

NOTITIE

Onderwerp Notitie kunstwerken en ringdijk
Project Holwerd aan Zee
Opdrachtgever Provincie Friesland
Projectcode 136834
Status Definitief
Datum 16 februari 2024
Referentie 136834/24-002.331
Auteur(s)

Gecontroleerd door
Goedgekeurd door
Paraaf

Bijlage(n) -

Aan Projectgroep Holwerd aan Zee
Kopie -

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding

In december 2019 is door Stichting Holwerd aan Zee, Vogelbescherming, provincie Fryslân, gemeente Noardeast Fryslân en het Wetterskip Fryslân een Intentieverklaring getekend om samen de plannen voor Holwerd aan Zee verder uit te werken. Door verschillende werkgroepen zijn Programma's van Eisen opgesteld en in juni 2021 heeft de Stuurgroep het voorkeursalternatief (VKA) vastgesteld (variant 2). Door de combinatie Arcadis, Deltares en Waterproof zijn de bouwstenen van het voorkeursalternatief verder uitgewerkt naar een Voorlopig Ontwerp. Daarbij is ook gekeken of het Voorlopig Ontwerp haalbaar, uitvoerbaar en onderhoudbaar is.

In het Bestuurlijk Overleg van 13 oktober 2021 zijn de tussenresultaten van de uitwerking van het Voorlopig Ontwerp gepresenteerd. Hier is door de bestuurders de vraag gesteld of er binnen het VKA nog mogelijkheden zijn om het ontwerp te optimaliseren.

De 'Oplegnotitie voor de Stuurgroep d.d. 11 februari 2022' beschrijft het voorlopige ontwerp en de conclusies met betrekking tot haalbaarheid, uitvoerbaarheid en onderhoudbaarheid. Eén van de onderzoeksvragen uit deze oplegnotitie is of de hoogte van de ringdijk rondom het beleefmeer kan worden verlaagd. Doel van deze notitie is om in beeld te brengen wat de mogelijkheden hiervoor zijn.

Deze notitie gaat nog uit van een ringdijk zoals opgenomen in het voorkeursalternatief dat Arcadis heeft opgesteld. Inmiddels is het ontwerp aangepast naar een waterkerend landschap ter hoogte van het dorp, in plaats van een 'standaard' dijk. De bevindingen uit deze notitie over de hoogte van de 'standaard' dijk, gelden ook voor de hoogte van het waterkerende landschap.

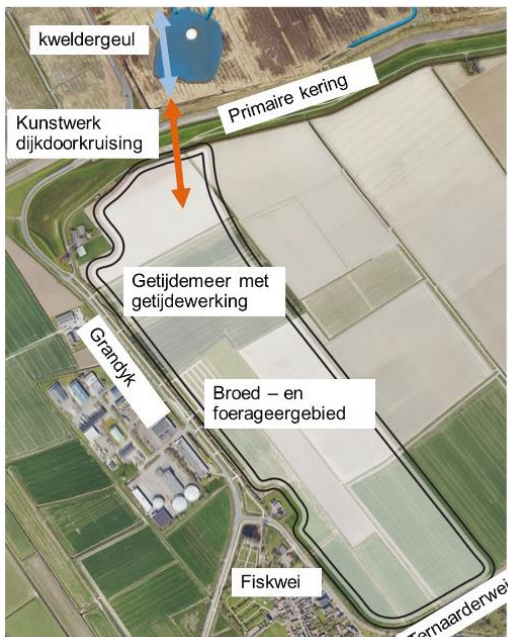
1.2 Leeswijzer

In voorliggende notitie wordt ingegaan op het thema Waterveiligheid, specifiek over het ontwerp en uitgangspunten met betrekking tot de ringdijk van het beleefmeer en de kunstwerken in de primaire keringen (stormvloedkering en het regelwerk). In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de ontwerprandvoorwaarden. In hoofdstuk 3 worden de draaiknoppen beschreven en wordt afgesloten met een advies.

1.3 Beschrijving gebied

In de bestaande huidige situatie wordt het Waddenzee systeem gescheiden door een primaire kering van het binnendijkse oppervlakte watersysteem. Het interessegebied voor de toekomstige situatie is weergegeven in afbeelding 1. Met een dubbele zwarte lijn is het getijdenmeer aangeduid en ter plaatse van de primaire kering is de locatie van de dijkdoorkruising weergegeven. De primaire kering maakt tevens deel uit van het HWBP-project Dijkversterking Koehool-Lauwersmeer (KLM).

Afbeelding 1 Toekomstbeeld Holwerd aan Zee



1.4 Waterveiligheidseis

In de Waterwet is vastgelegd welke eisen er worden gesteld aan de primaire kering. De nieuw te ontwerpen stormvloedkering maakt onderdeel uit van het normtraject en dient te voldoen aan de aan de ondergrenswaarde zoals vastgelegd in de Waterwet. De primaire kering valt onder normtraject 6-4. De ondergrenswaarde van de trajectnorm is 1/1.000 per jaar. De ondergrens geeft de maximaal toelaatbare faalkans voor de primaire waterkering weer.

Tabel 1 Overstromingskansnorm voor normtraject 6-4

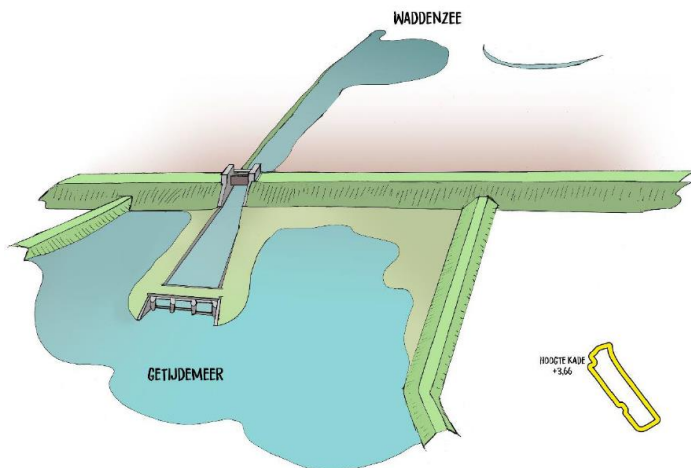
Waarde	Faalkanseis (faalkans/jaar)
ondergrens	1 / 1.000
signaleringswaarde	1 / 3.000

1.5 Stormvloedkering en regelwerk

In het voorkeursalternatief van de stormvloedkering is gekozen voor een verticale hefschuif waarbij er geen recreatievaart het beleefmeer kan bereiken (voorkeursvariant S5 [ref. 1]). De hoogwaterbescherming wordt gevormd door een losstaande verticale hefschuif. Om de kweldergeul te kunnen spoelen zit er een spuiregelwerk om water gecontroleerd in het beleefmeer te laten stromen voor zo min mogelijk sediment, vast te houden in het beleefmeer en te laten spuien door het optrekken van schuiven.

Het combineren van het regelwerk met (afsluitbare) getijdenduikers is niet als voorkeursalternatief gekozen, vanwege de voorkeur van een open karakter van de doorlaat en ecologische doeleinden.

Afbeelding 2 Stormvloedkering met verticale hefschuif en regelwerk



Tabel 2 Toelichting stormvloedkering en regelwerk

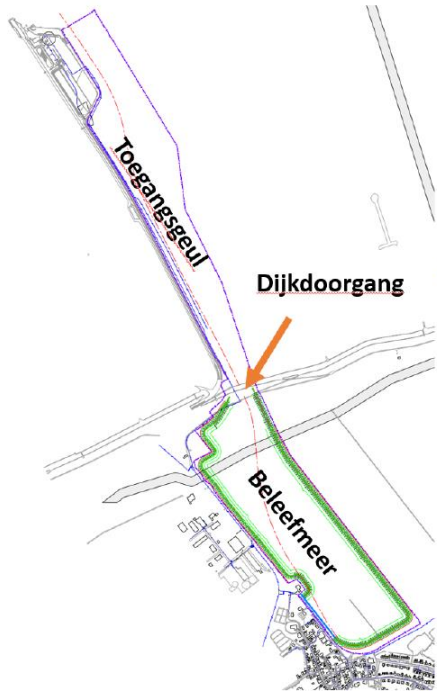
Object	Omschrijving
stormvloedkering	bestaande uit één passieve hefschuif voor de waterkerende functie (geen schutfunctie). Hefschuif kan sluiten op eigen gewicht
sediment / spui regelwerk	het regelwerk bestaat uit een spuioker (7,5 m breed) met een diepe bodem en twee vloedkokers (2x 7,5 m breed) met hogere bodem om zo min mogelijk sediment in het beleefmeer te krijgen [ref. 2]

1.6 Ringdijk om het beleefmeer

Om frequente sluiting van de stormvloedkering te voorkomen, moet het beleefmeer hoge waterstanden op kunnen vangen. Hiervoor is rondom het beleefmeer een ringdijk voorzien. Het ontwerpuitgangspunt is dat de ringdijk een kruinhoogte kent van circa NAP +3,66 m.

De hoogte van de ringdijk heeft impact op de verbinding van het dorp Holwerd met het meer en de beleving van het meer. De hoogte wordt bepaald op basis van het betrouwbaarheidsniveau van de verticale hefschuif (kans op niet sluiten) waarbij is uitgegaan van een levensduur van 50 jaar. Afhankelijk van de snelheid waarmee de zeespiegel stijgt kan de kade na 50 jaar verhoogd worden om te voldoen aan de norm.

Afbeelding 3 Ringdijk om het beleefmeer (in groen weergegeven)

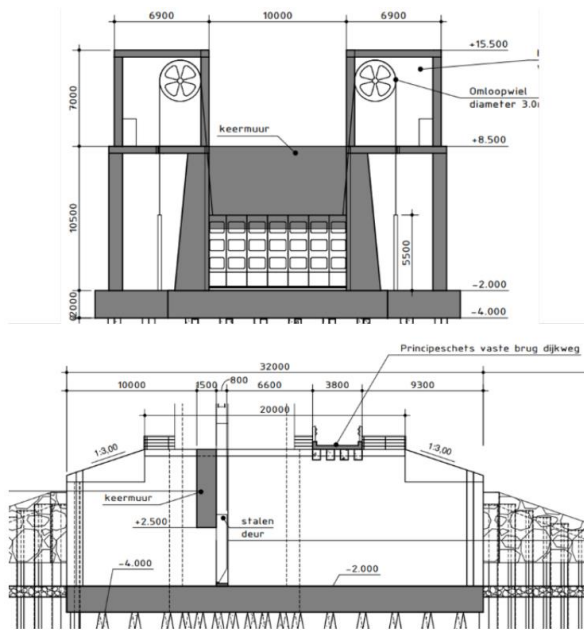


2 ONTWERPRANDVOORWAARDEN

2.1 Stormvloedkering

In het VKA ('21) is een stormvloedkering met een verticale hefschuif voorzien. Hierbij wordt uitgegaan dat de schuif zich bevindt in open positie boven de doorlaat. Bij aankomend hoogwater wordt de schuif naar beneden gesloten. De doorstroombreedte is 10 m. Het kombergend volume van de het beleefmeer is relatief klein t.o.v. de doorstroombreedte, waardoor in open toestand de waterstand in het beleefmeer nagenoeg gelijk is aan de buitenwaterstand op de Waddenzee [ref. 2].

Afbeelding 4 Ontwerp stormvloedkering (oktober 2021) [ref. 2]



2.1.1 Waterveiligheidskader

De stormvloedkering bestaat uit een enkele verticale hefschuif. Er is geen tweede keermiddel aanwezig. Het regelwerk heeft geen functie voor de waterveiligheid.

Het type constructie en de betrouwbaarheid van sluiten van deze constructie bepalen met welke zekerheid het waterpeil in het beleeftmeer kan worden vastgesteld. Hiermee heeft de betrouwbaarheid van sluiten van de constructie grote invloed op de ontwerphoogte van de ringdijk rondom het beleeftmeer. Overige faalmechanismen (hoogte van het kunstwerk) zullen niet leiden tot significante inlaat in het beleeftmeer, het effect hiervan is verwaarloosbaar.

2.1.2 Faalkanseis betrouwbaarheid sluiten

De faalkanseis voor betrouwbaarheid sluiten van de stormvloedkering is vastgesteld op 1/250.000 per jaar [ref. 1]. Hierbij is uitgegaan van:

- de ondergrens van de faalkans van het dijktraject (6 - 4), namelijk 1/1.000 per jaar;
- een faalkansruimtefactor van 4 %, conform de standaard faalkansverdeling voor het faalmechanisme Betrouwbaarheid sluiten kunstwerk (BSKW);
- een lengte-effectfactor van (N_{dsn}) van 10^1 . Dit gaat uit van in totaal 20 kunstwerken in het dijktraject waarvan de faalkans niet verwaarloosbaar klein is [ref. 3, vergelijking 18.1].

Het vaststellen van de benodigde waterveiligheidseis van de stormvloedkering in samenspraak met het Wetterskip Fryslân is als advies opgenomen voor het vervolg van de uitwerking van de ringdijk en stormvloedkering, zie hoofdstuk 4 (advies #1).

¹ De lengte-effectfactor is het fenomeen waarbij de totale faalkans voor een faalmechanisme binnen een normtraject groter wordt naarmate het aantal kunstwerken toeneemt. De individuele faalkanseis per kunstwerk wordt hierdoor strenger.

2.1.3 Faalkans stormvloedkering

Op basis van scoretabelen is de kans op falen van de stormvloedkering vastgesteld op 1/2.965 per sluitvraag. Het falen van een sluitpoging kan door verschillende oorzaken komen, namelijk falen van alarmering, mobilisatie, bediening of techniek. Het meest bepalend voor de faalkans van de stormvloedkering is technisch falen. De belangrijkste uitgangspunten hierbij en de faalkans per sluitvraag zijn gegeven in tabel 3.

Tabel 3 Uitgangspunten betrouwbaarheid sluiten stormvloedkering

	Uitgangspunt	Faalkans per sluitvraag
mobilisatie en bedieningsprotocol	protocol is goed op orde en wordt jaarlijks geoefend, waardoor de faalkansbijdrage van niet sluiten door ontbreken van mobilisatie of bediening klein is. Het naleven van deze protocollen vergt wel een inspanningsverplichting van de beheerder van de stormvloedkering	1 / 100.000
alarmering	jaarlijks contact gehouden met Rijkswaterstaat en is er een tweede methode voor hoogwateralarmering	1 / 1.000.000
technisch falen	hierbij wordt uitgegaan van goed onderhoud, jaarlijks meermaals controle, een jaarlijkse proefsluiting en een tweede aandrijfsysteem voor sluiting	1 / 3.164

Er is geen tweede keermiddel aanwezig. In geval van het falen van een sluitpoging is het mogelijk dat met noodherstelmaatregelen de kering alsnog wordt gesloten. De kans is ingeschat op 90 %, overwegende dat [ref. 1]:

- de stormvloedkering kan vroegtijdig gesloten worden, bij falen sluiting is voldoende tijd beschikbaar voor een herstel-poging;
- de schuif kan sluiten op eigen gewicht. Bij het invullen van de scoretabel is rekening gehouden met 'gecontroleerd sluiten op eigen gewicht'. Als laatste redmiddel kan ook geremd gesloten worden op eigen gewicht.

De combinatie van een faalkans van 1/2.965 per sluitvraag en een kans op herstel van 90 %, leidt tot een faalkans per sluitvraag zonder herstel van 1/29.653 per sluitvraag.

Het toevoegen van een tweede onafhankelijk keermiddel verkleint de kans op technisch falen, waardoor de faalkans conform de scoretabelen afneemt naar 1/12.948 per sluitvraag en 1/129.479 per sluitvraag zonder herstel. Ook andere ontwerpkeuzes, zoals het handmatig dicht kunnen zetten van de kering en een nadere beschouwing van 'merkbaar falen' kunnen de faalkans per sluitvraag verkleinen.

2.1.4 Faalkans stormvloedkering i.r.t. hoogte ringdijk

Met vergelijking 4.5 uit Werkwijzer Ontwerp Waterkerende Kunstwerken (WOWK) [ref. 8] is bepaald welke kans het overschrijden van het kombergend vermogen van het beleefmeer mag hebben.

$$P_{eis,dsn,bs} = P_{open} \cdot P_{ns} \cdot P_{f,herstel} \cdot P(\min(Z_{ns1}; Z_{ns3}) < 0)$$

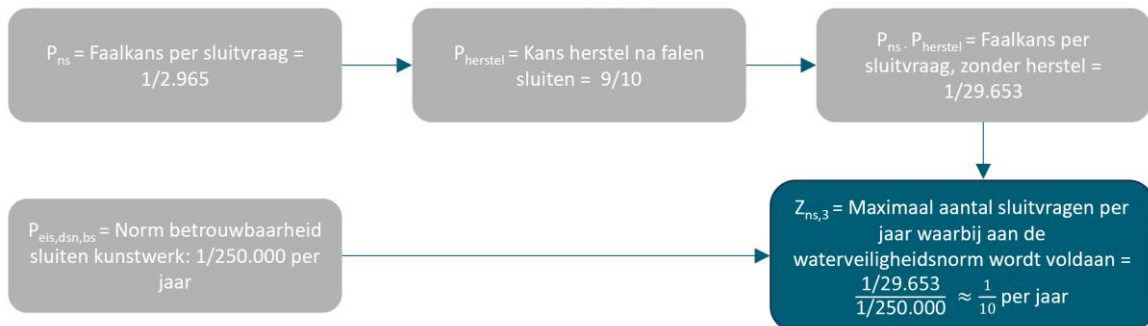
In deze vergelijking zijn onderstaande variabelen van belang:

$P_{eis,dsn,bs}$	=	De norm van de stormvloedkering voor betrouwbaarheid sluiten (1/250.000 per jaar);
$P_{ns} \cdot P_{f,herstel}$	=	De kans op falen van sluiting bij sluitvraag, zonder herstel (1/29.653 per sluitvraag);
$Z_{ns,3}$	=	De benodigde sluitfrequentie, ook wel grenstoestandfunctie. Dit is de

$Z_{ns,1}$ = kans op overschrijden van het kombergend vermogen van het beleefmeer. Deze waarde is bepaald met bovenstaande vergelijking.
 Grenstoestandfunctie, kans op bezwijken bodembescherming, nu aangenomen op 0 om de grenstoestandfunctie van het overschrijden van het kombergend debiet te bepalen.
 P_{open} = Kans op open kering bij een sluitvraag (1, 100 %).

Uitwerking van deze formule is geïllustreerd in afbeelding 5. Hieruit volgt dat de ringdijk rondom het beleefmeer waterstanden gelijk aan ééns per 10 jaar moet kunnen keren, zodat sluiten van de stormvloedkering in deze gevallen niet nodig is.

Afbeelding 5 Betrouwbaarheid sluiten stormvloedkering



2.2 Klimaatscenario's en zichtjaren

In het ontwerp wordt uitgegaan van verschillende klimaatscenario's voor verschillende onderdelen. Namelijk klimaatscenario G (gematigd) voor vervangbare onderdelen en klimaatscenario W+ (warm) voor niet vervangbare onderdelen. De schuif van de stormvloedkering wordt hierbij gezien als niet vervangbaar. In tabel 4 zijn voor verschillende frequenties de waterstanden uitgerekend voor de klimaatscenario's W+ en G.

Tabel 4 Waterstandsstatistiek voor hydraulisch uitvoerpunt WZ_1_6-4_dk_00056

Herhalingsfrequentie [1/jaar]	Waterstand [m + NAP]				
	2023	2050 G ¹⁾	2050 W+ ²⁾	2100 G ²⁾	2100 W+ ³⁾
1 / 1	2,69	2,74	2,94	2,94	3,44
1 / 2	2,93	2,98	3,18	3,18	3,68
1 / 3	3,06	3,11	3,31	3,31	3,81
1 / 5	3,22	3,26	3,46	3,46	3,94
1 / 10	3,42	3,46	3,66	3,66	4,16
1 / 20	3,61	3,65	3,85	3,85	4,35
1 / 50	3,85	3,89	4,09	4,09	4,59
1 / 100	4,02	4,06	4,26	4,26	4,76

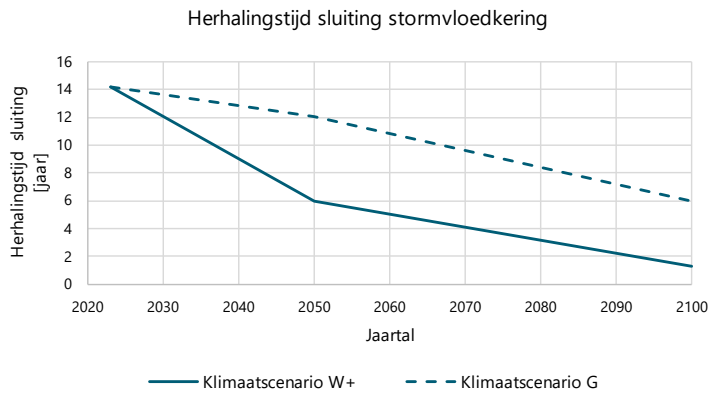
¹⁾ Circa 5 cm stijging t.o.v. 2023.

²⁾ Circa 25 cm stijging t.o.v. 2023.

³⁾ Circa 75 cm stijging t.o.v. 2023.

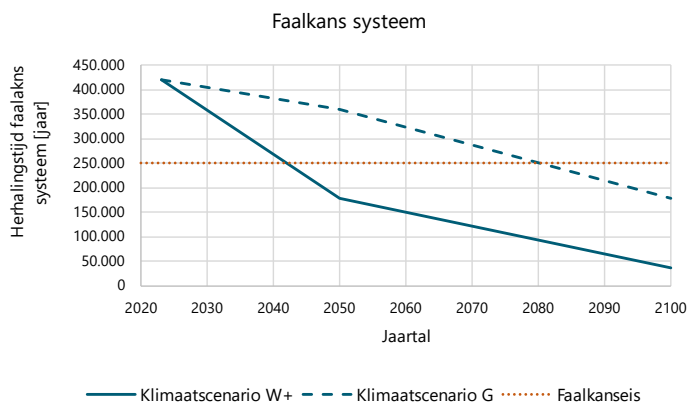
De verhoging van de waterstand als gevolg van de zeespiegelstijging heeft effect op de sluitfrequentie van de stormvloedkering. Naarmate de zeespiegel hoger wordt, zal de kering vaker moeten sluiten om overschrijding van het kritieke waterpeil in het beleefmeer te voorkomen. Illustratief is dit weergegeven in afbeelding 6. Hierbij is uitgegaan van een benodigde sluiting bij een waterstandsniveau van NAP +3,50 m. Dit is 0,16 m lager dan de voorgenomen ontwerphoogte van de ringdijk.

Afbeelding 6 Sluitfrequentie stormvloedkering per klimaatscenario



Uit afbeelding 7 volgt dat in loop van tijd het kunstwerk steeds vaker zal moeten sluiten, afhankelijk van het maatgevende klimaatscenario en bijhorende zeespiegelstijging. Vanaf een bepaald zichtjaar zal de stormvloedkering dusdanig vaak moet sluiten dat de benodigde waterveiligheidseis niet meer gehaald wordt. Met de huidige uitgangspunten zal dit voor klimaatscenario W+ al in 2042 het geval zijn, terwijl voor klimaatscenario G dit pas in het jaar 2080 aan de orde is.

Afbeelding 7 Faalkans systeem per klimaatscenario



Als de benodigde waterveiligheidseis niet meer wordt gehaald dient de ringdijk rondom het beleefmeer te worden opgehoogd of dient de betrouwbaarheid van het kunstwerk te worden verhoogd.

Het vaststellen van een toekomststrategie i.r.t. de verschillende klimaatscenario's is opgenomen als advies voor het vervolg van de uitwerking van de ringdijk en stormvloedkering, zie hoofdstuk 4 (advies #3).

Nieuwe klimaatscenario's KNMI

Er zijn in oktober 2023 nieuwe klimaatscenario's uitgebracht door het KNMI. Deze klimaatscenario's zijn niet in de hydraulische modellen verwerkt. Vanwege andere naamgeving van de klimaatscenario's en andere zichtjaren van zeespiegelstijging zijn deze niet één op één te vergelijken met de vorige klimaatscenario's uit 2014. De tendens is, met name voor lange termijnprojecties, dat de zeespiegelstijging versnelt en hiermee hoger uitvalt dan in de vorige klimaatscenario's [ref. 7].

2.3 Hoogte ringdijk t.o.v. buitenwaterstand

De hoogte van de ringdijk is in het VKA op NAP +3,66 m is vastgesteld. Hierbij is uitgaande van zichtjaar 2070 en een sluitfrequentie van 1/10 jaar [ref. 4]. Op basis van klimaatscenario G en lineaire interpolatie geldt voor 2070 een buitenwaterstand van NAP +3,54 m. Dit is gelijk aan de waterstand in het beleefmeer. Dit betekent dat een overhoogte van de ringdijk van 0,12 m toegepast is. In de gevoeligheidsanalyse van de vergroting van komberging [ref. 4] wordt constant uitgegaan van een hoogte van de ringdijk die 30 centimeter hoger is dan de waterstand in de buitenwaterstand en daarmee eveneens de waterstand in het beleefmeer [ref. 4], dit is meer dan de overhoogte van 0,12 m.

Invloed windopzet in beleefmeer

Bij maatgevende condities (1/10 jaar) is per definitie sprake van noordwester storm. In tabel 5 zijn indicatief een aantal golfhoogteberekeningen uitgevoerd. Hierbij is uitgegaan van een gemiddelde diepte van het beleefmeer van NAP -1,00 m en een hoogwater van circa NAP +3,30 m. Overslagberekeningen zijn noodzakelijk om te kijken welke overslaggebieden er verwacht kunnen worden.

Tabel 5 Golfhoogte i.r.t. waterdiepte en windsnelheid. N.b. de golfhoogte is de afstand tussen dal en top van een golf. Daarmee heeft dit een andere referentie dan de overhoogte (waterstand beleefmeer)

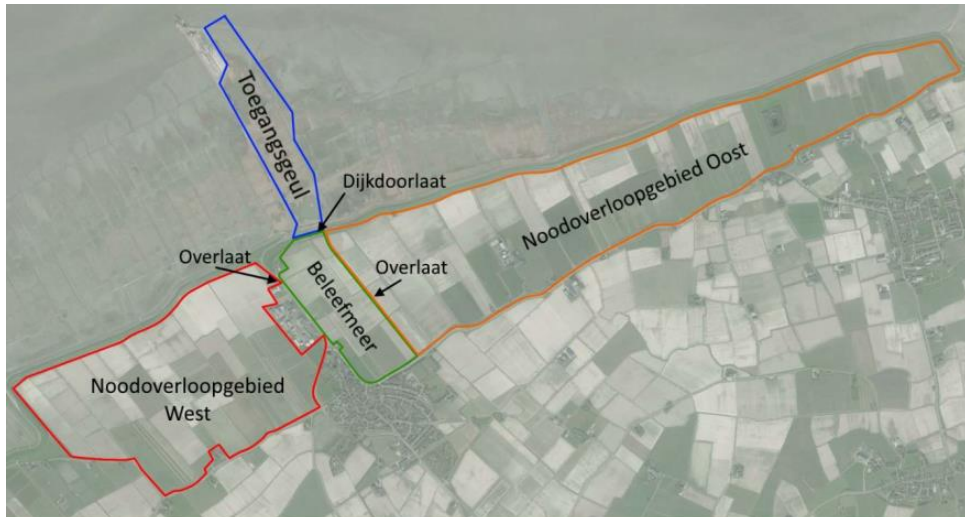
Waterdiepte [m]	Strijklengte [m]	Windsnelheid [m/s] (bft)	Golfhoogte [m]	Piekperiode [s]
4,3	1.200	30 (11 beaufort)	0,83	3,30
2,0	1.200	30 (11 beaufort)	0,66	3,09
4,3	1.200	22 (9 beaufort)	0,60	2,86
2,0	1.200	22 (9 beaufort)	0,51	2,70

In een later stadium dient de overhoogte van de dijk t.o.v. de waterstand in het beleefmeer nader te worden ontworpen. Hieronder valt evt. ook het toepassen van golfreducerende maatregelen zoals flauwe taluds en lokale hoogtes in het beleefmeer. Zie ook hoofdstuk 4 (advies #5).

2.4 Komberging overloopgebieden

Het huidige beleefmeer is dusdanig klein dat de waterstand in het beleefmeer gelijk is aan de waterstand op de Waddenzee. Wanneer er een overlaat gecreëerd wordt naar een noodoverloopgebied zal dit niet meer het geval zijn. Hiervoor zijn in 2022 twee gebieden onderzocht aan de oost- en westzijde van het beleefmeer. Hierbij is uitgegaan van een hoogte van de overlaat op een niveau van NAP +1,80 m. Hierbij is rekening gehouden met het feit dat het niveau van de overlaten naar het overloopgebied niet lager mag zijn dan het normale hoogwaterniveau in 2100 (NAP +1,74 m).

Afbeelding 8 Analyse met noodoverloopgebieden



Het toepassen van de noodoverloopgebieden heeft als gevolg dat de waterstanden in het beleefmeer lager zijn dan de piekwaterstand op de Waddenzee, zie tabel 6.

In deze tabel is uitgegaan van de huidige doorstroombreedte van 10 meter. Indien de doorstroombreedte versmald wordt naar 6 meter blijft de instroom beperkt wat resulteert in een lagere waterstand in het beleefmeer en daarmee een lagere benodigde ringdijkhoogte.

Tabel 6 Waterstanden in het beleefmeer bij inzet overloopgebieden [ref. 4]

Scenario	Waterstand Waddenzee [m + NAP]	Waterstand beleefmeer 10m doorstroombreedte [m + NAP]	Waterstand beleefmeer 6m doorstroombreedte [m + NAP]
1/1 per jaar, 2100	3,54	2,76	2,50
1/10 per jaar, 2100	4,16	3,24	2,60
1/100 per jaar, 2100	4,72	3,73	3,00

2.5 Vergelijking project Holwerd aan Zee en Waterdunen

In de provincie Zeeland is onlangs getijdennatuurgebied aangelegd, Waterdunen. Hier is eveneens een doorvoer door de dijk gemaakt in de vorm van een getijdenduiker. Deze getijdenduiker bestaat uit 4 duikers/kokers, waarvan er drie worden gebruikt voor getijdenstroming (in en uit) en één voor de afvoer van overtollig polderwater. Door schuiven in de kokers kan de in- en uitstroom gereguleerd worden.

Deze getijdenduiker (in gebruik genomen in 2019) in het gebied Waterdunen voldeed niet aan waterveiligheidseisen betrouwbaarheid sluiten, waarna er door Royal HaskoningDHV eind 2020 een systeemanalyse is gedaan [ref. 5]. De systeemoptimalisaties die door Royal Haskoning zijn voorgesteld om de doorvoer weer te laten voldoen aan de waterveiligheidseisen hebben betrekking op het reduceren van de wrijvingsweerstand en de hydraulische installatie te verzwaren.

Relatie tot Holwerd aan Zee

De doorvoer en sluitmechanismen zoals bij Waterdunen zijn dusdanig verschillend dat de optimalisaties niet direct kunnen worden gerelateerd aan Holwerd aan Zee. Namelijk:

- het watersysteem in Waterdunen met de vier doorvoeren is zeer gedempt ten opzichte van de getijdenwaterstand op de Westerschelde. Het falen van de duikers heeft slechts beperkt effect op deze demping. In Holwerd aan Zee is de waterstand in het beleefmeer bij falen van een sluitpoging (nagenoeg) gelijk aan de buitenwaterstand;
- de faalkans van de getijdenduiker in Waterdunen doorsnedeniveau is 1/7.500 per jaar, mede vanwege de lage ondergrens van het dijktraject (1/300 per jaar, landelijk bepaald) en slechts één ander kunstwerk in het traject (andere lengte-effectfactor, zie 2.1.2). Dit is significant lager dan de 1/250.000 per jaar die nu voor Holwerd aan Zee aangenomen is.

Wel kan worden meegenomen dat:

- technische optimalisaties kunnen leiden tot verbetering van de faalkans voor betrouwbaarheid sluiten. Ook bij Holwerd aan Zee vormt technisch falen het grootste risico tot niet sluiten van de stormvloedkering. Middels het toevoegen van bijv. een tweede keermiddel verkleint het risico op technisch falen;
- een kleine doorvoer in relatie tot het binnenwater leidt tot demping en heeft daarmee een gunstig effect op de hoogte van de ringdijk. Vanuit andere perspectieven dan waterveiligheid is echter voor Holwerd aan Zee een brede doorstroomopening gewenst, om voldoende getijslag te krijgen;
- bij meerdere doorvoeren kan het gevolg van het falen van één van de keermiddelen relatief beperkt blijven. Echter is het beleefmeer relatief klein ten opzichte van de doorvoeropening waardoor dit minder interessant is voor Holwerd aan Zee. Daarbij is een dergelijke variant met spuikokers (met meerdere doorvoeren) afgevallen in de variantenafweging;
- een andere lengte-effectfactor significant verschil kan maken (zie ook hoofdstuk 4, advies #1).

3 DRAAIKNOPPEN

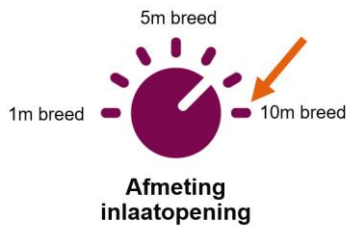
In het huidige ontwerp is rondom het beleefmeer is een ringdijk opgenomen waarbij wordt uitgegaan van een kruinhoogte van NAP +3,66 m. De hoogte van de ringdijk heeft impact op de verbinding tussen het dorp Holwerd en de beleving van het meer. Tijdens een werksessie [ref. 6] met verschillende experts is onderzocht wat de mogelijkheden zijn om de hoogte van de ringdijk te kunnen verlagen. Belangrijkste conclusie is dat de hoogte van de ringdijk wordt bepaald door de faalkans van de stormvloedkering in de primaire kering. Oftewel, de kans dat stormvloedkering niet sluit bij aankomend hoogwater. Tijdens deze sessie zijn drie belangrijke draaiknoppen geformuleerd, namelijk:

- 1 breedte inlaatopening;
- 2 betrouwbaarheid stormvloedkering;
- 3 extra komberging

3.1 Breedte inlaatopening

Het ontwerpuitgangspunt van de inlaatopening is een breedte van 10 meter. Vanuit waterveiligheid zou een kleinere inlaatopening gunstiger zijn. Bij een kleinere opening zal er namelijk minder watervolume het beleefmeer instromen bij falen van de stormvloedkering. Oftewel, bij een grotere opening is er sprake van meer instroming wat resulteert in hogere waterstanden in het beleefmeer. Gegeven het feit dat de inlaat van de stormvloedkering meerdere functies kent, zoals het vullen van het meer, doorspoelen van de geul en vismigratie, is de doorstroomopening bepaald op basis van een optimum tussen deze verschillende functies. Het verkleinen van de inlaatopening zal voor de andere functies waarschijnlijk leiden tot een minder optimale situatie. Daarnaast heeft deze oplossing geen effect als de afmeting van de dijkdoorgang slechts beperkt afneemt; ook bij afmeting van de dijkdoorgang van 6 meter zal de waterstand in het beleefmeer gelijk zijn aan de buitenwaterstand in de Waddenzee. Enkel bij het toepassen van een overlaat naar

noodoverloopgebieden en/of het een nog kleinere doorstroombopening dan 6 meter zal de breedte van de inlaatopening effect hebben op de waterstand in het beleeftmeer.



3.2 Betrouwbaarheid stormvloedkering

Door maatregelen aan de stormvloedkering zelf kan ook de kans worden verkleind dat de kering niet sluit. Hierbij valt te denken aan bijvoorbeeld het toevoegen van een extra schuif, of door de kleppen van het regelwerk te laten meetellen als primaire kering. Dit laatste is vooralsnog niet het geval aangezien het regelwerk is losgekoppeld van de stormvloedkering.

Een tweede onafhankelijke keermiddel zorgt, conform de gehanteerde scoreformulieren, voor een toename van de betrouwbaarheid van circa een factor 4. Een eerste inschatting is dat dit tot leidt tot 30 à 40 cm verlaging van de ringdijk. In plaats van dimensionering op een 1/10 jaar waterstand is het vanuit betrouwbaarheid sluiting binnen de norm acceptabel dat de stormvloedkering elke 2 à 3 jaar sluit. Een tweede onafhankelijk keermiddel vraagt wel om aanpassing van de stormvloedkering waarbij zal moeten worden onderzocht hoe dit inpasbaar is. Het regelwerk onderdeel laten zijn van de stormvloedkering (i.c.m. tweede onafhankelijk keermiddel) lijkt in de praktijk niet realistisch om in te passen, o.a. vanwege het verschil in betrouwbaarheidseisen, maatgevende belastingen en functie. Er zijn daarbij geen voorbeelden in de praktijk bekend waar dit wel is toegepast.

Het nader detailleren van de effecten van deze draaiknop, en het maken van een besluit voor deze draaiknop is ook opgenomen als advies voor het vervolg van de uitwerking van de ringdijk en stormvloedkering, zie hoofdstuk 4 (advies #4).

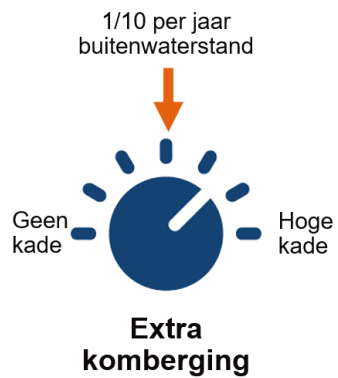


3.3 Extra komberging

In het huidige ontwerp is rondom het getijdenmeer een ringdijk opgenomen met een kruinhoogte van NAP+3,66 m. Dit heeft impact op de verbinding van het dorp Holwerd met het meer en de beleving van het meer.

Door over een groter gebied water te bergen in het geval van falen van de stormvloedkering, zal de waterstand in het meer minder hoog worden en is daarmee ook een minder hoge ringdijk nodig. Dit kan worden gedaan door in de ringdijk een overloop te creëren naar de Oostpolder en/of de Westpolder.

Verwachting is dat de ringdijk hierdoor tot circa 1 meter lager kan worden. In een dergelijke situatie zou er zout water vanuit het getijdenmeer naar de omliggende polders lopen.



Het nader detailleren van het effect van deze draaiknop en het maken van een besluit hierover is ook opgenomen als advies voor het vervolg van de uitwerking van de ringdijk en stormvloedkering, zie hoofdstuk 4 (advies #2).

4 ADVIES

Op basis van ontwerprandvoorwaarden uit hoofdstuk 2 en de draaiknoppen uit hoofdstuk 3, worden de volgende punten geadviseerd om de hoogte van de ringdijk vast te stellen en waar mogelijk te verlagen.

- 1 **Faalkanseis van de stormvloedkering vaststellen.** Bij het opstellen van de faalkanseis voor betrouwbaarheid sluiten van de stormvloedkering is een conservatief uitgangspunt gehanteerd m.b.t. het aantal kunstwerken in het dijktraject. Hier is uitgegaan van 20 kustwerken, terwijl de stormvloedkering het enige kunstwerk in het traject is waarvan de faalkans niet verwaarloosbaar klein is. Ook met een lagere faalkanseis kan daarom binnen de faalkansruimte van betrouwbaarheid sluiten voor het traject worden gebleven.

Desalniettemin zorgt de toevoeging van een afsluitbaar kunstwerk voor verslechtering van de waterveiligheid. Geadviseerd wordt om, gezamenlijk met het Wetterskip Fryslân, af te stemmen welke faalkans voor de stormvloedkering toelaatbaar is.

Een versoepeling naar een norm van 1/25.000^e per jaar (factor 10) heeft als gevolg dat de ringdijk circa 70 cm verlaagd kan worden. Immers, in plaats van dimensioneren op een ééns per 10 jaar waterstand mag de stormvloedkering nu elk jaar sluiten, zonder dat de normen m.b.t. waterveiligheid in het geding komen.

Voor meer informatie over de faalkanseis van het kunstwerk, zie ook paragraaf 2.1.2.

- 2 **Een beslissing over de inzet van de overloopgebieden maken i.c.m. de dimensionering van de overloop.** Deze maatregel heeft een relatief groot effect op de benodigde hoogte van de ringdijk, maar heeft ook andere gevolgen:

- 1 De huidig voorgestelde hoogte van de overloop op NAP +1,8 m zal de stormvloedkering veel vaker moeten sluiten om inzet van de overloopgebieden te voorkomen. Ter illustratie, de jaarlijkse waterstand in de huidige situatie is circa NAP +2,7 m. Het gaat dus om meerdere (naar verwachting tientallen) sluitingen per jaar. Als gevolg van zeespiegelstijging zal deze frequentie toenemen.

Een andere optie is om de stormvloedkering niet aanvullend te sluiten en de overloopgebieden vaker in te zetten. Hierin is een afweging te maken om de stormvloedkering vaker te sluiten of de overloopgebieden vaker in te zetten.

Daarnaast is het mogelijk om de overloop hoger dan NAP +1,8 m te dimensioneren, zodat de overloopgebieden minder vaak hoeven te worden ingezet. De breedte van de overloop zal als gevolg hiervan mogelijk moeten toenemen om voor voldoende debiet naar de overloopgebieden te zorgen.

- 2 Dit heeft ook als gevolg dat de kans waarop de overloopgebieden moeten worden ingezet groter is dan de eerdergenoemde 1/250.000 per jaar. De faalkans per sluitvraag is 1/29.653. Bij 10 sluitvragen per jaar (geschatte inzet bij overloop op NAP +1,8 m) ligt de kans op inzet van de noodoverloopgebieden op circa 1/3.000 per jaar. Bij het toepassen van een hogere overloop, bijvoorbeeld op circa NAP +3,0 m, is er maximaal één sluitvraag per jaar en ligt de kans op inzet van de noodoverloopgebieden op ongeveer eens per 1/30.000 jaar. Ter vergelijking, de faalkanseis voor hoogte waarbij zeewater over de huidige primaire kering loopt is 1/12.500 per jaar ¹.
- 3 Daarnaast stelt het inzetten van het overloopgebieden ook eisen aan de een toekomstige waterkering aan de zuidzijde van het overloopgebied. Dit is een oude zeekering (categorie C-kering), waarvan het waterkerend vermogen niet gegarandeerd kan worden.

De inzet van de overloopgebieden is beschreven in paragraaf 2.4 en paragraaf 3.3.

¹ Dit betreft de faalkanseis op doorsnedeniveau behorend bij het faalmechanisme overloop en golfoverslag (hoogte). Uitgaande van de standaard faalkansbegroting en een kritiek overslagdebiet van 10 l/s per strekkende meter dijk.

- 3 **Uitgangspunten vaststellen over toekomstbestendigheid en beheerbaarheid.** Er zijn verschillende mogelijkheden om het systeem op langere termijn waterveilig te houden. Er zit daarnaast ook veel onzekerheid in de klimaatscenario's en de daaruit voorkomende toekomstige zeespiegelstijging. Echter dient in alle gevallen er wel een robuust systeem te zijn, voor verschillende klimaatscenario's kan er een lange termijnvisie worden geformuleerd over toekomstige maatregelen. Dit zijn o.a. het ophogen van de ringdijk van het beleafmeer of het verlagen faalkans per sluitvraag van de stormvloedkering. Zie ook paragraaf 2.2 over het effect van de verschillende klimaatscenario's op de sluitfrequentie van de stormvloedkering.
- 4 **Een beslissing maken over het toevoegen van een tweede (onafhankelijk) keermiddel.** Een tweede keermiddel zal de faalkans van de stormvloedkering verlagen, waardoor de ringdijk ook verlaagd kan worden. Mogelijk kan de functie van het regelwerk gecombineerd worden met dit tweede onafhankelijke keermiddel. Dit zal ongeveer leiden tot een 0,4 m lagere ringdijk, zie paragraaf 3.2.
- 5 **In de huidige situatie is de een aanname over een te hanteren overhoogte voldoende.** In een later stadium kan echter blijken dat de huidige aanname (overhoogte van 0,15 m t.o.v. waterstand beleafmeer) te optimistisch is. Mogelijk is er meer overhoogte nodig. Het effect op de hoogte van de ringdijk is relatief beperkt t.o.v. de overige optimalisaties, maar dient wel verder ontworpen te worden. Zie ook paragraaf 2.3 voor meer informatie hierover.

Tabel 7 Effecten van de optimalisaties ten aanzien van hoogte ringdijk beleafmeer. Let op: De effecten van verschillende optimalisaties zijn niet lineair bij elkaar op te tellen. Een positieve waarde staat voor een mogelijke verhoging van de ringdijk, een negatieve voor een verlaging

Optimalisatie	Mogelijk effect op hoogte ringdijk	Toelichting
1 vaststellen faalkanseis stormvloedkering	0,0 tot -0,7 m	een maximaal factor 10 lichtere norm leidt tot een +- 0,7 m lagere ringdijk
2 inzet overloopgebieden	0,0 tot -1,0 m	schatting op basis van effect van een overlaat op de waterstand in het beleafmeer
3 bepaling effect nieuwe klimaatscenario's	0,0 tot + 0,5 m	nieuwe klimaatscenario's toetsen
4 toevoegen tweede keermiddel	circa - 0,4 m	het toevoegen van een tweede onafhankelijk keermiddel
5 dimensionering ringdijk onderbouwen	0,0 tot + 0,2 m	de huidige overhoogte t.o.v. het beleafmeer +- 0,15m is beperkt. Mogelijk is er meer overhoogte nodig

5 REFERENTIES

- Ref. 1 Arcadis (2021). Holwerd aan Zee - een waterveilig gat in de dijk. Technische onderbouwing. D.d. 15 november 2021. Referentie: D10035564:930.
- Ref. 2 Arcadis (2022). Regelwerk voor natuurlijke geul. Provincie Fryslân. D.d. 11 november 2022. Versie 0.1. Referentienummer onbekend.
- Ref. 3 Ministerie van Infrastructuur en Milieu. Bijlage III WBI 2017 - Sterkte en veiligheid.
- Ref. 4 Arcadis (2022). Verkenning vergroting komberging Holwerd aan Zee. Referentie: D10058436:9. D.d. 20 okt 2022.
- Ref. 5 Royal HaskoningDHV (2020), Rapport Waterdunen veilig en functioneel. Referentie: T&PBG8389-103-100/R001F0.2. Datum 10 december 2020.
- Ref. 6 Wing (2022), Notitie van bevindingen n.a.v. optimalisaties -arceringen ringdijk. D.d. 15 juni 2022.
- Ref. 7 <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/knmi-23-klimaatsscenario-s>, geraadpleegd op 15 december 2023.
- Ref. 8 Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. Werkwijzer Ontwerp Waterkerende Kunstwerken (WOWK. Definitief - groene versie. D.d. 1 november 2018.