locaties (zie Figuur 10). Het HBN neemt hierdoor af (zie ook het verschil tussen locatie 1 en 2 in Figuur 9).
- Ten oosten van dijkpaal 85.0 neemt de golfperiode weer iets toe, waardoor ook het HBN iets toeneemt. Iets ten oosten van locatie 3 (bij dijkpaal 83.5) stopt de invloed van de geul en wordt de golfperiode weer langer.
- Op het meest oostelijk deel van het traject (van dijkpaal 83.0 t/m dijkpaal 82.0) is de oriëntatie ONO. De hoek van golfinval neemt hier nog verder af. Daarnaast liggen hier kwelders, die door hun hoge ligging zorgen voor golfbreking, en daardoor een lagere golfhoogte. Beide aspecten zorgen ervoor dat het HBN afneemt in de oostelijke hoek.



Figuur 10: SWAN veld van de golfperiode ($T_{m-1,0}$) bij windrichting 330 graden en windsnelheid 30 m/s. Het rode bolletje ligt bij dijkpaal 89.0 (verhoging HBN - zie Figuur 9), de gele bolletjes liggen bij de locaties 1 t/m 4 uit Figuur 9.

2.2. Golfsteilheden

Beschouwing op de golfsteilheid

Bij het traject Lauwersmeerdijk – Vierhuizergat worden relatief steile golven gevonden bij de berekening van het HBN, ofwel golven met een relatief grote hoogte en korte periode. De golfsteilheid op basis van de achterliggende SWAN-berekeningen uit WTI2011 is ongeveer 5 tot 8%. Dit is steil, maar fysisch niet onmogelijk (Caires [2012]).

De vraag ligt voor of de steile golven (als modeluitkomst) gecorrigeerd dienen te naar flauwere golven.

Er zijn echter verschillende redenen te noemen voor relatief steile golven in dit gebied:

- Er is sprake van zeer sterke wind tijdens maatgevende condities, waardoor de golven steiler kunnen worden dan bijvoorbeeld in een golfgoot zonder wind en stroming.
- Refractie zorgt ervoor dat de langere golven relatief sterk richting de plaatranden draaien, en dat in de geulen voor de dijk een spectrum met relatief korte golven overblijft.
- Golven en stroming bewegen bij de landelijke dijk tijdens noordwester storm overwegend in dezelfde richting. Golf-stroominteractie maakt dan de absolute golfperiode (geobserveerd op een vaste, stationaire positie in het stromende water) korter dan de periode van de golven zelf (de relatieve golfperiode, meebewegend met het stromende water). De periodes in de database betreffen absolute periodes, terwijl de eigenlijke steilheid van de golven gerelateerd is aan de relatieve golfperiode. De werkelijke steilheid is dus kleiner dan de hier gepresenteerde steilheid. Het verschil tussen absolute en relatieve periodes kan oplopen tot meer dan 10%, zie bijlage B.
- De berekende golfsteilheid is gebaseerd op de gemiddelde golfperiode $T_{m-1,0}$, die meestal korter is dan de piekperiode T_p. De golfsteilheid $s_{m-1,0}$ is daardoor ook groter dan s_p.

Naast de gebiedseigenschappen, resulteert toepassing van SWAN ervoor dat de berekende steilheid aan de hoge kant is. Dit wordt bijvoorbeeld veroorzaakt door het effect van zogenaamde triads en refractie van lange golven richting de plaatranden. Door het ontbreken van flauwere golven in de SWAN-modellering wordt ook in de probabilistische vertaling van de golfcondities geen flauwere golven gevonden. Als gevolg daarvan worden voor zowel bekledingen als het HBN vergelijkbaar steile golven berekend.

De golfsteilheid wordt verder verhoogt door toepassing van modelonzekerheden voor de golfhoogte en golfperiode. Aangezien de standaardafwijking van de modelonzekerheid voor de golfhoogte groter is dan die voor de golfperiode, zorgt toepassing daarvan in Hydra-NL overwegend voor grotere steilheden dan de oorspronkelijke waarden uit SWAN. Daarnaast blijkt dat in de illustratiepunten regelmatig een verhoogde modelonzekerheid voor de golfhoogte wordt gevonden, in combinatie met de gemiddelde modelonzekerheid voor de golfperiode (alleen biascorrectie). In deze gevallen is de golfsteilheid van de condities beschreven door het illustratiepunt tot 25% hoger dan de oorspronkelijk door SWAN berekende waarde.

Golfsteilheid voor de hoogteopgave

De golfsteilheid die is toegepast om de hoogteopgave vast te stellen is in beeld gebracht door de steilheid van de golfcondities in het illustratiepunt weer te geven. Deze is maximaal 8,6%. Het is twijfelachtig of golven met deze steilheid daadwerkelijk voor kunnen komen (zie ook advies

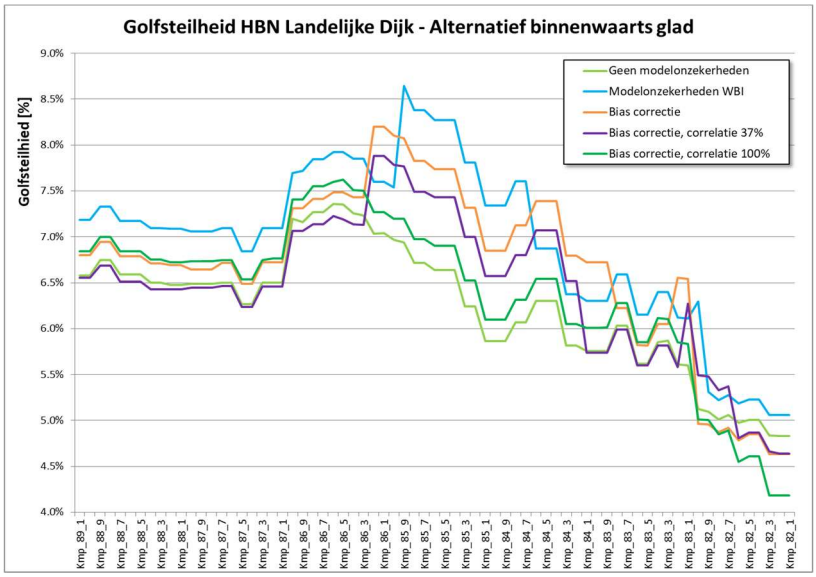
HWBP en Deltares). De gevonden golfhoogtes zijn na toepassing van modelonzekerheden gemiddeld 1% hoger dan de gevonden golfsteilheden uit SWAN. De SWAN resultaten zijn in bovenstaande paragraaf beschouwd. In voorliggende rapportage zijn geen expliciete scenario's voor andere SWAN-uitkomsten opgenomen. Verbetering van de SWAN modellering is onderwerp van project overstijgend onderzoek – hier is in deze notitie dus niet nader op ingegaan. Wel zijn vijf verschillende rekeninstellingen onderzocht die betrekking hebben op de toepassing van modelonzekerheden..

1. Golfsteilheid zonder toepassing van modelonzekerheden (wel statistische onzekerheden). Dit levert de oorspronkelijk door SWAN berekende golfsteilheden op;
2. Golfsteilheid bij toepassing van het default WBI instrumentarium. De bias in de modelonzekerheden is dan negatief (respectievelijk 0,99 voor de golfhoogte en 0,96 voor de golfperiode) en er is geen correlatie verondersteld tussen de modelonzekerheden;
3. Golfsteilheid waarbij het teken van de bias in de modeonzekerheden is bijgesteld (respectievelijk 1,01 voor de golfhoogte en 1,04 voor de golfperiode). Er is geen correlatie verondersteld tussen de modelonzekerheden.
4. Met bijgestelde biascorrectie (gelijk aan nummer #3) maar dan met een correlatie tussen beide modelonzekerheden van 37% (conform Smale [2019]).
5. Met bijgestelde biascorrectie (gelijk aan nummer #3) maar dan met een correlatie tussen beide modelonzekerheden van 100%.

In deze paragraaf worden voor de verschillende rekeninstellingen de gevonden golfsteilheden en het effect op het HBN beschouwd.

N.B. Bovenstaande rekeninstellingen leiden allemaal nog tot steile tot soms zeer steile golven. Het ontwerpersgevoel leeft dat een minder hoge golf maar wel met een langere golfperiode maatgevender zal zijn voor de bepaling van het HBN (en in mindere mate het bekledingsontwerp). In dit project is besloten om de SWAN-uitkomsten/scenario's niet nader te onderzoeken.

De golfsteilheid (Figuur 11) en het HBN (Figuur 12 en Figuur 13) is in beeld gebracht voor de alternatieven 'binnenwaarts ruw' en 'binnenwaarts glad', op basis van de gecorrigeerde database fysica (zie paragraaf 2.1). De golfsteilheid is alleen voor het alternatief 'binnenwaarts glad' weergegeven, maar deze verschilt niet significant van het alternatief 'binnenwaarts ruw'.



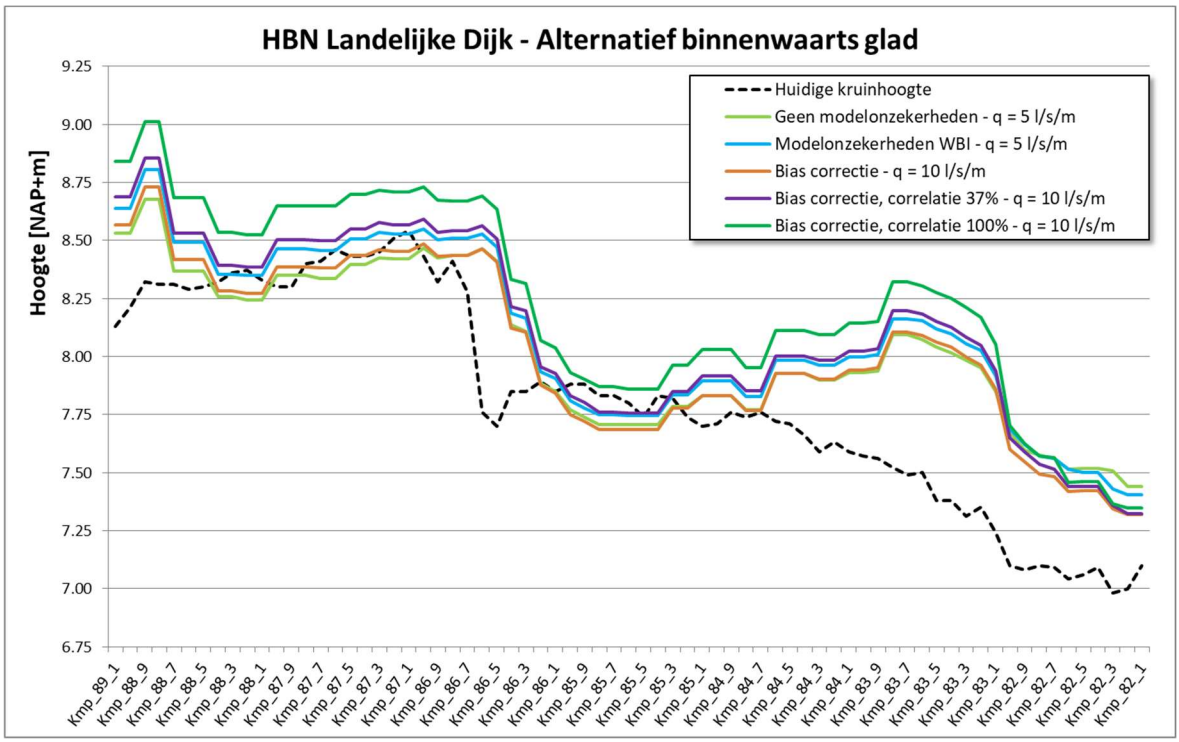
Figuur 11: Golfsteilheid op basis van de spectrale golfperiode (Tm-1,0) voor het alternatief binnenwaarts-glad bij vijf verschillende uitgangspunten en toepassing van de gecorrigeerde database fysica.

De golfsteilheden in Figuur 11 zijn bepaald op basis van de spectrale golfperiode Tm-1,0 en de ondiep water golflengte met een gemiddelde bodemhoogte van NAP-1,0 m. Het volgende valt op:

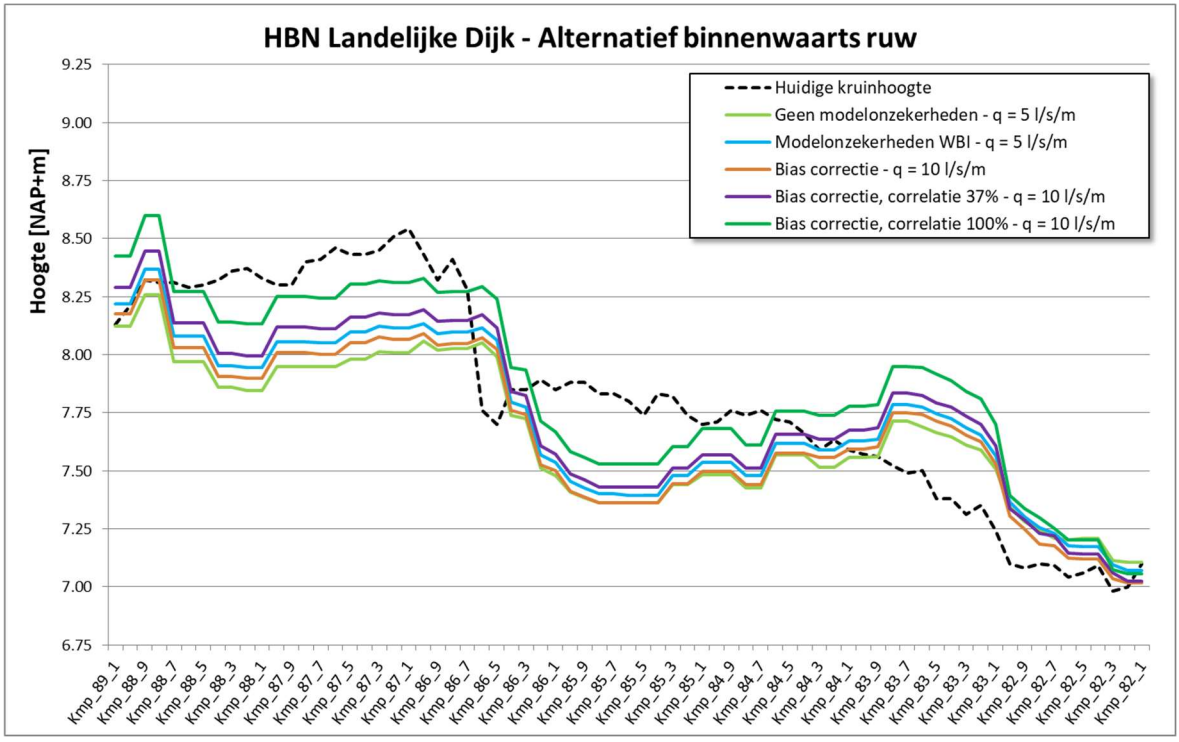
- De golfsteilheden tussen de dijkpalen 89.0 en 84.0 liggen tussen de 6,0 en 8,5%. In de oostelijke hoek (dijkpaal 84.0 t/m 82.0) zijn lagere en langere golven aanwezig, waardoor de steilheid hier afneemt tot 4 à 5%. We richten de analyse daarom op het traject tussen dijkpaal 89.0 en 84.0.
- De golfsteilheid zonder toepassing van modelonzekerheden varieert tussen de 5,5 en 7,3% (lichtgroene lijn in Figuur 11). Dit zijn de steilheden uit SWAN.
- Door toepassing van modelonzekerheden conform het WBI2017 neemt de golfsteilheid tussen de 0,7 en 1,7% toe (verschil tussen lichtgroene en blauwe lijn in *Figuur 11*).
- Door het toepassen van de aangepaste biascorrecties en het aanbrengen van correlatie tussen beide modelonzekerheden neemt de golfsteilheid weer af. Bij een biascorrectie en een aangenomen correlatie van 100% ligt de golfsteilheid over het gehele traject het dichtst bij de originele golfsteilheid uit SWAN.
- Op sommige punten verspringt de golfsteilheid (bijv. rond dijkpaal 87.0), wat wordt verklaard door de ruwe discretisatie van de modelonzekerheden in Hydra-NL (in 5 stappen). Bij een sprong verspringen waarden in het illustratiepunt naar een andere discretisatiestap.
- De golfsteilheden in *Figuur 11* zijn bepaald op basis van de spectrale golfperiode en de ondiep water golflengte met een gemiddelde bodemhoogte van NAP-1,0 m. Als een bodemhoogte van NAP+0,0 m wordt aangenomen neemt de golfsteilheid met orde 0,5% toe. Als de steilheid bepaald wordt met de diepwatergolflengte neemt de steilheid met orde 0,5% af.

Figuur 12 en Figuur 13 beschrijven het HBN in 2075 bij het klimaatscenario W+ (KNMI'06) voor de vijf onderzochte rekeninstellingen. Figuur 12 geeft het HBN en de kruinhoogte weer voor de variant 'binnenwaarts glad' en Figuur 13 voor de variant 'binnenwaarts glad'. We merken op:

- In de zomer van 2019 is het waterschap Noorderzijlvest door RWS-WVL ingelicht over de nieuwe inzichten op het gebied van de hydraulische belastingen. Vanwege de onzekerheden op dit punt heeft het Waterschap besloten bij het afwegen van de alternatieven enige voorzichtigheid in te bouwen en uit te gaan van een kritiek overslagdebiet van 5 l/s/m. Het HBN zonder modelonzekerheden (lichtgroene lijn) en met modelonzekerheden conform het WBI2017 (blauwe lijn) is daarom weergegeven bij een kritiek overslagdebiet van 5 l/s/m. Bij toepassing van de nieuwe inzichten (biascorrectie en toevoeging van correlatie) wordt deze keuze overbodig. Het HBN bij toepassing van de biascorrectie en correlatie is daarom weergegeven bij een kritiek overslagdebiet van 10 l/s/m (conform het OI2014v4).
- Conform verwachting is de invloed van de biascorrectie ordegrootte gelijk aan de overstap van een kritiek overslagdebiet van 5 naar 10 l/s/m.
- Door het toevoegen van de correlatie tussen de modelonzekerheid van 37% neemt het HBN met orde 10 cm toe (verschil oranje en paarse lijn in Figuur 12 en Figuur 13). In geval de correlatie wordt verhoogd naar 100% neemt het HBN nog eens met 10 cm toe (verschil paarse en donkergroene lijn in Figuur 12 en Figuur 13).



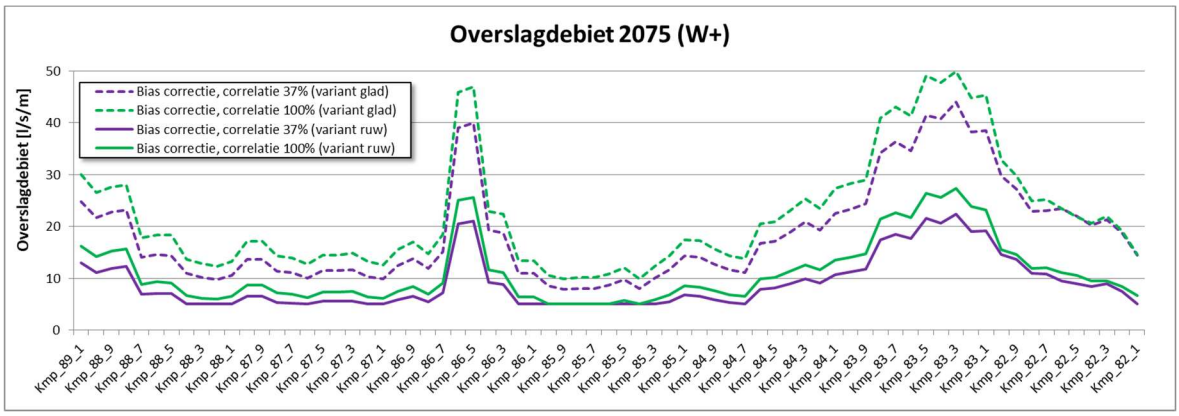
Figuur 12: HBN in 2075 bij W+ (KNMI'06) voor het alternatief binnenwaarts-glad bij vijf verschillende rekeninstellingen en toepassing van de gecorrigeerde database fysica (de lichtblauwe lijn in Figuur 9 komt overeen met de lichtblauwe lijn in deze figuur).



Figuur 13: HBN in 2075 bij W+ (KNMI'06) voor het alternatief binnenwaarts-ruw bij vijf verschillende rekeninstellingen en toepassing van de gecorrigeerde database fysica.

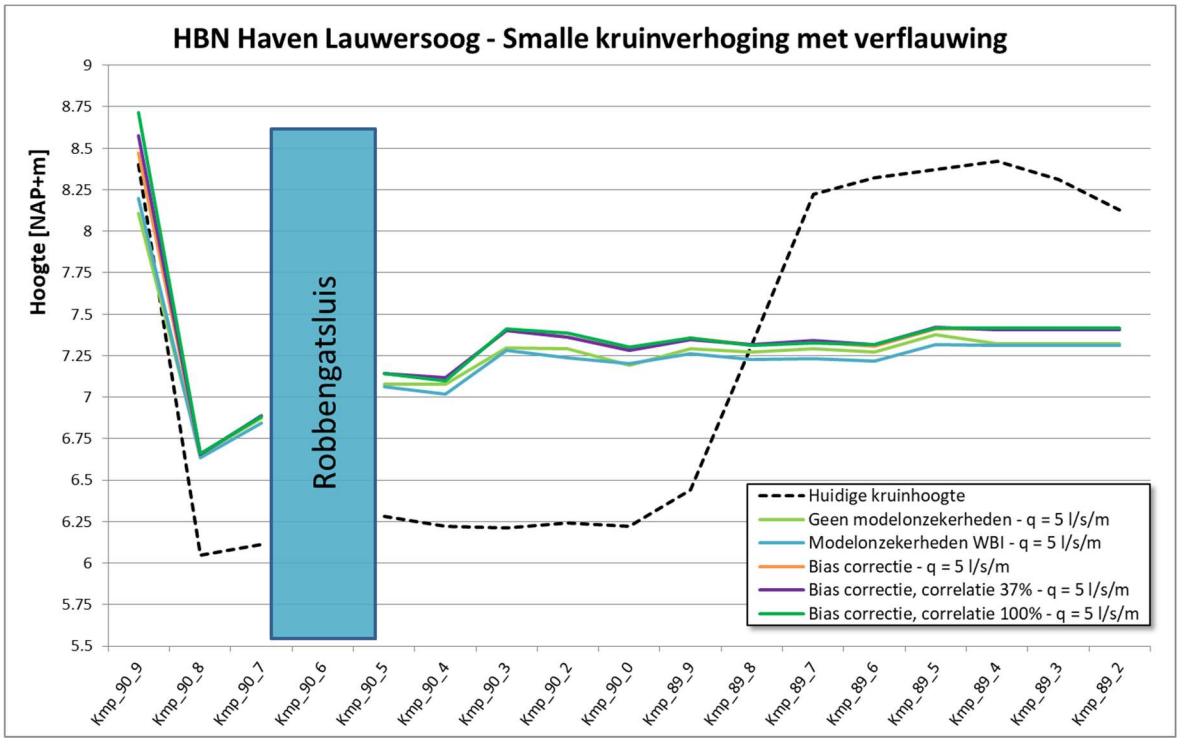
Voor een aantal locaties is het HBN ongeveer gelijk aan de huidige kruinhoogte. Voor de twee varianten met het hoogste HBN (biascorrectie in combinatie met correlatie tussen modelonzekerheden van 37% en 100%) is daarom ook bepaald bij welk kritiek overslagdebiet er geen

sprake meer zou zijn van een hoogteopgave. Hierin is te zien dat voor het alternatief binnenwaarts glad dan voor bijna het gehele traject een hoger kritiek golfoverslagdebiet dan 10 l/s/m gehanteerd dient te worden. Voor het alternatief binnenwaarts ruw geldt dat voor lange trajecten de huidige kruinhoogte al een ontwerp oplevert onder de 10 l/s/m.



Figuur 14: Overslagdebiet in 2075 bij W+ (KNMI'06) en de huidige kruinhoogte, bij de faalkanseis op doorsnedeniveau (1/12.500 per jaar), bij modelonzekerheden die voor 37% (conform Smale [2019]) of 100% zijn gecorreleerd. Noot: overslagdebieten kleiner dan 5 l/s/m zijn in de figuur afgekapt en als 5 l/s/m weergegeven (zie bijv. nabij dijkpaal 86.0). Hetzelfde geldt voor overslagdebieten hoger dan 50 l/s/m, deze zijn afgekapt en als 50 l/s/m weergegeven.

Figuur 15 laat het HBN in de haven van Lauwersoog zien voor de vijf verschillende rekeninstellingen rondom modelonzekerheden. Hierin is te zien dat de verschillen tussen de vijf rekeninstellingen gemiddeld genomen beperkt blijven tot 10 cm. De havenkaden van de haven van Lauwersoog zorgen voor demping van de golven en doen de verschillen in uitgangspunten nagenoeg teniet. Vanwege het sterke effect van dieptelimitering door de havenkaden verschillen de golfsteilheden ook zeer beperkt tussen de varianten. Bij de haven wordt uitgegaan van een kritiek overslagdebiet van 5 l/s/m. Dit uitgangspunt wordt in hoofdstuk 3 verder onderbouwd.



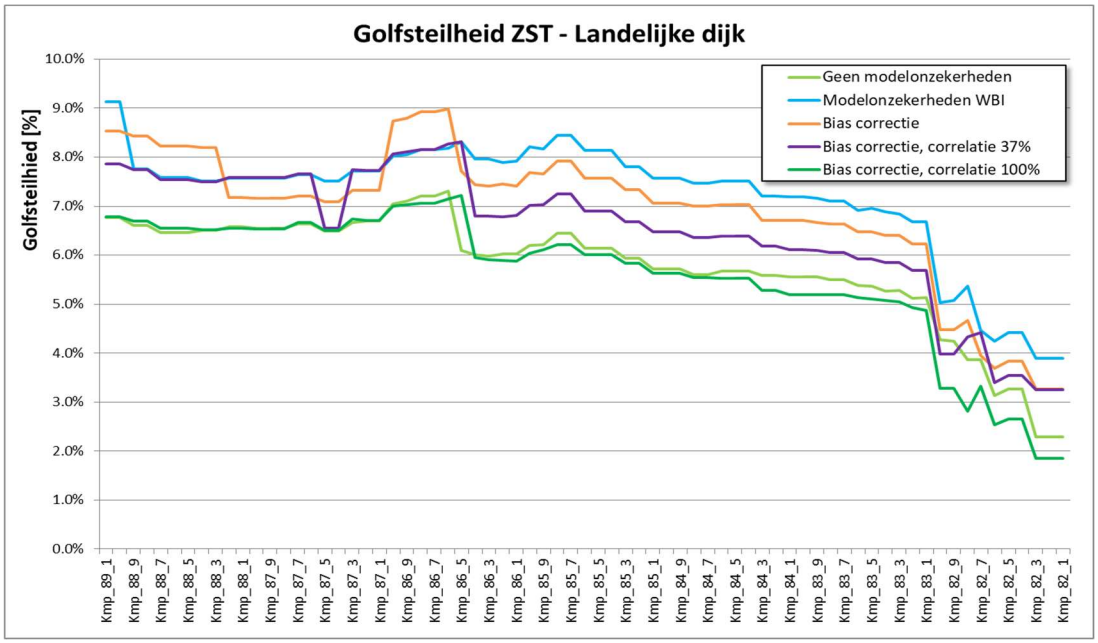
Figuur 15: HBN in 2075 bij W+ (KNMI'06) voor het alternatief smalle kruinverhoging met verflauwing bij vijf verschillende uitgangspunten en toepassing van de gecorrigeerde database fysica.

Golfsteilheid voor bekledingen

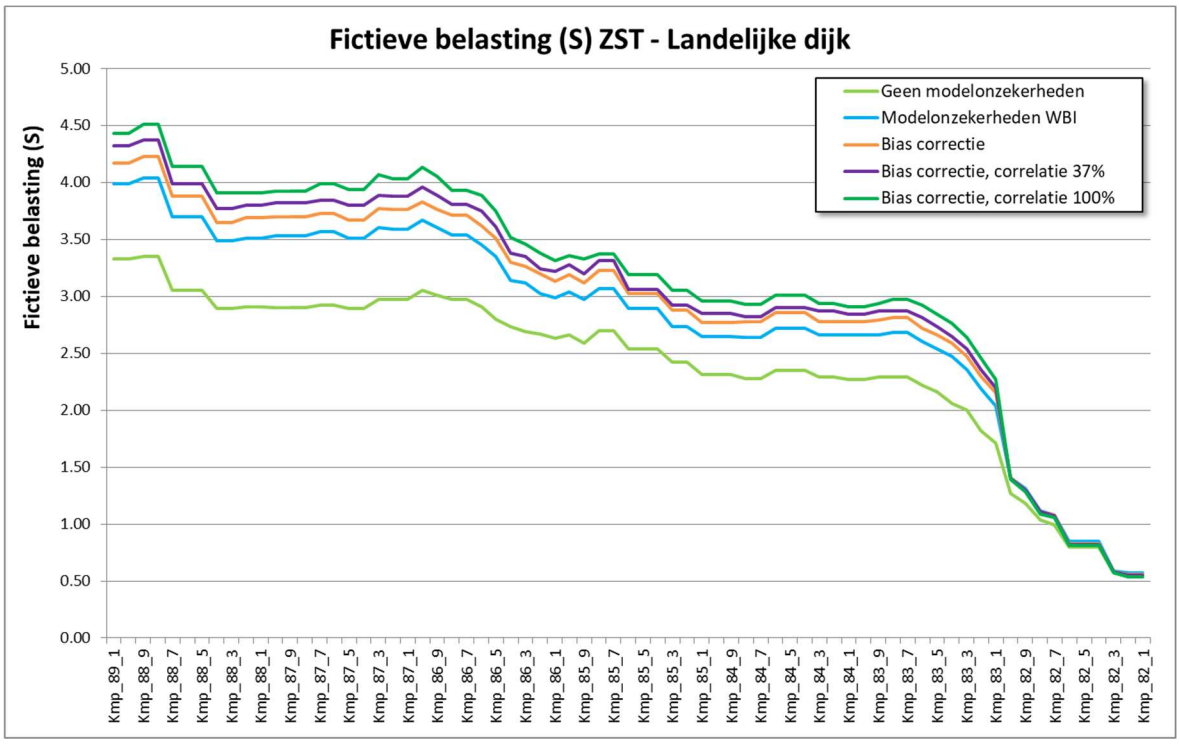
De golfsteilheden voor de golfbelasting voor de bekledingen op het buitentalud zijn op gelijke wijze als voor het HBN in beeld gebracht. We focussen ons daarbij op de golfsteilheden voor de steenbekleding, omdat dit een grote kostendrager is in het ontwerp. We merken op dat het geen alternatief onderscheidende keuze voor het VKA is, omdat bij alle kansrijke alternatieven een harde bekleding tot NAP +7,0 m is voorzien. Daarnaast nemen we aan dat onderstaande beschouwing voor de golfbelastingen voor ZST ook van toepassing zal zijn voor AGK. Voor AGK zijn de golfsteilheden waarschijnlijk nog iets hoger, bij het bepalen van de fictieve belasting (S) ligt bij AGK namelijk meer nadruk op de golfhoogte dan bij ZST (ZST a = 1,0 b = 0,4; AGK a = 1,0 b = 0,0).

Figuur 16 laat de gevonden golfsteilheden zien. De belastingen zijn vervolgens weergegeven in Figuur 17 (fictieve belasting – S), Figuur 18 (significante golfhoogte) en Figuur 19 (piekperiode). We merken het volgende op:

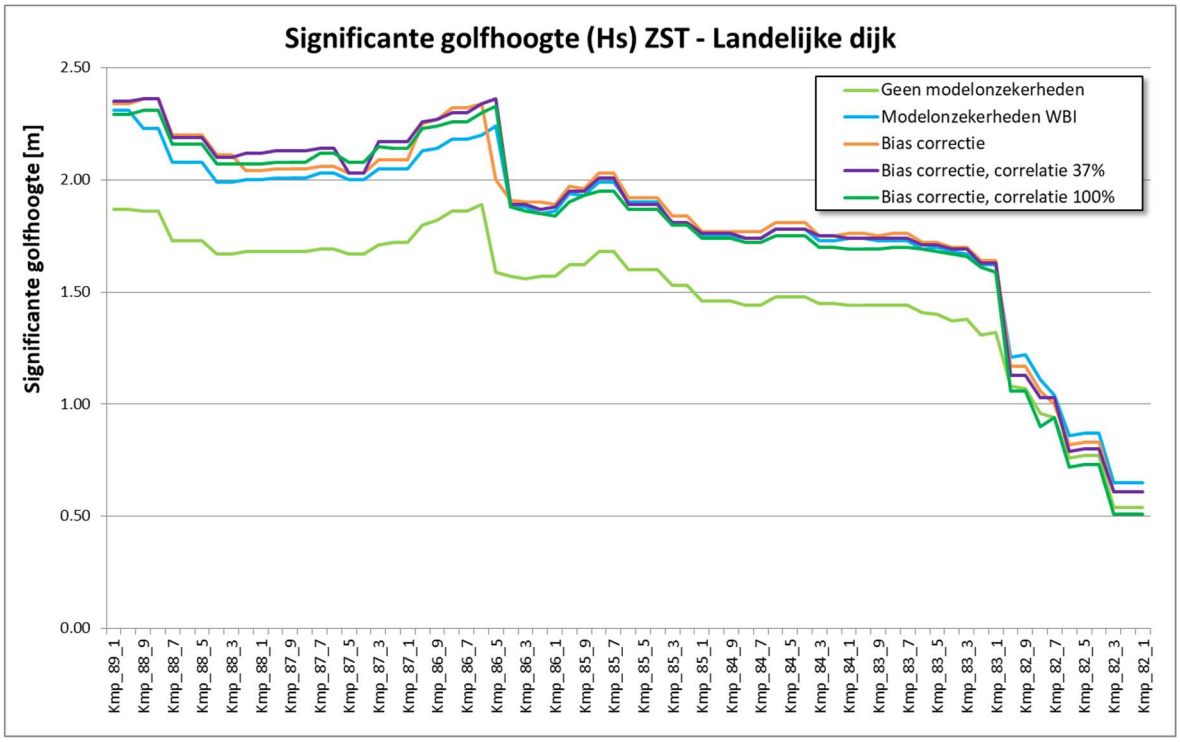
- Net als bij het HBN is de golfsteilheid zonder modelonzekerheden in dezelfde orde van grootte als de golfsteilheden bij toepassing van de biascorrectie en 100% gecorreleerde modelonzekerheden.
- Bij toepassing van de standaard modelonzekerheden uit het WBI (zonder biascorrectie en zonder correlatie) neemt de golfsteilheid gemiddeld 1% en maximaal 2,5% toe.
- De verandering van de golfsteilheid wordt vooral veroorzaakt door veranderingen in de piekperiode. De golfhoogte is voor de situaties met modelonzekerheden namelijk ongeveer gelijk (zie Figuur 18), maar de piekperiode verschilt per gekozen variant (zie Figuur 19).
- Door de toename van de golfperiode is de fictieve belasting bij een biascorrectie en 100% gecorreleerde modelonzekerheden het hoogst (zie ook Figuur 17).
- Figuur 16 t/m Figuur 19 is weergegeven voor een waterstandsniveau van NAP+3,0 m. Het weergegeven beeld van de golfsteilheden is relevant voor het bereik aan waterstanden van NAP+1,0 m tot NAP+4,0 m.
- We merken op dat de golfsteilheden bij het HBN (Figuur 11) zijn weergegeven op basis van de spectrale golfperiode (Tm-1,0). Bij de belasting voor ZST is de piekperiode (T_p) geanalyseerd.



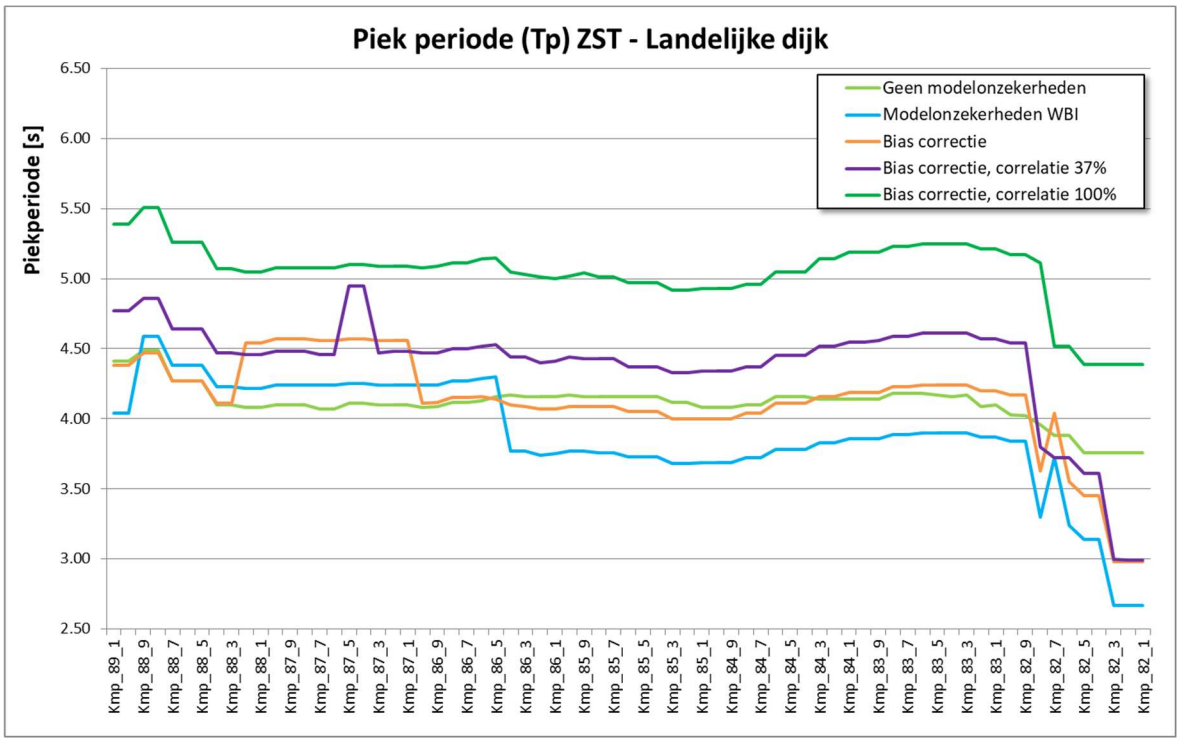
Figuur 16: Golfsteilheid op basis van de piekperiode (Tp) voor ZST (Steenzetting betonzuilen - normale golfsteilheid) bij een waterstandsniveau van NAP+3,0m voor vijf verschillende rekeninstellingen en de gecorrigeerde database fysica.



Figuur 17: Fictieve belasting (S) voor ZST (Steenzetting betonzuilen - normale golfsteilheid) bij een waterstandsniveau van NAP+3,0m voor vijf verschillende rekeninstellingen en toepassing van de gecorrigeerde database fysica.



Figuur 18: Significante golfhoogte (Hs) voor ZST (Steenzetting betonzuilen - normale golfsteilheid) bij een waterstands-niveau van NAP+3,0m voor vijf verschillende rekeninstellingen en toepassing van de gecorrigeerde database fysica.



Figuur 19: Piekperiode (Tp) voor ZST (Steenzetting betonzuilen - normale golfsteilheid) bij een waterstandsniveau van NAP+3,0m voor vijf verschillende rekeninstellingen en toepassing van de gecorrigeerde database fysica.

Voor het bepalen van de golfbelastingen voor bekledingen wordt gebruik gemaakt van de piek periode. We merken op dat de piekperiode T_p niet is opgenomen in de WBI-databases, omdat deze soms een springerig gedrag vertoont. Als deze waarde ontbreekt, berekent Hydra-NL de piekperiode op basis van de gemiddelde golfperiode Tm-1,0 via de vaste verhouding van Tp = 1,1*Tm-1,0 (deze factor ligt aan de basis van het resultaat in Figuur 16 t/m Figuur 19). Deze verhouding is echter alleen geldig op diep water. In de Waddenzee is dit verschil gemiddeld geen 10% maar 24% (Van Nieuwkoop [2017]). Uit SWAN volgt bij de Lauwersmeerdijk een verschil van gemiddeld 19% (range 6% tot 44% - zie ook Bijlage B).

Vanwege bovenstaande reden stellen wij voor de Tp afzonderlijk toe te voegen aan de database op basis van de bijgestelde factor 1,20. Dit verlengt de periode zodat deze past bij de karakteristieken van het gebied. Als gevolg hiervan worden de golfsteilheden lager.

N.B. Een hogere piekperiode heeft geen invloed op de benodigde kruinhoogte van de dijk. Voor de bepaling van het HBN wordt immers de spectrale golfperiode (Tm-1,0) gebruikt. Een hogere piekperiode heeft wel effect op het bekledingsontwerp van een dijk.

2.3. Invloed van morfologische veranderingen op de hydraulische belastingen

De WBI-database met golfparameters is in 2011 tot stand gekomen. De bodem in het gebruikte SWAN-model is gebaseerd op bodemmetingen (vaklodingen) uit 2006. Inmiddels, 14 jaar verder, zijn er morfologische veranderingen opgetreden in het gebied voor het dijktraject Lauwersmeerdijk – Vierhuizergat. De geul Vierhuizergat is dieper geworden, en ligt dichter tegen de dijk aan. De (naamloze) ondiepe geul die de wadplaat voor locatie 3 uit Figuur 8 in snijdt, heeft zich enigszins teruggetrokken in de periode 2006-2019.

Om die reden zijn enkele karakteristieke SWAN-berekeningen uit 2011 herhaald met de bodem van 2019. De resultaten van deze berekeningen zijn opgenomen in bijlage B. Het bleek dat de golfhoogte en golfperiode beide iets lager zijn in de berekeningen met de bodem van 2019 ten opzichte van de oorspronkelijke berekeningen uit 2011, met een bodem uit 2006. De afname bedraagt slechts ca. 0,05 m op de golfhoogte en ca. 0,1 s op de golfperiode.

Er zijn geen redenen om te veronderstellen dat de morfologische situatie in de komende 50 jaar zich in een fundamenteel andere richting zal gaan ontwikkelen dan in de afgelopen 14 jaar. Het is daarom een voldoende nauwkeurige en daarnaast robuuste keuze om de WBI2017-database met rekenresultaten uit 2011 (en bodem uit 2006) als uitgangspunt te blijven gebruiken.

2.4. Indicatieve impact op de kosten

Voor de landelijke dijk is voor beide alternatieven voor twee dijkpalen de indicatieve impact op de directe bouwkosten (kosten zonder opslagen) onderzocht door een wijziging in het benodigd HBN. Deze dijkpalen zijn zo gekozen dat ze representatief/kenmerkend zijn voor twee dijktrajecten; dijkpaal 87.9 is representatief gesteld voor het traject dp89.0 t/m dp85.0 en dijkpaal 83.3 is representatief gesteld voor traject dp85.0 t/m 82.0. De resultaten zijn in weergegeven in Tabel 1. De rekenresultaten zijn in detail opgenomen in Bijlage E.

Het valt op dat de impact op de kosten minimaal is. Dit komt doordat de kosten van het harde bekledingsontwerp op het buitentalud dominant zijn. De benodigde zetsteendikte kan wijzigen bij een andere rekeninstelling, maar de extra kosten voor een eventueel dikkere steen zijn minimaal. De indicatieve zetsteendikte is bepaald voor het zetsteentype Basalton+[1] , de resultaten zijn ook opgenomen in Tabel 1.
De meerkosten van kleine extra kruinverhogingen en een iets zwaarder bekledingsontwerp zijn dus nagenoeg verwaarloosbaar klein. In een enkel geval, vervalt bij een lager benodigde HBN net een hoogte-opgave en daarmee dus ook een extra opgave aan het binnentalud. In zo'n geval nemen de directe bouwkosten wel sterk af. Dit verklaart het kostenverschil bij binnenwaarts glad voor dijkpaal 87.9 zonder modelonzekerheden (-23%) tussen de andere rekeninstellingen.
Het alternatief binnenwaarts ruw kent een duurder bekledingsontwerp op het buitentalud dan alternatief binnenwaarts glad, maar is doordat de huidige kruinhoogte in veel gevallen al voldoet of slechts beperkt hoeft te worden verhoogd, vaak wel goedkoper dan alternatief binnenwaarts glad. Dit verschil is vooral bij dijkpaal 87.9 (representatief voor traject dp89.0 t/m dp85.0) zichtbaar

N.B. In de kostenbeschouwing is verondersteld dat het huidige binnentalud zonder het toepassen van erosiebestendige maatregelen bestand is tot een golfoverslagdebiet van 10 l/s/m.

[1] De keuze voor het type zetsteen dient in de planuitwerking te worden onderzocht.

Tabel 1: Kostenimpact van de vijf rekeninstellingen hydraulische belastingen

Dwarsprofiel	Overslagdebiet	Alternatief	Directe kost	verschil	kruinhoogte m tov [NAP]	zetsteendikte
87.9 zonder modelonzekerheden	5 l/s/m	glad	€ 3,012.51	-23%	8.35	30cm
87.9 met modelonzekerheden	5 l/s/m	glad	€ 3,904.97	basis	8.46	35cm
87.9 bias correctie	10 l/s/m	glad	€ 3,917.92	0%	8.39	35cm
87.9 bias correctie + 37%correlatie	10 l/s/m	glad	€ 3,926.20	1%	8.5	40cm
87.9 bias correctie + 100%correlatie	10 l/s/m	glad	€ 3,917.33	0%	8.65	40cm
83.7 zonder modelonzekerheden	5 l/s/m	glad	€ 4,107.69	-1%	8.09	30cm
83.7 met modelonzekerheden	5 l/s/m	glad	€ 4,151.06	basis	8.16	35cm
83.7 bias correctie	10 l/s/m	glad	€ 4,119.36	-1%	8.1	35cm
83.7 bias correctie + 37%correlatie	10 l/s/m	glad	€ 4,250.12	2%	8.2	35cm
83.7 bias correctie + 100%correlatie	10 l/s/m	glad	€ 4,366.19	5%	8.32	35cm
87.9 zonder modelonzekerheden	5 l/s/m	Ruw	€ 3,396.06	-1%	7.95	30cm
87.9 met modelonzekerheden	5 l/s/m	Ruw	€ 3,443.51	basis	8.06	35cm
87.9 bias correctie	10 l/s/m	Ruw	€ 3,443.51	0%	8.01	35cm
87.9 bias correctie + 37%correlatie	10 l/s/m	Ruw	€ 3,496.30	2%	8.12	40cm
87.9 bias correctie + 100%correlatie	10 l/s/m	Ruw	€ 3,496.30	2%	8.25	40cm
83.7 zonder modelonzekerheden	5 l/s/m	Ruw	€ 3,994.16	-1%	7.72	30cm
83.7 met modelonzekerheden	5 l/s/m	Ruw	€ 4,023.62	basis	7.79	35cm
83.7 bias correctie	10 l/s/m	Ruw	€ 4,033.74	0%	7.75	35cm
83.7 bias correctie + 37%correlatie	10 l/s/m	Ruw	€ 3,995.99	-1%	7.83	35cm
83.7 bias correctie + 100%correlatie	10 l/s/m	Ruw	€ 3,971.98	-1%	7.95	35cm

2.5. Conclusies hydraulische belastingen

Voor het vaststellen van de hoogteopgave worden de volgende uitgangspunten toegepast:

- Toepassing van database fysica die gecorrigeerd is voor het 'gat' in het waterstandsveld en waar alleen wordt uitgegaan van het G4 -model uit WTI2011. Dit betekent dat de inhoud van de database ten oosten van dijkpaal 84.3 is gecorrigeerd (uitvoerlocaties WZ_1_6-5_dk_00052 t/m WZ_1_6-5_dk_00062).
- Lange golfperiodes leiden tot een hoger HBN dan korte golven. Het meenemen van (te) hoge golfsteilheden of negeren van lange golven, is fysisch niet juist en leidt tot een ontwerp met een verhoogd risico op onvoorzien vroegtijdig afkeuren. Door te kiezen voor een HBN op basis van de biascorrectie en volledig gecorreleerde modelonzekerheden sluiten we zo dicht mogelijk aan op de gevonden golfsteilheden uit SWAN.
- De keuze voor een HBN met bias correctie en volledige gecorreleerde modelonzekerheid is niet tot verwaarloosbaar duurder (<5% bij binnenwaarts glad en <2% bij binnenwaarts ruw) dan de andere alternatieven ter bepaling van het HBN die zijn onderzocht.
- De piekperiode (T_p) wordt expliciet in de database fysica opgenomen op basis van de SWAN uitvoer. Er wordt geen gebruik gemaakt van de vaste verhouding van $T_p = 1{,}1 * T_{m-1,0}$. Op deze manier wordt recht gedaan aan het feit dat de verhouding bij de Lauwersmeerdijk tussen 1,1 en 1,4 ligt, en ruimtelijk varieert

Rondom de bepaling van de hydraulische belastingen en de hoogteopgave spelen daarnaast onderstaande punten. In de keuze voor het VKA worden onderstaande overwegingen meegenomen in het kader van de robuustheid en toekomstbestendigheid van het ontwerp.

- SWAN onderschat de doordringing van laagfrequente golven richting de kust, en daarmee de golfperiode (en overschat dus de steilheid). Het is onzeker of langere golven daadwerkelijk zo sterk vanuit de geulen naar de plaatranden bewegen, zoals voorspeld door SWAN. Het is waarschijnlijk dat kennisontwikkeling op dit punt leidt tot lagere in plaats van hogere golfsteilheden dan nu gehanteerd in het ontwerp. Dit leidt vervolgens tot een hoger HBN.
- De ontwikkeling van het klimaat is erg onzeker. Het klimaatscenario W+ (o.b.v. KNMI'06) bevindt zich weliswaar aan de bovenkant van de reële bandbreedte van de onzekerheid die destijds is ingeschat, maar recent onderzoek bestempeld ongunstigere scenario's niet als onmogelijk (KNMI [2017] en Deltares [2018]). Deze ongunstige elementen hebben nog geen

expliciete plek gekregen in het huidige ontwerp, omdat dit mogelijk leidt tot het stapelen van ongunstige aannames.

- De golfsteilheid met biascorrectie en volledig gecorreleerde modelonzekerheden sluit zo dicht mogelijk aan op de gevonden golfsteilheden uit SWAN. De aanname van volledige correlatie tussen de modelonzekerheden (100%) is theoretisch niet te onderbouwen (hier is immers een correlatie van 37% aangetoond – zie Smale [2019]). Het zou fundamenteel passender zijn om de correlatie van 37% toe te passen in combinatie met een biascorrectie die specifiek is afgeleid voor dit dijktraject. Omdat er geen onderzoek beschikbaar is om een alternatieve biascorrectie op te baseren zijn de modelonzekerheden volledig gecorreleerd aangenomen. Hiermee wordt immers hetzelfde effect bereikt, namelijk een golfsteilheid in de ontwerpberekening die zo dicht mogelijk aansluit bij de uitkomsten van SWAN.
- In de (nabije) toekomst wordt door RWS-WVL en Deltares een verlaging van de hydraulische belastingen verwacht als gevolg van aanpassingen aan de basispeilen en extreme-waarden statistiek voor de windsnelheid.
- In voorliggende analyse is uitgegaan van de huidige kruinhoogte. Deze wordt als gevolg van bodemdaling naar verwachting 10 cm lager (periode 2023 – 2075).
- Een verkennende analyse laat zien dat de basissituatie zoals is opgenomen in de database fysica (gebaseerd op bodemgegevens uit 2006) eerder gunstig in plaats van ongunstig veranderen. Toepassing van de bodemhoogte uit 2019 in plaats van 2006 zorgt bij het huidige klimaat namelijk voor een verlaging van het HBN van circa 5-10 cm.

3. Kritische overslagdebiet

3.1. Aanleiding

Voor vaststelling van de ontwerpopgave van het HWBP project Lauwersmeerdijk – Vierhuizergat moet een keuze worden gemaakt voor het toe te passen kritieke golfoverslagdebiet. Het HWBP programma stelt projecten vanaf voorjaar 2020 verplicht een expliciete keuze voor het wel of niet toepassen van het probabilistisch overslagdebiet. Vooruitlopend hierop is de keuze voor het toe te passen kritische overslagdebiet meermaals binnen het HWBP project Lauwersmeerdijk Vierhuizergat onderbouwd. Vanwege onzekerheden in de toekomstige hydraulische randvoorwaarden (HR na 2023) heeft het waterschap in de zomer van 2019 de keuze gemaakt de verkenningsfase te doorlopen met ontwerpverkenningen die uitgingen van een overslagdebiet van 5 l/m/s. In het 3^{e} kwartaal van 2019 is er daarbij aanvullend onderzoek gedaan naar de kwaliteit van de binnendijkse kleilaag voor het traject Landelijke dijk. De kleilaag is van matige kwaliteit en van beperkte dikte (gemiddeld circa 60cm inclusief toplaag).

Deltares en het HWBP heeft het projectteam gevraagd de keuze voor het overslagdebiet te heroverwegen middels een probabilistische bebouwing. Hiermee wordt ook invulling gegeven aan het KPR-advies ‘Ontwerpen met kansverdelingen voor kritieke overslagdebieten’ (KPR [2019]). In november 2019 (in het reviewgesprek met Deltares en het HWBP) zijn de eerste resultaten van deze analyse besproken. Er is toen nog geen consensus bereikt over het te hanteren kritieke golfoverslagdebiet. De keuze van het kritieke overslagdebiet dient namelijk gemaakt te worden in samenhang met andere keuzes over de hydraulische belastingen, bijvoorbeeld gerelateerd aan nieuwe inzichten en kennisonzekerheden. Deze beschouwing is nu afgerond, zie ook hoofdstuk 2.

In dit hoofdstuk wordt de invloed van het kritische overslagdebiet beschouwd op de aspecten (1) omvang van de hoogteopgave, (2) interactie met geotechnische faalmechanismen en (3) kosten.

N.B. De keuze voor het golfoverslagdebiet heeft geen versterkende of reducerende invloed op het bekledingsontwerp op het buitentalud. De keuze voor een bepaald golfoverslagdebiet kan wel invloed hebben op het bekledingsontwerp op het binnentalud van de dijk.

3.2. Huidige waterkering en type overgangen

In de verkenningsfase is aangetoond dat voor zowel traject Landelijke dijk als traject Haven (zie Variantennota) het goed mogelijk is om met relatief weinig maatregelen aan het binnentalud de dijk te versterken, ook bij keuze van een relatief laag overslagdebiet (5 l/s/m). Bij het toestaan van een hoger overslagdebiet wordt de benodigde kruinverhoging lager en kan deze zelfs vervallen. Echter het toestaan van meer overslag over de dijk dient wel veilig te zijn. Bij een probabilistische analyse wordt aan de hand van de kwaliteit van de overgangen (de zwakste plekken in de dijk) bepaald welke mate van golfoverslag toelaatbaar mag worden geacht.
Er is daarom gestart om een inschatting te maken van de kwaliteit van de overgangen. Deze inschatting wordt gebruikt als input voor kostenschattingen.

Landelijke dijk

Op het landelijke deel van de Lauwersmeerdijk is voor het grootste deel sprake van een groene dijk met een goed onderhouden grasmat/ grasmat met gesloten zode (Figuur 20). Aan de binnenzijde ligt een onderhoudsweg en staat een hekwerk vanwege de begrazing door schapen. De klei op het bovenbeloop (rechts van de onderhoudsweg in Figuur 20) is zandig en is geclassificeerd als matig erosiebestendig, deze voldoet het hele traject net aan de kwaliteitseisen voor erosiebestendigheid (lutumgehalte <20%)[2]. De dikte van de kleilaag op het binnentalud varieert tussen de 0,3 m en 0,8 m. Op de binnenberm is geen klei aanwezig aan de binnenzijde van de asfaltverharding. Op basis van de beschrijvingen Deltares [2015] hebben wij ingeschat dat hier sprake is van een **gemiddelde tot geometrische overgang.** Er is namelijk sprake van een ononderbroken binnentalud met een gesloten zode en een (zandige) kleilaag. Vanwege de onderhoudsweg en het hekwerk is geen sprake van een zuiver geometrische overgang. Zulke objecten kunnen namelijk schade initiëren.

Langs het landelijke deel van de Lauwersmeerdijk is sprake van een uniform beeld. Bij dijkpaal 86.5 is de enige uitzondering daarop aanwezig. Hier is namelijk sprake van een dijkovergang die geclassificeerd is als een worst-case overgang (zie Figuur 21). Deze dijkovergang is niet beschouwd.

[2] Deze conclusie is gebaseerd op de rapportage “Aanvullende conditionerende onderzoeken Lauwersmeerdijk” van november 2019, waarbij 17 kleimonsters zijn onderzocht. Het wordt aanbevolen deze conclusie te staven in de planuitwerkingsfase door meer kleimonsters te nemen en te onderzoeken.

Figuur 20: Foto landelijke deel van de Lauwersmeerdijk – foto bij dijkpaal 84.0.

Figuur 21: Foto dijkovergang op het landelijke deel van de Lauwersmeerdijk – foto bij dijkpaal 86.5.

In de haven van Lauwersoog loopt een provinciale weg (N-361) over de kruin van de dijk tussen dijkpaal 89.6 en 91.0 (bij de Cleveringsluizen). Daarnaast is er sprake van veel dijkmeubilair en is er geen kleilaag op de kruin en het binnentalud aanwezig (zie Figuur 22). Ook is de grasmat slecht/heeft een open zode. In het meest gunstige geval is hier sprake van een **worst-case overgang**.

Tussen dijkpaal 89.5 en 89.2 loopt de provinciale weg met fietspad binnenwaarts van de kering. De waterkering vertoont hier een zelfde beeld als het grootste deel van de landelijke dijk. Op deze locaties is daarom ook sprake van een gemiddelde tot geometrische overgang. Echter op dit deel van het traject is er geen hoogte-opgave.

Figuur 22: Kruin haven Lauwersoog – foto binnentalud bij dijkpaal 90.2.

Figuur 23: Dijkmeubilair in de haven van Lauwersoog – foto binnentalud bij dijkpaal 90.0.

3.3. Uitgevoerde gevoeligheidsanalyses kruinhoogte

De hoogte-opgave is in kaart gebracht voor verschillende kritieke overslagdebieten:

- Deterministisch kritiek overslagdebiet van 5 l/s/m (uitgangspunt Variantennota)
- Deterministisch kritiek overslagdebiet zoals beschreven in het OI2014v4. Voor de Lauwersmeerdijk is dit gelijk aan 10 l/s/m.
- Het probabilistische overslagdebiet zoals beschreven in KPR [2019] voor verschillende type overgangen:

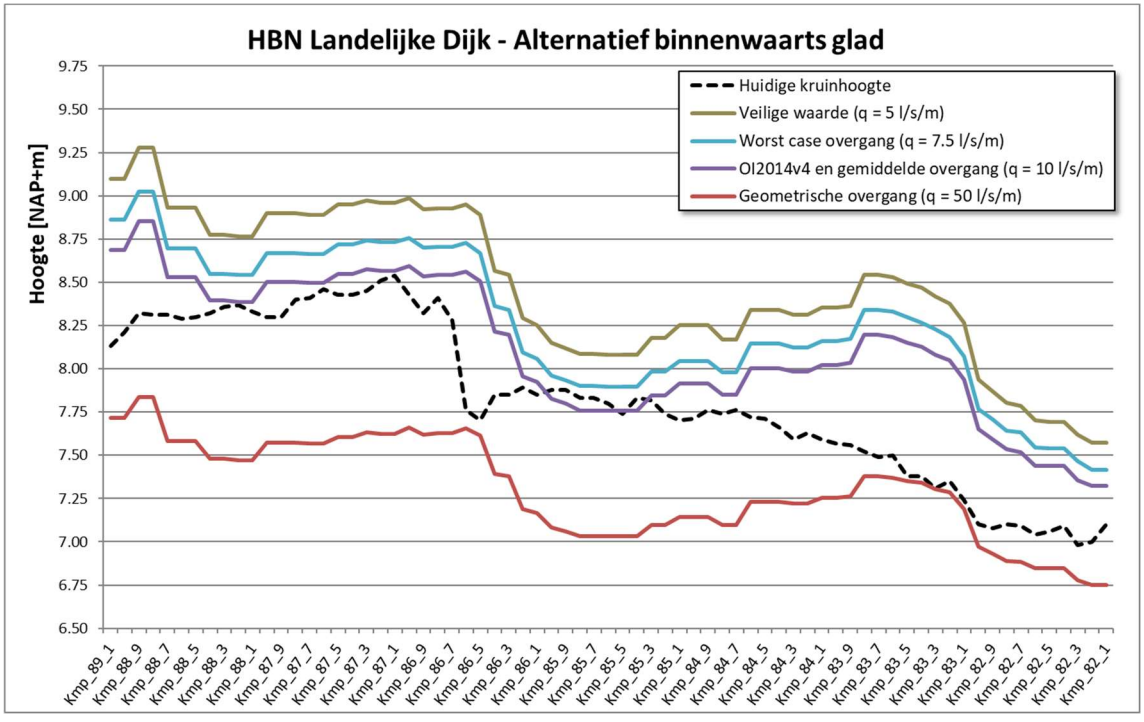
- Worst case overgang (van toepassing voor Haven)
- Gemiddelde overgang (van toepassing voor Landelijke Dijk)
- Geometrische overgang (mogelijk met aanvullende maatregelen van toepassing voor Landelijke dijk)
- Het type 'geen overgang' uit KPR [2019] is niet beschouwd omdat langs de Lauwersmeerdijk altijd op zijn minst sprake is van een geometrische overgang.

Om een vergelijking te maken tussen het probabilistische overslagdebiet conform KPR [2019] en het deterministische debiet uit het OI2014v4 is het probabilistische debiet vertaald naar een deterministisch debiet zodanig dat dit leidt tot eenzelfde HBN[3]. Hieruit blijkt dat:

- Een worst case overgang komt langs de landelijke dijk overeen met een deterministisch overslagdebiet van ordegrootte 7,5 l/s/m en voor het haventraject met een deterministisch overslagdebiet van ordegrootte 5 l/s/m ;
- Een gemiddelde overgang komt voor zowel de landelijke dijk als voor de havendijk overeen met een deterministisch overslagdebiet van ordegrootte 10 l/s/m;
- Een geometrische overgang komt langs de landelijke dijk overeen met een deterministisch overslagdebiet van ordegrootte 50 l/s/m en voor het haventraject met een deterministisch overslagdebiet van ordegrootte 60 l/s/m;

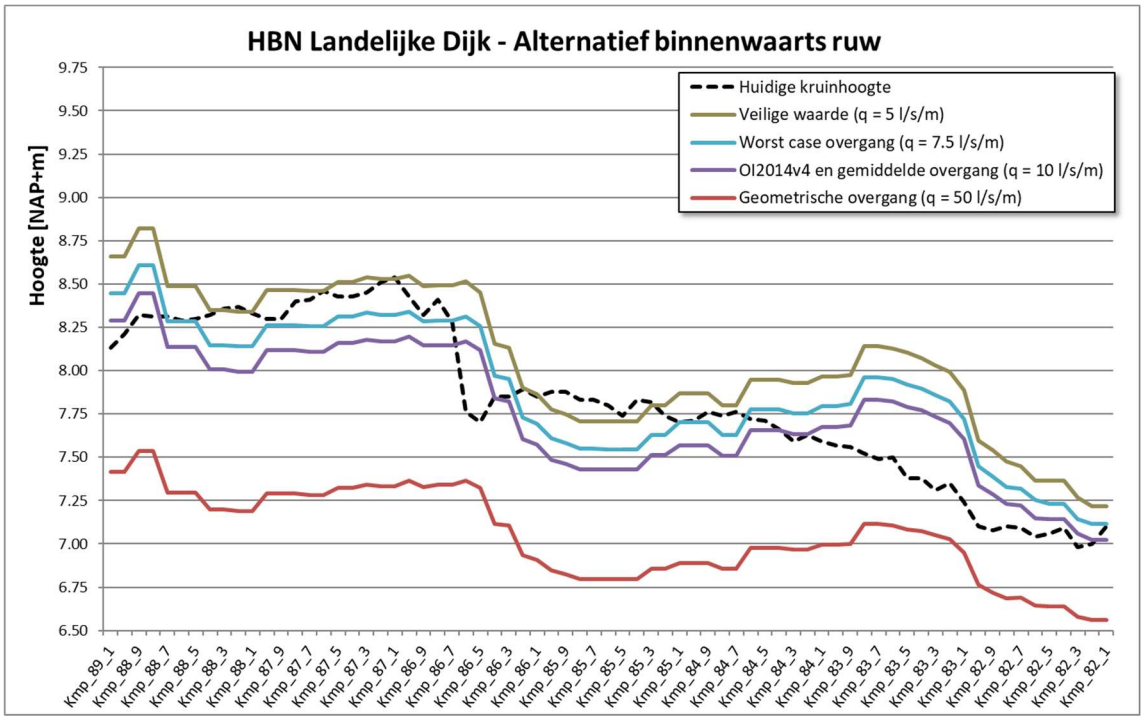
Deze representatieve overslagdebieten zijn gebruikt in het vervolg van de analyse.

Figuur 24 en Figuur 25 laat het effect van de verschillende kritische overslagdebieten op het HBN zien voor de twee versterkingsalternatieven voor de landelijke dijk. Hierbij wordt opgemerkt dat in Hoofdstuk 2 de toegepaste hydraulische belastingen en wijzingen op de standaard WBI2017 database zijn onderbouwd (zie paragraaf 2.1). In dit hoofdstuk wordt gebruikt gemaakt van de gecorrigeerde database (bias-correctie).



[3] Ten tijde van de analyse was de najaarsrelease van Riskeer nog niet beschikbaar waardoor dit nodig was om de ontwerpkruinhoogte voor 2075 o.b.v. het probabilistische debiet te bepalen. Hierdoor is het herzien van de analyse op basis van de nieuwe versie van Riskeer niet nodig.

Figuur 24: HBN in 2075 bij verschillende keuzes voor het kritiek overslagdebiet – alternatief binnenwaarts glad.

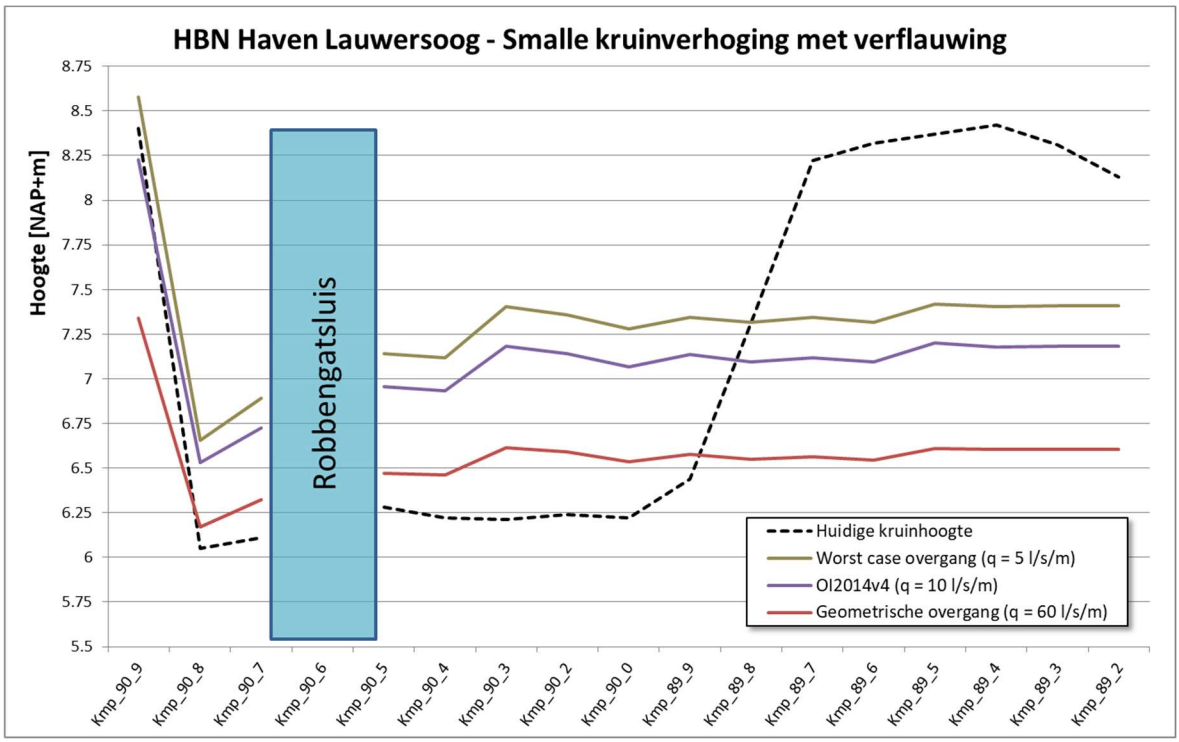


Figuur 25: HBN in 2075 bij verschillende keuzes voor het kritiek overslagdebiet – alternatief binnenwaarts ruw.

Wat betreft de impact op de hoogteopgave voor de landelijke dijk merken we op dat:

- Het HBN is bij een worst-case overgang (q = 7,5 l/s/m) op de landelijke dijk gemiddeld 15 cm hoger dan conform het OI2014v4 (q = 10 l/s/m) een gemiddelde overgang (q = 10 l/s/m).
- Bij toepassing van een geometrische overgang (q = 50 l/s/m) is het HBN 70 cm lager dan conform het OI2014v4 (q = 10 l/s/m) en voldoet de huidige kruinhoogte volledig.
- Alleen als kan worden uitgegaan van een geometrische overgang is er geen sprake van een significante hoogteopgave bij de variant binnenwaarts glad (Figuur 24). Bij de andere drie criteria voor het overslagdebiet is voor de variant binnenwaarts glad altijd sprake van een opgave. Voor de variant binnenwaarts ruw (Figuur 25) geldt hetzelfde, al is de omvang ten opzicht van de variant binnenwaarts glad een stuk geringer.

Figuur 26 laat zien dat er structureel sprake is van een hoogteopgave in de haven van Lauweroog van dijkpaal 90.9 t/m 89.8. De HBN-verschillen tussen de verschillende keuzes voor het overslagdebiet zijn over het algemeen iets beperkter dan voor de landelijke dijk.



Figuur 26: HBN in 2075 bij verschillende keuzes voor het kritiek overslagdebiet – alternatief smalle kruinverhoging.

3.4. Interactie met andere faalmechanismen

De mate van golfoverslag heeft ook invloed op andere faalmechanismen dan GEKB. Voorbeelden zijn macrostabiliteit (STBI) en het afschuiven van gras op het binnentalud (GABI). Analyses waarbij infiltratie een rol speelt zijn erg onzeker van aard omdat de ligging van de freatische lijn bij significante golfoverslag lastig vast te stellen is. Daarom wordt in deze beschouwing onderscheid gemaakt in twee scenario's:

1. Overslagdebiet met beperkte omvang. Hieronder valt het overslagdebiet op basis van de worst-case en de gemiddelde overgang op de landelijke dijk (q = 5 tot q= 10 l/s/m) en het overslagdebiet op basis van het OI2014v4 (q = 10 l/s/m).
2. Hoge overslagdebieten in de orde van 40-60 l/s/m. Dit is het overslagdebiet passend bij een geometrische overgang op de landelijke dijk.

Ondanks onzekerheden ten aanzien van (beheer en onderhoud) van de grasbekleding en ligging van de freatische lijn bij infiltratie, is in Bijlage A op basis van gevoeligheidsanalyses aangetoond dat bij overslagdebieten in de orde van 5-10 l/s/m geen sprake is van negatieve beïnvloeding van de overige geotechnische mechanismen. De volledige analyse is opgenomen in Bijlage A.

Bij een dijkontwerp waarbij een hoog overslagcriterium van 40-60 l/s/m wordt gehanteerd, is de belasting (stroomsnelheden, tijdsduur belasting, hoeveelheid infiltrerend water, etc.) op de dijk groter. Derhalve worden zwaardere eisen aan de verschillende onderdelen van de dijk gesteld. Op basis van de analyse in Bijlage A is met betrekking tot de relevante geotechnische faalmechanismen laten zien dat:

- De grasmat tenminste over de kwalificatie "goed" moet beschikken. Dit houdt in dat het beheer en onderhoud van de grasmat dusdanig dient te zijn dat er daadwerkelijk sprake is van een goede grasmat. Ook moeten schades zoals ten gevolge van graverij of droogte met voldoende zekerheid kunnen worden uitgesloten. Het toelaten van begrazing door schapen op kruin en binnentalud is discutabel in verband met het ontstaan van looppaadjes;

- De ontwikkeling van de freatische lijn bij een dergelijk groot overslagdebiet omvat een grote mate van onzekerheid. Modelmatig (MSeep) ligt de berekende freatische lijn net onder de maximaal toelaatbare waterdruk voor opdrukken van de kleilaag. Gezien de onzekerheden in de daadwerkelijke ligging van de freatische lijn onder maatgevende condities, kan instabiliteit van het talud en/of de bekleding niet worden uitgesloten.

In het geval van schade aan het binnentalud (grasmat, macrostabiliteit en/of deklaag) wordt de reststerkte van de kern en/of deklagen van de dijk aangesproken. Op basis van de POV-M notitie wordt vastgesteld dat voor overslagdebieten groter dan q = 10 l/m/s onvoldoende kennis en ervaring voorhanden is om hier een uitspraak over te doen.

Op basis hiervan wordt gesteld dat een ontwerp op basis van hoge overslagdebieten onvoldoende kan worden onderbouwd zonder aanvullende maatregelen te treffen. Daarbij is de Lauwersmeerdijk een zanddijk met een dunne en matige kleilaag op het binnentalud met weinig reststerkte. Om deze redenen zullen bij een hoog overslagdebiet aanvullende maatregelen aan kruin en/of binnentalud van de Lauwersmeerdijk noodzakelijk zijn. In deze analyse is gekozen dat deze maatregel bestaat uit het aanbrengen van erosiebestendige kleilaag van 1m dikte op het binnentalud en de binnenberm.

3.5. Indicatieve impact op de ontwerpkosten

Voor de landelijke dijk is voor beide alternatieven voor twee dijkpalen de indicatieve impact van de hantering van een wisselend kritiek overslagdebiet op de directe bouwkosten (kosten zonder opslagen) onderzocht. Deze dijkpalen zijn zo gekozen dat ze representatief/kenmerkend zijn voor twee dijktrajecten; dijkpaal 87.9 is representatief gesteld voor het traject dp89.0 t/m dp85.0 en dijkpaal 83.3 is representatief gesteld voor traject dp85.0 t/m 82.0. Voor de havendijk is gekozen om voor het alternatief smalle kruinverhoging deze analyse uit te voeren bij dijkpaal 90.0. Dit alternatief is toepasbaar over een lengte van circa 1km van het haventraject (zie voor onderbouwing Figuur 27).

De resultaten van de kostenvergelijking zijn weergegeven in Tabel 2. De rekenresultaten zijn in detail opgenomen in Bijlage E. Een hoger overslagdebiet heeft geen effect op het ontwerp van de bekleding op het buitentalud.

Het valt op dat de impact op de kosten alleen significant zijn als een kruinverhoging en daarmee een binnenwaartse verplaatsing/opgave wegvalt. Het toestaan van hogere overslagdebieten (bijvoorbeeld behorend bij een geometrische overgang) leiden niet altijd tot een kostenbesparing. Dit komt 1. doordat bij een lager overslagdebiet vaak al geen kruinverhoging meer nodig is en de stap naar een geometrische overgang heeft in dat geval weinig zin of 2. de kosten om het binnentalud overslagbestendig te maken, nemen het kostenvoordeel van een lagere kruinhoogte weg. Hierbij is aangenomen dat alleen bij een kritiek overslagdebiet hoger dan 10 l/s/m erosiebestendige klei aangebracht dient te worden op het binnentalud. Het overslagdebiet dat optreedt voor zichtjaar 2075 bij de huidige kruinhoogte is weergegeven in Figuur 14.

Voor het alternatief binnenwaarts glad wordt bij dijkpaal 87.9 een grote kostenreductie berekend voor een geometrische overgang (-23%). Het overslagdebiet bij de huidige kruinhoogte is circa 18 l/s/m. Hierdoor hoeft bij het hanteren van een geometrische overgang de huidige dijk dus niet omhoog en tevens is aangenomen dat de huidige kleilaag op het binnentalud deze belasting aan zou moeten kunnen. Opgemerkt moet worden dat over een lengte van circa 500m in het traject dp89.0 t/m dp85.0 het kritieke overslagdebiet wel hoger is dan 20 l/s/m. Hier zullen

waarschijnlijk wel extra maatregelen nodig zijn aan het binnentalud, dus een kostenreductie van -23% over het gehele traject lijkt zeer waarschijnlijk onhaalbaar.

Voor het dijktraject dp85.0 t/m dp 82.0 wordt bij alternatief binnenwaarts glad de grootste kostenreductie (-14%) berekend bij een golfoverslagdebiet van 10 l/s/m (gemiddelde overgang). Het kostenvoordeel van een geometrische overgang valt hier tegen, omdat is aangenomen dat een goed erosiebestendige kleilaag moet worden aangelegd worden op het binnentalud. De werkelijke overslagdebieten bij de huidige kruinhoogte lopen hier immers op tot circa 50 l/s/m.

Voor het alternatief binnenwaarts ruw wordt bij dijkpaal 87.9 tussen een worst case overgang (7,5 l/s/m), een gemiddelde overgang (10 l/s/m) en een geometrische overgang (50 l/s/m) een gelijke kostenreductie berekend (-19%). Het overslagdebiet bij huidige kruinhoogte is circa 7,5 l/s/m. Het hanteren van een hoger ontwerp-overslagdebiet levert bij dit alternatief voor deze strekking (dp89.0 t/m dp85.0) dus geen kostenvoordeel op.

Voor het dijktraject dp85.0 t/m dp 82.0 wordt bij alternatief binnenwaarts ruw een gelijke kostenreductie (-2%) berekend bij worst-case overgang en een gemiddelde overgang. Het kostenvoordeel van een geometrische overgang vervalt hier volledig, er worden zelfs meerkosten berekend (+16%), omdat is aangenomen dat een goed erosiebestendige kleilaag moet worden aangelegd worden op het binnentalud. De werkelijke overslagdebieten bij de huidige kruinhoogte lopen hier immers op tot boven de 20 l/s/m.

Voor het haventraject leidt het hanteren van een hoog overslag debiet (60 l/s/m bij een geometrische overgang) tot significante meerkosten, omdat de gehele kruin en binnentalud dan overslagbestendig gemaakt dient te worden. De kostenverschillen tussen een worst-case overgang (5 l/s/m) en een gemiddelde overgang (10 l/s/m) zijn minimaal geraamd. Hierbij is echter aangenomen dat er geen aanvullende erosiebestendige maatregelen in vergelijking met 5 l/s/m nodig zijn op de kruin van de dijk bij het hanteren van 10 l/s/m.

Tabel 2: Kostenimpact van verschillende kritieke golfoverslagdebieten

Alternatief	Directe kosten per m1	verschil	kruinhoogte m tov [NAP]	zetsteendikte
Binnenwaarts glad 5 l/s/m - dijkpaal 87.9	€ 4,054.96	basis		40cm
Binnenwaarts glad worstcase (7,5 l/s/m) - dijkpaal 87.9	€ 3,908.07	-4%	8.67	40cm
Binnenwaarts glad Gemiddeld (10 l/s/m) - dijkpaal 87.9	€ 3,927.47	-3%	8.5	40cm
Binnenwaarts glad Geometrisch (50 l/s/m) - dijkpaal 87.9	€ 3,112.75	-23%	7.57	40cm
Binnenwaarts glad 5 l/s/m - dijkpaal 83.7	€ 4,501.28	basis	8.54	35cm
Binnenwaarts glad worstcase overgang (7,5 l/s/m) - dijkpaal 83.7	€ 4,338.91	-4%	8.34	35cm
Binnenwaarts glad gemiddeld overgang (10 l/s/m) - dijkpaal 83.7	€ 3,835.75	-15%	8.2	35cm
Binnenwaarts glad geometrisch overgang (50 l/s/m) - dijkpaal 83	€ 4,284.98	-5%	7.38	35cm
Binnenwaarts ruw (5 l/s/m) - dijkpaal 87.9	€ 4,323.65	basis	8.47	40cm
Binnenwaarts ruw worstcase (7,5 l/s/m) - dijkpaal 87.9	€ 3,496.30	-19%	8.26	40cm
Binnenwaarts ruw gemiddeld (10 l/s/m) - dijkpaal 87.9	€ 3,496.30	-19%	8.12	40cm
Binnenwaarts ruw geometrisch (50 l/s/m) - dijkpaal 87.9	€ 3,496.30	-19%	7.29	40cm
Binnenwaarts ruw (5 l/s/m) - dijkpaal 83.7	€ 4,036.23	basis	8.14	35cm
Binnenwaarts ruw worst case (7,5 l/s/m) - dijkpaal 83.7	€ 3,939.50	-2%	7.96	35cm
Binnenwaarts ruw gemiddeld (10 l/s/m) - dijkpaal 83.7	€ 3,959.21	-2%	7.83	35cm
Binnenwaarts ruw geometrisch (50 l/s/m) - dijkpaal 83.7	€ 4,686.74	16%	7.11	35cm
Haven grondoplossing (5 l/s/m) - dijkpaal 90.0	€ 1,397.53	basis	7.28	20cm
Haven grondoplossing worstcase (5 l/s/m) - dijkpaal 90.0	€ 1,397.53	0%	7.28	20cm
Haven grondoplossing gemiddeld (10 l/s/m) - dijkpaal 90.0	€ 1,385.22	-1%	7.07	20cm
Haven grondoplossing geometrisch (60 l/s/m) - dijkpaal 90.0	€ 1,853.15	33%	6.54	20cm

3.6. Conclusie

Haven Lauwersoog

- Binnen de haven van Lauwersoog dient ten alle tijden maatwerk te worden gehanteerd, omdat sprake is van een ruimtelijk complexe situatie (zie Figuur 27):
    - Voor de locaties waar de reguliere ontwerpen (smalle kruinverhoging met taludverflauwing en inkassing talud met verticale wand) inpasbaar zijn wordt een **kritiek overslagdebiet van 5 l/s/m** gehanteerd in combinatie met een gesloten grasmat op 80 cm klei. Dit zijn de locaties #3, #5b en #7 in Figuur 27.
    - Op locaties waar de reguliere ontwerpen niet inpasbaar zijn, wordt maatwerk gehanteerd. Op de locaties #1, #2, #6 en #8 is geen sprake van een hoogte-opgave. Bij de Robbengatsluis (locatie #4) wordt de dijk overslagbestendig gemaakt; andere versterkingsalternatieven zijn hier nagenoeg onmogelijk. Bij het Informatie Paviljoen (locatie #5a) is door een gebrek aan ruimte alleen het alternatief met een verticale wand goed toepasbaar. Zie voor nadere toelichting de notitie kansrijke alternatieven RHDHV & HKV [2019b].

Bij de haven van Lauweroog wordt in de basis gekozen voor een kritiek overslagdebiet van 5 l/s/m **(worst-case overgang)** vanwege het grote aantal overgangen als gevolg van fietspaden en de provinciale weg, bijbehorende objecten zoals verkeerborden en lantaarnpalen en aanwezige dijkmeubilair. Daarnaast merken wij op dat de huidige kruin (onverharde delen) en het binnentalud geen kleilaag bevat en de grasmat slecht tot afwezig is. Door uit te gaan van een overslagdebiet van 5 l/s/m is de mate van overslag dusdanig klein dat de kruin alleen over 5 m lengte (in het dwarsprofiel) overslagbestendig moet worden gemaakt (door aanleg van bijv. een kleilaag). Daarmee hoeft deze maatregel niet op het hele binnentalud uitgevoerd te worden. Toepassing van een hoger overslagdebiet dan 5 l/s/m neemt de hoogteopgave niet weg en werkt op die locaties kostenverhogend omdat er extra werkzaamheden nodig zijn om de gehele kruin en binnentalud overslagbestendig te maken.

Figuur 27: Overzicht van de maatwerk locaties in de haven van Lauwersoog. Dit zijn de locaties #1, #2, #4 en #6.

Landelijke dijk

Op het landelijke deel van de Lauwersmeerdijk wordt een kritiek overslagdebiet van **10 l/s/m** gehanteerd in combinatie met een gesloten grasmat op 80 cm klei. Voor deze keuze noemen wij de volgende overwegingen:

- Op de Lauwersmeerdijk is geen sprake van een geometrische overgang. Het toestaan van de hoge overslagdebieten die horen bij een geometrische overgang leidt tot versterkingsmaatregelen op het binnentalud. Netto kan dit resulteren dit in hogere kosten.

- De classificering van het type overgang o.b.v. Deltares [2015] is niet eenduidig en in het verleden is gebleken dat er onder experts nog geen consensus bestaat over de classificatie. Dit maakt deze kennis in mindere mate toepasbaar binnen HWBP projecten. Voor een goede probabilistische analyse zou meer onderzoek nodig zijn naar de lokaal aanwezige sterkte van de grasmat onder ongunstige omstandigheden die representatief zijn voor de maatgevende belasting. Dit is niet doelmatig vanwege de doorwerking van verdere optimalisatie in andere faalmechanismen.
- Het waterschap hanteert als dijkbeheerder daarnaast de volgende aanvullende overwegingen voor keuze van 10 l/s/m:
  - Onvoorziene omstandigheden (niet volgend uit slecht beheer) zoals niet-ontdekte graverij, impact van droogte en schade door begrazing leiden bij hogere overslagdebieten direct tot situaties die kritiek zijn voor de erosiebestendigheid. Corrigerende maatregelen tijdens hoogwater zijn zeer beperkt mogelijk (ontstaan van schade waarschijnlijk nauwelijks zichtbaar en doeltreffende corrigerende maatregelen ontbreken grotendeels).
  - Op het binnentalud is sprake van een dunne zandige kleilaag (oude erosieklasse C3) en tijdens falen van de kleilaag komt de zandlaag direct bloot te liggen. Hierdoor is er geen sprake van reststerkte en heeft het waterschap tijdens extreme omstandigheden geen handelingsperspectief voor noodmaatregelen.
  - In de planuitwerkingsfase gaat het waterschap de kleidikte en kleikwaliteit op de dijk nader onderzoeken. Als technisch uitgangspunt richting de uitvoering wordt gekozen dat op het binnentalud van de dijk tenminste een kleilaagdikte van 80 cm op een kwalitatief goede (gesloten) graszode aanwezig dient te zijn. De klei dient uiteraard conform OI/WBI geschikt zijn voor dijkbekledingen.
- Van dijkpaal 86.7 t/m 86.2 is sprake van een dijkovergang. Specifiek voor deze locatie is een kritiek overslagdebiet van 10 l/s/m te hoog zonder aanvullende maatregelen. In de planuitwerkingsfase zal hier een maatwerkoplossing worden onderzocht (bijvoorbeeld lokaal meer ruwheid toepassen).

4. Samenvatting

4.1. Hydraulische belastingen

Waterschap Noorderzijlvest streeft om in het ontwerp van het HWBP-project Lauwersmeerdijk – Vierhuizergat rekening te houden met realistische belasting condities. Hierin zijn de golfsteilheden als een belangrijke parameter aangemerkt. De golfsteilheden zijn nu erg hoog. Een correctie door de golfperiode te verlengen, waardoor de golfsteilheden meer realistisch worden, leidt echter wel tot een hogere belasting (voor zowel de kruinhoogte als de steenbekleding).

In het HWBP-project gaat Waterschap Noorderzijlvest uit van hydraulische belastingen die zijn afgeleid op basis van de biascorrectie voor de modelonzekerheden van de golfhoogte en golfperiode en volledige correlatie (100%) tussen beide modelonzekerheden. De belangrijkste overweging is dat bij toepassing van deze set van uitgangspunten de golfsteilheden gelijk zijn aan de golfsteilheden zoals berekend met SWAN zonder toepassing van modelonzekerheden. Dit wordt gezien als de fysisch meest realistische situatie. Door deze keuze wordt daarnaast het risico op vroegtijdig terugkomen verkleind.

Ten tweede wordt uitgegaan van een gecorrigeerde golvendatabase. Binnen het dijktraject bevond zich in de originele database een overgang tussen twee SWAN-modellen, wat een discontinuïteit veroorzaakte. In de gecorrigeerde database worden de uitkomsten van één SWAN-model toegepast. Daarbij is de lokale piekperiode Tp toegevoegd, en een onjuistheid in het waterstandsveld gecorrigeerd. Hiermee wordt optimaal recht gedaan aan de fysica. De correcties hebben geleid tot een lager HBN in het oostelijk deel van de het traject Landelijke dijk, maar nemen de hoogteopgave niet geheel weg.

Met deze werkwijze wordt aangesloten op de redeneerlijn in het dijkversterkingsproject van de Afsluitdijk en dus sprake is van uniformiteit in de aanpak. Bij de dijkversterking van de Afsluitdijk is ook afgeweken van de default parameters in het WBI en zijn deze (binnen de mogelijkheden die het instrumentarium biedt) bijgesteld om een fysisch zo realistisch mogelijke situatie te verkrijgen (zie voor meer informatie Vos [2019]).

4.2. Kritiek overslagdebiet

Haven Lauwersoog

Bij de haven van Lauweroog wordt in de basis gekozen voor een kritiek overslagdebiet van **5 l/s/m**, behorende bij een **worst-case overgang**. Er is voor een kritiek overslagdebiet van 5l/s/m gekozen vanwege de slechte grasmat, het grote aantal overgangen als gevolg van fietspaden en de provinciale weg en omdat de havendijk geheel uit zandig materiaal bestaat en er dus geen erosiebestendige kleilaag aanwezig is. Door uit te gaan van een overslagdebiet van 5 l/s/m is de mate van overslag dusdanig klein dat de kruin alleen over 5 m lengte (in het dwarsprofiel) overslagbestendig moet worden gemaakt door middel van een kwalitatief goede (gesloten) graszode op een kleilaag van 80 cm. Toepassing van een hoger overslagdebiet dan 5 l/s/m neemt de hoogteopgave niet weg en werkt juist kostenverhogend omdat er extra werkzaamheden nodig zijn om de gehele kruin en binnentalud overslagbestendig te maken.

Landelijke dijk

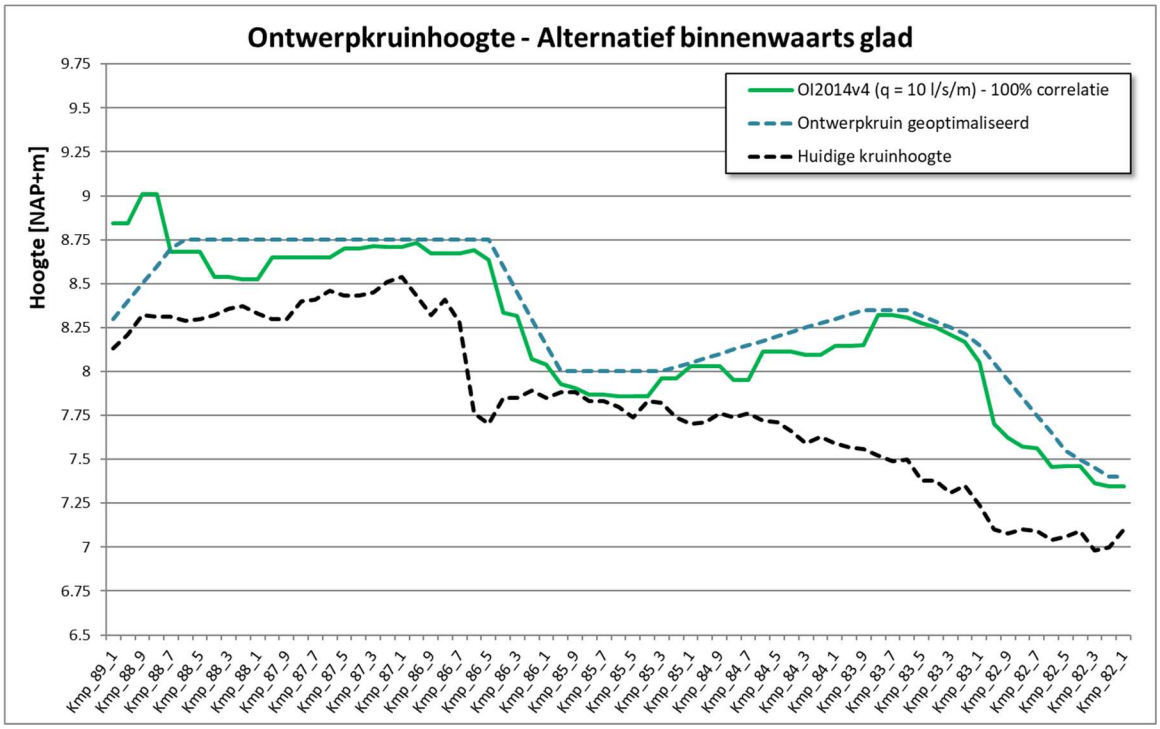
Op het landelijke deel van de Lauwersmeerdijk wordt een **kritiek overslagdebiet van 10 l/s/m** gehanteerd in combinatie met een kwalitatief goede (gesloten graszode op 80 cm klei). De belangrijkste overwegingen voor deze keuze zijn:

- Het landelijke dijktraject van de Lauwersmeerdijk past het best bij een gemiddelde overgang (Deltares 2015).
- Het toestaan van hoge overslagdebieten (die horen bij een geometrische overgang) leiden niet tot noemenswaardige kostenbesparingen. Het toestaan van de hoge overslagdebieten die horen bij een geometrische overgang kunnen zelfs leiden tot versterkingsmaatregelen op het binnentalud. Netto kan dit resulteren dit in hogere kosten.
- Op het binnentalud is sprake van een relatief dunne zandige kleilaag (oude erosieklasse C3) en tijdens falen van de kleilaag komt de zandlaag direct bloot te liggen. Hierdoor is er geen sprake van reststerkte en heeft het waterschap tijdens extreme omstandigheden geen handelingsperspectief voor noodmaatregelen. Het toestaan van hogere overslagdebieten dan 10 l/s/m bij een zeedijk met zandkern is derhalve onverstandig.

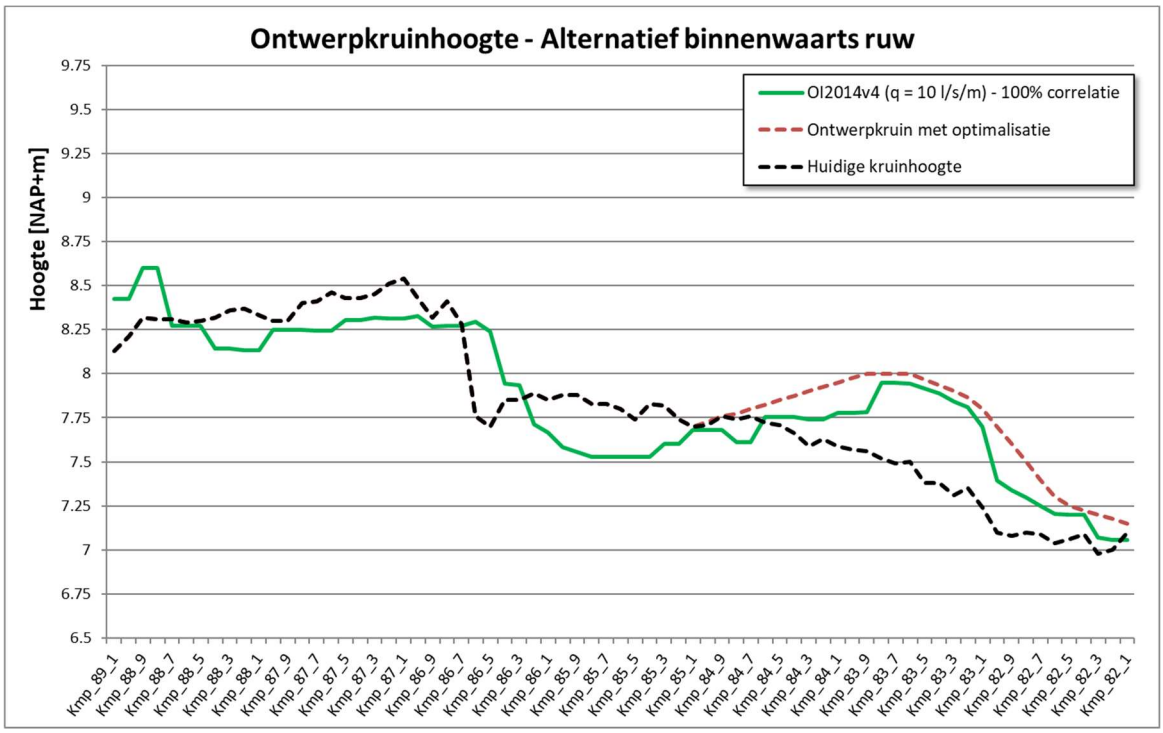
4.3. Voorstel ontwerphoogte landelijke dijk

Met de nieuwe vastgestelde uitgangspunten kan voor beide alternatieven een ontwerpkruinlijn worden opgesteld. Deze ontwerpkruinlijn is voor alternatief binnenwaarts glad weergegeven in Figuur 28 en voor het alternatief binnenwaarts ruw in Figuur 29. Bij het toepassen van het alternatief binnendijks glad betekent dit dat de gehele dijk opgehoogd zal moeten worden, om aan te sluiten op de havendijk zal in uiterste westen van de landelijke dijk een maatwerkoplossing moeten worden gezocht in de planuitwerkingsfase.

Bij het toepassen van het alternatief binnendijks ruw kan met de kruinhoogte al voor lange strekkingen worden voldaan aan het kritieke overslagdebiet van 10 l/s/m. Ook bij dit alternatief zal in het uiterste westen een maatwerkoplossing moeten worden gezocht om aan te sluiten op de havendijk. Bij de dijkovergang (ter plaatse van dijkpaal 86.5) voldoet de huidige kruinhoogte over een lengte van circa 350m ook niet aan het kritieke overslagdebiet van 10 l/s/m; hier lijkt ook een maatwerkoplossing het meest passend, wellicht kan hier gekozen om aanvullende ruwheid op het bovenbeloop toe te passen. Oostelijk van dijkpaal 85.1 zal de dijk bij dit alternatief in binnenwaartse richting worden opgehoogd.



Figuur 28: Ontwerpkruinlijn alternatief Binnenwaarts glad



Figuur 29: Ontwerpkruinhoogte – alternatief Binnenwaarts ruw

5. Referenties

Caires, S. (2012)
Maximale significante golfhoogte bij ondiep water en maximale golfsteilheid. Deltares rapport 1204727-004.

Deltares (2018)
Mogelijke gevolgen van versnelde zeespiegelstijging voor het Deltaprogramma - Een verkenning. Deltares, 2018 (zie ook: https://www.deltares.nl/nl/nieuws/deltares-brengt-mogelijke-gevolgen-van-versnelde-zeespiegelstijging-voor-nederland-kaart/ - geraadpleegd: december 2019)

Deltares (2015)
Invloed overgangen op het kritische overslagdebiet. Gijs Hoffmans, Deltares, Augustus 2015.

HKV (2018)
Veiligheidsbeoordeling Lauwersmeerdijk. HKV, Infram en Tauw. September 2018. Projectnummer PR3524.40.

KNMI (2017)
Nieuwsbericht Extreme zeespiegelstijging in de 21e eeuw (https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/extreme-zeespiegelstijging-in-de-21e-eeuw). Geraadpleegd: december 2019

KPR (2019)
Ontwerpen met kansverdelingen voor kritieke overslagdebieten. Alfons Smale, 26-06-2019, versie 1.0, Kennisplatform Risicobenadering.

NZV (2010)
Veiligheidstoetsing Waddenzeedijk. Primaire waterkeringen dijkringgebied 6, beheerd door Waterschap Noorderzijlvest. Mei 2010, definitief rapport.

NZV (2018)
Veiligheidsoordeel Lauwersmeerdijk – Vierhuizergat. Veiligheidsoordeel van de beheerder van het HWBP project Lauwersmeerdijk – Vierhuizergat. Heine van Maar, Gerbert Pleijter en Bert de Wolff. Waterschap Noorderzijlvest, september 2018, definitief rapport.

RHDHV & HKV (2019a)
Technische Uitgangspuntennotitie (TUN) Dijkversterking Lauwersmeerdijk – Vierhuizergat v3.0. Sander Post en Gerbert Pleijter. Royal HaskoningDHV, 22 oktober 2019

RHDHV & HKV (2019b)
Variantennota Dijkversterking Lauwersmeerdijk – Vierhuizergat. Sander Post en Jan Valk, 7 november 2019.

Smale (2019)
Correlation between model uncertainties wave height and wave period. A. Smale, November 2018. Project 11202225-003

Van Bree, Bob (2018)
WBI-beoordeling kunstwerken Cleveringsluizen en Robbengatsluis. WBI-beoordeling in het kader van de vierde wettelijke beoordelingsronde. Bob van Bree, februari 2019.

Van Nieuwkoop, J. (2017).
Hydraulische randvoorwaarden met gecorreleerde onzekerheden golfhoogte en golfperiode. Deltares memo 11201124-002-HYE-0004, 23 augustus 2017.

Vos, R. (2017)
Hydraulische Ontwerpbelastingen voor Bekledingen Afsluitdijk met realistische golfsteilheid. Rijkswaterstaat, 19 april 2017.

RWS WVL (2019)
Overleg Effecten nieuwe kennis BOI Noord Nederland, definitief
Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, 4 september 2019.

RHDHV (2019)
Aanvullend conditionerende onderzoeken Lauwersmeerdijk – Vierhuizergat. Sander Post en Jo-van Tromp, 4 november 2019.

Bijlage A: Nadere beschouwing invloed overslagdebiet op geotechnische faalmechanismen

Notitie / Memo

HaskoningDHV Nederland B.V.
Maritime & Aviation

Aan:	Bert de Wolff (Waterschap Noorderzijlvest)
Van:	Clara Spoorenberg, Sander Post, Gerbert Pleijter
Datum:	7 februari 2020
Kopie:	Jan Valk
Ons kenmerk:	BG3034-RHD-ZZ-XX-NT-Z-0004
Classificatie:	Projectgerelateerd

Onderwerp: **Waterkering Lauwersmeer - Vierhuizergat - Nadere beschouwing hoger overslagdebiet op geotechnische faalmechanismen - versie 2**

Inleiding

Door het HWBP is aan elk HWBP project verzocht om de keuze voor het toe te passen toelaatbare golfoverslagdebiet nader (probabilistisch) te beschouwen. Bij een probabilistische beschouwing speelt de classificatie van type overgangen (zwakke plekken van een dijk) een belangrijke rol. Hiervoor zijn afhankelijk van de dijkovergang kansverdelingen opgesteld die het kritisch overslagdebiet beschrijven. Toepassing van de kansverdelingen leidt voor de Lauwersmeerdijk tot eenzelfde HBN (ordegrootte) bij deterministische kritische overslagdebieten van:
-worst-case overgang – circa 5 l/s/m
-gemiddelde overgang - circa 10 l/s/m
-geometrische overgang – circa 40 l/s/m

Conform de “Integrale benadering toegestaan golfoverslagdebiet” (POV-M, 2018) kan het toestaan van hogere overslagdebieten dan (gemiddeld) 1,0 l/s/m echter mogelijk negatieve consequenties hebben voor het ontwerp op de overige geotechnische faalmechanismen. In voorliggende notitie is een beschouwing op hoofdlijnen opgenomen, waarin de geotechnische impact van de keuze van het toelaatbare overslagdebiet op het ontwerp van de waterkering Vierhuizergat is beoordeeld. Op basis van een aantal verkennende analyses zijn de varianten 5, 10 en 40 l/m/s beoordeeld voor het landelijke dijktraject. Indien noodzakelijk, zijn op basis van de uitgevoerde analyses bovendien mitigerende maatregelen benoemd om de eventuele negatieve effecten op het ontwerp te compenseren.

Beoordelingsfilosofie Haventraject

Vanwege het grote aantal overgangen als gevolg van fietspaden, dijkopgangen en een provinciale weg op de kruin van de dijk is bij voorbaat uit te sluiten dat voor dit dijktraject een overslagdebiet kan worden gehanteerd conform een gemiddelde of geometrische overgang. Voor de haven van Lauweroog wordt daarom in de basis gekozen voor een kritiek overslagdebiet van 5 l/s/m, behorende bij een worst-case overgang. Daarnaast bestaat de havendijk geheel uit zand, er is dus geen erosiebestendige kleilaag aanwezig en tevens is de aanwezige grasmat slecht of zelf geheel afwezig. Door uit te gaan van een overslagdebiet van 5 l/s/m is de mate van overslag dusdanig klein dat de kruin alleen over 5 m lengte (in het dwarsprofiel) overslagbestendig moet worden gemaakt (door aanleg van bijv. een kleilaag). Toepassing van een hoger overslagdebiet dan 5 l/s/m neemt de hoogteopgave niet weg en werkt juist kostenverhogend omdat er extra werkzaamheden nodig zijn om de gehele kruin en binnentalud overslagbestendig te maken.
De gekozen insteek kan mogelijk impact hebben op het beheer en onderhoud van de dijk. Vanwege de grote breedte van het dijkprofiel (restprofiel) worden maatregelen aan het binnentalud niet noodzakelijk geacht. Hiermee wordt impliciet de keuze gemaakt om (beperkte) schade aan het binnentalud toe te staan gedurende maatgevende omstandigheden. Gezien de lage frequentie waarbij deze schade mogelijk is, wordt als mitigerende maatregel opgenomen dat deze (eventuele) schade herstelt dient te worden voor het optreden van een volgende maatgevende situatie.

Beoordelingsfilosofie Landelijke dijktraject

Voor het landelijke dijktraject zijn analyses uitgevoerd voor een maatgevende doorsnede, gekozen is voor DP83,5. Voor deze doorsnede is een vergelijk gemaakt tussen een overslagdebiet van q=5, 10 en 40 l/m/s. Uitgangspunt bij de beoordeling is dat de kans op een overstroming voldoende klein moet zijn. Voor het optreden van een overstroming zijn de volgende gebeurtenissen benodigd:

1. Optreden van schade aan de grasbekleding door:
    a. Erosie grasmat door overslaand water;
    b. Stabiliteitsverlies door opdrukken bij verhoogde freatische lijn;
2. Erosie van eventuele onderlagen en kern.

Voor gebeurtenis 2 bestaan geen onderbouwde modellen. Echter, aangezien de kleibekleding op het binnentalud slechts enkele decimeters dik is en overwegend uit weinig erosiebestendige klei bestaat (erosiebestendigheidscategorie III, zie bijlage) en de kern uit zand bestaat, wordt er van uitgegaan dat wanneer falen van de grasbekleding optreedt, de reststerkte dusdanig gering is dat de veiligheid tegen overstromen niet meer gegarandeerd kan worden[1]. Dit geldt zowel voor 5, 10 als 40 l/m/s, waarbij de volgende twee aandachtspunten benoemd worden:

1. Hoe groter het overslagdebiet, hoe groter de belasting en daarmee hoe groter de kans op schade aan bekleding van kruin en/of binnentalud. Onderstaand is nader uitgewerkt tot welk overslagdebiet de kans op schade voldoende klein is om tot een verantwoord ontwerp te komen bij de gehanteerde uitgangspunten. Hierbij worden tevens eventuele consequenties voor beheer en onderhoud benoemd;
2. Hoe groter het overslagdebiet, hoe groter de snelheden (belasting) en derhalve hoe groter de erosie van het kernmateriaal en de (weinig erosiebestendige) kleionderlaag. De reststerkte van het materiaal zal bij grotere belasting equivalent staan aan een kortere belastingduur tot falen, terwijl bij een hoger overslagdebiet juist een langere belastingduur van toepassing is.

De onderstaande beoordeling richt zich hiermee op het controleren van de weerstand tegen het optreden van schade aan de grasbekleding door erosie en/of instabiliteit van het binnentalud, ofwel door afschuiven ofwel door opdrukken van de kleibekleding.

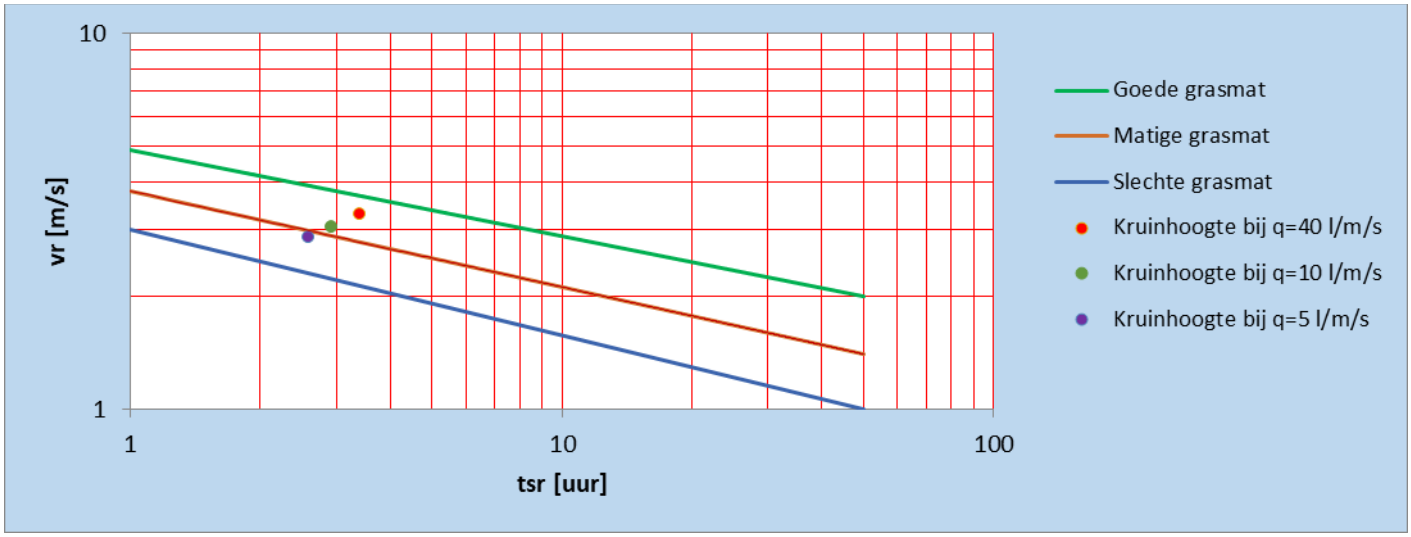
Schadecriterium grasbekleding bij overslag

Bij het beoordelen van de sterkte van de grasbekleding is gebruik gemaakt van de “Handreiking Toetsen Grasbekledingen op Dijken t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde” (Rijkswaterstaat, oktober 2012) en de “Leidraad Zee- en Meerdijken” (TAW,1999). Deze laatste wordt overigens ook aangehaald in de handreiking.
In beide beoordelingsmethodieken staat de kwaliteit van de grasmat centraal, waarbij de criteria enigszins verschillen. Voor de kwaliteit van de grasmat is het beheer cruciaal, maar er spelen ook omgevingsfactoren zoals taludhelling, oriëntatie van het talud, etc. Omdat de kwaliteit van de grasmat een subjectief begrip is, zijn twee scenario’s uitgewerkt, te weten een goede en een matige grasmat[2]. Met een matige grasmat wordt niet zozeer gedoeld op een lagere kwaliteit door slecht beheer, maar veeleer (lokale) onvoorziene omstandigheden zoals nog niet ontdekte graverij door grote fauna (mollen,

[1] In de notitie “Integrale benadering toegestaan golfoverslagdebiet” (POV-M, 2018) is aangegeven dat er de validatie en modelontwikkeling op dit moment nog onvoldoende is om de reststerkte (zandkern) kwantitatief in rekening te brengen.
[2] Hier is de oude terminologie gehanteerd, zoals gebruikt in de Leidraad Zee- en Meerdijken. Een goede grasmat komt hierbij overeen met de huidige term “gesloten” grasmat. Een slechte grasmat zou beschouwd kunnen worden als “open” grasmat. Een matige grasmat is in dit kader geïnterpreteerd als een in essentie overwegend gesloten grasmat, waarbij lokaal anomaliën, zoals kleine schades, niet volledig uit te sluiten zijn.

konijnen, vossen e.d.) of droogteschade. Beide typen grasmat vallen voor deze beoordeling binnen de classificatie van een gesloten grasmat conform Technische Uitgangspuntennotitie 3.0.

In Figuur 1 is de sterktebeoordeling van de grasmat opgenomen conform de Leidraad Zee- en Meerdijken voor een overslagdebiet van 5 versus 10 en 40 l/m/s. Hieruit blijkt dat bij een overslagdebiet van q=5 l/m/s volstaan kan worden met een matige grasmat, terwijl bij een overslagdebiet van q=40 l/m/s een goede grasmat vereist is. Bij q=10 l/m/s voldoet een matige grasmat juist niet meer, maar omdat dit een grensgeval is, zou wellicht met een kleine ingreep wel kunnen worden voldaan aan het criterium.



Figuur 1: Beoordeling sterkte grasmat conform Leidraad Zee- en Meerdijken voor DP83,5

Tabel 1 is de beoordeling van de sterkte van de grasmat opgenomen conform de Handreiking Toetsen Grasbekledingen op Dijken t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde. Ook hieruit blijkt dat bij een overslagdebiet van q=40 l/m/s hogere eisen aan de kwaliteit van de grasmat worden gesteld. Een overslagdebiet van q=10 l/m/s blijkt ook bij deze beoordeling een grensgeval te zijn omdat wel begin van schade verwacht kan worden.

Tabel 1: Schadecriterium op basis van Handreiking beheerdersoordeel voor DP83,5

Graskwaliteit	q (l/m/s)	Schade (per uur)	Stormduur 6 uur	Schadedefinitie
Goede grasmat	5	8	48	Geen schade
Goede grasmat	10	25	150	Geen schade
Goede grasmat	40	271,5	1629	Meerdere kale plekken
Matige grasmat	5	45	270	Geen schade
Matige grasmat	10	111	666	Begin van schade
Matige grasmat	40	728	4368	Bezwijken toplaag

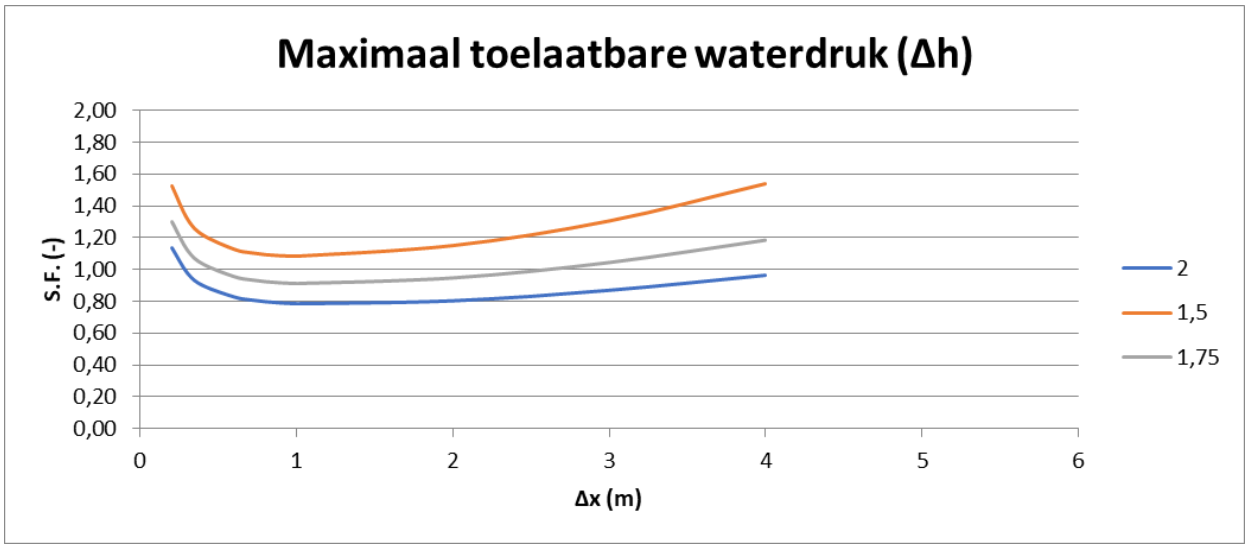
Hierin is “schade” de cumulatieve overbelasting per uur $\Sigma(u^2 - u^2_c)$ [in m^2/s^2] waarin het aantal golven waarvan de snelheid u de kritieke snelheid u_c overschrijdt wordt gesommeerd per uur. Voor een stormduur van 6 uur (aantal uur met waterstand boven NAP +5,25 uur) is deze waarde vermenigvuldigd met 6 voor de totale cumulatieve schade voor een maatgevende storm.

Deze waarde is vergeleken met de volgende schadedefinities:

Begin van schade	$\Sigma(u^2 - u^2_c) =$ 500 m²/s² (grote spreiding)
Meerdere kale plekken	$\Sigma(u^2 - u^2_c) =$ 1.000 m²/s²
Bezwijken toplaag	$\Sigma(u^2 - u^2_c) =$ 3.500 m²/s²

Schadecriterium opdrukken bekleding

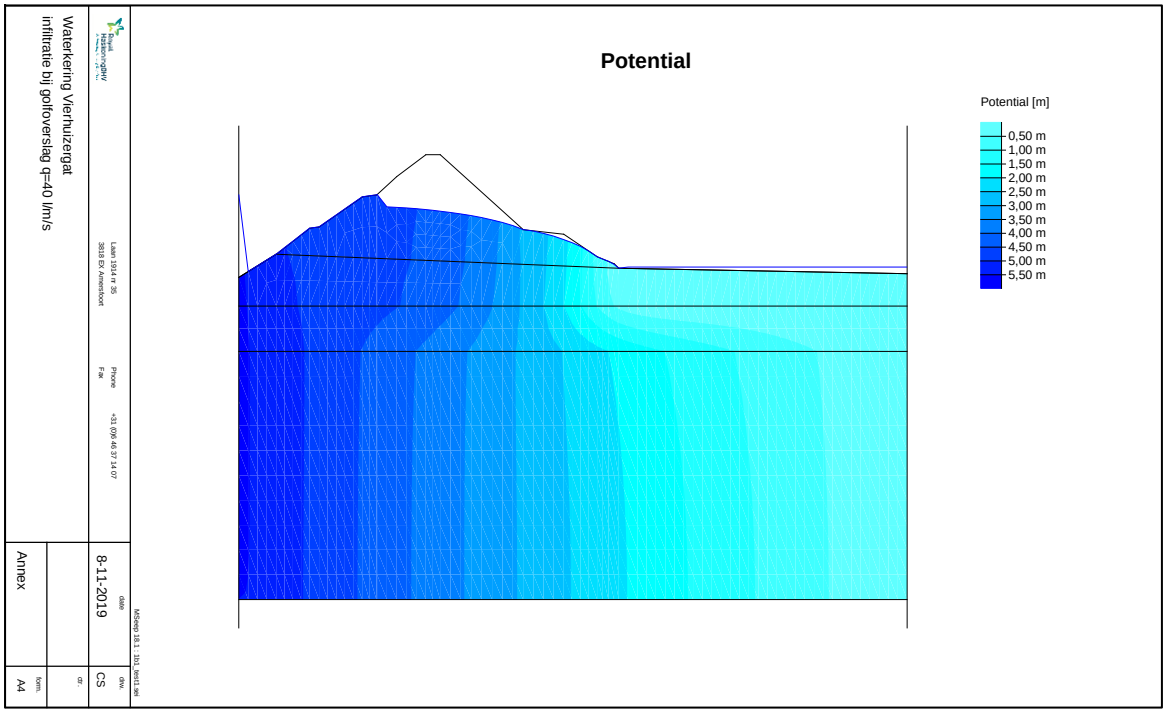
De beoordeling is uitgevoerd conform het WBI: zandkern kleibekleding opdrukken met cohesie. Uitgaande van een kleilaag met een dikte van 0,8 m en een cohesie van 1,5 kPa, is een maximale waterdruk toelaatbaar van 1,5 m. Dit is geïllustreerd in Figuur 2. In deze figuur is voor verschillende gegeven waterdrukken (Δh = 1,5, 1,75 en 2 m) de kritische waarde gevonden van Δx waarbij S.F. minimaal is. De minimaal vereiste S.F. = 1,0, de hierbij behorende waterdruk Δh is grafisch afgelezen.



Figuur 2: Maximaal toelaatbare waterdruk kleibekleding met cohesie conform WBI

Bij dit figuur wordt opgemerkt dat de berekende toelaatbare waterdruk onder de kleibekleding lager is dan in de beoordeling (Veiligheidsanalyse, $HKV_{lijn\ in\ water}$, 2018). Dit hangt samen met de gehanteerde cohesie, in de veiligheidsanalyse is uitgegaan van c' = 5 kPa. Gezien de resultaten van de bepaling van de Atterbergse grenzen van het deklaagmateriaal, is er van uitgegaan dat het materiaal meer siltig of zandiger is van samenstelling, waarmee een lagere cohesie verantwoord kan worden. Dit resulteert in een lagere toelaatbare waterdruk, echter gezien de goede drainerende eigenschappen van de binnenteen (notitie "Resultaten peilbuisanalyses Vierhuizergat V02", RHDHV, 2019), is op basis van de MSeep modellering ingeschat dat de freatische lijn ten gevolge van infiltratie bij een overslagdebiet van 40 l/m/s niet hoger ligt dan de maximaal toelaatbare waterdruk, zie Figuur 3.

Hierbij wordt overigens opgemerkt dat in het oorspronkelijk ontwerp de ligging van de freatische lijn geoptimaliseerd is op basis van een grootschalige meetcampagne met meerdere peilbuizen die gedurende langere tijd gemonitord zijn. De uitgangspunten voor de ligging van de freatische lijn zijn hiermee dus verre van conservatief te noemen, maar bij een overslagdebiet van 5 l/m/s wel voldoende robuust. Bij hogere overslagdebieten wordt een grote onzekerheid geïntroduceerd met betrekking tot de stijging van de freatische lijn door infiltratie. Deze onzekerheid is in voorliggende beschouwing wel expliciet benoemd en ingeschat.



Figuur 3: Inschatting freatische lijn bij overslagdebiet q=40 l/m/s (MSeep)

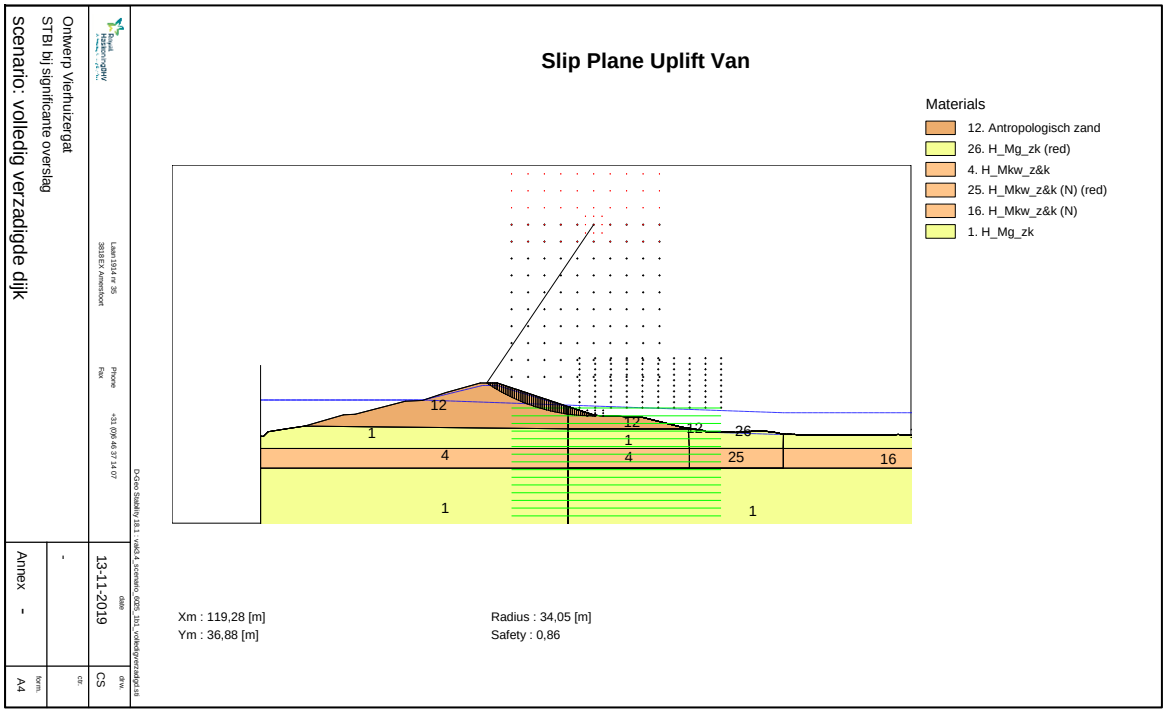
Uit bovenstaande figuren volgt dat opdrukken van de kleibekleding bij de gehanteerde uitgangspunten (net) niet mogelijk is. Hierbij wordt opgemerkt dat de deklaagdikte lokaal minder dan 0,8 m bedraagt.

Gezien de onzekerheden in zowel de hoogte van de freatische lijn bij infiltratie als de dikte en sterkte van de kleideklaag, kan het opdrukken van de kleilaag onder deze omstandigheden bij een overslagdebiet van q=40 l/m/s niet volledig worden uitgesloten. Bij een overslagdebiet van q=5 en 10 l/m/s is de kans op opdrukken voldoende klein.

Schadecriterium macrostabiliteit binnenwaarts

De beoordeling van macrostabiliteit binnenwaarts is uitgevoerd conform “Voorlopige werkwijze macrostabiliteit i.c.m. golfoverslag OI2014v4” (KPR, 2017). In de “Veiligheidsbeoordeling Lauwersmeerdijken ($HKV_{lijn\ in\ water}$, 2018) is deze analyse reeds uitgevoerd voor een overslagdebiet van q=10 l/m/s. Evenals bij opdrukken, betreft de grootste onzekerheid in de schematisering de freatische lijn bij overslag. Conform de werkwijze KPR dient de dijk als volledig verzadigd te worden beschouwd. Wanneer hiervan wordt uitgegaan, voldoet het binnentalud niet aan de stabiliteitseis. In de veiligheidsbeoordeling is daarom destijds van een lagere ligging van de freatische lijn uitgegaan, vergelijkbaar met de benadering uit Figuur 3. Bij een lagere ligging van de freatische lijn (overslagdebiet 5 l/m/s), voldoet het binnentalud wel aan de minimale stabiliteitseis. De stabiliteitseis voor het binnentalud bij significante overslag bedraagt S.F. = 0,98 voor model Lift-Van.

In Figuur 4 is de stabiliteitsberekening voor een volledig verzadigde dijk opgenomen.



Figuur 4: STBI bij significant overslagdebiet, volledig verzadigde dijk

Op basis van de onzekerheid in de ligging van de freatische lijn, kan instabiliteit van het binnentalud bij een overslagdebiet van 40 l/m/s niet met voldoende zekerheid worden uitgesloten. Bij een overslagdebiet van 5 en 10 l/m/s wordt wel aan het stabiliteitscriterium voldaan.

Conclusies met betrekking tot het ontwerp

Het oorspronkelijk ontwerp van de dijk Vierhuizergat is opgesteld op basis van een overslagdebiet van 5 l/m/s. Ondanks onzekerheden ten aanzien van (beheer en onderhoud) van de grasbekleding en ligging van de freatische lijn bij infiltratie, is op basis van gevoeligheidsanalyses aangetoond dat bij een dergelijk overslagdebiet er geen sprake is van negatieve beïnvloeding van de overige geotechnische mechanismen. Bij een ontwerp op q = 5 l/m/s wordt aan de stabiliteitseisen van alle faalmechanismen voldaan.

Op basis van de gehanteerde uitgangspunten is een overslagdebiet van 10 l/m/s een grensgeval. Er is kans op beginnende schade aan de grasbekleding, waarmee er ook zwaardere eisen aan bijvoorbeeld beheer en onderhoud gesteld moeten worden.

Bij een dijkontwerp waarbij een overslagcriterium van 40 l/m/s wordt gehanteerd, is de belasting (stroomsnelheden, tijdsduur belasting, hoeveelheid infiltrerend water, etc.) op de dijk significant groter. Derhalve worden zwaardere eisen aan de verschillende onderdelen van de dijk gesteld. Op basis van bovenstaande analyses zijn de volgende conclusies opgesteld met betrekking tot de relevante geotechnische faalmechanismen:

- De grasmat moet tenminste over de kwalificatie “goed” beschikken. Dit houdt in dat het beheer en onderhoud van de grasmat dusdanig dient te zijn dat er daadwerkelijk sprake is van een goede grasmat. Ook moeten schades zoals ten gevolge van graverij of droogte met voldoende zekerheid kunnen worden uitgesloten. Het toelaten van begrazing door schapen op kruin en binnentalud is discutabel in verband met het ontstaan van looppaadjes. Conform het vigerend

beleid van waterschap Noorderzijlvest is begrazing door schapen wel toegestaan. Opgemerkt wordt dat er ook voordelen te benoemen zijn van begrazing door schapen, de toplaag wordt door het belopen aangestampt en verdicht;
- De ontwikkeling van de freatische lijn bij een dergelijk groot overslagdebiet omvat een grote mate van onzekerheid. Modelmatig (MSeep) ligt de berekende freatische lijn (juist) onder de maximaal toelaatbare waterdruk voor opdrukken van de kleilaag. Ook ligt de gemodelleerde freatische lijn lager dan de voor de beoordeling van macrostabiliteit binnenwaarts bij significante overslag aanbevolen volledige verzadiging van de dijk. Gezien de onzekerheden in de daadwerkelijke ligging van de freatische lijn onder maatgevende condities, kan instabiliteit van het talud en/of de bekleding niet worden uitgesloten.

In het geval van schade aan het binnentalud (grasmat, macrostabiliteit en/of deklaag) wordt de reststerkte van de kern en/of deklagen van de dijk aangesproken. Op basis van de POV-M notitie wordt vastgesteld dat voor overslagdebieten groter dan q = 10 l/m/s onvoldoende kennis en ervaring voorhanden is om hier modelmatig een uitspraak over te doen.
Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat een ontwerp op een overslagdebiet van 40 l/m/s onvoldoende onderbouwd kan worden. Bij een dergelijk overslagdebiet zijn aanvullende maatregelen aan kruin en/of binnentalud noodzakelijk om tot een ontwerp te komen dat aan de eisen voldoet. Een andere mogelijkheid is om aanvullende grootschalige proeven uit te voeren (bijvoorbeeld infiltratie- of golfgootproeven) om aan te tonen dat de dijk Lauwersmeer - Vierhuizergat bestand is tegen een overslagdebiet van 40 l/m/s. Hierop wordt in voorliggende notitie niet nader ingegaan.

Mitigerende maatregelen
Onderstaand is een lijst van mogelijke mitigerende maatregelen opgenomen (niet uitputtend). De maatregelen zijn indicatief en dienen ten behoeve van een daadwerkelijk ontwerp nog nader te worden doorgerekend. Onderscheid is gemaakt in mitigerende maatregelen voor een ontwerp op een overslagdebiet van respectievelijk 5, 10 en 40 l/m/s.

Mitigerende maatregelen ontwerp q=5 en 10 l/m/s (traject landelijke dijk)
Beperkte aanvullende maatregelen benodigd:
- Aanbrengen klei onderlaag met een dikte van 0,6 m gemeten loodrecht op het talud (onder een toplaag van 0,2 m). Deze erosiebestendige laag moet aanwezig zijn ter plaatse van kruin en binnentalud, inclusief de eerste 3 m van het achterland (aansluitconstructie). Daar waar al een erosiebestendige kleilaag aanwezig is met tenminste deze dikte, is geen maatregel benodigd (zie hiervoor de opmerking bij het uitgevoerde kleikwaliteitsonderzoek in de bijlage).

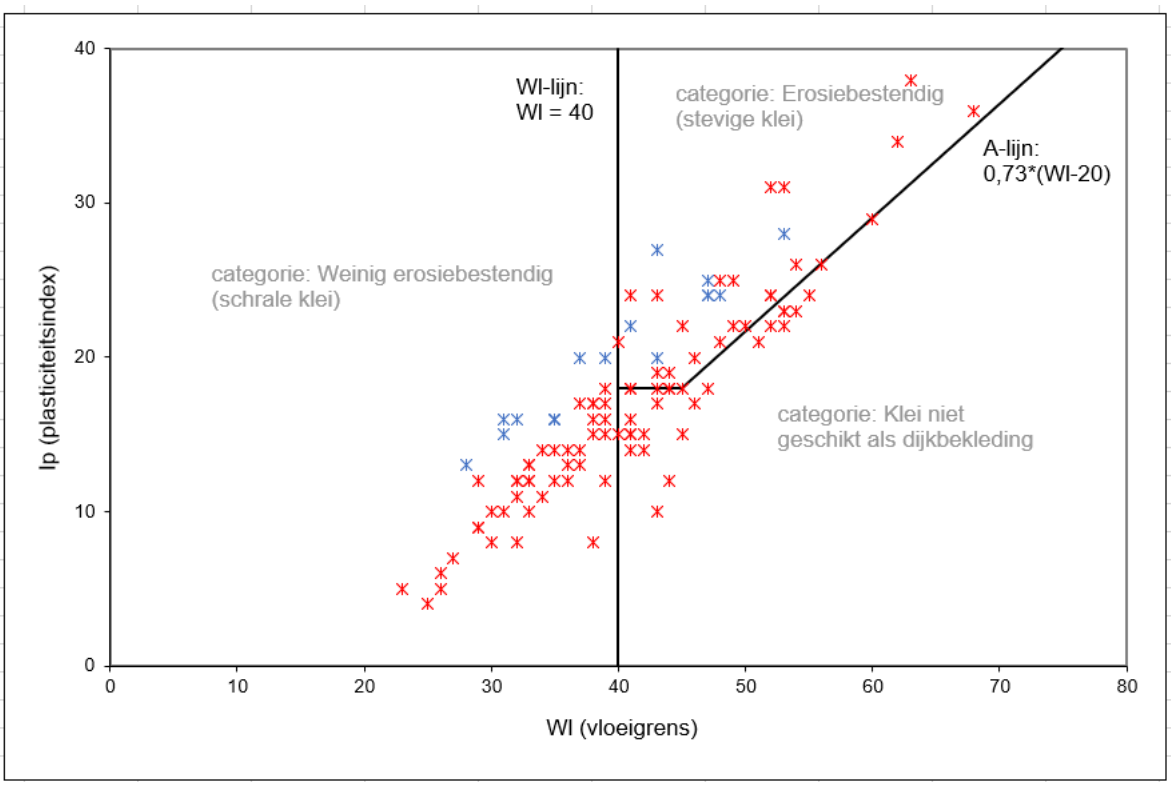
Mitigerende maatregelen ontwerp q=40 l/m/s (traject landelijke dijk)
Aanvullende maatregelen benodigd:
- Versterkte grasmat (bijvoorbeeld met geogrid) op kruin, binnentalud tot 5 m in het achterland (aansluitconstructie op turbulente zone overgang binnentalud naar achterland);
- Aanbrengen drainagemaatregelen aan de binnenteen;
- Aanbrengen klei onderlaag (onder toplaag circa 0,3 m) bestaande uit 1,0 m erosiebestendige klei op kruin en binnentalud (gemeten loodrecht op talud) inclusief 5 m in achterland. Een dergelijke kleilaag heeft voldoende reststerkte bij een overslagdebiet van 40 l/m/s (POV-M, 2018).
- Naast bovenstaande maatregelen is het aan te bevelen dat de grasmat goed wordt onderhouden en vrij wordt gehouden (indien mogelijk) van schade door muizen, schapen en andere mogelijke oorzaken van schade. Dit heeft verregaande gevolgen voor de intensiteit van het beheer en onderhoud, maar afhankelijk van de genomen maatregelen, kan hierin een optimalisatie gezocht worden.

Slotopmerking
In de bijlage bij deze notitie zijn de resultaten van de onderzoeken naar de erosiebestendigheid van de huidige bekleding van de dijk Vierhuizergat opgenomen. De Atterbergse grenzen zijn bepaald door Wiertsema (rode markering, 2018) en door Fugro (blauwe markering, 2019).

Op basis van de beoordeling van de Atterbergse grenzen aan de hand van het WBI wordt geconcludeerd dat niet alle in de deklaag van de dijk aanwezige klei voldoet als bekledingsklei. Bovendien wordt opgemerkt dat zowel in het Wiertsema als in het Fugro onderzoek op ongeveer 20% van de kleimonsters geen bepaling van de Atterbergse grenzen mogelijk was vanwege een te hoog silt- of zandgehalte. Tevens is in de grafiek een systematisch onderscheid te zien tussen de door Fugro en door Wiertsema uitgevoerde bepalingen van de Atterbergse grenzen. Op basis van enkele steekproeven is nagegaan of de locatie van de boringen in het dwarsprofiel hierbij een rol speelt, maar dat blijkt niet het geval te zijn. Mogelijk worden bepaalde monsters door Fugro eerder als te zandig/siltig geklassificeerd, waardoor er geen proeven op worden uitgevoerd. Dit dient echter nader beschouwd te worden.

Al met al wordt geconcludeerd dat het bepalen of op een locatie een kleilaag aanwezig is van voldoende dikte en voldoende kwaliteit, een lastige opgave is. Met name de aaneengeslotenheid van dergelijke bekledingsvlakken zal in het veld lastig te bepalen zijn. Aanbevolen wordt om een nader bekledingsonderzoek uit te voeren waarin bovenstaande vragen beantwoord worden.

BIJLAGE ATTERBERGSE GRENZEN BEKLEDING DIJK VIERHUIZERGAT



Erosiebestendigheid kledeklaag Vierhuizergat (nieuwe indeling WBI)

Bijlage B: Nadere onderzoek variaties in het HBN

MEMO

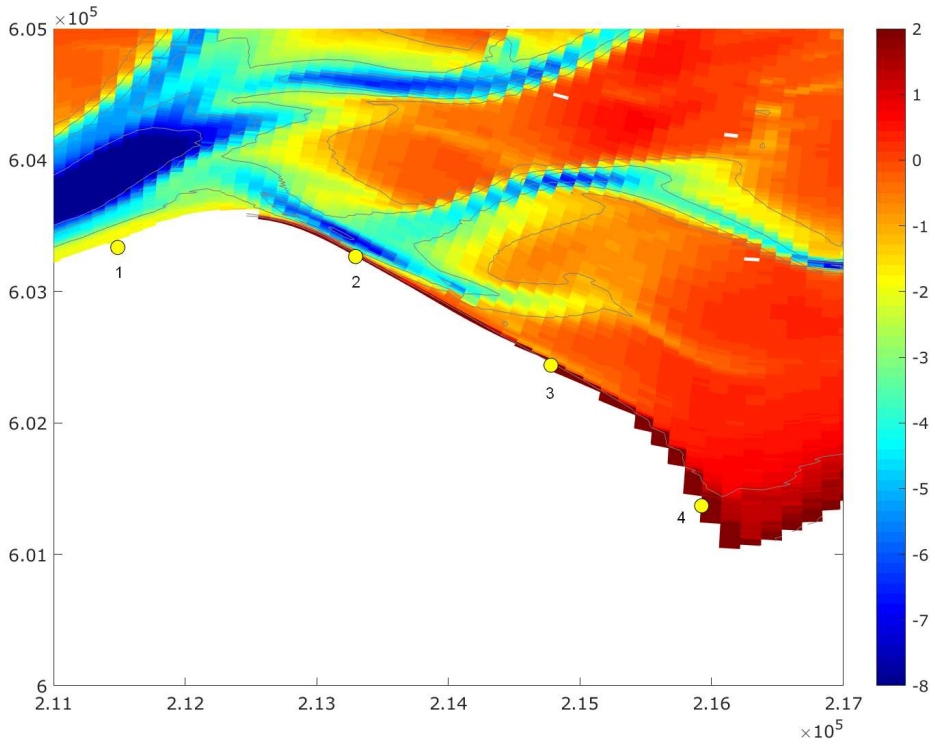
Aan:	Waterschap Noorderzijlvest
Van:	Vincent Vuik, Gerbert Pleijter, Jan-Willem van Lente, Bastiaan Kuijper (HKV)
Datum:	3 januari 2020
Projectnummer:	PR3888.10
Versie:	2
Onderwerp:	Nader onderzoek variaties in HBN

1 Introductie

Uit de berekeningen met Hydra-NL volgt een opmerkelijk patroon in het Hydraulisch Belastingniveau (HBN) langs de dijk van het traject Lauwersmeerdijk – Vierhuizergat. Het HBN is de benodigde kruinhoogte van de dijk om het golfoverslagdebiet te beperken tot een bepaalde gedefinieerde waarde, in dit geval 5 l/s/m. De problematiek wordt beschreven aan de hand van vier karakteristieke locaties, zie Figuur 1.

Figuur 1 – Het traject Lauwersmeerdijk – Vierhuizergat met vier karakteristieke locaties (gele markers) en de HR-locaties uit de WBI database fysica (bolletjes)

Hoge waterstanden en golven ontstaan bij dit traject voornamelijk bij noordwestenwind (300-330 graden). Bij noordwestenwind ligt het traject rond locatie 1 in Figuur 1 vol op de wind. Daarnaast ligt hier de diepe geul Oort vlak voor de dijk, zie Figuur 2. Punt 2 ligt langs de eveneens diepe, maar smallere geul Vierhuizergat. De punten 3 en 4 hebben overwegend wadplaten voor de dijk liggen, die tijdens dagelijkse omstandigheden droogvallen. De dijkoriëntatie van de punten 2 t/m 4 is richting het noordoosten, waardoor bij noordwestenwind golven vrij schuin invallen.

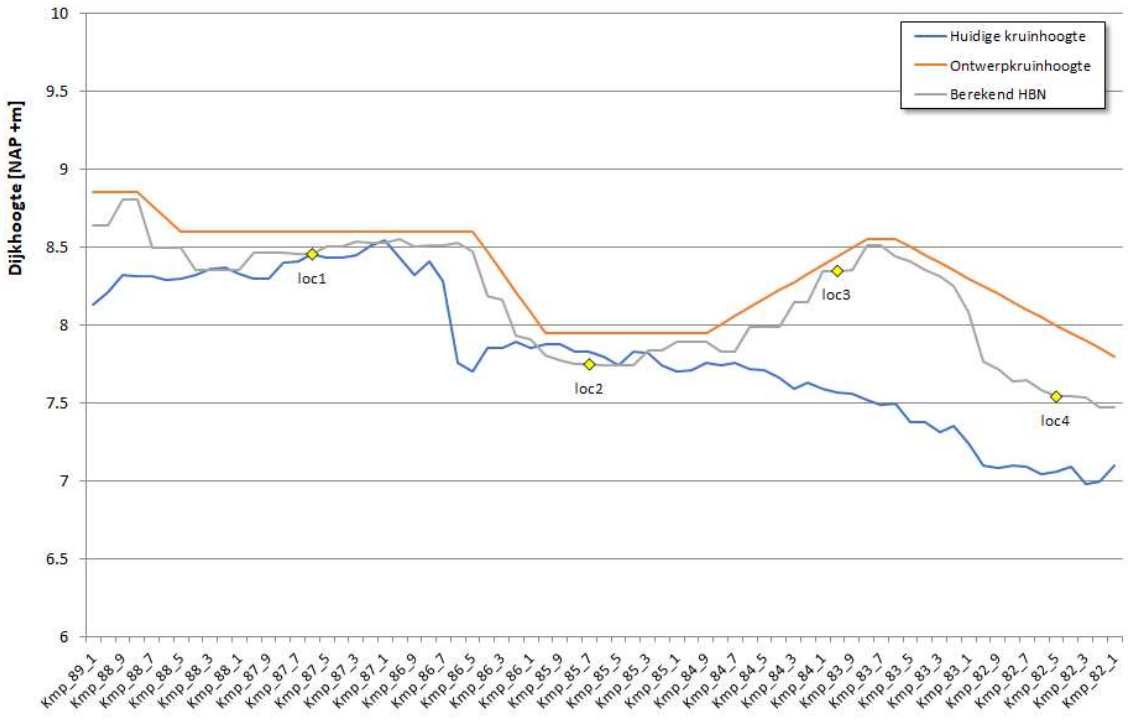


Figuur 2 – Bodemhoogte van het WBI SWAN-model, met de locaties 1 t/m 4 uit dit memo daarop aangegeven

Al met al is te verwachten dat het HBN bij punt 1 hoger moet zijn dan bij de punten 2 t/m 4. Dit komt ook overeen met de dijkhoogte zoals die momenteel aanwezig is, geleidelijk aflopend van 8,5 m+NAP bij locatie 1 tot ongeveer 7,0 m+NAP bij locatie 4. Het HBN dat volgt uit Hydra-NL (met onderliggende golvendatabase uit WTI2011) levert echter een HBN op dat bij locatie 1 en 3 vrijwel even hoog is (circa 8,3 m+NAP), met een tussenliggend traject rond locatie 2 met een lager HBN, zie Figuur 3.

Locatie	Locatie 1	Locatie 2	Locatie 3	Locatie 4
x dijk (m)	211486	213294	214779	215924
y dijk (m)	603335	603266	602439	601369
HBN V1 (m+NAP)	8.45	7.75	8.36	7.73
WZ_1_6-5	dk_00037	dk_00046	dk_00053	dk_00061
Kmp	87_6	85_7	84_0	82_4
Kruinhoogte (m+NAP)	8.46	7.83	7.57	7.09
Dijknormaal (gr.)	341	29	30	57
HRD loc	640	649	656	664
x HRD loc (m)	211384	213302	214829	216029
y HRD loc (m)	603404	603377	602524	601506

Tabel 1 – Kenmerken van de vier karakteristieke locaties



Figuur 3 – De huidige dijkhoogte, het oorspronkelijk berekende HBN bij variant V1.2 en de daaruit voortvloeiende ontwerpkruinhoogte

Het volgende patroon is zichtbaar in het HBN:

- Het HBN is hoog bij het westelijk deel van het traject, rond locatie 1. Dit is logisch verklaarbaar, omdat de dijk hier op het noordwesten ligt, de windrichting waarbij de kans op hoge waterstanden en golven in de Waddenzee het grootst is. Golven zullen hier vrijwel loodrecht invallen. Daarnaast ligt de diepe geul Vierhuizergat hier direct voor de dijk, waardoor golven de dijk ongehinderd kunnen bereiken.
- Verder richting het oosten maakt de dijk een knik (zie Figuur 1), waardoor de dijk daar richting het noordoosten is georiënteerd. Bij de dominante condities met noordwestenwind is hier sprake van enige beschutting, en daarnaast schuin tot zeer schuin invallende golven. Het is daarom ook goed verklaarbaar dat het HBN rond locatie 2 lager ligt dan rond locatie 1.
- Opvallend genoeg loopt het HBN rond locatie 3 weer op naar een vergelijkbaar niveau als rond locatie 1, ondanks de schuine golfinval en de hoger gelegen wadplaten voor de dijk.
- Pas bij locatie 4, ter hoogte van de hoog gelegen kwelders, waar de dijk ook nog een extra knik maakt, neemt het HBN weer enigszins af, maar het verschil met de huidige dijkhoogte is nog steeds aanzienlijk.

Rechtstreeks toepassen van deze resultaten zou leiden tot een dijk met aanzienlijke variaties in kruinhoogte. Daarom zijn een aantal onderzoeksvragen gedefinieerd:

1. Is de inhoud van de database fysica (afkomstig uit WTI2011) correct (hoofdstuk 2)?
2. Wat is de verklaring voor het ruimtelijke patroon in het HBN langs het traject (hoofdstuk 3)?
3. Hoe gevoelig is het HBN voor variaties in verschillende golfparameters (hoofdstuk 4)?
4. Welke fysische processen bepalen de golfaanval op de dijk (hoofdstuk 5)?
5. Hoe verandert het HBN bij toepassing van de Waddenzeebodem van 2019 (hoofdstuk 6)?
6. Is de golfsteilheid in de berekeningen realistisch (hoofdstuk 7)?

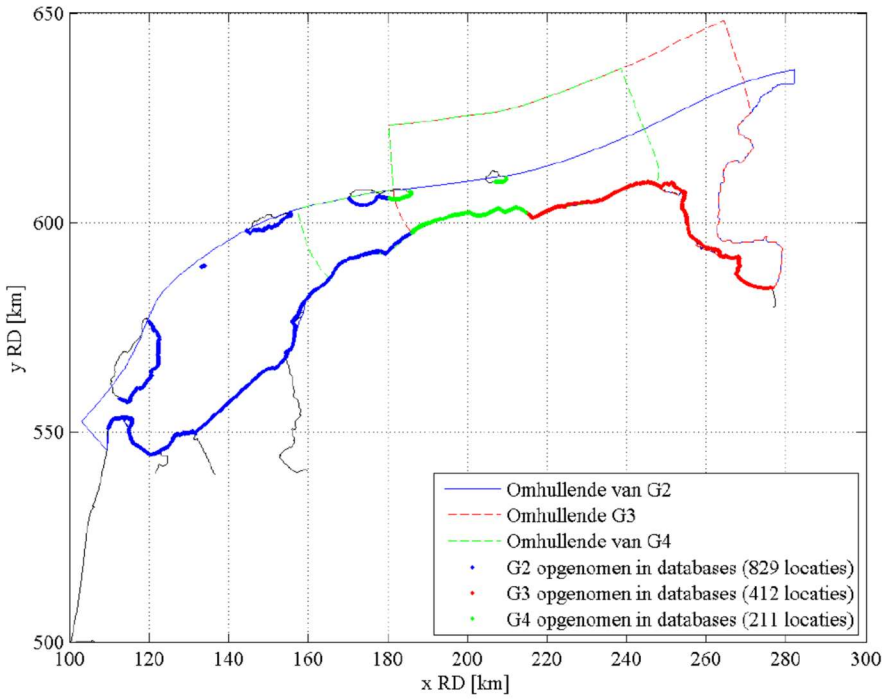
2 Database fysica uit WTI2011

De eerste onderzoeksvraag gaat over de correctheid van de database fysica (uit WTI2011). Nader onderzoek hiervan brengt twee zaken naar voren die zorgen voor een relatief hoog HBN op het oostelijke deel van het traject:

1. Een knip in SWAN modelinstellingen uit WTI2011 halverwege het traject,
2. Een lokale fout in de WAQUA waterstandsvelden uit WTI2011, nabij locatie 3.

2.1 Knip in modelinstellingen

In de Oostelijke Waddenzee bleken lange golven vanaf de Noordzee onvoldoende de Waddenzeedijken te bereiken, waardoor de golfperiode $T_{m-1,0}$ nabij de dijk korter was in SWAN dan in metingen. De oplossing voor WTI2011 was het beperken van de refractie van lange golven vanuit de geulen naar de platen, zodat de langere golven vanaf de Noordzee via de geulen bij de dijk terecht konden komen. Deze oplossing, refractielimitering, werd toegepast in model G3, terwijl in model G4 gerekend werd met standaard instellingen voor refractie. Model G3 diende gebruikt te worden voor het vullen van de databases oostelijk van x=215 km, en model G4 westelijk van x=215 km.

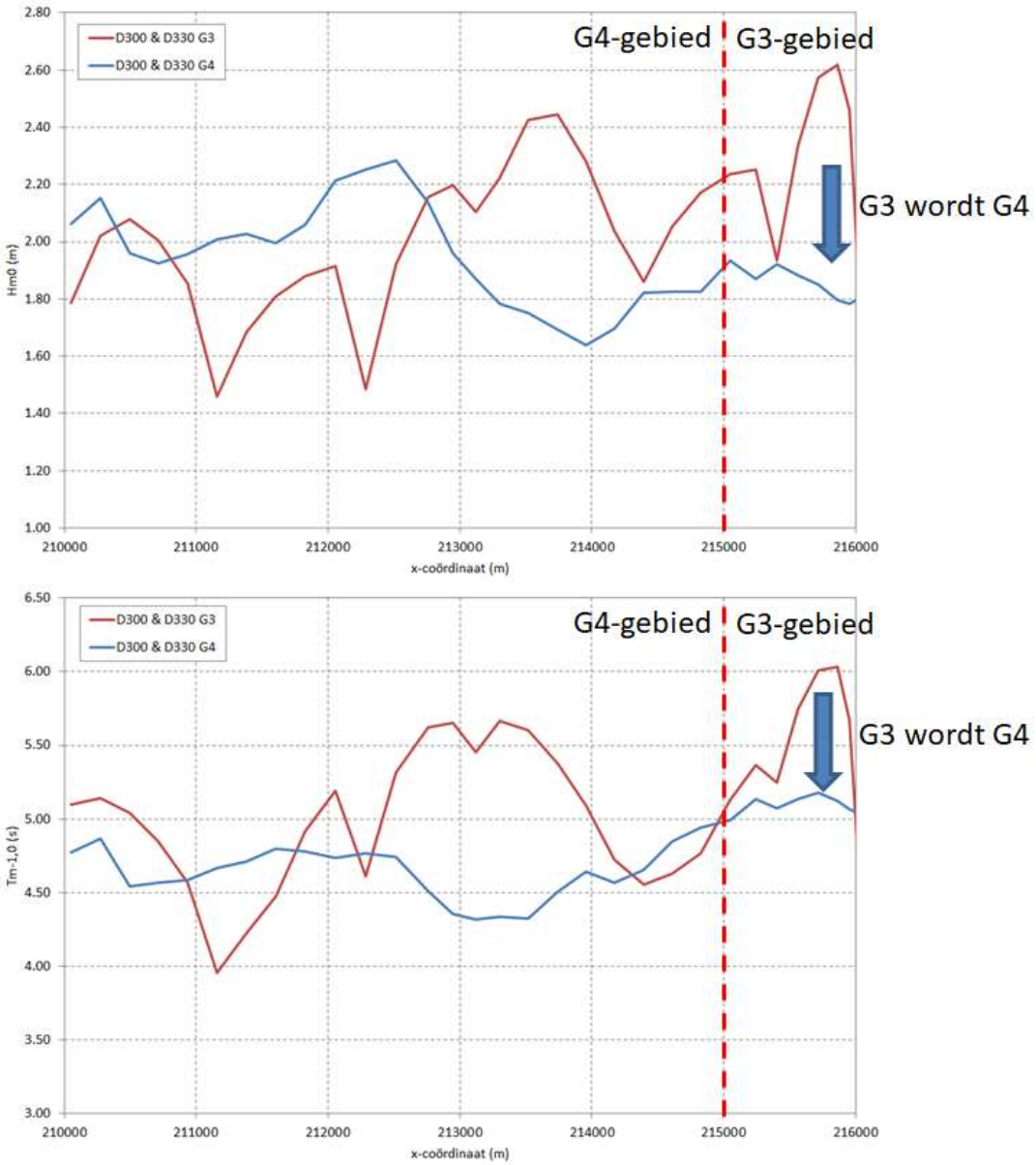


Figuur 4 – Te gebruiken SWAN-model per deel van de Waddenzee (Groeneweg, J. (2010), Analyse verschillen door refractielimitering. Deltares memo 1202341-002-HYE-0032, 6 oktober 2010).

Deze knip ligt precies op het traject Lauwersmeerdijk – Vierhuizergat. Oostelijk van de knip worden relatief lange golfperiodes berekend, westelijk daarvan relatief korte golfperiodes. Dit is één van de redenen waarom het HBN rond km83,5 in Figuur 3 ongeveer even hoog ligt als rond km87.

Refractielimitering was destijds bedoeld voor de Oostelijke Waddenzee, en niet voor deze specifieke dijk. Daarom heeft Deltares (in de persoon van Jacco Groeneweg) nu geadviseerd om voor het gehele traject de resultaten van model G4 te gebruiken, met standaardinstellingen voor refractie, zonder refractielimitering.

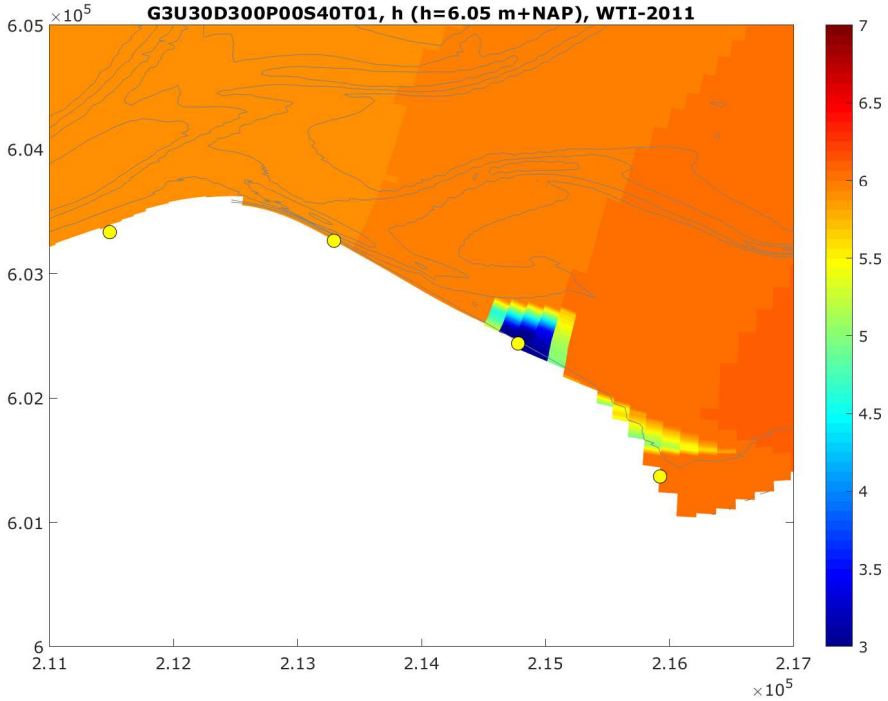
In Figuur 5 is te zien wat het verschil is tussen de modellen G3 en G4, in termen van golfhoogte (boven) en golfperiode (onder). Ten oosten van de x=215 km (de rode verticale gestreepte lijn) werd G3 toegepast. Als hier wordt overgestapt op G4, resulteert dit in een tot 0,7 m lagere golfhoogte en een tot 0,8 s kortere golfperiode.



Figuur 5 – Verschil tussen G3 en G4 in golfhoogte (boven) en golfperiode (onder), gemiddeld over de 30 berekeningen met D=300 en 330 graden, U=30 m/s en S=4 m+NAP. De rode lijn is de knip bij x=215 km.

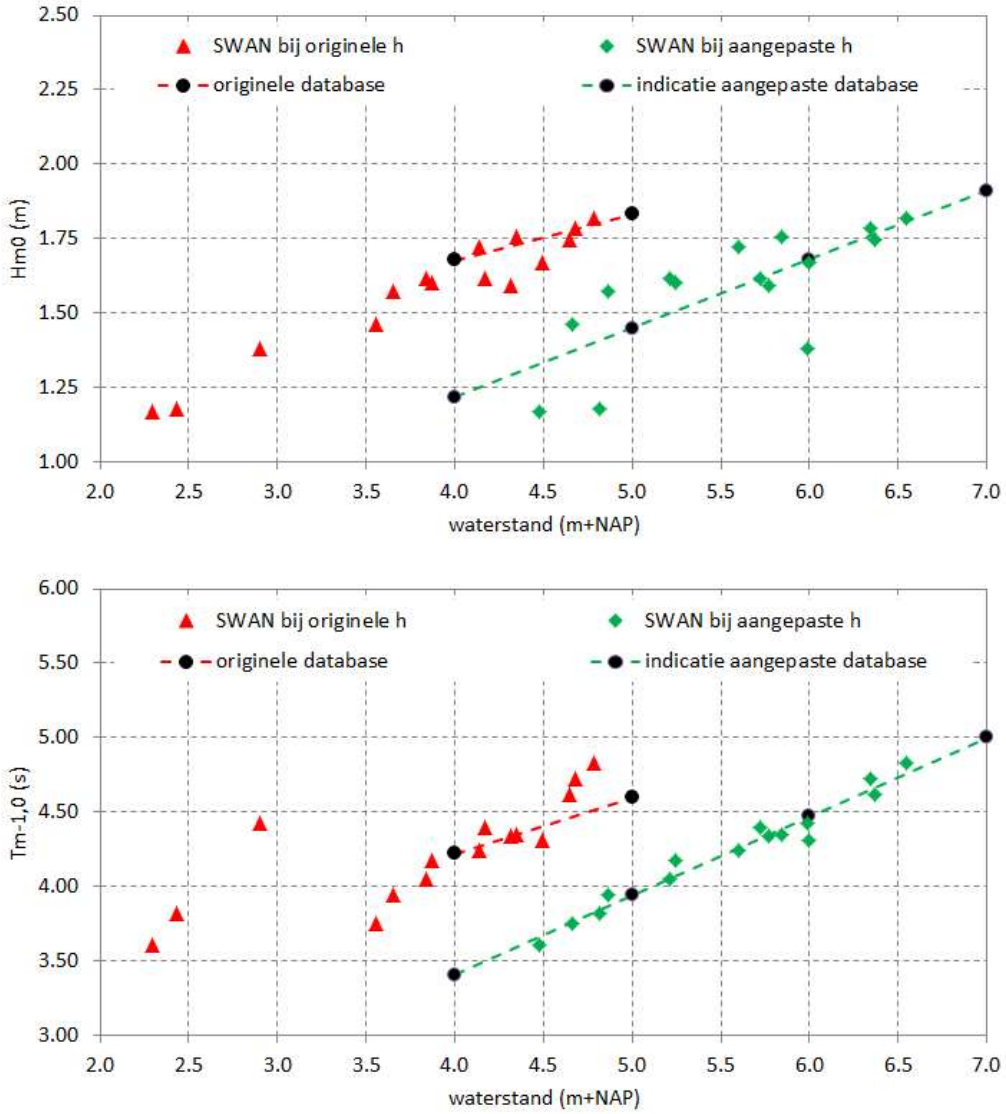
2.2 Lokale fout in de waterstanden

Bij het maken van ruimtelijke figuren kwam een lokale fout in de waterstandsvelden uit het WAQUA-model voor WTI2011 aan het licht, die door SWAN als invoer worden gebruikt. Deze anomalie ligt (toevalligerwijs) eveneens rond x=215 km, zie bijvoorbeeld Figuur 6. De ruimtelijke omvang van de afwijkende waterstanden is vrij klein, waardoor de golfparameters uit SWAN zelf nauwelijks zijn beïnvloed. De berekende golfhoogtes zijn echter wel bij de verkeerde lokale waterstand in de database geplaatst. Hierdoor is de golfinformatie uit SWAN bij die lokaal lagere waterstanden in de database geplaatst, en ontbreekt informatie bij de hogere waterstanden. Het gevolg is dat de golfcondities in de database veel te hoog zijn voor de waterstand die eraan is gekoppeld. Dit gedrag komt vaker voor bij 300 graden dan bij 330 graden. Omdat golfcondities bij hogere waterstanden ontbreken, extrapoleert Hydra-NL deze.



Figuur 6 – Fout in het waterstandsveld uit het Kuststrook-Fijn WAQUA-model, welke gebruikt is als invoer van de SWAN-berekening G3U30D300P00S40T01

Figuur 7 bevat de combinaties van lokale waterstanden (horizontale as) en golfhoogte (verticale as, boven) of golfperiode (verticale as, onder) voor windrichting 300 graden. Bij de rode driehoekjes zijn de golfparameters bij de te lage waterstanden uit Figuur 6 gepositioneerd. De rode gestreepte lijn loopt door de twee databasepunten weer. Deze loopt maar tot 5 m+NAP, omdat er voor hogere waterstanden geen uitvoer van SWAN beschikbaar was. Bij de groene ruitjes zijn de waterstanden gecorrigeerd op basis van correcte waterstanden in de omgeving. Dit zorgt ervoor dat de punten naar rechts schuiven. De lineaire trendlijn (groene lijn) komt daardoor lager te liggen dan de oorspronkelijke databasewaarden (rode lijn). De zwarte bolletjes op de groene lijn zijn een indicatie voor de correcte databasewaarden bij 4, 5, 6 en 7 m+NAP.
Het gevolg van de fout in de waterstandsvelden is dus dat er bij windrichting 300 graden te hoge golven (ca. 0,4 m) en te lange periodes (ca. 0,7 s) in de database aanwezig zijn in het relevante bereik aan waterstanden voor HBN-berekeningen voor dit traject (5 tot 6 m+NAP). Bij windrichting 330 graden speelt dit probleem ook, maar slechts bij een beperkte deelverzameling van de berekeningen (een deel van de punten zoals in Figuur 7).



Figuur 7 – Golfhoogte (boven) en golfperiode (onder) bij windrichting 300 graden bij de oorspronkelijke verkeerde waterstanden (rood), en bij gecorrigeerde waterstanden (groen), inclusief de oorspronkelijke databasewaarden (zwarte bolletjes op de rode gestreepte lijn) en een indicatie van de ligging van nieuwe databasewaarden (punten op de groene gestreepte lijn).

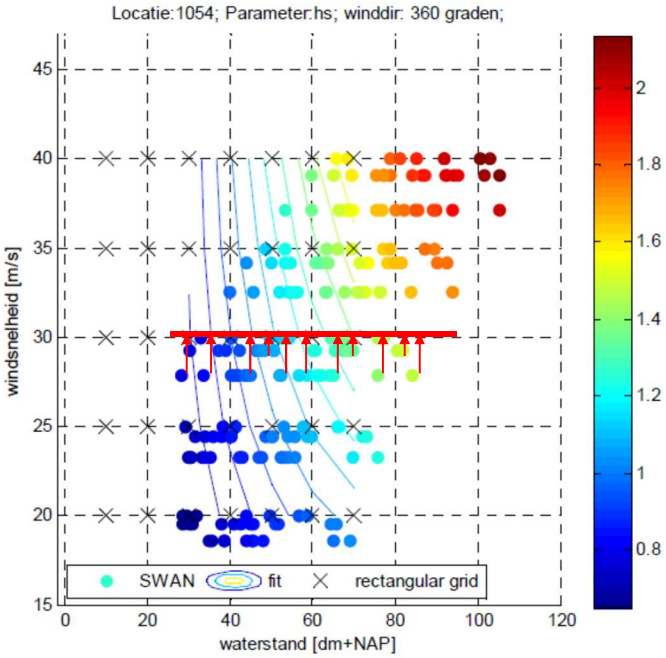
2.3 Aanpassingen database

Vanwege deze twee zaken is door HKV een nieuwe database samengesteld voor het traject Lauwersmeerdijk - Vierhuizergat. Deze database is voor alle locaties gebaseerd op model G4, en de foutieve waterstanden ter plaatse van de anomalie (Figuur 6) zijn door middel van interpolatie tussen omliggende correcte waterstanden aangepast.

Oorspronkelijke SWAN-resultaten zijn beschikbaar voor combinaties van de volgende parameters:

- Windrichting;
- Windsnelheid;
- Stormopzet op zee;
- Faseverschil harmonisch hoogwater en piek van de windsnelheid;
- Tijdstip ten opzichte van de piek van de windsnelheid.

De laatste drie van deze parameters zijn in de database samengevoegd in de vorm van de lokale waterstand, zoals ook voor WTI2011 is toegepast. Daarvoor zijn de met SWAN berekende golfparameters geïnterpoleerd naar vaste combinaties van lokale waterstand en windsnelheid. Zie onderstaand voorbeeld uit de WTI2011 achtergrondrapportage (fase 3), Nicolai et al. (2011).



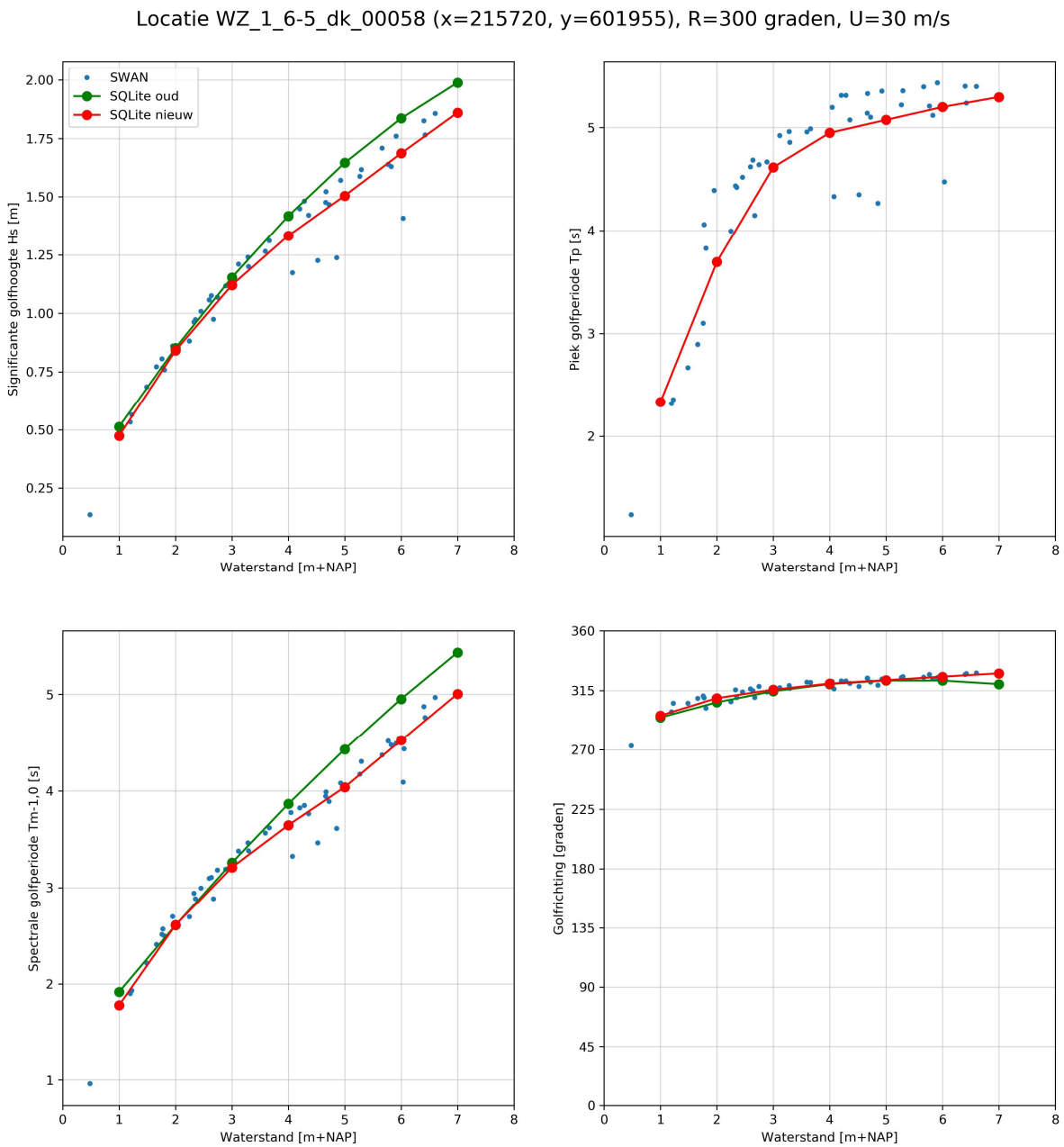
Figuur 8 – Voorbeeld van de interpolatie van de golfparameter H_s naar vaste combinaties van lokale waterstand en windsnelheid

De tweedimensionale interpolatie is voor deze specifieke toepassing vereenvoudigd tot eendimensionale interpolatie op basis van alleen de lokale waterstand. Dit betekent dat de verticale spreiding van de getallen rond de piekwindsnelheid (zoals in Figuur 8) is genegeerd (bijvoorbeeld geen 28-30 m/s, maar in alle gevallen 30 m/s, zie de rode pijltjes in de figuur). De gevolgen van deze aanpassing zijn klein, aangezien de variatie van de windsnelheden rond de piek van de storm beperkt is, evenals de invloed daarvan op de golfcondities.

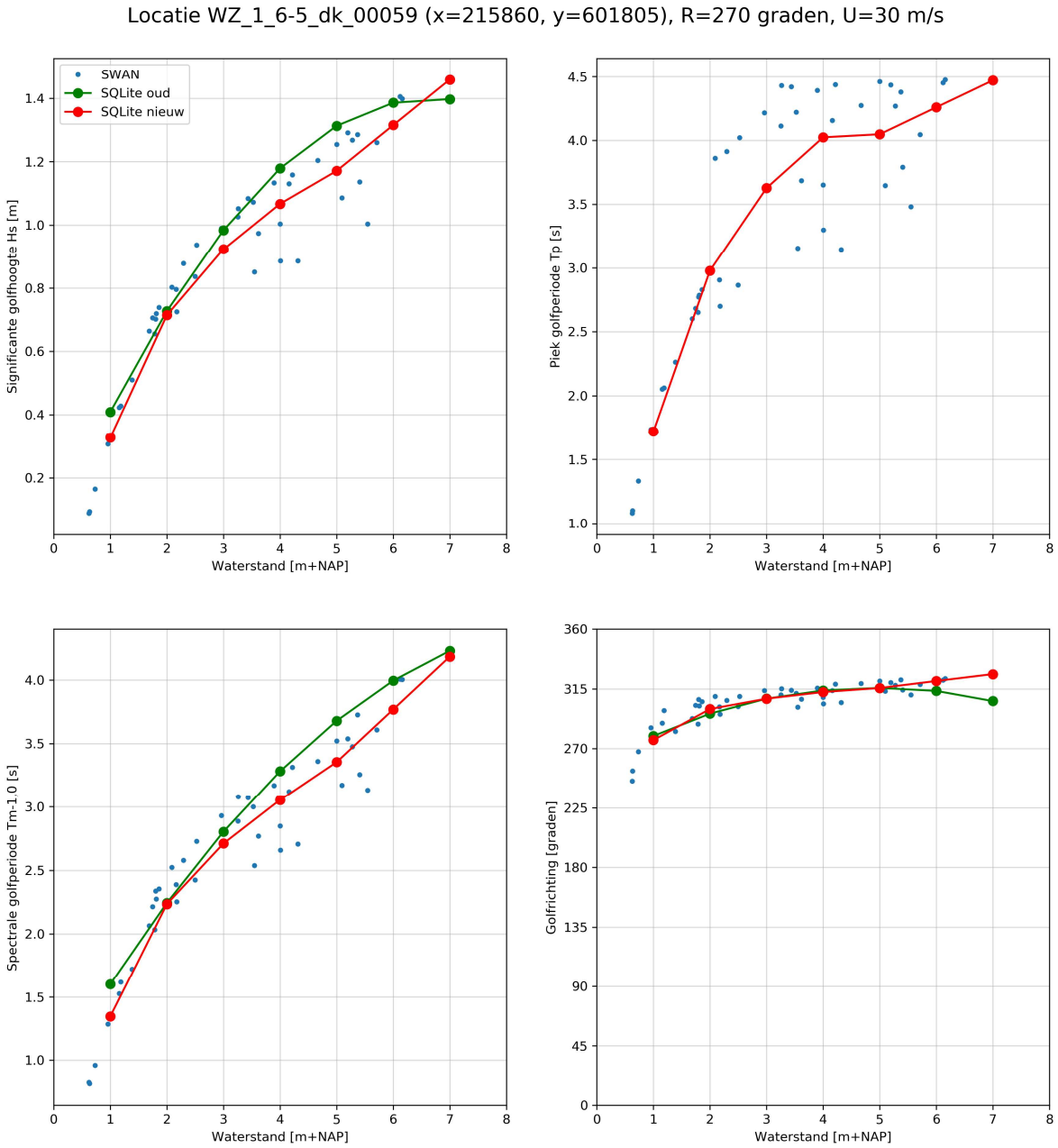
Figuur 9 en Figuur 10 tonen twee voorbeelden van het interpoleren voor databaselocaties 00058 en 00059 waarbij G3 gewijzigd is in G4. De vier afwijkende punten in Figuur 9 betreffen situaties bij stochastwaarde T=T1, ofwel 2 uur voor de piek van de storm, waarbij de windsnelheid nog wat lager is dan op de piek (ca. 6%), en de windrichting nog meer richting west (281 graden in plaats van 300). Zie tabel 2.3 uit Klein en Kroon (2011).

De interpolatie is op een flexibele manier gebaseerd op een gemiddelde van de omliggende punten bij de betreffende waterstand, en veronderstelt dus geen (lineair) verband tussen de waterstand en de golfparameters. Per waterstand is de waarde voor de betreffende parameter (Hs, Tp, golfrichting) bepaald door een lineaire fit op een interval rondom die waterstand dat zodanig is gekozen dat er minstens 20 datapunten invallen. Het interval rondom de waterstand wordt hierbij stapsgewijs vergroot, waarbij telkens zowel links als rechts 10 cm wordt toegevoegd.

Evenals in 2011 is de piekperiode niet in de database geplaatst. Deze wordt in Hydra-NL afgeleid vanuit $T_{m-1,0}$ via $T_p = 1{,}1*T_{m-1,0}$.



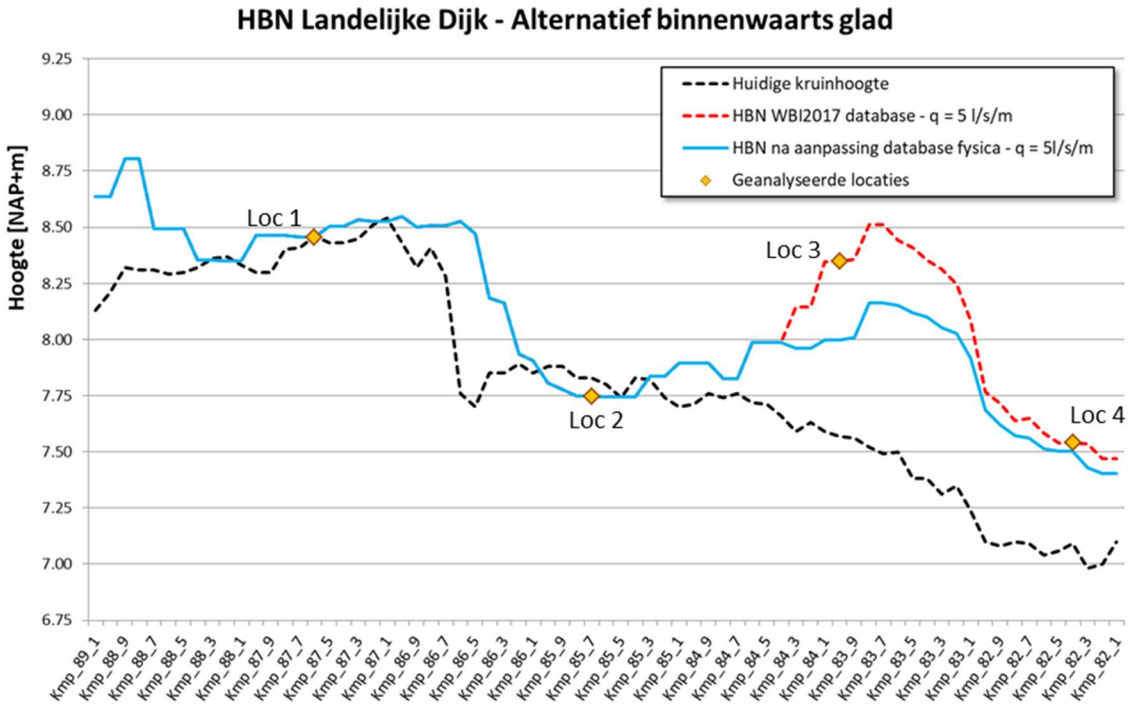
Figuur 9 – Voorbeeld 1 van interpolatie van G4 SWAN-berekeningen naar de database (rode punten op de lijn), en vergelijking met de oude database, gebaseerd op G3 voor x>215 km.



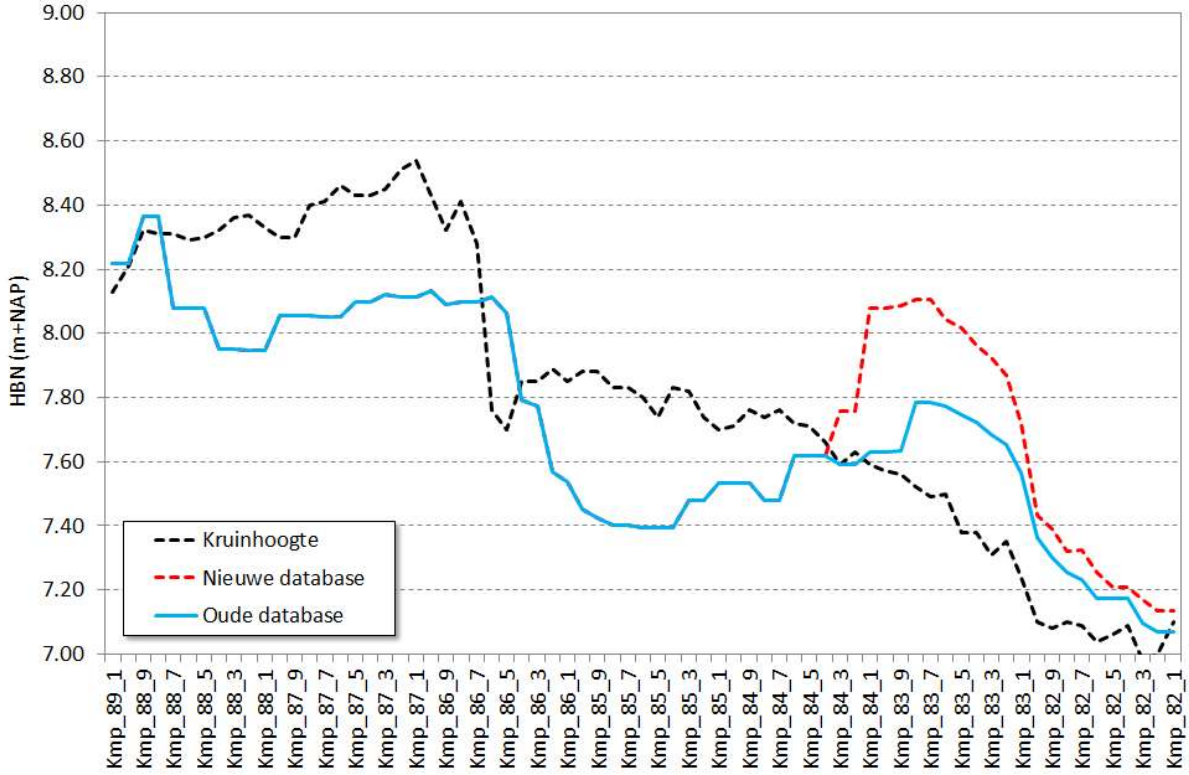
Figuur 10 – Voorbeeld 2 van interpolatie van G4 SWAN-berekeningen naar de database (rode punten op de lijn), en vergelijking met de oude database, gebaseerd op G3 voor x>215 km.

2.4 Effect van aangepaste database op het HBN

De aanpassingen in de database zorgen voor een lager HBN oostelijk van x ≈ 215 km, Kmp 84.5. Daardoor sluit het HBN beter aan bij het intuïtieve uitgangspunt dat het westelijke deel van de dijk, gericht op het noordwesten, een hogere kruin nodig heeft dan de dijk verder naar het oosten, gericht op het noordoosten. Figuur 11 toont de verschillen in HBN voor variant V1 (met glad buitentalud), en Figuur 12 voor variant V2 (ruw buitentalud). De verhoging rond locatie 3 is nog steeds aanwezig, maar veel minder nadrukkelijk. In hoofdstuk 3 en 5 wordt dit patroon nader bestudeerd.



Figuur 11 – Effect van de aanpassing van de database op het HBN bij variant V1 (glad buitentalud) en een kritiek overslagdebiet van 5 l/s/m.



Figuur 12 – Effect van de aanpassing van de database op het HBN bij variant V2 (ruw buitentalud) en een kritiek overslagdebiet van 5 l/s/m.

3 Ruimtelijk verloop in het HBN

De tweede onderzoeksvraag heeft betrekking op het ruimtelijke patroon in het HBN langs het traject. Daarbij vormt het patroon ná aanpassing van de database het uitgangspunt. Voor de verklaring nemen we variant V1 met glad buitentalud, getoond met rode onderbroken lijnen in Figuur 11.

Tabel 2 toont de illustratiepunten voor de vier karakteristieke locaties bij uitvoeringsvariant V1, zichtjaar 2075, een terugkeertijd van 12.500 jaar, een overslagdebiet van 5 l/s/m, en respectievelijk de windrichtingen 300 en 330 graden.

grootheid	loc1	loc2	loc3	loc4
HBN (m+NAP)	8.45	7.75	8.01	7.40
bijdrage 300 gr. (%)	26	13	22	12
windsnelheid U (m/s)	35.1	39.3	35.7	38.5
waterstand h (m+NAP)	5.74	6.31	5.91	6.39
H_{m0} (m) (incl. fH_{m0})	2.57	2.00	2.24	1.16
$T_{m-1,0}$ (s) (incl. $fT_{m-1,0}$)	4.87	3.82	4.83	4.32
Modelonzekerheid fH_{m0} (-)	1.21	0.99	1.21	0.99
Modelonzekerheid $fT_{m-1,0}$ (-)	1.09	0.96	1.09	0.96
H_{m0} / fH_{m0} (m)	2.12	2.02	1.85	1.17
$T_{m-1,0}$ / $fT_{m-1,0}$ (s)	4.47	3.98	4.43	4.50
golfrichting θ (gr)	310	316	321	329
hoek golfinval β (gr)	31	73	69	88
factor γ_β (-) voor effect β	0.897	0.759	0.773	0.736

grootheid	loc1	loc2	loc3	loc4
HBN (m+NAP)	8.45	7.75	8.01	7.40
bijdrage 330 gr. (%)	71	84	75	88
windsnelheid U (m/s)	33.2	34.5	33.1	34.6
waterstand h (m+NAP)	5.31	5.50	5.41	5.74
H_{m0} (m) (incl. fH_{m0})	2.79	2.83	2.58	1.91
$T_{m-1,0}$ (s) (incl. $fT_{m-1,0}$)	5.00	4.23	5.16	4.64
Modelonzekerheid fH_{m0} (-)	1.21	1.21	1.21	0.99
Modelonzekerheid $fT_{m-1,0}$ (-)	1.09	0.96	1.09	0.96
H_{m0} / fH_{m0} (m)	2.31	2.34	2.13	1.93
$T_{m-1,0}$ / $fT_{m-1,0}$ (s)	4.59	4.41	4.73	4.83
golfrichting θ (gr)	323	334	330	342
hoek golfinval β (gr)	18	56	60	75
factor γ_β (-) voor effect β	0.942	0.817	0.801	0.753

Tabel 2 - Illustratiepunten voor het HBN bij uitvoeringsvariant V1, zichtjaar 2075, een terugkeertijd van 12.500 jaar, een overslagdebiet van 5 l/s/m en windrichting 300 graden (boven) en 330 graden (onder)

Locatie 1

De overschrijdingsfrequentie wordt gedomineerd door windrichting 330 graden (71%). De bijdrage van windrichting 300 graden is duidelijk kleiner (26%). Het HBN is bij locatie 1 relatief hoog door golven die onder een kleine hoek invallen (18 graden). We houden deze locatie aan als referentielocatie, en komen terug op verschillen bij de locaties 2 tot en met 4.

Locatie 2

De bijdrage van de windrichting 300 graden is hier nog kleiner (13%) dan bij locatie 1. Er is hier, ten opzichte van locatie 1, sprake van schuinere golfinval, een vergelijkbare golfhoogte, en een kortere golfperiode (4.23 s tegen 5.0 s bij locatie 1). Golven ondervinden hier invloed van de diepe geul, het Vierhuizergat, voor de dijk. In hoofdstuk 5 wordt dit nader geduid. Daarnaast gaat er minder kansbijdrage richting de modelonzekerheid voor de golfperiode, wat te zien is aan de lage waarde van 0.96 in het illustratiepunt (gelijk aan de gemiddelde waarde). De combinatie van modelonzekerheden (1.21 voor H_{m0} en 0.96 voor $T_{m-1,0}$) zorgt voor aanzienlijk steilere golven in het illustratiepunt van Hydra-NL dan van de SWAN-berekeningen.

Locatie 3

Bij locatie 3 ligt er geen geul meer direct voor de dijk. De golfhoogte is lager dan bij locatie 1 en 2, maar de golfperiode is langer. De waarden voor de modelonzekerheid zijn weer gelijk aan die bij locatie 1. Opnieuw is sprake van schuine golfinval. Het hogere HBN bij locatie 3 ten opzichte van locatie 2 is voornamelijk toe te schrijven aan de golfperiode (inclusief onzekerheid daarin).

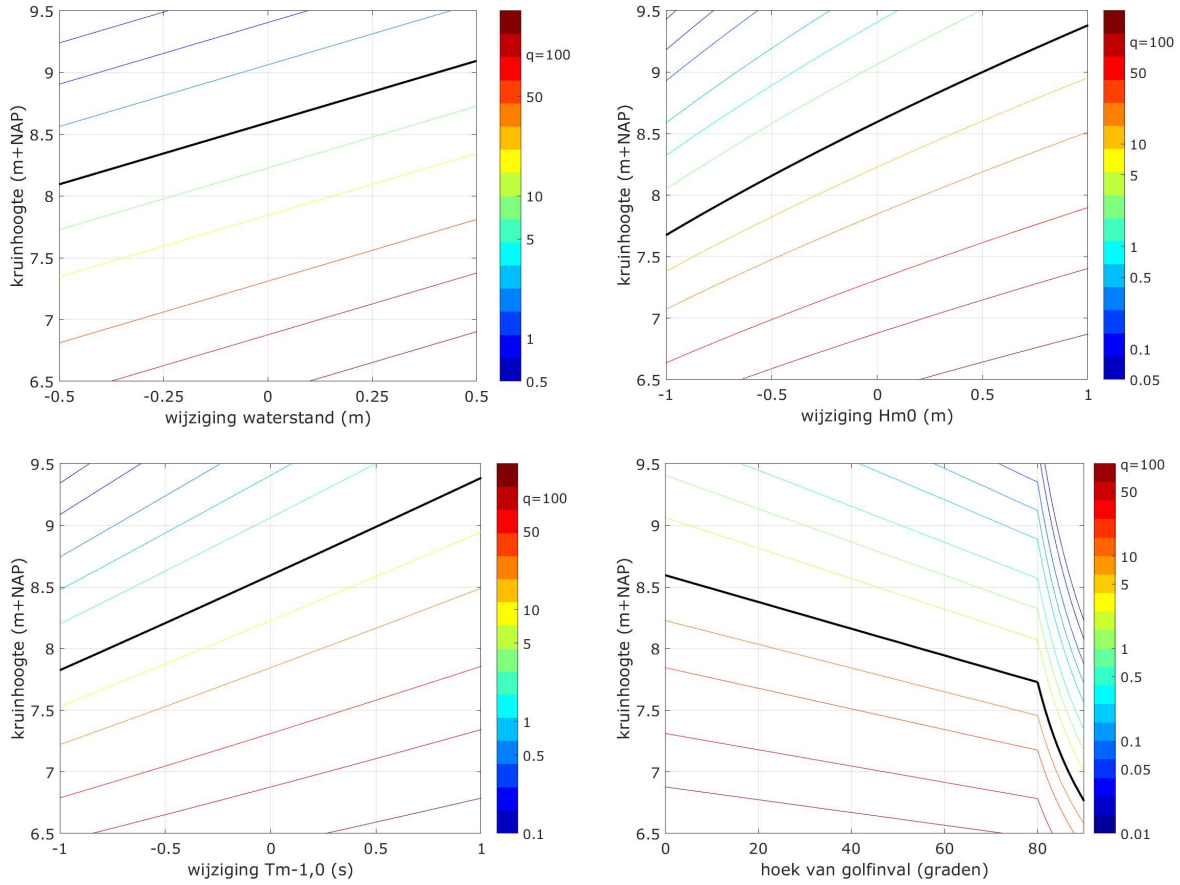
Locatie 4

De ligging en dijknormaal van locatie 4 zijn zodanig, dat de bijdrage van windrichting 300 graden hier vrijwel volledig wegvalt. Bij 330 graden is evenals bij locatie 3 een lange gemiddelde golfperiode zichtbaar (zonder modelonzekerheden). Ook de waterstand is hier hoger. Dit is bijvoorbeeld zichtbaar door vergelijking met locatie 2, waar bij een vergelijkbare windsnelheid in het illustratiepunt bij 330 graden een 0.24 m lagere waterstand van toepassing is. Het lagere HBN bij deze locatie wordt veroorzaakt door de relatief lage golfhoogte (invloed van de kwelders) en de grote hoek van golfinval (75 graden).

Hoofdstuk 4 laat zien hoe de diverse parameters doorwerken naar het HBN, en hoofdstuk 5 geeft op basis van de originele SWAN-berekeningen een nadere duiding van de fysische processen die een rol spelen bij het ontstaan van deze ruimtelijke variaties.

4 Gevoeligheidsanalyse golfoverslag

De vierde onderzoeksvraag gaat over de gevoeligheid van het HBN voor variaties in verschillende golfparameters. Om deze gevoeligheid te duiden, hebben wij de formules uit EurOtop (2016) in Matlab geprogrammeerd, en variaties toegepast ten opzichte van het illustratiepunt bij locatie 1, 330 graden: h=5.31 m+NAP, H_{m0}=2.57 m, $T_{m-1,0}$=4.87 s, θ=18 graden (Tabel 2). In deze gevoeligheidsanalyse is uitgegaan van een 1-op-4 talud en een kritiek overslagdebiet van 5 l/s/m. Verschillen in kruinhoogte door variatie van de individuele parameters zijn af te lezen uit de onderstaande contourplots.



Figuur 13 – Gevoeligheidsanalyse van het golfoverslagdebiet als functie van wijzigingen in diverse parameters ten opzichte van de condities bij locatie 1 (horizontale as) en de kruinhoogte van de dijk (verticale as). De zwarte contourlijn heeft betrekking op 5 l/s/m.

Op basis van de golfoverslagformules hebben wij globaal ingeschat hoe de verschillende golfparameters uit het illustratiepunt bij 330 graden (inclusief modelonzekerheden) doorwerken naar verschillen in het HBN. Niet bij elke locatie heeft windrichting 330 graden dezelfde frequentiebijdrage, en de waarden van de modelonzekerheden in de illustratiepunten variëren van locatie tot locatie. Maar de gevoeligheidsanalyse geeft een indicatie van de mate waarin de verschillende golfparameters doorwerken naar het HBN.

De resultaten zijn samengevat in Tabel 3, waarbij alle getallen relatief zijn ten opzichte van locatie 1. Het lagere HBN bij locatie 2 ten opzichte van locatie 1 wordt vooral veroorzaakt door een combinatie van schuine golfinval en een kortere golfperiode. Bij locatie 3 is de golfperiode juist langer, maar komt het HBN toch lager uit dan bij locatie 1 door schuine golfinval en een lagere

golfhoogte. Bij locatie 4 is de golfinval nog schuiner, en zijn zowel de golfhoogte als de golfperiode kleiner dan bij locatie 1. (Opmerking: bij locatie 4 zijn de waarden voor de modelonzekerheden in het illustratiepunt kleiner dan bij de andere locaties. Zonder modelonzekerheden is de golfperiode langer dan bij locatie 1 t/m 3.)

Locatie	Locatie 2		Locatie 3		Locatie 4	
	Verschil	Effect HBN	Verschil	Effect HBN	Verschil	Effect HBN
Waterstand (m+NAP)	+0.19	+0.19	+0.10	+0.10	+0.43	+0.43
Golfhoogte H_{m0} (m)	+0.04	+0.03	-0.21	-0.18	-0.88	-0.73
Golfperiode $T_{m-1,0}$ (s)	-0.77	-0.60	+0.16	+0.13	-0.36	-0.28
Hoek van inval (gr.)	18 → 56	-0.39	18 → 60	-0.42	18 → 75	-0.62
Totaal effecten (m)	x	-0.74	x	-0.37	x	-1.20
Verschil in HBN o.b.v. Hydra-NL (variant V1)		-0.77		-0.44		-1.05

Tabel 3 – Verklaring van verschillen in HBN (in m) ten opzichte van locatie 1 aan de hand van verschillen in waterstanden en golfparameters ten opzichte van locatie 1. Ter vergelijking zijn ook de door Hydra-NL berekende verschillen in HBN opgenomen in de laatste rij.

Op basis van Tabel 3 wordt duidelijk dat de verschillen in HBN zoals berekend met Hydra-NL behoorlijk goed zijn te reproduceren op basis van de eenvoudige gevoeligheidsanalyse uit Figuur 13.

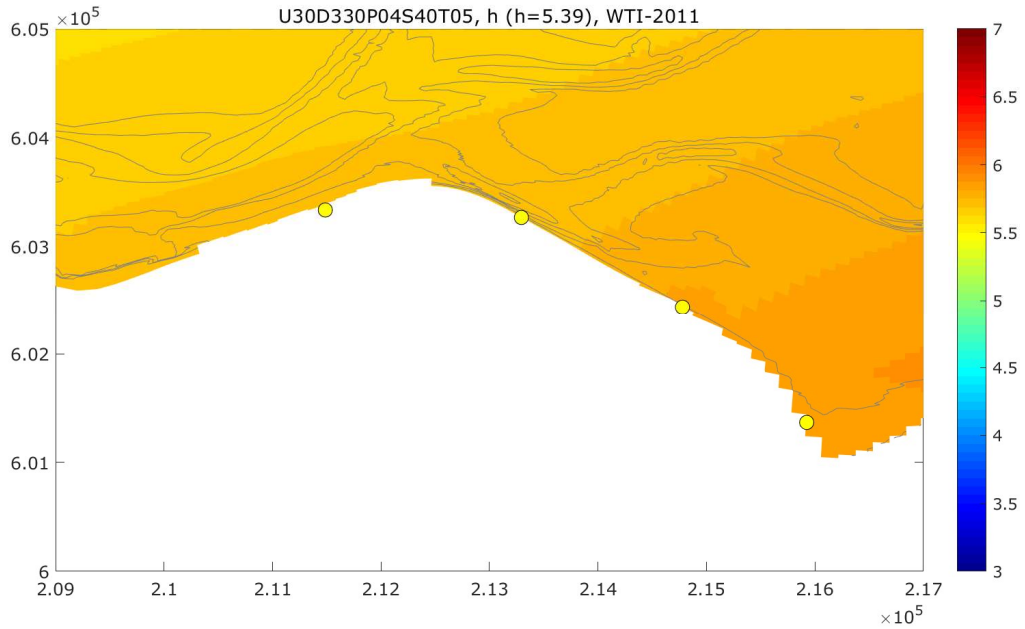
Algemene opmerking: op grote delen van het traject is sprake van zeer schuine golfinval. Er is weinig onderzoek gedaan naar golfoverslag onder deze condities. De EurOtop formules in Hydra-NL zijn enkel gebaseerd op metingen aan golfoploop, op basis waarvan is doorgeredeneerd naar golfoverslag. Voor golfoploop bij een hoek van inval groter dan 40 graden zijn de gebruikte metingen beperkt tot één studie (Van der Meer en De Waal, 1990). Mede daarom wordt momenteel tussen Eemshaven en Delfzijl een grote meerjarige meetcampagne uitgevoerd, omdat daar eveneens golfoverslag bij zeer schuine golfinval zeer relevant is. Eerste meetresultaten suggereren dat de golfoverslag sterker afneemt bij schuine golfinval dan wat volgt uit de EurOtop formules. Deze resultaten zijn echter nog prematuur, en worden pas in de loop van de meerjarige meetcampagne bruikbaar voor toepassing in (andere) projecten.

5 Fysische processen

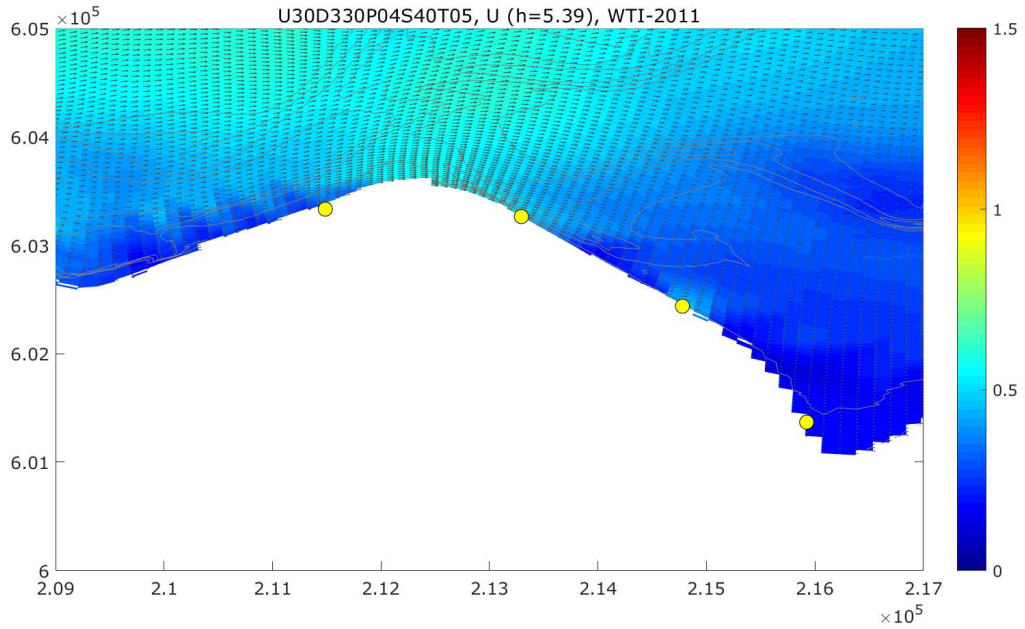
In dit hoofdstuk wordt geduid welke processen verantwoordelijk zijn voor het verloop van de golfparameters langs het dijktraject.

5.1 Ruimtelijke patronen in golfparameters

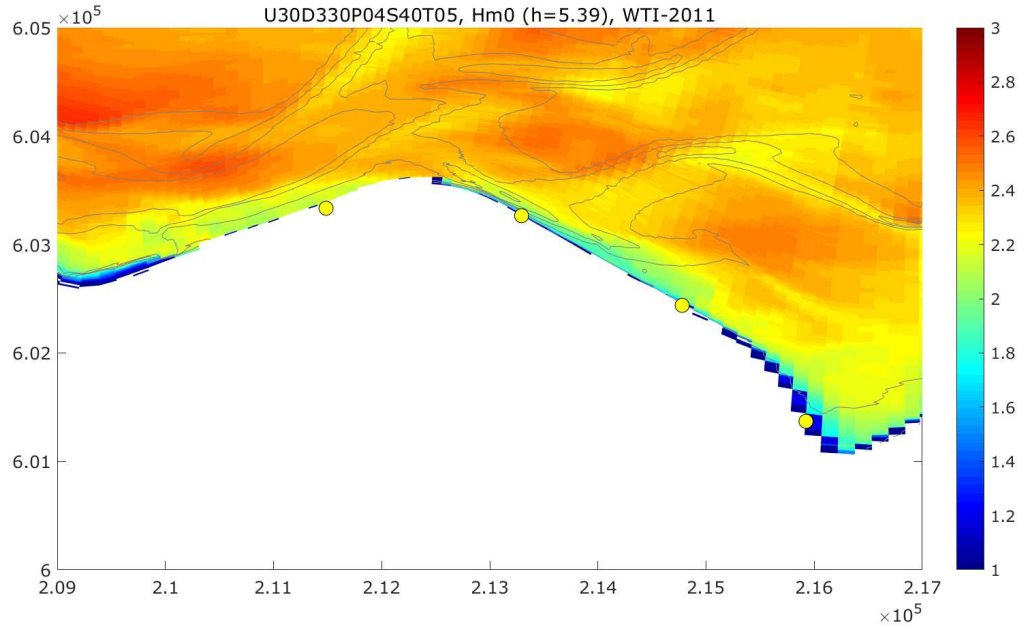
In de figuren zijn ruimtelijke beelden van golfparameters uit twee SWAN-berekeningen van WTI2011 opgenomen bij condities nabij het illustratiepunt van Hydra-NL (windrichting 330 graden, windsnelheid 30 m/s, waterstand 5.5 m+NAP), om meer inzicht te krijgen in de fysische processen en ruimtelijke variaties die een rol spelen in dit gebied. De gele bolletjes zijn de locaties op de dijk. De locaties (HRbasis) voor de golvendatabase liggen 50 m uit de dijkteen. De uitvoer betreft model G4 (zie hoofdstuk 2).



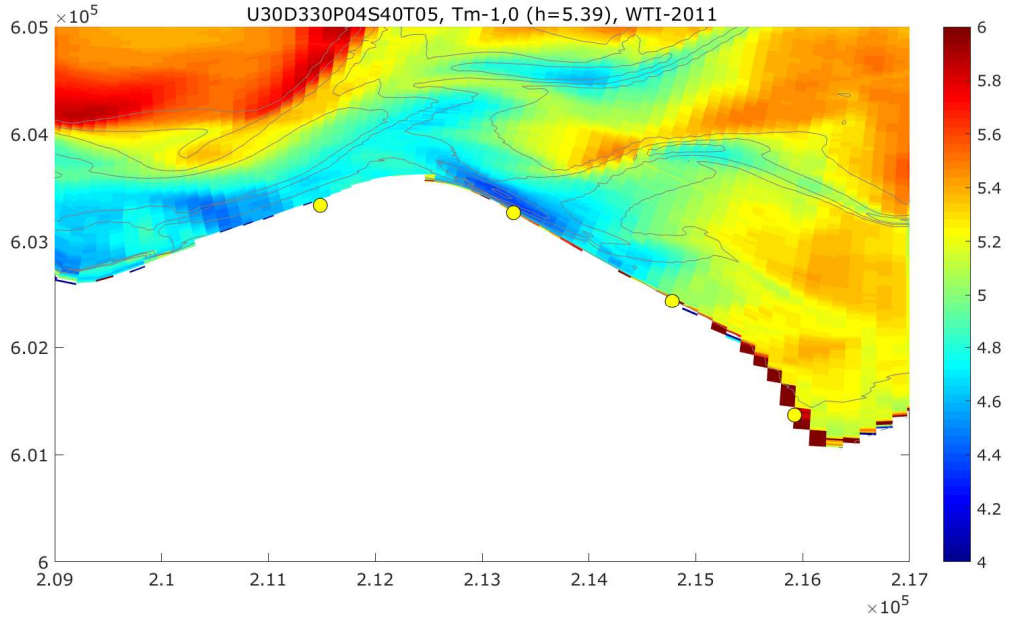
Figuur 14 – Waterstand (m+NAP) bij combinatie U=30 m/s, D=330 graden, P=4 uur, S=4 m, T=+2 uur. De gemiddelde waterstand in het hele G4-domein is 5.39 m+NAP, vermeld in de titel van de figuur. Grijze contourlijnen tonen isolijnen van de bodemhoogte.



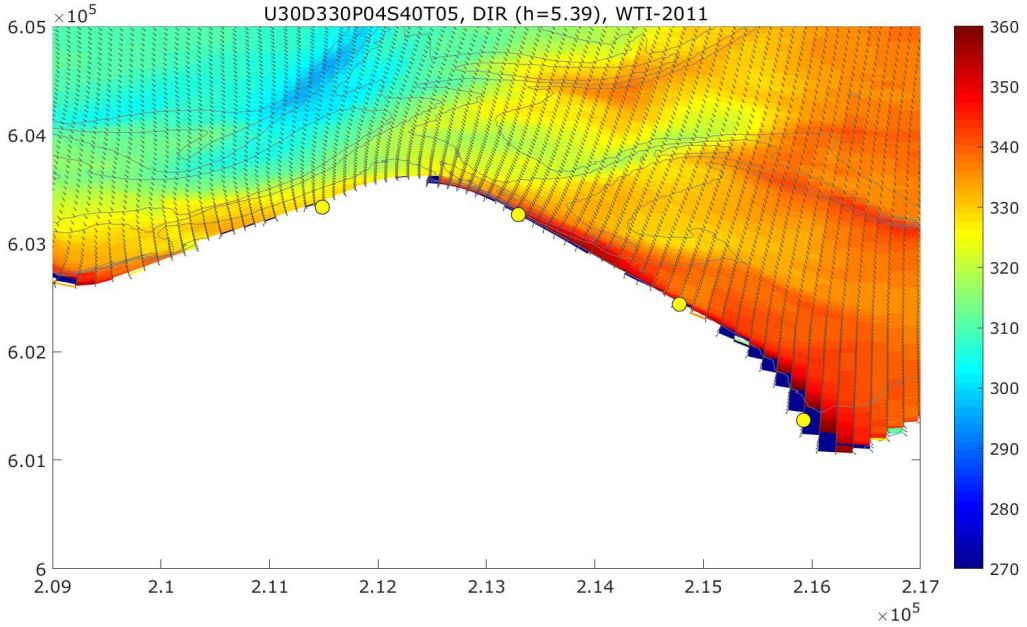
Figuur 15 – Stroomsnelheid (kleuren, m/s) en stroomrichting (pijltjes) bij combinatie U=30 m/s, D=330 graden, P=4 uur, S=4 m, T=+2 uur. Grijze contourlijnen tonen isolijnen van de bodemhoogte.



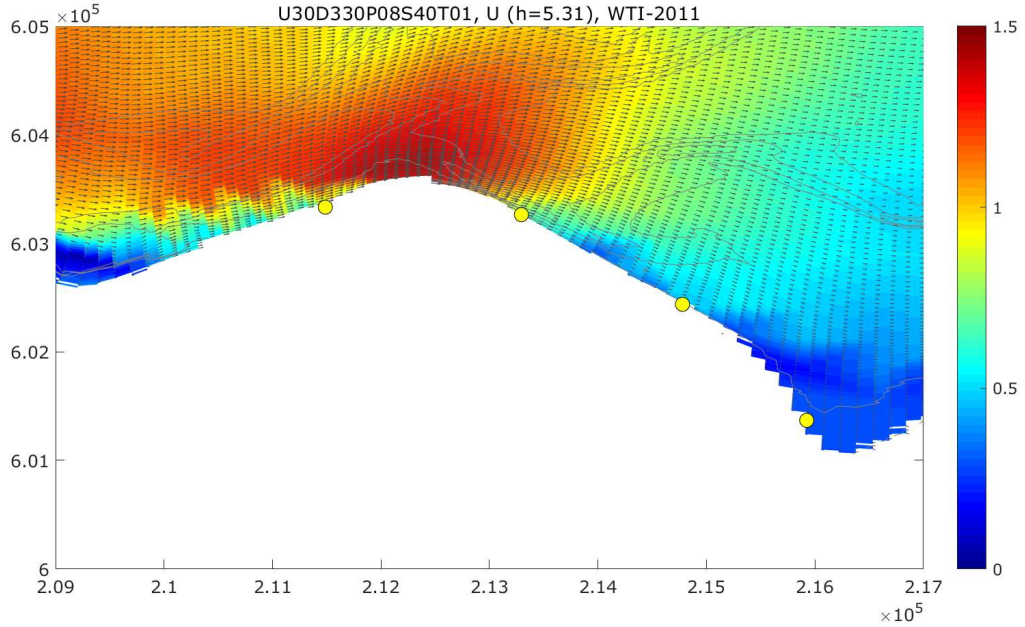
Figuur 16 – Significante golfhoogte (kleuren, m) met golfrichting (pijltjes) bij combinatie U=30 m/s, D=330 graden, P=4 uur, S=4 m, T=+2 uur. Grijze contourlijnen tonen isolijnen van de bodemhoogte.



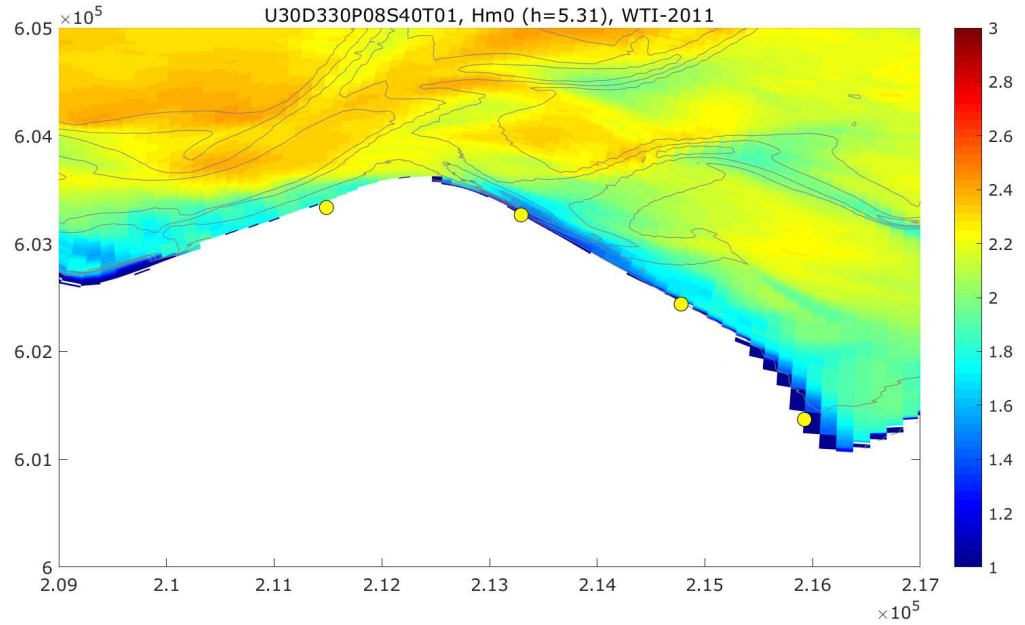
Figuur 17 – Spectrale gemiddelde golfperiode $T_{m-1,0}$ (s) bij combinatie U=30 m/s, D=330 graden, P=4 uur, S=4 m, T=+2 uur. Grijze contourlijnen tonen isolijnen van de bodemhoogte.



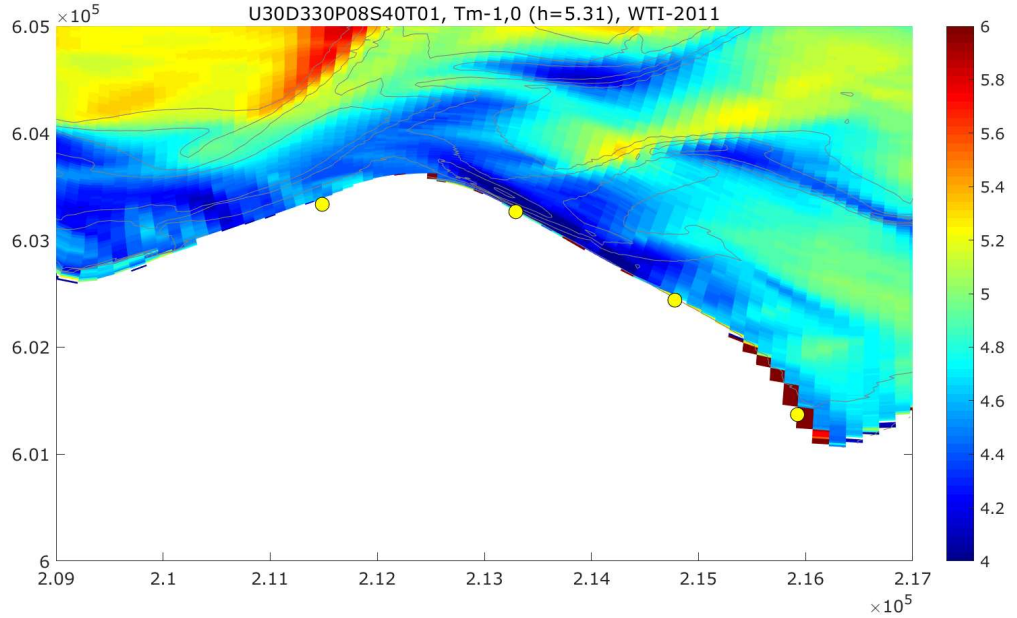
Figuur 18 – Gemiddelde golfrichting (graden) bij combinatie U=30 m/s, D=330 graden, P=4 uur, S=4 m, T=+2 uur. Grijze contourlijnen tonen isolijnen van de bodemhoogte.



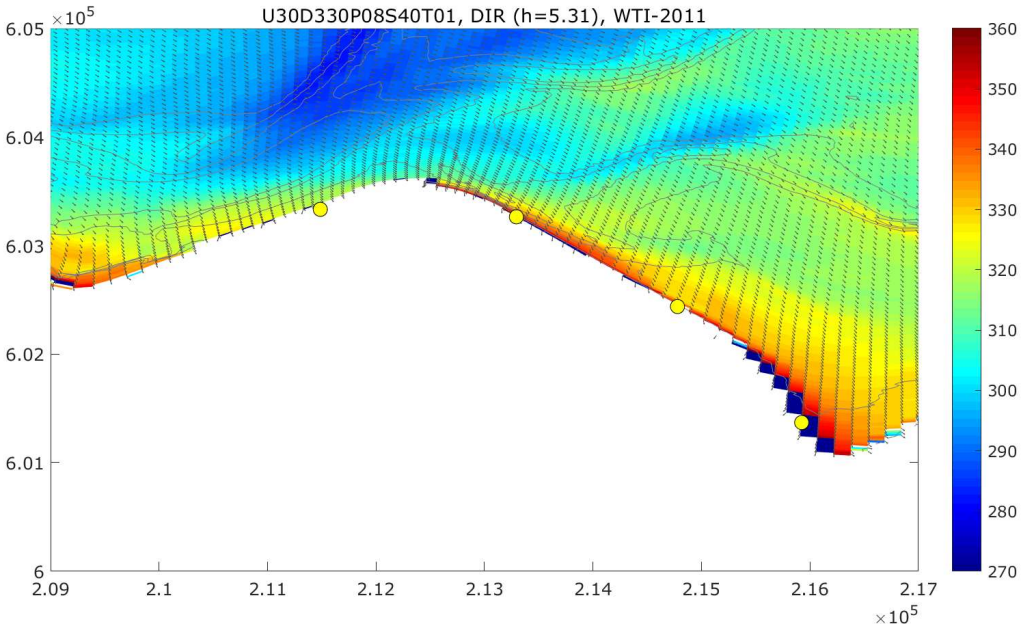
Figuur 19 – Stroomsnelheid (kleuren, m/s) en stroomrichting (pijltjes) bij combinatie U=30 m/s, D=330 graden, P=8 uur, S=4 m, T=-2 uur. Grijze contourlijnen tonen isolijnen van de bodemhoogte.



Figuur 20 – Significante golfhoogte (kleuren, m) met golfrichting (pijltjes) bij combinatie U=30 m/s, D=330 graden, P=8 uur, S=4 m, T=-2 uur. Grijze contourlijnen tonen isolijnen van de bodemhoogte.



Figuur 21 – Spectrale gemiddelde golfperiode $T_{m-1,0}$ (s) bij combinatie U=30 m/s, D=330 graden, P=8 uur, S=4 m, T=-2 uur. Grijze contourlijnen tonen isolijnen van de bodemhoogte.



Figuur 22 – Gemiddelde golfrichting (graden) bij combinatie U=30 m/s, D=330 graden, P=8 uur, S=4 m, T=-2 uur. Grijze contourlijnen tonen isolijnen van de bodemhoogte.

Uit deze figuren wordt een aantal zaken duidelijk:

1. De sterkte van de stroming hangt sterk af van het moment in de getijcyclus, en het samenvallen met de piek van de storm (Figuur 15, Figuur 19). De WBI-database bevat een gemiddelde representatie van de golven bij diverse stromingscondities op en rond de piek van de storm.
2. Op het oostelijke deel van het traject (locatie 2 t/m 4) is de golfhoogte dicht bij de dijk duidelijk lager dan bij het westelijk deel (locatie 1). Dit is vooral zichtbaar in Figuur 20.
3. Dicht bij de dijk is de golfperiode aanzienlijk korter dan verder van de dijk af (Figuur 17, Figuur 21). Vooral ter hoogte van locatie 2, bij de diepe geul het Vierhuizergat, is de golfperiode kort.

4. De golven draaien bij door refractie op de platen voor de locaties 2 t/m 4, maar nog steeds is sprake van schuine tot zeer schuine golfinval.

Vooral het ruimtelijke patroon in de golfperiode is opvallend, met aanzienlijk lagere waarden bij locatie 2 dan bij de omringende locaties. In de smalle strook langs de dijk spelen stroming, refractie en dieptebeperking een rol: een zeer complex samenspel. We volstaan daarom met het aangeven van twee mogelijke oorzaken.

1. Ten eerste is er de knik in de dijk (zie Figuur 1), waardoor het oostelijke deel van het traject enigszins in de luwte ligt voor de heersende golfrichting (golven 316 graden, wind 330 graden).
2. Ten tweede ligt het diepe Vierhuizergat bij locatie 2 voor de dijk. Relatief lange golven binnen het golfveld worden het sterkst beïnvloed door de bodemtopografie. Zij draaien door refractie vanuit de geulen richting de plaatranden. Op verschillende plaatranden is een hoge periode zichtbaar (Figuur 17 en Figuur 21), gecombineerd met een afwijkende gemiddelde golfrichting (Figuur 22). Hierdoor ontstaat in de geulen netto een golfspectrum met een kortere gemiddelde golfperiode, door dominantie van de hogere frequenties. Voornamelijk in het diepe Vierhuizergat, nabij locatie 2, is de golfperiode hierdoor kort. Dit effect is zowel zichtbaar bij 300 graden (slechts 3.98 sec exclusief modelonzekerheid, ondanks een extreme windsnelheid van 39.3 m/s) als bij 330 graden (4.41 sec, korter dan bij de andere drie locaties). Bij locatie 3 is de golfhoogte hoger en de golfperiode langer dan bij locatie 2 (Figuur 17). Bij locatie 3 ligt dan ook geen diepe geul meer vlak voor de dijk.

5.2 Invloed van stroming op de golven

In WTI2011 zijn golven berekend inclusief het effect van stroming, waarbij de stroombeelden zijn verkregen door berekeningen met WAQUA bij dezelfde wind en zeewaterstand als in SWAN. Om scherper te krijgen hoe stroming invloed heeft op de golfcondities bij de dijk, zijn enkele SWAN-berekeningen uit WTI2011 opnieuw uitgevoerd, maar dan zonder stroombeeld mee te geven aan de berekening. De volgende vijf parametercombinaties (codering uit WTI2011, zie Klein & Kroon, 2011): G3U30D330P04S40T04, G3U30D330P04S40T05, G3U30D330P08S40T01, G3U30D330P08S40T02, G3U30D330P08S40T03[1]. Deze berekeningen hebben allemaal een windrichting (330 graden), windsnelheid (30 graden) en waterstand (5-6 m+NAP) nabij het illustratiepunt van Hydra-NL (Tabel 2).

Uit deze SWAN-berekeningen blijkt dat stroming van significante invloed is op de HR bij de dijk Figuur 23 geeft voor de vijf berekeningen en vier locaties de golfhoogtes en golfperiodes, en de verschillen tussen beide. Golfhoogtes zijn zonder stroming iets hoger bij de dijk dan in de originele berekeningen mét stroming, met gemiddelde verschillen tussen 0.09 m (locatie 4) en 0.27 m (locatie 3). Stroming verlaagt dus netto de golfhoogte. De golfperiode daarentegen is langer in de berekeningen zonder stroming, met gemiddeld over de vijf berekeningen een verschil van 0.20 tot 0.54 s, met uitzondering van locatie 2, waar het verschil zeer klein is. Stroming verlengt dus de golfperiode bij de dijk.

[1] Na het uitvoeren van deze berekeningen met model G3 is voor het hele traject gekozen voor model G4 (zie paragraaf 2.1). De SWAN-berekeningen zijn echter niet opnieuw uitgevoerd met G4, omdat de verwachting is dat de conclusies op basis van G3 en G4 gelijk zullen zijn.

WatLev		WTI-2011 repro		
Sim	loc1	loc2	loc3	loc4
G3U30D330P04S40T04	5.30	5.32	5.44	5.46
G3U30D330P04S40T05	5.70	5.73	5.83	5.86
G3U30D330P08S40T01	5.40	5.38	3.97	5.53
G3U30D330P08S40T02	6.12	6.14	6.27	6.28
G3U30D330P08S40T03	6.49	6.53	6.67	6.67
Gemiddeld	*5.90*	*5.93*	*6.05*	*6.07*

Umag		WTI-2011 repro		
Sim	loc1	loc2	loc3	loc4
G3U30D330P04S40T04	0.29	0.49	0.40	0.18
G3U30D330P04S40T05	0.36	0.47	0.40	0.17
G3U30D330P08S40T01	0.96	0.82	0.49	0.29
G3U30D330P08S40T02	0.71	0.72	0.53	0.23
G3U30D330P08S40T03	0.48	0.57	0.44	0.18
Gemiddeld	*0.56*	*0.61*	*0.45*	*0.21*

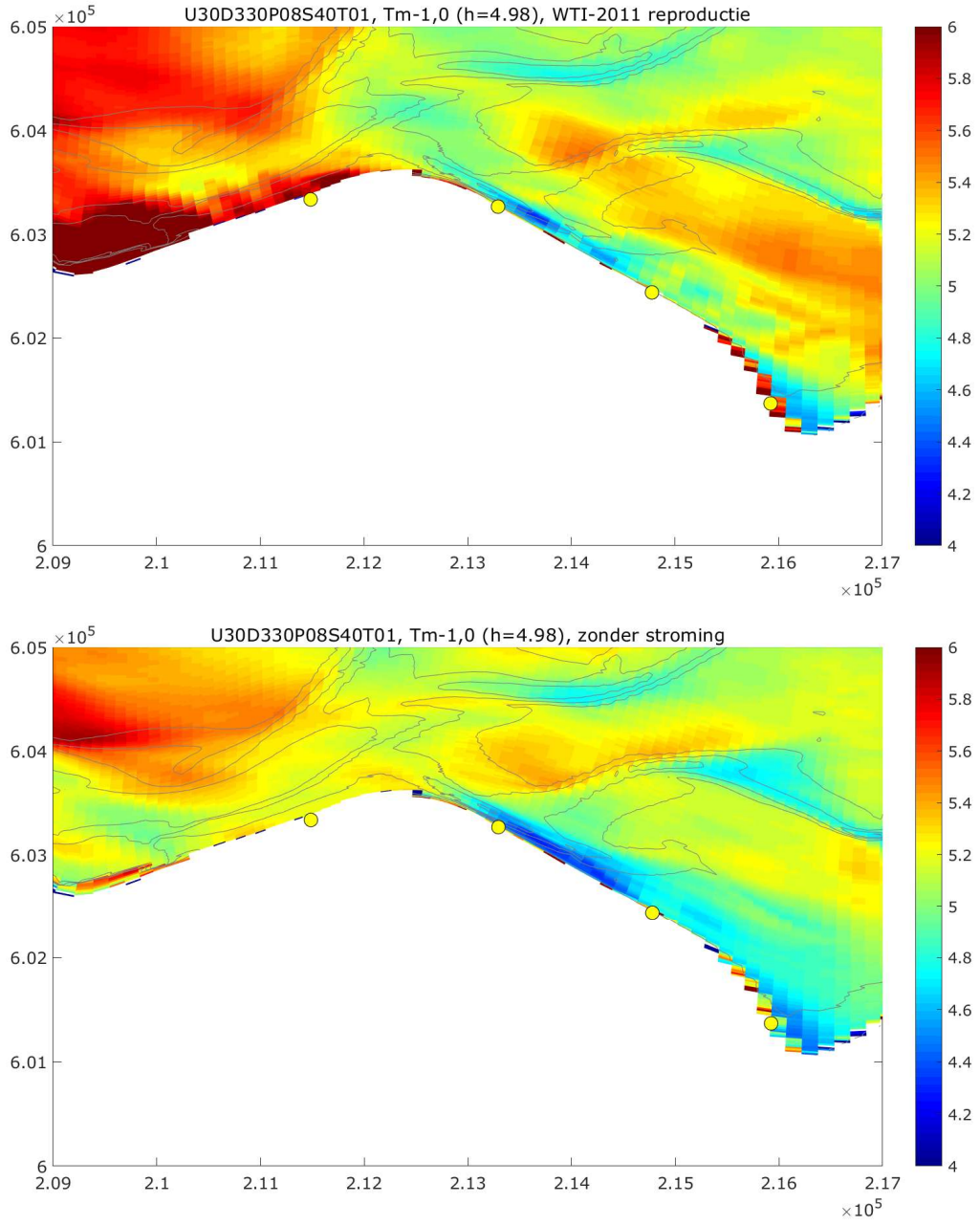
Hsig	WTI-2011				Zonder stroming				Zonder stroming - WTI-2011			
	loc1	loc2	loc3	loc4	loc1	loc2	loc3	loc4	loc1	loc2	loc3	loc4
G3U30D330P04S40T04	2.39	2.19	2.08	1.92	2.52	2.28	2.33	2.00	0.13	0.09	0.25	0.08
G3U30D330P04S40T05	2.39	2.18	2.10	2.01	2.53	2.29	2.34	2.05	0.13	0.11	0.24	0.04
G3U30D330P08S40T01	2.10	1.70	1.80	1.73	2.43	2.01	2.06	1.84	0.33	0.32	0.26	0.11
G3U30D330P08S40T02	2.50	2.14	2.18	2.13	2.78	2.42	2.49	2.23	0.29	0.28	0.31	0.10
G3U30D330P08S40T03	2.71	2.44	2.43	2.32	2.95	2.65	2.72	2.43	0.24	0.22	0.29	0.11
Gemiddeld	*2.42*	*2.13*	*2.12*	*2.02*	*2.64*	*2.33*	*2.39*	*2.11*	*0.22*	*0.20*	*0.27*	*0.09*

Tmm10	WTI-2011				Zonder stroming				Zonder stroming - WTI-2011			
Sim	loc1	loc2	loc3	loc4	loc1	loc2	loc3	loc4	loc1	loc2	loc3	loc4
G3U30D330P04S40T04	5.55	4.57	5.11	4.90	5.04	4.66	4.92	4.74	-0.51	0.10	-0.19	-0.16
G3U30D330P04S40T05	5.77	4.77	5.37	5.29	5.32	4.89	5.16	5.07	-0.45	0.12	-0.21	-0.23
G3U30D330P08S40T01	5.85	4.58	5.13	4.68	5.19	4.53	4.81	4.59	-0.66	-0.05	-0.32	-0.09
G3U30D330P08S40T02	6.21	5.02	5.78	5.56	5.62	5.15	5.42	5.31	-0.59	0.14	-0.36	-0.26
G3U30D330P08S40T03	6.34	5.35	6.14	5.96	5.84	5.50	5.83	5.69	-0.51	0.15	-0.31	-0.27
Gemiddeld	*5.94*	*4.86*	*5.51*	*5.28*	*5.40*	*4.95*	*5.23*	*5.08*	*-0.54*	*0.09*	*-0.28*	*-0.20*

Figuur 23 – Totaaloverzicht van waterstanden, stroomsnelheden, golfhoogte en golfperiode met en zonder stroming.

Geulen domineren het stroombeeld tijdens dagelijkse getijcondities. Tijdens maatgevende condities voor belastingen op de dijk is echter sprake van een grote waterdiepte boven de platen. De relatieve verschillen in waterdiepte zijn dan beperkt, en de stroming beweegt vrij uniform over de geulen en platen heen, zie Figuur 15 en Figuur 19 voor twee voorbeelden. De exacte ligging van de geulen is dan van ondergeschikt belang, evenals een eventuele toekomstige morfologische ontwikkeling van deze geulen (zie hoofdstuk 6).

De sterkste stroming van deze vijf berekeningen is aanwezig bij G3U30D330P08S40T01, zie Figuur 19. Daarom laat Figuur 24 de golfperiode voor deze berekening met stroming (het origineel uit WTI2011) en zonder stroming (de aangepaste berekening) zien.



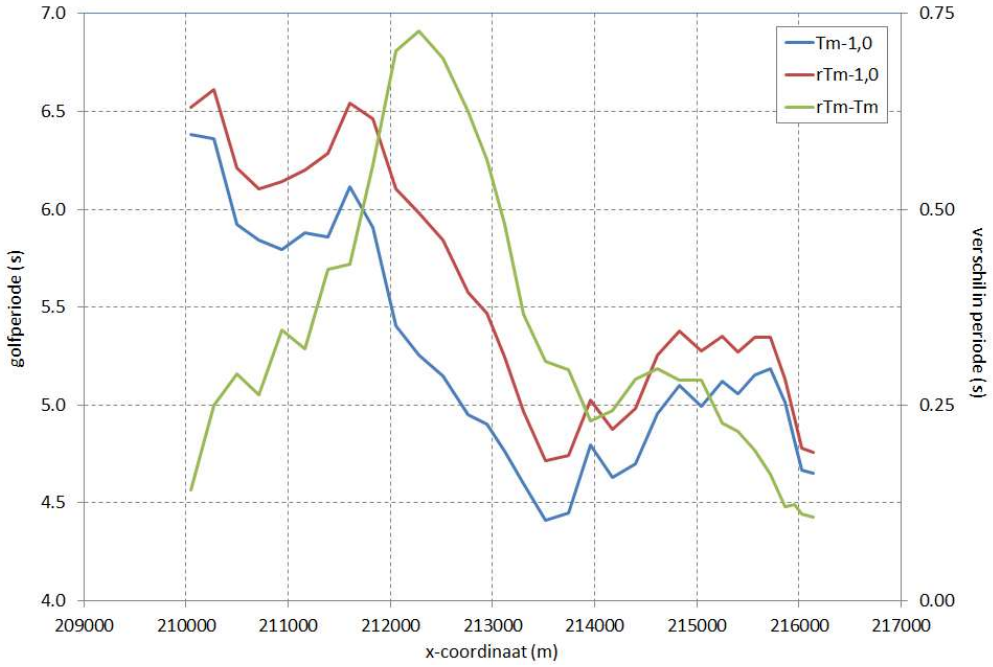
Figuur 24 – Spectrale gemiddelde golfperiode $T_{m-1,0}$ (s) bij combinatie U=30 m/s, D=330 graden, P=8 uur, S=4 m, T=-2 uur met stroming (boven) en zonder stroming (onder). Grijze contourlijnen tonen isolijnen van de bodemhoogte.

Stroming zorgt integraal voor een langere golfperiode in het gebied, doordat er meer golfenergie via het stromende water in de Waddenzee naar de dijk toe komt. Bij locatie 1 is de stroomsnelheid in deze berekening circa 1.0-1.5 m/s. Door die stroming is de golfperiode $T_{m-1,0}$ bij deze berekening 0.66 s korter dan in het geval met stroming. De golfhoogte is iets lager met stroming dan zonder stroming. Dit kan komen door een kleiner verschil tussen de windsnelheid en het stromende water, dan tussen de windsnelheid en stilstaand water. De energieoverdracht van wind naar golven is daardoor kleiner.

Voor deze berekening (G3U30D330P08S40T01) hebben wij het effect van stroming op de golfperiode in meer detail onderzocht. De SWAN-berekening is herhaald, met extra uitvoer voor de relatie-

ve golfperiode (RTMM10). De stroomsnelheid (0.5-1.5 m/s, Figuur 19) is niet verwaarloosbaar ten opzichte van de voortplantingssnelheid van de golven (schatting via √(gh) is 7 m/s). Dit betekent dat er sprake zal zijn van aanzienlijke golf-stromingsinteractie. De stroming beweegt vooral rond locatie 2 met de golven mee. Op dat traject is daarom te verwachten dat de relatieve golfperiode (de eigenlijke periode van de golven, meebewegend met de stroming) langer zal zijn dan de absolute golfperiode (op een vaste locatie). Figuur 25 laat inderdaad zien dat de relatieve golfperiode tot 14% langer is dan de absolute golfperiode.

De veiligheidsbeoordeling wordt normaliter gebaseerd op absolute golfperiodes. De eigenlijke periode van de golf, meebewegend met de stroming, is de relatieve golfperiode. De berekende steilheid van de golf moet daarom eigenlijk ook worden gebaseerd op de relatieve golfperiode.



Figuur 25 – Absolute gemiddelde golfperiode (Tm-1,0) en relatieve gemiddelde golfperiode (rTm-1,0) voor de dijk, en het verschil daartussen (rechter as), volgend uit de SWAN-berekening G3U30D330P08S40T01 met veel stroming.

Conclusies:

1. Stroming zorgt integraal voor golven met een iets lagere golfhoogte en een duidelijk langere golfperiode in het gehele gebied. Daarom is het HBN gemiddeld genomen hoger door de aanwezigheid van de stroming.
2. Door de grote waterdiepte tijdens extreme stormen is de exacte ligging van de geulen van ondergeschikt belang voor ruimtelijke variaties in de stroming. Dit aspect is van belang bij het interpreteren van morfologische veranderingen in hoofdstuk 6.
3. De veiligheidsbeoordeling wordt gebaseerd op absolute golfperiodes, dat is: de periode die wordt ervaren op een vaste positie. De eigenlijke periode van de golf, meebewegend met de stroming, is de relatieve golfperiode. De steilheid van de golf moet worden gebaseerd op de relatieve golfperiode. Deze relatieve periode is in een berekening met veel stroming tot 14% langer dan de absolute periode. Dit aspect is van belang bij het interpreteren van golfsteilheden in hoofdstuk 7.

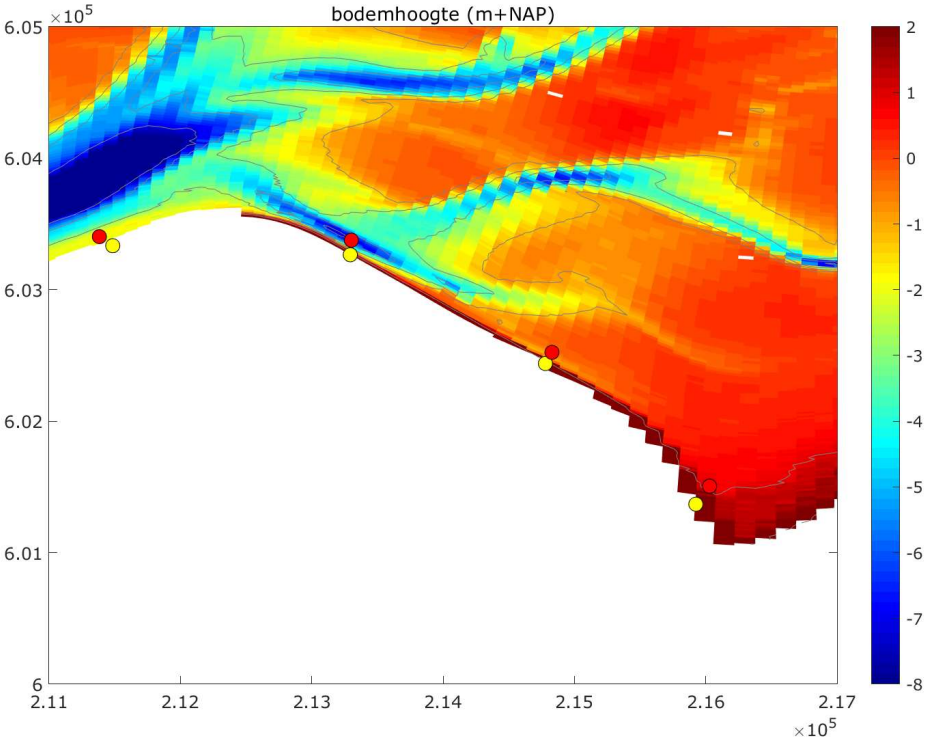
6 Invloed van morfologische veranderingen

De bodem uit het SWAN-model van WTI2011 is gemaakt in 2009, en gebaseerd op de vaklodingen van 2006 voor het kombergingsgebied van het Friesche Zeegat (Groeneweg en Van Os, 2009). Inmiddels, 14 jaar verder, zijn diverse morfologische veranderingen opgetreden in het gebied voor het dijktraject Lauwersmeerdijk – Vierhuizergat. Dit is te zien in de vaklodingen van 2019, na projectie op het SWAN-rooster (Figuur 27) in vergelijking met de bodem van 2006 (Figuur 26). De geul Vierhuizergat is dieper geworden en ligt dichter tegen de dijk aan. De (naamloze) ondiepe geul die de wadplaat voor locatie 3 in snijdt, heeft zich enigszins teruggetrokken in de periode 2006-2019.

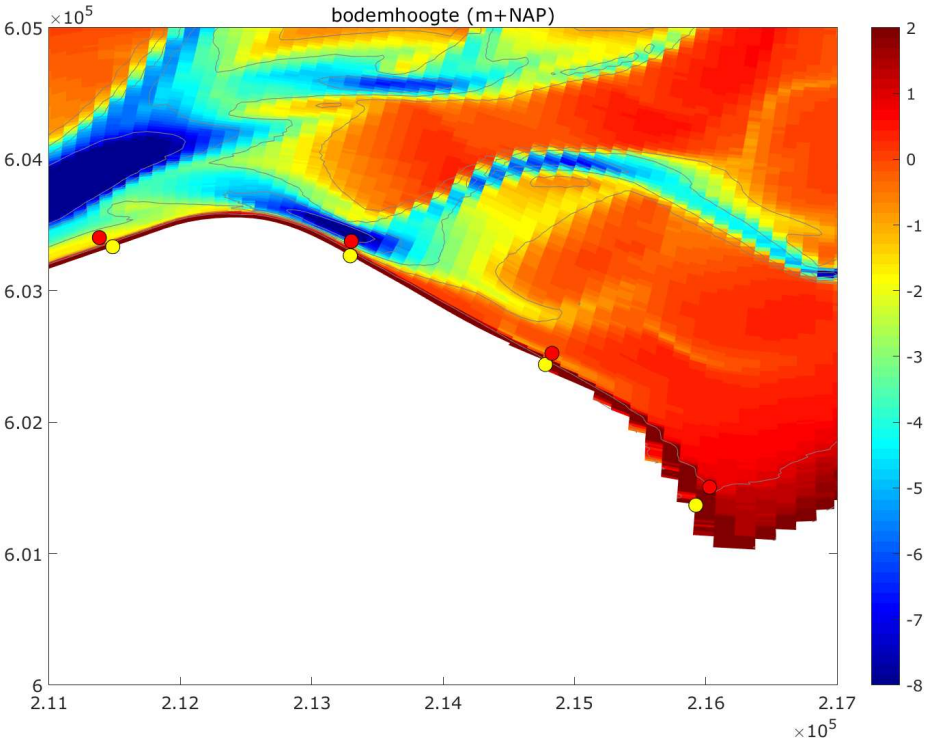
Om te onderzoeken hoe morfologische veranderingen doorwerken in de golfparameters bij de dijk, zijn dezelfde vijf WTI2011 berekeningen uit hoofdstuk 4 herhaald met de bodem van 2019. Idealiter zou ook de stroming opnieuw berekend worden voor de bodem van 2019, maar het opnieuw uitvoeren van de WAQUA-berekeningen was een te grote inspanning in het kader van deze verkenning. Om de bandbreedte te duiden, zijn de berekeningen met de bodem van 2019 op twee manieren: eenmaal met stroombeeld vanuit WTI2011 (wat dus eigenlijk behoort bij de bodem van 2006) en eenmaal zonder stroming (vergelijkbaar met paragraaf 5.2).

Golfhoogtes en golfperiodes voor de vijf berekeningen en vier locaties zijn te vinden in Figuur 28. De golfhoogte is voor de vier onderzochte locaties 0.04 tot 0.09 m lager met de bodem van 2019 ten opzichte van de bodem van 2006 (dat is ca. 4%). Zonder stroming bedraagt deze afname 0.03 tot 0.13 m. Ook de golfperiode valt lager uit met de bodem van 2019 ten opzichte van 2006: 0.09 tot 0.12 s met stroming (dat is ca. 2%), en 0.00 tot 0.16 s zonder stroming.

In een meest zuivere vergelijking zou ook de stroming opnieuw berekend worden voor de bodem van 2019. Op basis van de huidige resultaten blijkt dat echter niet nodig te zijn voor het trekken van een conclusie. De morfologische ontwikkelingen over een periode van 14 jaar veroorzaken slechts kleine verschillen in golfcondities. Die verschillen zijn daarbij gunstig: de belasting neemt af in deze periode. Uit Figuur 13 valt af te leiden dat de gevonden afnames in golfhoogte en golfperiode gezamenlijk tot een maximaal 0.16 m lager HBN zouden leiden (bij locatie 2, met de grootste verschillen). Het is daarom een voldoende robuuste keuze om de rekenresultaten uit 2011 (met de bodem van 2006) als uitgangspunt te blijven gebruiken.



Figuur 26 – Bodem van het SWAN-model voor WTI2011, gebaseerd op vaklodingen van 2006



Figuur 27 – Nieuwe SWAN-bodem, gebaseerd op de vaklodingen van 2019

WatLev	WTI-2011			
Sim	loc1	loc2	loc3	loc4
G3U30D330P04S40T04	5.30	5.32	5.44	5.46
G3U30D330P04S40T05	5.70	5.73	5.83	5.86
G3U30D330P08S40T01	5.40	5.38	3.97	5.53
G3U30D330P08S40T02	6.12	6.14	6.27	6.28
G3U30D330P08S40T03	6.49	6.53	6.67	6.67
Gemiddeld	*5.90*	*5.93*	*6.05*	*6.07*

Umag	WTI-2011			
Sim	loc1	loc2	loc3	loc4
G3U30D330P04S40T04	0.29	0.49	0.40	0.18
G3U30D330P04S40T05	0.36	0.47	0.40	0.17
G3U30D330P08S40T01	0.96	0.82	0.49	0.29
G3U30D330P08S40T02	0.71	0.72	0.53	0.23
G3U30D330P08S40T03	0.48	0.57	0.44	0.18
Gemiddeld	*0.56*	*0.61*	*0.45*	*0.21*

Hsig	WTI-2011				Bodem 2019, Stroming WTI-2011				Bodem 2019 - WTI-2011			
	loc1	loc2	loc3	loc4	loc1	loc2	loc3	loc4	loc1	loc2	loc3	loc4
G3U30D330P04S40T04	2.39	2.19	2.08	1.92	2.33	2.09	2.04	1.86	-0.06	-0.09	-0.03	-0.06
G3U30D330P04S40T05	2.39	2.18	2.10	2.01	2.34	2.09	2.08	1.94	-0.05	-0.09	-0.03	-0.07
G3U30D330P08S40T01	2.10	1.70	1.80	1.73	2.04	1.62	1.73	1.66	-0.06	-0.07	-0.07	-0.07
G3U30D330P08S40T02	2.50	2.14	2.18	2.13	2.44	2.05	2.14	2.07	-0.06	-0.09	-0.05	-0.07
G3U30D330P08S40T03	2.71	2.44	2.43	2.32	2.66	2.35	2.40	2.27	-0.05	-0.09	-0.03	-0.05
Gemiddeld	*2.42*	*2.13*	*2.12*	*2.02*	*2.36*	*2.04*	*2.08*	*1.96*	*-0.06*	*-0.09*	*-0.04*	*-0.06*

Tmm10	WTI-2011				Bodem 2019, Stroming WTI-2011				Bodem 2019 - WTI-2011			
Sim	loc1	loc2	loc3	loc4	loc1	loc2	loc3	loc4	loc1	loc2	loc3	loc4
G3U30D330P04S40T04	5.55	4.57	5.11	4.90	5.42	4.42	5.03	4.79	-0.12	-0.14	-0.08	-0.10
G3U30D330P04S40T05	5.77	4.77	5.37	5.29	5.72	4.65	5.34	5.24	-0.05	-0.11	-0.03	-0.05
G3U30D330P08S40T01	5.85	4.58	5.13	4.68	5.63	4.48	4.96	4.53	-0.22	-0.10	-0.16	-0.15
G3U30D330P08S40T02	6.21	5.02	5.78	5.56	6.05	4.92	5.65	5.48	-0.16	-0.09	-0.13	-0.09
G3U30D330P08S40T03	6.34	5.35	6.14	5.96	6.32	5.27	6.08	5.89	-0.02	-0.08	-0.06	-0.07
Gemiddeld	*5.94*	*4.86*	*5.51*	*5.28*	*5.83*	*4.75*	*5.41*	*5.19*	*-0.12*	*-0.11*	*-0.09*	*-0.09*

Figuur 28 – Overzicht van waterstanden, stroomsnelheden, golfhoogte en golfperiode bij oorspronkelijke bodem en de bodem van 2019, met de stroombeelden vanuit WTI2011

Hsig	WTI-2011				Bodem 2019 zonder stroming				2019 zonder str - WTI2011 zonder str			
	loc1	loc2	loc3	loc4	loc1	loc2	loc3	loc4	loc1	loc2	loc3	loc4
G3U30D330P04S40T04	2.39	2.19	2.08	1.92	2.49	2.15	2.29	1.93	-0.03	-0.13	-0.04	-0.07
G3U30D330P04S40T05	2.39	2.18	2.10	2.01	2.51	2.17	2.31	2.01	-0.02	-0.12	-0.03	-0.04
G3U30D330P08S40T01	2.10	1.70	1.80	1.73	2.40	1.88	2.02	1.79	-0.04	-0.14	-0.04	-0.06
G3U30D330P08S40T02	2.50	2.14	2.18	2.13	2.75	2.27	2.48	2.17	-0.03	-0.14	-0.01	-0.05
G3U30D330P08S40T03	2.71	2.44	2.43	2.32	2.93	2.51	2.71	2.37	-0.03	-0.14	-0.01	-0.06
Gemiddeld	*2.42*	*2.13*	*2.12*	*2.02*	*2.62*	*2.20*	*2.36*	*2.05*	*-0.03*	*-0.13*	*-0.03*	*-0.06*

Tmm10	WTI-2011				Bodem 2019 zonder stroming				2019 zonder str - WTI2011 zonder str			
Sim	loc1	loc2	loc3	loc4	loc1	loc2	loc3	loc4	loc1	loc2	loc3	loc4
G3U30D330P04S40T04	5.55	4.57	5.11	4.90	5.05	4.53	4.87	4.69	0.01	-0.14	-0.05	-0.05
G3U30D330P04S40T05	5.77	4.77	5.37	5.29	5.34	4.77	5.13	5.03	0.02	-0.13	-0.03	-0.03
G3U30D330P08S40T01	5.85	4.58	5.13	4.68	5.17	4.35	4.73	4.54	-0.02	-0.18	-0.08	-0.05
G3U30D330P08S40T02	6.21	5.02	5.78	5.56	5.62	4.98	5.42	5.27	0.00	-0.17	0.00	-0.04
G3U30D330P08S40T03	6.34	5.35	6.14	5.96	5.83	5.33	5.83	5.64	0.00	-0.17	0.00	-0.05
Gemiddeld	*5.94*	*4.86*	*5.51*	*5.28*	*5.40*	*4.79*	*5.20*	*5.03*	*0.00*	*-0.16*	*-0.03*	*-0.04*

Figuur 29 – Overzicht van golfhoogte en golfperiode bij oorspronkelijke bodem en de bodem van 2019, zonder de stroombeelden vanuit WTI2011. Waterstanden zijn identiek aan die in Figuur 28.

7 Golfsteilheid

Bij het traject Lauwersmeerdijk – Vierhuizergat worden zeer steile golven gevonden, ofwel golven met een relatief grote hoogte en korte periode. In bepaalde gevallen is de golfsteilheid zelfs zo groot, dat er vraagtekens worden gezet bij de realiteitszin. Daarom onderwerpen we de golfsteilheid in dit hoofdstuk aan een nader onderzoek.

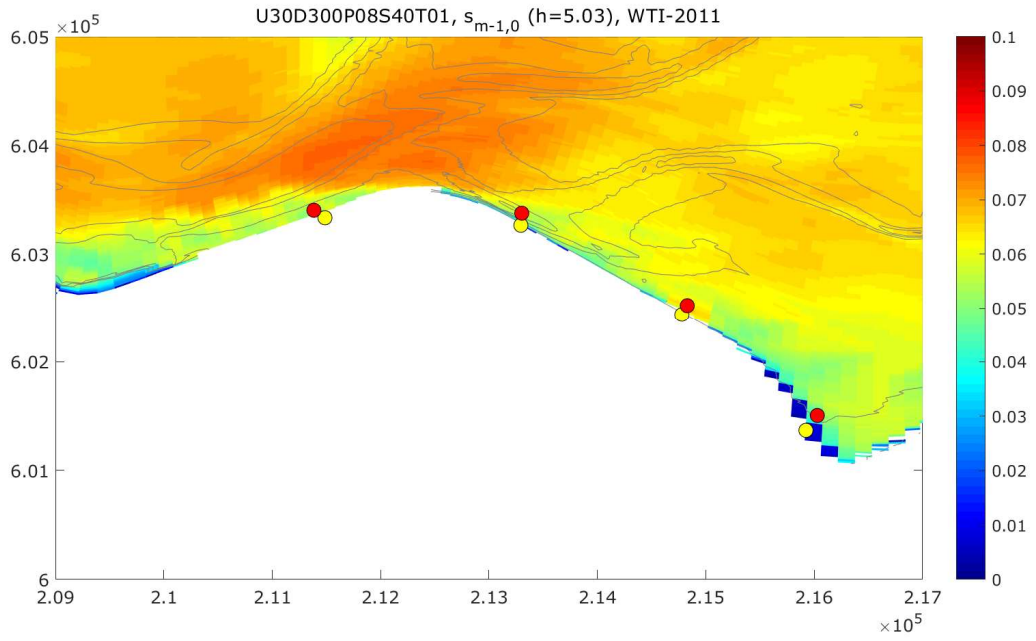
De golfsteilheid is de verhouding tussen golfhoogte en golflengte: $s=H/\lambda$. Er zijn allerlei manieren om deze golfsteilheid te definiëren:

- Voor de golfhoogte H wordt vaak de significante golfhoogte H_{m0} aangehouden.
- Voor de golflengte zijn formules beschikbaar:
  - voor diep water (kleine golflengte ten opzichte van de waterdiepte): $\lambda=gT^2/2\pi$.
  - voor ondiep water (grote golflengte ten opzichte van de waterdiepte): $\lambda=T\sqrt{(gh)}$.
  - een impliciete formule voor condities in het overgangsgebied.
- In alle drie de formules komt de golfperiode voor. Bij het berekenen van de golfperiode kan bijvoorbeeld gebruik worden gemaakt van de piekperiode T_p of de spectrale gemiddelde golfperiode $T_{m-1,0}$. De bijbehorende steilheid wordt vaak aangeduid met s_p en $s_{m-1,0}$.

Vaak worden getallen genoemd voor een maximale golfsteilheid, zonder dat daarbij vermeld wordt op welke definitie dit maximum betrekking heeft.

Bij hanteren van de golflengte op ondiep water, op basis van $T_{m-1,0}$ en een waterdiepte boven NAP, resulteren op basis van SWAN-resultaten steilheden $s_{m-1,0}$ van 5,0 tot 7,5%. Deze waarden zijn hoog, maar niet buiten de range zoals vermeld in Caires (2012). Onder extreme condities zijn volgens dat rapport zelfs waarden boven de 10% niet uit te sluiten, zeker niet bij omstandigheden met lokaal gegenereerde, jonge golven bij een extreem hoge windsnelheid. De golfgoot van Deltares is echter niet in staat om dergelijke steile golven te genereren. Daarom zijn sterkteproeven bij dit bereik aan golfsteilheden niet beschikbaar (Vos, 2017).

De waarden voor s_p, op basis van de piekperiode T_p, liggen in het bereik van 3,0 tot 7,0%. Dit zijn de waarden uit de Hydra-NL berekeningen voor bekledingen, zonder modelonzekerheden. De piekperiode T_p is niet opgenomen in de WBI-databases (zie paragraaf 2.3), omdat deze soms een springerig gedrag vertoont. Als deze waarde ontbreekt, berekent Hydra-NL de piekperiode op basis van de gemiddelde golfperiode $T_{m-1,0}$ via de vaste verhouding van $T_p = 1{,}1*T_{m-1,0}$. Deze verhouding is echter alleen geldig op diep water. In de Waddenzee is dit verschil gemiddeld geen 10% maar 24% (Van Nieuwkoop, 2017). Uit SWAN volgt een verschil van 19% (range 6% tot 44%), gemiddeld over de 4 locaties uit Figuur 1 en over 30 berekeningen rond het illustratiepunt van Hydra-NL (300-330 graden, 30 m/s, 4 m stormopzet op de Noordzee). Daarom bevelen wij aan om de database nog een keer aan te passen, en T_p afzonderlijk toe te voegen (zie rechtsboven in Figuur 9 en Figuur 10). Dan gebruikt Hydra-NL deze waarden in plaats van de vaste verhouding met $T_{m-1,0}$.



Figuur 30 – Berekende golfsteilheid (formule voor ondiep water) op basis van H_{m0}, $T_{m-1,0}$ en de waterdiepte boven de hoogte van de platen op 0 m+NAP.

Er zijn verschillende redenen voor relatief steile golven in dit gebied:

- De berekende golfsteilheid is gebaseerd op de gemiddelde golfperiode $T_{m-1,0}$, die zoals gezegd meestal korter is dan de piekperiode T_p. De golfsteilheid $s_{m-1,0}$ is daardoor groter dan s_p. Voor de Afsluitdijk werden voor s_p waarden boven 4% gevonden, en voor $s_{m-1,0}$ boven 7% (Van Nieuwkoop, 2017).
- Er is sprake van een zeer hoge windsnelheid tijdens maatgevende condities, waardoor de lokaal in de Waddenzee gegenereerde golven een grotere steilheid kunnen bereiken en behouden dan bijvoorbeeld in een golfgoot zonder wind en stroming.
- Refractie zorgt ervoor dat lange golven relatief sterk richting de plaatranden draaien, en dat een spectrum met relatief korte golven overblijft in de geulen voor de dijk.
- Golf-stroominteractie zorgt ervoor dat de absolute golfperiode korter wordt dan de periode van de golven zelf (de relatieve golfperiode). De eigenlijke steilheid van de golven is die op basis van de relatieve golfperiode. De berekende steilheid is op basis van de absolute periode. De eigenlijke steilheid is dus kleiner dan de hier gepresenteerde steilheid.

Bepaalde eigenschappen van SWAN zorgen ervoor dat de door SWAN berekende steilheid mogelijk aan de hoge kant is:

- Niet-lineaire golf-golfinteracties (triads) zorgen voor verplaatsing van golfenergie vanaf de piekfrequentie naar hogere en lagere frequenties. In SWAN is echter alleen de verplaatsing naar hogere frequenties actief, waardoor golfperiodes korter worden bij activatie van triads.
- Refractie van lange golfcomponenten richting de platen is relatief sterk in SWAN. In de Oostelijke Waddenzee is er daarom voor WTI2011 voor gekozen om refractielimitering toe te passen (rekenrooster G3 met andere instellingen van SWAN in WTI2011). In het deel van de Waddenzee rondom het Vierhuizergat is dat niet gebeurd. Lange golven vanaf de Waddenzee bereiken daardoor nauwelijks de dijk. De golven zijn puur de korte, lokaal boven de Waddenzee gegenereerde windgolven.

Steilheden op basis van $T_{m-1,0}$ zijn dus aan de hoge kant, maar er zijn geen bewijzen dat deze steilheden niet voor kunnen komen tijdens maatgevende condities met diepe geulen voor de dijk, extreme wind en flinke stroming.

Anders wordt het echter, als de golfsteilheid nog hoger uitvallen als bijwerking van de toepassing van modelonzekerheden op de golfhoogte en golfperiode. Aangezien de standaardafwijking van de golfhoogte groter is dan de standaardafwijking van de golfperiode (toegepast als vermenigvuldigingsfactoren in een zogenaamde multiplicatief model), zorgt toepassing van modelonzekerheden overwegend voor grotere steilheden dan de oorspronkelijke waarden op basis van de golvendatabase (SWAN). Daarnaast blijkt dat in de illustratiepunten regelmatig een hoge waarde voor de modelonzekerheid voor de golfhoogte wordt gevonden, in combinatie met de gemiddelde waarde voor de modelonzekerheid voor de golfperiode. Bijvoorbeeld in Tabel 2, bij locatie 2, is de verhouding tussen fH_{m0} en $fT_{m-1,0}$ gelijk aan 1.21/0.96 = 1.26. Daardoor wordt de golfsteilheid (ondiep water formule) nog 26% groter dan de oorspronkelijk door SWAN berekende waarde. Dit was ook bij de Afsluitdijk de voornaamste oorzaak van de grote steilheden (Van Nieuwkoop, 2017).

Deze verdere verhoging ten opzichte van SWAN zien wij als onrealistisch. Het effect van modelonzekerheid op de golfsteilheid kan worden beperkt door correlatie tussen beide modelonzekerheden toe te voegen. Deze functionaliteit is als optie ingebouwd in de nieuwste versie van Hydra-NL. Toevoegen van een correlatie van 36% zorgde bij de Afsluitdijk voor een afname van golfsteilheden van 11 naar 8% (Smale, 2017). De prijs voor het toevoegen van een dergelijke correlatie is wel een hoger HBN, en een zwaardere eis aan de sterkte van de bekleding.

8 Conclusies en aanbevelingen

In deze studie zijn ruimtelijke variaties in het HBN langs het traject Lauwersmeerdijk – Vierhuizergat nader onderzocht. Dit is gedaan aan de hand van vier karakteristieke locaties: locatie 1 op het westelijke deel van het traject, langs de geul Oort, met een dijknormaal richting noordwest, locatie 2 langs het Vierhuizergat met een dijknormaal richting noordoost, locatie 3 langs de wadplaten, en locatie 4 aan het oostelijke einde van het traject, bij de kwelders (zie Figuur 1).

De resultaten uit deze studie leiden tot de volgende conclusies:

1. Er zijn aanpassingen aan de golvendatabase nodig, om deze te baseren op één model voor het hele traject (model G4 uit WTI2011), en om een lokale fout in de waterstanden te repareren. Deze aanpassing is succesvol uitgevoerd.
2. Het verloop van het HBN langs is op basis van deze aangepaste golvendatabase goed verklaarbaar vanuit verschillen in waterstand (geleidelijk oplopend van locatie 1 naar locatie 4), golfhoogte (het hoogst bij locatie 1), golfperiode (maximaal bij de locaties 3 en 4), en hoek van golfinval (het meest loodrecht bij locatie 1).
3. In de relevante berekeningen uit WTI2011 bewegen de golven overwegend met de stroming mee. Hierdoor is over het gehele traject de golfhoogte iets lager, en de golfperiode langer dan in de situatie waarbij er geen stroming zou zijn. Daarnaast is de absolute golfperiode (observerend vanaf een vaste locatie in het stromende water) korter dan de relatieve golfperiode (meebewegend met de stroming).
4. De golfhoogte en golfperiode zijn beide iets lager bij SWAN-berekeningen met de bodem van 2019 ten opzichte van de oorspronkelijke berekeningen uit 2011, met een bodem uit 2006. De afname bedraagt slechts ca. 0.05 m op de golfhoogte en ca. 0.1 s op de golfperiode. Het is daarom een voldoende nauwkeurige en daarnaast robuuste keuze om de rekenresultaten uit 2011 (met de bodem van 2006) als uitgangspunt te gebruiken.
5. De door SWAN berekende golfsteilheid is vrij hoog ($s_{m-1,0}$ = 5,0-7,5%, s_p = 3,0-7,0%). Dit komt door (i) de diepe geulen voor de dijk, (ii) zeer hoge windsnelheden onder maatgevende condities, (iii) het effect van stroming op de absolute golfperiode, en (iv) het inherente karakter van SWAN (relatief sterke refractie van lange golven richting plaatranden en de modelleringswijze van triads). Er is echter geen reden om aan te nemen dat de op basis van SWAN berekende steilheden onrealistisch zijn op deze specifieke locatie.
6. We bevelen aan om de piekperiode T_p aan de WBI golvendatabase toe te voegen. Deze periodemaat wordt gebruikt bij het dimensioneren van steenzettingen. In de huidige database (zowel in de originele als de aangepaste versie) ontbreekt T_p, waardoor Hydra-NL T_p berekent op basis van $T_{m-1,0}$, vermenigvuldigd met een factor 1,10 (geldig op diep water). Deze verhouding blijkt bij de Lauwersmeerdijk echter gemiddeld ongeveer 1,20 te zijn, met uitschieters naar 1,44. Het toevoegen van T_p aan de database zal dus leiden tot gemiddeld 10% hogere piekperiodes, en daardoor ook 10% lagere ondiep-water golfsteilheden s_p.
7. Toepassing van modelonzekerheden in Hydra-NL zorgt er echter voor dat de berekende steilheden nog hoger worden dan de originele waarden uit SWAN. Deze bijwerking van de toepassing van modelonzekerheden zien wij als niet-fysisch en dus onwenselijk. Daarom adviseren wij om correlatie toe te voegen aan beide modelonzekerheden, gebruik makend van de nieuwste functionaliteit van Hydra-NL, zodat deze paarsgewijs toenemen of afnemen, en niet onafhankelijk van elkaar.

9 Referenties

Caires, S. (2012). Maximale significante golfhoogte bij ondiep water en maximale golfsteilheid. Deltares rapport 1204727-004.

EurOtop (2016). Manual on wave overtopping of sea defences and related structures. Second edition. Pre-release oktober 2016.

Groeneweg, J. en Van Os, J. (2009). Bodem voor productiesommen HR Waddenzee. Deltares memo 1200103-021.

Klein, M.D. en Kroon, J. (2011). Productieberekeningen Waddenzee voor WTI2011: rapportage fase 1. Rapport HKV lijn in water en Svašek Hydraulics, mei 2011.

Nicolai, R.P. et al. (2011). Productieberekeningen Waddenzee voor WTI2011: rapportage fase 3. Rapport HKV lijn in water en Svašek Hydraulics, augustus 2011.

Smale, A. (2017). Invloed van aangepaste correlatie tussen modelonzekerheid golfhoogte en golfperiode. Deltares memo 11201124-002-HYE-0005, 24 augustus 2017.

Van Nieuwkoop, J. (2017). Hydraulische randvoorwaarden met gecorreleerde onzekerheden golfhoogte en golfperiode. Deltares memo 11201124-002-HYE-0004, 23 augustus 2017.

Vos, R. (2017). Hydraulische Ontwerpbelastingen voor Bekledingen Afsluitdijk met realistische golfsteilheid. Rijkswaterstaat, 19 april 2017.

Bijlage C: Review Deltares op de variantennota

Memo

Deltares
Enabling Delta Life

Datum	Ons kenmerk	Aantal pagina's
18 november 2019	11204781-002-HYE-0001	13
Contactpersoon	**Doorkiesnummer**	**E-mail**
Mark Klein Breteler	+31(0)88 335 8244	Mark.KleinBreteler@deltares.nl

Onderwerp
Review ontwerpdocumenten VKA van dijk Lauwersmeer-Vierhuizergat

---

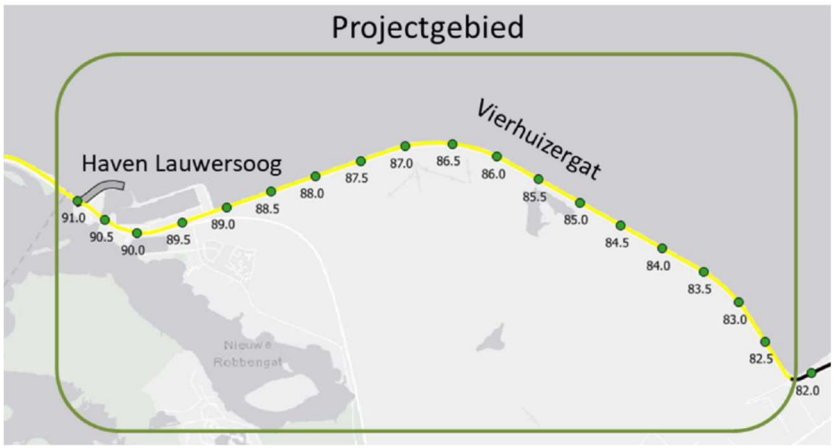
Lauwersmeerdijk-Vierhuizergat

Review van de ontwerpdocumenten van de voorkeursalternatieven

1 Inleiding

Op verzoek van het Waterschap Noorderzijlvest is door Deltares een review uitgevoerd van de ontwerpdocumenten van de voorkeursalternatieven voor de Dijkversterking Lauwersmeerdijk – Vierhuizergat. Het volgende is voor deze review beschikbaar gesteld:

- Technische Uitgangspuntennotitie (TUN) Dijkversterking Lauwersmeerdijk – Vierhuizergat, Royal HaskoningDHV rapport BG3034WATRP1902081527, 22 oktober 2019
- Variantennota (tussenversie Notitie VKA ten behoeve van Aanbesteding), Royal HaskoningDHV rapport BG3034WATRP1911011619, 1-11-2019
- technische tekeningen (bovenaanzichten): BG3034-TEK-001-v0.1.pdf t/m BG3034-TEK-016-v0.1.pdf
- technische tekeningen (dwarsprofielen): BG3034-TEK-005-v0.1.pdf t/m BG3034-TEK-017-v0.1.pdf
- Enkele Steentoetsbestanden
- Beoordeling Lauwersmeerdijk en Vierhuizergat, HBN verandering oostelijk deel traject 6-5, HKV Memorandum PR3524.40 5 april 2018
- Hydra-NL files met HBN berekeningen (van HKV)



Figuur 1.1 Lauwersmeerdijk – Vierhuizergat

De volgende personen van Deltares hebben bijgedragen aan deze review:

- Jacco Groeneweg (hydraulische belastingen)
- Mark Klein Breteler (steenbekledingen en eindredactie van de review)
- Huub de Bruijn (geotechnische aspecten)
- Bernadette Wichman (asfaltbekledingen)
- Henk Kruse en Frans van den Berg (kabels en leidingen)

2 Algemene bevindingen

De algemene indruk van de rapporten is positief. Er is veel informatie op een overzichtelijke manier weergegeven en duidelijk omschreven.

De kruinhoogte is behandeld in bijlage 5A van de variantennota. In paragraaf 1.1.1 wordt de aanbevolen kruinhoogte gegeven ten opzichte van de huidige kruinhoogte en de resultaten van de HBN-berekeningen. In figuur 1-3 wordt een erg grote marge aangehouden tussen de HBN-berekeningen en de aanbevolen kruinhoogte, maar er wordt niet toegelicht waarom dit is gedaan.

3 Hydraulische belastingen

De hydraulische belastingen op de uitvoerpunten van Hydra-NL zijn correct berekend. Het OI2014 is op de juiste wijze gevolgd, de gemaakte keuzes zijn plausibel en in enkele gevallen is KPR advies overgenomen.

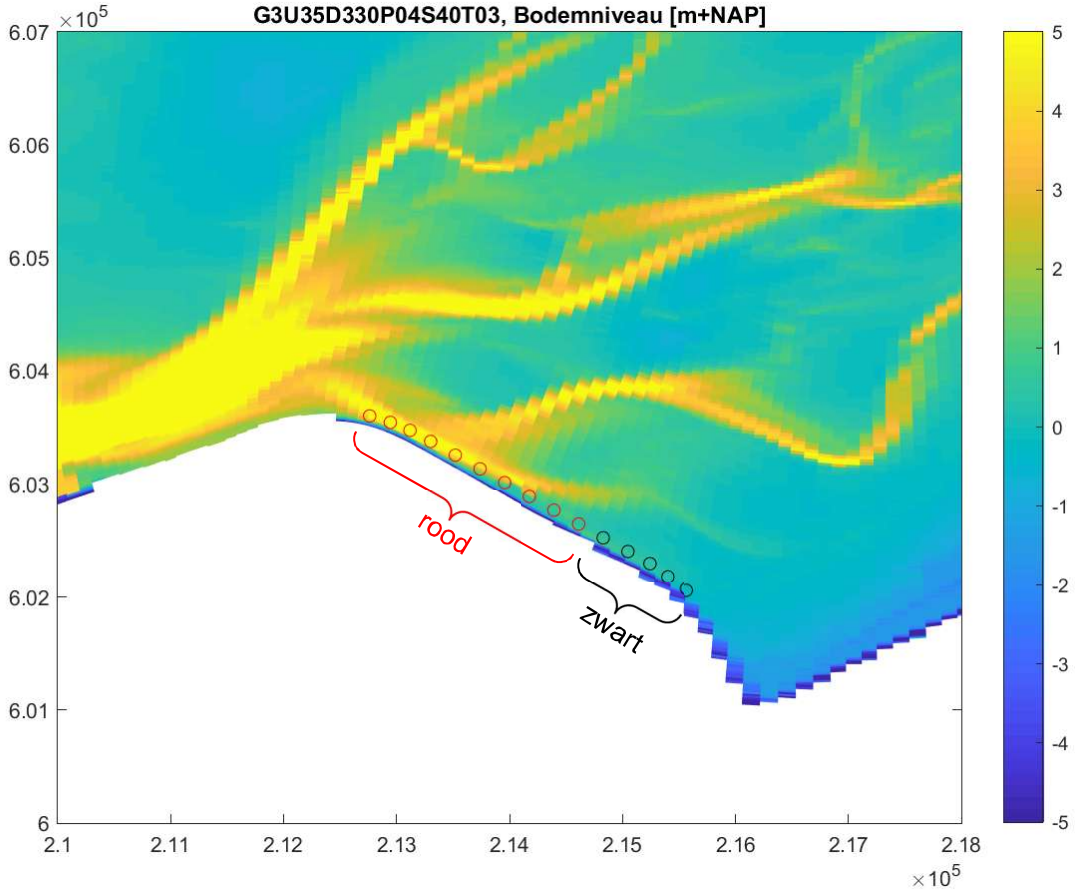
Er zijn enkele hoogwaterstanden uit de tabel in Par 6.1.5 ter verificatie nagerekend. Het komt namelijk merkwaardig over dat de hoogst bekende waterstand (NAP+3,75 m) een terugkeertijd van 20 jaar zou hebben. Maar er is vastgesteld dat de berekeningen met Hydra-NL juist zijn uitgevoerd.

Het waterschap heeft ons erop gewezen dat er een merkwaardige sprong in de benodigde kruinhoogte (HBN) zit vanwege een sprong in de hydraulische belastingen rond km 89.1 en 83.7. Deze sprong is specifiek bestudeerd, maar er is daarbij geen fout ontdekt.

Op basis van een aantal initiële HBN berekeningen en nadere bestudering van de door HKV aangeleverde informatie, kan geconcludeerd worden dat de HBN berekeningen die voor een viertal varianten zijn uitgevoerd correct zijn, ondanks de ogenschijnlijk opmerkelijk sprong in het oostelijke deel. Hieronder is een nadere toelichting op deze conclusie gegeven.

Er zijn enkele oriënterende berekeningen met een standaard 1:4 talud met een berm en kritiek overslagdebiet 10 l/s/m uitgevoerd. Voor alle uitvoerlocaties die beschikbaar zijn in de HRD tussen kmr 87.1 en 83.1 is daarbij een dijkoriëntatie van 30 graden aangenomen. Dat leidt tot de constatering dat het HBN tussen 87.1 en 84.5 een vergelijkbaar niveau houdt, om daarna (in oostelijke richting) toe te nemen. Dit is ook terug te vinden in de het memo van HKV. De

veranderingen in golfhoogte en waterstand zijn over dit traject beperkt. Pas westelijk van kmr 87 neemt de golfhoogte in het illustratiepunt toe (gezien in enkele aanvullende berekeningen), vanwege de verandering in dijkoriëntatie. Hier treedt een opmerkelijk sprong in HBN op rond kmr 84.1 met een sprong in golfperiode van ongeveer 1 s ($T_{m-1,0}$ en T_p). De rode locaties in Figuur 3.1 van het bodemniveau hebben een golfperiode T_{m-10} van ongeveer 4,2 s in het illustratiepunt. De zwarte locaties ongeveer 5,2 s. Opmerkelijk is dat de rode locaties achter een geul liggen, de zwarte niet. De maatgevende windrichting is 330 graden Noord. Dit veroorzaakt golven die bijna parallel aan de geul onder de kust aankomen. Daar waar de geul voor de kust ligt is de golfperiode ongeveer een seconde lager dan wanneer er geen geul ligt (zwarte locaties).



Figuur 3.1 Bodemtopografie met uitvoerpunten van Hydra-NL (rode punten hebben kleine golfperiode en zwarte punten hebben een grote golfperiode)

Het is dus niet zozeer een voorliggende zandplaat die zorgt voor een lager HBN, maar eerder de voorliggende geul die de oorzaak is van de verlaging. Bodemontwikkelingen zijn niet meegenomen in het ontwerp. Als de geul zich in de loop van de tijd naar het oosten verplaatst dan zal de golfperiode ook op de zwarte locaties afnemen. Zolang dat niet het geval is, is het aannemelijk om een toename van het HBN in oostelijke richting te veronderstellen zoals dat nu is berekend.

Een mogelijke fysische verklaring voor dit verschijnsel is als volgt. Als laag-frequente componenten van de golfenergie niet of in minder mate in de geul kunnen komen door refractie, zal achter de geul de periode lager zijn. Het is denkbaar dat deze sprong in golfperiode hierdoor komt. Alleen met een uitvoerig onderzoek kan hierover uitsluitsel gegeven worden.

Ten aanzien van de benodigde kruinhoogte, volgend uit de HBN-berekeningen, wordt opgemerkt dat er met betrekkelijk weinig argumentatie gekozen is voor een maximaal overslagdebiet van 5 l/s/m. Dit is voor de huidige fase nog wel acceptabel, maar het wordt aanbevolen om in het vervolg te bezien of een grotere overslagdebiet een efficiëntere dijkversterking oplevert. Zie ook de opmerking in hoofdstuk 5.

In bijlage 5B van de Variantennota is de golfoverslag berekend met de geometrie zoals gegeven in figuur 1-3. De hoogte van het kadeterrein ervoor is echter zodanig (zie figuur in hoofdstuk 7) dat het te verwachten is dat daar de golven op breken en dus de maatgevende golfhoogte kleiner is dan die hier is gehanteerd.

Er is in de Steentoetsbestanden geconstateerd dat er op sommige locaties een golfsteilheid is van meer dan 8%. Dat is niet realistisch en moet gecontroleerd/aangepast worden.

4 Steenbekledingen

In de rapportage is de benodigde toplaagdikte van drie typen steenzettingen en de benodigde breuksteen voor de teen gegeven.

4.1 Steenzettingen

De genoemde uitgangspunten aan het begin van paragraaf 1.2.1 van bijlage 5A in de Variantennota zijn correct. Met betrekking tot het vervolg van dat document is het volgende geconstateerd:

- Bij het bepalen van de maatgevende locaties lijkt er echter geen rekening gehouden te worden met de hoek van golfaanval en de golfperiode. Dat kan een aanzienlijke onnauwkeurigheid geven.
- De eigenschappen van de genoemde mijnsteenlaag moeten worden opgezocht/bepaald om vast te stellen of deze laag kan blijven zitten of moet worden verwijderd.
- In het rapport wordt gesuggereerd dat verpapte mijnsteen als klei kan worden ingevoerd in Steentoets. Dat is echter onjuist en leidt tot vervuiling van de databestanden. In Steentoets moet voor verpapte mijnsteen een kleine korrelgrootte en kleine porositeit ingevoerd worden. Het programma rekent dan met een hele kleine doorlatendheid.
- Door de korrelgrootte van het filter in stappen van 5 mm te vergroten totdat steentoets geen bezwijken door materiaaltransport geeft, leidt tot een ongebruikelijk fijn filter. Het wordt aangeraden om de aanbevolen filterlaag van de leverancier van de steenzetting aan te houden. Het filter onder Basalton en Hillblocks moet een D_{f15} hebben van 16 à 20 mm. In het rapport wordt gesuggereerd te werken met 10 mm, maar dat is te fijn.
- Het toepassen van een geotextiel op de mijnsteen is niet altijd raadzaam. Dat kan leiden tot het verstopt raken van het geotextiel, waardoor hier een grote overdruk kan ontstaan.
- Ten aanzien van de paragraaf over de aanscherping van de hydraulische rand-voorwaarden: De gerapporteerde informatie is te summier om dit goed te kunnen volgen. Graag de maatgevende golfhoogte, maatgevende waterstand en bodemniveau geven. In de steentoetsbestanden lijkt de golfhoogte te groot bij de maatgevende waterdiepte.

- De opmerking dat Verkalit een te lage stabiliteitsfactor heeft is ongegrond. Verkalit heeft een hoge stabiliteit vanwege de zeer gunstige leklengte, maar de stabiliteitsfactor is relatief laag gebleken. Het netto resultaat is wel een hoge stabiliteit bij een goed ontwerp. Dit wordt bereikt zonder inwasmateriaal, hetgeen gunstig is ten aanzien van het onderhoud.
- In paragraaf 1.2.4 wordt aangegeven dat er volgens de berekeningen materiaaltransport gaat optreden. Wellicht is dit een gevolg van een onjuiste schematisatie van de constructie in Steentoets. Als de ervaring met de constructie positief is bij waterstanden tegen deze bekleding en enige golfbelasting (hoeft niet de maatgevende golfhoogte te zijn), dan is het aannemelijk dat dit mechanisme niet optreedt en is verbetering van de schematisatie noodzakelijk.

In de Steentoetsbestanden is het volgende opgevallen:

- de bekleding van koperslakblokken is doorgerekend met een spleetbreedte van 0,08 à 0,25 mm. Dat is onwaarschijnlijk klein, gezien de doorgaans niet zo maatvaste blokken. In de praktijk varieert de spleetbreedte van koperslakblokken tussen 4 en 8 mm. Een conservatief resultaat wordt verkregen met een spleetbreedte van 4 mm.
- Er is steenslag toegepast met korrelgrootte van 10 mm direct op klei. Dat is geen goede constructie, want daar moet een geotextiel tussen.
- Er is gerekend met Verkalit met soortelijke massa van 3000 kg/m^3. Het is de vraag of dit economisch haalbaar is.
- Voor Verkalit is aangegeven dat de bekleding geklemd is. Dat is niet terecht, want volgens de handleiding van Steentoets moet voor Verkalit ‘niet geklemd’ worden ingevuld. De waarschuwing in de betreffende regel heeft hier betrekking op.
- Er is gerekend met Basalton (type 27,1), terwijl er tegenwoordig alleen nog maar Basalton+ (ook wel STS+ genaamd, type 27,7) wordt geproduceerd, omdat die een beduidend hogere stabiliteit heeft terwijl de kosten gelijk zijn.
- Op de klei is geen geotextiel toegepast, maar dat komt wellicht omdat er klei is ingevuld waar er verpapte mijnsteen aanwezig is. Zie eerdere opmerking hierover.
- In een aantal gevallen is de golfsteilheid groter dan 8%. Dit is niet realistisch en moet gecontroleerd/aangepast worden.

4.2 Breuksteen

In paragraaf 1.2.2 van bijlage 5A van de Variantennota is de breuksteen behandeld. Daarbij is er gerekend met een schadegetal van 4 en een veiligheidsfactor van 1.0. De keuze hiervoor is niet beargumenteerd en wijkt af van de aanbeveling in de Handreiking Dijkbekledingen. Daar wordt een schadegetal van 7 en een veiligheidsfactor van 1.1 aanbevolen. Omdat beiden een tegengesteld effect hebben, is het netto effect naar verwachting vrij beperkt.

Voor de stabiliteit van de breuksteen is het niveau van het voorland en het correct in rekening brengen van het breken van de golven op het voorland heel belangrijk. Aanbevolen wordt om het niveau van het voorland en de maatgevende waterstanden golfcondities hier te vermelden, om te kunnen controleren dat de juiste waardes zijn gehanteerd.

5 Geotechnische aspecten

Voor de geotechnische aspecten zijn er twee review momenten geweest voor deze dijkversterking; Het eerste moment was voor de veiligheidsbeoordeling in juni 2018. Het tweede moment was van een update van deze veiligheidsbeoordeling op basis van uitgevoerde peilbuismetingen voor de mechanismen STPH en STBU. In de voorliggende review zijn de TUN en variantenstudie op hoofdzaken doorgenomen. Hierbij is vooral de interactie tussen beide relevant. Immers zal de voorkeursvariant ontworpen gaan worden op basis van de uitgangs-punten uit de TUN.
De uitgangspunten uit de TUN zijn, ten aanzien van de geotechnische parameters deels overgenomen uit de uitgangspunten behorende bij de nadere veiligheidsanalyse. In de veiligheidsbeoordeling gaat het in eerste instantie om het bepalen van de scope van de dijkversterking per faalmechanisme.

Voor dit project is voor de gegevensverzameling ingestoken op een werkwijze van grof (conservatief) naar fijn (uitgekiend) wat gegeven het doel van de veiligheidsbeoordeling een verdedigbaar uitgangspunt is. Probleem hierbij is dan wel dat, wanneer op basis van “conservatieve uitganspunten” de scope van het mechanisme wegvalt, nadere optimalisatie van het uitgangspunt niet nodig zal zijn en ook niet zijn uitgevoerd (vanuit perspectief nadere veiligheidsopgave). Wanneer er voor de veiligheidsbeoordeling een verfijning nodig is van de uitgangspunten, bijvoorbeeld zoals gezocht is voor de freatische lijn (STBU) en voor de stijghoogte in het watervoerende zandpakket (STPH), zijn hiervoor aanvullende onderzoeken uitgevoerd. Op basis van de uitgangspunten is er sprake van een stabiele scope.

Wanneer meer in versterkingsmaatregelen (integraal over alle mechanismen) wordt gedacht kan het toch zinvol zijn om sommige veilige uitgangspunten die zijn gebruikt voor de scopebepaling te heroverwegen. Voorbeeld hiervan is de respons van 100% die voor STBI wordt gehanteerd in de TUN (par 7.1.1.4), terwijl deze uit de metingen 50 tot 75% bleek te zijn. Voorgesteld wordt om hiervoor gewoon de gemeten respons te gebruiken.

Een ander uitgangspunten wat nog als veilige waarden kan worden gezien heeft betrekking op de sterkteparameters. In de TUN is aangegeven dat de sterkteparameters hoofdzakelijk default parameters uit de schematiseringshandleiding zijn en daarmee conservatief. Op basis hiervan wordt de scope op STBI en STBU nagenoeg volledig weg gerekend, dus was er geen reden om deze aan te scherpen. Uit de analyses uitgevoerd voor de veiligheidsbenadering volgde dat zowel de geotechnische sterkteparameters als de stijghoogte in de watervoerende zandlaag geen grote invloed hadden op de berekende stabiliteitsfactor. Aanbevolen wordt om voor de gekozen voorkeursvariant te controleren of dit nog steeds het geval is en het dus verantwoord is om deze veilige uitgangspunten over te nemen voor de planuitwerkingsfase of dat deze moeten worden herzien, of dat er ruimte moet worden gelaten om deze te herzien. Voorgesteld wordt om nog mogelijkheden open te laten (bijvoorbeeld in planning) om vanuit ontwerpbehoefte de grondparameters en andere uitgangspunten gemotiveerd en onderbouwd scherper te bepalen.

Uit de Variantennota blijkt dat er een ontwerpopgave (paragraaf 2.10) is voor de hoogte op basis van HBN-berekeningen, waarbij als criterium een overslag van 5 l/m/s is aangehouden. In de TUN staan in paragraaf 7.2.4 en aantal argumenten genoemd waarom er gekozen is voor een overslagdebiet van 5 l/s/m. We kunnen ons vinden in deze keuze voor deze fase waarin uit een groot aantal varianten moet worden gekozen op een uniforme manier, maar het is onvoldoende

beargumenteerd als dit ook gebruikt gaat worden in de vervolgfase. Temeer omdat de scope voor STBI en STBU hierbij wegvalt. Het is aan te bevelen om in het vervolg dit gehanteerde toelaatbare golfoverslagdebiet kritischer tegen het licht te houden en/of te verkennen of een probabilistische kruinhoogte benadering in dit geval niet kan leiden tot een andere hoogteopgave.

Uit de variantenstudie volgt dat het binnenwaarts verhogen van de dijk het voorkeursalternatief voor het landelijk gebied is. Hierbij komt de nieuwe binnenkruinlijn een aantal meters binnenwaarts van de huidige binnenkruinlijn te liggen. Wanneer de binnenteen van de dijk gelijk blijft gaat dit ten koste van de bermbreedte. Door het verhogen van de kruin wordt het aandrijvende moment van de dijk verhoogd (negatief), door het korter worden van de binnenberm wordt het tegenwerkende moment verkleind (negatief) waardoor het mechanisme STBI (en in mindere mate STBU) nadelig wordt beïnvloed. Onduidelijk is hoe dit nu uitpakt in de variantenstudie.
Onduidelijk is of er naast mogelijke hoogte maatregelen dan ook een stabiliteitsmaatregel noodzakelijk is of dat nog wordt voldaan aan de faalkanseisen voor STBI en STBU (zie ook het eerste punt over de conservatieve uitgangspunten).

Overige opmerkingen.

- 7.1.1.5: de eis van de stabiliteit van de N-weg is onduidelijk aangegeven. Het is niet duidelijk hoe deze moet worden gelezen in het kader van de veiligheidsbenadering. Voorstel is om ook hiervoor de schadefactor af te leiden en te laten zien hoe deze is opgebouwd.
- 7.1.1.7: Schematiseringsfactor: voorgesteld wordt om deze gewoon te onderbouwen met analyses.

6 Asfaltbekledingen

Voor de dimensionering van waterbouwasfaltbeton is er uitgegaan van de memo ‘Parameters voor ontwerp van waterbouwasfaltbeton (WAB)’ van Robert ’t Hart dd. 7 december 2018. Voor de andere asfaltbekledingstypen houdt men het rapport ‘state of the art asfaltdijkbekledingen’ Stowa 2010 aan en dat is een goede keuze.

Onderstaand zijn de bevindingen gerapporteerd.

Maatgevende waterstand
In paragraaf 1.2.3 van bijlage 5A van de Variantennota is het ontwerp van waterbouwasfaltbeton (WAB) behandeld. Daar wordt aangegeven dat er gerekend is met een maatgevende waterstand van NAP+3,0 m, terwijl dat de onderrand is van het asfalt. Dat is onlogisch, want dan vallen de golfklappen onder het asfalt op de steenzetting. Naarmate de waterstand hoger wordt, worden doorgaans ook de golven hoger dus moet er met een veel hogere waarde gerekend worden.

Niveau freatische lijn
Het uitgangspunt in de stukken is dat bij het ontwerp voor waterbouwasfaltbeton (met een onderrand op +3 m NAP) de freatische lijn direct onder het asfalt lager ligt dan +3 m NAP. Gezien de duiding van de peilbuiswaarnemingen in de buitenteen uit de Technische Uitgangspunten-notitie lijkt dit niet altijd plausibel, daar de geprognotiseerde stijghoogten voor een aantal

gevallen (veel) hoger zijn, zie appendix F, tabellen 2 en 3 uit de Technische uitgangspunten notitie. Ook wordt vermeld dat er een zandige ondergrond aanwezig is. Er wordt opgemerkt dat de duiding van de peilbuiswaarnemingen alleen geldt als bij het toekomstig ontwerp een dichte bekleding wordt gerealiseerd. Op de bestaande dijk ligt waterbouwasfaltbeton, met lager op het talud koperslakblokken op grind op een 1 m dikke mijnsteenlaag. Hoe dicht/doorlatend de koperslakblokkenconstructie is, is niet duidelijk.
Als in het toekomstig ontwerp lager op het talud een steenbekleding op filter op kleilaag wordt overwogen, is deze deels door structuurvorming in de klei mogelijk niet dicht genoeg.
Om de risico's t.a.v. een hoge freatische lijn te ondervangen zijn door Deltares en Kiwa KOAC binnen de POV Waddenzeedijken aanbevelingen gedaan om onder het waterbouwasfaltbeton een funderingslaag met lage doorlatendheid aan te leggen (zie "Voorlopige ontwerpmethode asfaltbekledingen op funderingslagen" van Kiwa-Koac van 28-3-2019). Dit draagt ook bij aan de duurzaamheid van de asfaltkleding omdat een betere verdichting mogelijk is.

Hergebruik van asfalt als funderingslaag
Uit de stukken blijkt dat het bestaande asfalt geschikt zou kunnen zijn voor hergebruik, maar in de nota is niet gespecificeerd hoe dit zou kunnen worden hergebruikt.
Dit zou in de vorm kunnen van een funderingslaag van asfaltgranulaat (vermengd met zand) onder de nieuwe waterbouwasfaltbeton bekleding. Deze funderingslaag moet minder doorlatend zijn dan het onderliggende zand. Deze fundering fungeert als klankbodem bij de aanleg van de nieuwe waterbouwasfaltbeton waardoor een betere verdichting mogelijk is er een laae percentages holle ruimtes gerealiseerd ka worden. Ook kan deze fundering een flinke stijfheid ontwikkelen, wat blijkt uit metingen aan de asfaltconstructie bij de Waddenzeedijk aan de Boonweg. Dit kan worden verdisconteerd in een flink hogere waarde voor de beddingconstante dan de gangbare 64 MPa/m. Het toepassen van deze innovatie levert voor het waterbouwasfaltbeton potentieel laagdiktewinst op.

Breuksterkte en stijfheid van WAB
Er is enige misinterpretatie opgetreden bij het gebruik van de bovengenoemde memo 'Parameters voor ontwerp van waterbouwasfaltbeton (WAB)'.

De volgende parameters zijn gehanteerd bij de ontwerpberekeningen (zie Bijlage 5A van de Variantennota):
- Hoogte voorland NAP+0m.
- Hellingen 1:4,4 en 1:4,0
- Ligging onderrand asfalt: NAP+3,0m.
- Buigtreksterkte: 2,4 MPa (voorgestelde ontwerpwaarde uit Parameters voor ontwerp van waterbouwasfaltbeton).
- Stijfheidsmodulus asfalttoplaag: 4266 MPa (berekend op basis van buigtreksterkte, zie Parameters voor ontwerp van waterbouwasfaltbeton (WAB)).
- Dwarscontractiecoëfficiënt: 0,35.
- Vermoeiingsparameters: 0,5 en 4,8.
- Veerconstante ondergrond: 64 MPa/m.
- Variatiecoëfficiënt van de buigtreksterkte: 0,2.
- Lengte dijktraject: 13,7 km.

De 5% ondergrens voor de breuksterkte van 2,4 MPa, staat niet als zodanig in de genoemde memo en is te conservatief. In de stukken staat dat de ontwerplevensduur van het waterbouwasfaltbeton 40 jaar is. Als we uitgaan van een juist mengselontwerp en een goede verdichting, dan is een gemiddeld holle ruimte van 4% haalbaar. Met dit holle ruimte percentage

volgt met behulp van het levensduurmodel, inclusief marge, de breuksterkte welke is weergegeven in Tabel 6.1.

Levensduur (jaren)	5% ondergrens breuksterkte (MPa)	5% bovengrens breuksterkte (95%-waarde) (MPa)
40	4,3	9,1
50	4,2	9,0

Tabel 6.1 Breuksterkte bij gemiddeld 4% holle ruimte

Volgens de memo 'Parameters voor ontwerp van waterbouwasfaltbeton (WAB)' moet de te hanteren asfaltstijfheid een 95% waarde zijn. Deze moet volgens deze memo met een regressieformule afgeleid worden uit de 95% waarden voor de breuksterkte (waarden uit Tabel 6.1). Dit geeft als resultaat de waarden van de stijfheid welke zijn weergegeven in Tabel 6.2.

Levensduur (jaren)	95% waarde asfaltstijfheid (MPa)
40	11545
50	11450

Tabel 6.2 Asfaltstijfheid bij gemiddeld 4% holle ruimte

De in Bijlage 5A van de variantennota genoemde waarde voor de asfaltstijfheid van 4266 MPa is dan ook niet juist. Recent onderzoek wijst echter in de richting dat de asfaltstijfheid tussen de waarde uit Tabel 6.2 en de waarde uit de Handreiking (4266 MPa) zou moeten liggen.

Verder staat in Bijlage 5A dat de variatiecoëfficiënt van de buigtreksterkte = 0,2. Dit is niet juist, omdat bij ontwerp gerekend moet worden met de variabiliteit van oud asfalt. De variatiecoëfficiënt voor oud asfalt is fors groter, en bij aanleg goede kwaliteit asfalt is een waarde van 0,35 voldoende veilig, zoals aanbevolen in de memo. Deze waarde van 0,35 moet in BMGolfklap worden ingevuld.

Ondanks bovenstaande wijzigingen is het toch te verwachten dat een asfaltlaagdikte van ongeveer 20 cm haalbaar moet zijn. Deze dikte kan omlaag als de beddingconstante kan worden verhoogd door gebruik te maken van een onderlaag van asfaltgranulaat (vermengd met zand) of door gebruik te maken van een andere fundering van bijvoorbeeld menggranulaat of als later blijkt dat er met een lagere asfaltstijfheid kan worden gerekend. Als het onderliggende zand goed is verdicht blijkt uit het lopende onderzoek binnen de POV Waddenzeedijken dat de beddingsconstante bij toepassing van een funderingslaag significant hoger wordt.

7 Kabels en Leidingen

De problematiek van de kabels en leidingen zijn behandeld in bijlage 7 van de Variantennota. Onderstaand zijn de bevindingen beschreven.

Algemeen
Gegevens over de ondergrond en te verwachten zettingen ontbreken in de nota. Er wordt melding gemaakt van een zanddijk op een zandondergrond in de bijlagen.

Paragraaf 3.2:
De waterleiding bestaat uit Asbestcement. De buitendiameter is 200 mm en de werkdruk is maximaal 3,5 bar. De segmentlengte, leeftijd en wanddikte van de leiding zijn niet bekend. Ook zijn er geen storing gegevens beschikbaar. Dat de AC leidingen gevoelig zijn voor grond-bewegingen is juist. Of deze leidingen ook erg gevoelig zijn voor trillingen wordt betwijfeld. Dat in de bijlage de indruk wordt gewekt dat de leiding bij beïnvloeding door wat werkzaamheden al direct lekkage zou gaan vertonen is niet onderbouwd.

De Gasleiding is een PE leiding met een diameter van 110 mm en een werkdruk van 4 bar (hieraan wordt door de opsteller van de bijlage getwijfeld alhoewel deze waarde wel wordt gebruikt in de krater berekening). De wanddikte (SDR klasse) en de PE kwaliteit zijn niet bekend. Over delen van het tracé waar de gas- en waterleiding gelegen zijn, zijn een Laagspanningskabel en een KPN datakabel aanwezig. De datakabel ligt over een bepaalde lengte binnendijks en kruist de waterkering.

Bij de laagspanningskabel wordt aangegeven dat deze geen nadelige invloed heeft op de waterkering. Dat is zeer waarschijnlijk een juiste constatering, omdat de afstand tot de waterkering relatief groot is en er geen grondvervormingen ter plaatse van de kabel worden verwacht bij uitvoering van een voorkeursalternatief. Een onderbouwing hiervan ontbreekt echter in de bijlage 7.

Bij de datakabel wordt de opmerking geplaatst dat deze zou moeten worden vervangen, omdat de kans bestaat dat deze onder de binnendijkse berm zou kunnen komen te liggen bij uitvoering van een voorkeursalternatief. Ook wordt aangegeven dat de zetting en/of de dekking bij het kruisende deel van de kabel dusdanig zou zijn dat de leiding zou moeten worden verlegd. Een onderbouwing hiervan ontbreekt. Er zijn geen gegevens van zetting of van de dekking boven de kabel bekend. Eveneens is het niet duidelijk op welk niveau de kabel de waterkering kruist. Bij de datakabel is het daarom de vraag of verlegging bij een voorkeursalternatief inderdaad nodig is.

Paragraaf 3.3
In deze paragraaf 3.3 worden de richtlijnen uit NEN3651 toegepast. Er worden erosiekraters berekend voor de parallelle gas- en waterleiding. De berekening van de kraters is op juiste wijze uitgevoerd. De figuren in de paragraaf geven een duidelijk overzicht van de locatie van de potentiele kraters.

De uitkomst van deze eenvoudige 4H-analyse heeft als conclusie dat de leidingen niet kunnen worden gehandhaafd, terwijl de tekst met resultaten in de memo BG3034-RHD-ZZ-XX-NT-Z-0003 (bijlage bij bijlage 7) aangeeft dat de leidingen wel kunnen worden gehandhaafd. De tekst in de memo laat zien dat uitgaande van een faalkans van 1 voor de beide leidingen er geen ontoelaatbare invloed op de waterkering wordt uitgeoefend voor het mechanisme macrostabiliteit binnenwaarts (de berekende veiligheidsfactor voldoet aan de eis). Het wordt aangeraden de tekst uit de memo op te nemen in de hoofdtekst. Wel dienen nog de berekeningsresultaten te worden toegevoegd (berekeningen met glijcirkels).

In dezelfde memo wordt aangegeven dat de waterkering zonder de beschouwing van leidingen over een lengte van 300 m niet voldoet aan de eis voor het mechanisme piping (de formulering is niet helder en zou moeten worden aangepast). Dan is het vanzelfsprekend dat de waterkering inclusief een parallel gelegen leiding ook niet aan de eis voor het mechanisme piping voldoet.

Het wordt aanbevolen om het veiligheidsraamwerk met een gebeurtenissenboom met faalpaden te gebruiken zodat de kansbijdragen per faalpad inzichtelijk kunnen worden gemaakt.

Figuur 3.3 in bijlage 7 geeft een foutief stroomschema c.q. flow chart voor het beoordelen van het effect van leidingen op waterkeringen. Indien de effecten van de leiding op de waterkering bij een faalkans 1 van de leiding toelaatbaar zijn, is het vanwege waterveiligheid niet nodig om de leidingsterkte te beoordelen. De eis om met een sterkteberekening aan de NEN3650 te voldoen wordt pas belangrijk indien de faalkans van de leiding in de berekening wordt meegenomen.

Hoofdstuk 4
De leidingen nabij en in de waterkering ter plaatse van het tracé van de haven is beschreven in hoofdstuk 4. De informatie over welke leidingen waar aanwezig zijn, zoals die in hoofdstuk 3 voor het landelijk tracé is beschreven, ontbreekt in dit hoofdstuk. Het is dus niet goed bekend welke leidingen met welke dimensies en met welke werkdruk aanwezig zijn.

In hoofdstuk 4 wordt wel heel snel de conclusie getrokken dat veel kabels en leidingen verlegd moeten worden. Ook hier wordt weer aangegeven dat er zettingen zullen optreden bij de relatief geringe dijkophogingen, terwijl er geen zettingsberekeningen en geen informatie over de grondopbouw gegeven wordt. Bij het uitvoeren van een analyse kan een onderbouwing worden gegeven van de invloed van de waterkering op de aanwezige kabels en leidingen.

De invloed van de kabels en leidingen op de waterkering is niet goed in te schatten, omdat er geen kraters bij leidinglekkage zijn berekend. De potentiele impact van de leidingen op de waterkering kan dus niet worden vastgesteld. Tabel 4.1 en de bijhorende tekst is daarom prematuur. Wellicht heeft de toekomstvisie om de kabels en leidingen te groeperen in een leidingenstrook het oordeel in de tabel beïnvloed. Indien het wenselijk is om de kabels en leidingen te verleggen is een veiligheidsoordeel omtrent de huidige situatie niet nodig.

In de memo BG3034-RHD-ZZ-XX-NT-Z-0003 (bijlage bij bijlage 7), wordt eveneens zonder onderbouwing per leiding de algemene stelling verkondigd dat er meerdere redenen zouden zijn om de leidingen te verleggen of een vervangende waterkering toe te passen.

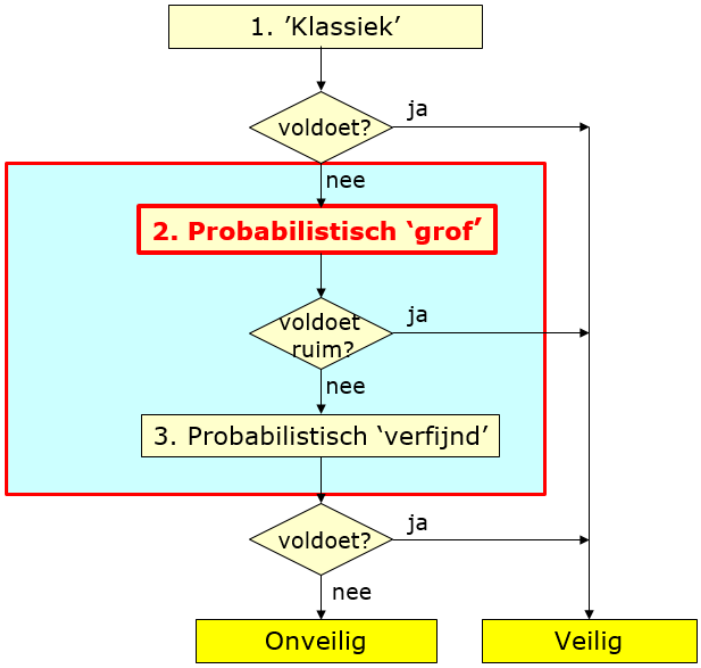
Aanbevelingen
Aangezien er twee redenen kunnen zijn om kabels of leidingen te verleggen is het raadzaam om deze separaat in bijlage 7 te beschrijven:

- Dijkverbetering heeft een ontoelaatbaar effect op de kabel of leiding (vaak zettingen, in een enkel geval een te grote gronddekking).
- Leiding heeft een ontoelaatbaar effect op de waterkering met betrekking tot waterveiligheid.

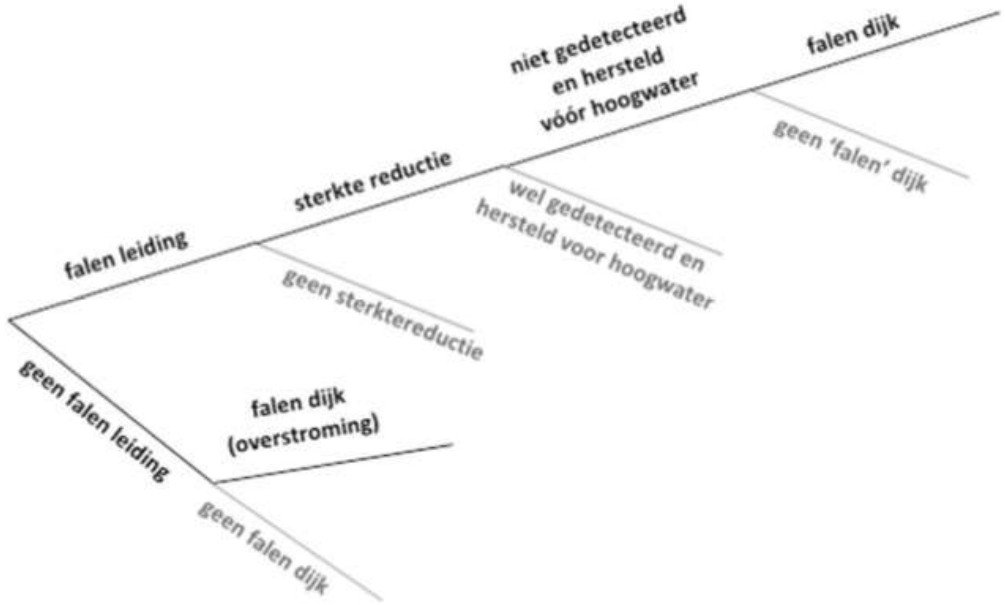
In hoofdstuk 3 is met name het tweede punt voor de tracés landelijk gebied 1 en landelijk gebied 2 al goed beschreven. Het eerste punt behoeft voor deze tracés nog wat aanvullende onderbouwing. Het wordt aangeraden om de memo in de bijlage van bijlage 7 te integreren in de tekst. De memo toont aan dat de leidingen zelfs met faalkans 1 geen ontoelaatbaar effect hebben op de waterkering. Wel dient het deel met de pipinganalyse in de memo te worden herschreven en moeten berekeningsresultaten (STBI) worden bijgevoegd.

De kabels en leidingen behorend bij het tracédeel haven van Lauwersoog zijn niet volledig geïnventariseerd en niet beoordeeld. Dit dient duidelijk in de bijlage 7 te worden vermeld. Indien

ervoor wordt gekozen om de kabels en leidingen toch te beoordelen wordt aangeraden de in de POV-KL ontwikkelde methodiek te gebruiken zoals weergegeven in de onderstaande figuur. Deze methodiek sluit aan op het WBI instrumentarium en de NEN 3650/51 (zie onderstaande figuur).



Figuur 7.1 *Flow chart voor toetsing leidingen*



Figuur 7.2 *probabilistisch toe te passen gebeurtenissenboom met faalpaden*

8 Gras buitentalud

In de rapportage is geen berekening gevonden over het gras op het buitentalud. Het is aan te bevelen te berekenen tot hoe hoog de harde bekleding moet worden doorgetrokken en hoe deze over kan gaan in een grasbekleding op het buitentalud.

9 Conclusie

Er kan geconcludeerd worden dat de rapportage een duidelijk beeld geeft van het proces dat heeft geleid tot de gekozen varianten. Daarin zijn de uitgangspunten, zoals geformuleerd in de TUN, goed opgevolgd en is het in overeenstemming met OI-2014.
Er zijn echter een aantal zaken die verbetering behoeven. Deze zijn bovenstaand benoemd.

AUTEUR	REVIEW	GOEDKEURING
M. Klein Breteler	P. van Steeg	M.R.A. van Gent

Bijlage D: Notulen gesprek review op variantennota

Notulen

HaskoningDHV Nederland B.V.
Water

Aanwezig:	Mark Klein Breteler (Deltares), Goaitske de Vries (HWBP), Sander Post (RHDHV), Jan Valk (RHDHV), Bert de Wolff (Noorderzijlvest), Gerbert Pleijter (HKV), Lisa de Koning (RHDHV)
Van:	Lisa de Koning
Datum:	25-11-2019
Locatie:	Kantoor RHDHV Amersfoort
Kopie:	IPM-team DVS Lauwersmeerdijk - Vierhuizergat
Ons kenmerk:	BF8917-RHD-ZZ-XX-MI-Z-0001
Classificatie:	Open
Bijlagen:	

Onderwerp: **Overleg review Deltares ontwerpdocumenten Variantennota DVS Lauwersmeerdijk - Vierhuizergat**

Tijdens dit overleg staat de review van de ontwerpdocumenten van de voorkeursalternatieven centraal. De review is uitgevoerd door Deltares en in meer detail door:
• Jacco Groeneweg (hydraulische belastingen)
• Mark Klein Breteler (steenbekledingen en eindredactie van de review)
• Huub de Bruijn (geotechnische aspecten)
• Bernadette Wichman (asfaltbekledingen)
• Henk Kruse en Frans van den Berg (kabels en leidingen)

Tijdens het overleg zijn ook een aantal discussiepunten besproken waaronder het toe te passen overslagdebiet en de onzekerheden over het berekende hydraulische belastingsniveau (voortaan HBN). Tijdens de vergadering is puntsgewijs de review doorgenomen. De punten van deze notulen verwijzen naar de punten in de review.

2. Algemene bevindingen.
In de review wordt opgemerkt dat in figuur 1-3 een erg grote marge zit tussen de berekende HBN-lijn en de ontwerpkruinhoogte 2075. Deze opmerking is terecht, het gaat hier om een verouderd Figuur waar de HBN-lijn van een flauw ondertalud is weergegeven. In het ontwerpproces is gekozen voor een steiler ondertalud; het Figuur wordt aangepast. Bij Figuren 1-1 t/m 1-4 wordt een marge aangehouden van circa 10-20cm tussen berekend HBN en ontwerphoogte 2075. Deltares adviseert om zettingscompensatie niet mee te nemen in deze Figuren, zo blijven deze zuiver.

De bodemdaling in dit gebied bedraagt 10cm waarvan 6 cm veroorzaakt door gaswinning en 4 cm door autonome bodemdaling. Dit lijkt aan de lage kant, maar uit oude bestektekeningen en metingen blijkt inderdaad dat de bodemdaling minimaal is. De compensatie voor bodemdaling als gevolg van gaswinning wordt apart in kaart gebracht en geraamd.

3. hydraulische belastingen
Deltares oordeelt in de review dat de hydraulische belastingen op de juiste manier zijn berekend. Uit de HBN-berekeningen blijkt in de landelijk dijk een “dip” te zitten in de hoogte van het HBN. Deltares geeft in de review aan dat deze dip mogelijk is te verklaren doordat in de onderliggende SWAN berekeningen is gerekend met bodemdata uit 2005. In 2005 liep er nog een geul langs de dijk, door deze geul waren lokaal de golfperiodes kleiner. Dit resulteert in een lager HBN.
RHDHV/HKV tonen aan dat in de bodemmetingen die de afgelopen jaren zijn uitgevoerd te zien is dat de geul zich “terugtrekt”. In het gebied wordt veel gepeild vanwege de ligging van de getijdegeul Vierhuizergat. Voorgesteld wordt om de invloed op het HBN van een terugtrekkende geul te bepalen en hierop een voorstel te doen voor de te hanteren kruinhoogte. Het is aannemelijk dat de HBN’s ten plaatse van de dip behoorlijk omhoog zullen gaan.

Daarnaast is er lokaal een “piek” te zien in het HBN bij dijkpaal 83.1. Deze piek resulteert in de grootste hoogte-opgave, door de schuine hoek van inval in dit gebied is dat eigenlijk onlogisch. Geconcludeerd wordt dat de huidige kruinhoogteverloop de meest logische is (afnemende kruinhoogte richting het oosten). Voorgesteld wordt om te onderzoeken of deze lokale piek kan worden onderbouwd of juist aangepast dient te worden.

Aanbevolen wordt om ook een keer met ringtoets te rekenen, mogelijk levert ringtoets een ander beeld op. Dit advies wordt opgevolgd.

Daarnaast is er nog een (op dit moment) onverklaarbaar piekje bij de aansluiting op de oostelijke havendam. In de nieuwe analyse wordt ook onderzocht of deze piek verklaart kan worden aan de hand van de onderliggende SWAN berekeningen.

Met betrekking tot de golfsteilheden wordt aangegeven zoveel als mogelijk uit te gaan van een fysisch realistische situatie. Waarschuwingen in Steentoets over (te) hoge golfsteilheden geven bijv. aan dat dit verder onderzocht dient te worden.

Concluderend werken RHDHV-HKV aan een voorstel voor een HBN-verloop voor het landelijke dijktraject. Dit voorstel zal worden voorgelegd aan Deltares en het HWBP.

<u>Overslagdebiet</u>
Zowel vanuit Deltares als vanuit het HWBP is de vraag gesteld om de keuze voor het golfoverslagdebiet van 5 l/s/m (probabilistisch) te onderbouwen. De verwachting is uitgesproken dat een hoger overslagdebiet toelaatbaar zou kunnen zijn bij dit dijktraject. RHDHV-HKV werken in opdracht van NZV aan een memo om deze keuze te onderbouwen. In het overleg worden de belangrijkste argumenten gepresenteerd in een powerpoint en besproken. De argumenten zijn onder te verdelen in drie thema’s:

- Techniek
- Impact op de kosten
- Robuustheid in ontwerpproces.

<u>Techniek</u>
Bij het toepassen van een probabilistisch overslagdebiet speelt de discussie welke soort overgang gehanteerd kan worden een grote rol. Experts zijn het er niet over eens welke overgang bij welke situaties gehanteerd dient te worden. RHDHV-HKV heeft conform methode Deltares 2016 voor de verschillende overgangen het probabilistisch overslagdebiet bepaald, dit zijn de resultaten:

- Geometrische overgang 40-60 l/s/m
- Gemiddelde overgang 8-12 l/s/m
- Worst case overgang 4-8 l/s/m

Het probabilistisch bepalen van het golfoverslagdebiet levert dus een hoger overslagdebiet op dan de gehanteerde 5 l/s/m. Het verschil is echter alleen groot als wordt uitgegaan van een geometrische overgang.

RHDHV-HKV heeft ook een geotechnische analyse uitgevoerd, hierin wordt geconcludeerd dat het toepassen van hoge overslagdebieten (hoger dan 10 l/s/m) rekenkundig wellicht mogelijk is. Maar dat het toepassen van een hoog overslagdebiet niet (zonder het toepassen van extra maatregelen) wordt aangeraden;

1. Het is onvoldoende bekend wat een hoog overslagdebiet betekent voor de freatische lijn van de dijk (conform advies POV Macrostabiliteit). Met de huidige geoptimaliseerde freatische lijn (geoptimaliseerd door een peilbuisanalyse) drukt de kleilaag net niet op. De marge is echter klein.
2. De huidige kleilaag is dun en van matig erosiebestendige kwaliteit. Er wordt getwijfeld of de huidige kleilaag hogere overslagdebieten kan weerstaan. Zeker met het oog op de zandkern van de dijk is het belangrijk dat de kleilaag niet erodeert.
3. De grasbekleding dient vrij te zijn van graverij en het is aannemelijk dat het onderhoudsregime moet worden opgevoerd. Maar alsnog lijkt het volledig in stand houden van een gesloten

grasmat moeilijk. Specifiek voor deze dijk zijn er ook kogelinslagen mogelijk door het aangrenzende militair oefenterrein.

Overeenstemming wordt bereikt dat het toestaan van hele hoge overslagdebieten (>20 l/s/m) zonder aanvullende maatregelen niet goed voelt bij deze dijk met zandkern. Maar het opschalen naar een maximaal 20 l/m/s wordt door Mark Klein Breteler niet direct als onmogelijk beschouwd. Afgesproken wordt om de redeneerlijn in een memo-vorm verder uit te bouwen.

Impact op de kosten

Het doel van het verhogen van het overslagdebiet is dat de hoogte-opgave bij een dijkversterking kan worden gereduceerd of zelfs kan vervallen. Dit heeft impact op de kosten. Om deze impact te bepalen heeft RHDHV-HKV voor 3 maatgevende profielen (1 havenprofiel en 2 landelijke dijkprofielen) de versterkingsopgave geraamd voor vier verschillende overslagdebieten (5 l/s/m (basis case), worst-case scenario, gemiddelde overgang, geometrische overgang). Bij de landelijke dijk zijn zowel de kosten geraamd voor het alternatief binnenwaarts glad als het alternatief binnenwaarts ruw.
Voor het alternatief binnenwaarts glad kunnen de directe bouwkosten circa 12 % gereduceerd worden. Dit komt omdat bij een hoger overslagdebiet dan 5 l/m/s de dijk niet hoeft op te schuiven in binnenwaartse richting. Bij de ruwe variant zijn er helemaal geen kostenbesparingen. Dit komt omdat de huidige kruinhoogte al hoog genoeg is. Hierbij wordt wel opgemerkt dat het hanteren van een hoger overslagdebiet waarschijnlijk resulteert dat de dijk pas na een langere periode dan 50jaar weer opgehoogd hoeft te worden. Voor de bekleding van de dijk geldt dit voordeel echter niet.
Opgemerkt wordt dat de discussie voor het hanteren van een hoger overslagdebiet, dus geen zin heeft voor het alternatief binnenwaarts ruw.

Robuustheid keuze bij ontwerpen

Bij het ontwerpen van dijken spelen onzekerheden een grote rol. Het waterschap streeft naar een stabiele scope en zodoende is de keuze voor 5 l/s/m uiteraard de meest robuuste keuze. Voor deze dijk worden de volgende (grote) onzekerheden signaleert:

- Invloed hoger overslagdebiet op de ligging van de freatische lijn;
- De sterkte van de kleilaag. Aangezien deze dijk een zandkern heeft, is het essentieel dat de kleilaag niet erodeert;
- Er is aangegeven dat in de huidige HR van de Waddenzee een verkeerde interpretatie van modelonzekerheden is gebruikt. Hierdoor is het feitelijke HBN van deze dijk circa 35cm hoger dan Hydra-NL geeft. Deze 35 cm komt toevalligerwijs overeen met het verschil tussen het HBN bij 10 l/s/m en 5 l/s/m. Bij de start van de verkenningsfase is vanwege deze reden gekozen voor de switch van 10l/s/m naar 5 l/s/m;
- In de huidige HR wordt gerekend met steile golven, dusdanig steil dat deze fysisch niet kunnen optreden. Het wijzigen naar fysisch mogelijke golven, levert zeer waarschijnlijk een hoger HBN op;
- Daarnaast komen er op korte termijn nieuwe klimaatscenario's.

Afgesproken wordt dat RHDHV/HKV een integrale memo schrijven met een advies voor het te hanteren golfoverslagdebiet. Deze memo wordt voorgelegd aan Deltares en het HWBP.

Vervolg inhoudelijke review

In de review wordt opgemerkt dat mogelijk is gerekend met een te hoge golfbelasting voor de verticale wand alternatief bij de haven. Na bespreking lijken de golfcondities toch te kloppen, echter zijn de figuren in Bijlage 5B misleidend (hier is het voorland niet ingetekend). Afgesproken wordt dat deze figuren moeten worden aangepast.

In de review wordt opgemerkt dat er wordt gerekend met golven met een te hoge golfsteilheid (tot circa 8%). Dit zijn echter de ontwerpgolven die de software Hydra-NL produceert. Een golfsteilheid van 8% is niet realistisch; een golfsteilheid van circa 5% is maximaal mogelijk. Aanbevolen wordt om niet met fysisch onmogelijke golven te rekenen. Bij het project Afsluitdijk is ruwweg gekozen om de golfperiode

aan te passen en de golfhoogte te handhaven. Deze aanpak leidt tot een zwaardere golfbelasting en dus een zwaarder bekledingsontwerp en een hogere dijk.
Besloten wordt dat RHDHV-HKV een voorstel doen hoe bij dit project de ontwerpgolven kunnen worden bewerkt tot fysisch mogelijke golven. Het voorstel zal worden voorgelegd aan het HWBP en Deltares, voordat de knoop wordt doorgehakt hoe de golfbelasting (golfhoogte en golfperiode) wordt meegenomen bij dit dijkversterkingsproject.
Het algemene beeld is dat dit een flinke impact kan hebben op de dijkhoogte en het bekledingsontwerp, maar dat dit niet VKA onderscheidend zal zijn. Het waterschap hecht er echter wel waarde aan dat nog in de verkenningsfase een besluit wordt genomen over de wijze hoe dit effect wordt verrekend.

4. Zetsteenbekleding
Belangrijkste discussiepunt voor de zetsteenbekleding is de vraag of de huidige mijnsteen onder de koperslakblokken kan blijven zitten. Het is belangrijk om goed na te gaan wat voor mijnsteen er onder de zetsteen aanwezig is; is deze verpapt, breed gegradeerd/ongesorteerd? Uitgevoerd onderzoek lijkt uit te wijzen dat de mijnsteen niet gesorteerd, niet verpapt en breed gegradeerd (tout venant) is. Dit dient in de planuitwerkingsfase nader te worden onderzocht.
Bij ongesorteerd mijnsteen zorgen de aanwezige kleine fracties voor een slechtere doorlatendheid, dit is gunstig voor de dikte van de zetsteen. Om er zeker van te zijn dat de mijnsteen kan blijven zitten, wordt een gevoeligheidsanalyse met steentoets uitgevoerd en dient het mijnsteen op meer locaties te worden onderzocht. Dit onderzoek is van belang in de planuitwerkingsfase.

Aanvullende opmerkingen over de steenbekleding:
- Waarschijnlijk is een geotextiel in combinatie met mijnsteen niet nodig.
- De hydraulische randvoorwaarden moeten, zoals eerder al besproken, goed bekeken worden; zijn de golven niet te steil en breken ze niet vanwege geringe waterdiepte.
- De opmerking over een te lage stabiliteitsfactor van Verkalit is onterecht en dient verwijderd te worden.
- De invoer van de spleetbreedte tussen de koperslakblokken lijkt erg minimaal. Opgemerkt wordt dat ze dicht tegen elkaar aan gezet zijn, maar alsnog wordt dit gecontroleerd.
- Er is in een enkel geval gekeken naar Verkalit met een soortelijk gewicht van 3000 kg/m3. Er wordt getwijfeld of dit realiseerbaar dan wel kosteneffectief is. Opgemerkt wordt dat voor nu alleen verschillende type zetstenen zijn vergeleken met elkaar en dat nog geen keuze is gemaakt voor een bepaald type zetsteen.
- Mark geeft aan dat voor type basalton nu gerekend dient te worden met basalton+ en voor Hillblocks dient de 2.0 variant te worden aangehouden. Dit wordt aangepast.
- In de review memo van Deltares wordt geconcludeerd dat een foutief schadegetal en veiligheidsfactor worden gehanteerd voor breuksteen, maar dat het netto effect gering zal zijn. Gerbert geeft aan dat hij een KPR advies volgt. Afgesproken wordt dat wordt onderzocht wat de goede parameters zijn en dat deze worden opgenomen in een technisch uitgangspuntennotitie.

5. Geotechnische aspecten
In de geotechnische review van Deltares worden geen onvolkomenheden aangestipt, dat is ook niet gek want Huub de Bruijn van Deltares is meermaals meegenomen in ontwerp- en schematiseringskeuzes. Wel is Huub van mening dat er nog verder aangescherpt kan/moet worden. De vraag rijst of dat echt meerwaarde oplevert in deze verkenningsfase, want de geotechnische stabiliteit voldoet nu al en verdere aanscherping zal het ontwerp van de dijk niet wijzigen. Afgesproken wordt dat Bert contact zoekt met Huub om dit te bespreken.

6. Asfaltbekleding
In de memo van Deltares wordt opgemerkt dat de maatgevende waterstand van NAP+3m mogelijk te laag is. De golfklappen bij hogere waterstanden kunnen een zwaardere golfbelasting geven. Dit wordt door RHDHV/HKV verder onderzocht.
De opmerking van Deltares over de freatische lijn is onjuist, waarschijnlijk zijn per ongeluk de stijghoogte en de freatische lijn door elkaar gehaald.
Deltares stelt nieuwe ontwerpparameters voor, deze parameters worden overgenomen.

In de review wordt hergebruik van het bestaande asfalt als kansrijk bestempeld, dit wordt verder onderzocht in de planuitwerkingsfase.
Al met al acht Deltares de gekozen WAB dikte van 20cm haalbaar en ziet zelfs mogelijkheden om dunner te gaan. Dit advies wordt meegegeven aan de planuitwerkingsfase.

7. Kabels en leidingen
Tijdens het overleg zijn geen kabels en leidingen experts aanwezig, vandaar dat besloten wordt dit onderwerp niet inhoudelijk te behandelen. Het reviewcommentaar van Deltares is immers duidelijk; in algemene zin geeft Deltares aan dat de diepgang van de uitgevoerde quick-scan nog niet aansluit bij een toetsing. Bepaalde conclusies in de stukken van RHDHV/HKV kunnen daardoor voorbarig zijn. Dit klopt inderdaad, een volledige K&L toetsing is (nog) niet uitgevoerd in deze verkenningsfase. NZV en RHDHV/HKV geven aan dat ze voornemens zijn deze actie nog voor de start van planuitwerkingsfase uit te werken.

8. Gras buitentalud
In de reviewcommentaar van Deltares wordt opgemerkt dat de berekening van de overgang harde bekleding-zachte bekleding ontbreekt. Deze berekening is inderdaad niet opgenomen in de rapportage, maar is wel uitgevoerd. In de nieuwe oplevering wordt de berekening toegevoegd. De overgang is nu berekend op het niveau van NAP+7m, circa 1,5m onder de kruin. Op NAP+7m begint de golfoploopzone. Er is overeenstemming dat dit een logisch niveau is. Het verlagen van de overgang hard-zacht wordt voor deze dijk niet direct als heel kansrijk beschouwd. Daarnaast is er bij de variant met ruwe bekleding interactie met de hoogteopgave.

9. Conclusie
De overall conclusie van Deltares is dat de rapportage een duidelijk beeld geeft van het proces dat heeft geleid tot de gekozen varianten. Daarin zijn de uitgangspunten, zoals geformuleerd in de TUN, goed opgevolgd en is het in overeenstemming met OI-2014. Als de genoemde aandachtspunten worden onderzocht/aangepast kan de verkenningsfase goed worden afgerond.

Bijlage E: Kosteninschatting alternatieven

Alleen in excel-versie aanwezig

Bijlage F: verslag expertsessie 20 januari 2020

Waterschap NOORDERZIJLVEST

Verslag expertsessie Hydraulische belastingen
HWBP-project Lauwersmeerdijk-Vierhuizergat

Aanwezig:

Hoite Detmar Goaitske de Vries Bianca Hardeman	Projectbegeleider PM Projectbegeleider TM Projectbegeleider TM	HWBP HWBP HWBP
Mark Klein Breteler Jacco Groeneweg	Specialist Bekledingen Specialist HR	Deltares Deltares
Sander Post	Technisch manager	RHDHV
Gerbert Pleijter Vincent	Adviseur Adviseur	HKV Lijn in Water HKV Lijn in Water
Ate Wijnstra Bert de Wolff	Projectmanager Technisch manager	waterschap Noorderzijlvest waterschap Noorderzijlvest

Afwezig:

Robert Vos (met kennisgeving	Specialist HR	RWS/WVL

Locatie kantoor Noorderzijlvest Groningen

Nr.	Agendapunt	Actiehouder
1.	**Opening en aanleiding expertsessie** Bert heet iedereen van harte welkom op de expertsessie. Aanleiding voor de expertsessie is 2-ledig: 1. HWBP heeft in december 2019 Noorderzijlvest gevraagd om in de verkenningsfase een redeneerlijn op te stellen met betrekking tot het te hanteren overslagdebiet. 2. In november 2019 heeft Deltares de variantennota getoetst en geadviseerd nader onderzoek te doen naar het hydraulisch belasting niveau (HBN) en de te hanteren golfsteilheid. Dit is voor Noorderzijlvest aanleiding geweest deze sessie te organiseren. Ter voorbereiding op de expertsessie heeft Noorderzijlvest op 13 januari 2020 de volgende documenten naar het expertteam opgestuurd: - Notitie Aanscherping hydraulische belastingen (hoofdtekst) jan 2019 - Bijlage A Nadere beschouwing invloed golfoverslag - Bijlage B Nader onderzoek varianties geotechniek - Bijlage C Review ontwerpdocument VKA - Bijlage D Notulen overleg NZV/Deltares - Bijlage E kosteninschatting alternatieven Robert Vos is afwezig en heeft daarom via een memo d.d. 16 januari 2020 een reactie gegevens op bovenstaande documenten. Deze memo is ook gedeeld met de aanwezigen.	
2.	**Doelstelling expertsessie** Doel van de expertsessie is om consensus te krijgen over het te hanteren overslagdebiet en om consensus te krijgen over de hanteren hydraulische	

	belastingen voor het dijkontwerp. Indien er consensus is binnen het ontwerpteam, dan worden deze ook definitief vastgesteld voor zowel de afronding van de verkenningsfase als de planuitwerkings- en realisatiefase.	
3.	**Beoordeling expertteam voorgestelde ontwerpuitgangspunten** Door Noorderzijlvest zijn de volgende voorstellen gedaan: *Hydraulisch belasting niveau (HBN)* 1. Verleggen 'knip' van de 2 SWAN-modellen naar het oosten, zodat er gewerkt kan worden met 1 SWAN-model 2. Doorvoeren correctie in het waterstandveld <u>Reactie expertteam</u>: Voorgestelde aanpassingen zijn akkoord. De uitkomsten geven ook een meer logische en meer realistische uitkomst. *Golfsteilheid:* 1. Doorvoeren Bias-correctie 2. Rekenen met een volledige correlatie (100%) tussen de modelonzekerheden 3. Aanpassen verhouding tussen de Tm-1,- en Tp van default 1, 1 naar 1,2 <u>Reactie expertteam:</u> Het doorvoeren van de Bias-correctie is akkoord. Het rekenen met een 100% correlatie van 100% is ook akkoord. Wel wordt geadviseerd deze keuze tekstueel beter te beargumenteren (relatie leggen met het SWAN-model). Bij voorstel 3 adviseert het expertteam de verhouding tussen Tm-1 en Tp lokaal af te leiden/gebruiken en toe te voegen in de database. *Kritisch overslagdebiet* - Deeltraject Haven: 5 l/m/s (conform worst-case overgang) - Deeltraject Landelijk 10 l/m/s (conform gemiddeld overgang) <u>Reactie expertteam:</u> De voorgestelde overslagdebieten zijn voor dit project zijn akkoord en in voldoende mate onderbouwd. Voorwaarde is wel dat bij de landelijke dijk op de kruin en het binnentalud onder de graszode een kleibekleding van 80 cm aanwezig moet zijn. Bij de haven dient tot minimaal 5,0 meter achter de kademuur een kleilaag van 80 cm aanwezig te zijn. Voorwaarde is ook dat er kwalitatief goede/gesloten grasmat aanwezig te zijn.	
4	**Conclusies en besluitvorming** Het HWBP concludeert dat met de ingediende documenten de voorgestelde ontwerpuitgangspunten voor dit project in voldoende mate zijn onderbouwd en hebben geleid tot logische en acceptabele keuzes. Een extra adviesronde via het adviesteam Dijken acht het begeleidingsteam voor dit project daarom niet meer nodig. *<u>Reactie Robert Vos (na telefoongesprek met Bert de Wolff op 23 januari 2020):</u>* *Inhoudelijk akkoord met de voorgestelde ontwerpuitgangspunten en de adviezen door het expertteam. Deze zijn voor dit project logisch en acceptabel. RWS/WVL blijft bij haar advies om de documenten te laten toetsen door het Adviesteam Dijken*.	

	HWBP constateert dat er ten aanzien van het onderwerp Golfsteilheid bij meerdere HBWP-projecten veel vragen en discussies zijn en overweegt daarom voor dit onderwerp een project overstijgende redeneerlijn te laten opstellen. Hiermee zijn de ontwerpuitgangspunten zoals opgenomen in dit verslag akkoord. Deze vormen het vertrekpunt voor het verdere project. Noorderzijlvest verwerkt de afgesproken uitgangsuitwerkingen in de finale versies van het TUN (technische uitgangspuntennotitie) en het ontwerp van het voorkeursalternatief. De finale versies gaan dan, samen met het plan van aanpak voor de planuitwerkingsfase in april 2020 het formele toets traject van het HWBP in.	
5	**Afsluiting** Bert de Wolff sluit de vergadering en bedankt iedereen voor zijn/haar bijdrage aan deze expertsessie.	

BIJLAGE 10

Verslag stakeholderbijeenkomst 12 november 2019

Presentatie van de kansrijke alternatieven aan de stakeholders en waardering van de alternatieven

Royal HaskoningDHV

Notulen

HaskoningDHV Nederland B.V.
Water

Onderwerp: Stakeholderbijeenkomst Dijkversterking Lauwersmeer-Vierhuizergat

Aanwezig:
Dolf Spinder (Gemeente Het Hogeland)
Henk Paap (Gemeente Het Hogeland)
Alexandra Das (Gemeente Het Hogeland)
Koos Stevens (Gemeente Het Hogeland / WEC)
Klaas Laansma (Duurzame Haven Lauwersoog)
Marga Bremer (Provincie Groningen)
Jos Huis in 't Veld (Provincie Groningen)
Johan Lingbeek (Provincie Groningen)
Bart de Vries (Provincie Groningen)
Bas Bijl (Waddenvereniging)
Lies van Nieuwerburgh (Rijkswaterstaat)
Rien Mudde (Rijksvastgoedbedrijf/Defensie)

Peter van Dijken (Waterschap Noorderzijlvest)
Eddi Ottens (Waterschap Noorderzijlvest)
Ate Wijnstra (Waterschap Noorderzijlvest)
Bert de Wolff (Waterschap Noorderzijlvest)

Martijn van Houten (Royal HaskoningDHV)
Sander Post (Royal HaskoningDHV)
Michiel Brink (Royal HaskoningDHV)
Jan Valk (Royal HaskoningDHV)

Van: Martijn van Houten
Datum: 12 november 2019
Locatie: Waterschap Noorderzijlvest

Opening door Ate Wijnstra
Ate Wijnstra neemt de aanwezigen mee in het proces tot nu toe. Op dit moment bevinden we ons in de verkenningsfase van het project. Een voorwaarde voor het Waterschap is een breed gedragen voorkeursalternatief (VKA). De planuitwerkingsfase biedt nog veel ruimte voor verdere uitwerking van de alternatieven als het gaat om materiaalgebruik en wijze van uitvoering.

Het bestuur van het Waterschap wil deze dijkversterking graag breder trekken, en onderzoeken waar kansen liggen om de meerwaarde van de dijkversterking te vergroten. Dit is verkend met de methodiek van Duurzaam GWW en heeft geresulteerd in bestuurlijk gedragen ambities op het vlak van Ecologie en Duurzaamheid. Het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) biedt veel kansen om dit te verkennen. Gelijktijdig ligt er ook een planning, en moeten er slagen worden gemaakt. Daarom is samen met de (bestuurlijke) partners voor de ecologische koppelkansen een integraal plan opgesteld, waarvoor een aanvraag is ingediend bij de Programmatische Aanpak Grote Wateren (PAGW). Daarnaast worden de mogelijkheden voor energie opwekking op de dijk onderzocht.

Op dit moment zijn 6 alternatieven als kansrijk geselecteerd; 4 voor de landelijke dijk en 2 voor de haven. Vandaag gaan we in gesprek over deze kansrijke alternatieven om toe te werken naar het VKA.

Trechtering van alternatieven naar kansrijke alternatieven en Koppelkansen
Mede met de input van de bijeenkomst van 2 juli en de inloopbijeenkomst in Lauwersoog van 9 juli heeft een selectie van kansrijke alternatieven plaatsgevonden. Martijn van Houten licht kort toe welke alternatieven en koppelkansen zijn afgevallen dan wel doorgaan en waarom.

Haven
Voor de haven zijn twee alternatieven als kansrijk geselecteerd. Dit zijn de bestaande dijk aan de zeezijde gedeeltelijk verhogen en het toepassen van een keermuur in de bestaande dijk. Positief voor beide varianten is het benodigde ruimtebeslag en de mogelijkheden voor recreatieve versterking. Het alternatief waarbij de huidige provinciale weg integraal wordt verhoogd is afgevallen vanwege de kosten. Alternatieven met het toestaan van meer overslag over de dijk zijn afgevallen omdat over het gehele profiel van de dijk maatregelen noodzakelijk zijn en recreatief niet aantrekkelijk zijn. Het alternatief waarbij een tuimelkade is toegepast valt af omdat er geen ruimte beschikbaar is.

Landelijke dijk
Voor de landelijke dijk zijn vier alternatieven als kansrijk geselecteerd. Dit betreft alternatieven waarbij de verhoging aan de landzijde of de zeezijde plaatsvindt. Beide alternatieven zijn met of zonder verruwing mogelijk. De belangrijkste overwegingen voor deze varianten zijn de recreatieve beleving, kosten en mogelijkheden voor combinatie met koppelkansen.

Tijdens de bijeenkomst van 2 juli zijn het alternatief waarbij getijdepoelen worden gerealiseerd en de brede groene dijk zijn door de aanwezigen als zeer positief aangegeven. Daar is op de volgende manier mee omgegaan:

- Na nader onderzoek is de brede groene dijk is afgevallen als mogelijk alternatief. Uit dit onderzoek bleek dat de ecologische voordelen uiteindelijk beperkt blijven. Dit alternatief vraagt om een aanzienlijk ruimtebeslag in het Natura 2000 gebied de Waddenzee (ongeveer 70 meter). Dit beeld wordt tijdens de bijeenkomst bevestigd door meerdere stakeholders.
- De getijdepoelen zijn verder uitgewerkt naar de ecologische koppelkans natuurlijke overgang en onderwater natuur. Deze koppelkans is bij alle alternatieven toepasbaar.

Ecologische koppelkansen
Naast de natuurlijke overgangen wordt ook de kwelderontwikkeling door middel van rijshoutdammen en de zoet-zout overgang Marnerwaard gecombineerd met vismigratie integraal meegenomen met de dijkversterking.

De langsdam in combinatie met een strandje is afgevallen omdat negatieve ecologische effecten worden verwacht in het N2000 de Waddenzee. Daarbij is het strandje vanwege de stromingen in de Waddenzee technisch moeilijk om te realiseren en te behouden. Dit gaat ook gepaard met hoge kosten. Door de ligging van een diepe geul voor de beoogde locatie van het strandje is ook de zwemveiligheid moeilijk/niet te borgen.

Aanvulling op benoemde koppelkansen
Als aanvulling op de overige koppelkansen wordt benoemd dat de kans om vrijkomend slib uit de haven toe te passen ontbreekt. Op dit moment wordt het slib verderop in de Waddenzee geloost, waardoor het door de stroming waarschijnlijk vrij snel weer terug in de haven komt. Het slib kan mogelijk worden verwerkt in de dijk, of als materiaal kunnen worden gebruikt voor kwelderbouw. Toegezegd wordt dat de verkenning naar de mogelijkheden om dit te combineren met de dijkversterking of kwelderontwikkeling plaatsvindt in de planuitwerkingsfase.

Werksessie Haven
Voor het deeltraject haven zijn twee kansrijke alternatieven geselecteerd. Tijdens de werksessie haven is verkend op welke wijze de varianten op het traject haven ruimtelijk ingepast kunnen worden. Dit heeft geresulteerd in de volgende schets:

Door de aanwezigen is vanuit het oogpunt van recreatieve beleving een voorkeur voor het toepassen van een keermuur aangegeven. De keermuur biedt mogelijkheden om een promenade/boulevard te creëren die aansluit op de bestaande looproutes. Dit wordt met name met het oog op toerisme als positief beschouwd. Hierbij is een duidelijk scheiding tussen fietsers en wandelaars gewenst om het boulevard gevoel te versterken.

Ter plaatse van de parkeergarage heeft zowel het alternatief met de grondophoging voordelen als het alternatief met de keermuur. Het alternatief met de grondophoging heeft als voordeel dat de parkeergarage, die als lelijk wordt ervaren, deels uit het zicht verdwijnt. Het alternatief met de keermuur creëert een duidelijke looproute richting vanaf de parkeerplaats naar de haven. Daarnaast ontstaat er ook meer één geheel. Dit wordt door de aanwezigen vanuit het perspectief van landschappelijke inpassing als positief ervaren.

Ter plaatse van de ingang naar de haven en de sluis zijn de beide alternatieven niet mogelijk. Bij de ingang van de haven zijn verschillende mogelijkheden verkend waaronder het toepassen van een coupure en het verhogen van het overslagdebiet. De optie om de kruising hier integraal te verhogen zou leiden tot te steile toeritten voor het verkeer en is daarmee niet wenselijk. Door de aanwezigen wordt voor dit deeltraject een voorkeur voor een coupure uitgesproken. De kans is wel dat deze elk jaar voor controle dicht moet.

De dijk en de ontwikkeling van het Wereld Erfgoed Centrum (WEC) raken elkaar mogelijk. Ter hoogte van het WEC ontstaat mogelijk een extra looproute over de N361 doordat het parkeren in de toekomst ter hoogte van het huidige Rijkswaterstaat terrein plaats gaat vinden aan de meerzijde. Om een veilige oversteek mogelijk te maken wordt hier een tunnel met coupure voorgesteld onder de provinciale weg door. De inpasbaarheid en financiële haalbaarheid van deze optie moet verder worden onderzocht bij de uitwerking van de plannen voor het WEC. Het alternatief is een veilige oversteek creeren over de N361.

Aan de oostzijde van de haven bestaat de wens voor een tweede ontsluiting van de haven. Bij de verkenning naar de ruimtelijke inpassing van deze koppelkans zijn drie mogelijke opties besproken. Dit

zijn twee opties met een weg over de dijk, of een weg door de dijk gecombineerd met een coupure. De coupure kan in verschillende vormen; van ‘echte coupure” tot een constructie/oplossing die verwijst naar coupures maar die niet daadwerkelijk gesloten hoeft te worden bij hoogwater. De aanwezigheid van een gasleiding is beperkend voor de route naar de haven, waardoor de volgende opties:

- Een weg die eerst in westelijke richting gaat om vervolgens een bocht te maken naar het oosten en aansluit bij de rotonde. Dit wordt niet als positief beoordeeld vanuit het perspectief van landschappelijke inpassing en verkeer.
- De gasleiding verplaatsen/technische constructie op de gasleiding, waardoor de weg in een rechtstreekse lijn kan worden aangelegd.

De aanwezige stakeholders spreken de voorkeur uit voor een coupure. De inpasbaarheid en financiële haalbaarheid van deze koppelkans zal verder worden onderzocht in de planuitwerkingsfase. De initiatiefnemer (gemeente Het Hogeland) neemt daarin het voortouw.

Werksessie Landelijke dijk

Voor het deeltraject landelijke dijk zijn vier kansrijke alternatieven geselecteerd. Tijdens de werksessies zijn de alternatieven beoordeeld vanuit de invalshoeken ecologie, recreatieve beleving, landschap en cultuurhistorie, verkeer en vervoer, en de mogelijkheid voor koppelkansen. Ook werd gevraagd om aandachtspunten voor verdere uitwerking van de alternatieven.

Boordeling alternatieven

De alternatieven met verruwing worden door alle partijen aan tafel als zeer positief beoordeeld. Hierbij is de is de verwachtte plantengroei essentieel. Dit bepaalt namelijk het eindbeeld, en daarmee ook de meerwaarde t.o.v. bekleding met asfalt. Deelnemers benoemen dat plantengroei, in combinatie met een beheerbaar ontwerp, randvoorwaarde zou moeten zijn bij het uiteindelijke ontwerp.
Variatie en diversiteit in de verruwing beschouwd als belangrijk vanuit het aspect van beleving. Benadrukt wordt dat er meerdere mogelijkheden voor verruwing zijn en dat de gepresenteerde ringen een mogelijke oplossing zijn. Het referentieontwerp met een blokkenpatroon wordt als minder aantrekkelijk beoordeeld dan het ringenpatroon.

Vanuit recreatieve beleving wordt de dubbele berm (2 fietspaden) als een plus gezien. Naast de mogelijkheid om dichter op het wad te fietsen (beleving), draagt de dubbele berm aan een veiliger gevoel. Als aandachtspunt wordt meegegeven dat een dubbel fietspad ter plaatse van de kwelder mogelijk verstorend werkt. Het is belangrijk om de kwelder als broedgebied rustig te kunnen houden. Een opgang halverwege voor de fietsers kan ervoor zorgen dat het oostelijke gedeelte van het fietspad onderaan de dijk gedurende het broedseizoen kan worden afgesloten.

Vanuit landschappelijk oogpunt wordt door de stakeholders de suggestie gedaan om te redeneren vanuit de context en het verhaal van de dijk. De dijk mag een verhaal vertellen, het profiel hoeft daarmee niet uniform te zijn. Het verhaal zit in de bekleding, het voorland, en de daaraan gekoppelde ontwerpopgave en ontwerpkeuzes. Hierbij wordt een mogelijke driedeling gezien in het traject ter plaatse van de kwelder, Vierhuizergat en westelijk hiervan.

In algemene zin worden de volgende opmerking geplaatst. Houd ook de koppeling met de energiedijk vast, en blijf dit betrekken bij het uiteindelijke VKA en de bestuurlijke besluitvorming.

Koppelkansen
Er is brede steun voor de drie ecologische koppelkansen (zoet-zout overgang en vismigratie, kwelderontwikkeling met rijshoutdammen en zachte overgangen en onderwaternatuur) besproken. Over het algemeen waarderen de aanwezigen de presentatie en het feit dat Waterschap Noorderzijlvest rekening houdt met meerdere koppelprojecten en inpassingsvragen.

Voor de koppelkans Zoet-zout overgang worden de volgende aandachtspunten meegegeven:

- Defensie staat in beginsel positief tegenover de zoet-zout overgang als verbetering van de onderwaternatuur in het Zoute Kwelgebied (eigendom Defensie). Wel zijn er een aantal voorwaarden meegegeven waar rekening mee wordt gehouden in de verdere uitwerking. Met name de vogel aantrekkende werking is een aandachtspunt. De aanwezigen geven aan dat er wellicht een extra garantie voor Defensie gevonden kan worden in het maken van afspraken met LNV over de Natura2000 doelstellingen in de toekomst.
- De Waddenvereniging geeft aan dat er veel aandacht moet blijven voor het verbeteren van de interactie/herstel van het oorspronkelijk estuarium Lauwersmeer en Waddenzee. De zoet-zout overgang heeft zeker meerwaarde voor de Waddenzee en is positief, maar is niet de maatregel naar verder systeemherstel.
- Maak de overgang zichtbaar voor mensen die komen vanuit toeristisch oogpunt.

Voor de koppelkans ‘Natuurlijke overgang en onderwaternatuur’ wordt aangegeven dat de bloemrijke dijk echt een meerwaarde heeft. Dit kan worden toegepast bij alle alternatieven, dus verzilver dat in de vervolgfase.

Afsluiting en Vervolg
Martijn van Houten dankt de aanwezigen voor de komst en inzet. De vervolgstap is een advies richting het voorkeursalternatief. De aandachtspunten die tijdens deze bijeenkomst zijn meegegeven, worden hierin meegenomen. Daarnaast zullen er nog één-op-één afspraken plaatsvinden. Het Waterschap is voornemens om begin volgend jaar een besluit te nemen betreffende het voorkeursalternatief.

Alle informatie over het proces, de alternatieven en de koppelprojecten is te vinden in het iReport van Dijkversterking Lauwersmeer-Vierhuizergat: http://arcg.is/XWLS80. De bevindingen van deze bijeenkomst zullen hierin worden opgenomen. Daarnaast wordt het iReport regelmatig geactualiseerd al naar gelang het proces richting het voorkeursalternatief vordert.