



Verkenning Waddenzeedijk Koehool-Lauwersmeer

Deelrapport MER deel 1 - waterveiligheid

Wetterskip Fryslân

12 mei 2021

Project
Opdrachtgever

Verkenning Waddenzeedijk Koehool-Lauwersmeer
Wetterskip Fryslân

Document
Status
Datum
Referentie

Deelrapport MER deel 1 - waterveiligheid
Concept 01
12 mei 2021
LW344-37/21-007.390

Projectcode
Projectleider
Projectdirecteur

LW344-37
ing. A.J.P. Helder
drs. D.J.F. Bel

Auteur(s)
Gecontroleerd door
Goedgekeurd door

ir. E.E. Sirks, ir. T.E. van Engelen
ir. R. Bouw
ing. A.J.P. Helder

Paraaf



Adres

Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V.
Leeuwenbrug 8
Postbus 233
7400 AE Deventer
+31 (0)570 69 79 11
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	5
2	AANPAK	6
2.1	Vigerend wettelijk- en beleidskader	6
2.3	Relevante ingreep-effectrelaties	9
2.4	Beoordelingskader	10
2.5	Methodiek	11
2.5.1	Flexibiliteit	11
2.5.2	Robuustheid	13
2.5.3	Uitvoerbaarheid	13
2.5.4	Beheerbaarheid	15
2.5.5	Beproefdheid	17
3	REFERENTIESITUATIE	19
4	EFFECTEN DIJKVERSTERKING	23
4.1	Flexibiliteit	23
4.1.1	Effecten variant 1A (deelgebieden 1, 2, 4-6b, 7b)	23
4.1.2	Effecten variant 1B (deelgebieden 6a-7a)	24
4.1.3	Effecten variant 2A (deelgebieden 6a-7b)	24
4.1.4	Effecten variant 2B (deelgebieden 6b-7a)	25
4.1.5	Effecten variant 3 (deelgebieden 1-6a, 7a, 7b)	25
4.1.6	Beoordeling effecten	26
4.2	Robuustheid	27
4.2.1	Effecten variant 1A (deelgebieden 1, 2, 4-6b, 7b), variant 1B (deelgebieden 6a-7a) variant 2A (deelgebieden 6a-7b), variant 2B (deelgebieden 6b-7a)	27
4.2.2	Effecten variant 3 (deelgebieden 1-6a, 7a, 7b)	27
4.2.3	Beoordeling effecten	27
4.3	Uitvoerbaarheid	28
4.3.1	Effecten variant 1A (deelgebieden 1, 2, 4-6b, 7b)	28
4.3.2	Effecten variant 1B (deelgebieden 6a-7a)	28
4.3.3	Effecten variant 2A (deelgebieden 6a-7b)	28
4.3.4	Effecten variant 2B (deelgebieden 6b-7a)	29
4.3.5	Effecten variant 3 Effecten variant 3 (deelgebieden 1-6a, 7a, 7b)	29
4.3.6	Beoordeling effecten	30
4.4	Beheerbaarheid	31

4.4.1	Effecten variant 1A (deelgebieden 1, 2, 4-6b, 7b)	31
4.4.2	Effecten variant 1B (deelgebieden 6a-7a)	31
4.4.3	Effecten variant 2A (deelgebieden 6a-7b)	32
4.4.4	Effecten variant 2B (deelgebieden 6b-7a)	33
4.4.5	Effecten variant 3 (deelgebieden 1-6a, 7a, 7b)	33
4.4.6	Beoordeling effecten	34
4.5	Beproefheid	35
4.5.1	Effecten variant 1A (deelgebieden 1, 2, 4-6b, 7b)	35
4.5.2	Effecten variant 1B (deelgebieden 6a-7a)	35
4.5.3	Effecten variant 2A (deelgebieden 6a-7b)	35
4.5.4	Effecten variant 2B (deelgebieden 6b-7a)	36
4.5.5	Effecten variant 3 (deelgebieden 1-6a, 7a, 7b)	36
4.5.6	Beoordeling effecten	36
4.6	Overzicht effecten en effectbeoordeling	37
5	KANSEN EN RISICO'S LOSSE BOUWSTENEN	40
5.1	Kansen en risico's inpassingsopgaven	40
5.2	Kansen en risico's meekoppelkansen	41
6	AANDACHTSPUNTEN VOOR DE PLANUITWERKING	43
6.1	Leemten in kennis en informatie	43
6.2	Mogelijke monitoringsvoorstellen	43
6.3	Nog te onderzoeken mogelijke maatregelen	44
7	REFERENTIES	45
	Laatste pagina	45

1

INLEIDING

Dit deelrapport is onderdeel van een grotere rapportage 'MER dijkversterking Koehool-Lauwersmeer - deel 1'. De beschrijving van het project en de aanpak voor de verkenning en milieueffectrapportage (m.e.r.) zijn terug te vinden in het Startdocument van de m.e.r. tijdens de verkenning. Het MER deel 1 wordt samen met een MER deel 2 ter inzage gelegd met het projectbesluit in de planuitwerking.

Doel van deze notitie

Deze notitie beschouwt de effectbeoordeling voor het MER van de dijkversterking Koehool-Lauwersmeer vanuit het thema waterveiligheid. Het thema waterveiligheid omvat de waterveiligheid van de waterkering en onder andere de flexibiliteit van het ontwerp voor toekomstige veranderingen zoals zeespiegelstijging. Vanwege de mogelijke positieve en negatieve effecten is het thema waterveiligheid onderdeel van het MER.

Leeswijzer

Hoofdstuk 2 gaat in op de aanpak voor de uiteindelijke effectbeschrijving voor het MER vanuit het thema waterveiligheid. Hierin staan wetgeving en beleid, mogelijke ingreep-effectrelaties, het beoordelingskader en de uitwerking en methodiek per criterium. Vervolgens gaat hoofdstuk 3 in op de referentiesituatie. Dat is de huidige situatie met autonome ontwikkelingen als het project niet wordt uitgevoerd. In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de effecten van de verschillende varianten. Hoofdstuk 5 gaat in op de effecten van de losse bouwstenen. Aansluitend zijn in hoofdstuk 6 enkele aandachtspunten voor de planuitwerking toegevoegd. Tot slot zijn in hoofdstuk 7 de referenties opgenomen.

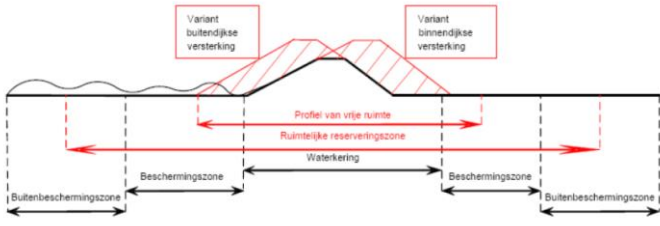
AANPAK

2.1 Vigerend wettelijk- en beleidskader

Onderstaande tabel geeft kort het wettelijk- en beleidskader voor het thema waterveiligheid. Hierbij is ingegaan op het nationaal, provinciaal en gemeentelijk niveau. Dit kader is relevant voor de inhoud van het MER, het beoordelingskader en de beschrijving van de referentiesituatie.

Tabel 2.1 Vigerend wettelijk- en beleidskader waterveiligheid

Beleidsstuk/wet	Datum	Uitleg en relevantie
Waterwet, Rijk	2009, update 2016	De Waterwet regelt in hoofdzaak het beheer van watersystemen, waaronder waterkeringen, oppervlaktewater- en grondwaterlichamen. De wet is gericht op het voorkomen dan wel beperken van overstromingen, wateroverlast en waterschaarste, de bescherming en verbetering van kwaliteit van watersystemen en de vervulling van maatschappelijke functies door watersystemen. De beheerder is vanuit de Waterwet verplicht om voor de in beheer zijnde waterstaatswerken een zogenaamde legger vast te stellen en bij te houden. Dit geldt niet voor grote wateren als de Waddenzee. De Waterwet regelt dat er een Deltacommissaris is die elk jaar het Deltaprogramma vaststelt. Het Deltaprogramma regelt het treffen van maatregelen voor hoogwaterveiligheid. In het Deltaprogramma is onder andere het HWBP opgenomen. De Waterwet schrijft voor dat aanpassingen van primaire waterkeringen vanwege de beheerder via de procedure voor een projectplan Waterwet worden voorbereid.
Deltaprogramma, Rijk	jaarlijks	Eén van de drie hoofddoelen van het Deltaprogramma is Nederland nu en in de toekomst beschermen tegen overstromingen.
Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP), Rijk	jaarlijks	Een programma waarin Rijk en waterschappen intensief samenwerken om Nederland te beschermen tegen overstromingen. De dijkversterking Koehool-Lauwersmeer is aangemeld bij het Hoogwaterbeschermingsprogramma.
Structuurvisie Infrastructuur en Ruimte (SVIR), Rijk	2012	Deze visie geeft ambities van het ruimtelijk en mobiliteitsbeleid voor Nederland in 2040. Hoogwaterveiligheid is een Rijksambitie.
Waterbesluit, Rijk	2009	Dit is de uitwerking bij algemene maatregel van bestuur van bepalingen van de Waterwet. Het gaat onder andere over een vergunningplicht en algemene regels voor het gebruik van de oppervlaktewaterlichamen en waterstaatswerken.
Nationaal Waterplan (NWP) 2016-2021, Rijk	2016	Hierin is vastgelegd hoe Nederland zich verdedigt tegen het water, hoe ons water schoner wordt en hoe we Nederland klimaatbestendig en waterrobuust gaan inrichten. Onderdeel zijn de Deltabeslissingen uit het Deltaprogramma 2014 (waterveiligheid, zoetwatervoorziening en ruimtelijke adaptatie). Ruimtelijke adaptatie gaat erom dat Nederland in 2050 zo goed mogelijk klimaatbestendig en waterrobuust is ingericht.

Beleidsstuk/wet	Datum	Uitleg en relevantie
		In de deltabeslissing Waterveiligheid staan nieuwe normen voor de waterveiligheid centraal. Deze nieuwe normen zijn tot stand gekomen met de risicobenadering: de normen hangen niet alleen samen met de kans op een overstroming op regionaal niveau maar ook met de gevolgen van een overstroming. In het Nationaal Waterplan worden de volgende aandachtspunten voor het Waddengebied en regio Koehool-Lauwersmeer genoemd: Bestendigen van de bestaande strategie van dijkversterkingen en inzetten op een innovatieve en integrale werkwijze. De Waddenzee en achterland van de dijk Koehool-Lauwersmeer vallen onder het overstromingsrisicobeheerplan stroomgebied Rijn. Deze is als bijlage bij het Nationale Waterplan opgenomen.
Besluit algemene regels ruimtelijke ordening, Rijk	2011	Het Barro voorziet in de juridische borging van het nationaal ruimtelijk beleid. De Waddenzee is een nationaal belang als natuurgebied en landschappelijke waarde. Het Barro bevat regels voor behoud hiervan.
Bestemmingsplannen/ beheersverordeningen gemeenten ¹	divers	In de bestemmingsplannen is de waterkering opgenomen met de enkelbestemming, water-waterkering/waterbouwkundig en gebiedsaanduiding vrijwaringszone - dijk. In de beheersverordeningen zijn de huidige functies beschermd.
Legger en Beleidsregels Integrale Legger, Wetterskip Fryslân	2017	Op of naast de primaire waterkeringen zijn zones aangewezen waar beperkingen gelden ten aanzien van activiteiten en vanuit de ruimtelijke ordening. Deze zones hebben als doel de huidige en toekomstige kering te beschermen en toekomstige versterking van de kering mogelijk te maken. De dijken die fungeren als primaire waterkering kennen de volgende zones: waterkering, beschermingszone, buitenbeschermingszone, profiel van vrije ruimte en ruimtelijke reserveringszone.  Binnen deze zones gelden verbod- en vergunningplichten.

2.2 Omgevingswet

Omgevingswet (Ow)

Naar verwachting gaat in 2021 de nationale Omgevingswet van kracht. Bij de inwerkingtreding van de Omgevingswet veranderen een aantal regels rond waterveiligheid. De belangrijkste wijzigingen staan hieronder genoemd.

Wijziging terminologie

De terminologie van de normen in de Omgevingswet verandert:

- de signaleringswaarde heet voortaan 'signaleringsparameter';
- de ondergrens is de omgevingswaarde voor waterveiligheid;
- de beoordeling van de waterveiligheid heet 'het monitoren van de omgevingswaarde en andere parameters voor signalering'.

¹ Dit geldt voor de volgende bestemmingsplannen: Buitengebied gemeente Franekeradeel (2013), Buitengebied gemeente Bildt (2010), Buitengebied gemeente Ferwerderadiel (2014), Buitengebied Dongeradeel (herziening 2015), Doarpen Gemeente Dongeradeel (2010)

Opstellen programma

De beheerder moet bij dreigende overschrijding van de omgevingswaarde een dijktraject opnemen in een programma. Vóór 2021 was deze plicht er niet expliciet, maar waterbeheerders namen wel maatregelen op in hun eigen waterprogramma.

Resultaatsverplichting

Ook is onder de Omgevingswet duidelijk dat het bij de omgevingswaarde om een resultaatsverplichting gaat. Dit betekent dat de omgevingswaarde bij primaire waterkeringen vóór 2050 gehaald moet zijn. Vóór 2021 stond dit jaartal alleen in parlementaire stukken. Voor de overige waterkeringen staat in de Omgevingswet het jaartal 2032. Dit is nieuw, want het Waterbesluit noemde geen jaartal.

Financiering maatregelen primaire waterkeringen blijft in Waterwet

De Waterwet blijft voor het onderdeel 'financiering en bekostiging maatregelen primaire waterkeringen' in stand. Wel wordt de terminologie in de Waterwet aangepast aan de terminologie die gebruikt wordt in de Omgevingswet.

Waterschappen betrekken

De Waterwet kent een verplichting om bij waterschappen te rade te gaan bij de voorbereiding van de normen van dijktrajecten. Het gaat hierbij om het beoordelen van de veiligheid van een dijktraject en voor het bepalen van de hydraulische belasting. Deze verplichting komt niet terug in de Omgevingswet. Wel is er een algemeen artikel in de Omgevingswet dat regelt dat bestuursorganen rekening houden met elkaars taken en bevoegdheden en zo nodig met elkaar afstemmen.

Wijziging waterstaatswerking

De besluitvorming voor een grote wijziging van een waterstaatswerk gebeurt met een projectbesluit.

Omgevingsbesluit (Ob)

De primaire waterkeringen bieden bescherming tegen overstromingen bij hoogwater vanuit de zee en de grote rivieren. Ze zijn in beheer bij het Rijk of bij de waterschappen. In bijlage II van het Omgevingsbesluit staat welke keringen zijn aangemerkt als primaire waterkeringen.

Besluit kwaliteit leefomgeving (Bkl)

In Bijlage II, onderdeel A van het Bkl, staan alle primaire waterkeringen en dijktrajecten op kaart weergegeven. De aanduiding op kaarten heeft als doel duidelijk te maken welke keringen primair zijn, waar deze keringen liggen en hoe zij ingedeeld zijn in dijktrajecten. Onderdeel B van Bijlage II geeft vervolgens per dijktraject de omgevingswaarde weer. Naast de omgevingswaarden bestaan er ook andere parameters voor signalering. Overschrijding van deze waarde is meestal een vroegtijdig signaal dat een kering op termijn versterkt moet worden. Er is dan voldoende tijd voor de uitvoering van versterkingsmaatregelen.

De omgevingswaarde voor primaire waterkeringen wordt uitgedrukt in de overstromingskans. Dit is de kans per jaar dat een gebied achter een dijktraject overstroomt en dit leidt tot dodelijke slachtoffers of zogeheten 'substantiële economische schade'. Hiermee bedoelt de wetgever dat de economische schade, zowel materieel als immaterieel, omvangrijk is. Op 1 januari 2050 moet aan de omgevingswaarden worden voldaan. Het bevoegd gezag is verplicht hieraan te voldoen.

De overstromingsrisicobeheerplannen vallen volgens artikel 8.85 van het Bkl onder een beoordelingsregel. Beoordelingsregels moeten bij de vergunningverlening worden betrokken. Dat wil zeggen dat als een aangevraagde activiteit een risico op een overstroming met zich meebrengt, deze niet vergunbaar is.

Nationale Omgevingsvisie

De Omgevingswet verplicht het Rijk tot een strategische langetermijnvisie op de fysieke leefomgeving. Deze visie heet de Nationale Omgevingsvisie (NOVI) en geeft aan hoe de fysieke leefomgeving in Nederland eruit moet gaan zien. Het waarborgen van de waterveiligheid en de klimaatbestendigheid is één van de nationale belangen en opgaven waar de NOVI zich op richt. Hierbij staat preventie voorop. Dit wil het Rijk doen door primaire waterkeringen, duinen en stormvloedkeringen te onderhouden en versterken.

Daarnaast richt de NOVI zich op het beperken van de gevolgen van een overstroming via waterrobuuste ruimtelijke inrichting en goede rampenbeheersing. In het Deltaprogramma zijn deze beslissingen en strategieën uitgewerkt.

Nationaal Waterprogramma

Om verschillende Europese richtlijnen te kunnen uitvoeren, moet het Rijk een nationaal waterprogramma vaststellen. Dit staat in artikel 3.9 van de Omgevingswet (Ow). Het nationaal waterprogramma is het instrument om de omgevingswaarden en andere doelstellingen uit de kaderrichtlijn water (KRW) te halen. De KRW is gericht op het beheer van stroomgebieden, inclusief kustwateren tot 1 zeemijl. De KRW heeft als doel het bevorderen van een duurzaam gebruik van Europese zeeën en de instandhouding van de daarin gelegen mariene ecosystemen. Om dit doel te bereiken, stelt de overheid een kader vast om in 2020 een 'goede milieutoestand' te bereiken en/of te behouden.

Het Rijk moet in het nationaal waterprogramma de schelpdierwateren aanwijzen. De Waddenzee is een schelpdierwater. Schelpdierwateren hebben een specifieke maatschappelijke functie. Er groeien schelpdieren en die schelpdieren moeten veilig eetbaar zijn. De overheid moet er bij de uitvoering van het nationaal waterprogramma voor zorgen dat schelpdierwater niet bacterieel besmet raakt.

De overstromingsrisicobeheerplannen maken geen deel meer uit van het nationaal waterprogramma zoals dit eerst onder het regime van de Waterwet was geregeld (onder de oude naam 'nationaal waterplan'). Dit zijn nu zelfstandige programma's. Deze kunnen afzonderlijk worden vastgesteld en volgen hun eigen procedures.

Omgevingsvisie provincie en gemeente

Een gemeente of provincie kan waterveiligheid een sturende rol geven bij ruimtelijke ontwikkeling. Denk bijvoorbeeld aan 'waterrobuust' bouwen op terpen, het verhoogd aanleggen van infrastructuur, het nemen van rivierverruimende maatregelen en het aanleggen van voorzieningen voor noodsituaties zoals vluchtlocaties.

Omgevingsplan

Bij het vaststellen van omgevingsplannen moeten gemeenten rekening houden met waterbelangen. De watertoets is het rekening houden met de gevolgen voor het beheer van watersystemen. Met ingang van de Omgevingswet vervangt het begrip 'weging van het waterbelang' de term watertoets.

Bij omgevingsplannen met daarbinnen een primaire waterkering hebben gemeenten de volgende plicht. Ze moeten bij het toelaten van activiteiten ervoor zorgen dat er geen belemmeringen voor die waterkering ontstaan. Het Bkl ziet toe op het onderhoud, de instandhouding en de eventuele versterking van de kering.

Legger

Een legger onder de Waterwet kan blijven bestaan als legger onder de Omgevingswet.

2.3 Relevante ingreep-effectrelaties

Ingreep-effectrelaties gaan over de gevolgen van een bepaalde maatregel (ingreep) en het daaruit volgende effect. Ingreep-effectrelaties helpen om, binnen bepaalde marges, voorspellingen te doen over het effect van nieuwe ingrepen.

Gebruiksfase en aanlegfase

In dit MER scheiden we bepaalde effecten die in de aanlegfase optreden van de overige effecten. Bij 'aanlegfase' beschouwen we de effecten als grondverzet, ruimtebeslag of andere effecten door het gebruik van tijdelijke depots, werkwegen en dergelijke. Het ontwerp heeft een bepaald gebruik voor ogen. Daarom zijn de effecten van het ontwerp, zoals het verwijderen van een leeflaag of functiewijziging naar waterkering beschouwd bij 'gebruiksfase'. Bij gebruiksfase zijn ook de effecten van gebruik, beheer en onderhoud meegenomen. Voor beide fasen beschrijven we de relevante tijdelijke en permanente effecten.

Mogelijke gevolgen gebruiksfase

Tabel 2.2 gaat in op de ingreep-effectrelaties die mogelijk van belang zijn voor de eindsituatie en de gebruiksfase voor waterveiligheid.

Tabel 2.2 Mogelijke ingreep-effectrelaties ontwerp en gebruik

Ingreep	Effect	Criterium (invloed op)
aanbrengen constructief element binnenzijde/buitenzijde	- wijzigen uitgangssituatie toekomstige dijkversterking	- flexibiliteit - robuustheid - uitvoerbaarheid - beheerbaarheid - beproefdheid
aanbrengen drainagesysteem in de freatische laag in de binnenteen/ Aanbrengen filterconstructie	- wijzigen beheerinspanning en inspecteerbaarheid, zekerheid ontwerp	- flexibiliteit - robuustheid - uitvoerbaarheid - beheerbaarheid - beproefdheid
wijzigen bekleding	- gebruik beproefde technieken - mogelijk hergebruik aanwezige harde bekleding of andere (secundaire) bouwstoffen - wijzigen uitgangssituatie toekomstige dijkversterking (flexibiliteit) - beheer bekleding - wijzigen inspecteerbaarheid	- flexibiliteit - robuustheid - uitvoerbaarheid - beheerbaarheid - beproefdheid
aanbrengen grond (berm, kruinverhoging, ..)	- gebruik beproefde technieken - wijzigen uitgangssituatie toekomstige dijkversterking (flexibiliteit) - wijzigen dijkprofiel	- flexibiliteit - robuustheid - uitvoerbaarheid - beheerbaarheid - beproefdheid
voorlandmaatregel voor golfreductie	- wijziging inspanningsverplichting beheerder - wijziging flexibiliteit - gebruik minder beproefde technieken	- flexibiliteit - robuustheid - uitvoerbaarheid - beheerbaarheid - beproefdheid

Mogelijke gevolgen van aanleg

Tabel 2.3 gaat in op de ingreep-effectrelaties die mogelijk van belang zijn voor de aanlegfase.

Tabel 2.3 Mogelijke ingreep-effectrelaties aanleg (inzetten materieel en werkrumte)

Beïnvloedsbron	Effect	Criterium (invloed op)
Inzet mens en materieel voor realisatie ontwerp	uitvoerbaarheid	- uitvoerbaarheid

2.4 Beoordelingskader

Tabel 2.4 geeft het beoordelingskader dat volgt uit de wettelijke kaders en de mogelijke ingreep-effectrelaties die vanwege het voornemen kunnen voorkomen (tabel 2.2. en 2.3).

Tabel 2.4 Beoordelingskader MER verkenning (in blauw) en planuitwerking voor waterveiligheid (concept)

Thema	Beoordelingscriterium (invloed op)		
		aanlegfase	gebruiksfase
waterveiligheid	flexibiliteit		x
	robuustheid		x
	uitvoerbaarheid	x	
	beheerbaarheid		x
	beproefdheid		x

Zinvolle effectbepaling voor de verkenning

Het ontwerpproces en de MIRT-systematiek gaan uit van stapsgewijs zeven en trechteren naar het definitieve ontwerp. In elke ontwerpfase is een bepaald detailniveau voor effectbepaling nodig. De afweging bepaalt het detailniveau. De effectbeoordeling moet goed doordacht zijn door de fasen heen (van achteren naar voren denken). We gaan uit van:

- zinvolle effectbepaling: in de verkenningfase alleen de effecten die relevant zijn. Dit zijn effecten voor die aspecten die naar verwachting significant en/of duidelijk onderscheidend zijn tussen de alternatieven;
- effecten zinvol bepalen: niet meer detail dan nodig. Het detailniveau in de verkenning moet een keuze tussen de alternatieven mogelijk maken.

Ook voor waterveiligheid zijn niet alle criteria even onderscheidend. Dit hangt van de reikwijdte van de varianten af. Dit wordt mogelijk nog aangepast. De effecten in de aanlegfase zijn van tijdelijke aard. Gedurende de aanlegfase kunnen deze effecten echter wel zeer nadelig zijn, denk bijvoorbeeld aan uitvoerbaarheid. Daarom worden deze op laag detailniveau wel meegenomen in de verkenning.

De criteria (gecombineerd met de fase) die zowel in de verkenning als in de planuitwerking worden uitgewerkt, zijn blauw gemarkeerd in tabel 2.4. De methode voor de verkenning en planuitwerking kan wel verschillen. De volgende paragraaf gaat op de blauwgekleurde criteria in.

2.5 Methodiek

In onderstaande uitwerking is de methode beschreven voor de verkenning. De operationalisering van het beoordelingskader is alleen voor die criteria nodig, die relevant zijn voor de verkenningfase.

2.5.1 Flexibiliteit

Flexibiliteit is het vermogen om in de toekomst te kunnen anticiperen op onvoorziene veranderingen, zoals zwaardere hydraulische belastingen vanwege toegenomen zeespiegelstijging en nieuwe eisen aan de gebruiksfunctie of de fysieke omgeving.

Methode

Met het criterium flexibiliteit worden de maatregelen beoordeeld op de volgende twee aspecten: (i) de mate waarin het ontwerp in de toekomst aanpasbaar of uitbreidbaar is, en (ii) de mate waarin beslissingen die nu genomen worden, invloed hebben op de mogelijke beslissingen (adaptatiepaden) in de toekomst. De adaptatiepaden zijn beschreven in het document 'Toekomstbestendig Versterken Friese Waddenzeekust' (Witteveen+Bos, 2020a).

Adaptatiepaden geven inzicht in strategische keuzemogelijkheden voor de Friese Waddenzeekust voor zeespiegelstijgingen op de lange termijn. Over het gehele traject Koehool-Lauwersmeer zijn er drie oplossingsrichtingen mogelijk die bijdragen aan de waterveiligheid:

- beschermen gesloten: achterland beschermen met een gesloten kering;
- zeewaarts: kustbescherming verschuiven richting de zee;
- meebewegen: het achterland beweegt mee met het water (bijvoorbeeld door ophogen van het land, drijvende woningen etc.).

Referentiesituatie

Het ontwerp wordt kwalitatief beoordeeld in vergelijking met de referentiesituatie op basis van expert judgement. De 'referentiesituatie' is een maatregel uitgevoerd in grond (klei en zand) en traditionele bekledingen (steenkettingen, asfalt- en grasbekledingen op klei). De flexibiliteit van de 'referentiesituatie' is de flexibiliteit die hoort bij het aanpassen of uitbreiden van een maatregel in grond met traditionele bekledingen. Het referentieontwerp behoort tot adaptatiepad 'beschermen-gesloten'.

Aanpasbaarheid en uitbreidbaarheid

Een ontwerp is makkelijker aanpasbaar naarmate er minder harde materialen (zoals beton en asfalt) of constructieve elementen (zoals damwanden) worden toegepast. Daarnaast neemt de aanpasbaarheid van een ontwerp toe naarmate de complexiteit van constructies in het ontwerp afneemt.

De uitbreidbaarheid van een ontwerp neemt toe naarmate er binnen het ruimtebeslag van de kering (buitendijkse teen tot binnendijkse teen) meer ruimte is voor toekomstige versterkingen. Zo biedt een ontwerp met een brede binnendijkse berm mogelijkheden voor toekomstige versterking, bijvoorbeeld middels een kruinverhoging of het aanbrengen van een constructief element (zoals een damwand). Een buitenwaartse verschuiving van het profiel leidt tot meer ruimte binnendijks voor toekomstige uitbreidingen, tenzij de leggerlijnen van de kering worden aangepast.

Adaptatiepaden

Tenslotte is een ontwerp meer flexibel, naarmate er door het ontwerp minder mogelijke toekomstige adaptatiepaden uitgesloten worden. De beschouwde ontwerpvarianten vallen allemaal binnen adaptatiepad 'beschermen-gesloten' of adaptatiepad 'zeewaarts'. Daarmee worden geen andere adaptatiepaden uitgesloten. De ontwerpen zijn dus niet onderscheidend op dit punt.

Studiegebied

Het studiegebied betreft het gehele dijktraject.

Operationalisering beoordelingskader verkenning

Tabel 2.5 bevat de maatlaten voor de beoordeling van het criterium flexibiliteit.

Tabel 2.5 Beoordeling criterium flexibiliteit

Score	Maatlat
++	sterk positief, de waterkering is in de toekomst makkelijk aanpasbaar en uitbreidbaar, en de maatregelen leiden niet tot een beperking van de mogelijke adaptatiepaden
+	positief, de waterkering is in de toekomst relatief gemakkelijk aanpasbaar of uitbreidbaar en de maatregelen leiden niet tot het afvallen van adaptatiepaden
0	neutraal, de waterkering heeft een vergelijkbare aanpasbaarheid en uitbreidbaarheid als de huidige dijk: een versterking met grond (klei en zand) en traditionele bekledingen (steenkettingen, asfalt- en grasbekledingen op klei)

Score	Maatlat
-	negatief, de aanpasbaarheid of uitbreidbaarheid van de waterkering is beperkt ten opzichte van de huidige situatie of door het uitvoeren van de maatregelen vallen adaptatiepaden af
--	sterk negatief, de aanpasbaarheid en uitbreidbaarheid van de waterkering is bemoeilijkt ten opzichte van de huidige situatie. Daarnaast leidt het ontwerp tot een beperking van de mogelijke adaptatiepaden

2.5.2 Robuustheid

Robuustheid in een ontwerp wil zeggen dat een overschot aan sterkte aanwezig is in vergelijking met de benodigde sterkte op basis van de norm.

Methode

In principe worden de maatregelen sober en doelmatig ontworpen en bevatten ze geen overschot aan sterkte. Het kan echter wel zo zijn dat een variant robuuster is dan strikt noodzakelijk als om andere redenen dan waterveiligheid de maatregelen worden overgedimensioneerd. Bijvoorbeeld een brede buitenberm voor het realiseren van een fietspad en wandelpad, of een brede en hoge binnenberm om bebouwing op te realiseren. Als uitgangspunt geldt echter dat het ontwerp zodanig wordt geoptimaliseerd, zodat de faalkansruimte volledig wordt benut en geen reststerkte over blijft.

Omdat de huidige waterkering niet voldoet aan de wettelijke normen en de ontworpen waterkering wel, en omdat als uitgangspunt wordt gehanteerd dat de ontworpen waterkering geen reststerkte bevat, kan de score alleen positief zijn. Het criterium robuustheid is dus niet onderscheidend.

Studiegebied

Het studiegebied betreft het gehele dijktraject.

Operationalisering beoordelingskader verkenning

Tabel 2.6 bevat de maatlaten voor de beoordeling van het criterium robuustheid.

Tabel 2.6 Beoordeling criterium robuustheid

Score	Maatlat
++	sterk positief, het ontwerp is robuuster dan strikt noodzakelijk conform de wet
+	positief, het ontwerp voldoet aan de eisen conform de wet.
0	neutraal, niet voorkomend, alle ontwerpen voldoen aan de wet en zijn daarmee een verbetering van de referentiesituatie.
-	negatief, niet voorkomend, alle ontwerpen voldoen aan de wet en zijn daarmee een verbetering van de referentiesituatie.
--	sterk negatief, niet voorkomend, alle ontwerpen voldoen aan de wet en zijn daarmee een verbetering van de referentiesituatie.

2.5.3 Uitvoerbaarheid

Uitvoerbaarheid gaat over de complexiteit van de werkzaamheden en de veiligheid en beperkingen tijdens de uitvoering.

Methode

De uitvoerbaarheid van het ontwerp wordt beoordeeld op drie aspecten: (i) complexiteit van de uitvoeringsmethode, (ii) veiligheid tijdens de uitvoeringswerkzaamheden en (iii) beperkingen van de uitvoeringsperiode (werkbare tijd).

Referentiesituatie

De ontwerpen worden vergeleken met de referentiesituatie op basis van expert judgement. De complexiteit van de 'referentiesituatie' is een maatregel uitgevoerd in grond (klei en zand) en traditionele bekledingen (steenzetting, asfaltbekleding en grasbekleding op klei). De veiligheid van het uitvoeren van de 'referentiesituatie' is de veiligheid die hoort bij het uitvoeren van een maatregel in grond met traditionele bekledingen. Voor de referentiesituatie geldt dat werkzaamheden alleen buiten het stormseizoen uitgevoerd mogen worden.

Complexiteit

De complexiteit van de uitvoering hangt af van de benodigde mate van voorbereiding, bijkomende en/of bijzondere handelingen, de inzet van specialistisch materieel en de aanwezigheid van moeilijk realiseerbare aansluitingen tussen verschillende typen materialen.

Veiligheid

De veiligheid tijdens uitvoering dient te allen tijde gewaarborgd te zijn. Als uitgangspunt is gehanteerd dat alle ontwerpen veilig kunnen worden uitgevoerd. Om de veiligheid te borgen, dienen veiligheidsrisico's beheerst te worden. Hierbij spelen verschillende veiligheidsaspecten een rol, zoals waterveiligheid, arbeidsveiligheid, sociale veiligheid, externe veiligheid en verkeersveiligheid. Onderscheidende veiligheidsaspecten voor deze verkenning zijn waterveiligheid en arbeidsveiligheid. Om de veiligheid van het achterland te kunnen garanderen, zijn sommige werkzaamheden alleen mogelijk buiten het stormseizoen, zoals het vervangen van een dijkbekleding aan de buitenzijde van de waterkering. Daarnaast kan de uitvoering afhankelijk zijn van weer- en waterstandvoorspelling of eisen vanuit andere functies en dienen de werkzaamheden soms tijdelijk te worden stilgelegd. Arbeidsveiligheid gaat over de veiligheid, gezondheid en het welzijn van medewerkers, uitvoerders in dit geval. Bepaalde werkzaamheden, zoals werken met gevaarlijke stoffen en werken met zwaar materiaal, kunnen een groter risico vormen voor de arbeidsveiligheid.

Uitvoeringsperiode

De beschikbare uitvoeringsperiode kan korter zijn dan de referentiesituatie als de uitvoering afhankelijk is van bijvoorbeeld het getij of langer als een groot gedeelte van de werkzaamheden ook binnen het stormseizoen uitgevoerd kunnen worden. Om binnen het stormseizoen te kunnen werken aan de primaire kering dienen te allen tijde maatregelen van kracht te zijn waarmee de waterkerende functie van de dijk tijdig kan worden hersteld bij een storm. Hierbij is een monitoringssysteem noodzakelijk. Een voorbeeld van een tijdelijke maatregel is het aanbrengen van geotextiel met krammen op het buitentalud om de erosiebestendigheid van een niet volledig herstelde bekleding te garanderen. Om binnen het stormseizoen te kunnen werken is toestemming van Wetterskip Fryslân nodig.

Uitgangspunt is dat het broedseizoen geen significante invloed heeft op de uitvoerbaarheid. Mogelijk gelden er restricties of aanvullende maatregelen voor deeltrajecten, waardoor deze niet uitgevoerd kunnen worden tijdens het broedseizoen. De verwachting is echter dat, ondanks de restricties en aanvullende maatregelen, het broedseizoen geen onderscheidende beperking is voor de varianten binnen het criterium uitvoerbaarheid. Opgemerkt wordt dat de effecten van het werken binnen het broedseizoen op volgens beoordeeld wordt onder een ander criterium.

Studiegebied

Het studiegebied betreft het gehele dijktraject.

Operationalisering beoordelingskader verkenning

Tabel 2.7 bevat de maatlaten voor de beoordeling van het criterium uitvoerbaarheid.

Tabel 2.7 Beoordeling criterium uitvoerbaarheid

Score	Maatlat
++	sterk positief, op basis van de volgende criteria: - de maatregel betreft alleen een beheersmaatregel, geen materieel is noodzakelijk; of - de versterkingsmaatregel is niet complex en het uitvoeren ervan is veiliger dan de 'referentiesituatie'; en - de maatregel kan in het stormseizoen worden uitgevoerd, onafhankelijk van de weer- en waterstandvoorspelling of eisen vanuit andere functies.
+	positief, op basis van de volgende criteria: - de versterkingsmaatregel is niet complex en het uitvoeren van de versterkingsmaatregel is veiliger dan de 'referentiesituatie'; of - de maatregel kan in het stormseizoen worden uitgevoerd. Afhankelijk van de weer- en waterstandvoorspelling of eisen vanuit andere functies dienen de werkzaamheden soms tijdelijk te worden stil gelegd.
0	neutraal, op basis van de volgende criteria: - de complexiteit van de maatregel en de veiligheid tijdens het uitvoeren van de maatregel zijn vergelijkbaar met een maatregel uitgevoerd in grond en traditionele bekledingen ('referentiesituatie'); en - de maatregel mag alleen buiten het stormseizoen worden uitgevoerd.
-	negatief, op basis van de volgende criteria: - specialistische uitvoeringsmethode en/of specialistisch materieel ('one-off') is noodzakelijk en/of het uitvoeren van de versterkingsmaatregel is onveilig in vergelijking met de 'referentiesituatie'; of - de maatregel kan alleen buiten het stormseizoen worden uitgevoerd, waarbij door invloed van het getij slechts een korte tijd van de dag werkbaar is.
--	sterk negatief, op basis van de volgende criteria: - specialistische uitvoeringsmethode en/of specialistisch materieel ('one-off') is noodzakelijk en/of het uitvoeren van de versterkingsmaatregel is zeer onveilig in vergelijking met de veiligheid van de 'referentiesituatie'; en - de maatregel kan alleen buiten het stormseizoen worden uitgevoerd, waarbij door invloed van het getij slechts een korte tijd van de dag werkbaar is.

2.5.4 Beheerbaarheid

Beheerbaarheid gaat over de mate waarin een gerealiseerd ontwerp beheerd en onderhouden kan worden door de beheerorganisatie.

Methode

Voor het vaststellen van de mate van de beheerbaarheid van een ontwerp worden de volgende aspecten beschouwd: (i) inspecteerbaarheid van de waterkerende onderdelen en (ii) de inspanningsverplichting van de beheersorganisatie om te voldoen aan de zorgplicht (waaronder de wettelijke taak van de beheerder om de waterkering aan de veiligheidseisen te laten voldoen en voor het noodzakelijke preventieve beheer en onderhoud te zorgen).

Referentiesituatie

De ontwerpen worden kwalitatief vergeleken met de referentiesituatie op basis van expert judgement. De 'referentiesituatie' is hier gedefinieerd als een versterking met grond (klei en zand) en traditionele bekledingen (steenzettingen, asfalt- en grasbekledingen op klei). Deze situatie kan voor het grootste deel visueel gemakkelijk worden geïnspecteerd, met bereikbare en niet verborgen bekledingen of elementen¹.

De inspanningsverplichting van de referentiesituatie bestaat hoofdzakelijk uit het onderhouden van de grasbekleding, het in kaart brengen van schades na stormen en het monitoren van de levensduur van de asfaltbekleding.

Inspecteerbaarheid

De inspecteerbaarheid van een ontwerp neemt toe naarmate de elementen van de dijk makkelijker bereikbaar zijn, visueel kunnen worden geïnspecteerd en (op afstand) kunnen worden gemonitord.

Inspanningsverplichting

De inspanningsverplichting voor beheer neemt toe naarmate de dijk frequenter geïnspecteerd of onderhouden moet worden, de onderhoudswerkzaamheden omvangrijker zijn, de wettelijke beoordeling complexer wordt of het beheerareaal toeneemt. Kosten voor beheer en onderhoud gedurende de levensduur van het ontwerp worden binnen dit criterium niet beschouwd.

Studiegebied

Het studiegebied betreft het gehele dijktraject.

Operationalisering beoordelingskader verkenning

Tabel 2.8 bevat de maatlaten voor de beoordeling van het criterium beheerbaarheid.

Tabel 2.8 Beoordeling criterium beheerbaarheid

Score	Maatlat
++	sterk positief, op basis van de volgende criteria: - de waterkering kan op afstand gemonitord worden, ook tijdens maatgevende stormcondities. Visuele inspecties worden steekproefsgewijs uitgevoerd om de real-time informatie te valideren; en - het beheer en onderhoud van de waterkering wordt eenvoudiger of het aantal werkzaamheden wordt minder en daarnaast wordt het beheerareaal kleiner.
+	positief, op basis van de volgende criteria: - de inspecteerbaarheid van het versterkte dijklichaam is vergelijkbaar met de 'referentiesituatie'. Inspecties kunnen visueel worden uitgevoerd en worden ondersteund door aanvullende informatie vanuit bijvoorbeeld peilbuizen; of - het beheer en onderhoud van de waterkering wordt eenvoudiger of het aantal werkzaamheden wordt minder en/of daarnaast wordt het beheerareaal kleiner.
0	neutraal, op basis van de volgende criteria: - de inspecteerbaarheid van het versterkte dijklichaam is vergelijkbaar met een maatregel uitgevoerd in grond en traditionele bekledingen ('referentiesituatie'). Inspecties kunnen visueel worden uitgevoerd; en - het beheer en onderhoud van de maatregel is vergelijkbaar met de 'referentiesituatie'.
-	negatief, op basis van de volgende criteria:

¹ In de huidige situatie is een deel van de bekleding overspoeld met sediment en is daardoor niet inspecteerbaar. Deze bekleding is echter niet direct relevant voor de veiligheidsopgave. Daarnaast zijn de steenzettingen die overlaagd zijn met Elastocoast niet inspecteerbaar.

Score	Maatlat
	- te inspecteren onderdelen van de waterkering zijn niet direct waarneembaar. Om de staat van de waterkering te controleren, is beperkt grondverzet nodig, wat handmatig uitgevoerd kan worden; - of - de inspanning voor het beheer en onderhoud is beperkt groter dan in de 'referentiesituatie', bijvoorbeeld door het aanpassen van de beheerintensiteit van de grasbekleding of het beheren van een verborgen bekleding; - of - het beheerareaal wordt beperkt groter.
--	sterk negatief, op basis van de volgende criteria: - te inspecteren onderdelen van de waterkering zijn niet direct waarneembaar. Om de staat van de waterkering te controleren, is grondverzet noodzakelijk om onderdelen van de waterkering te inspecteren; en/of - de maatregel bestaat (deels) uit een dynamische oplossing die eventueel periodiek op sterkte moet worden gebracht; en/of - het beheerareaal wordt significant groter.

2.5.5 Beproefdheid

Beproefdheid van een maatregel gaat om de mate waarin bewezen oplossingen en innovatieve oplossingen worden toegepast in een ontwerp.

Methode

Een maatregel wordt pas toegepast wanneer er voldoende vertrouwen is in de werking van de oplossing. Desalniettemin brengt het toepassen van een minder beproefde techniek meer risico's met zich mee dan een meer beproefde techniek. Dit kan bijvoorbeeld leiden tot kinderziektes tijdens de levensduur. Ook de aanwezigheid van speciale constructies (zoals kwelschermen en niet-waterkerende objecten) brengen meer risico's met zich mee.

De mate van beproefdheid van het ontwerp wordt vergeleken met de referentiesituatie. De 'referentiesituatie' is hier gedefinieerd als een versterking met grond (klei en zand) en traditionele bekledingen (steenzettingen, asfalt- en grasbekledingen op klei).

Als uitgangspunt is gehanteerd dat alle ontwerpvarianten in voldoende mate beproefd zijn, indien ze worden toegepast. Het criterium beproefdheid is dus niet onderscheidend.

Studiegebied

Het studiegebied betreft het gehele dijktraject.

Operationalisering beoordelingskader verkenning

Tabel 2.9 bevat de maatlaten voor de beoordeling van het criterium betrouwbaarheid.

Tabel 2.9 Beoordeling criterium betrouwbaarheid

Score	Maatlat
++	sterk positief, op basis van de volgende criteria: - de maatregel bestaat uit grond en traditionele bekledingen. De bekledingen zijn onder maatgevende omstandigheden beproeft in (schaal-)modelonderzoek; en

Score	Maatlat
	- bestaande speciale constructies (zoals kwelschermen en niet-waterkerende objecten) worden geheel verwijderd indien aanwezig.
+	positief, op basis van de volgende criteria: - de maatregel bestaat uit grond en traditionele bekledingen. De bekledingen zijn onder maatgevende omstandigheden beproeft in (schaal-)modelonderzoek; of - bestaande speciale constructies (zoals kwelschermen en niet-waterkerende objecten) worden zoveel mogelijk verwijderd indien aanwezig.
0	De maatregel bestaat uit grond en traditionele bekledingen ('referentiesituatie'). De bekledingen worden op een vergelijkbare manier toegepast als in de huidige situatie. Daarnaast bevat de maatregel een vergelijkbare hoeveelheid speciale constructies (zoals kwelschermen en niet-waterkerende objecten).
-	negatief, de beproefdheid van de maatregel is beperkt. De maatregel is beperkt eerder toegepast in Nederland en er is geen ontwerp- of beoordelingsleidraad beschikbaar of (schaal-)modelonderzoek dat aansluit bij de specifieke situatie.
--	sterk negatief, de beproefdheid van de maatregel is zeer beperkt. De maatregel is niet eerder in Nederland toegepast en er is (nog) geen ontwerpleidraad.

REFERENTIESITUATIE

Dit hoofdstuk beschrijft de referentiesituatie. Hierbij is de volgende dijkindeling gebruikt.

Tabel 3.1 Dijkindeling

Deelgebied	km	Landschappelijk typering	Toponiemen/omschrijving
1	km 10,10 - km 19,55	dijk op de grens van land en Wad	Koehool-Zwarte Haan
2	km 19,55 - km 26,50	dijk met voorland	Zwarte Haan - Nieuwebildtzijl
3	km 26,50 - km 37,90	dijk met voorland	Nieuwebildzijl - Blije
4	km 37,90 - km 42,90	dijk met voorland	Holwerd
5	km 42,90 - km 46,10	dijk op de grens van land en Wad	Ternaard
6a	km 46,10 - km 49,2 en km 49,70 - km 53,20	dijk op de grens van land en Wad	Wierum - Nes
6b	km 49,20 - km 49,70	dijk op de grens van land en Wad + Dorp achter de dijk	Wierum
7a	km 53,20 - km 54,90	dijk met voorland + Dorp achter de dijk	Paesens-Moddergat
7b	km 54,90 - km 57,40	dijk met voorland	Paesens-Moddergat

Afbeelding 3.1 Deelgebieden dijktraject (PM concept)



3.1 Waterveiligheid

Huidig dijklichaam

De waterkering tussen Koehoal en Lauwersmeer bestaat uit een dijklichaam en twee waterkerende kunstwerken (gemalen). De kern van het dijklichaam is opgebouwd met (opgespoten) zand en bevat onderdelen van de oude waterkering. De ondergrond van de dijk varieert over het traject. Op grote delen van het traject zijn pakketten met wadafzettingen aanwezig met afwisselend dunne zand- en kleilagen.

De bekleding van de dijk op het buitentalud is op het grootste deel van het traject als volgt opgebouwd vanaf de teen van de dijk naar de kruin: bestorting, steenzetting(en), asfaltbekleding en gras op klei. Op een deel van het traject is de bekleding op het buitentalud afwijkend, met een grasbekleding op een kleilaag over het gehele buitentalud. Op de kruin en het binnentalud is langs het gehele traject een grasbekleding aanwezig.

Binnendijks is langs het traject een openbare weg of onderhoudspad aanwezig op een relatief lage binnenberm. Naast de binnenberm ligt veelal een teensloot of bredere watergang. Aan de buitenzijde is op delen van het traject een kleine berm aanwezig aan de bovenzijde van de asfaltbekleding.

Kenmerkend voor deze waterkering is de aanwezigheid van een relatief hoog voorland op delen van het traject. Deze voorlanden zijn in een aantal gevallen omringd door een zomerdijk, waardoor het voorland slechts een enkele keer tot een paar keer per jaar onder water staat.

Op twee locaties in het traject is een gemaal in het dijklichaam aanwezig, bij Zwarte Haan en Vijfhuizen. Deze gemalen zijn tevens onderdeel van de waterkering, maar maken geen onderdeel uit van de dijkversterking.

Beoordeling

In de Waterwet staan de regels met betrekking tot het beheer en gebruik van watersystemen in Nederland. Op 1 januari 2017 zijn de veiligheidsnormen in de Waterwet aangepast, waaraan de primaire waterkeringen

dienen te voldoen. In de wet is de veiligheidsnorm voor de Waddenzeedijk gedefinieerd als een overstromingskans. Dit is de kans op verlies van het waterkerende vermogen van een dijktraject waardoor het door het dijktraject beschermde gebied zodanig overstroomt, dat dit leidt tot dodelijke slachtoffers of substantiële economische schade.

Een overstromingskans is daarmee de kans op een overstroming door het bezwijken van een primaire waterkering, rekening houdend met allerlei mogelijke waterstanden en sterkteaspecten van de kering, waardoor het achterliggende gebied overstroomt met dodelijke slachtoffers of economische schade tot gevolg. In een overstromingskans zijn dus verschillende mogelijke wijzen van falen verdisconteerd.

In de Waterwet is opgenomen dat voor de beoordeling van de veiligheid van een dijktraject, regels bij ministeriële regeling worden vastgesteld voor het bepalen van de hydraulische belasting en de sterkte. De regels zijn vastgelegd in een wettelijk beoordelingskader (WBI2017). De ministeriële regeling wordt telkens voor maximaal twaalf jaar vastgesteld. De peildatum voor de beoordeling is in het WBI2017 gesteld op 31 december 2022. Met andere woorden: de verwachte toestand van de waterkering op deze datum dient te worden beoordeeld.

In 2050 moeten alle primaire waterkeringen aan de nieuwe veiligheidsnormen voldoen.

Veiligheidsopgave

Voor het dijktraject Koehool-Lauwersmeer is in 2020 een nadere veiligheidsanalyse afgerond (Witteveen+Bos, 2020c), waaruit is gebleken dat met name delen van de bekleding zijn afgekeurd langs grote delen van het traject. In een deel van het traject is daarnaast de hoogte en binnenwaartse stabiliteit onvoldoende.

Ontwerpinstrumentarium

De rijksoverheid stelt conform de Waterwet het ontwerpinstrumentarium (OI) voor waterkeringen beschikbaar. Dit ontwerpinstrumentarium is een handreiking voor het ontwerpen van een kering. Voor de verkenningsfase van Koehool-Lauwersmeer is OI2014 van toepassing. OI2014 is een instrument voor de verkenningsfase van HWBP-projecten. Doel is een aantal alternatieve oplossingsrichtingen te kunnen uitwerken, inclusief gevoeligheidsanalyses met verschillende ontwerpuitgangspunten en tijdhorizonten.

Flexibiliteit

De huidige waterkering bestaat voornamelijk uit een relatief flexibel grondlichaam en conventionele bekledingen (zoals gras, steenzettingen en asfalt).

De huidige dijk is nu (na einde levensduur) niet makkelijk aanpasbaar of uitbreidbaar. Op locaties waar de hoogte van de dijk bijvoorbeeld niet voldoende blijkt voor de zeespiegelstijging (in combinatie met bodemdaling), past een aanpassing met grond in de hoogte niet binnen het huidige profiel. Het huidige profiel van de dijk biedt hiervoor dus geen mogelijkheid voor uitbreiding. Aanpassing van het huidige profiel wil zeggen dat ofwel het binnentalud ofwel het buitentalud of allebei aangepast moeten worden.

De bekleding op het buitentalud van de dijk in de golfklapzone bestaat uit steenzettingen en asfaltbekleding. Wanneer het profiel van de dijk aangepast moet worden, heeft dit ook consequenties voor deze bekledingen. Door de harde bekleding is het profiel van de dijk niet flexibel en makkelijk aanpasbaar. De huidige dijk heeft (nog) geen invloed op mogelijke adaptatiepaden voor bijvoorbeeld zeespiegelstijging.

Robuustheid

De huidige dijk voldoet op een aantal gebieden niet aan de norm. Om deze reden is het dijktraject aangemeld bij het HWBP voor het versterkingstraject. Op welke locaties en op welke faalmechanismen de dijk versterkt dient te worden is opgenomen in de veiligheidsopgave van de dijk. De dijk voldoet niet, omdat de weerstand van de dijk lager is dan de norm voorschrijft. De dijk is niet bestand tegen de hydraulische condities die zijn voorgeschreven voor de toetsing van de dijk.

Uitvoerbaarheid

Bij het behouden van de huidige dijk is er geen sprake van het uitvoeren van maatregelen. Het criterium uitvoerbaarheid is dus niet van toepassing.

Beheerbaarheid

De huidige dijk is redelijk goed beheerbaar. De dijk bestaat voor het grootste deel uit beproefde concepten, waarvan de wijze van beheer en onderhoud bekend is. Uitzondering hierop is het redelijk recent aangebrachte Elastocoast als overlaging over steenzettingen op een aantal trajecten. Elastocoast is een relatief nieuwe techniek en nu blijkt de erosie van dit materiaal sneller op te treden dan verwacht.

Daarnaast bestaat een groot deel van het buitentalud van de dijk uit asfaltbekleding. De asfaltbekleding wordt regelmatig onderzocht om de restlevensduur van de asfaltbekleding vast te stellen. De resultaten van deze onderzoeken roepen echter vragen op bij de beheerders over de mate van voorspelbaarheid van de restlevensduur van de asfaltbekledingen.

Beproefdheid

De huidige dijk scoort goed op het criterium beproefdheid. De huidige dijk bestaat namelijk uit beproefde technieken. De toegepaste Elastocoast-overlagingen zijn een relatief nieuwe techniek, met deze bekleding wordt nog ervaring opgebouwd met betrekking tot beheer en onderhoud.

Ontwikkelingen

In het projectgebied zijn twee gebiedsontwikkelingen die invloed kunnen hebben op de waterveiligheid van de dijk. Daarnaast zijn er autonome ontwikkelingen zoals de zeespiegelstijging en bodemdaling in het gebied.

De eerste ontwikkeling is Holwerd aan Zee. Een groep initiatiefnemers heeft een plan opgesteld om het dorp Holwerd te verbinden met de Waddenzee. Een onderdeel van dit plan is het lokaal afgraven van de waterkering en het aanbrengen van een constructie in de waterkering zoals een hoogwaterkering of een sluis.

De tweede ontwikkeling is Sense of Place. Het project Sense of Place is gericht op het realiseren van culturele landschapsprojecten langs de Waddenzee. Een aantal wensprojecten van Sense of Place zijn gepland op of om de dijk tussen Koehool en Lauwersmeer.

Een autonome ontwikkeling is zeespiegelstijging. Op basis van meetdata en klimaatmodellen worden voorspellingen gedaan van de mate van zeespiegelstijging in Nederland. In het project Koehool-Lauwersmeer hanteren we de KNMI'14-scenario's. Deze scenario's zijn een update van de KNMI'06-scenario's. In het bijbehorende KNMI'14-rapport staan waarden vermeld voor de verwachte zeespiegelstijging ten opzichte van de referentieperiode 1981-2010. Uitgaande van het scenario "Warm" (W_L en W_H) is dit een verwachte zeespiegelstijging van 0,40 m in 2050 en van 1,00 m in 2100. Scenario's W_L en W_H hebben dezelfde prognose van de zeespiegelstijging.

Een andere autonome ontwikkeling is bodemdaling. In het projectgebied is zowel sprake van bodemdaling door tektonische bewegingen als door gaswinning. Een prognose van de bodemdaling is gebaseerd op meetdata van de NAM. In het Oosten van het traject (de Lauwersmeerkant) is de mate van bodemdaling het grootste. In het zichtjaar 2073 is de mate van bodemdaling (ten opzichte van het meetjaar 2017) op de dijk bij Lauwersmeer bijna drie keer zo groot als op de dijk in Koehool.

4

EFFECTEN DIJKVERSTERKING

Dit hoofdstuk bevat de effectbeoordeling van de varianten voor het thema waterveiligheid. Het gaat om de volgende varianten, de uitleg van de varianten is opgenomen in het hoofdrapport MER deel 1:

- variant 1A: harde bekleding en binnenberm (deelgebieden 1, 2, 4-6b, 7b);
- variant 1B: harde bekleding en asverlegging (deelgebieden 6a-7a);
- variant 2A: harde bekleding en constructie (deelgebieden 6a-7b);
- variant 2B: harde bekleding, constructie en verruwing (deelgebieden 6b-7a);
- variant 3: zachte bekleding en voorland (deelgebieden 1-6a, 7a, 7b).

Het initiatief 'Op paad land it Waad' bestaat uit het mogelijk maken van recreatief fietsen langs de Waddenzeekust. Indien het ontwerp hier ruimte voor biedt kan de dijk toegankelijk worden gemaakt voor recreatief medegerbui, bijvoorbeeld door een inspectiepad dat tevens kan worden gebruikt als fietsroute. Het ontwerp wordt niet aangepast om mogelijkheden te bieden voor een fietsroute. Indien de route goed wordt ingepast, heeft deze geen effect op waterveiligheidsaspecten van de dijk.

4.1 Flexibiliteit

4.1.1 Effecten variant 1A (deelgebieden 1, 2, 4-6b, 7b)

Algemeen

Variant 1A gaat uit van het behouden en (gedeeltelijk) versterken van de bekleding op het buitentalud. Een deel van de afgekeurde bekleding wordt vervangen door hetzelfde type bekleding en een deel van de bekleding wordt vervangen door nieuwe typen bekleding.

Ter plaatse van de grasbekleding op het boventalud wordt een verborgen bekleding aangebracht bestaande uit open steenasfalt met daarboven een leeflaag. Daardoor is bij deze variant vergeleken met de referentiesituatie over een groter oppervlak (verborgen) harde bekleding aanwezig op het boventalud. Deze extra harde bekleding heeft echter geen significant effect op de aanpasbaarheid en uitbreidbaarheid van de waterkering.

Het versterken van de huidige kering past in de oplossingsrichting beschermen-gesloten. Door de keuze voor deze variant vallen er geen adaptatiepaden af, waardoor afwijken van beschermen-gesloten in de toekomst nog mogelijk is. Zo kan in de toekomst het voorland worden verbreed (zeewaarts) of kunnen dubbele dijken worden aangelegd (meebewegen).

Deelgebieden 1, 2, 4, 5, 6b

Variant 1A in deelgebieden 1, 2, 4, 5 en 6b heeft een vergelijkbare aanpasbaarheid en uitbreidbaarheid van de waterkering als de referentiesituatie (0).

Het ontwerp van deelgebied 6b is afwijkend van het ontwerp in deelgebieden 1, 2, 4 en 5, omdat in deelgebied 6b een binnenberm wordt aangebracht. De relatief kleine binnenberm (orde grootte 5 m) zorgt beperkt voor meer ruimtebeslag van de dijk dan in de huidige situatie. De bebouwing aan de binnenzijde

schuift niet op, waardoor er mogelijk een knelpunt is bij een toekomstige versterking. Echter, het effect op de flexibiliteit is in vergelijking met de referentiesituatie beperkt (0).

Deelgebieden 6a, 7b

Variant 1A in deelgebieden 6a en 7b zorgt voor een beperkte toename van de aanpasbaarheid en uitbreidbaarheid van de waterkering ten opzichte van de referentiesituatie, doordat de sloot binnendijks wordt verplaatst en een brede berm wordt aangelegd. Hierdoor ontstaat meer ruimte binnendijks voor toekomstige uitbreidingen van de waterkering door ophoging of het aanbrengen van een constructief element (+).

4.1.2 Effecten variant 1B (deelgebieden 6a-7a)

Variant 1B gaat uit van een harde bekleding op het buitentalud met een buitenwaartse asverlegging. De huidige binnenteen blijft behouden en de kruinlijn en buitenteen verplaatsen naar buiten.

Op het buitentalud worden harde bekledingslagen aangebracht van hetzelfde type als de aanwezige bekledingen op de huidige dijk. Binnen deelgebieden 6a, 6b en 7a wordt op het boventalud een verborgen bekleding aangebracht bestaande uit open steenasfalt met daarboven een leeflaag. Daardoor is binnen deze deelgebieden ten opzichte van de huidige situatie over een groter oppervlak (verborgen) harde bekleding aanwezig op het boventalud. Deze extra harde bekleding heeft echter geen significant effect op de aanpasbaarheid en uitbreidbaarheid van de waterkering.

De buitenwaartse asverlegging van het profiel biedt meer ruimte voor mogelijke toekomstige versterkingen aan de binnenzijde door ophoging of verbreding. In vergelijking met het ontwerp in variant 1A is er in deze variant ruimte gecreeerd voor toekomstige versterkingen, waarbij het buitentalud mogelijk behouden kan blijven.

Het versterken van de huidige kering past in de oplossingsrichting beschermen-gesloten. Door de keuze voor deze variant vallen er geen adaptatiepaden af, waardoor afwijken van beschermen-gesloten in de toekomst nog mogelijk is. Zo kan in de toekomst het voorland worden verbreed (zeewaarts) of kunnen dubbele dijken worden aangelegd (meebewegen).

Variant 1B leidt tot meer ruimte voor binnendijkse uitbreiding door ophoging of verbreding. De harde bekleding is voor deze variant vergelijkbaar in aanpasbaarheid met de huidige situatie (+).

4.1.3 Effecten variant 2A (deelgebieden 6a-7b)

Deelgebieden 6a, 6b, 7a en 7b

Variant 2A bestaat uit het herprofilen van het buitentalud en het aanbrengen van een nieuwe bekleding. Op het buitentalud worden de volgende typen bekleding toegepast: bestorting, steenzetting, asfalt en open steenasfalt overlaagd met grasbekleding. Binnendijks wordt een damwand aangebracht voor het vergroten van de stabiliteit.

Ter plaatse van de grasbekleding op het boventalud wordt een verborgen bekleding aangebracht bestaande uit open steenasfalt met daarboven een leeflaag. Daardoor is bij deze variant ten opzichte van de huidige situatie over een groter oppervlak (verborgen) harde bekleding aanwezig op het boventalud. Deze extra harde bekleding heeft echter geen significant effect op de aanpasbaarheid en uitbreidbaarheid van de waterkering.

De aanwezigheid van een damwand binnendijks zorgt voor een beperking van de aanpasbaarheid en uitbreidbaarheid van de waterkering ten opzichte van de huidige situatie. Een damwand legt de kering namelijk voor een deel vast, omdat de damwand ontworpen wordt voor een ontwerplevensduur van 100 jaar in plaats van 50 jaar die voor het grondlichaam is aangehouden. Het vervangen van een damwand vergt een

relatief grote inspanning, waardoor het verstandig is om nu een zwaardere damwand te plaatsen met een langere ontwerplevensduur (100 jaar). Het gevolg is dat de damwand bij de volgende dijkversterking (na 50 jaar) een restlevensduur heeft van 50 jaar, waardoor het aannemelijk is dat bij een toekomstige dijkversterking wederom een oplossing met damwand wordt gekozen.

Het versterken van de huidige kering past in de oplossingsrichting beschermen-gesloten. Door de keuze voor deze variant vallen er geen adaptatiepaden af, waardoor afwijken van beschermen-gesloten in de toekomst nog mogelijk is. Zo kan in de toekomst het voorland worden verbreed (zeewaarts) of kunnen dubbele dijken worden aangelegd (meebewegen). Zoals hierboven is opgemerkt, zorgt een damwand met een levensduur van 100 jaar er voor dat overstappen naar een ander dijkconcept in de toekomst minder voor de hand ligt.

Variant 2A zorgt voor een beperkte afname van de aanpasbaarheid en uitbreidbaarheid van de waterkering ten opzichte van de referentiesituatie door de aanwezigheid van een damwand binnendijks. De harde bekleding is voor deze variant vergelijkbaar in aanpasbaarheid met de huidige situatie (-).

4.1.4 Effecten variant 2B (deelgebieden 6b-7a)

Deelgebieden 6b en 7a

Variant 2B gaat uit van het herprofilen van het buitentalud en het aanbrengen van een nieuwe bekleding. Een ruwe bekleding wordt aangebracht waardoor er geen kruinverhoging nodig is. Op het buitentalud worden de volgende typen bekleding toegepast: bestorting, asfalt op de berm en betonblokken op het boventalud. Binnendijks wordt een damwand aangebracht voor het vergroten van de stabiliteit.

In deelgebied 6b wordt op het ondertalud een steenzetting toegepast, zoals in variant 2A. In deelgebied 7a worden Xbloc+-elementen aangebracht op het ondertalud voor extra ruwheid. Door de aanwezigheid van een meer constructieve oplossing op het boventalud (betonblokken) wordt de aanpasbaarheid en uitbreidbaarheid van de waterkering voor deze variant beperkt ten opzichte van de huidige situatie. Het verwijderen van de betonnen elementen in de toekomst vergt relatief veel inspanning en het ligt voor de hand om deze elementen bij een toekomstige versterking weer te gebruiken. De damwand wordt ontworpen voor een ontwerplevensduur van 100 jaar, terwijl de waterkering een ontwerplevensduur heeft van 50 jaar. De reden hiervoor is dat het vervangen van een damwand grote inspanning vergt waardoor het verstandig is om een zwaardere damwand te plaatsen met een langere ontwerplevensduur (100 jaar). Het gevolg is dat de damwand bij de volgende dijkversterking een restlevensduur heeft van 50 jaar en het aannemelijk is dat bij een toekomstige dijkversterking wederom een oplossing met damwand wordt gekozen.

Het versterken van de huidige kering past in de oplossingsrichting beschermen-gesloten. Door de keuze voor deze variant vallen er geen adaptatiepaden af, waardoor afwijken van beschermen-gesloten in de toekomst nog mogelijk is. Zo kan in de toekomst het voorland worden verbreed (zeewaarts) of kunnen dubbele dijken worden aangelegd (meebewegen). Zoals hierboven is opgemerkt, zorgt een damwand met een levensduur van 100 jaar en de aanwezigheid van betonnen elementen op het buitentalud er voor dat overstappen naar een ander dijkconcept in de toekomst minder voor de hand ligt.

Variant 2B zorgt voor een sterke afname van de aanpasbaarheid en uitbreidbaarheid van de waterkering vergeleken met de referentiesituatie. Dit door de aanwezigheid van betonnen elementen op het buitentalud en een damwand binnendijks (--).

4.1.5 Effecten variant 3 (deelgebieden 1-6a, 7a, 7b)

Algemeen

Variant 3 gaat uit van het vervangen van de bestaande harde dijkbekleding op het buitentalud door een zachte bekleding die bestaat uit een kleilaag met daar bovenop een grasbekleding. Het buitentalud wordt verflauwd tot een taludhelling van 1:8. In deelgebied 3 is al een zachte bekleding aanwezig onder een flauwe

taludhelling en wordt de kleilaagdikte vergroot. Daarnaast is een breed voorland onderdeel van het ontwerp. Wanneer er geen hoog en breed genoeg voorland aanwezig is, wordt het voorland aangebracht en vervolgens vastgehouden met kwelderwerken.

Het vervangen van de harde bekleding op het buitentalud door zachte bekleding (klei) zorgt ervoor dat deze variant een grotere aanpasbaarheid en uitbreidbaarheid heeft dan de referentiesituatie. De flauwe taludhelling zorgt daarnaast voor een groot ruimtebeslag van de dijk, waardoor toekomstige maatregelen binnen dit ruimtebeslag opgelost kunnen worden.

Het versterken van de huidige kering met een zachte bekleding in combinatie met een voorland past in de oplossingsrichting beschermen-gesloten, waarbij het aanleggen of behouden van brede voorlanden past bij de oplossingsrichting zeewaarts. Door de keuze voor deze variant vallen er geen adaptatiepaden af, waardoor afwijken van beschermen-gesloten gecombineerd met zeewaarts in de toekomst nog mogelijk is.

Deelgebieden 1, 2, 4, 5, 6a, 7a, 7b

Variant 3 zorgt in deelgebieden 1, 2, 4, 5, 6a, 7a, 7b voor een toename in de aanpasbaarheid en uitbreidbaarheid van de waterkering ten opzichte van de referentiesituatie doordat harde bekleding wordt vervangen door zachte bekleding. Het ruimtebeslag van de dijk neemt toe, waardoor in de toekomst meer ruimte is voor uitbreiding door ophoging of verbreding. Daarnaast biedt het voorland mogelijkheden om mee te ontwikkelen met de verwachte zeespiegelstijging, waardoor de verwachte toename van de golfbelasting beperkt wordt. Tenslotte vallen er bij de keuze voor deze variant geen adaptatiepaden af (++).

Deelgebied 3

In deelgebied 3 zorgt variant 3 voor een vergelijkbare uitbreidbaarheid en aanpasbaarheid als de referentiesituatie omdat in de huidige situatie ook een groene dijk aanwezig is met een vergelijkbaar ruimtebeslag. Daarnaast vallen bij de keuze voor deze variant geen adaptatiepaden af (0).

4.1.6 Beoordeling effecten

Tabel 4.1 ligt de beoordeling voor het criterium flexibiliteit toe. Variant 3 (zachte bekleding en voorland) is hierin het beste beoordeeld. Ondermeer het grote ruimtebeslag zorgt voor veel aanpasbaarheid en uitbreidbaarheid in vergelijking met de referentiesituatie. Variant 3 wordt gevolgd door de varianten 1A (harde bekleding binnenberm) en 1B (harde bekleding asverlegging). Vanuit het oogpunt van flexibiliteit zijn varianten 2A (harde bekleding en constructie) en 2B (harde bekleding, constructie en verruwing) ongewenst. Dit komt vooral door het toepassen van een constructie (en betonnen elementen).

Tabel 4.1 Score per variant per deelgebied voor criterium flexibiliteit.

		1A	1B	2A	2B	3
		Harde bekleding en binnenberm	Harde bekleding en asverlegging	Harde bekleding en constructie	Harde bekleding, constructie en verruwing	Zachte bekleding en voorland
1		0				++
2		0				++
3						0
4		0				++
5		0				++
6a	niet bebouwd	+	+	-		++
6b	bebouwd	0	+	-	--	

		1A	1B	2A	2B	3
7a	bebouwd		+	-	--	++
7b	niet bebouwd	+		-		++

4.2 Robuustheid

4.2.1 Effecten variant 1A (deelgebieden 1, 2, 4-6b, 7b), variant 1B (deelgebieden 6a-7a) variant 2A (deelgebieden 6a-7b), variant 2B (deelgebieden 6b-7a)

De varianten 1A, 1B, 2A en 2B voldoen aan de eisen vanuit waterveiligheid en zijn sober en doelmatig ontworpen. Er is daardoor geen extra robuustheid aanwezig. Het voldoen aan de waterveiligheid is een verbetering ten opzichte van de referentiesituatie (+).

4.2.2 Effecten variant 3 (deelgebieden 1-6a, 7a, 7b)

Variant 3 voldoet aan de eisen met betrekking tot de waterveiligheid. Deze variant bevat een voorland en een dijklichaam dat breder is dan de huidige waterkering. De faaldefinitie van de dijk is dat de kleilaag op een bepaalde locatie volledig geerodeerd is. Onderzoek naar de juiste erosiecoëfficiënt van klei voor deze situatie wordt uitgevoerd. Als uitgangspunt wordt gehanteerd dat de kleilaagdikte in het ontwerp wordt afgestemd op de de resultaten van het onderzoek naar de erosiecoëfficiënt van klei, waarbij het ontwerp precies voldoet aan de norm voor de waterveiligheid (+).

4.2.3 Beoordeling effecten

Tabel 4.2 gaat in op de beoordeling voor het criterium robuustheid. De beoordeling is niet onderscheidend voor de verschillende varianten en deelgebieden. Alle varianten zijn slim en doelmatig ontworpen. Alleen voor variant 3 (zachte bekleding en voorland) is als uitgangspunt gehanteerd dat de kleilaagdikte in het ontwerp wordt afgestemd op de de resultaten van het onderzoek naar de erosiecoëfficiënt van klei, waarbij het ontwerp precies voldoet aan de norm voor de waterveiligheid.

Tabel 4.2 Score per variant per deelgebied voor criterium robuustheid.

		1A	1B	2A	2B	3
		Harde bekleding en binnenberm	Harde bekleding en asverlegging	Harde bekleding en constructie	Harde bekleding, constructie en verruwing	Zachte bekleding en voorland
1		+				+
2		+				+
3						+
4		+				+
5		+				+
6a	niet bebouwd	+	+	+		+
6b	bebouwd	+	+	+	+	

		1A	1B	2A	2B	3
7a	bebouwd		+	+	+	+
7b	niet bebouwd	+		+		+

4.3 Uitvoerbaarheid

Uitvoerbaarheid gaat over de aanlegfase en betreft een tijdelijk effect.

4.3.1 Effecten variant 1A (deelgebieden 1, 2, 4-6b, 7b)

Deelgebieden 1, 2, 4, 5, 6a, 6b en 7b

De uitvoering van variant 1A bestaat uit het verwijderen van bestaande harde dijkbekleding en het aanbrengen van een nieuwe bekleding op het buitentalud. Een deel van de afgekeurde bekleding wordt vervangen door hetzelfde type bekleding, en een deel van de bekleding wordt vervangen door nieuwe typen bekleding. De complexiteit van de uitvoering en de veiligheid tijdens het uitvoeren van de maatregel zijn vergelijkbaar met een maatregel uitgevoerd in grond en traditionele bekledingen ('referentiesituatie').

Variant 1A in deelgebieden 6a en 7b gaat gepaard met een binnendijkse verplaatsing van de sloot. De uitvoering van deze verplaatsing wordt niet als onveilig gezien in vergelijking met de referentiesituatie en hiervoor is geen specialistische uitvoeringsmethode en/of specialistisch materieel nodig.

Er vinden werkzaamheden plaats aan de bekleding op het buitentalud van de waterkering. Hierbij kan de kern van de waterkering bloot komen te liggen voor een beperkte periode. Als gevolg hiervan kan alleen buiten het stormseizoen worden gewerkt.

De complexiteit van de uitvoering van variant 1A en de veiligheid tijdens het uitvoeren van de maatregel zijn vergelijkbaar met een maatregel uitgevoerd in grond en traditionele bekledingen (zoals in de referentiesituatie), (0).

4.3.2 Effecten variant 1B (deelgebieden 6a-7a)

Deelgebieden 6a, 6b en 7a

De uitvoering van variant 1B bestaat uit een buitenwaartse asverlegging. De huidige binnenteen blijft behouden en de kruinlijn en de buitenteen verplaatsen naar buiten. De bestaande harde dijkbekleding wordt verwijderd en er wordt een nieuwe bekleding aangebracht op het buitentalud. Een deel van de afgekeurde bekleding wordt vervangen door hetzelfde type bekleding, en een deel van de bekleding wordt vervangen door nieuwe typen bekleding. De complexiteit van de uitvoering en de veiligheid tijdens het uitvoeren van de maatregel zijn vergelijkbaar met een maatregel uitgevoerd in grond en traditionele bekledingen ('referentiesituatie').

Er vinden werkzaamheden plaats aan de bekleding op het buitentalud van de waterkering. Hierbij kan de kern van de waterkering bloot komen te liggen voor een beperkte periode. Daardoor kan alleen buiten het stormseizoen worden gewerkt. Tenzij speciale maatregelen worden getroffen.

De complexiteit van de uitvoering van variant 1B en de veiligheid tijdens het uitvoeren van de maatregel zijn vergelijkbaar met een maatregel uitgevoerd in grond en traditionele bekledingen (zoals in de referentiesituatie, 0).

4.3.3 Effecten variant 2A (deelgebieden 6a-7b)

Deelgebieden 6a, 6b, 7a en 7b

De uitvoering van variant 2A bestaat uit het herprofilen van het buitentalud en het aanbrengen van een nieuwe bekleding. Op het buitentalud worden de volgende typen bekleding toegepast: bestorting, steenzetting, asfalt en open steenasfalt overlaagd met grasbekleding.

Binnendijs wordt een damwand aangebracht voor het vergroten van de stabiliteit. Het plaatsen van een damwand brengt andere veiligheidsrisico's met zich mee dan de referentiesituatie. Als uitgangspunt is echter gehanteerd dat alle ontwerpen veilig kunnen worden uitgevoerd en dat eventuele veiligheidsrisico's beheerst worden. Daarmee is een damwand voor wat betreft de veiligheid tijdens uitvoering niet onderscheidend.

Ook voor deze variant geldt dat in het stormseizoen (van 1 oktober tot 1 april) de veiligheid van de huidige dijk niet mag worden aangetast, tenzij er aanvullende maatregelen getroffen worden.

De complexiteit van de uitvoering van variant 2A en de veiligheid tijdens het uitvoeren van de maatregel zijn vergelijkbaar met een maatregel uitgevoerd in grond en traditionele bekledingen (zoals in de referentiesituatie, 0).

4.3.4 Effecten variant 2B (deelgebieden 6b-7a)

Algemeen

De uitvoering van variant 2B bestaat uit het herprofilen van het buitentalud en het aanbrengen van een nieuwe bekleding. Een ruwe bekleding wordt aangebracht waardoor er geen kruinverhoging nodig is. Op het buitentalud worden deels betonblokken toegepast voor het verhogen van de ruwheid. Daarnaast worden binnen deelgebied 7a Xbloc+-elementen aangebracht op het ondertalud. Binnendijs wordt een damwand aangebracht voor het vergroten van de stabiliteit.

Ook voor deze variant geldt dat in het stormseizoen (van 1 oktober tot 1 april) de veiligheid van de huidige dijk niet mag worden aangetast, tenzij er aanvullende maatregelen getroffen worden.

Deelgebied 6b

De complexiteit van de uitvoering van variant 2B binnen deelgebied 6b en de veiligheid tijdens het uitvoeren van de maatregel zijn vergelijkbaar met een maatregel uitgevoerd in grond en traditionele bekledingen (zoals in de referentiesituatie, 0).

Deelgebied 7a

Binnen deelgebied 7a worden voor variant 2B op het ondertalud Xbloc-elementen aangebracht. Hiervoor is specialistisch materiaal nodig. Daarnaast is ervaring met het plaatsen van deze betonnen elementen beperkt in vergelijking met traditionele bekledingen. De uitvoering van de maatregel is daarmee complexer in vergelijking met een maatregel uitgevoerd in grond en traditionele bekledingen (-).

4.3.5 Effecten variant 3 Effecten variant 3 (deelgebieden 1-6a, 7a, 7b)

Algemeen

De uitvoering van variant 3 binnen deelgebieden 1, 2, 4, 5, 6a, 7a en 7b bestaat uit het verwijderen van harde bekleding, het herprofilen van het talud en het aanbrengen van een kleilaag in verschillende ophoogslagen. Binnen deelgebied 3 bestaan de werkzaamheden uit het verwijderen van de leeflaag, het aanbrengen van een kleilaag van 0,2 m dik, het terugbrengen van de leeflaag en het inzaaien van een grasmengsel. De uitvoering van deze maatregelen is voor deze variant vergelijkbaar in complexiteit en veiligheid als de 'referentiesituatie'.

In deelgebieden waar geen hoog en breed genoeg voorland aanwezig is, wordt een voorland aangelegd. De verhoging en/of verlenging van het voorland is complexer in uitvoering dan de referentiesituatie en vergt meer specialistisch materiaal voor werken op het wad en in de kwelder.

Ook voor deze variant geldt dat in het stormseizoen (van 1 oktober tot 1 april) de veiligheid van de huidige dijk niet mag worden aangetast, tenzij er aanvullende maatregelen getroffen worden.

Het ophogen en/of verlengen van het voorland is afhankelijk van de weer- en waterstandvoorspelling of eisen vanuit andere functies, de werkzaamheden kunnen soms tijdelijk worden stilgelegd. Er gelden geen restricties vanuit waterveiligheid voor het werken aan het voorland tijdens het stormseizoen.

Deelgebieden 1, 5, 6a en 7a

In de deelgebieden 1, 5, 6a en 7a wordt een voorland aangelegd. De verhoging en/of verlenging van het voorland is complexer in uitvoering dan de referentiesituatie en vergt meer specialistisch materiaal voor werken op het wad en in de kwelder. De uitvoering van de dijkbekleding van variant 3 binnen deze deelgebieden is vergelijkbaar in complexiteit en veiligheid als de gehanteerde referentiesituatie. Daarnaast dienen afhankelijk van de weer- en waterstandvoorspelling of eisen vanuit andere functies de werkzaamheden aan het voorland soms tijdelijk te worden stilgelegd (-).

Deelgebieden 2, 3, 4 en 7b

Binnen deelgebieden 2, 3, 4 en 7b is in de huidige situatie reeds een voorland aanwezig. De uitvoering van variant 3 binnen deze deelgebieden is vergelijkbaar in complexiteit en veiligheid als de referentiesituatie. De werkzaamheden voor variant 3 mogen tenslotte alleen buiten het stormseizoen worden uitgevoerd, tenzij aanvullende maatregelen worden getroffen (0).

4.3.6 Beoordeling effecten

Tabel 4.3 licht de beoordeling voor het criterium uitvoerbaarheid toe. Varianten 1A (harde bekleding binnenberm), 1B (harde bekleding en asverlegging) en 2A (harde bekleding en constructie) hebben een vergelijkbare uitvoerbaarheid als de referentiesituatie. Variant 2B (harde bekleding, constructie en verruwing) en variant 3 (zachte bekleding en voorland) zijn hierin het slechts beoordeeld. De uitvoerbaarheid van variant 2B is beperkt ten opzichte van de referentiesituatie daar waar betonnen Xbloc-elementen worden aangebracht omdat hiervoor specialistisch materiaal nodig is en de ervaring met het plaatsen van deze elementen beperkt is. Variant 3 (zachte bekleding en voorland) scoort negatief op uitvoerbaarheid daar waar het voorland wordt verhoogd en/of verlengd omdat deze werkzaamheden complexer in uitvoering zijn dan de referentiesituatie en meer specialistisch materiaal vergen voor werken op het wad en in de kwelder.

Tabel 4.3 Score per variant per deelgebied voor criterium uitvoerbaarheid.

		1A	1B	2A	2B	3
		Harde bekleding en binnenberm	Harde bekleding en asverlegging	Harde bekleding en constructie	Harde bekleding, constructie en verruwing	Zachte bekleding en voorland
1		0				-
2		0				0
3						0
4		0				0
5		0				-
6a	niet bebouwd	0	0	0		-

		1A	1B	2A	2B	3
6b	bebouwd	0	0	0	0	
7a	bebouwd		0	0	-	-
7b	niet bebouwd	0		0		0

4.4 Beheerbaarheid

4.4.1 Effecten variant 1A (deelgebieden 1, 2, 4-6b, 7b)

Deelgebieden 1, 2, 4, 5, 6a, 6b en 7b

Variant 1A gaat uit van het behouden en (gedeeltelijk) versterken van de bekleding op het buitentalud. Een deel van de afgekeurde bekleding wordt vervangen door dezelfde type bekleding en een deel van de bekleding wordt vervangen door nieuwe typen bekleding.

Ter plaatse van de grasbekleding op het boventalud wordt een verborgen bekleding aangebracht, bestaande uit open steenasfalt met daarboven een leeflaag. De leeflaag wordt onderhouden, omdat de open steenasfalt niet bloot mag komen te liggen. Deze open steenasfalt-bekleding is minder goed inspecteerbaar dan de referentiesituatie. Om de staat van de bekleding te controleren of te kunnen beoordelen, is beperkt grondverzet nodig, wat handmatig uitgevoerd kan worden. Over de inspectie en het onderhoud van open steenasfalt bestaat landelijk discussie. Het nemen van boorkernen is lastig en het is discutabel hoe hier mee om moet worden gegaan. Landelijk moet op dit vlak kennis worden ontwikkeld. Echter, inspectie en onderhoud van de open steenasfalt zal maar beperkt nodig zijn, omdat de bekleding van open steenasfalt onder een leeflaag ligt en hierdoor wordt beschermd tegen schadelijke invloeden van onder andere zonlicht. Daarnaast is een toeslag op de laagdikte van het open steenasfalt toegepast vanwege de overlaging met grond, zodat regelmatige inspectie niet nodig is. Deze aspecten wegen tegen elkaar op, waardoor de verborgen bekleding niet voor een significant grotere inspanningsverplichting zorgt voor beheer en onderhoud.

Het buitentalud van de bestaande dijk bestaat voor een groot deel uit asfaltbekleding. Voor variant 1A wordt een beperkt deel van de asfaltbekleding vervangen door een steenzetting bestaande uit basalt met inwassing. Onderhoud aan een asfaltbekleding bestaat uit het aanbrengen een slijtlaag (elke 10-12 jaar), het herstellen van eventuele scheuren (met name bij oudere asfaltbekleding) en regelmatig inspecteren (afhankelijk van staat en na circa 30 jaar), meten en beoordelen. Steenzettingen moeten, afhankelijk van het type, iedere 5 jaar worden ingewassen. Het onderhoud aan een steenzetting is dus beperkt, maar wordt met een relatief korte interval herhaald, en een asfaltbekleding vergt relatief veel onderhoud in een later stadium. Beschouwd over de gehele levensduur van de waterkering (50 jaar) is de inspanningsverplichting voor beheren en onderhouden van een asfaltbekleding vergelijkbaar met de inspanningsverplichting voor een steenzetting.

De inspecteerbaarheid van variant 1A binnen deelgebieden 1, 2, 4, 5, 6a, 6b en 7b is vergelijkbaar met die van de referentiesituatie. Daarnaast is ook de inspanningsverplichting voor beheer en onderhoud voor deze variant vergelijkbaar met de referentiesituatie (0).

4.4.2 Effecten variant 1B (deelgebieden 6a-7a)

Deelgebieden 6a, 6b en 7a

Variant 1B gaat uit van een harde bekleding op het buitentalud met een asverlegging. De huidige binnenteen blijft behouden en de kruinlijn en de buitenteen verplaatsen naar buiten. Op het buitentalud worden harde bekledingslagen aangebracht van hetzelfde type als de huidige dijk.

Binnen deelgebieden 6a, 6b en 7a wordt op het boventalud een verborgen bekleding aangebracht, bestaande uit open steenasfalt (open steenasfalt) met daarboven een leeflaag. De leeflaag wordt

onderhouden, omdat de open steenasfalt niet bloot mag komen te liggen. Deze open steenasfalt bekleding is minder goed inspecteerbaar dan de referentiesituatie. Om de staat van de bekleding te controleren of te kunnen beoordelen, is beperkt grondverzet nodig, wat handmatig uitgevoerd kan worden. Over de inspectie en het onderhoud van open steenasfalt bestaat landelijk discussie. Het nemen van boorkernen is lastig en het is discutabel hoe hier mee om moet worden gegaan. Landelijk moet op dit vlak kennis worden ontwikkeld. Echter, inspectie en onderhoud van de open steenasfalt zal maar beperkt nodig zijn, omdat de bekleding van open steenasfalt onder een leeflaag ligt en hierdoor wordt beschermd tegen schadelijke invloeden van onder andere zonlicht. Daarnaast is een toeslag op de laagdikte van het open steenasfalt toegepast vanwege de overlaging met grond, zodat regelmatige inspectie niet nodig is. Deze aspecten wegen tegen elkaar op, waardoor de verborgen bekleding niet voor een significant grotere inspanningsverplichting zorgt voor beheer en onderhoud.

Het buitentalud van de bestaande dijk bestaat voor een groot deel uit asfaltbekleding. Voor variant 1B is op een groter deel van het talud een steenzetting aanwezig dan in de huidige situatie. De steenzetting bestaat uit basalt met inwassing. Onderhoud aan een asfaltbekleding bestaat uit het aanbrengen een slijtlaag (elke 10-12 jaar), het herstellen van eventuele scheuren (met name bij oudere asfaltbekleding) en regelmatig inspecteren (afhankelijk van staat en na circa 30 jaar), meten en beoordelen. Steenzettingen moeten, afhankelijk van het type, iedere 5 jaar worden ingewassen. Het onderhoud aan een steenzetting is dus beperkt, maar wordt met een relatief korte interval herhaald, en een asfaltbekleding vergt relatief veel onderhoud in een later stadium. Beschouwd over de gehele levensduur van de waterkering (50 jaar) is de inspanningsverplichting voor beheren en onderhouden van een asfaltbekleding vergelijkbaar met de inspanningsverplichting voor een steenzetting.

De inspecteerbaarheid van variant 1B binnen deelgebieden 6a, 6b en 7a is vergelijkbaar met die van de referentiesituatie. Daarnaast is ook de inspanningsverplichting voor beheer en onderhoud voor deze variant vergelijkbaar met de referentiesituatie. Daarom wordt aan variant 1B de score neutraal (0) toegekend.

4.4.3 Effecten variant 2A (deelgebieden 6a-7b)

Algemeen

Variant 2A bestaat uit het herprofilen van het buitentalud en het aanbrengen van een nieuwe bekleding. Op het buitentalud worden de volgende typen bekleding toegepast: bestorting, steenzetting, asfalt en open steenasfalt overlaagd met grasbekleding. Binnendijks wordt een damwand aangebracht voor het vergroten van de stabiliteit.

Ter plaatse van de grasbekleding op het boventalud wordt een verborgen bekleding aangebracht, bestaande uit open steenasfalt (open steenasfalt) met daarboven een leeflaag. De leeflaag wordt onderhouden, omdat de open steenasfalt niet bloot mag komen te liggen. Deze open steenasfalt bekleding is minder goed inspecteerbaar dan de referentiesituatie. Om de staat van de bekleding te controleren of te kunnen beoordelen, is beperkt grondverzet nodig, wat handmatig uitgevoerd kan worden. Over de inspectie en het onderhoud van open steenasfalt bestaat landelijk discussie. Het nemen van boorkernen is lastig en het is discutabel hoe hiermee om moet worden gegaan. Landelijk moet op dit vlak kennis worden ontwikkeld. Echter, inspectie en onderhoud van de open steenasfalt zal maar beperkt nodig zijn, omdat de bekleding van open steenasfalt onder een leeflaag ligt en hierdoor wordt beschermd tegen schadelijke invloeden van onder andere zonlicht. Daarnaast is een toeslag op de laagdikte van het open steenasfalt toegepast vanwege de overlaging met grond, zodat regelmatige inspectie niet nodig is. Deze aspecten wegen tegen elkaar op, waardoor de verborgen bekleding niet voor een significant grotere inspanningsverplichting zorgt voor beheer en onderhoud.

Het buitentalud van de bestaande dijk bestaat voor een groot deel uit asfaltbekleding. Voor variant 2A is op een groter deel van het talud een steenzetting aanwezig dan in de huidige situatie. De steenzetting bestaat uit basalt met inwassing. Onderhoud aan een asfaltbekleding bestaat uit het aanbrengen een slijtlaag (elke 10-12 jaar), het herstellen van eventuele scheuren (met name bij oudere asfaltbekleding) en regelmatig inspecteren (afhankelijk van staat en na circa 30 jaar), meten en beoordelen. Steenzettingen moeten,

afhankelijk van het type, iedere 5 jaar worden ingewassen. Het onderhoud aan een steenzetting is dus beperkt, maar wordt met een relatief korte interval herhaald, en een asfaltbekleding vergt relatief veel onderhoud in een later stadium. Beschouwd over de gehele levensduur van de waterkering (50 jaar) is de inspanningsverplichting voor beheren en onderhouden van een asfaltbekleding vergelijkbaar met de inspanningsverplichting voor een steenzetting.

Deelgebieden 6a, 7a en 7b

Binnen deelgebieden 6a, 7a en 7b worden voor variant 2A damwanden aangebracht die boven het maaiveld uitsteken. De lente van de damwanden bedraagt:

- deelgebied 6a: 15 m, waarvan 1,5 m boven maaiveld;
- deelgebied 7a: 8 m, waarvan 2,5 m boven maaiveld;
- deelgebied 7b: 12 m, waarvan 1,5 m boven maaiveld.

Damwanden die boven het maaiveld uit komen vormen een belemmering voor de beheerbaarheid en onderhoudbaarheid van de dijk. Daarnaast vormen de damwanden binnen deelgebieden 6a en 7b ook een obstakel voor het onderhoud aan de sloot binnendijks.

De inspecteerbaarheid van variant 2A binnen deelgebieden 6a, 7a en 7b is vergelijkbaar met die van de referentiesituatie. De damwanden die binnendijks worden aangebracht en boven het maaiveld uitsteken vormen een belemmering voor het beheer en onderhoud (-).

Deelgebied 6b

Binnen deelgebied 6b wordt voor variant 1A een damwand aangebracht die niet boven het maaiveld uitsteekt. De totale lengte van de damwand bedraagt 5 m. De inspanningsverplichting voor beheer en onderhoud en de inspecteerbaarheid van variant 2A binnen deelgebieden 6b zijn vergelijkbaar met die van de referentiesituatie (0).

4.4.4 Effecten variant 2B (deelgebieden 6b-7a)

Deelgebieden 6b en 7a

Variant 2B gaat uit van het herprofilen van het buitentalud en het aanbrengen van een nieuwe bekleding. Een ruwe bekleding wordt aangebracht waardoor er geen kruinverhoging nodig is. Binnendijks wordt een damwand aangebracht voor het vergroten van de stabiliteit.

Op het boventalud worden betonblokken aangebracht voor het verhogen van de ruwheid. Binnen deelgebied 6b is op een groter deel van het talud een steenzetting aanwezig dan in de huidige situatie. De inspanningsverplichting voor het beheren en onderhouden van een asfaltbekleding is vergelijkbaar met de inspanningsverplichting voor een steenzetting. Binnen deelgebied 7a worden Xbloc+-elementen aangebracht op het ondertalud. De inspanningsverplichting voor het beheren en onderhouden van Xbloc+-elementen is vergelijkbaar met die van de bestaande harde bekleding op het ondertalud.

De damwanden die binnendijks aanwezig zijn steken niet uit boven het maaiveld en vormen daarmee geen belemmering voor het beheer en onderhoud van de dijk.

De inspecteerbaarheid van variant 2B is vergelijkbaar met die van de referentiesituatie. Daarnaast is ook de inspanningsverplichting voor beheer en onderhoud voor deze variant vergelijkbaar met de referentiesituatie (0).

4.4.5 Effecten variant 3 (deelgebieden 1-6a, 7a, 7b)

Algemeen

Variant 3 gaat uit van het vervangen van de bestaande harde dijkbekleding op het buitentalud door een zachte bekleding die bestaat uit een kleilaag met een grasbekleding. Daarnaast is een breed voorland

onderdeel van het ontwerp. Dit voorland heeft een golfreducerende werking en wordt aangebracht en vastgehouden met kwelderwerken.

De mate van inspecteerbaarheid van de 'groene dijk' en het aantal benodigde inspecties is vergelijkbaar met een versterking met grond (klei en zand) en traditionele bekledingen ('referentiesituatie'). De groene dijk heeft daarmee een vergelijkbare inspecteerbaarheid als de referentiesituatie.

In vergelijking met de referentiesituatie vergt de groene dijk meer onderhoud in een vroeg stadium van de levensduur van het ontwerp. Hierbij kan worden gedacht aan het onderhouden van afrastering, water aanleveren voor de schapen, maaien, afvoeren, vloedmerk ruimen en distelbestrijding. Onderhoud aan een asfaltbekleding bestaat bijvoorbeeld uit het aanbrengen een slijtlaag (elke 10-12 jaar), het herstellen van eventuele scheuren (met name bij oudere asfaltbekleding) en regelmatig inspecteren (afhankelijk van staat en na ca. 30 jaar), meten en beoordelen. De groene dijk vergt dus ander onderhoud dan de referentiesituatie, maar de inspanningsverplichting voor onderhoud aan de groene dijk, beschouwd over de levensduur, is vergelijkbaar met de referentiesituatie.

Door een ophoging en/of verlenging van het voorland neemt het beheerareaal toe. Daarnaast kan schade ontstaan aan het voorland en de groene dijk onder invloed van golven, stroming en waterstandsvariaties. Deze schade moet periodiek worden hersteld en dit vergt een ander type beheer en onderhoud en een grotere inspanningsverplichting dan de referentiesituatie. Het beheer en onderhoud is mogelijk moeilijker in te schatten en te plannen.

Deelgebieden 2, 4 en 7b

Variant 3 zorgt in deelgebieden 2, 4 en 7b voor een vergelijkbare inspanningsverplichting voor beheer en onderhoud ten opzichte van de referentiesituatie. De inspecteerbaarheid van het versterkte dijklichaam is vergelijkbaar met een maatregel uitgevoerd in grond en traditionele bekledingen ('referentiesituatie'). Inspecties kunnen visueel worden uitgevoerd. Omdat binnen deze deelgebieden reeds een voorland aanwezig is, neemt het beheerareaal niet significant toe vergeleken met de referentiesituatie. Het huidige beheer van het voorland volstaat (0).

Deelgebieden 1, 5, 6a, 6b en 7a

Variant 3 zorgt in deelgebieden 1, 5, 6a, 6b en 7a voor een vergelijkbare inspanningsverplichting voor beheer en onderhoud ten opzichte van de referentiesituatie. Door ophoging en/of verlenging van het voorland neemt het beheerareaal toe. Het uitgangspunt is dat het beheer van dit nieuwe voorland bij Wetterskip Fryslân komt te liggen. Na verloop van tijd komen er mogelijk pachters of wordt het beheer overgedragen naar Natuurbeheer. Er moeten procesafspraken worden gemaakt met de huidige beheerders als het beheerareaal verandert. Eventuele schade die ontstaat aan het voorland of de groene dijk moet mogelijk periodiek worden hersteld (-).

Deelgebied 3

Het voorland wordt voor variant 3 binnen deelgebied 3 niet verhoogd of verlengd. De inspecteerbaarheid van het versterkte dijklichaam is vergelijkbaar met een maatregel uitgevoerd in grond en traditionele bekledingen ('referentiesituatie'). Inspecties kunnen visueel worden uitgevoerd. Ook het beheer en onderhoud van de maatregel is vergelijkbaar met de referentiesituatie (0).

4.4.6 Beoordeling effecten

Tabel 4.4 ligt de beoordeling voor het criterium beheerbaarheid toe. Varianten 1A (harde bekleding binnenberm), 1B (harde bekleding en asverlegging) en 2B (harde bekleding, constructie en verruwing) hebben een vergelijkbare beheerbaarheid als de referentiesituatie. Variant 2A (harde bekleding en constructie) en 3 (zachte bekleding en voorland) worden het slechts beoordeeld op beheerbaarheid. Variant 2A scoort negatief op beheerbaarheid door de aanwezigheid van damwanden die boven het maaiveld uit komen en een belemmering vormen voor beheer en onderhoud van de dijk (en sloot binnendijs). Variant 3 (zachte bekleding en voorland) scoort negatief op beheerbaarheid daar waar door ophoging en/of verlenging van het voorland het beheerareaal toeneemt. Het uitgangspunt is dat het beheer van dit nieuwe voorland bij Wetterskip Fryslân komt te liggen.

Tabel 4.4 Score per variant per deelgebied voor criterium beheerbaarheid.

		1A	1B	2A	2B	3
		Harde bekleding en binnenberm	Harde bekleding en asverlegging	Harde bekleding en constructie	Harde bekleding, constructie en verruwing	Zachte bekleding en voorland
1		0				-
2		0				0
3						0
4		0				0
5		0				-
6a	niet bebouwd	0	0	-		-
6b	bebouwd	0	0	0	0	
7a	bebouwd		0	-	0	-
7b	niet bebouwd	0		-		0

4.5 Beproeftheid

4.5.1 Effecten variant 1A (deelgebieden 1, 2, 4-6b, 7b)

Deelgebieden 1, 2, 4, 5, 6a, 6b en 7a

Variant 1A gaat uit van uit grond en traditionele bekledingen. De bekledingen worden op een vergelijkbare manier toegepast als in de huidige situatie. Daarnaast bevat de maatregel een vergelijkbare hoeveelheid speciale constructies (zoals kwelschermen en niet-waterkerende objecten). De beproeftheid is daarmee vergelijkbaar met de referentiesituatie en daarom krijgt variant 1A de score neutraal (0) toegekend.

4.5.2 Effecten variant 1B (deelgebieden 6a-7a)

Deelgebieden 6a, 6b en 7a

Variant 1B gaat uit van uit grond en traditionele bekledingen. De bekledingen worden op een vergelijkbare manier toegepast als in de huidige situatie. Daarnaast bevat de maatregel een vergelijkbare hoeveelheid speciale constructies (zoals kwelschermen en niet-waterkerende objecten). De beproeftheid is daarmee vergelijkbaar met de referentiesituatie en daarom krijgt variant 1B de score neutraal (0) toegekend.

4.5.3 Effecten variant 2A (deelgebieden 6a-7b)

Deelgebieden 6a, 6b, 7a en 7b

Variant 2A gaat uit van uit grond en traditionele bekledingen. De bekledingen worden op een vergelijkbare manier toegepast als in de huidige situatie. Daarnaast bevat de maatregel een vergelijkbare hoeveelheid speciale constructies (zoals kwelschermen en niet-waterkerende objecten). Binnendijks wordt een damwand toegepast, voor het vergroten van de stabiliteit. Damwanden zijn beproefde constructies in dijken. De beproeftheid is daarmee vergelijkbaar met de referentiesituatie en daarom krijgt variant 2A de score neutraal (0) toegekend.

4.5.4 Effecten variant 2B (deelgebieden 6b-7a)

Deelgebieden 6a, 6b, 7a en 7b

Variant 2B gaat uit van uit grond, traditionele bekledingen en minder traditionele betonnen elementen. Op het buitentalud worden betonblokken aangebracht ter verhoging van de ruwheid. Deze betonblokken zijn eerder toegepast, bijvoorbeeld op de Havendijk van Den Oever, en zijn beproefd. Binnen deelgebied 7a worden op het ondertalud Xbloc+-elementen aangebracht. Ook deze Xbloc+-elementen zijn eerder toegepast, bijvoorbeeld binnen project Afsluitdijk, en zijn uitvoerig getest in gootproeven. Binnendijks wordt een damwand toegepast, voor het vergroten van de stabiliteit. Damwanden zijn beproefde constructies in dijken.

De traditionele bekledingen (asfalt, steenzetting, klei met gras) worden op een vergelijkbare manier toegepast als in de huidige situatie. Daarnaast bevat de maatregel een vergelijkbare hoeveelheid speciale constructies (zoals kwelschermen en niet-waterkerende objecten). De beproefdheid is daarmee vergelijkbaar met de referentiesituatie en daarom krijgt variant 2B de score neutraal (0) toegekend.

4.5.5 Effecten variant 3 (deelgebieden 1-6a, 7a, 7b)

Deelgebieden 1, 2, 3, 4, 5, 6a, 7a, 7b

Variant 3 gaat uit van het vervangen van de bestaande harde dijkbekleding op het buitentalud door een zachte bekleding die bestaat uit een kleilaag met daar bovenop een grasbekleding. De huidige waterkering in deelgebied 3 is vergelijkbaar met het ontwerp van variant 3. In het verleden zijn er gootproeven uitgevoerd op de bekleding van deze waterkering en momenteel wordt de bekleding opnieuw beproefd in de golfgoot. Daarmee is er ervaring binnen het waterschap met deze variant. Dit type zachte bekleding is vergelijkbaar in beproefdheid met de maatregel die bestaat uit grond en traditionele bekledingen ('referentiesituatie').

Een breed voorland maakt onderdeel uit van het ontwerp. Dit voorland heeft een golfreducerende werking en wordt aangebracht en vastgehouden met kwelderwerken. De golfreducerende werking van het voorland en de stabiliteit van het voorland onder maatgevende condities wordt onderzocht. Deze maatregel is eerder toegepast in Nederland, maar is minder beproefd dan traditionele bekledingen. Als uitgangspunt hierbij wordt echter gehanteerd dat deze maatregel in voldoende mate beproefd zal zijn indien deze wordt toegepast. Daarom krijgt variant 3 de score neutraal (0) toegekend.

4.5.6 Beoordeling effecten

Varianten 1A (harde bekleding en binnenberm), 1B (harde bekleding en asverlegging), 2A (harde bekleding en constructie), 2B (harde bekleding, constructie en verruwing) en 3 (zachte bekleding en voorland) hebben allemaal een vergelijkbare beproefdheid als de referentiesituatie. Binnen variant 3 maakt een breed voorland onderdeel uit van het ontwerp. Dit voorland heeft een golfreducerende werking en wordt aangebracht en vastgehouden met kwelderwerken. De golfreducerende werking van het voorland en de stabiliteit van het voorland onder maatgevende condities wordt onderzocht. Deze maatregel is eerder toegepast in Nederland, maar is minder beproefd dan traditionele bekledingen. Als uitgangspunt hierbij wordt echter gehanteerd dat deze maatregel in voldoende mate beproefd zal zijn indien deze wordt toegepast.

Tabel 4.5 Score per variant per deelgebied voor criterium beproefdheid.

		1A	1B	2A	2B	3
		Harde bekleding en binnenberm	Harde bekleding en asverlegging	Harde bekleding en constructie	Harde bekleding, constructie en verruwing	Zachte bekleding en voorland
1		0				0
2		0				0
3						0
4		0				0
5		0				0
6a	niet bebouwd	0	0	0		0
6b	bebouwd	0	0	0	0	
7a	bebouwd		0	0	0	0
7b	niet bebouwd	0		0		0

4.6 Overzicht effecten en effectbeoordeling

De effectbeoordeling voor het MER van de ontwerpvarianten vanuit het thema waterveiligheid is gebaseerd op de criteria flexibiliteit, robuustheid, uitvoerbaarheid, beheerbaarheid en beproefdheid.

Uit de effectenbeoordeling voor de verkenning komt naar voren dat de ontwerpvarianten onderscheidend zijn voor de criteria flexibiliteit, uitvoerbaarheid en beheerbaarheid. De ontwerpvarianten zijn niet onderscheidend voor de criteria robuustheid en beproefdheid:

- variant 1A en 1B scoren neutraal (0) of positief (+) op flexibiliteit, neutraal (0) op uitvoerbaarheid en neutraal (0) op beheerbaarheid;
- variant 2A scoort negatief (-) op flexibiliteit, neutraal (0) op uitvoerbaarheid en negatief (-) of neutraal (0) op beheerbaarheid;
- variant 2B scoort sterk negatief (--) op flexibiliteit, negatief (-) of neutraal (0) op uitvoerbaarheid en neutraal (0) op beheerbaarheid;
- variant 3 scoort sterk positief (++) of neutraal (0) op flexibiliteit, negatief (-) of neutraal (0) op uitvoerbaarheid en negatief (-) of neutraal (0) op beheerbaarheid.

In de hierna volgende tabel is het overzicht gegeven van de effectbeoordeling op basis van de niet-gemitigeerde effecten, conform MER-systematiek.

Tabel 4.6 Overzicht beoordeling effecten gebruiksfase.

	1A	1B	2A	2B	3
Flexibiliteit	0 / +	+	-	--	0 / ++
	vergelijkbare flexibiliteit als referentie-situatie, in deelgebieden 1, 2, 4, 5 en 6b. In deelgebieden 6a en 7b binnendijks verschuiven van sloot en aanleg berm	buitenwaartse asverlegging geeft binnendijks meer ruimte	damwand binnendijks	aanwezigheid betonnen elementen op het buitentalud en damwand binnendijks	In deelgebied 3 vergelijkbaar met referentie-situatie, in deelgebieden 1, 2, 4, 5, 6a, 7a en 7b harde bekleding vervangen door zachte bekleding en toename ruimtebeslag dijk, meer mogelijkheden meeontwikkelen zeespiegelstijging
Robuustheid	+	+	+	+	+
	voldoet aan de waterveiligheidseisen				
Beheerbaarheid	0	0	▬ / 0	0	▬ / 0
	vergelijkbaar met referentiesituatie		voor deelgebied 6b vergelijkbaar met referentie-situatie: damwand steekt niet boven maaiveld uit, lagere beheerbaarheid voor deelgebieden 6a, 7a en 7b: binnendijkse damwanden steken boven maaiveld uit en belemmeren beheer en onderhoud	vergelijkbaar met referentie-situatie	binnen deelgebieden 1, 5, 6a, 6b en 7a neemt het beheerareaal toe; binnen deelgebieden 2, 3, 4 en 7b vergelijkbaar met de referentie-situatie
Beproefheid	0	0	0	0	0
	varianten in voldoende mate beproefd				

Tabel 4.7 Overzicht beoordeling effecten aanlegfase.

	1A	1B	2A	2B	3
Uitvoerbaarheid	0	0	0	- / 0	- / 0
	complexiteit uitvoering en veiligheid vergelijkbaar met een maatregel uitgevoerd in grond en traditionele bekledingen			binnen deelgebied 6b vergelijkbaar met referentie situatie, in deelgebied 7a moeten de Xbloc-elementen met specialistisch materiaal worden aangebracht en is ervaring hiermee beperkt	in deelgebieden 2, 3, 4 en is verhoging en/of verlenging van voorland complex, en vergt meer specialistisch materiaal voor werken op het wad en in de kwelder, kans op tijdelijke stilleggingen; in deelgebieden 1, 5, 6a en 7a vergelijkbaar met referentie-situatie

KANSEN EN RISICO'S LOSSE BOUWSTENEN

Dit hoofdstuk beschrijft de mogelijke effecten van aanvullende inpassingsopgaven en meekoppelkansen die in deze verkenning van de dijkversterking Koehool-Lauwersmeer worden onderzocht. Omdat de reikwijdte en het detailniveau anders is dan die van de dijkversterkingsvarianten, is de beoordeling gedaan in de geest van de beoordeling zoals uitgewerkt in hoofdstuk 2. Omdat de maatlatten van de criteria niet van toepassing zijn, werken we met een inschatting van kansen en risico's.

5.1 Kansen en risico's inpassingsopgaven

Inpassingsopgaven zijn opgaven die, bij goedkeuring door Wetterskip Fryslân, onderdeel uitmaken van de scope van de dijkversterking. Deze zijn waarschijnlijk subsidiabel en Wetterskip Fryslân treedt hierbij ook op als initiatiefnemer.

Tabel 5.1 geeft aan welke inpassingsopgaven er zijn en welke mogelijk de effectbeoordeling van de varianten beïnvloeden mochten ze in de varianten worden opgenomen, of dat er los van de varianten mogelijk kansen en risico's optreden voor het thema waterveiligheid.

Tabel 5.1 Invloed inpassingsopgaven op beoordeling varianten en andere kansen en risico's vanuit het thema waterveiligheid.

Inpassingsopgave	Beschrijving	Invloed op effectbeoordeling varianten en andere kansen en risico's
getijdenpoelen in teenbestorting	getijdenpoelen in de teenbestorting zijn waterdichte bakken (breuksteen ingegoten met gietasfalt) in de getijdenzone waarin tijdens laagwater zeewater blijft staan. Het doel van een getijdenpoel is het creëren van vestigingsmogelijkheden voor diverse organismen. Geschikte locaties zijn secties 5, 6, en 7 voor alle varianten behalve variant 3	stortsteen ingegoten met gietasfalt is bij een volgende dijkversterking moeilijker te verwijderen dan een reguliere teenbestorting, dit maakt het ontwerp minder flexibel. Ingegoten stortsteen vergt minder onderhoud dan een reguliere teenbestorting, maar dit effect is beperkt
kruidenrijke vegetatie op dijk	het doel van kruidenrijke vegetatie op de dijk is om de biodiversiteit te vergroten. Dit kan onder andere door het beperken graasdruk, inzaaien kruidenmengsel en aangepast maaibeheer	een kruidenrijke vegetatie vraagt om aanpassingen in het beheer van de grasbekleding. Pachtovereenkomsten voor de dijk moeten mogelijk teruggetrokken of herzien worden. Dit is een risico omdat een kruidenrijke vergatie om ander beheer vraagt waarmee minder ervaring is opgedaan dan de bestaande grasbekleding op de dijk
verbeteren van onderwaterstructuur (los van de dijk)	het doel is om onderwater een gunstige leefomgeving te maken voor speciale inheemse soorten en het versterken van de biodiversiteit, bijvoorbeeld door het aanleggen van een palenbos met touwen en het creëren van mosselbanken met mosselkratten of -matten	deze inpassingsopgave staat los van de dijk en heeft geen significant effect op waterveiligheidsaspecten

Inpassingsopgave	Beschrijving	Invloed op effectbeoordeling varianten en andere kansen en risico's
hard substraat op dijk	het doel is om de biodiversiteit te vergroten door een gunstige leefomgeving te maken voor speciale inheemse soorten, bijvoorbeeld bekleding met een ecotop of holtes en gaten in de bekleding. De inpassingsopgave wordt ingevuld door steenzettingen in de getijdzone te voorzien van een ecotoplaag	deze verruwing met een ecotoplaag heeft geen effect op waterveiligheidsaspecten
struiken op de dijk	struiken kunnen een schuilplaats bieden voor dieren, Groepjes struiken op de dijk kunnen stapstenen vormen voor flora en fauna. Op de dijk moet een extra leeflaag van circa 1 m hoogte worden aangebracht waar de struiken in kunnen wortelen	bij een volgende dijkversterking zijn struiken minder makkelijk te verwijderen dan een grasbekleding, dit maakt het ontwerp beperkt minder flexibel. Mogelijk moeten herstelwerkzaamheden worden uitgevoerd na een storm en is onderhoud nodig aan de struiken om te voorkomen dat ze te groot worden. Daar waar struiken aanwezig zijn hoeft geen grasbekleding onderhouden te worden. Deze effecten wegen tegen elkaar op
gebruik basaltblokken	toepassen van een deklaag van basalt bij variant 1A (niet in deelgebied 3 en 7b) en in deelgebied 7b bij variant 1B	het toepassen van een deklaag van basalt heeft geen effecten op waterveiligheidsaspecten

5.2 Kansen en risico's meekoppelkansen

Een meekoppelkans is een gebiedsinitiatief dat aansluit bij de dijkversterking en waarbij (wederzijds) meerwaarde gecreëerd wordt door dit initiatief op dit moment mee te koppelen aan de dijkversterking.

Tabel 5.2 geeft aan welke meekoppelkansen er zijn en welke mogelijk de effectbeoordeling van de varianten beïnvloeden mochten ze in de varianten worden opgenomen, of dat er los van de varianten mogelijk kansen en risico's optreden voor het thema waterveiligheid.

Tabel 5.2 Invloed meekoppelkansen op beoordeling varianten en andere kansen en risico's vanuit het thema waterveiligheid.

Meekoppelkans	Beschrijving	Invloed op effectbeoordeling varianten en andere kansen en risico's
kleirijperij	deze meekoppelkans heeft als doel sediment (slib) uit de Waddenzee op te waarden tot klei door het te laten rijpen. Dat wil zeggen door het te drogen en het zout uit te laten spoelen. Een slibvang is een alternatief voor een kleirijperij. In een slibvang wordt op een natuurlijke wijze slib ingevangen ten behoeve van het verhogen van het voorland	een kleirijperij of een slibvang zorgt voor meer beschikbare grondstoffen voor een toekomstige dijkversterking (positief op het criterium flexibiliteit). Het is in dit stadium onduidelijk waar een kleirijperij of slibvang kan komen te liggen en hoeveel grondstoffen hieruit vrij komen. Op dit moment worden daarom geen effecten op waterveiligheidsaspecten voorzien.
broedeilanden buitendijks	deze meekoppelkans heeft als doel om meer broedgelegenheden te creëren voor vogels. Er zijn verschillende vormen van vogeleilanden mogelijk, bijvoorbeeld een hoogwatervluchtplaats of een broedvogeleiland	broedeilanden staan los van de dijk en worden niet actief beheerd. Voor deelgebieden waar al een voorland aanwezig is of waar een voorland wordt aangelegd verdient de ruimtelijke inpassing van een vogeleiland aandacht. Als een deel van het voorland wordt ontgraven om een eiland te creëren dan dienen de effecten hiervan op de golfreducerende werking van het voorland te worden beschouwd. Hiervan worden geen grote effecten voorzien. Aan de locatie van het vogeleiland en de gracht zijn eisen gesteld, zodat de gracht geen

Meekoppelkans	Beschrijving	Invloed op effectbeoordeling varianten en andere kansen en risico's
		invloed heeft op het optreden van piping. Het ontgraven materiaal kan (indien de locatie van het eiland gunstig gekozen wordt) gebruikt worden in de dijkversterking (voor aanleg voorland of kleibekleding). Daarnaast kan de gracht dienen als slibvang indien verstandig ontworpen
getijdenpoelen buitendijks (voorland)	het doel van een getijdenpoel is vestigingsmogelijkheden voor diverse organismen te creëren (los van de dijk). Kan in deelgebieden 5-7	getijdepoelen met ingegoten stortsteen maken het voorland minder flexibel bij een uitbreiding van de dijk in de richting van het voorland en eventuele toekomstige wijzingen aan het voorland
geulen in de kwelder	het graven van geulen levert materiaal voor de dijkversterking op en kan daarnaast bijdragen aan een meer geleidelijke overgang tussen het Waddengebied en het land. Mogelijk in huidige en nieuwe kwelders	geulen (met beperkte breedte/diepte) in de kwelder hebben verwaarloosbare effecten op de golfreducerende functie van het voorland. Als het voorland onderdeel is van het dijkontwerp, hebben de geulen dus geen impact op de waterveiligheidsaspecten van de dijk. Gelijk aan broedeilanden buitendijks kunnen de geulen bijdragen aan het winnen van materiaal voor het versterken van het voorland of de dijk
vispassages	een schuif, stuw, gemaal of vishevel waarbij zoet- en zoutwater kunnen vermengen en vissen vrij kunnen passeren	Een vispassage beperkt lokaal de flexibiliteit van de dijk. De passage is buitendijks in verbinding met zeewater, waarvoor afhankelijk van de locatie van de vispassage een geul nodig is door het voorland. Een geul door het voorland heeft lokaal effect op de hydraulische belasting op de dijk en de intreeweerstand van het voorland (relevant voor onder andere piping). De vispassage vergt specifiek onderhoud aan onder andere pompen en regelwerken. De waterdoorgang in de dijk en de aansluiting tussen de dijk en de vispassage vragen speciale aandacht
brede teensloot met flauw talud (sectie 1)	een brede teensloot met flauw talud draagt bij aan een geleidelijke overgang tussen het Waddengebied en het land. Verbreding van de dijsloot (ongeveer 15 m meer in dwarsdoorsnede) levert tevens meer ruimte op voor recreatievaart in het gebied. In dit deelgebied is er geen opgave binnendijks	een brede sloot met flauwe taluds is minder makkelijk te beheren en te onderhouden dan een smalle sloot, omdat brede en flauwe oevers minder makkelijk bereikbaar zijn. Afhankelijk van de geometrie van de watergang (breedte, diepte en taludhellingen) heeft deze invloed op de faalmechanismen stabiliteit binnenwaarts en piping

6

AANDACHTSPUNTEN VOOR DE PLANUITWERKING

6.1 Leemten in kennis en informatie

Variant 3 wordt gekenmerkt door een breed voorland en zachte bekleding op de dijk. Het is in dit stadium onduidelijk of het voorland volledig (voor zover dit nog niet aanwezig is) aangelegd dient te worden of grotendeels via natuurlijke processen kan aangroeien. In de verkenning is aangenomen dat het voorland volledig aangelegd wordt. Deze onzekerheid heeft geen effect op de afweging tussen de varianten in de verkenningfase omdat variant 3 ook inclusief banbreedte op de aangroei van het voorland voldoende onderscheidend is.

De golfreducerende werking van het voorland en de stabiliteit van het voorland onder maatgevende condities wordt onderzocht. Deze maatregel is eerder toegepast in Nederland, maar is minder beproefd dan traditionele bekledingen. Als uitgangspunt hierbij wordt echter gehanteerd dat deze maatregel in voldoende mate beproefd zal zijn indien deze wordt toegepast.

Er wordt onderzoek uitgevoerd naar de erosiebestendigheid van de kleilaag bij variant 3. Op basis van de resultaten van deze golfgootproeven kan met meer zekerheid de benodigde kleilaagdikte worden bepaald. De huidige schatting is naar verwachting conservatief en kan geoptimaliseerd worden zodra de resultaten van het onderzoek beschikbaar zijn.

Ook over de herkomst van de klei die wordt gebruikt voor de dijkbekleding bestaat onzekerheid, met name voor variant 3. In het meest gunstige scenario moet alle klei worden aangevoerd vanaf andere locaties en in het meest ongunstige scenario kan klei gewonnen in de omgeving worden gebruikt.

6.2 Mogelijke monitoringsvoorstellen

De waterkering tussen Koehool-Lauwersmeer heeft een goede waterremmende bekleding op het buitentalud. De respons in de freatische waterstand in het dijklichaam is gedurende stormcondities daardoor beperkt. Over delen van het traject zijn restanten van de oude waterkering aan de binnenzijde aanwezig. Deze kering bestond uit gebiedseigen, slecht doorlatend materiaal. Daarmee is de binnenzijde minder drainerend dan gewenst en heeft neerslag een relatief grote (cumulatieve) impact op de freatische grondwaterstand, waardoor een duidelijke seizoensvariantie waargenomen is.

Een waterkering heeft bij voorkeur een waterremmende bekleding aan de buitenzijde en op de kruin, en een waterdoorlatende bekledingen aan de binnenzijde (nabij de teensloot). Intredend grondwater door een hoge buitenwaterstand, neerslag en golfoverslag wordt beperkt en grondwater in het grondlichaam van de waterkering kan goed afstromen naar het achterland. Een lage freatische waterstand in de kern van de waterkering is gunstig voor de stabiliteit binnenwaarts en bekledingen (asfalt).

De freatische waterstand in het grondlichaam kan verlaagd worden door het aanbrengen van een drainagesysteem. Door tevens een geohydrologisch monitoringssysteem (middels peilbuizen) in te richten om de waterspanningen in en onder de dijk continu te monitoren, kan de werking van het drainagesysteem gecontroleerd worden en is het mogelijk om tijdig in te grijpen. Het drainagesysteem in combinatie met een monitoringssysteem biedt direct (mits goed uitgevoerd) een betrouwbare toename van de stabiliteit van de

waterkering. De monitoringsdata kan tevens gebruikt worden voor het optimaliseren van het ontwerp van de versterkingsmaatregelen tijdens de planstudiefase, verificatie van de werkzaamheden in de uitvoeringsfase en het uitvoeren van de wettelijke beoordeling in de beheerfase.

6.3 Nog te onderzoeken mogelijke maatregelen

Op dit moment worden geen nieuwe maatregelen voorzien die nader onderzocht moeten worden. De varianten en de losse bouwstenen geven voldoende de bandbreedte weer. Als er sprake is van zeer negatieve effecten, dan is er de keuze om een andere variant te kiezen die vanuit waterveiligheid bekeken, minder negatieve effecten kent.

REFERENTIES

- 1 Witteveen+Bos (2020a). Toekomstbestendig Versterken Friese Waddenzeekust. Status Definitief. Kenmerk: LW344-37/20-015.155.
- 2 Witteveen+Bos (2020b). Verkenning Waddenzeedijk Koehool-Lauwersmeer. Variantennota 2.0. Kenmerk: LW344-37/21-005.843.
- 3 Witteveen+Bos (2020c). Verkenning Waddenzeedijk Koehool-Lauwersmeer. Rapportage nadere veiligheidsanalyse. Kenmerk: LW344-37/20-014.234-rapd.

