

Kennisprogramma Zeespiegelstijging, spoor II

# **Systeemanalyse waterveiligheid**

## **Deelrapport Harde waterkeringen Kust Hoofdrapport**

# **Systeemanalyse waterveiligheid**

## **Deelrapportage Harde waterkeringen Kust**

Kennisprogramma Zeespiegelstijging – Spoor II - Systeemverkenningen

Datum	30 mei 2023
Versie	V1.0
Status	Definitief

## Colofon

Deze publicatie maakt deel uit van het **Kennisprogramma Zeespiegelstijging**, een initiatief van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en de deltacommissaris. Het programma levert kennis op over de gevolgen van zeespiegelstijging en hoe Nederland daarmee kan omgaan. Deze kennis wordt gebruikt bij de herijking van het Deltaprogramma in 2026.

Meer informatie over het kennisprogramma en een overzicht van alle publicaties staat op [kennisprogrammazeespiegelstijging.nl](https://kennisprogrammazeespiegelstijging.nl).

Uitgegeven door Kennisprogramma Zeespiegelstijging- Spoor 2  
In opdracht van Rijkswaterstaat WVL  
Auteurs Marit Zethof (HKV), Maarten Jansen (Witteveen+Bos), Bert van den Berg (Witteveen+Bos), David Knops (HKV) en Jan Stijnen (HKV)

Informatie  
Functie  
Telefoon  
E-mail

Datum mei 2023  
Versie 1.0  
Status Definitief

### Versiebeheer

0.1	30 januari	80% rapportage
0.2	17 februari	Reviewcommentaar RWS
0.3	13 april	99% rapportage
0.4	20 april	Reviewcommentaar RWS
0.5	5 mei	100% rapportage
1.0	30 mei	Publicatieversie



Rijkswaterstaat  
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat



## Samenvatting

### Achtergrond

Binnen het Kennisprogramma Zeespiegelstijging (KP ZSS) wordt kennis ontwikkeld om op een beter onderbouwde manier om te kunnen gaan met een onzekere zeespiegelstijging in de toekomst. Het Kennisprogramma loopt van 2019 tot 2025 en dient de kennisleemten ten aanzien van de gevolgen van extreme zeespiegelstijging op het huidige waterbeleid te verkleinen. De inzichten uit het Kennisprogramma worden onder andere gebruikt voor de 6-jaarlijkse herijking van het Deltaprogramma in 2026 (DP 2027). Binnen het programma wordt kennis via vijf sporen ontwikkeld. In spoor II (Systeemverkenningen) worden langs drie thema's verkenningen gedaan naar de houdbaarheid en oprekbaarheid van de huidige voorkeursstrategieën van het Deltaprogramma, te weten waterveiligheid, de zandige kust en zoetwater.

Eén van de onderzoeken van spoor II is het uitvoeren van een Systeemanalyse Waterveiligheid. Met deze Systeemanalyse Waterveiligheid willen Rijkswaterstaat en het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat meer inzicht krijgen in de eerste orde effecten van verschillende mate van zeespiegelstijging tot 5 m op het hoofdwatersysteem en de primaire waterkeringen in Nederland. Het KP ZSS gebruikt de resultaten van deze studie om samen met de regio's van het Deltaprogramma de impact van zeespiegelstijging op verschillende functies in beeld te brengen en daarmee de houdbaarheid van een voorkeurstrategie te duiden. Daarnaast worden eventuele oprekmogelijkheden verkend die mogelijk de impact van zeespiegelstijging op het hoofdwatersysteem, of de functies, kunnen verkleinen.

### Aanpak op hoofdlijnen

Een stijgende zeespiegel heeft direct invloed op de hydraulische belastingen op de (primaire) waterkeringen doordat waterstanden en golven toenemen. Indirect zijn er ook consequenties, omdat bijvoorbeeld spuiomogelijkheden onder vrij verval vanuit regionale systemen naar het hoofdwatersysteem en van daaruit naar zee wijzigen. Door grotere hydraulische belastingen is versterking van de waterkeringen nodig om aan de vereiste (wettelijke) overstromingskans te voldoen. Binnen de studie is onderzoek verricht naar de invloed van zeespiegelstijging op de hydraulische belastingen en de doorwerking daarvan op de overstromingskans. Vervolgens is in beeld gebracht hoe deze wijzigingen doorwerken op de te verwachten versterkingsopgave van de primaire waterkeringen. Daarbij is aanvullend naar de benodigde kosten en de ruimtelijke knelpunten gekeken. Tot slot is een groot aantal gevoeligheidsanalyses uitgevoerd om een beeld te krijgen van een aantal mogelijke kansrijke oprekmogelijkheden van de huidige inrichting van het watersysteem.

### Scope harde waterkeringen kust en zandige waterkeringen Kust

Deze rapportage gaat specifiek over het deelgebied Kust: harde waterkeringen en zandige waterkeringen langs de kust en het Sluizencomplex bij IJmuiden. Het deelgebied kust beslaat alle dijken, duinen en dammen grenzend aan de Noordzee<sup>1</sup>. Voor het gebied Noordzee/Westerschelde geldt dat het gebied zeewaarts van de lijn Breskens – Vlissingen onder het deelgebied kust valt. Voor de Waddeneilanden geldt dat alleen de duintrajecten langs de Noordzee onderdeel zijn van het deelgebied Kust en de dijktrajecten langs de Waddenzee zijn onderdeel van deelgebied Wadden en Eems-Dollard.

---

<sup>1</sup> Specifiek voor traject 20-1 zijn de zandige waterkeringen onderdeel van het deelgebied Kust en de dijken zijn onderdeel van de scope van de Rijn-Maasmonding, net als de Maeslantkering en de Haringvlietdam. De Oosterscheldekring wordt door RWS Zee en Delta vanwege de complexiteit komend jaar beoordeeld in een separate studie.

Onder harde waterkeringen kust wordt verstaan: de bolwerken (zeeweringen opgebouwd uit constructieve elementen) en overige harde waterkeringen langs de kust. De Systeemanalyse Waterveiligheid Zandige waterkeringen kust, Veerse Gatdam, Flauwe Werk en de Brouwersdam zijn uitgevoerd door Rijkswaterstaat ([RWS,2023b], [RWS,2022e], [RWS,2022f] en [RWS,2022g]). De resultaten van deze studies zijn samengevat en geïntegreerd met de resultaten voor de overige harde waterkeringen langs de Kust in voorliggende rapportage.

### **Effecten op hydraulische belastingen**

De huidige voorkeursstrategie van het regionale Deltaprogramma Kust is om de Basiskustlijn (BKL) te handhaven en het kustfundament te laten meegroeien met zeespiegelstijging. Daarmee is ook voorzien om bij zeespiegelstijging de basiskustlijn te in stand te houden door een volledig meegroeiende Noordzeebodem. De doorwerking van de zeespiegelstijging op de waterstanden om aan de normen te voldoen is gelijk langs de hele Kust. Een toename van de zeespiegel werkt grofweg 1-op-1 door op de waterstanden onder maatgevende condities. Omdat bij het huidige beleid de bodem van de Noordzee volledig meegroeit met de zeespiegel, geldt dit ook voor de minimaal benodigde kruinhoogten van de waterkeringen.

### **Resultaten opgave**

De stijging van de zeespiegel zorgt voor een waterveiligheidsopgave. Voor de zandige waterkeringen langs de kust is dit de opgave ter compensatie van duinafslag. Op basis van de uitgevoerde analyse komt naar voren dat het mee laten groeien van de zandige waterkeringen langs de kust met zeespiegelstijging voor bijna de gehele kust extra waterveiligheidsopgaven voorkomt, uitgezonderd enkele lokale situaties. Het blijven uitvoeren van het huidige kustbeleid – meegroeien van het kustfundament met zeespiegelstijging – blijkt zeer effectief om waterveiligheidsopgaven door zeespiegelstijging in de toekomst te voorkomen. Hierbij is er van uitgegaan dat duinen voldoende ruimte landwaarts hebben om mee te groeien. Op plaatsen waar de aangroei van duinen onwaarschijnlijk is, bijvoorbeeld waar bebouwing het meegroeien van de duinwaterkering belemmert, ontstaan de eerste problemen voor de waterveiligheid. Dit zijn met name Noordwijk aan Zee, Katwijk aan Zee en Scheveningen. Hier zullen vermoedelijk al ruim eerder dan bij 2 meter zeespiegelstijging waterveiligheidsproblemen ontstaan, zelfs met een volledig meegroeiende vooroever en strand. Het probleem van deze 'lage kustgebieden' kan enkel worden opgelost door het toevoegen van waterkerende hoogte doordat overslag/overloop de dominante faalmechanismen zijn.

Voor de harde waterkeringen langs de kust zorgen hogere waterstanden door zeespiegelstijging voor een hoogteopgave. Dit heeft ook consequenties voor de sterkte van de waterkeringen. De waterveiligheidsopgave voor de sterktemechanismen piping en macrostabiliteit is alleen bepaald voor de conventionele waterkeringen (zeedijken).

De sterktemechanismen piping en macrostabiliteit zijn minder gevoelig voor verschillen in de waterstand, waardoor de zeespiegelstijging minder variatie in waterveiligheidsopgave geeft. De oplossing voor de sterkteopgave bij conventionele waterkeringen kan bestaan uit een gedeeltelijke grondoplossing (bijv. een taludverflauwing of bermverbreding) eventueel in combinatie met constructieve maatregelen (bijv. een kistdam) en alternatieve maatregelen voor piping (bijv. kwelscherm, verticaal zanddicht geotextiel of grof-zandbarrière). Ook dit is in beeld gebracht voor verschillende maten van zeespiegelstijging. Voor de bolwerken wordt verondersteld dat met constructieve oplossingen als een kistdam of een damwand ook indirect wordt voldaan aan de gestelde eisen voor macrostabiliteit en piping.

### **Resultaten kosten en ruimtebeslag**

Op basis van de informatie over de minimaal benodigde hoogte en de verbreding van het waterkeringprofiel zijn inschattingen gemaakt van de kosten die daarmee

gemoeid zijn. Daartoe is een knip gelegd bij zichtjaar 2050: het jaar waarin alle primaire waterkeringen moeten voldoen aan de normen uit de Waterwet.

De kosten om het "systeem op orde" te krijgen in 2050 zijn van belang om de versterkingskosten na 2050 voor hogere niveaus van zeespiegelstijging (bijvoorbeeld voor een zeespiegelstijging van 1 m) te kunnen relateren aan de huidige investeringskosten van het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP). Daarom zijn eerst de te maken kosten tot en met 2050 bepaald, waarbij rekening is gehouden met 25 tot 50<sup>2</sup> cm zeespiegelstijging in dat jaar. Het betreft een globale inschatting, Rijkswaterstaat en de waterschappen werken de komende tijd aan een gedetailleerdere inschatting van deze kosten. Aanvullend zijn zowel de totale nominale kosten per jaar, als de kosten per kilometer versterking bepaald als functie van de zeespiegelstijging ten opzichte van "systeem op orde". Omdat voor de kust geen gehele formeel vastgelegde waterkeringstrajecten zijn bekeken is het niet vast te stellen of de verwachte versterkingskosten in dezelfde orde grootte liggen als het huidige jaarlijkse budget van het HWBP om het systeem in 2050 op orde te krijgen. Verwacht wordt dat, in lijn met de Zuidwestelijke Delta en de Wadden, deze kosten vergelijkbaar zijn, zowel het bedrag per jaar als het bedrag per kilometer versterking.

De kosten voor de harde waterkeringen langs de kust worden voor een groot deel bepaald door de conventionele waterkeringen (zeedijken), ongeveer 75%. De kosten voor de versterkingsopgave van de bolwerken is ongeveer 25%.

De kosten voor Sluizencomplex IJmuiden<sup>3</sup> zijn meer dan 2x zo hoog als de kosten voor de versterkingsopgave van alle harde waterkeringen langs de Kust samen. Dit is exclusief de kosten voor de versterkingsopgave voor de nieuwe Zeesluis IJmuiden (realisatie 2022) die niet is meegenomen in de Systeemanalyse Waterveiligheid. De kosten voor het Sluizencomplex IJmuiden –exclusief de nieuwe Zeesluis– worden voor de helft bepaald door de Noordersluis en een kwart door de Middensluis. De Zuidersluis, Kleine Sluis, Gemaal IJmuiden en de spuisluizen dragen gezamenlijk bij voor de overige 25% aan de totale kosten.

De kosten voor de zandige waterkeringen (duinen) langs de kust zijn in beeld gebracht tot een zeespiegelstijging van 3 m. Bij het bodemscenario Volledig Meegroeien volgen de vooroever, strand en duinen de mate van zeespiegelstijging (Voorkeursstrategie Deltaprogramma). De kosten voor de zandige waterkeringen (duinen) zijn ongeveer 1% van de totale kosten voor de kust. Een uitwerking van de impact van 5m zeespiegelstijging op de zandige waterkeringen van de kust volgt in een latere fase van het kennisprogramma.

Voor de harde waterkeringen en zandige waterkeringen langs de kust zijn ruimtelijke knelpunten niet expliciet in beeld gebracht in tegenstelling tot de dijken in de andere deelgebieden. Over het algemeen kan gesteld worden dat ruimtelijke knelpunten als eerste zullen ontstaan daar waar de kust bebouwd is. Dit zijn met name Noordwijk aan Zee, Katwijk aan Zee, Scheveningen en Den Helder.

### **Resultaten gevoeligheidsanalyses**

Aanvullend op de hierboven beschreven analyses, is de invloed van de bodemligging voor de harde waterkeringen (alleen bolwerken en conventionele waterkeringen) langs de kust onderzocht. Voor de kust is als basisscenario voor de Noordzeebodembodem uitgegaan van het volledig meegroeien ervan met de zeespiegelstijging. Om het effect van de andere bodemscenario's (het niet meegroeien van de bodem en de

<sup>2</sup> Het betreft hier een bandbreedte die kan oplopen tot 0,5 m omdat dijken typisch voor een levensduur van 50 jaar worden ontworpen. Voor een dijkversterking in bijv. 2045 wordt dus rekening gehouden met méér dan de ontwerpbelastingen in 2095 volgens tijdlijn Laag. Hierbij wordt dus uitgegaan van 0,25 – 0,5 m zeespiegelstijging.

<sup>3</sup> Voor de bepaling van de opgave van de kunstwerken is uitgegaan van globale kenmerken, die kunnen afwijken van de gedetailleerdere gegevens die beschikbaar zijn uit de eerste ronde van de Landelijke Beoordeling (LBO1).

voortzetting van de huidige bodemtrend) inzichtelijk te krijgen, zijn de implicaties voor de hydraulische belastingen en de kosten voor de waterveiligheidsopgave bepaald voor de overige bodemscenario's.

## Summary

### Background

The Knowledge Programme on the impact of sea-level rise (Dutch acronym: KP ZSS) aims to develop knowledge for proper management of future (uncertain) sea-level rise scenarios. The programme runs from 2019 to 2025, and insights gained will be used for the six-yearly reassessment of the [Delta Programme](#). Knowledge is being developed in five tracks, in which Track II (System Explorations) research is conducted on the sustainability and extensibility of the preferred strategies in the Delta Programme. This research is carried out in three theme's: flood-risk management, the sandy coast, and freshwater supply.

In the [Dutch flood-risk management](#) theme, Rijkswaterstaat (the agency responsible for national infrastructure and water management in the Netherlands) and the Ministry of Infrastructure and Water Management want to learn more about the direct effects of sea-level rise up to 5 m on the primary water system and primary flood defences in the Netherlands. The KP ZSS will use the results of this study to work with regional authorities of the Delta Programme in identifying the impact of sea-level rise and to clarify the sustainability of a preferred strategy for flood-risk management. Additionally, extensions of the current defences that could reduce the impact of sea-level rise on the primary water system are explored.

### General approach

Rising sea levels directly affect hydraulic loads on (primary) flood defences due to increased water levels and wave heights. Indirect consequences include the reduced capacity for natural drainage from low-lying areas to the sea. The number of times per year that storm-surge barriers must close will also increase. Larger hydraulic loads require strengthening of the flood defences to ensure they meet the required (legal) flood-risk management standards. Therefore, within this study, research was conducted on the impact of sea level rise on the hydraulic loads and their effects on the probability of flooding. The effects of these changes on the expected reinforcement requirements for flood defences was then examined, as well as the required costs and the spatial constraints. Finally, a large number of sensitivity analyses were conducted to gain insight into potentially viable extensibility options for the current water system design.

### Scope: solid and sandy coastal defences

This report concerns the coastal region; specifically all the dikes, dunes, and dams bordering the North Sea coast, as well as the sluice complex at IJmuiden. In relation to the North Sea/Western Scheldt delta, the area seaward of the Breskens-Vlissingen line is included in this coastal region. For the Wadden Islands, only the dune sections along the North Sea are considered, as the dike sections along the Wadden Sea are taken into account in the reports for the Wadden and Eems-Dollard regions.

Flood risk management analyses for specific dams have been carried out separately by Rijkswaterstaat (see ([RWS,2023b], [RWS,2022e], [RWS,2022f] and [RWS,2022g])). The results of these studies are summarised and integrated in this report with those of the solid coastal defences.

### Effects on hydraulic loads

The current preferred strategy of the Delta Program for the coastal region is to maintain the existing coastline, by allowing the entire North Sea floor to grow along with sea-level rise. Sea-level rise has, more or less, the same impact on the flood risk management standards along the entire coast. Under the current policy the bed



of the North Sea should grow at the same rate as sea level rise, which means the minimum required crest heights for defences should also grow at the same rate.

### **Impact of sea-level rise on flood defences**

Sea-level rise poses a flood risk challenge. For the sandy coastal defences, this challenge is the erosion of the dunes. The analysis shows that allowing sandy coastal defences to grow along with sea-level rise prevents additional water-safety challenges. Continuing this policy is shown to be highly effective in the future, assuming that the dunes have sufficient landward space to grow. Challenges arise, however, in places where dune growth is likely to be restricted by buildings or infrastructure, for example in Noordwijk aan Zee, Katwijk aan Zee and Scheveningen. There, problems may occur with a sea level rise of less than 2 meters, even with the foreshore and beach growing at the same rate. The problem of low-lying coastal areas can only be solved by increasing the height of the flood defences, as overflow is the dominant failure mechanism.

For solid coastal defences, higher water levels due to sea-level rise require increases in heights of defences. This has consequences for their strength in relation to piping and macrostability failure mechanisms, which have only been determined for conventional dikes. These failure mechanisms are less sensitive to differences in water level than overflow, which means the impact of sea-level rise has a lesser impact. Solutions for conventional dikes, including earthwork solutions (e.g. slope flattening or shoulder widening), constructed measures (e.g. a box dam) and measures for piping (e.g. seepage barrier, vertically sand-tight geotextile, or a coarse sand barrier), have also been considered for various rates of sea-level rise. For the seawalls, it is assumed that constructed solutions such as a box dam or a sheet pile wall meet the requirements for macro-stability and piping.

### **Impacts on costs and expected reinforcement requirements**

Based on the above analyses, estimates have been made of the costs for the minimum required heightening and widening of the flood defence profiles. For this, a cut-off point was set at the year 2050: the year in which the primary flood defences must comply with the safety standards in the Water Act.

Estimating the costs of getting the defences up to standard by 2050 is necessary in order to relate the dike reinforcement costs after 2050 (for higher values of sea level rise, e.g. 1 m) to the current investment costs of the High Water Protection Program (Dutch acronym: HWBP). Therefore, the costs to be incurred up to 2050 have been determined taking into account a sea-level rise of 0.25 to 0.50<sup>1</sup> m by that year. This is a rough estimate; Rijkswaterstaat and local water authorities will be working on a more detailed estimate of these costs in the near future. In addition, the total nominal costs of bringing the defences up to standard, per year and per kilometre of dike reinforcement, have been determined as a function of sea-level rise. Because no complete established flood defence trajectories have been examined for the coast, it is impossible to determine whether the expected reinforcement costs are in the same order of magnitude as the current annual budget provided by HWBP to get the defences up to standard by 2050 (both per year and per kilometre of dike reinforcement). Similar to the Southwest Delta and the Wadden regions, these costs are expected to be comparable, both in terms of the amount per year and the amount per kilometre of reinforcement.

The costs for solid flood defences along the coast are largely determined by conventional defences (sea dikes), which correspond to approximately 75% of the overall length of the flood defences. Seawalls constitute 25%.

---

<sup>1</sup> This range is defined based on the 50-year design lifespan of a dike. For example, a dike built in 2045 must still meet the expected load in 2095. This results in the given range of 0.25 - 0.5 m.

The costs for the IJmuiden lock complex are more than twice the costs for the reinforcement of all solid flood defences along the coast combined. The main costs are due to the Noorder lock (50%) and the Midden lock (25%), while gates, pumps and discharge locks together contribute to the remaining 25%.

The costs for the sandy defences (dunes) along the coast have been analysed up to a sea level rise of 3 m. In the preferred strategy of the Delta Program the foreshore, beach and dunes follow the sea-level rise. The costs for these dunes are approximately 1% of the total costs for the coast.

Unlike reports for other regions, no specific spatial bottlenecks have been identified for the solid and sandy flood defences along the coast. In general, it can be stated that spatial bottlenecks will arise where the coast is built up. These are mainly in Noordwijk aan Zee, Katwijk aan Zee, Scheveningen and Den Helder.

### **Results of the sensitivity analyses**

In addition to the analyses described above, the influence of the seabed on the solid coastal flood defences (seawalls and conventional dikes) has been examined. For the coastal area, the baseline scenario for the North Sea seabed assumes that it will grow at the same rate as sea-level rise. To understand the effect of other seabed scenarios (not keeping pace with sea-level rise or continuing with the current seabed trend), the implications for the hydraulic loads and flood risk management costs have also been determined.

## Inhoudsopgave

<b>Samenvatting .....</b>	<b>3</b>
<b>Summary .....</b>	<b>7</b>
<b>1 Inleiding en leeswijzer .....</b>	<b>10</b>
1.1 Algemeen .....	12
1.2 Achtergrond project .....	12
1.3 Positionering Spoor II Systeemanalyse waterveiligheid .....	13
1.4 Positionering van de rapportage binnen Spoor II – fase 1 .....	14
1.5 Korte gebiedsbeschrijving .....	14
1.6 Inhoud van dit rapport .....	15
<b>2 Aanpak op hoofdlijnen .....</b>	<b>16</b>
2.1 Gehanteerde methode .....	17
2.2 Beschrijving tijdlijnen en referentie .....	18
<b>3 Hydraulische belastingen Harde waterkeringen Kust .....</b>	<b>21</b>
3.1 Doel .....	21
3.2 Methode .....	21
3.3 Resultaten hydraulische belastingen .....	23
3.4 Samenvatting .....	27
<b>4 Waterveiligheidsopgave Harde waterkeringen Kust .....</b>	<b>30</b>
4.1 Doel .....	30
4.2 Methode .....	30
4.3 Resultaten .....	38
4.4 Samenvatting .....	56
<b>5 Waterveiligheidsopgave kunstwerken (IJmuiden) .....</b>	<b>58</b>
5.1 Doel .....	58
5.2 Methode .....	58
5.3 Resultaten .....	60
5.4 Samenvatting .....	64
<b>6 Gevoeligheidsanalyse .....</b>	<b>65</b>
6.1 Inleiding .....	65
6.2 Effect bodemligging .....	65
<b>7 Waterveiligheidsopgave Zandige waterkeringen Kust .....</b>	<b>69</b>
7.1 Doel .....	69
7.2 Methode .....	69
7.3 Resultaten .....	71
7.4 Samenvatting .....	74
<b>8 Regionaal beeld en conclusies .....</b>	<b>76</b>
8.1 Inleiding .....	76
8.2 Invloed van zeespiegelstijging op de hydraulische belastingen .....	77
8.3 Versterkingsopgave per type waterkering .....	78
8.4 Kosten voor verschillende niveaus van ZSS .....	79
8.5 Ruimtelijke impact .....	83

8.6	Inschatting onzekerheidsbandbreedte resultaten .....	83
8.7	Effectiviteit van een aantal mogelijke oprekmogelijkheden .....	86
8.8	Conclusies .....	86
<b>9</b>	<b>Referenties .....</b>	<b>88</b>
	<b>Bijlage A: Onderbouwing bolwerken .....</b>	<b>90</b>
	<b>Bijlage B: Sluizencomplex IJmuiden .....</b>	<b>105</b>
	<b>Bijlage C: Kosten Harde Keringen .....</b>	<b>112</b>

# 1 Inleiding en leeswijzer

## 1.1 Algemeen

Binnen het Kennisprogramma Zeespiegelstijging (KP ZSS) wordt kennis ontwikkeld om op een beter onderbouwde manier om te kunnen gaan met een onzekere zeespiegelstijging (ZSS) in de toekomst. Het Kennisprogramma Zeespiegelstijging loopt van 2019 tot 2025 en dient de kennisleemten ten aanzien van de gevolgen van extreme zeespiegelstijging op het huidige waterbeleid te verkleinen. De inzichten uit het Kennisprogramma worden gebruikt voor de 6-jaarlijkse herijking van het Deltaprogramma in 2027 (DP 2026). Binnen het programma wordt kennis via vijf sporen ontwikkeld.

In spoor I wordt onderzoek gedaan naar de onzekerheden rondom het afsmelten van de ijskappen op Antarctica. Spoor II onderzoekt welke gevolgen ZSS heeft voor onze hoogwaterveiligheid en zoetwaterbeschikbaarheid en vormt daarmee belangrijke input voor de houdbaarheid van de voorkeursstrategie (VKS) van het Deltaprogramma. In Spoor III wordt een methode ontwikkeld om tijdig te kunnen signaleren en de nodige maatregelen hierop te kunnen nemen. Als de VKS niet meer houdbaar is, dan moet deze op termijn aangepast worden (spoor IV). Om de noodzakelijke aanpassingen te kunnen doen, is de medewerking van relevante partners nodig (Spoor V).

Dit rapport is onderdeel van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging, spoor II Systeemverkenningen. In spoor II worden langs drie thema's verkenningen gedaan naar de houdbaarheid en oprekbaarheid van de huidige voorkeursstrategieën van het Deltaprogramma, te weten waterveiligheid, de zandige kust en zoetwater. Voorliggende rapportage is onderdeel van het thema Waterveiligheid en is in opdracht van Rijkswaterstaat (RWS) opgesteld.

In deze rapportage wordt de waterveiligheidsopgave voor de kust als gevolg van de zeespiegelstijging beschreven. Het betreft hier een verkenning. Er wordt daarbij uitgegaan van het huidige hoofdwatersysteem. Binnen het kennisprogramma zijn soortgelijke rapportages beschikbaar voor de andere Deltaprogramma deelgebieden.

De wijze (methodes, uitgangspunten en modelkeuzen) waarop deze resultaten zijn verkregen, wordt per watersysteem besproken.

## 1.2 Achtergrond project

In de komende eeuwen zal de zeespiegel verder stijgen. In het Deltaprogramma zijn de effecten van zeespiegelstijging tot 2100 meegenomen, waarbij geen rekening is gehouden met een mogelijke (onzekere) extra versnelling van de zeespiegelstijging volgens het recente IPCC AR6 rapport [IPCC,2023] en eerdere studies (bijv. [Bamber et al.,2019] en [De Conto en Pollard,2016]). Met de Systeemanalyse Waterveiligheid binnen het kader van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging willen Rijkswaterstaat en het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat meer inzicht krijgen in de eerste orde effecten van verschillende zeespiegelstijgingen op het hoofdwatersysteem en de primaire waterkeringen in Nederland. Binnen het KP ZSS wordt kennis ontwikkeld om op een beter onderbouwde manier om te kunnen gaan met een onzekere ZSS.

Een stijgende zeespiegel heeft direct invloed op de hydraulische belastingen op de waterkeringen, doordat waterstanden en golven toenemen. De zeespiegelstijging werkt echter ook indirect door, omdat bijvoorbeeld spuiomogelijkheden onder vrij

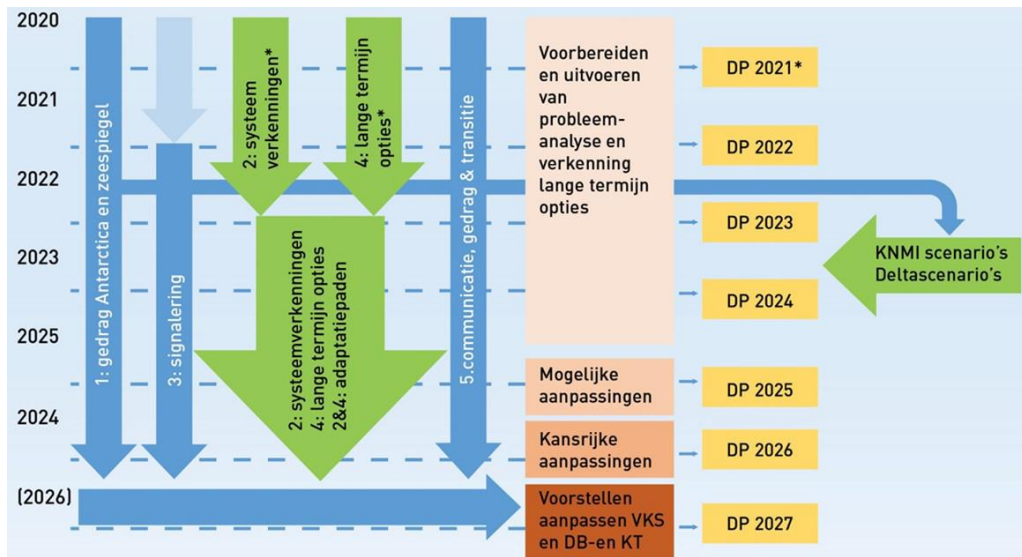
verval vanuit regionale systemen naar het hoofdwatersysteem en van daaruit naar zee, wijzigen. Ook de sluitfrequenties van stormvloedkeringen nemen toe. Door grotere belastingen is versterking van de keringen nodig om aan de vereiste overstromingskans te voldoen. De studie in dit project, zogenaamd "Systeemanalyse Waterveiligheid", dient begrip van en inzicht te geven in het effect van ZSS op de belastingen en de doorwerking daarvan op de overstromingskans. Vervolgens wordt de versterkingsopgave (kosten en ruimtebeslag) in beeld gebracht en worden overige relevante waterstaatkundige indicatoren ten behoeve van de houdbaarheid van de voorkeursstrategieën (VKS) waterveiligheid Deltaprogramma uiterekend. Het KP ZSS gebruikt de resultaten van deze studie om samen met de DP-regio's de impact van ZSS op verschillende functies in beeld te brengen, de houdbaarheid van de VKS te duiden en de oprekmogelijkheden te verkennen.

### 1.3 Positionering Spoor II Systeemanalyse waterveiligheid

De Systeemanalyse Waterveiligheid is onderdeel van Spoor II - Systeemverkenningen. De kennisontwikkeling van Spoor II is gericht op inzicht in de vraag:

*'Tot hoeveel stijging volstaan de voorkeursstrategieën uit het Deltaprogramma en zijn aanpassingen mogelijk om deze strategieën langer vol te houden?'*

Binnen het Spoor II zijn drie thema's geïdentificeerd: Waterveiligheid (keringen en kunstwerken), Zandige Kust (lange-termijn kustontwikkeling), en Zoetwater (verziltning en direct daaraan gekoppeld peilbeheer).



Figuur 1: Globale planning van de vijf sporen van KP ZSS. (bron: Rijkswaterstaat (2022c) - Ketenaanpak WV KP ZSS spoor 2 - Samenvatting modelaanpak WV bij ZSS).

De doelstellingen van de spoor II Systeemverkenningen KP ZSS zijn om:

- De waterstaatkundige effecten van zeespiegelstijging op de huidige watersystemen te bepalen (inclusief consistente veranderingen zoals afvoeren);
- De mate van houdbaarheid van de voorkeursstrategieën (VKS) te duiden door waterstaatkundige effecten en andere effecten op gebiedsfuncties in beeld te brengen;
- Te verkennen en in beeld brengen:
  - wat de mogelijkheden voor het oprekken van de huidige VKS zijn;

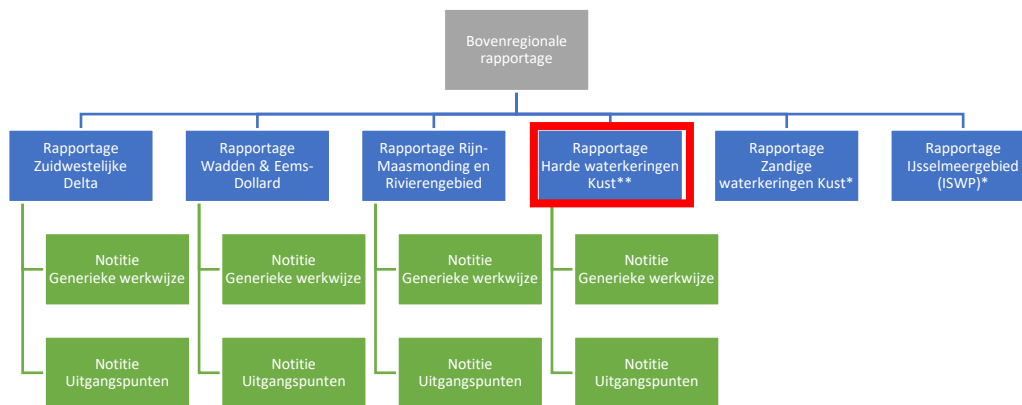
- o wat de kansrijkheid van lange-termijn oplossingsrichtingen is; de lange-termijn oplossingsrichtingen worden veelal in Spoor IV geagendeerd.

#### 1.4 Positionering van de rapportage binnen Spoor II – fase 1

Voor de Systeemanalyse Waterveiligheid van Spoor II zijn 6 rapportages, één per Deltaprogramma (DP)-regio, opgesteld. Deze deelrapportages geven een beschouwing op de rekenkundige uitkomsten en de doelstelling van Spoor II van het KP ZSS (waterstaatkundige effecten). Voor 4 regio's: Zuidwestelijke Delta, Waddengebied (inclusief Eems-Dollard), Kust (alleen harde kust) en Rijn-Maasmonding en Rivierengebied zijn de rapportages opgesteld door de combinatie HKV, Witteveen+Bos en IV-Infra. De systeemanalyses voor de Zandige waterkeringen Kust en IJsselmeergebied zijn door Rijkswaterstaat gerapporteerd.

Op basis van deze 6 regiorapportages is een synthese geschreven die in de bovenregionale rapportage is opgenomen. Bij de bovenregionale rapportage hoort het duidingskader [RHDHV,2021] en een opleverdossier.

#### Systeemanalyse waterveiligheid Spoor II – fase 1



\*) De systeemanalyses voor de Zandige waterkeringen Kust en het IJsselmeergebied zijn door Rijkswaterstaat uitgevoerd en gerapporteerd. In de bovenregionale rapportage worden de resultaten voor deze Zandige waterkeringen Kust, Meren en Vecht-IJsseldelta geïntegreerd met de andere gebieden.

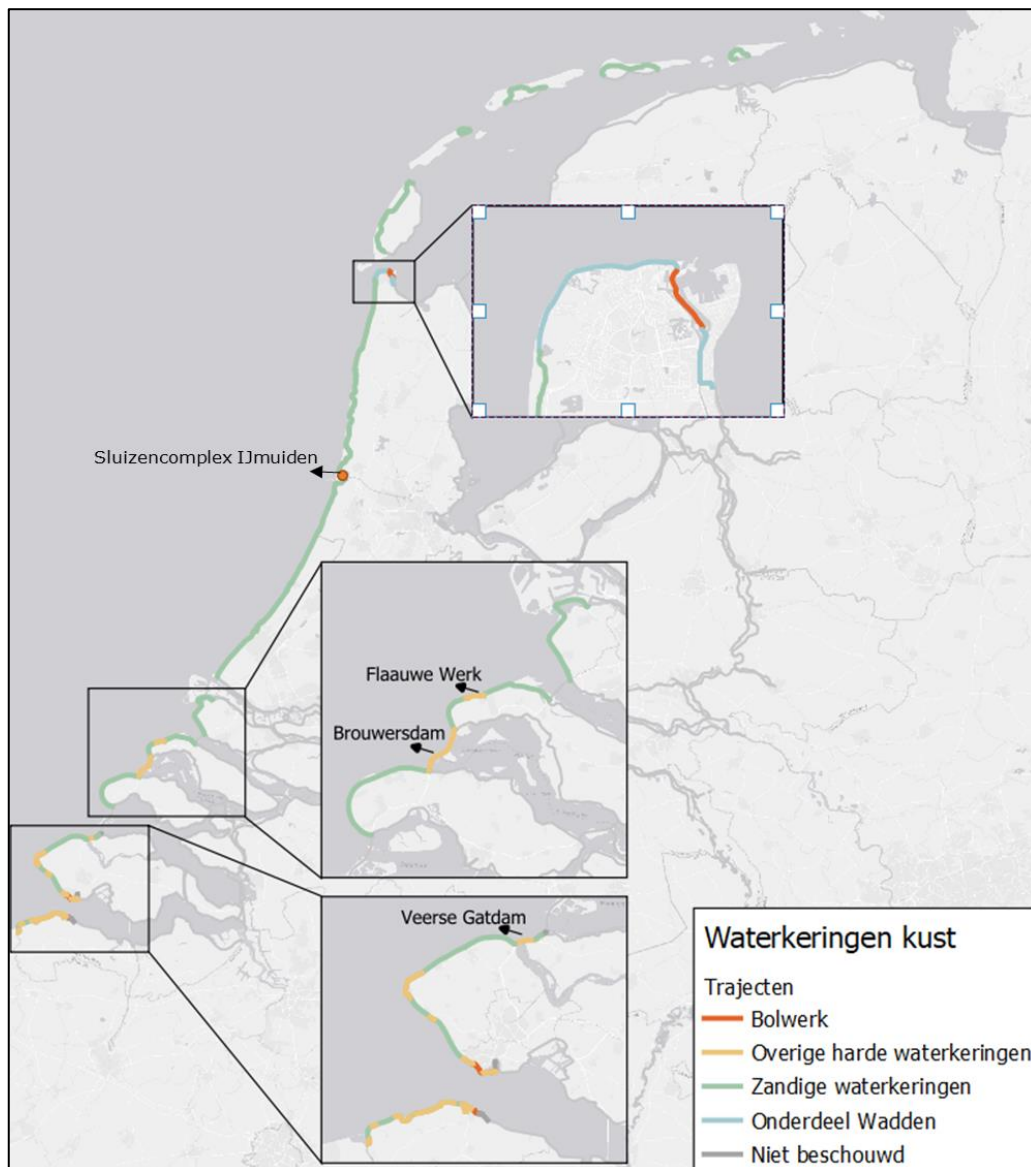
\*\*\*) De systeemanalyses voor het Flaauwe Werk, Veerse Gatdam en Brouwersdam zijn door Rijkswaterstaat uitgevoerd. De resultaten worden geïntegreerd in de rapportage Harde waterkeringen Kust.

Figuur 2: Positionering rapportage Systeemanalyse Waterveiligheid voor de Harde waterkeringen Kust.

#### 1.5 Korte gebiedsbeschrijving

Deze rapportage gaat over het deelgebied Harde waterkeringen Kust. De scope omvat de gebieden die onder directe invloed staan van zeespiegelstijging. Daarmee behoren alle harde waterkeringen die onderdeel zijn van de primaire waterkering langs de kust en het kunstwerk sluizencomplex IJmuiden. Daarnaast is in deze rapportage de opgave voor de zandige waterkeringen langs de kust (duinen), zoals beschreven in Rijkswaterstaat (2023b), samenvattend geïntegreerd.

De stormvloedkeringen hebben invloed op de voorkeursstrategie van de andere regionale Deltaprogramma's en zullen in de betreffende rapportages worden beschouwd ([RWS,2023d] en [RWS,2023e]).



Figuur 3: scope zandige waterkeringen, overige harde waterkeringen, bolwerken en het Sluizencomplex IJmuiden in de kustregio. De kust van Zeeuws-Vlaanderen bestaat uit aaneengesloten harde waterkering met korte trajecten zandige waterkering (duinen) ertussen.

## 1.6 Inhoud van dit rapport

Dit rapport beschrijft resultaten van de Systeemanalyse Waterveiligheid voor de harde waterkeringen kust.

- Hoofdstuk 2: Aanpak op hoofdlijnen.
- Hoofdstuk 3: Hydraulische belastingen voor harde waterkeringen kust.
- Hoofdstuk 4: Waterveiligheidsopgave voor harde waterkeringen kust.
- Hoofdstuk 5: Waterveiligheidsopgave voor kunstwerken.
- Hoofdstuk 6: Gevoeligheidsanalyses.
- Hoofdstuk 7: Samenvatting waterveiligheidsopgave voor zandige waterkeringen kust.
- Hoofdstuk 8: Regionaal beeld en conclusies.



## 2 Aanpak op hoofdlijnen

Voor de Systeemanalyse Waterveiligheid van het KP- ZSS Spoor II is een aanpak ontwikkeld om op landelijk uniforme wijze de waterveiligheidsopgave door zeespiegelstijging te bepalen. Deze aanpak wordt op hoofdlijnen in dit hoofdstuk beschreven.

De waterveiligheidsopgave van de harde waterkeringen langs de kust die onderdeel zijn van de scope van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging is onder te verdelen in drie soorten waterkeringen en kunstwerken:

- Bolwerken (keringen met constructieve elementen)
- Overige harde waterkeringen (conventionele zeedijken)
  - A. Binnen het bereik van de SWAN modellen Waddenzee en Westerschelde: Helderse Zeewering, Westkapelse Zeedijk, Zoutelande, Breskens Fort, Waterdunen, Verdrongen Zwarte Polder, Cadzand en Het Zwin.
  - B. Buiten het bereik van de SWAN modellen voor de Waddenzee en de Westerschelde: Veerse Gatdam, Brouwersdam en Flaauwe Werk.
- Sluizencomplex IJmuiden

De overige harde waterkeringen liggen deels binnen en deels buiten het bereik van de SWAN-modellen van de Waddenzee en de Westerschelde.

Daarom is de waterveiligheidsopgave voor de overige harde waterkeringen die binnen het bereik van de SWAN-modellen van de Waddenzee en Westerschelde liggen bepaald met de beschreven methode in paragraaf 2.1.1. Deze methode sluit aan bij de systeemanalyses voor de andere regio's van het Deltaprogramma: Zuidwestelijke Delta, Wadden, Rijn-Maasmonding en Rivierengebied. Een uitgebreide beschrijving van de methode, aannames en uitgangspunten voor de hydraulische belastingen voor de harde waterkeringen langs de kust staat beschreven in paragraaf 3.2. In paragrafen 4.2.1 en 4.2.2 staat de methode voor de waterveiligheidsopgave voor respectievelijk de bolwerken en de overige harde waterkeringen binnen het bereik van de SWAN-modellen Waddenzee en Westerschelde beschreven. Tot slot staat de waterveiligheidsopgave voor het kunstwerk sluizencomplex IJmuiden beschreven in paragraaf 5.2.

De Veerse Gatdam, Brouwersdam en het Flaauwe Werk liggen buiten het bereik van de SWAN-modellen Waddenzee en Westerschelde. Daarom is voor die waterkeringen een andere aanpak gehanteerd, welke is uitgevoerd door RWS. De methode voor de Veerse Gatdam, Brouwersdam en Flaauwe Werk is terug te lezen in de rapportages van RWS [Rijkswaterstaat, 2022e], [Rijkswaterstaat, 2022f], [Rijkswaterstaat, 2022g]. De resultaten voor de waterkeringen zijn overgenomen uit de rapportages van RWS. De kosten voor deze waterkeringen zijn consistent gemaakt met de kosten voor bolwerken en overige harde waterkeringen die binnen het bereik van de SWAN-modellen Waddenzee en Westerschelde liggen.

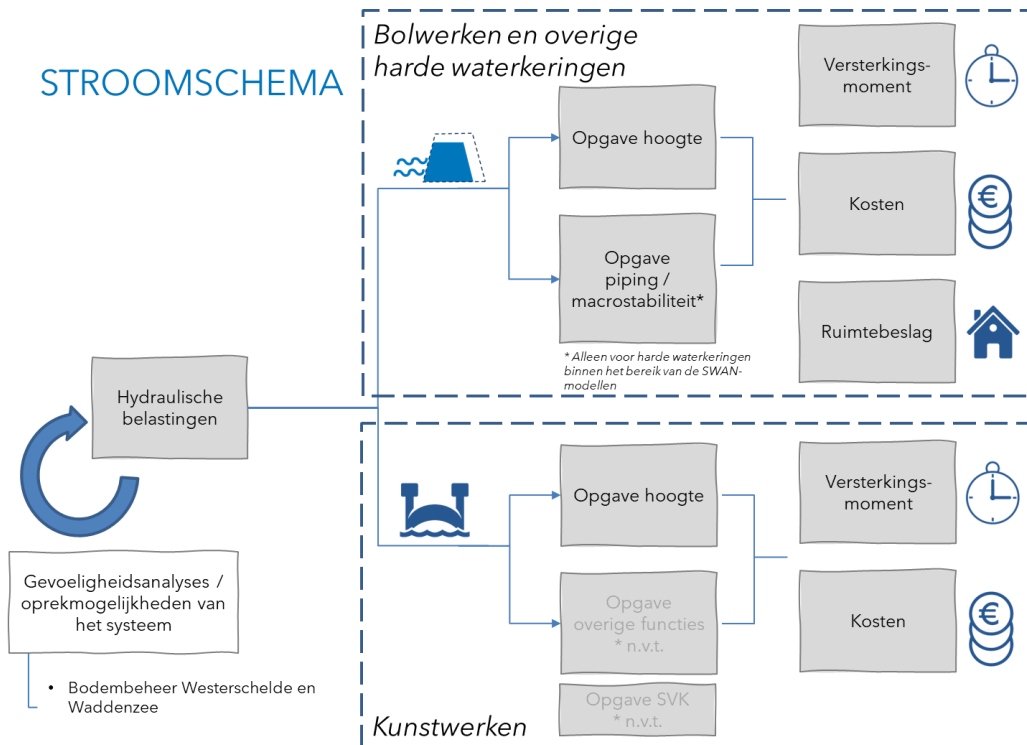
De waterveiligheidsopgave voor de zandige waterkeringen langs de kust is bepaald door RWS [Rijkswaterstaat, 2023b]. Een samenvatting van de gehanteerde methode en resultaten voor de zandige waterkeringen langs de kust is beschreven in hoofdstuk 7.

Voor de uitwerking van de waterveiligheidsopgave wordt een modelinstrumentarium gebruikt dat aansluit bij de uitgangspunten van aanpalende beleidsstudies en is een versimpeling van de BOI-systematiek die toegepast wordt bij de landelijke beoordeling zoals vastgelegd in de Waterwet. Derhalve kan dit rapport niet worden gezien als een invulling van de landelijke beoordeling waterkeringen.

## 2.1 Gehanteerde methode

### 2.1.1 Bolwerken en overige harde waterkeringen binnen het bereik van de SWAN-modellen Waddenzee en Westerschelde en het kunstwerk Sluizencomplex IJmuiden

De methode bestaat op hoofdlijnen uit de volgende stappen (Figuur 3):



Figuur 3: Schematische weergave van de gehanteerde werkwijze.

De aanpak op hoofdlijnen bestaat uit de volgende stappen:

- Het bepalen van **hydraulische belastingen** voor de betreffende waterkeringen en kunstwerken voor verschillende tijdstippen, uitgedrukt in een waterstand bij de norm (ondergrens) en een hydraulisch belastingniveau bij de norm op vakniveau. Een tijdstip beschrijft de mate van zeespiegelstijging afgezet tegen de tijd, maar bevat ook informatie over het sluitpeil van de stormvloedkeringen en over de afvoerstatistiek op de rivieren (voor deze rapportage niet relevant). In paragraaf 2.2 wordt hier nader bij stilgestaan. De hydraulische belastingen worden afgeleid volgens de illustratiepuntenmethode, waarbij de waterstand bij de norm met Hydra-NL en het hydraulisch belastingniveau voor golfoverslag met SWAN-1D/2D zijn bepaald. Voor Zeeuws Vlaanderen en Walcheren is gebruik gemaakt van het SWAN-model van de Westerschelde en voor de Helderse Zeewering van het Waddenzeemodel. De hydraulische belastingen voor de kust van Zeeuws Vlaanderen en Walcheren zijn bepaald met de methodiek die beschreven staat in Rijkswaterstaat (2023e) en voor de Helderse Zeewering zoals die beschreven is in Rijkswaterstaat (2023a). Omdat deze modellen niet de rest van de Kust omvatten is voor de Veerse Gatdam, het Flaauwe werk en de Brouwersdam een andere methodiek gebruikt ([Rijkswaterstaat 2022e], [Rijkswaterstaat 2022f] en [Rijkswaterstaat 2022g]). De overige gedeelten van de harde kust zijn niet meegenomen.
- Het bepalen van de **waterveiligheidsopgave voor de overige harde waterkeringen** o.b.v. de sterktebeschrijving van de faalmechanismen hoogte,

piping en macrostabiliteit voor verschillende tijdlijnen, uitgedrukt in ruimtebeslag (dimensies kruinverhoging en dijkverbreding) en de bijbehorende kostenbepaling voor 3 verschillende versterkingsstrategieën: 1) Traditionele versterking met constructieve inpassing; 2) Versterking met groene kering en 3) Versterking met groene kering en innovatieve pipingmaatregelen. De strategie Traditionele versterking met constructieve inpassing is in de systeemanalyse de basisstrategie, omdat deze het beste aansluit met de uitvoering van versterkingen in de huidige ontwerp praktijk (business as usual). De waterveiligheidsopgave voor dijken wordt bepaald met een voor het KP ZSS speciaal ontwikkelde versie van OKADER [Rijkswaterstaat, 2022c] en KOSWAT [Deltares, 2014]. De sterktebeschrijving van de dijken volgt uit de landelijke set van fragility curven die is opgesteld voor het KP ZSS [Witteveen+Bos en HKV, 2022].

- Het bepalen van de **waterveiligheidsopgave voor bolwerken en het sluizencomplex IJmuiden**. Dit betekent voor bolwerken en kunstwerken met een waterkerende functie het bepalen van de opgave o.b.v. het faalmechanisme hoogte, uitgedrukt in een kruinverhoging van het kunstwerk en de bijbehorende kostenbepaling.
- Het uitvoeren van **gevoeligheidsanalyses** op de hydraulische belastingen. Voor de bolwerken en de overige harde waterkeringen binnen het bereik van de SWAN-modellen Waddenzee en Westerschelde is het effect van bodemligging op de hydraulische belastingen en de waterveiligheid beschouwd.
- Het duiden van de resultaten aan de hand van kenmerkende indicatoren voor houdbaarheid in het duidingskader.

### 2.1.2 Overige harde waterkeringen buiten het bereik van de SWAN-modellen Waddenzee en Westerschelde

De methode voor de Veerse Gatdam, Brouwersdam en Flauwe Werk is terug te lezen in de rapportages van RWS memo's [Rijkswaterstaat, 2022e], [Rijkswaterstaat, 2022f], [Rijkswaterstaat, 2022g]. Op hoofdlijnen komt de methode overeen met de beschreven methode in paragraaf 2.1.1, behalve dat de hydraulische belastingen met Hydra-NL zijn bepaald i.p.v. met SWAN-1D/2D en alleen de hoogteopgave en de bijbehorende versterkingskosten zijn bepaald. De sterkteopgave voor piping en macrostabiliteit is niet bepaald.

## 2.2 Beschrijving tijdlijnen en referentie

Op basis van de geschetste stappen in Figuur 4 is de waterveiligheidsopgave bepaald voor verschillende tijdlijnen ten opzichte van een referentiesituatie. Een tijdlijn beschrijft de mate van ZSS tussen 2023 en 2200 in combinatie met klimaatscenario's t.a.v. rivierafvoer, morfologie van het betreffende watersysteem en bodemdaling onder de dijk<sup>1</sup>. De waterveiligheidsopgave is bepaald voor 4 tijdlijnen: Laag, Gematigd, Extreem en Zeer Extreem.

### Opmerking

Tijdlijnen zijn niet hetzelfde als KNMI-scenario's, maar wel daarmee afgestemd. Nieuwe KNMI-scenario's zullen naar verwachting in lijn zijn met de tijdlijnen van KP ZSS, afhankelijk van het gekozen onzekerheidspercentiel.

<sup>1</sup> Voor de kust beschrijven de tijdlijnen alleen de mate van ZSS en heeft de rivierafvoer geen invloed.

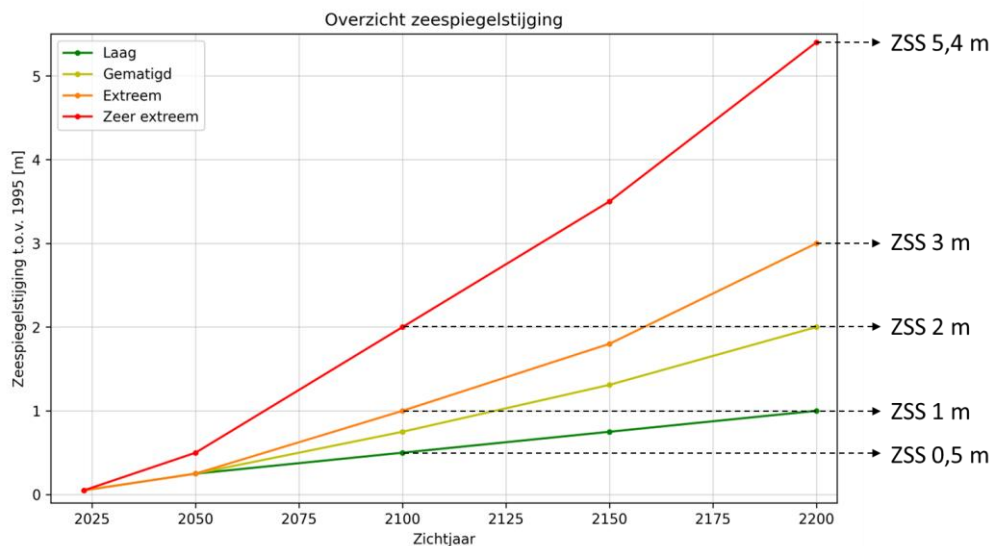
De *referentiesituatie* die gehanteerd wordt komt overeen met de huidige situatie van het watersysteem met daarin meegenomen alle reeds geplande maatregelen in de toekomst. In meer detail betekent dit het volgende:

- De huidige situatie is 2023. Berekeningen beginnen in dit jaar. De zeespiegelstijging wordt uitgedrukt t.o.v. 1995 en bedraagt in 2023 0,05 m.
- De maatregelen voor waterveiligheid die bij de referentiesituatie horen betreffen alle dijkversterkingen via het reguliere Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) om te zorgen dat in 2050 de dijken aan de waterveiligheidsnormen voldoen. Daarbij is in deze studie reeds rekening gehouden met 0,25 – 0,50 m zeespiegelstijging (t.o.v. 1995). Ook wordt daarin de bodemdaling onder de dijk meegenomen t.o.v. de huidige situatie. In 2050 zijn de dijken minimaal op orde, maar omdat dijken in de regel versterkt worden voor 50 jaar kunnen zij in 2050 nog resthoogte (en/of reststerkte) hebben.

In de Systeemanalyse Waterveiligheid gaat het om het in beeld brengen van *relatieve veranderingen* in de waterveiligheidsopgave. Deze veranderingen worden in beeld gebracht ten opzichte van tijdlijn Laag (en dus niet t.o.v. de referentiesituatie). Tijdlijn Laag in zichtjaar 2050 geeft aan wat nog nodig is aan dijkversterkingsmaatregelen om vanuit de huidige (referentie)situatie in 2023 te komen tot een systeem dat in 2050 "op orde" is (voldoet aan de norm voor waterveiligheid) én waarmee vervolgens in het beleid rekening is gehouden. De berekende waterveiligheidsopgave voor de tijdlijn Laag in 2050 wordt afgehaald van de opgave voor de tijdlijnen Gematigd, Extreem en Zeer extreem. In Tabel 1 en Figuur 4 is een overzicht gegeven van alle gehanteerde zeespiegelstijgingen voor de 4 tijdlijnen en de beschouwde zichtjaren. De tijdlijnen zijn tot stand gekomen in nauw overleg tussen Rijkswaterstaat en het KNMI (Rijkswaterstaat, 2021b).

Tabel 1: Overzicht zeespiegelstijging t.o.v. 1995 (cm) voor de verschillende tijdlijnen en zichtjaren.

Tijdlijn	Zeespiegelstijging t.o.v. 1995 (cm)				
	2023	2050	2100	2150	2200
Laag	5	25	50	75	100
Gematigd	5	25	78	131	200
Extreem	5	25	100	180	300
Zeer extreem	5	50	200	350	540



Figuur 4: Overzicht van gehanteerde tijdlijnen en zichtjaren.

De tijdlijnen Laag, Gematigd en Extreem variëren nauwelijks tussen zichtjaar 2023 en zichtjaar 2050. Tijdlijn Zeer Extreem neemt al direct vanaf 2023 meer toe dan de

andere 3 tijdlijnen. Dezelfde mate van zeespiegelstijging (ZSS) komt dus voor in meerdere tijdlijnen. Een ZSS van 1 m komt dus voor in zichtjaar 2200 voor tijdlijn Laag en in zichtjaar 2100 voor Tijdlijn Extreem.

Zeespiegelstijging kan gepaard gaan met bodemhoogteveranderingen door allerlei morfologische processen. Voor de kust is daarom gekozen om het effect van verschillende bodemscenario's in beeld te brengen. Daarbij is voor de harde en de zandige waterkeringen langs de monding van de Westerschelde en langs de Hollandse Kust gekozen voor het voorkeursstrategie (VKS) uitgangspunt van het regionale Deltaprogramma Kust dat de bodem volledig meegroeit met de zeespiegelstijging. Voor de harde waterkeringen bij Den Helder is het VKS uitgangspunt van het regionale Deltaprogramma Wadden gehanteerd - de bodem volgt de huidige trend. Doordat de belastingen in 2100 en 2200 bij verschillende bodemscenario's worden berekend, leidt eenzelfde mate van ZSS (bijv. 1 m) toch tot verschillen in hydraulische belastingen.

## 3 Hydraulische belastingen Harde waterkeringen Kust

### 3.1 Doel

Dit hoofdstuk beschrijft hoe de hydraulische belastingen voor de bolwerken, overige harde waterkeringen binnen het bereik van de SWAN-modellen en het sluizencomplex IJmuiden zijn bepaald. De hydraulische belastingen voor de overige harde waterkeringen buiten het bereik van de SWAN-modellen zijn bepaald door RWS. Een beschrijving van de methode en de resultaten staat in de bijbehorende rapportages [Rijkswaterstaat, 2022e], [Rijkswaterstaat, 2022f], [Rijkswaterstaat, 2022g].

De hydraulische belastingen bestaan uit frequentielijnen voor de waterstand en het hydraulisch belastingniveau voor golfoverslag (HBN) bij de ondergrens van de norm, om zo de koppeling te kunnen leggen met de dijkopgave en kostenberekeningen (OKADER). De hydraulische belastingen voor de Harde waterkeringen Kust zijn bepaald volgens de illustratiepuntenmethode, hieronder beschreven ([Deltares, 2022a]; zie ook [Rijkswaterstaat, 2022c]).

Voor de analyses met OKADER zijn hydraulische belastingen nodig voor de referentiesituatie in 2023 en voor de zichtjaren 2050, 2100, 2150 en 2200 bij de tijdlijnen Laag, Gematigd, Extreem en Zeer Extreem (Figuur 5).

### 3.2 Methode

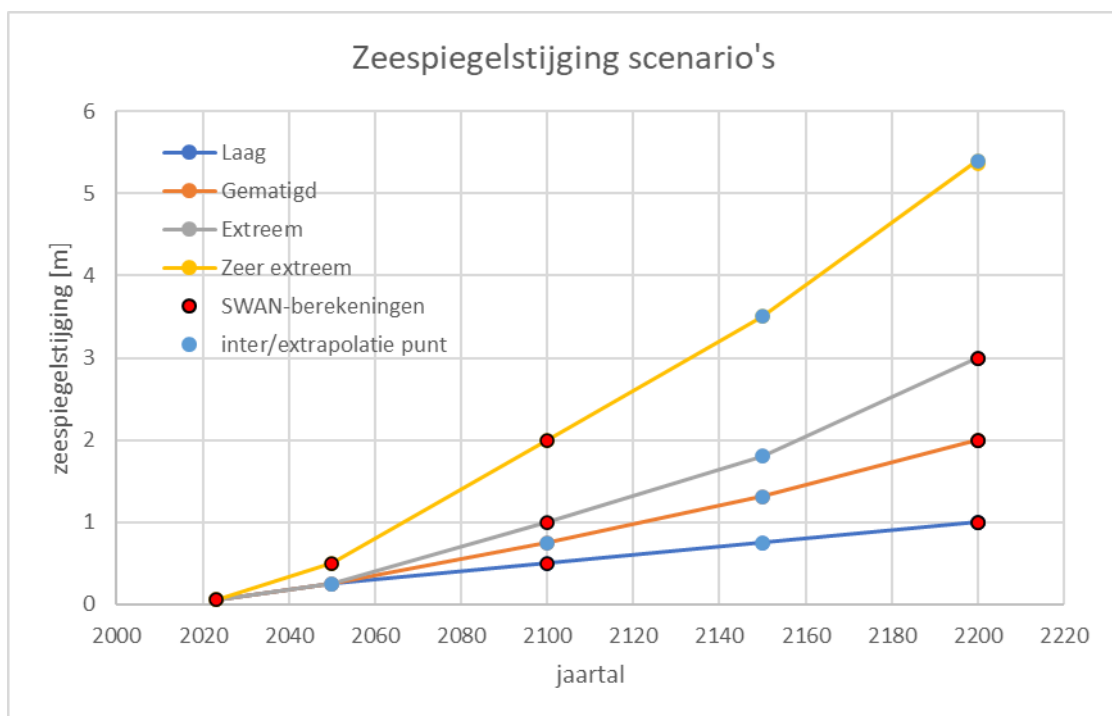
Voor het bepalen van de hydraulische belastingen is gebruik gemaakt van de illustratiepuntenmethode ([Deltares, 2022a] en [Rijkswaterstaat, 2022c]). Deze methode is een verkorte versie van het volledig berekenen van nieuwe databases fysica, wat gegeven de rekenintensiteit van de numerieke modellen en de mogelijke bodemdynamiek in de toekomst, een te kostbare en tijdrovende exercitie is. De illustratiepuntenmethode is in essentie enkel het opnieuw berekenen van de HBN's middels SWAN modellering. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de waterstand, windsnelheid en windrichting in het zgn. illustratiepunt. Het illustratiepunt is bepaald met een voor Kennisprogramma Zeespiegelstijging speciaal ontwikkelde versie van Hydra-NL, op basis van zeespiegelstijging. De methode wordt hieronder nader uitgelegd.

Om tot hydraulische belastingen voor de Harde waterkeringen kust te komen worden de volgende stappen uitgevoerd:

1. Stap 1: Selecteren van representatieve locaties (één per OKADER vak);
2. Stap 2: Bepalen van het HBN op de geselecteerde locaties met Hydra-NL voor de verschillende tijdlijnen (met database fysica van de HR2011/WBI2017);
3. Stap 3: Bepalen van het ontwerppunt (windsnelheid, windrichting en lokale waterstand in het illustratiepunt<sup>2</sup>) voor de geselecteerde locaties met Hydra-NL;
4. Stap 4: Categoriseren van de ontwerppunten naar windsnelheid, windrichting en lokale waterstand. Op deze manier zijn 19 'unieke' condities bepaald waarmee nieuwe golfcondities in de geselecteerde punten bepaald kunnen worden. In Rijkswaterstaat (2022c) is dit nader uitgewerkt;
5. Stap 5: Berekenen met SWAN2D voor de geselecteerde condities uit stap 4 (wind en lokale waterstand) per scenario (zeespiegelstijging in combinatie met bodemhoogteverandering): dit geeft de golfcondities per scenario langs alle HR-

<sup>2</sup> Het illustratiepunt is een combinatie van hydraulische belastingen bij de norm, die het meest waarschijnlijk is (grootste kans van voorkomen heeft).

- locaties per watersysteem. Zie Figuur 5 voor welke waarden van ZSS SWAN berekeningen zijn gemaakt;
6. Stap 6: Bepalen van het effect van voorlanden en haventerreinen op golfcondities met SWAN1D voor representatieve HR-locaties binnen de OKADER-vakken met een voorland. Dit is een extra nauwkeurigheidsslag die nodig is om het effect van voorlanden goed mee te kunnen nemen;
  7. Stap 7: Vertalen van combinatie van waterstand en golfconditie naar HBN met de (deterministische) TAW-2002 golfoploopformule [TAW, 2002];
  8. Stap 8: Inter- en extrapoleren van de HBN-waarden voor zeespiegelstijging volgens de tijdlijnen voor zeespiegelstijgingen anders dan 0,5; 1,0; 2,0 en 3,0 m;
  9. Stap 9: Bepalen van de verschillen in het HBN (uit stap 7) per locatie voor de verschillende mate van zeespiegelstijging en bodemverandering. De verschillen vormen een correctie op de oorspronkelijke HBNs uit stap 2;
  10. Stap 10: Optellen van correctie uit stap 9 bij het probabilistisch bepaalde HBN (uit Hydra-NL) van het scenario uit stap 2;
  11. Stap 11: Bepalen van effect van zeespiegelstijging en bodemverandering uit verschil tussen het HBN uit stap 10 en het HBN referentie uit stap 2.

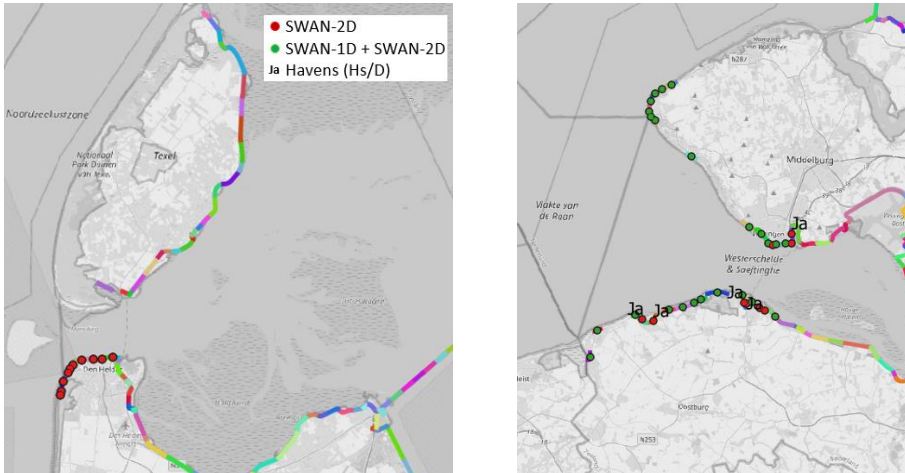


Figuur 5: ZSS tijdlijnen. Bron: [Rijkswaterstaat, 2021b].

Voor de Harde waterkeringen langs de kust is rekening gehouden met een bodem die volledig meegroeit met de zeespiegelstijging.

Een uitgebreidere uitleg over de methodiek is opgenomen in Rijkswaterstaat (2022c). De resultaten van de kust van Zeeuws Vlaanderen en Walcheren zijn bepaald met de methodiek die beschreven staat in Rijkswaterstaat (2023e) en de resultaten van de Helderse Zeewering zijn beschreven met de methodiek zoals die beschreven is in Rijkswaterstaat (2023a). Voor Zeeuws Vlaanderen en Walcheren is gebruik gemaakt van het SWAN-model van de Westerschelde en voor de Helderse Zeewering van het Waddenzeemodel. Omdat deze modellen niet de rest van de Kust omvatten is voor de Veerse Gatdam, het Flaauwe werk en de Brouwersdam een andere methodiek gebruikt ([Rijkswaterstaat 2022e], [Rijkswaterstaat 2022f] en [Rijkswaterstaat 2022g]). De overige gedeeltes van de harde kust worden niet meegenomen. De Zandige Kust wordt beschreven in hoofdstuk 7.

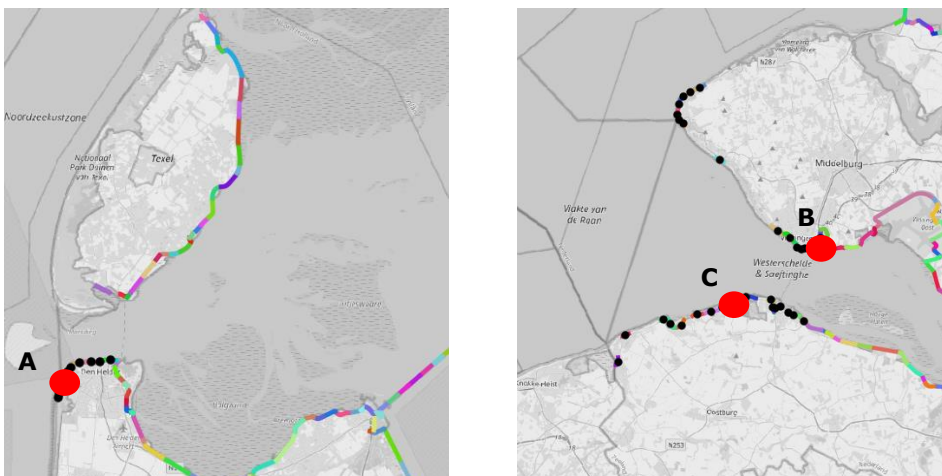
In Figuur 6 is getoond wanneer de resultaten van SWAN2D en wanneer die van SWAN1D zijn gebruikt.



Figuur 6: Keuze tussen SWAN2D en SWAN1D: links kust Den Helder en rechts kust Cadzand – Breskens en Westkapelle - Vlissingen.

### 3.3 Resultaten hydraulische belastingen

De hydraulische belastingen langs de Harde waterkeringen kust zijn berekend voor 36 dijkvakken (10 Waddenzee en 26 in Westerschelde) en 3 bolwerken (zie Figuur 7). Daarvoor is gebruik gemaakt van 36 uitvoerlocaties uit de Hydra-NL WBI2017 -databases met verschillende mate van zeespiegelstijging. In dit hoofdstuk worden de resultaten voor de voorkeursstrategie met bodemscenario Volledig Meegroeien besproken. De andere bodemscenario's komen aan bod in de gevoeligheidsanalyse in paragraaf 6.2.



Figuur 7: Locaties Harde Kust waarvoor de uitvoer wordt gepresenteerd. Links: locatie Huisduinen (A). Rechts: locatie Vlissingen (boven - B) en Breskens (onder - C).

Eerst worden de resultaten van de berekeningen voor de waterstanden besproken, gevolgd door de resultaten van de HBN-berekeningen. Voor zowel de waterstands- als de HBN-berekeningen laten we de frequentielijnen zien voor een aantal voorbeeldlocaties en bespreken we discussiepunten. De resultaten voor alle

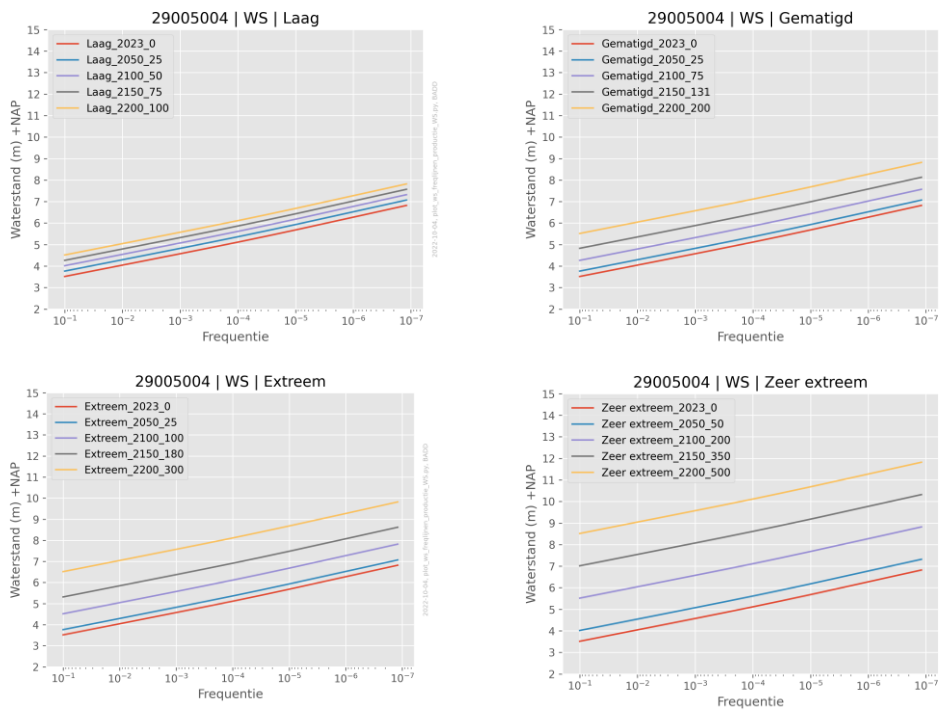


dijkvakken zijn beschikbaar in het opleverdossier en worden in deze rapportage niet specifiek toegelicht.

Aangezien het gaat om een beleidsstudie en niet bijvoorbeeld om een beoordeling (BOI) of ontwerp, is met name het totaal beeld langs de Kust relevant. Om een totaal beeld te verkrijgen van de hydraulische belastingen langs de Kust is het verschil in de waterstand bij de norm en het HBN tussen de tijdlijnen Laag, Gematigd, Extreem en Zeer Extreem berekend. De resultaten van deze vergelijking voor waterstand bij de norm en HBN worden respectievelijk besproken onder het kopje waterstanden en HBN.

### 3.3.1 Waterstanden

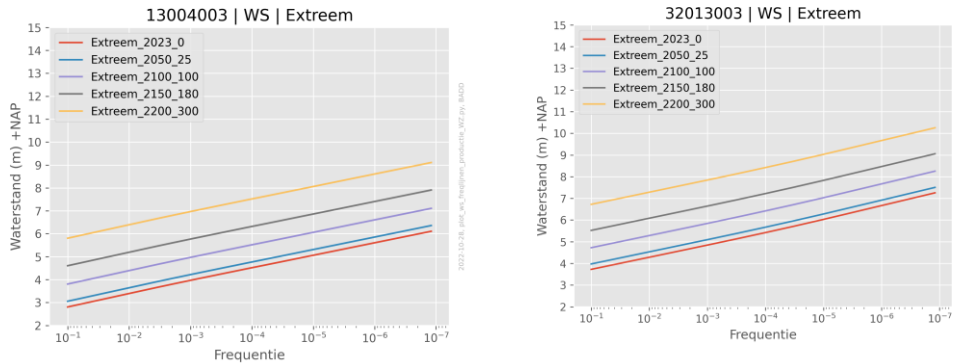
Langs de Kust werkt de zeespiegelstijging direct door in de waterstanden langs de waterkering. In deze studie is er daarom van uit gegaan dat de waterstanden langs de dijk evenredig stijgen met de zeespiegelstijging [Deltares, 2022a]. Een voorbeeld van Westkapelle is te zien in Figuur 8.



Figuur 8: Waterstandfrequentielijnen Westkapelle (locatie B).

In de figuren is te zien dat de waterstandfrequentielijnen toenemen met de zeespiegelstijging waarbij de toename het kleinst is voor tijdlijn Laag en het grootst voor tijdlijn Zeer Extreem.

Ter illustratie zijn in Figuur 9 ook de waterstandfrequentielijnen voor tijdlijn Extreem in Huisduinen langs de Noord-Hollandse Kust (locatie A) en Cadzand (locatie C) gepresenteerd. De locatie van deze punten is gegeven in Figuur 7.



Figuur 9: Waterstandfrequentielijnen tijdlijn Extreem voor Huisduinen (13004003), en Cadzand (32013003).

**Overzicht**

Tabel 2 toont de gemiddelde stijging van de waterstand bij de norm ten opzichte van de tijdlijn Laag. Voor de Kust is de aanname gehanteerd dat de toename van de waterstand gelijk is aan die van de ZSS [Deltares, 2022a], maar dit is in andere watersystemen, bijvoorbeeld door invloeden van rivierafvoeren of gebiedsgeometrie, niet het geval.

Tabel 2: Gemiddelde stijging in waterstand bij norm voor tijdlijn Gematigd, Extreem en Zeer Extreem t.o.v. tijdlijn Laag.

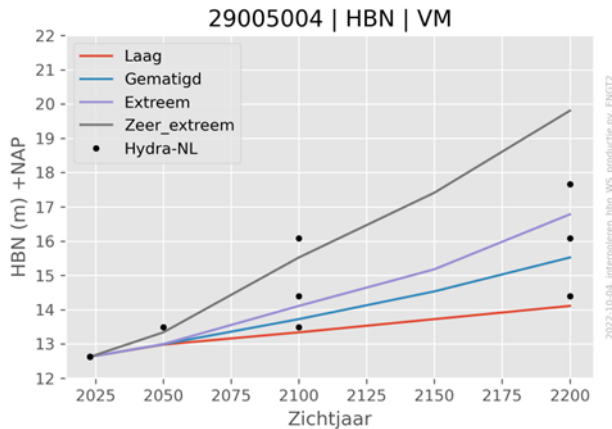
Zichtjaar	Gemiddelde stijging ZSS en gemiddelde stijging waterstand bij de norm langs Kust t.o.v. Tijdlijn Laag					
	Gematigd t.o.v. Laag		Extreem t.o.v. Laag		Zeer Extreem t.o.v. Laag	
	ZSS	WS Kust	ZSS	WS Kust	ZSS	WS Kust
2023	-	-	-	-	-	-
2050	-	-	-	-	+25 cm	+25 cm
2100	+25 cm	+25 cm	+50 cm	+50 cm	+150 cm	+150 cm
2150	+56 cm	+56 cm	+105 cm	+105 cm	+275 cm	+275 cm
2200	+100 cm	+100 cm	+200 cm	+200 cm	+440 cm	+440 cm

3.3.2 Hydraulisch belastingniveau (HBN)

**Frequentielijnen**

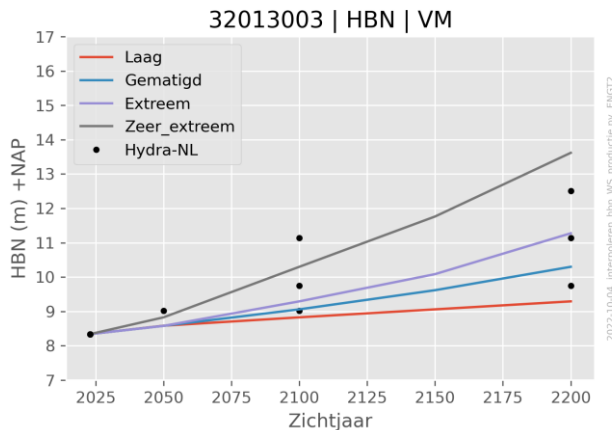
Voor de vier tijdlijnen Laag, Gematigd, Extreem en Zeer Extreem zijn frequentielijnen voor het HBN gemaakt. Een voorbeeld voor Huisduinen (Locatie A), Westkapelle (Locatie B) en Cadzand (Locatie C) is te zien in Figuur 10 t/m Figuur 12. De figuren met de frequentielijnen geven de HBN's weer voor bodemsценario Volledige Meegroeien (voor tijdlijnen Laag, Gematigd, Extreem en Zeer Extreem), de zwarte punten geven ter illustratie de Hydra-NL resultaten weer (gelijk aan bodemsценario Niet Meegroeien). De locaties zijn weergegeven in Figuur 7. Te zien is dat de HBN's toenemen binnen een tijdlijn voor een hoger zichtjaar en tussen tijdlijnen in het geval van een extremere tijdlijn. De hydraulische belastingen voor de overige bodemsценario's Niet Meegroeien en Voortzetting Trend staat beschreven in hoofdstuk 6.

Voor Westkapelle is te zien dat het HBN stijgt van NAP+12,6 m in 2023 naar NAP+19,8 m in 2200 voor tijdlijn Zeer Extreem.



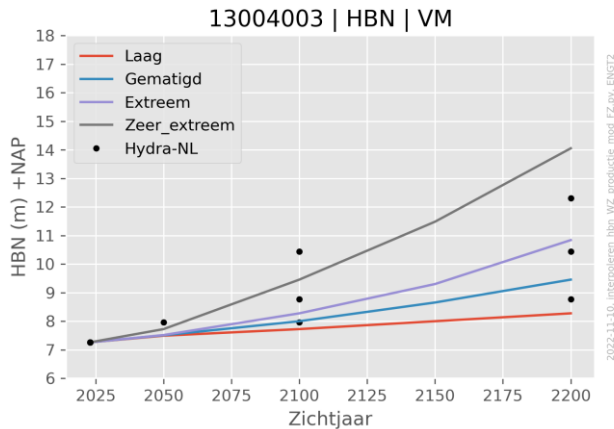
Figuur 10: HBN lijnen Westkapelle (SWAN2D) voor een volledig meegroeiende bodem. De lijnen geven de HBN's weer voor bodemscenario Volledig Meegroeien (voor tijdlijn Laag, Gematigd, Extreem en Zeer Extreem), de zwarte punten geven ter illustratie de Hydra-NL resultaten weer (gelijk aan scenario Niet meegroeien).

Voor Cadzand stijgt het HBN van NAP+8,3 m in 2023 naar NAP+12,3 m in 2200 voor tijdlijn Extreem (en voor Zeer Extreem stijgt het HBN naar NAP+13,6 m (ZSS 5,4 m)). De HBN stijgt dus 5,3 m.



Figuur 11: HBN lijnen Cadzand (SWAN-2D) voor een volledig meegroeiende bodem. De lijnen geven de HBN's weer voor bodemscenario Volledig Meegroeien (voor tijdlijn Laag, Gematigd, Extreem en Zeer Extreem), de zwarte punten geven ter illustratie de Hydra-NL resultaten weer (gelijk aan scenario Niet meegroeien).

Voor Huisduinen (vak 13004003) stijgt het HBN van NAP+7,3 m in 2023 naar NAP+14,0 m in 2200 voor tijdlijn Zeer Extreem (Figuur 12).



Figuur 12: HBN lijnen Huisduinen (SWAN-2D) voor een volledig meegroeiende bodem. De lijnen geven de HBN's weer voor bodemscenario Volledig Meegroeien (voor tijdslijnen Laag, Gematigd, Extreem en Zeer Extreem), de zwarte punten geven ter illustratie de Hydra-NL resultaten weer (gelijk aan bodemscenario Niet meegroeien).

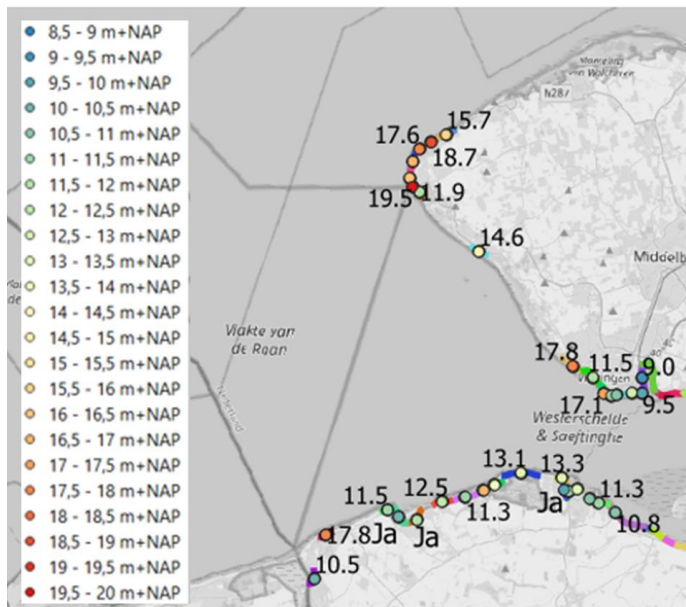
### 3.4 Samenvatting

Tabel 3 toont de gemiddelde stijging van het HBN van alle uitvoerlocaties ten opzichte van de tijdslijn Laag voor de voorkeursstrategie Volledig Meegroeien (VM). Opvallend is dat het HBN bij Volledig Meegroeien iets groter is dan de zeespiegelstijging. Theoretisch zouden die gelijk moeten zijn. Reden dat het HBN tussen 24% en 26% toeneemt is dat het HBN is bepaald ten opzichte van het bodemscenario Niet Meegroeien volgens de illustratiepuntenmethode. In de methode wordt het HBN voor het bodemscenario Volledig Meegroeien verkregen door een relatief grote negatieve correctie ( $dHBN < 0$ ) die met SWAN wordt bepaald. In feite neemt het HBN bij Niet Meegroeien eerst flink toe en wordt daarna een grote correctie gemaakt voor het bodemscenario Volledig Meegroeien. Daarom is dan de uitkomst wat minder nauwkeurig dan bij een kleine correctie bij het bodemscenario Voortzetting Trend (VT) of helemaal geen correctie bij het bodemscenario Niet Meegroeien (NM). Het verschil kan verklaard worden doordat voor het bodemscenario Niet Meegroeien de resultaten van Hydra-NL zijn gebruikt, waarbij een veel grotere database van golfcondities en waterstanden wordt meegenomen en dat de berekening van HBN's in Hydra-NL net iets anders gaat dan volgens de TAW methodiek [TAW, 2002]. In Deltares (2022b) is aangegeven dat met de illustratiepuntenmethode een foutenmarge van 30% moet worden geaccepteerd. Daar blijven we hier binnen. Uitgebreider is de onnauwkeurigheid van de illustratiepuntenmethode onderzocht in Rijkswaterstaat (2023c). Hieruit komt naar voren dat de lokale verschillen groot kunnen zijn, maar globaal de resultaten binnen de marge liggen. Daarom zijn de HBN's voor het bodemscenario Volledig Meegroeien gebruikt voor het bepalen van de waterveiligheidsopgave. In paragraaf 6.2 wordt invloed van deze onzekerheid op de waterveiligheidsopgave beschreven.

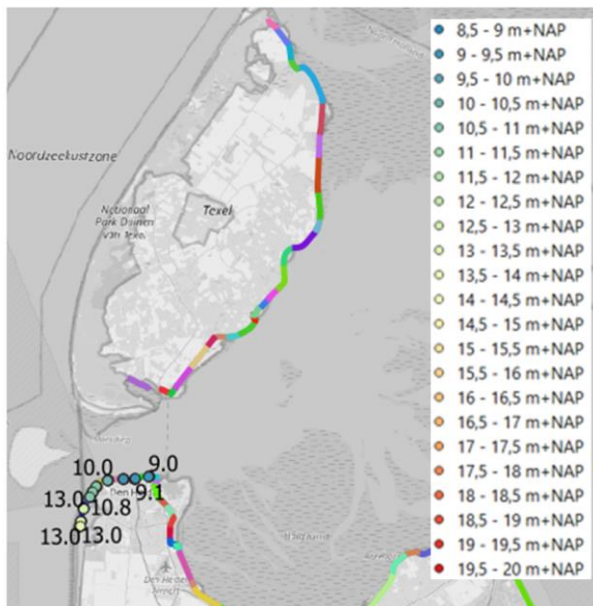
Tabel 3: Gemiddelde stijging in waterstand en HBN langs de Kust voor tijdlijn Gematigd, Extreem en Zeer Extreem t.o.v. tijdlijn Laag voor bodemsценario Volledig Meegroeien

Zichtjaar	Gemiddelde stijging waterstand en HBN langs Kust t.o.v. tijdlijn Laag voor bodemsценario Volledig Meegroeien					
	Gematigd t.o.v. Laag		Extreem t.o.v. Laag		Zeer Extreem t.o.v. Laag	
	Waterstand (ZSS)	HBN	Waterstand (ZSS)	HBN	Waterstand (ZSS)	HBN
2023	-	-	-	-	-	-
2050	-	-	-	+1 cm	+25 cm	+30 cm
2100	+25 cm	+31 cm	+50 cm	+62 cm	+150 cm	+186 cm
2150	+56 cm	+70 cm	+105 cm	+131 cm	+275 cm	+344 cm
2200	+100 cm	+124 cm	+200 cm	+250 cm	+437 cm	+552 cm

In Figuur 13 en Figuur 14 zijn de HBN's voor tijdlijn Extreem en een volledig meegroeiende bodem in het jaar 2200 getoond.



Figuur 13: HBN voor tijdlijn Extreem in het jaar 2200 bij de monding van de Westerschelde.



Figuur 14: HBN voor tijdelijk Extreem in het jaar 2200 de Waddenzee.

## 4 Waterveiligheidsopgave Harde waterkeringen Kust

### 4.1 Doel

Het doel van het onderdeel waterveiligheidsopgave harde kust is het afleiden van de potentieel benodigde versterkingen voor de bolwerken en de overige harde waterkeringen door zeespiegelstijging. Hierbij wordt gekeken naar de ruimtelijke dimensies van de versterkingen, de kruinhoogtetekorten en de bijbehorende kosten van de versterkingen.

De waterveiligheidsopgave van de harde waterkeringen langs de kust is verdeeld in twee soorten waterkeringen:

- Bolwerken (keringen met constructieve elementen)
- Overige harde waterkeringen (conventionele zeedijken):
  - A. Binnen het bereik van de SWAN modellen Waddenzee en Westerschelde: Helderse Zeewering, Westkapelse Zeedijk, Zoutelande, Breskens Fort, Waterdunen, Verdrongen Zwarte Polder, Cadzand en Het Zwin.
  - B. Buiten het bereik van de SWAN modellen voor de Waddenzee en de Westerschelde: Veerse Gatdam, Brouwersdam en Flaauwe Werk.

De methode voor het bepalen van de waterveiligheidsopgave voor de bolwerken is anders dan voor de overige harde waterkeringen. De methode voor de bolwerken staat beschreven in paragraaf 4.2.1. De methode voor de overige harde waterkeringen binnen het bereik van de SWAN-modellen staat beschreven in paragraaf 4.2.2. De methode van de overige harde waterkeringen buiten het bereik van de SWAN-modellen is hier niet opgenomen, maar valt terug te lezen in de rapportages van RWS ([Rijkwaterstaat, 2022e], [Rijkwaterstaat, 2022f], [Rijkwaterstaat, 2022g]). De resultaten van de Veerse Gatdam, Brouwersdam en Flaauwe Werk zijn overgenomen uit de rapportages van RWS in deze rapportage. De kosten voor deze overige harde waterkeringen zijn consistent gemaakt met de kosten voor bolwerken en de overige harde waterkeringen die binnen het bereik liggen van de SWAN-modellen.

### 4.2 Methode

#### 4.2.1 Methode bolwerken

Deze paragraaf beschrijft de toegepaste methodiek voor de bolwerken. De methodiek is op ieder bolwerk toegepast. In het hoofdrapport zijn enkel de resultaten voor het gekozen versterkingsalternatief gepresenteerd<sup>3</sup>. De resultaten bestaan uit het hoogtetekort en de bijbehorende kosten. De onderbouwing is toegevoegd in Bijlage A. Onderstaande stappen zijn uitgebreider uitgewerkt in hoofdstuk 2 van Leidraad Bolwerken Kust [Rijkwaterstaat, 2022d]:

1. Maken situatieschets
2. Bepalen kruinhoogtetekort
3. Genereren versterkingsalternatieven
4. Motivatie voor versterkingsalternatief
5. Dimensionering van versterkingsalternatief
6. Maken kostenschatting

---

<sup>3</sup> Het gekozen versterkingsalternatief bestaat uit een robuuste versterking welke voldoet voor alle tijdslijnen tot zichtjaar 2200. Daarnaast dient het mogelijk te zijn het versterkingsalternatief in te passen in de bestaande situatie. De selectie voor een versterkingsalternatief is niet volgens een planprocedure tot stand gekomen.

## 1) Situatieschets

Bij het maken van de situatieschets is de opbouw en de geometrie van de zeewering van het bolwerk beschouwd. Hier is beschouwd tot waar de zeekering versterkt is met constructieve elementen en waar de overgang naar een ander type waterkering (harde of zandige waterkering) ligt.

Vervolgens is het bolwerk verdeeld in strekkingen welke grotendeels een gelijke opbouw en geometrie hebben. Per strekking is een representatief profiel bepaald. Het profiel is bepaald met behulp van beschikbare tekeningen. Hierbij is uitgegaan van globale kenmerken. Deze kunnen afwijken van de gedetailleerde gegevens die beschikbaar zijn uit de Landelijke beoordelingen (LBO-1). Bij het indelen van de strekkingen is zoveel mogelijk de indeling van OKADER-vakken aangehouden. Tot slot is bij de situatieschets beschouwd hoe de zeewering is ingepast in de huidige situatie en of deze naast het keren van water ook andere functies vervuld.

## 2) Kruinhoogtetekort

Het maximaal toelaatbare gemiddelde overslagdebiet is gesteld op 10 l/s/m voor bolwerken. Dit wijkt af van andere harde keringen langs de kust, omdat de kruin en het binnentalud bij bolwerken niet bestaat uit een grasbekleding is het toelaatbare overslagdebiet hoger. De kruin van de keringen bij bolwerken is namelijk verhard. Op basis van paragraaf 3.1 uit Technisch rapport golfoploop en golfoverslag bij dijken [Technische Adviescommissie voor Waterkeringen, 2002] wordt een toelaatbaar overslagdebiet van 10 l/s/m aangehouden voor een verharde kruin. Het kruinhoogtetekort wordt met een eenvoudige methode bepaald welke afwijkt van LBO-1. Er is sprake van een kruinhoogtetekort wanneer de huidige kruinhoogte lager is dan de minimaal benodigde kruinhoogte om aan een overslagdebiet van 10 l/s/m te voldoen. Het kruinhoogtetekort is bepaald voor één bodemscenario (Volledig Meegroeien voor Breskens en Vlissingen en Volgen Trend voor Helderse zeewering), bij vier verschillende tijdlijnen (laag, gematigd, extreem en zeer extreem) voor de zichtjaren, 2023, 2050, 2100, 2150 en 2200.

De hydraulische randvoorwaarden zijn afgeleid voor een zeespiegelstijging van 0 m, 0,5 m, 1,0 m, 2,0 m, en 3,0 m. De hydraulische randvoorwaarden zijn opgenomen in paragraaf 3.3. Voor deze waarden van zeespiegelstijging is het kruinhoogtetekort bepaald. Voor andere waarden van zeespiegelstijging is het kruinhoogtetekort bepaald op basis van inter- en extrapolatie. Voor tussenliggende jaren is het kruinhoogtetekort bepaald met behulp van een lineaire interpolatie. Hiermee is het afkeurjaar bepaald.

De minimaal benodigde kruinhoogte waarbij het toelaatbare golfoverslagdebiet van 10 l/s/m optreedt, is bepaald met de ontwerpformules (vergelijking 22 en 23) uit het Technisch rapport golfoploop en golfoverslag bij dijken [TAW, 2002]. Het kruinhoogtetekort wordt bepaald ten opzichte van de huidige situatie. Daarom zijn de gekozen reductiefactoren per strekking constant gehouden, dus ook wanneer de constructie is aangepast bij verschillende tijdlijnen. De volgende reductiefactoren zijn gehanteerd:

- Ruwheidsreductiefactor indien basalt of steenzetting aanwezig waarde van 0,9 anders 1,0.
- Reductiefactor kruinmuur indien aanwezig waarde van 0,7.
- Reductiefactor berm indien aanwezig waarde van 0,7.
- Reductiefactor verticale wand op een kade. De kade ligt hierbij onder water. De reductiefactor is variabel, zie Figuur 15.

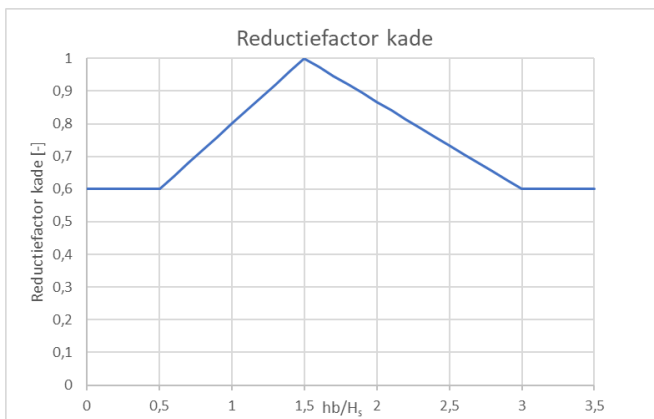
Conform Technisch rapport golfoploop en golfoverslag bij dijken [TAW, 2002] dient de reductiefactor voor een constructie met een verticale wand en kade bepaald te worden met de vergelijkingen uit Golfoverslag en krachten op verticale waterkeringsconstructies" [WL, 1998]. In dit rapport wordt de constructie met een



verticale wand of talud en de kade als een geheel gezien. De reductiefactor is afhankelijk van de relatieve kade hoogte ( $h_b = SWL - h_{kade}$ ) en de optredende significante golfhoogte.

$h_b$  = relatieve kade hoogte ten opzichte van de waterstand inclusief zeespiegelstijging [m]  
 SWL = stil waterstand inclusief zeespiegelstijging [m+NAP]  
 $h_{kade}$  = hoogteligging kade [m+NAP]

Figuur 15 geeft het verloop van de reductiefactor als functie van de relatieve kadehoogte/golfhoogte.

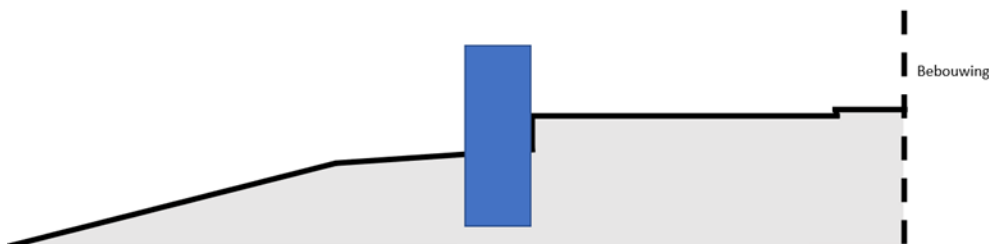


Figuur 15: Reductiefactor verticale wand op een ondergelopen kade.

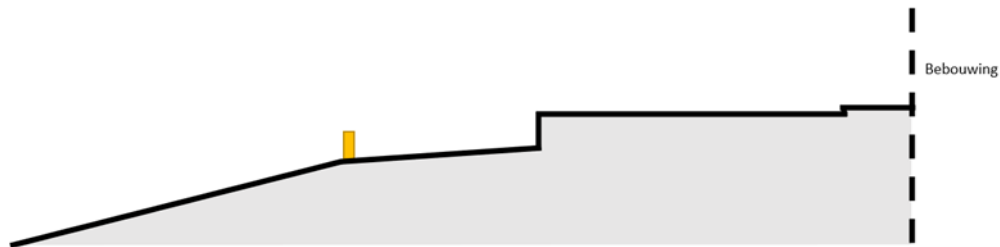
### 3) Genereren versterkingsalternatieven

Bij het genereren van alternatieven zijn op basis van expert judgement verschillende aanpassingen aan de bestaande situatie beschouwd. Deze aanpassingen hebben als doel een constructie in de huidige situatie in te passen die voldoet voor de mogelijke faalmechanismen. Bij het genereren van alternatieven zijn geen combinaties van maatregelen beschouwd. De beschouwde versterkingsalternatieven zijn hieronder schematisch getoond. De versterkingsalternatieven bestaan uit:

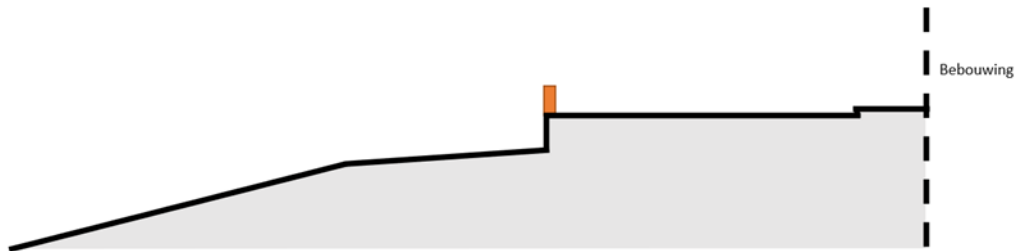
- Verhogen kruin met een kistdam, zie Figuur 16.
- Golfdempende uitbouw. Combinatie van een overslagelement aan de zeewaartse zijde van de berm/kade en een verticale wand aan de landwaartse zijde van de berm/kade, zie Figuur 17.
- Plaatsen kruinmuur. Een kruinmuur is een verticaal element dat boven op de boulevard/kruin wordt aangebracht om de kruinhoogte te verhogen, zie Figuur 18.
- Verhogen kruin door middel van een damwand en landwaartse aanvulling, zie Figuur 19.



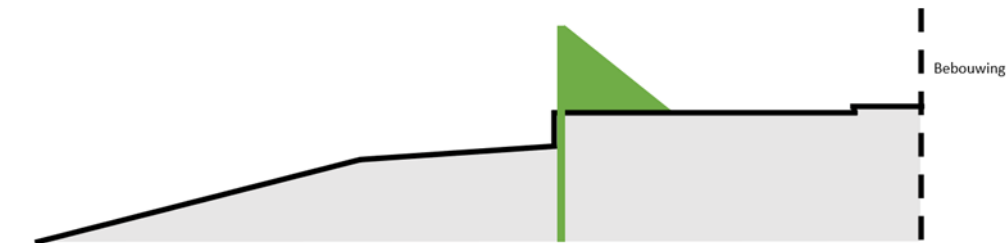
Figuur 16: Schematisatie kistdam in blauw en bestaande situatie in zwart



Figuur 17: Schematisatie golfdempende uitbouw in geel en bestaande situatie in zwart



Figuur 18: Schematisatie kruinmuur in oranje en bestaande situatie in zwart.



Figuur 19: Schematisatie damwand met landwaartse aanvulling in groen en bestaande situatie in zwart.

#### 4) Selectie versterkingsalternatief

Doel is om per strekking één robuust alternatief te genereren dat voldoet tot zichtjaar 2200 voor alle tijdlijnen. Om tot een voorkeursversterkingsalternatief te komen is per alternatief beschouwd of het mogelijk is om bij alle tijdlijnen het overslagdebiet te reduceren tot 10 l/s/m. Indien dit niet mogelijk is of leidt tot onrealistische aanpassingen aan de bestaande situatie, is het alternatief niet verder beschouwd. Vervolgens is per alternatief bekeken hoe het mogelijk is deze in te passen in de huidige zeewering en of dit invloed heeft op de huidige functies van de zeewering. Het alternatief dat de minste negatieve invloed heeft naar mening van de ontwerper, is uitgewerkt. De kosten zijn niet meegenomen als onderdeel van de afweging.

#### 5) Dimensionering versterkingsalternatief

De dimensies van de versterkingsalternatieven zijn bepaald op basis van vuistregels. Voor damwanden is de benodigde lengte bepaald op basis van de kerende hoogte. De benodigde lengte is minimaal 3 maal de kerende hoogte. De vuistregels voor kistdammen volgen uit het Handboek Kademuuren [CUR, 2005]. De hoogte en breedte van de kistdam zijn als volgt bepaald:

- Totale benodigde hoogte kistdam is twee maal de kerende hoogte
- Breedte kistdam is één maal de kerende hoogte.

Op de benodigde lengte wordt een extra lengte van 1 meter toegepast. De lengte van de damwand en kistdam is afgerond op een heel aantal meters. Kistdammen in drie verschillende breedtes (4, 6 en 8 meter) zijn beschouwd.

In de gehanteerde vuistregels voor damwanden en kistdammen is impliciet het faalmechanisme macrostabiliteit meegenomen. Daarnaast neemt de kwelweglengte

toe bij het plaatsen van een damwand en kistdam. Dit resulteert in een verminderde kans op piping. De faalmechanismen macrostabiliteit en piping worden daarom niet nader beschouwd.

## 6) Kostenschatting

Voor het maken van een kostenschatting zijn twee versterkingsstrategieën beschouwd:

- De constructies worden iedere versterkingsronde van 50 jaar om technische redenen opnieuw aangelegd (versterkingsstrategie A).
- Constructies worden ontworpen met een levensduur van 100 jaar. Hierbij is de aanname dat de constructie de gewijzigde hydraulische belasting kan weerstaan. De constructies worden na 100 jaar vervangen (versterkingsstrategie B).

De start van de versterking van de kering is afhankelijk van de huidige kruinhoogte, de tijdlijn en het bodemsценario. Als uitgangspunt is gehanteerd dat de eerste versterking uiterlijk in 2050 (einde levensduur) plaatsvindt. Waarna deze afhankelijk van de strategie elke 50 jaar of 100 jaar wordt versterkt. De nominale versterkingskosten zijn bepaald voor de zichtjaren 2050, 2100, 2150 en 2200. De versterkingskosten zijn vervolgens gecorrigeerd voor de restwaarde bij bovenstaande zichtjaren.

De restwaarde wordt bepaald door de versterkingskosten lineair af te schrijven tot aan het volgende versterkingsmoment. Het bolwerk wordt versterkt waarna de kruinhoogte weer voldoet tot einde levensduur. Na vervanging heeft een object weer een levensduur van 50 of 100 jaar, afhankelijk van de gekozen versterkingsstrategie.

Voor het bepalen van de kosten voor de versterkingsmaatregelen worden de waarden uit de database kosten\_langsconstructies\_2009\_2022\_v.05 gehanteerd. De nominale kosten zijn afgeleid met 2023 als basisjaar.

### 4.2.2 Methode overige harde waterkeringen binnen het bereik van de SWAN-modellen

Om de waterveiligheidsopgave voor de dijken te bepalen, zijn de hydraulische belastingen, zoals in hoofdstuk 3 beschreven, gecombineerd met de sterkte van de keringen. Vervolgens zijn de kosten en dimensies van te verwachten dijkversterkingen bepaald. De sterkte van de keringen is in beeld gebracht met de faalmechanismen voor hoogte (Gras Erosie Kruin en Binnentalud (GEKB)), piping en macrostabiliteit.

De waterveiligheidsopgave is de totale opgave (hoogte- en sterkte tekort) van keringen die niet voldoen aan de (ondergrens)norm in een bepaald zichtjaar. De versterkingsopgave zijn de kosten en het ruimtebeslag om aan de norm te voldoen in een bepaald zichtjaar.

Om de waterveiligheidsopgave te bepalen zijn de hydraulische belastingen en de sterkte van de keringen binnen de software OKADER versie 2021.01 met elkaar gecombineerd:

- Als invoer van OKADER zijn verder hydraulische belastingen nodig. Dit betreffen waterstandsfrequentielijnen om de waterveiligheidsopgave voor de sterkte te kunnen bepalen en HBN's om de versterkingsopgave voor hoogte te kunnen bepalen. Deze hydraulische belastingen zijn binnen OKADER per tijdlijn (Laag, Gematigd, Extreem en Zeer Extreem) en per zichtjaar (referentiejaar 2023, 2050, 2100, 2150 en 2200) ingevoerd.

- De sterkte van de keringen is binnen OKADER beschreven met zogenaamde fragility curves [Witteveen+Bos en HKV, 2022] (voor de sterkteopgave) en kruinhoogtes (voor de hoogteopgave). Fragility curves beschrijven de sterkte van de kering aan de hand van faalkans per waterstand (conditionele faalkansen). Het sterktetekort wordt berekend door het combineren van de fragility curves met de waterstandsfrequentielijnen voor piping en macrostabiliteit. Hieruit volgt een faalkans, welke vervolgens getoetst wordt aan de doorsnede-eis per mechanisme van het betreffende traject. Voor het hoogtetekort is het HBN bij een overslagdebiet van 5 l/s/m bepaald op basis van de doorsnede-eis bij de ondergrens van de norm. Dit HBN wordt vergeleken met de werkelijk aanwezige kruinhoogte. Hieruit volgt of de kering wel of niet voldoet aan de eis.

De vergelijking van de berekende faalkans met de faalkans-eis resulteert in het moment (jaar) waarin de waterkering niet meer aan de norm voldoet en de mate waarin de kering versterkt dient te worden met een ontwerplevensduur van 50 jaar: dimensies en dijkversterkingskosten. Uit een KOSWAT-database met vooraf klaargezette kostenberekeningen bij verschillende combinaties van versterkingsdimensies eenheidsprijzen voor dijkversterkingskosten volgen de kosten die gemaakt moeten worden om de kering te laten voldoen aan de eis voor waterveiligheid.

Binnen OKADER kan gerekend worden met drie verschillende typen versterkingsstrategieën:

1. Traditionele versterking met constructieve inpassing (strategie 3B). Binnen deze versterking wordt met een groene oplossing versterkt waar mogelijk, maar wordt gekozen voor een constructieve oplossing als ruimtelijke knelpunten ontstaan. Deze strategie is in de systeemanalyse de basisstrategie, omdat deze het beste aansluit met de uitvoering van versterkingen in de huidige ontwerp-praktijk (business as usual).
2. Versterking met groene kering. Binnen deze versterking wordt, onafhankelijk van de ruimtelijke knelpunten, versterkt met een groene oplossing (taludverflauwing of bermverbreding). Deze strategie wordt ook gebruikt om de ruimtelijke inpassing te analyseren. Als indicator hiervoor wordt het aantal te amoveren gebouwen in de versterkingszone gebruikt.<sup>4</sup>
3. Versterking met groene kering en innovatieve pipingmaatregelen. Binnen deze versterking wordt, onafhankelijk van de ruimtelijke knelpunten versterkt met een groene oplossing (verbreding van de dijkbasis). Deze verbreding van de dijkbasis wordt gereduceerd in afmeting door het toepassen van een alternatieve pipingmaatregel (bijv. een kwelscherm, verticaal zanddicht geotextiel (VZG) of grof-zandbarrière (GZB)). Deze strategie dient als vergelijkingsstrategie voor de bovengenoemde twee strategieën.

Uit OKADER volgt in welk jaar versterkt wordt, hoeveel deze versterking kost en wat de dimensies van de versterkingen zijn (hoogtetoename, benodigde verbreding van de dijkbasis door taludverflauwing of een berm en eventueel tijdelijk of permanent aantal te amoveren gebouwen in de versterkingszone en bijbehorende kosten). Op basis van deze resultaten wordt voor de relevante zichtjaren (2050, 2100, 2150 en 2200) bepaald wat de kosten zijn, wat de hoogte- en sterkteopgave is en hoeveel gebouwen in de versterkingszone geamoveerd dienen te worden.

---

<sup>4</sup> Deze strategie zegt niets of overwogen wordt om gebouwen in de versterkingszone te amoveren. Naast amoveren bestaan verschillende alternatieven, zoals een andere versterkingsstrategie (bijv. constructieve maatregelen – business as usual) of bijv. het opvijzelen van gebouwen.

#### 4.2.2.1 Kostenberekening

Zoals in paragraaf 4.2.2.1 is beschreven, worden de kosten en het tijdstip waarop een versterking moet plaatsvinden berekend. Voor de toepassing binnen de systeemanalyse zijn we geïnteresseerd in de volgende kosten:

- (Nominale) Kosten tot en met een bepaald zichtjaar, per tijdlijn;
- (Nominale) Kosten per meter zeespiegelstijging.

Uit OKADER volgt per tijdlijn welke versterkingskosten nodig zijn in het jaar dat een kering versterkt moet worden (deze jaartallen komen niet overeen met de relevante zichtjaren). Om deze informatie toe te kunnen passen in de systeemanalyse verwerken we deze kosten naar de kosten per tijdlijn in een relevant zichtjaar (2050, 2100, 2150, 2200). Hierin onderscheiden we twee kostenvarianten, zie bovenstaand.

Voor de *(nominale) kosten t/m een bepaald zichtjaar, per tijdlijn* bepalen we de kosten per tijdlijn die t/m een van de relevante zichtjaren zijn berekend. Hierbinnen vallen de investeringen voor een bepaald zichtjaar die gedaan worden om 50 jaar vooruit te voldoen.

**Voorbeeld (nominale) kosten t/m een bepaald zichtjaar, per tijdlijn.**

Voor tijdlijn Laag is berekend dat er in het jaar 2045 een versterking uitgevoerd moet worden van 1,2 miljoen euro, in het jaar 2095 een versterking van 2,6 en in 2155 een versterking van 1,2. De nominale kosten voor deze tijdlijn betreffen t/m: zichtjaar 2050 1,2 miljoen euro, zichtjaar 2100 3,8 miljoen euro, tot zichtjaar 2150 3,8 miljoen euro en tot 2200 5,0 miljoen euro.

Voor de *(nominale) kosten per meter zeespiegelstijging* kijken we per tijdlijn, per zichtjaar hoeveel kosten in dat jaar gemaakt zijn. Dit betekent dat investeringen voor dat zichtjaar worden aangepast naar de restwaarde die deze investeringen in dat zichtjaar hebben. De restwaarde wordt bepaald met onderstaande formule:

$$Restwaarde_{zichtjaar} = \frac{\max([versterkingsjaar - (zichtjaar - 50)], [0])}{50} * investeringskosten$$

**Voorbeeld (nominale) kosten in een bepaald zichtjaar, per tijdlijn, t.b.v. kosten per m ZSS.**

Voor tijdlijn Laag is berekend dat in het jaar 2045 een versterking uitgevoerd moet worden van 1,2 miljoen euro, in het jaar 2095 een versterking van 2,6 en in 2155 een versterking van 1,2. De kosten per zichtjaar zijn dan:

Zichtjaar	Kosten t/m zichtjaar [mln. euro]	Restwaarde in zichtjaar [mln. euro]	Kosten in zichtjaar, gecorrigeerd met restwaarde [mln. euro]
2050	1,2	1,08	0,12
2100	3,8	2,34	1,46
2150	3,8	0	3,8
2200	5,0	0,12	4,88

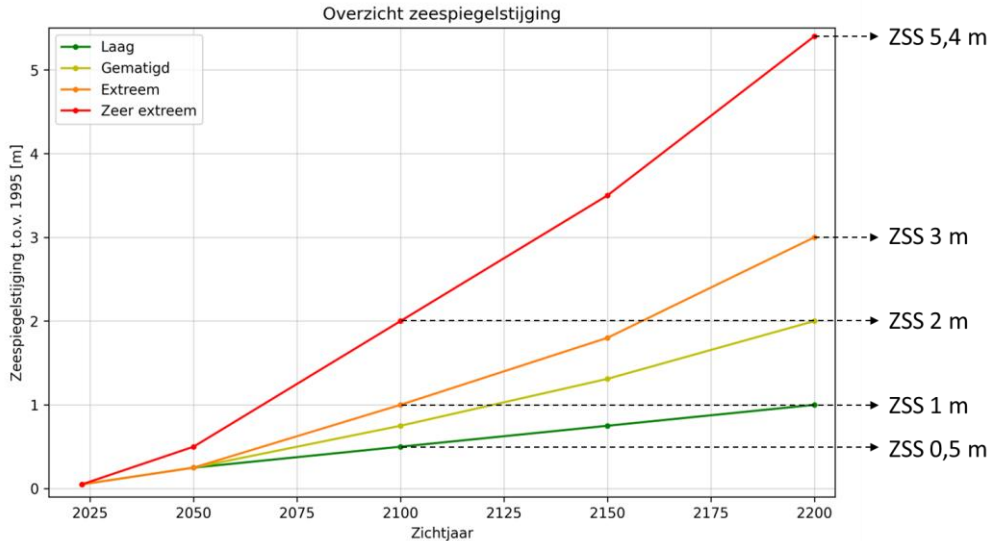
Om deze kosten te vertalen naar de kosten per meter zeespiegelstijging kijken we naar de tijdlijn/zichtjaarcombinaties die bij een bepaalde mate van zeespiegelstijging horen, zie onderstaande tabel en Figuur 20 voor het Waddengebied als voorbeeld.

Tabel 4: Mate van zeespiegelstijging gekoppeld aan tijdlijn/zichtjaarcombinaties.

Zeespiegelstijging	Tijdlijn/zichtjaarcombinaties
0,5 m	Laag 2100, Zeer Extreem 2050
1,0 m	Laag 2200, Extreem 2100
2,0 m	Gematigd 2200, Zeer Extreem 2100

3,0 m	Extreem 2200
5,4 m	Zeer Extreem 2200

Als een mate van zeespiegelstijging met meerdere tijdlijn/zichtjaar combinaties is beschreven, dan resulteert dit in een bandbreedte van de kosten.



Figuur 20: Overzicht gehanteerde mate van zeespiegelstijging per zichtjaar.

In dit hoofdstuk worden de cumulatieve nominale kosten ten opzichte van de huidige situatie gepresenteerd. Dit betekent dus inclusief de kosten tot en met 2050 voor "systeem op orde", waarbij rekening wordt gehouden met 25 – 50 cm zeespiegelstijging. In hoofdstuk 8 worden de kosten ten opzichte van "systeem op orde" gepresenteerd. "Systeem op orde" zijn alle versterkingen tot en met zichtjaar 2050 (referentie). Een versterking voor "systeem op orde" kan nog in 2050 worden afgerond, waarbij ontworpen wordt op de hydraulische belastingen, morfologie en bodemdaling in 2100 (ontwerplevensduur van 50 jaar). Daarom is de waterveiligheidsopgave voor "systeem op orde" niet gelijk aan de waterveiligheidsopgave in zichtjaar 2050, maar groter omdat er nog resthoogte/-sterkte aanwezig is. De bijbehorende nominale kosten voor "systeem op orde" zijn de nominale kosten tot en met 2050.

#### 4.2.2.2 Rekeninstellingen

Binnen OKADER zijn voor analyses enkele rekeninstellingen en uitgangspunten gehanteerd, deze zijn onderstaand beschreven en waar nodig toegelicht.

- We hanteren voor de analyses startjaar 2025 en als eindjaar 2200 met een tijdstap van 5 jaar.
- We rekenen in de analyses met bodemdaling, waarbij we 2023 als referentiejaar hanteren en de bodemdaling-database die binnen het KP ZSS is toegeleverd (o.b.v. de studie WV21 [Deltares, 2011]). Het verschil tussen 2023 en 2025, à hoogstens enkele centimeters, wordt genegeerd.
- We gebruiken voor de faalmechanismen piping en macrostabiliteit de fragility curves om de sterkte te beschrijven en voor hoogte de kruinhoogtes.
- We berekenen de belastingen voor de sterktesporen aan de hand van de waterstandsfrequentielijn. Hierdoor passen we het belastingtype "HT" (waterstand) toe. Omdat de zeespiegelstijging al in de frequentielijnen zit verwerkt, tellen we hier verder geen integrale waterstandsverandering bij op.

- We gaan uit van de binnen het KP ZSS toegeleverde dijkversterkingsplanning tot 2035, die afgeregeld is op de HWBP-planning tot 2035 (Bron: definitief programmavoorstel 2023-2034). Hiermee wordt voorkomen dat alle dijken tegelijkertijd op  $t=0$  versterkt dienen te worden als deze niet meer voldoen.
- Voor de dijkversterkingen wordt uitgegaan van een ontwerplevensduur van 50 jaar. Voor de constructieve elementen (damwand, kwelscherm, etc) wordt ontworpen met een levensduur van 100 jaar.
- De kosten voor de dijkversterkingen worden berekend op basis van de binnen het KP ZSS toegeleverde KOSWAT-databases voor de verschillende dijkversterkingsstrategieën.

#### 4.2.3 Methode overige harde waterkeringen buiten het bereik van de SWAN-modellen

De methodiek voor de overige harde waterkeringen (Veerse Gatdam, Flauwe Werk en Brouwersdam) is per waterkering opgenomen in drie rapportages [Rijkwaterstaat, 2022e], [Rijkwaterstaat, 2022f], [Rijkwaterstaat, 2022g]. Het kruinhoogtetekort per tijdlijn en zichtjaar is niet opgenomen voor deze overige harde waterkeringen. In bovengenoemde deelrapporten zijn het jaar dat de waterkering niet meer voldoet aan de ondergrensnorm en de bijbehorende versterkingsopgave wel bepaald voor de tijdlijnen Laag tot en met Zeer Extreem.

De resultaten van de versterkingsstrategie met de laagste kosten zijn opgenomen in dit rapport. De kosten zijn consistent gemaakt met de kosten van de bolwerken en de overige harde waterkeringen binnen het bereik van de SWAN-modellen, zodat een totaalbeeld van de versterkingsopgave gemaakt kan worden.

### 4.3 Resultaten

#### 4.3.1 Resultaten bolwerken

Binnen het deelgebied kust wordt de waterveiligheidsopgave van drie bolwerken beschouwd. Dit betreffen de volgende bolwerken:

- Breskens haven
- Vlissingen
- Helderse Zeekering

Per bolwerk zijn hieronder een situatieschets, het kruinhoogtetekort en de kosten gepresenteerd.

##### 4.3.1.1 Bolwerk Breskens haven (normtraject 32-1)

#### **Situatieschets**

Het bolwerk Breskens haven wordt beschouwd tussen RSP0.110 (rode lijn 17000011) tot en met de Oostzijde van de haven. Dit deel is in Figuur 20 aangegeven met de blauwe pijl. Ten oosten van de jachthaven is sprake van een conventionele kering, een zeedijk. De conventionele kering is aangegeven met een rode pijl in Figuur 20. Dit deel van de kering wordt niet beschouwd in deze paragraaf.

De opbouw en geometrie van de zeewering is afgeleid uit de revisietekeningen en de tekeningen voor de verbetering van het traject [WVI (2013)], [Rijkwaterstaat - Directie Zeeland - Arr. Terneuzen (1970)].

Voor het bolwerk Breskens haven is onderscheid gemaakt in twee strekkingen, zie Figuur 21. Deze strekkingen liggen in de OKADER vakken 32005021 (strekking 1) en 32005020 (strekking 2).

- Strekking 1 (Handelshaven tot en met Middenhavendam)
- Strekking 2 (Vissershaven tot aan Jachthaven Breskens)



Figuur 21: Te beschouwen strekking Breskens.

### Kruinhoogtetekort Breskens

Bij het bepalen van het kruinhoogtetekort zijn de hydraulische randvoorwaarden gehanteerd behorende bij het bodemscenario Volledig Meegroeien. Voor strekking 1 ontstaat er alleen voor tijdlijn Zeer Extreem een kruinhoogtetekort in 2050 (d.w.z. bij 0,5 m zeespiegelstijging). Voor strekking 2 ontstaat er voor geen van de tijdlijnen een kruinhoogtetekort in 2050. Het kruinhoogtetekort neemt toe met het extremer worden van de tijdlijn en het toenemen van de zichtjaren. Het kruinhoogtetekort neemt toe als gevolg van zeespiegelstijging en het zwaarder worden van de hydraulische belastingen.



Tabel 5: Kruihoogtetekort t.o.v. huidige situatie per zichtjaar en tijdlijn Breskens.

	VM Laag				VM Gematigd				VM Extreem				VM Zeer Extreem			
	2050	2100	2150	2200	2050	2100	2150	2200	2050	2100	2150	2200	2050	2100	2150	2200
Strekking 1	0,0	0,2	0,5	0,7	0,0	0,5	1,0	1,7	0,0	0,7	1,7	2,7	0,2	1,7	3,2	5,1
Strekking 2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,1	1,5	0,0	0,3	2,1	4,3

In LBO1 is het faalmechanisme overloop/overslag beoordeeld voor zichtjaar 2023 met behulp van Hydra-NL en Riskeer. Hierbij is uitgegaan van max 5 cm zeespiegelstijging t.o.v. 1995. De – in deze studie berekende - resultaten voor het kruihoogtetekort, zie Tabel 5, zijn bepaald met een eenvoudige methode, zoals beschreven in paragraaf 4.2.1. Door het verschil in methodiek en mate van zeespiegelstijging, zijn de resultaten voor het kruihoogtetekort mogelijk ook verschillend tussen LBO-1 en Tabel 5.

### Kostenschatting Breskens

Het toepassen van een kistdam is voor beide strekkingen het gekozen voorkeursalternatief voor de versterkingsmaatregel indien een kruihoogtetekort ontstaat in deze verkenning. Indien de levensduur wordt overschreden, maar geen kruihoogtetekort ontstaat wordt uitgegaan van de aanlegkosten van een damwand als vervangingskosten.

Versterkingsstrategie A resulteert in de hoogste nominale cumulatieve kosten, doordat elke 50 jaar in plaats van 100 jaar de constructie wordt vervangen. Beide versterkingsstrategieën tonen een logisch verloop met toenemende kosten voor het extremer worden van de tijdlijnen en het toenemen van de zichtjaren. In paragraaf 4.4 worden de resultaten voor versterkingsstrategie B gehanteerd, omdat deze strategie in de laagste kosten resulteert.

Tabel 6: Nominale cumulatieve kosten Breskens versterkingsstrategie A.

Zichtjaar	Tijdlijnen en Nominale kosten [mln. euro]. Met en zonder correctie restwaarde							
	Laag		Gematigd		Extreem		Zeer Extreem	
	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie
2050	8,7	0	9,1	0	9,7	0	15,2	1,6
2100	17,8	8,7	18,8	9,1	25,0	9,7	34,0	17,2
2150	27,5	17,8	34,7	18,8	43,3	25,0	58,3	36,6
2200	37,3	27,5	50,5	34,7	61,6	43,3	82,6	60,9

Tabel 7: Nominale cumulatieve kosten Breskens versterkingsstrategie B.

Zichtjaar	Tijdlijnen en Nominale kosten [mln. euro]. Met en zonder correctie restwaarde							
	Laag		Gematigd		Extreem		Zeer Extreem	
	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie
2050	9,1	0	9,7	0	15,3	0	18,8	1,0
2100	9,1	4,5	9,7	4,9	15,3	7,6	18,8	10,4
2150	18,8	9,1	25,6	9,7	33,6	15,3	43,1	20,1
2200	18,8	14,0	25,6	17,7	33,6	24,4	43,1	32,3

#### 4.3.1.2 Bolwerk Vlissingen (normtraject 29-2)

### Situatieschets

Het bolwerk Vlissingen wordt beschouwd tussen RSP32.760 tot en met de Koopmanshaven. Voor het bolwerk Vlissingen bestaat de versterkte kering uit het deel tussen RSP34.000 tot en met de Koopmanshaven.

De opbouw en geometrie van de zeewering vanaf RSP34.000 tot en met de Koopmanshaven is afgeleid uit tekeningen voor de verbetering van het traject [Waterschap Walcheren en Westwatering (1980a)], [Waterschap Walcheren en Westwatering (1980b)] en op basis van het Achtergrondrapport Veiligheidsoordeel WBI2017 Normtraject 29-2 [Waterschap Scheldestromen (2021)]. Op basis van de geometrie van de zeewering langs Vlissingen is een onderscheid gemaakt in verschillende strekkingen. Na het beschouwen van alle beschikbare profielen per strekking is een snede geselecteerd of samengesteld op basis van de beschikbare profielen welke de eigenschappen van de strekking goed representeert. Deze snede wordt als representatief gezien voor de hele strekking. Voor het bolwerk Vlissingen is onderscheid gemaakt in drie strekkingen, zie ook Figuur 22.

- Strekking 1) Voor Boulevard Evertsen en Boulevard Bankert (tot aan de Coosje Buskenstraat).
- Strekking 2) Boulevard de Ruyter (vanaf Coosje Buskenstraat tot aan ingang Koopmanshaven).
- Strekking 3) Koopmanshaven.



Figuur 22: Te beschouwen strekking Vlissingen.

### Kruinhoogtetekort

Bij het bepalen van het kruinhoogtetekort zijn de hydraulische randvoorwaarden gehanteerd behorende bij het bodemscenario Volledig Meegroeien. Het kruinhoogtetekort neemt toe met het extremer worden van de tijdlijn en het toenemen van de zichtjaren. Het kruinhoogtetekort neemt toe als gevolg van zeespiegelstijging en het zwaarder worden van de hydraulische randvoorwaarden. Tabel 8 toont dat het kruinhoogtetekort voor strekking 1 is het grootst, voor strekking 2 en 3 blijft het kruinhoogtetekort beperkt.

Tabel 8: Kruinhoogtetekort t.o.v. huidige situatie per zichtjaar en tijdlijn Vlissingen.

	VM Laag				VM Gematigd				VM Extreem				VM Zeer Extreem			
	2050	2100	2150	2200	2050	2100	2150	2200	2050	2100	2150	2200	2050	2100	2150	2200
Strekking 1	0,1	0,3	0,6	0,8	0,1	0,6	1,2	1,8	0,1	0,8	1,7	3,1	0,3	1,8	3,7	6,1
Strekking 2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,6	2,5
Strekking 3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,5	1,7	0,0	0,7	2,2	4,1

In LBO1 is het faalmechanisme overloop/overslag beoordeeld voor zichtjaar 2023 met behulp van Hydra-NL en Riskeer. Hierbij is uitgegaan van max 5 cm zeespiegelstijging t.o.v. 1995. De – in deze studie berekende - resultaten voor het kruinhoogtetekort, zie Tabel 8, zijn bepaald met eenvoudige methode, zoals beschreven in paragraaf 4.2.1. Door het verschil in methodiek en de mate van zeespiegelstijging, zijn de resultaten voor het kruinhoogtetekort mogelijk ook verschillend tussen LBO-1 en Tabel 5.

### Kostenschatting

Het toepassen van een kistdam is voor de drie strekkingen het gekozen voorkeursalternatief als versterkingsmaatregel wanneer een kruinhoogtetekort ontstaat. Indien de levensduur is overschreden, maar geen kruinhoogtetekort ontstaat wordt uitgegaan van de aanlegkosten van een damwand als vervangingskosten. Dit is het geval bij strekking 2 en strekking 3.

Versterkingsstrategie A resulteert in de hoogste nominale cumulatieve kosten, doordat elke 50 jaar in plaats van 100 jaar de constructie wordt vervangen. Beide versterkingsstrategieën tonen een logisch verloop met toenemende kosten voor het extremer worden van de tijdlijnen en het toenemen van de zichtjaren. In paragraaf 4.4 worden de resultaten voor versterkingsstrategie B gehanteerd, omdat deze strategie in de laagste kosten resulteert.

Tabel 9: Nominale cumulatieve kosten Vlissingen versterkingsstrategie A.

Zicht-jaar	Tijdlijnen en Nominale kosten [mln. euro]. Met en zonder correctie restwaarde							
	Laag		Gematigd		Extreem		Zeer Extreem	
	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie
2050	15,5	2,0	15,5	2,0	17,5	2,3	23,1	5,8
2100	31,0	17,4	35,6	18,0	40,3	20,5	64,8	31,6
2150	48,5	33,3	60,8	38,9	79,5	44,6	123,6	77,1
2200	66,1	50,8	86,0	64,1	118,8	83,8	184,4	136,5

Tabel 10: Nominale cumulatieve kosten Vlissingen versterkingsstrategie B.

Zicht-jaar	Tijdlijnen en Nominale kosten [mln. euro]. Met en zonder correctie restwaarde							
	Laag		Gematigd		Extreem		Zeer Extreem	
	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie
2050	15,5	0,9	20,1	1,3	22,8	1,5	41,7	4,3
2100	15,5	8,7	20,1	11,3	22,8	12,8	41,7	25,1
2150	34,3	16,7	45,3	21,7	62,0	24,9	102,5	48,2
2200	34,3	26,2	45,3	34,3	62,0	44,5	102,5	78,6

#### 4.3.1.3 Bolwerk Helderse Zeekering (normtraject 13-4)

### Situatieschets

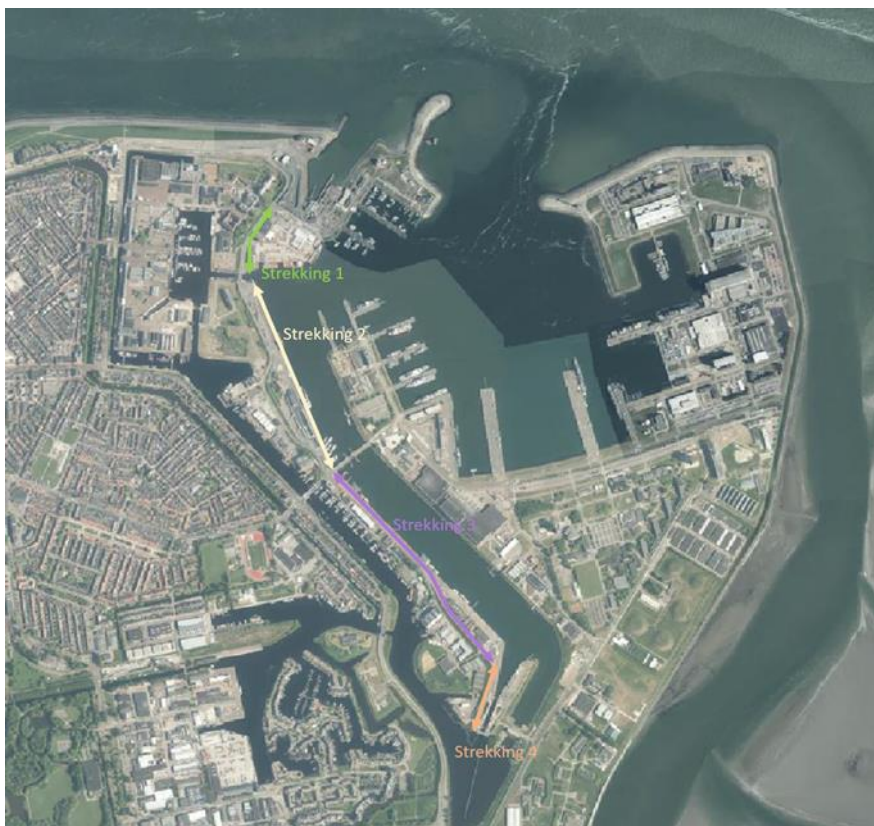
In het havengebied van Den Helder is de kering recentelijk versterkt met constructieve elementen. Dit wordt de havendijk genoemd. Het overige deel van de zeewering rond Den Helder bestaat uit een conventionele kering (zeedijk).

De opbouw en de geometrie van de Havendijk is afgeleid uit de WBI Beoordeling Normtraject 13-4 [Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (2021)]. De havenkades en het haventerrein van de Nieuwe Haven, de haven die later is aangelegd en buitendijks ligt, functioneert als golfbreker, waardoor de golven uit de Waddenzee niet direct het Nieuwe Diep bereiken. De Havendijk heeft diverse functies, zoals verkeer, laden en lossen van schepen en als haventerrein. De havendijk is meermaals versterkt en uitgebreid en heeft daardoor een complexe geometrie.

Op basis van de geometrie van de zeewering langs de havendijk is een onderscheid gemaakt in verschillende strekkingen. Na het beschouwen van alle beschikbare profielen per strekking is een snede geselecteerd of samengesteld op basis van de beschikbare profielen welke de eigenschappen van de strekking goed representeert. Deze snede wordt als representatief gezien voor de hele strekking. Er is onderscheid gemaakt in vier strekkingen, zie ook Figuur 22:

- Strekking 1 (Paleiskade);
- Strekking 2 (Onderzeedienstkade, NAM kade en visafslagkade);
- Strekking 3 (Het Nieuwe Diep);
- Strekking 4 (Het Nieuwe Werk).

De opbouw en de geometrie van de zeewering zijn afgeleid uit de Veiligheidsbeoordeling normtraject-13-4 en de bijbehorende STPH berekeningen.



Figuur 22: Te beschouwen strekking Den Helder.

### Kruinhoogtetekort

Bij het bepalen van het kruinhoogtetekort zijn de hydraulische randvoorwaarden gehanteerd behorende bij het bodemscenario Volgen Trend. Het kruinhoogtetekort neemt toe met het extremer worden van de tijdlijn en het toenemen van de zichtjaren. Het kruinhoogtetekort neemt toe als gevolg van zeespiegelstijging en het zwaarder worden van de hydraulische randvoorwaarden.



In strekking 1, 2 en 4 treedt in zichtjaar 2050 al een kruinhoogtetekort op. Voor de tijdlijn zeer extreem resulteert dit in zichtjaar 2200 in een kruinhoogtetekort van circa 7 tot 12 meter. De minimaal benodigde kruinhoogte in 2200 bij de tijdlijn zeer extreem is bepaald door middel van het extrapoleren van het kruinhoogtetekort behorende bij een zeespiegelstijging van 2 en 3 meter. Bij een zeespiegelstijging van 2 en 3 meter neemt de significante golfhoogte toe met respectievelijk 1 en 1,5 meter ten opzichte van de referentie situatie. De combinatie van zowel het toenemen van waterstand als golfhoogte resulteert in grote kruinhoogtetekorten.

Tabel 11: Kruinhoogtetekort t.o.v. huidige situatie per zichtjaar en tijdlijn Den Helder.

	VT Laag				VT Gematigd				VT Extreem				VT Zeer Extreem			
	2050	2100	2150	2200	2050	2100	2150	2200	2050	2100	2150	2200	2050	2100	2150	2200
Strekking 1	0,1	0,4	0,7	1,1	0,0	0,7	1,5	2,4	0,0	1,1	2,2	3,8	0,4	2,4	4,5	7,1
Strekking 2	1,2	1,7	2,2	2,7	1,2	2,2	3,4	4,8	1,2	2,7	4,4	7,0	1,7	4,8	8,0	12,1
Strekking 3	0,0	0,2	0,5	0,8	0,0	0,5	1,3	2,2	0,0	0,8	1,9	3,5	0,1	2,2	4,2	6,7
Strekking 4	0,6	1,1	1,6	2,1	0,6	1,6	2,7	4,0	0,6	2,1	3,6	5,8	1,1	4,1	6,6	9,9

In LBO1 is het faalmechanisme overloop/overslag beoordeeld voor zichtjaar 2023 met behulp van Hydra-NL en Riskeer. Hierbij is uitgegaan van max 5 cm zeespiegelstijging t.o.v. 1995. De – in deze studie berekende – resultaten voor het kruinhoogtetekort, zie Tabel 11, zijn bepaald met een eenvoudige methode, zoals beschreven in paragraaf 4.2.1. Door het verschil in methodiek en de mate van zeespiegelstijging, zijn de resultaten voor het kruinhoogtetekort mogelijk ook verschillend tussen LBO-1 en Tabel 5.

### Kostenschatting

Het toepassen van een kistdam is voor de vier strekkingen het hier gekozen voorkeursalternatief als versterkingsmaatregel wanneer een kruinhoogtetekort ontstaat.

Versterkingsstrategie A resulteert in de hoogste nominale cumulatieve kosten, doordat elke 50 jaar in plaats van 100 jaar de constructie wordt vervangen. Beide versterkingsstrategieën tonen een logisch verloop met toenemende kosten voor het extremer worden van de tijdlijnen en het toenemen van de zichtjaren. In paragraaf 4.4 worden de resultaten voor versterkingsstrategie B gehanteerd, omdat deze strategie in de laagste kosten resulteert.

Tabel 12: Nominale cumulatieve kosten Den Helder versterkingsstrategie A.

Zichtjaar	Tijdlijnen en Nominale kosten [mln. euro]. Met en zonder correctie restwaarde.							
	Laag		Gematigd		Extreem		Zeer Extreem	
	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie
2050	28	8	32	9	33	10	44	15
2100	60	37	70	43	78	46	107	66
2150	95	71	117	84	136	95	190	136
2200	131	106	168	132	199	106	276	220

Tabel 13: Nominale cumulatieve kosten Den Helder versterkingsstrategie B.

Zichtjaar	Tijdslijnen en Nominale kosten [mln. euro]. Met en zonder correctie restwaarde.							
	Laag		Gematigd		Extreem		Zeer Extreem	
	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie
2050	32	5	38	6	45	6	63	11
2100	32	21	38	25	45	29	63	42
2150	69	38	89	46	108	55	148	78
2200	69	57	89	71	108	86	148	121

#### 4.3.2 Resultaten overige harde waterkeringen

Binnen het deelgebied kust wordt de waterveiligheidsopgave van de overige harde waterkeringen langs de kust beschouwd. Dit betreft:

- Helderse Zeewering, zie [Rijkswaterstaat,2023a]
- Westkapelse Zeedijk
- Zoutelande
- Breskens Fort
- Waterdunen
- Verdronken zwarte polder
- Cadzand
- Het Zwin
- Veerse Gatdam
- Flauwe Werk
- Brouwersdam

##### 4.3.2.1 Helderse Zeewering


De conventionele waterkering van de Helderse Zeewering is beschouwd als onderdeel van de systeemanalyse van de Wadden [Rijkswaterstaat,2023a].

##### 4.3.2.2 Westkapelse Zeedijk

De Westkapelse Zeedijk is onderdeel van normtraject 29-1. Het betreft de 5 meest westelijk gelegen OKADER-vakken van traject 29-1 met een totale lengte van ongeveer 4 km, deze zijn opgenomen in Tabel 14. De Westkapelse Zeedijk is weergegeven in Figuur 23. Voor deze vakken zijn de OKADER-analyses uitgevoerd zoals beschreven in paragraaf 4.2.2. We gaan uit van het bodemscenario Volledig Meegroeien.

Tabel 14: OKADER-vakken Westkapelse Zeedijk met vaklengtes.

OKADER-vak	Lengte vak [m]
29005003	764
29005004	806
29005005	562
29005006	746
29005007	804



Figuur 23: Overzicht Westkapelse Zeedijk.

Uit OKADER volgt ook de waterveiligheidsopgave. De gemiddelde hoogteopgave voor zichtjaar 2200 o.b.v. de 5 OKADER-vakken is 1,2 m bij tijdlijn Laag (ZSS 1 m) en 3,8 m bij tijdlijn Extreem (ZSS 3 m). De hoogteopgave per OKADER-vak is weergegeven in Tabel 15.

Tabel 15: Bandbreedte hoogteopgave voor de Westkapelse Zeedijk

	VM Laag				VM Gematigd				VM Extreem				VM Zeer Extreem			
	2050	2100	2150	2200	2050	2100	2150	2200	2050	2100	2150	2200	2050	2100	2150	2200
min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	2,4
max	1,5	1,9	2,2	2,6	1,5	2,2	3	4	1,5	2,6	3,6	5,2	1,9	4	5,8	8,1

De toename van de breedte van de dijkbasis bij een volledige grondoplossing is bij tijdlijn Laag (ZSS 1 m) minder dan 5 m en bij tijdlijn Extreem (ZSS 3 m) ongeveer 30 - 40 m. Tot ZSS 1 m is er geen piping- en macrostabiliteitsopgave, enkel een hoogteopgave. Voor ZSS 3 m wordt wel voor een deel van de OKADER-vakken piping- en macrostabiliteitsopgave berekend.

Voor de kosten kijken we naar de nominale kosten tot en met een bepaald zichtjaar en de kosten in een bepaald zichtjaar waarbij er gecorrigeerd is voor de restwaarde. Dit is opgenomen in Tabel 16.

Tabel 16: Nominale kosten Westkapelse Zeedijk per tijdlijn.

Zicht-jaar	Tijdlijnen en Nominale kosten [mln. euro]. Met en zonder correctie restwaarde							
	Laag		Gematigd		Extreem		Zeer Extreem	
	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie
2050	56	6	65	7	69	7	72	7
2100	116	56	129	65	115	69	164	74
2150	116	116	129	129	123	118	254	169
2200	147	144	203	193	222	197	325	277

De totale kosten tot en met zichtjaar 2200 voor tijdelijk Laag en tijdelijk Zeer extreem variëren tussen de 147 en 325 miljoen euro. Per km betreft dit tussen de 41 en 90 miljoen euro per km. Tot 2200 zijn er ongeveer 3 versterkingsrondes nodig om te voldoen aan de eisen. Per versterkingsronde komt dit neer tussen de 14 en 30 miljoen euro per km. Hierbij moet de kanttekening geplaatst worden dat niet alle vakken versterkt dienen te worden elke versterkingsronde.

4.3.2.3 Zoutelande

De kering Zoutelande is onderdeel van traject 29-2 en heeft een lengte van 0,7 km. De kering bestaat uit 1 OKADER-vak, zie Tabel 17. De dijk bij Zoutelande is weergegeven in Figuur 24. Voor deze vakken zijn de OKADER-analyses uitgevoerd zoals beschreven in paragraaf 4.2.2. We gaan uit van het bodemscenario Volledig Meegroeien.

Tabel 17: OKADER-vak Zoutelande met vaklengtes.

OKADER-vak	Lengte vak [m]
29003001	700

Figuur 24: Overzicht OKADER-vak Zoutelande.

Uit OKADER volgt ook de waterveiligheidsopgave. De hoogteopgave voor zichtjaar 2200 is 3 m bij tijdelijk Extreem (ZSS 3 m). Bij een zeespiegelstijging van 1 m is er nog geen hoogteopgave. De hoogteopgave per OKADER-vak is weergegeven in Tabel 18.

Tabel 18: Hoogteopgave Zoutelande.

	VM Laag				VM Gematigd				VM Extreem				VM Zeer Extreem			
	2050	2100	2150	2200	2050	2100	2150	2200	2050	2100	2150	2200	2050	2100	2150	2200
1 vak	0	0	0	0	0	0	0,3	1,5	0	0	1,1	3	0	1,4	3,7	6,5

Tot ZSS 1 m is er geen opgave voor hoogte, piping en macrostabiliteit. Voor ZSS 3 m wordt wel voor een deel van de OKADER-vakken piping- en macrostabiliteitsopgave berekend. De toename van de breedte van de dijkbasis bij een volledige grondoplossing is bij tijdelijk Extreem (ZSS 3 m) minder dan 60 – 70 m.

Voor de kosten kijken we naar de nominale kosten t/m een bepaald zichtjaar en de kosten in een bepaald zichtjaar waarbij er gecorrigeerd is voor de restwaarde. Dit is opgenomen in Tabel 19.



Tabel 19: Nominale kosten Zoutelande fort per tijdlijn.

Zicht- jaar	Tijdlijnen en Nominale kosten [mln. euro]. Met en zonder correctie restwaarde							
	Laag		Gematigd		Extreem		Zeer Extreem	
	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie
2050	0	0	0	0	0	0	0	0
2100	0	0	0	0	0	0	31	15
2150	0	0	22	7	27	21	59	42
2200	0	0	36	25	40	36	94	70


De totale kosten tot en met zichtjaar 2200 voor tijdlijn Laag bedragen 0 miljoen euro en voor tijdlijn Zeer Extreem 94 miljoen euro. De totale kosten per km zijn bij tijdlijn Zeer Extreem ongeveer 135 miljoen per km. Tot 2200 zijn er 3 versterkingsrondes nodig om te voldoen aan de eisen. Per versterkingsronde komt dit neer op een bandbreedte van ongeveer 45 miljoen euro per km.

#### 4.3.2.4 Breskens fort

De kering Breskens fort is onderdeel van traject 32-1 en heeft een lengte van 2 km. Breskens fort bestaat uit 3 OKADER-vakken, deze zijn opgenomen in Tabel 20. Voor deze vakken zijn de OKADER-analyses uitgevoerd zoals beschreven in paragraaf 4.2.2. We gaan uit van het bodemscenario "Volledig Meegroeien". Uit OKADER volgt ook de waterveiligheidsopgave.

Tabel 20: OKADER-vakken Breskens fort met vaklengtes.

OKADER-vak	Lengte vak [m]
32008001	701
32008002	896
32009001	474



Figuur 25: Overzicht Breskens fort.

De gemiddelde hoogteopgave voor zichtjaar 2200 o.b.v. de 3 OKADER-vakken is 0,7 m bij tijdlijn Laag (ZSS 1 m) en 2,0 m bij tijdlijn Extreem (ZSS 3 m). De hoogteopgave per OKADER-vak is weergegeven in Tabel 21.

Tabel 21: Bandbreedte hoogteopgave Breskens fort.

	VM Laag				VM Gematigd				VM Extreem				VM Zeer Extreem			
	2050	2100	2150	2200	2050	2100	2150	2200	2050	2100	2150	2200	2050	2100	2150	2200
min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
max	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,5

Het gemiddelde ruimtebeslag bij een volledige grondoplossing is bij tijdlijn Laag (ZSS 1 m) ongeveer 5 m en bij tijdlijn Extreem (ZSS 3 m) ongeveer 50 m. Tot ZSS 3 m is er geen macrostabiliteitsopgave voor deze 3 OKADER-vakken, enkele een hoogte- en pipingopgave.

Voor de kosten kijken we naar de nominale kosten t/m een bepaald zichtjaar en de kosten in een bepaald zichtjaar waarbij er gecorrigeerd is voor de restwaarde. Dit is opgenomen in Tabel 22.

Tabel 22: Nominale kosten Breskens fort per tijdlijn.

Zicht- jaar	Tijdlijnen en Nominale kosten [mln. euro]. Met en zonder correctie restwaarde							
	Laag		Gematigd		Extreem		Zeer Extreem	
	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie
2050	5	1	8	1	13	1	36	2
2100	22	9	36	15	44	21	69	30
2150	31	25	47	43	61	52	88	86
2200	58	48	82	72	106	94	157	141


De totale kosten tot en met zichtjaar 2200 voor tijdlijn Laag bedragen 58 miljoen euro en voor tijdlijn Zeer Extreem 157 miljoen euro. Dat is dus iets minder dan een factor 3 toename van de totale kosten. De totale kosten per km liggen tussen de 29 en 78,5 miljoen per km. Tot 2200 zijn er 3 versterkingsrondes nodig om te voldoen aan de eisen. Per versterkingsronde komt dit neer op een bandbreedte van ongeveer 10 tot 26 miljoen euro per km.

#### 4.3.2.5 Waterdunen

De Waterdunen zijn onderdeel van traject 32-1 en hebben een lengte van 2,5 km. In Figuur 26 is een overzicht weergegeven. De Waterdunen bestaan uit 3 OKADER-vakken, zie Tabel 23. Voor deze vakken zijn de OKADER-analyses uitgevoerd zoals beschreven in paragraaf 4.2.2. We gaan uit van het bodemscenario "Volledig Meegroeien". Uit OKADER volgt ook de waterveiligheidsopgave.

Tabel 23: OKADER-vakken Waterdunen met vaklengtes.

OKADER-vak	Lengte vak [m]
32011001	1600
32013001	862
32013002	288



Figuur 26: Overzicht Waterdunen.

De gemiddelde hoogteopgave voor zichtjaar 2200 o.b.v. de 3 OKADER-vakken is 1,0 m bij tijdlijn Laag (ZSS 1 m) en 3,1 m bij tijdlijn Extreem (ZSS 3 m). De hoogteopgave per OKADER-vak is weergegeven in Tabel 24.

Tabel 24: Bandbreedte hoogteopgave Waterdunen.

	VM Laag				VM Gematigd				VM Extreem				VM Zeer Extreem			
	2050	2100	2150	2200	2050	2100	2150	2200	2050	2100	2150	2200	2050	2100	2150	2200
min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
max	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,0

Het gemiddelde ruimtebeslag bij een volledige grondoplossing is bij tijdlijn Laag (ZSS 1 m) minder dan 5 m en bij tijdlijn Extreem (ZSS 3 m) tussen de 5 - 10 m. Tot ZSS 3 m (zichtjaar 2200) is er enkel een hoogteopgave en geen piping- of macrostabiliteitsopgave.

Voor de kosten kijken we naar de nominale kosten t/m een bepaald zichtjaar en de kosten in een bepaald zichtjaar waarbij er gecorrigeerd is voor de restwaarde. Dit is opgenomen in Tabel 25.

Tabel 25: Nominale kosten Waterdunen per tijdlijn.

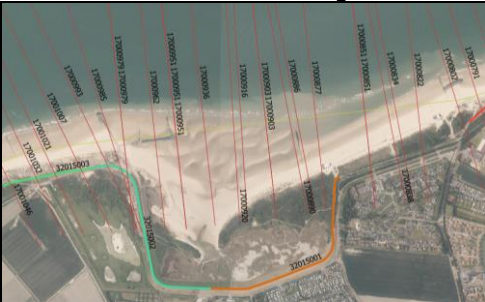
Zichtjaar	Tijdlijnen en Nominale kosten [mln. euro]. Met en zonder correctie restwaarde							
	Laag		Gematigd		Extreem		Zeer Extreem	
	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie
2050	19	2	24	2	30	3	43	4
2100	43	19	57	24	79	32	102	57
2150	43	43	67	65	102	81	126	117
2200	78	75	116	108	165	138	198	181

#### 4.3.2.6 Verdronken zwarte polder

De verdronken Zwarte Polder is een onderdeel van traject 32-1 en heeft een lengte van 2 km. De verdronken Zwarte Polder bestaat uit 2 OKADER-vakken, deze zijn opgenomen in Tabel 26. Voor deze vakken zijn de OKADER-analyses uitgevoerd zoals beschreven in paragraaf 4.2.2. We gaan uit van het bodemscenario "Volledig Meegroeien". Uit OKADER volgt ook de waterveiligheidsopgave.

Tabel 26: OKADER-vakken verdronken Zwarte Polder met vaklengtes.

OKADER-vak	Lengte vak [m]
32015001	1095
32015002	1080



Figuur 27: Overzicht verdronken Zwarte Polder.

De gemiddelde hoogteopgave voor zichtjaar 2200 o.b.v. de 2 OKADER-vakken is 0 m bij tijdlijn Laag (ZSS 1 m) en 1,2 m bij tijdlijn Extreem (ZSS 3 m). De hoogteopgave per OKADER-vak is weergegeven in Tabel 27.

Tabel 27: Bandbreedte hoogteopgave Verdrongen zwarte polder.

	VM Laag				VM Gematigd				VM Extreem				VM Zeer Extreem			
	2050	2100	2150	2200	2050	2100	2150	2200	2050	2100	2150	2200	2050	2100	2150	2200
min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
max	0	0	0	0	0	0	0,3	1,1	0	0	0,9	2,4	0	1,1	2,9	5,2

Het gemiddelde ruimtebeslag bij een volledige grondoplossing bij tijdlijn Extreem (ZSS 3 m) minder dan 5 m. Voor tijdlijn Laag is tot 2200 geen hoogte-, piping- of macrostabiliteitsopgave berekend. Voor ZSS 3 m in 2200 is voor de Verdrongen Zwarte Polder enkel een hoogteopgave berekend.

Voor de kosten kijken we naar de nominale kosten t/m een bepaald zichtjaar en de kosten in een bepaald zichtjaar waarbij er gecorrigeerd is voor de restwaarde. Dit is opgenomen in Tabel 28.

Tabel 28: Nominale kosten Verdrongen zwarte polder per tijdlijn.

Zicht- jaar	Tijdlijnen en Nominale kosten [mln. euro]. Met en zonder correctie restwaarde							
	Laag		Gematigd		Extreem		Zeer Extreem	
	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie
2050	0	0	0	0	0	0	0	0
2100	0	0	0	0	0	0	29	14
2150	0	0	7	2	12	10	58	41
2200	0	0	31	12	40	32	88	67

De totale kosten tot en met zichtjaar 2200 voor tijdlijn Laag zijn 0 euro, doordat er geen opgave is berekend. De totale kosten tot en met zichtjaar 2200 voor tijdlijn Extreem zijn orde 40 miljoen euro ofwel orde 19 miljoen euro per km. Hierbij wordt opgemerkt bij tijdlijn Extreem geen opgave wordt berekend tot en met zichtjaar 2100, doordat er nog reststerkte aanwezig is.

#### 4.3.2.7 Cadzand

De conventionele waterkering bij Cadzand is een onderdeel van traject 32-1 en bestaat uit 1 OKADER-vak, deze is opgenomen in Tabel 29. In Figuur 28 is een overzicht weergegeven. Voor dit vak zijn de OKADER-analyses uitgevoerd zoals beschreven in paragraaf 4.2.2. We gaan uit van het bodemscenario "Volledig Meegroeien".

Tabel 29: OKADER-vakken Cadzand met vaklengte.

OKADER-vak	Lengte vak [m]
32017001	527

Figuur 28: Overzicht Cadzand.

Uit OKADER volgt ook de waterveiligheidsopgave die voor Cadzand enkel bestaat uit een hoogteopgave. De hoogteopgave voor zichtjaar 2200 bij tijdlijn Laag is orde 4,1 m en bij tijdlijn Extreem 6,9 m. De hoogteopgave per OKADER-vak is weergegeven in Tabel 30.

Tabel 30: Hoogteopgave voor Cadzand.

	VM Laag				VM Gematigd				VM Extreem				VM Zeer Extreem			
	2050	2100	2150	2200	2050	2100	2150	2200	2050	2100	2150	2200	2050	2100	2150	2200
1 vak	2,9	3,3	3,7	4,1	2,9	3,6	4,5	5,5	2,9	4	5,2	6,9	3,3	5,4	7,5	10,1

Voor de kosten kijken we naar de nominale kosten t/m een bepaald zichtjaar en de kosten in een bepaald zichtjaar waarbij er gecorrigeerd is voor de restwaarde. Dit is opgenomen in Tabel 31. De totale kosten voor alle tijdlijnen en zichtjaren (m.u.v. tijdlijn Zeer Extreem in 2200) vloeien voort uit enkel de hoogteopgave voor dit OKADER-vak. De totale kosten tot en met zichtjaar 2200 variëren weinig tussen tijdlijn Laag en Zeer extreem en liggen tussen 60 – 75 miljoen euro ofwel 110 – 140 miljoen euro per km. Uitgaande van 3 versterkingsrondes zijn de totale kosten per versterkingsronde orde 20 – 25 miljoen euro ofwel 40 – 45 miljoen euro per km per versterkingsronde.

Tabel 31: Nominale kosten Cadzand per tijdlijn.


Zicht-jaar	Tijdlijnen en Nominale kosten [mln. euro]. Met en zonder correctie restwaarde							
	Laag		Gematigd		Extreem		Zeer Extreem	
	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie
2050	22	2	22	2	22	2	22	2
2100	42	22	42	22	43	22	44	22
2150	42	42	42	42	43	43	44	44
2200	63	61	64	62	65	63	72	69

#### 4.3.2.8 Het Zwin

Het Zwin is een onderdeel van traject 32-1 en de kering heeft een lengte van 750 m. In Figuur 29 is een overzicht weergegeven. Het Zwin bestaat uit 1 OKADER-vak,

deze is weergegeven in Tabel 34. Voor dit vak zijn de OKADER-analyses uitgevoerd zoals beschreven in paragraaf 4.2.2. We gaan uit van het bodemsценario "Volledig Meegroeien".

Tabel 32: OKADER-vak Het Zwin met vaklengte.

OKADER-vak	Lengte vak [m]	
32019001	755	

Figuur 29: Overzicht Het Zwin.

Uit OKADER volgt ook de waterveiligheidsopgave. Voor tijdlijn Laag in zichtjaar 2200 is geen hoogte-, piping<sup>5</sup>- of macrostabiliteitsopgave berekend. Voor tijdlijn Extreem in zichtjaar 2200 is de hoogteopgave orde 2,9 m. De hoogteopgave per OKADER-vak is weergegeven in Tabel 33. **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..** Het gemiddelde ruimtebeslag bij een volledige grondoplossing is bij tijdlijn Extreem (ZSS 3 m) orde 60 – 70 m. Die wordt veroorzaakt door de pipingopgave. Er wordt bij tijdlijn Extreem geen macrostabiliteitsopgave berekend.

Tabel 33: Hoogteopgave voor Het Zwin.

	VM Laag				VM Gematigd				VM Extreem				VM Zeer Extreem			
	2050	2100	2150	2200	2050	2100	2150	2200	2050	2100	2150	2200	2050	2100	2150	2200
1 vak	0	0	0	0	0	0	0,4	1,4	0	0	1,1	2,9	0	1,3	3,5	6,4

Voor de kosten kijken we naar de nominale kosten t/m een bepaald zichtjaar en de kosten in een bepaald zichtjaar waarbij er gecorrigeerd is voor de restwaarde. Dit is opgenomen in Tabel 34.

Tabel 34: Nominale kosten Het Zwin per tijdlijn.

Zicht- jaar	Tijdlijnen en Nominale kosten [mln. euro]. Met en zonder correctie restwaarde							
	Laag		Gematigd		Extreem		Zeer Extreem	
	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie
2050	0	0	0	0	0	0	0	0
2100	0	0	0	0	0	0	26	16
2150	0	0	9	4	15	14	48	37
2200	~ 0	~ 0	29	17	38	34	74	58

De totale kosten tot en met zichtjaar 2200 zijn voor tijdlijn Laag (ZSS 1 m) zijn vrijwel 0 euro. Voor tijdlijn Extreem (ZSS 3 m) zijn de totale kosten tot en met

<sup>5</sup> Pipingopgave bij volledige grondoplossing < 1 m en wordt derhalve voor dit OKADER-vak verwaarloosd.

zichtjaar 2200 bijna 40 miljoen euro. De totale kosten per km bedragen ongeveer 50 miljoen euro, waarbij o.b.v. 2 versterkingsrondes de totale kosten per versterkingsronde orde 25 miljoen euro zijn.

#### 4.3.2.9 Veerse Gatdam

De Veerse Gatdam beslaat circa 2,8 km van het normtraject 29-1. Het normtraject 29-1 heeft een totale lengte van 21,85 km. De Veerse Gatdam bestaat uit twee delen. Het westelijke deel bestaat uit caissonblokken met daarbovenop zand en een asfaltbekleding. Het oostelijk deel bestaat uit een zandkern bekleed met asfalt. De delen worden apart beschouwd. De dam is verzand geraakt aan de zeewaartse zijde.

De versterkingsmethode voor de Veerse Gatdam bestaat uit strandsuppleties en duinversterkingen. Randvoorwaarde is dat de ligging van de kering niet landwaarts mag verschuiven. Bij strandsuppleties wordt uitgegaan dat na 10 jaar de helft van het zand nog aanwezig is. De strandsuppleties worden daarom doorlopend uitgevoerd. De totale kosten voor strandsuppleties zijn evenredig verdeeld over de tijd tussen zichtjaar 2050 en 2200. Aan de strandsuppleties wordt geen restwaarde toegekend. Duinversterkingen hebben een tijdshorizon van 50 jaar.

Een andere versterkingsoptie is het aanleggen van een harde kering. De kosten van deze optie zijn veel hoger dan voor suppleties en zijn derhalve niet opgenomen in deze rapportage. De resultaten van deze versterkingsoptie zijn opgenomen het RWS memo hierover [Rijkwaterstaat, 2022e].

De nominale kosten voor de variant met duinversterkingen en suppleties is voor het bodemscenario Volledig Meegroeien gepresenteerd tot aan zichtjaar 2200 in onderstaande tabel.

Tabel 35: Nominale cumulatieve kosten minus restwaarde per zichtjaar Veerse Gatdam (alternatief waarbij enkel duinversterking en strandsuppleties worden toegepast).

Zichtjaar	Tijdlijnen en Nominale kosten [mln. euro]. Met en zonder correctie restwaarde							
	Laag		Gematigd		Extreem		Zeer Extreem	
	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie
2050	0	0	0	0	0	0	0	0
2100	0	0	0	0	0	0	0	0
2150	0	0	0	0	0	0	0	0
2200	0	0	0	0	0	0	3,2	1,9

#### 4.3.2.10 Flaauwe Werk

Het Flaauwe werk beslaat circa 1,25 km van het normtraject 25-1. Het normtraject 25-1 heeft een totale lengte van 16,7 km.

Bij de versterking van Flaauwe Werk is onderscheid gemaakt tussen een traditionele dijk met grond en een constructieve variant. Bij de constructieve variant bestaat de versterking uit kistdammen wanneer verhoogd dient te worden en damwanden wanneer beschermd tegen piping beschermd dient te worden. Enkel de kosten voor de constructieve variant zijn gepresenteerd, omdat dit type versterking resulteert in de laagste kosten. In het onderliggende memo zijn wel de kosten voor de traditionele variant opgenomen, zie [Rijkwaterstaat, 2022f]. Uit de resultaten van de traditionele variant valt op te maken dat met name bij extremere tijdlijnen de

kosten voor versterking met grond toe nemen ten opzichte van constructieve versterkingen.

De nominale kosten zijn voor de constructieve variant bij het bodemscenario "Volledig Meegroeien" gepresenteerd tot aan zichtjaar 2200. De constructieve versterkingen hebben een tijdshorizon van 100 jaar.

Tabel 36: Nominale cumulatieve kosten minus restwaarde per zichtjaar Flauwe Werk (alternatief waarbij enkel de constructieve variant wordt beschouwd).

Zichtjaar	Tijdslijnen en Nominale kosten [mln. euro]. Met en zonder correctie restwaarde							
	Laag		Gematigd		Extreem		Zeere Extreem	
	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie
2050	0	0	0	0	0	0	0	0
2100	0	0	0	0	0	0	24,1	6,0
2150	0	0	10	1,9	10	4,4	24,1	18,1
2200	0	0	10	6,9	10	9,4	51,4	31,0

Wanneer geen rekening wordt gehouden met de aanwezigheid van een voorland zullen de kosten voor versterken hoger zijn. Door de afwezigheid van een voorland is het HBN hoger en worden de kosten voor versterking eerder gemaakt. De verschillen in kosten tussen de verschillende bodemscenario's zijn minimaal. Dit komt doordat de kosten van een kistdam maar beperkt toenemen naarmate de hydraulische belastingen toenemen en een grotere hoogte van de constructie benodigd is.

#### 4.3.2.11 Brouwersdam

De Brouwersdam beslaat circa 5,7 km van het normtraject 214. Het normtraject 214 heeft een totale lengte van 6,63 km. Tot dit normtraject behoort ook een duin (noordelijk deel) en de brouwerssluis. De sluis en de duin maken geen deel uit van de versterkingsopgave in deze analyse. De versterkingsopgave van de Brouwersdam bestaat uit het versterken van de bekleding en het verhogen van de kruin. De resultaten van deze versterkingsoptie zijn opgenomen het RWS memo hierover [Rijkwaterstaat, 2022g]. De nominale kosten zijn voor het bodemscenario Volledig Meegroeien gepresenteerd tot aan zichtjaar 2200. De versterkingen hebben een tijdshorizon van 50 jaar.

Tabel 37: Nominale cumulatieve kosten minus restwaarde per zichtjaar Brouwersdam.

Zicht-jaar	Tijdslijnen en Nominale kosten [mln. euro]. Met en zonder correctie restwaarde							
	Laag		Gematigd		Extreem		Zeere Extreem	
	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie
2050	0	0	0	0	0	0	0	0
2100	0	0	0	0	74,7	0	102,6	59,5
2150	0	0	62,7	31,4	155,0	74,7	233,7	178,6
2200	0	0	125,4	94,0	155,0	155,0	364,8	309,7



#### 4.4 Samenvatting

Het resultaat van de waterveiligheidsopgave voor de harde kust in het hele kustgebied - totale lengte van 26,9 km - is opgenomen in Tabel 38. Dit betreft de sommatie van de bolwerken (+/- 5,2 km) en de overige harde keringen. De harde keringen zijn onderscheiden naar de gebruikte methode (+/- 19,7). De resultaten komen voort zoals beschreven in paragrafen 4.3.1 en 4.3.2. In deze tabel zijn zowel de kosten tot een bepaald zichtjaar (nominale kosten) als de kosten in een bepaald zichtjaar opgenomen, waarbij gecorrigeerd is voor de restwaarde. Hierbij zijn de kosten gepresenteerd voor het bodemscenario behorende bij de voorkeursstrategie van de regionale Deltaprogramma's Kust en Waddengebied. Voor de Kust is dit het bodemscenario Volledig Meegroeien en voor het Waddengebied is dit Voortzetting Trend.

Voor de bolwerken zijn de kosten voor versterkingsstrategie B opgenomen in Tabel 38 en Figuur 30. Deze versterkingsstrategie resulteert in alle gevallen in de laagste nominale cumulatieve kosten (minus restwaarde) tot aan 2200 en heeft daarmee de voorkeur.

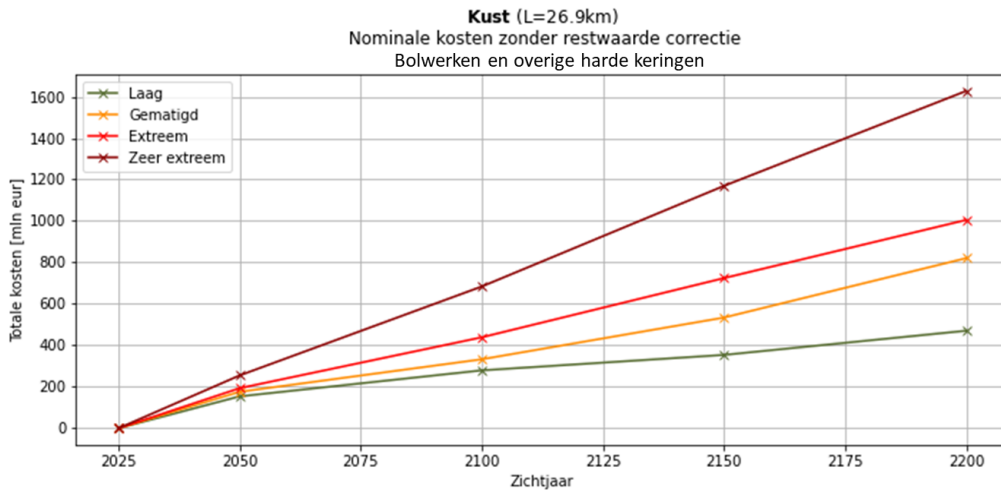
Tabel 38: Nominale kosten per tijdlijn voor harde kust (bolwerken en overige harde waterkeringen).

Zichtjaar	Tijdlijnen en Nominale kosten [mln. euro]. Met en zonder correctie restwaarde.							
	Laag		Gematigd		Extreem		Zeer Extreem	
	Nom. Kosten	Met corr.	Nom. Kosten	Met corr.	Nom. Kosten	Met corr.	Nom. Kosten	Met corr.
2050	154	19	176	23	193	25	255	38
2100	279	140	333	168	439	194	684	357
2150	354	289	534	397	724	491	1169	836
2200	471	424	821	689	1005	876	1627	1368

De totale kosten in 2200 voor ZSS 1 m zijn 470 miljoen euro en voor ZSS 3 m ongeveer 1 miljard euro. Dit is dus ongeveer een factor 2 verschil in kosten. De totale kosten voor ZSS 5,4 m bedragen orde 1,6 miljard euro en dat komt overeen met een toename van ongeveer een factor 3,5 ten opzichte van de referentie (tijdlijn Laag).

In Tabel 38 zijn de kosten gesommeerd over de bolwerken en de overige harde waterkeringen. De bijdrage van de bolwerken aan de totale kosten is 25% en de overige harde waterkeringen is 75%.

Figuur 30 laat het verloop van de kosten zonder restwaarde correctie door de tijd zien. De kosten tonen een logisch verloop. Een regelmatig verloop van de kosten in de tijd is te zien en de kosten nemen toe met het extremer worden van de tijdlijnen.



Figuur 30: Kosten per tijdlijn voor een bepaald zichtjaar zonder restwaarde correctie.

Een deel van traject 13-4 valt ook in de categorie "overige harde waterkeringen". Echter zijn de resultaten van deze "overige harde waterkeringen voor traject 13-4 beschouwd bij de systeemanalyse voor de Wadden. De kosten voor de versterkingen van traject 13-4 dienen bij het bovenstaande opgeteld te worden om een volledig beeld van de kosten voor de harde waterkeringen langs de kust te komen.

## 5 Waterveiligheidsopgave kunstwerken (IJmuiden)

### 5.1 Doel

Het doel is het bepalen waterveiligheidsopgave en versterkingsopgave voor de kunstwerken langs de kust. Paragraaf 6.3.1 van de Notitie generieke werkwijze [Rijkswaterstaat, 2022c] beschrijft welke criteria zijn gebruikt om de selectie van relevante kunstwerken uit de database Natte Kunstwerken (toegeleverd bestand "Natte Kunstwerken KP ZSS-v-jan2021.xls") te verkrijgen. De volgende criteria zijn gehanteerd:

- Het object is opgenomen in de GPO database [Rijkswaterstaat GPO, 2019];
- Het object ligt in het Hoofdwatersysteem (HWS)
- Het object ligt in een primaire kering
- Het object vormt een onderbreking van de primaire waterkering, maar het object is geen onderdoorgang.
- Het object wordt op functie beschouwd, wanneer deze functie voor waterveiligheid is.

Sluizencomplex IJmuiden is het enige kunstwerk dat binnen deze rapportage wordt beschouwd. Sluizencomplex IJmuiden wordt enkel op hoogte beschouwd. Alle objecten binnen dit kunstwerk zijn separaat beschouwd. De resultaten per object zijn gepresenteerd in Bijlage B. In dit hoofdstuk zijn de resultaten van de objecten samengevat.

### 5.2 Methode

In deze paragraaf is de gehanteerde methode nader toegelicht. Hier zijn de uitgangspunten en aannames opgesomd welke zijn gehanteerd in de analyse. Er zijn twee type werkzaamheden te onderscheiden:

- Bepalen van het kruinhoogtetekort;
- Maken van een kostenschattning voor de benodigde versterking.

#### 5.2.1 Bepalen kruinhoogtetekort

Tussen 2023 en 2200 is per zichtjaar het kruinhoogtetekort ten opzichte van de huidige kerende hoogte van het object bepaald. Voor de zichtjaren 2023, 2100 en 2200 is de waterstand bepaald voor vier tijdlijnen, zie paragraaf 3.3. De waterstand is voor tussenliggende zichtjaren lineair geïnterpoleerd.

Het hoogtetekort is via een vereenvoudigde methode beoordeeld door de kerende hoogte van het object te vergelijken met de waterstand bij de overschrijdingskans bij een doorsnede van het kunstwerk. Een beoordeling van de kerende hoogte van het kunstwerk op basis van het HBN voor golfoverslag leidt bij 10 l/s/m tot zeer grote (onrealistische) kruinhoogtetekorten<sup>6</sup>.

De kerende hoogte van het object volgt uit de database - Natte kunstwerken (toegeleverd document "Natte kunstwerken KP ZSS-v-jan2021.xls"). De gegevens in deze database komen uit project VONK en hebben soms een onnauwkeurigheid in zich. Het exacte moment van het ontstaan van het hoogtetekort dient daarom niet absoluut geïnterpreteerd te worden in deze studie.

---

<sup>6</sup> Een beoordeling op basis van de kombergingsbenadering valt buiten de scope van deze beleidsstudie.

De waterstand is afhankelijk van het beschouwde zeespiegelscenario. De waterstand is voor het sluiscomplex IJmuiden opgenomen in het opleverdossier. De eis voor de overschrijdingskans bij de doorsnede is als volgt bepaald:

$$P_{eis,dsn} = \frac{\omega P_{eis}}{N_{dsn}}$$

Waarin:

$P_{eis,dsn}$	Faalkanseis per doorsnede of kunstwerk [1/ jaar].
$P_{eis}$	Norm van het dijktraject [1/jaar].
$\omega$	Faalkansruimtefactor voor het betreffende toetspooor [-].
$N_{dsn}$	Lengte-effectfactor voor een doorsnede of kunstwerk [-].

De norm, faalkansruimtefactor en lengte-effectfactor volgen uit Handreiking Ontwerpen met Overstromingskansen [Rijkswaterstaat, 2015]. Voor de objecten zijn dezelfde parameters gehanteerd als voor het betreffende dijktraject waar het object in ligt, zoals aangegeven in paragraaf 17.2 van Bijlage III Sterkte en Veiligheid [Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2017].

De kerende hoogte wordt vergeleken met de waterstand bij doorsnede eis. Wanneer een hoogtetekort ontstaat bij een object dient het object aangepast of vervangen te worden. Daarnaast dient bij einde levensduur het object vervangen te worden. Na vervanging heeft het object een levensduur van 100 jaar.

### 5.2.2 Kostenschatting

In de versterkings- en vervangingsopgave is beschouwd wanneer objecten aangepast of vervangen dienen te worden en wat de bijbehorende kosten van deze maatregelen zijn. Als basis voor de kostenschatting hanteren we het minimum van twee strategieën:

1. Strategie 1) Bij een hoogtetekort wordt het object aangepast, zodat deze voldoet tot einde levensduur. Bij einde levensduur wordt deze vervangen.
2. Strategie 2) Bij een hoogtetekort wordt het object direct vervangen. Bij vervanging wordt de kerende hoogte verhoogd, zodat deze weer voldoet voor een periode van 100 jaar.

De strategie welke in het jaar 2200 resulteert in de laagste nominale cumulatieve kosten minus de restwaarde, heeft de voorkeur. De kosten worden gepresenteerd in paragraaf 5.3 van deze rapportage. De gehanteerde versterkingsstrategie is per object gepresenteerd in Bijlage Sluiscomplex IJmuiden.

Het maken van de kostenschatting bestaat uit drie stappen.

- Bepalen van de nominale kosten voor beide strategieën.
- Bepalen van de nominale kosten met correctie voor restwaarde, ook voor beide strategieën.
- Bepalen versterkings- en vervangingsstrategie met de laagste kosten.

Bij het bepalen van de kosten wordt onderscheid gemaakt in de kosten voor aanpassing/versterking en de kosten voor vervanging.

### Kosten vervanging

De kosten voor vervanging zijn onafhankelijk verondersteld van het hoogtetekort. De vervangingskosten van de objecten volgen uit database Natte kunstwerken. Voor de vervangingskosten is het prijspeil van 2022 gehanteerd. Het prijspeil voor 2022 volgt uit de GWW prijsindices van het CBS [CBS, 2022].

### Kosten aanpassing

De kosten voor aanpassing/versterking zijn kleiner of gelijk aan de kosten voor vervanging. De kosten voor aanpassing zijn afhankelijk van het kruinhoogtetekort en het KostenType van het object. Het percentage van de vervangingskosten volgt uit Kostencurves Kunstwerken KOSWAT [Rijkswaterstaat GPO, 2019].

### Totale kosten

De totale kosten zijn gepresenteerd in paragraaf 5.3 voor de zichtjaren 2050, 2100, 2150 en 2200 voor de verschillende tijdlijnen. Hier worden de nominale kosten tot het betreffende zichtjaar ten opzichte van de huidige situatie gepresenteerd én de nominale kosten minus de restwaarde van het object tot het betreffende zichtjaar. In hoofdstuk 7 worden ook de kosten ten opzichte van systeem op orde gepresenteerd.

Voor het bepalen van de restwaarde wordt dezelfde vergelijking toegepast als in paragraaf 5.2.2. Enige afwijking hierop is de periode waarover wordt afgeschreven. Deze periode bedraagt geen 50 jaar zoals bij dijken, maar is afhankelijk van het vervangingsmoment. De restwaarde wordt bepaald door de versterkingskosten of de vervangingskosten lineair af te schrijven tot aan het volgende vervangingsmoment. Een object wordt versterkt waarna de kruinhoogte weer voldoet tot einde levensduur. Wanneer een object wordt vervangen heeft deze weer een levensduur van 100 jaar.

## 5.3 Resultaten

Het sluisencomplex IJmuiden bestaat uit 12 objecten. Tussen deze 12 objecten is onderscheid gemaakt in vier soorten schutsluizen (klein, middel en twee grote), één type gemaal en één type uitwateringsluis. De kenmerken van de zes soorten objecten zijn hieronder behandeld. Ook het aantal objecten dat van elk soort aanwezig is gepresenteerd.

Tabel 39: Kenmerken Sluisencomplex IJmuiden.

		Noordersluis	Middensluis	Zuidersluis	Kleine Sluis	Gemaal IJmuiden	Spuisluis 1 t/m 7
Kosten vervanging 2022	[€]	686.371.252	328.366.067	75.272.234	30.214.144	177.862.291	8.936.000
KostenType	[-]	Schutsluis - Groot	Schutsluis - Groot	Schutsluis - Middel	Schutsluis - Klein	Gemaal - Special	Uitwateringsluis - Special
Huidig kruinniveau	[m+NAP]	5,9	5,9	4,9	4,9	8	8,7
Einde levensduur	[-]	2051	2047	2051	2051	2055	2049
Overschrijdingskans	[per jaar]	0,000008	0,000008	0,000008	0,000008	0,000008	0,000008

Omdat de Noordersluis niet groot genoeg meer is, is in 2022 Zeesluis IJmuiden geopend. Het hoogtetekort en de kosten voor versterking/vervanging van de (nieuwe) Zeesluis IJmuiden zijn niet opgenomen in deze paragraaf.

### Hoogtetekort

Het kruinhoogtetekort ten opzichte van de huidige kerende hoogte is bepaald op basis van de waterstand. Dit is gedaan voor de verschillende tijdlijnen en zichtjaren per object. De resultaten van het kruinhoogtetekort zijn gepresenteerd in Tabel 40.

Opgemerkt dient te worden dat er een verschil kan zijn in kruinhoogtetekort tussen recent uitgevoerde beoordeling (LBO1) en de resultaten in onderstaande tabel. Dit komt door de gehanteerde aanpak. Dat betekent dat in deze beleidsstudie uitgegaan is van globale kenmerken van een kunstwerk, geen rekening is gehouden met de kombergingsbenadering en rekening is gehouden met een bepaald niveau van zeespiegelstijging (25 – 50 cm tot zichtjaar 2050). In LBO1 is een nauwkeurigere inschatting van de aanwezige kerende hoogte gehanteerd, wel rekening gehouden met de kombergingsbenadering en niet gerekend met zeespiegelstijging.

Tabel 40: Kruinhoogtetekort in meters per object ten opzichte van de huidige kerende hoogte per zichtjaar en tijdlijn.

	Laag				Gematigd				Extreem				Zeer Extreem			
	2050	2100	2150	2200	2050	2100	2150	2200	2050	2100	2150	2200	2050	2100	2150	2200
Noordersluis en Middensluis	0,4	0,7	0,9	1,2	0,4	0,9	1,5	2,2	0,4	1,2	2,0	3,2	0,7	2,2	3,7	5,6
Zuidersluis en Kleine Sluis	1,4	1,7	1,9	2,2	1,4	1,9	2,5	3,2	1,4	2,2	3,0	4,2	1,7	3,2	4,7	6,6
Gemaal IJmuiden	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	0,1	1,6	3,5
Spuisluis IJmuiden 1 t/m 7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,9	2,8

Het kruinhoogtetekort neemt voor alle objecten toe met het extremer worden van de tijdlijnen en het toenemen van de zichtjaren.

Bij de Zuidersluis en de Kleine sluis is al een kruinhoogtetekort van 1,4 meter ontstaan bij tijdlijn Laag in zichtjaar 2050. Ook bij de Noordersluis en de Middensluis is een kruinhoogtetekort ontstaan bij tijdlijn Laag in zichtjaar 2050. Bij het gemaal IJmuiden treedt voor het eerst een kruinhoogtetekort op bij tijdlijn Zeer Extreem in de periode tussen zichtjaar 2050 en 2100. Bij de Spuisluizen treedt een kruinhoogtetekort op bij de tijdlijn Extreem tussen zichtjaar 2150 en 2200.

### Kostenschatting

In Bijlage B zijn de kosten voor individuele objecten gepresenteerd voor alle tijdlijnen en zichtjaren. In deze paragraaf zijn in Tabel 41 de totale nominale kosten per tijdlijn voor de zichtjaren 2050, 2100, 2150 en 2200 getoond. De kolom "nominale kosten" toont de nominale kosten welke gemaakt worden tot en met het betreffende zichtjaar. In de kolom "nominale kosten met correctie restwaarde" worden de nominale kosten in het betreffende zichtjaar gepresenteerd. De nominale kosten worden gecorrigeerd met de restwaarde van het object in dat zichtjaar.

Tabel 41: Totale nominale kosten Sluizencomplex IJmuiden per zichtjaar en tijdlijn

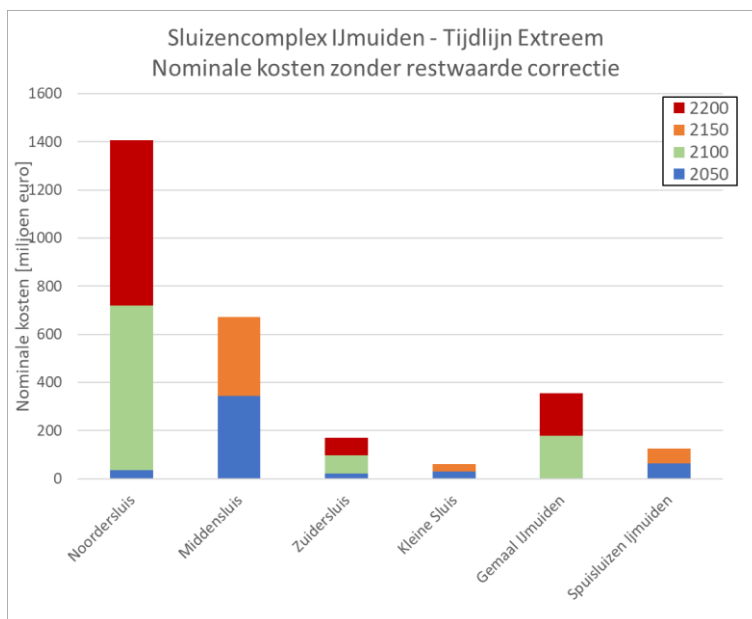
Zichtjaar	Tijdlijnen en Nominale kosten [mln. euro]. Met en zonder correctie restwaarde							
	Laag		Gematigd		Extreem		Zeer Extreem	
	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie
2050	493	88	493	88	493	88	567	108
2100	1432	754	1432	754	1432	754	1431	774
2150	1853	1434	1853	1434	1853	1434	1927	1454
2200	2793	2115	2793	2115	2793	2115	2792	2135

De totale kosten tussen de verschillende tijdlijnen zijn beperkt. De kosten voor de tijdlijnen Laag, Gematigd en Extreem zijn gelijk. Dit komt voor alle objecten bij deze tijdlijnen dezelfde versterkingsstrategie wordt gehanteerd. De objecten worden allemaal voor 2050 versterkt of vervangen. Voor de tijdlijnen Laag, Gematigd en Extreem is het kruinhoogtetekort bij de objecten gelijk tot aan 2050 gelijk. Dat het verschil in kosten beperkt is voor de verschillende tijdlijnen komt doordat de vervangingskosten van kunstwerken onafhankelijk zijn verondersteld van het

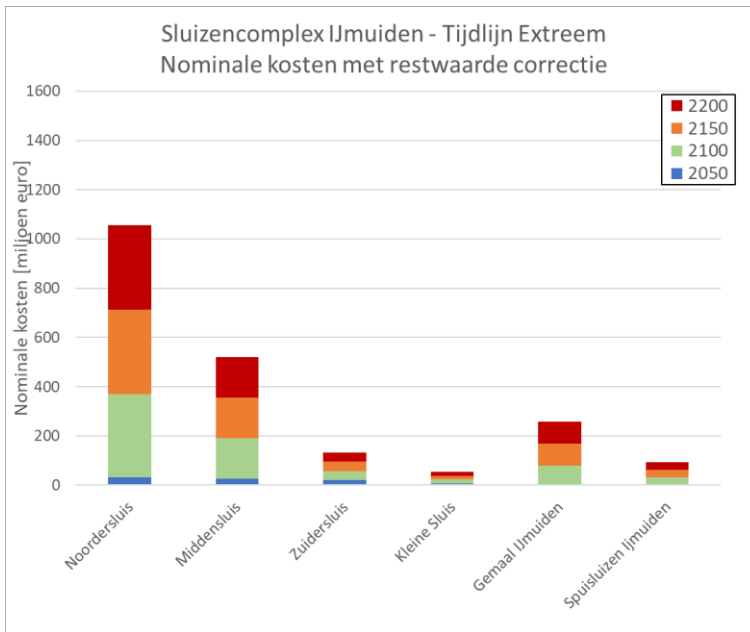
hoogtetekort. Alleen wanneer het kunstwerk versterkt wordt, heeft het kruinhoogtetekort invloed op de kosten. De totale kosten worden daardoor minder sterk beïnvloed door het aantal meter zeespiegelstijging, maar meer door het aantal vervangingen van de objecten.

De kosten voor de tijdlijn Zeer Extreem zijn hoger dan voor de tijdlijnen Laag, Gematigd en Extreem. Dit komt doordat de versterkingskosten voor de Noordersluis en Middensluis hoger zijn door het grotere kruinhoogtetekort dan bij de andere drie tijdlijnen. Voor de Zuidersluis wordt een andere versterkingsstrategie toegepast wat ook resulteert in hogere kosten. De Zuidersluis wordt eerst versterkt waarna deze bij einde levensduur pas wordt vervangen.

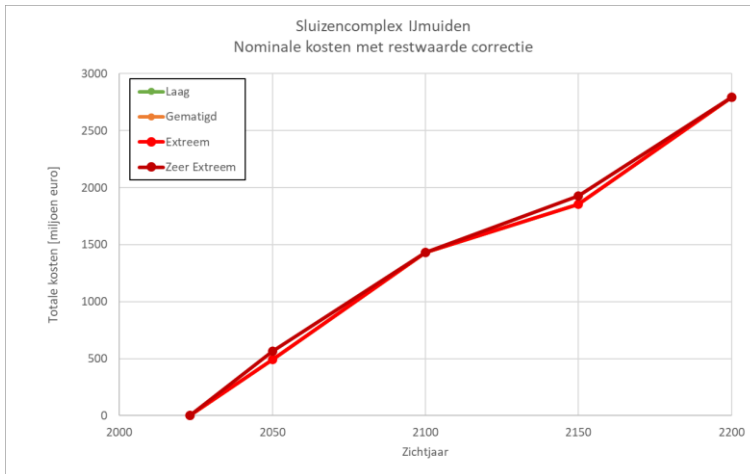
De totale kosten van het kunstwerk worden grotendeels bepaald door de Noordersluis, circa 50%. De Zuidersluis, de kleine sluis en de spuisluizen hebben een kleinere invloed op de totale kosten.



Figuur 31: Cumulatieve nominale kosten inclusief restwaarde voor tijdlijn Extreem tijdlijn tot 2200 Sluizencomplex IJmuiden.

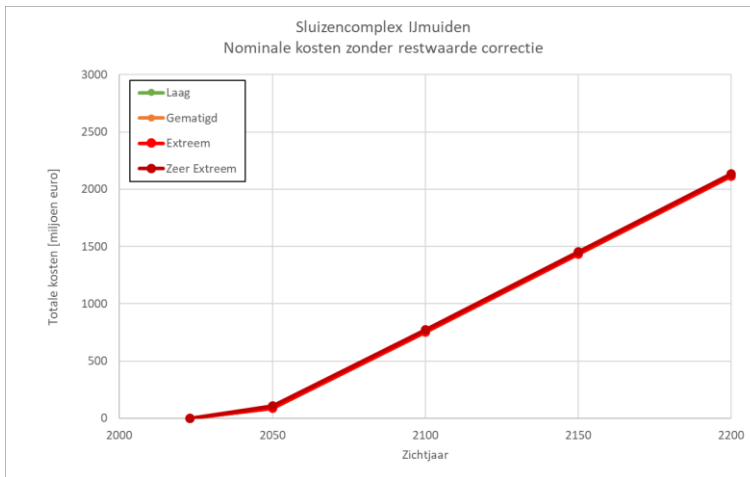


Figuur 32: Cumulatieve nominale kosten minus restwaarde voor tijdljn Extreem tijdljn tot 2200 Sluizencomplex IJmuiden.



Figuur 33: Cumulatieve nominale kosten inclusief restwaarde tot 2200 Sluizencomplex IJmuiden.





Figuur 34: Cumulatieve nominale kosten minus restwaarde tot 2200 Sluizencomplex IJmuiden.

#### 5.4 Samenvatting

In deze paragraaf zijn de totale kosten voor sluizencomplex IJmuiden samengevat in onderstaande tabel. De totale kosten worden grotendeels bepaald door de Noordersluis, Middensluis en het gemaal. De verschillen tussen de verschillende tijdlijnen zijn klein. Dit komt doordat de kosten voor vervanging onafhankelijk worden verondersteld van de benodigde kruinhoogte van het object. De totale kosten worden daardoor sterker beïnvloed door het moment van vervangen en het aantal vervangingen tot 2200.

Tabel 42: Totale kosten Sluizencomplex IJmuiden voor tijdlijnen en zichtjaren.

Zichtjaar	Tijdlijnen en Nominale kosten [mln. euro]. Met en zonder correctie restwaarde							
	Laag		Gematigd		Extreem		Zeer Extreem	
	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie	Nominale kosten	Met correctie
2050	493	88	493	88	493	88	567	108
2100	1432	754	1432	754	1432	754	1431	774
2150	1853	1434	1853	1434	1853	1434	1927	1454
2200	2793	2115	2793	2115	2793	2115	2792	2135

## 6 Gevoeligheidsanalyse

### 6.1 Inleiding

Naast de basisberekeningen is ook een aantal gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Deze zijn uitgevoerd om een indicatie te krijgen van de invloed van bepaalde uitgangspunten op de uiteindelijke conclusies van het onderzoek en bieden soms mogelijkheden om de impact of de waterveiligheidsopgave te verkleinen (als oprekmaatregel). Als uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat de invloed van de parameter op de hydraulische belastingen een significant effect heeft, dan wordt ook het effect op de waterveiligheidsopgave inzichtelijk gemaakt. Dit gebeurt via een onderbouwde schatting of een OKADER-analyse.

Voor de kust is gekeken naar de invloed van het effect van de bodemligging op de resultaten.

Merk op dat voor elke parameter is gekeken naar de invloed bij elke mate van ZSS. Een parameter kan dus van belang zijn voor de waterveiligheidsopgave (andere kosten), maar dit is dan aanwezig bij alle waarden voor de ZSS.

### 6.2 Effect bodemligging

#### 6.2.1 Hydraulische belastingen

In paragraaf 3.3 zijn de resultaten beschreven voor de situatie dat de bodem van de kust volledig meegroeit met de zeespiegelstijging tot 2200. Daarbij is dus geen rekening gehouden met andere bodemscenario's zoals bijvoorbeeld dat de bodem niet of beperkt meegroeit met de zeespiegelstijging. Of dit gebeurt is onzeker en hangt ook af van (toekomstige) beleidskeuzes. Om de gevoeligheid inzichtelijk te maken zijn drie scenario's doorgerekend:

1. De bodem groeit niet mee en blijft gelijk aan de huidige ligging (Niet Meegroeien, NM)
2. De bodem volgt de huidige trends (Voortzetting Trend, VT)
3. Voorkeursstrategie: De bodem groeit volledig mee met de zeespiegelstijging (Volledig Meegroeien, VM)

De resultaten van scenario 3 (VM) zijn reeds gepresenteerd in hoofdstuk 3.

In bovengenoemde drie scenario's blijft de bodemligging van de Noordzee (hier grofweg gedefinieerd als het gebied zeewaarts van de 20 m dieptecontour) constant. Aan het eind van deze paragraaf wordt ook stilgestaan bij het effect van het volledig meegroeien van de Noordzeebodem op de hydraulische belastingen.

#### **Scenario 1. bodem groeit niet mee met de zeespiegelstijging en blijft gelijk (Niet Meegroeien, NM)**

Voor dit scenario is de bodem gelijk gehouden aan de referentiebodembodem uit 2023. De effecten van zeespiegelstijging zijn daarom berekend met Hydra-NL.

#### **Scenario 2. bodem groeit gedeeltelijk mee (Voortzetting Trend, VT)**

Door Deltares (2022b) zijn de huidige bodemtrends bepaald. Hierbij is voor het Marsdiep en de Westerschelde een onderscheid gemaakt tussen het buitengebied (de buitendelta) en het binnengebied (het bekken), met de keel van het zeegat als grens ertussen. Uitgangspunt is dat de huidige plaat-geuligging in de Waddenzee en Westerschelde gelijk blijft. Voor de buitendelta geldt dat niet omdat de hoofdgeul hier veel dynamischer is.

Voor verschillende zeespiegelscenario's is met ASMITA modellen (Rossington, et al. 2011) de hoeveelheid extra sediment in de binnendelta's berekend voor een gunstig en ongunstig scenario. Het sediment is gelijkmatig verdeeld over het gebied.

Voor de buitendelta's is een andere methodiek toegepast. Omdat deze morfologisch zeer actief zijn, is er voor gekozen om op basis van historische metingen per punt de historisch minimale ligging te hanteren als basis en vervolgens de scenario's van Niet Meegroeien, Voortzetting trend (op basis van ASMITA) en Volledig Meegroeien erbij op te tellen.

Voor het mondingsgebied van de Westerschelde is gebruik gemaakt van de bodemscenario's van Elias et al. (2016).

Op basis van bovenstaande beschouwing zijn synthetische bodems gemaakt voor 0,5 m 1 m, 2 m en 3 m zeespiegelstijging.

### Scenario 3. Volledig meegroeien bodem Kust (Volledig Meegroeien, VM)

Naast de bodem waarin uitgegaan wordt van voortzetten van de trends wordt ook berekend wat het effect is van het volledig meegroeien van de bodem.

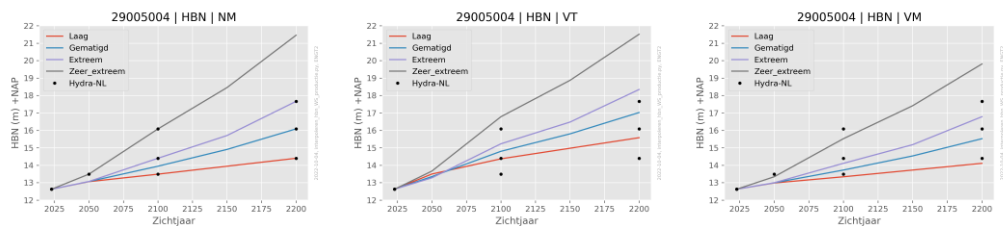
Hierbij worden de volgende scenario's doorgerekend:

1. Gehele bodem stijgt met 0,5 m;
2. Gehele bodem stijgt met 1,0 m;
3. Gehele bodem stijgt met 2,0 m;
4. Gehele bodem stijgt met 3,0 m.

Met de geleverde bodems zijn SWAN2D en SWAN1D berekeningen uitgevoerd om het effect van bodemverandering op het HBN te bepalen. Voor de Havens is alleen de hoogte van de haventerreinen voor het scenario Volledig Meegroeien (VM) aangepast.

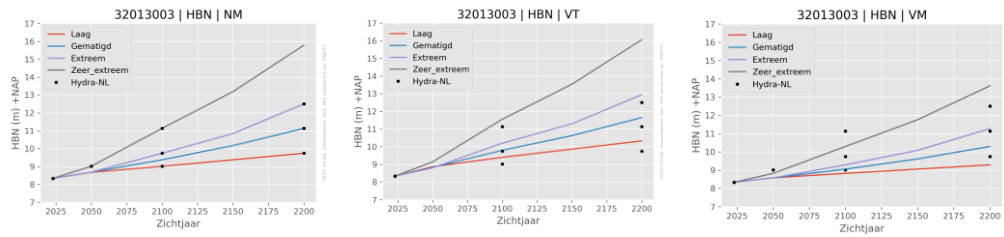
In Figuur 35 t/m Figuur 37 zijn voor drie locaties het verloop van de HBN's getoond

In Figuur 35 is te zien dat de HBN's bij Westkapelle bij het scenario Voorzetting Trends (VT) stijgen ten opzichte van het basisscenario (referentie) waarbij de bodem niet verandert. Dit komt omdat de trend op deze locatie negatief is (eroderend) waardoor de toekomstige bodem dieper komt te liggen. De golfbelasting neemt dus nog verder toe wat resulteert in hogere HBN's. Bij het volledig meegroeien nemen de HBN's af omdat de bodem meegroeit en dus de golfbelasting afneemt. De waterstandsfrequentielijnen veranderen niet door een andere bodemligging.



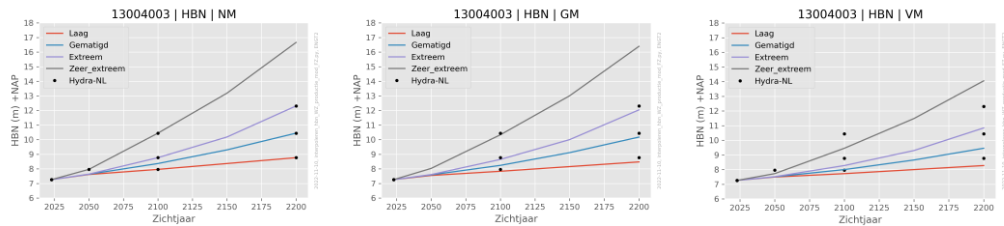
Figuur 35: HBN lijnen Westkapelle (SWAN-2D) voor bodemscenario's.

In Figuur 36 is voor de locatie Cadzand te zien dat de HBN's bij het scenario Voortzetting trend (VT) iets stijgen (10 tot 20 cm) ten opzichte van het scenario NM waarbij de bodem niet verandert. Dit komt omdat de trend op deze locatie ook negatief is (eroderend) waardoor de toekomstige bodem iets dieper komt te liggen. De golfbelasting neemt dus iets toe wat resulteert in hogere HBN's. Bij het Volledig meegroeien (VM) nemen de HBN's wel af ten opzichte van NM. De waterstandsfrequentielijnen veranderen niet door een andere bodemligging.



Figuur 36: HBN lijnen Cadzand (SWAN-2D) voor verschillende bodemscenario's.

In Figuur 37 is voor de locatie Huisduinen te zien dat de HBN's bij het scenario Voortzetting trend (VT) dalen ten opzichte van het scenario NM waarbij de bodem niet verandert. Dit komt omdat de trend op deze locatie positief is (sedimenterend) waardoor de toekomstige bodem aangroeit. Bij het volledig meegroeien nemen de HBN's af omdat de bodem meegroeit en dus de golfbelasting afneemt. De waterstandsfrequentielijnen veranderen niet door een andere bodemligging.



Figuur 37: HBN lijnen Camperduin (SWAN-2D) voor bodemscenario's.

### Samenvatting

Tabel 43 toont de gemiddelde stijging van het HBN ten opzichte van ZSS scenario Laag voor bodemscenario Niet Meegroeien. In de tabel is te zien dat het HBN gemiddeld sneller stijgt dan de zeespiegelstijging. Dit komt omdat ook de golven toenemen. Voor dit scenario wordt de grootste stijging van de HBN's gevonden. Dat komt omdat bij de twee andere scenario's de bodem (deels) meegroeit, waardoor de invloed van golven afneemt.

Tabel 43: Gemiddelde stijging in HBN voor tijdelijk Gematigd, Extreem en Zeer Extreem t.o.v. tijdelijk Laag voor het bodemscenario Niet Meegroeien (NM).

Zichtjaar	Gemiddelde stijging ZSS en gemiddelde stijging HBN langs Kust t.o.v. tijdelijk Laag voor het bodemscenario Niet Meegroeien					
	Gematigd t.o.v. Laag		Extreem t.o.v. Laag		Zeer Extreem t.o.v. Laag	
	ZSS	HBN Kust	ZSS	HBN Kust	ZSS	HBN Kust
2023	-	-	-	-	-	-
2050	-	+1 cm	-	+2cm	+25 cm	+38 cm
2100	+25 cm	+41 cm	+50 cm	+83 cm	+150 cm	+243 cm
2150	+56 cm	+91 cm	+105 cm	+170 cm	+275 cm	+441 cm
2200	+100 cm	+161 cm	+200 cm	+321 cm	+437 cm	+703 cm

In principe zou 2050 voor Gematigd, Extreem dezelfde resultaten moeten geven (ZSS 25 cm)<sup>7</sup>. Deze waarden zijn echter bepaald door interpolatie van HBN's tussen 2023 en 2100, waarbij de scenario's voor 2100 verschillen. Verder is voor Zeer Extreem in 2050 een snellere ZSS aangenomen, te weten +25 cm t.o.v. Laag. Tabel 44 toont de gemiddelde stijging van het HBN ten opzichte van scenario Laag voor het bodemscenario Voortzetting Trend. Ten opzichte van het scenario Niet

<sup>7</sup> Het verschil is 1 cm.

meegroeien (Tabel 43) is te zien dat het HBN minder hard stijgt voor het scenario Voortzetting Trend. Dat is ook logisch want de bodem stijgt iets.

Opvallend is dat het HBN bij Voortzetting Trend voor het jaar 2050 negatief is voor Gematigd en Extreem. Dat komt omdat de bodem bij VT daalt en de waarden voor 2050 door interpolatie bepaald worden.

Tabel 44: Gemiddelde stijging in HBN voor tijdelijk Gematigd, Extreem en Zeer Extreem t.o.v. tijdelijk Laag voor bodemscenario Voortzetting Trend

Zichtjaar	Gemiddelde stijging ZSS en gemiddelde stijging HBN langs Kust t.o.v. tijdelijk Laag voor het bodemscenario Voortzetting Trend					
	Gematigd t.o.v. Laag		Extreem t.o.v. Laag		Zeer Extreem t.o.v. Laag	
	ZSS	HBN Kust	ZSS	HBN Kust	ZSS	HBN Kust
2023	-	-	-	-	-	-
2050	-	-8 cm	-	-12 cm	+25 cm	+28 cm
2100	+25 cm	+40 cm	+50 cm	+80 cm	+150 cm	+239 cm
2150	+56 cm	+86 cm	+105 cm	+162 cm	+275 cm	+427 cm
2200	+100 cm	+153 cm	+200 cm	+308 cm	+437 cm	+677 cm

### 6.2.2 Waterveiligheidsopgave dijken

Voor alle bolwerken en harde keringen zijn de opgave en kosten bepaald voor de drie bodemscenario's. De nominale kosten per tijdelijk en zichtjaar staan voor elk bodemscenario in Tabel 63. De nominale kosten voor bodemscenario Volledig meegroeien (VM) zijn altijd het laagste. In zichtjaar 2200 leidt voor tijdelijk Laag en Gematigd bodemscenario Voortzetting huidige trend (VT) tot de hoogste kosten, voor tijdelijk Extreem zijn de kosten bij bodemscenario Niet Meegroeïende bodem (VM) en Voortzetting huidige trend (VT) ongeveer even hoog en bij tijdelijk Zeer Extreem leidt het bodemscenario Niet Meegroeïende bodem (NM) tot de hoogste kosten.

Tabel 45: De nominale kosten tot en met een zichtjaar per tijdelijk en voor elk bodemscenario: niet meegroeïende bodem (NM), voortzetting huidige trend (VT) en volledig meegroeïende bodem (VM).

Zichtjaar	Tijdelijken en Nominale kosten [mln. euro]. Zonder correctie restwaarde											
	Laag			Gematigd			Extreem			Zeer Extreem		
	NM	VT	VM	NM	VT	VM	NM	VT	VM	NM	VT	VM
2050	171	191	155	181	211	182	231	245	206	318	340	282
2100	300	340	275	382	384	327	575	570	429	842	782	670
2150	395	473	344	631	690	517	1022	1038	699	1490	1319	1136
2200	579	656	460	963	997	804	1493	1494	979	2091	1885	1594

## 7 Waterveiligheidsopgave Zandige waterkeringen Kust

### 7.1 Doel

*Dit hoofdstuk is een uittreksel van Rijkswaterstaat (2023b) - Systeemanalyse Waterveiligheid – Deelrapport Zandige waterkeringen Kust.*

Het doel van het onderdeel waterveiligheidsopgave zandige waterkeringen kust is het bepalen van de versterkingsopgave voor de zandige waterkeringen langs de kust. Hierbij wordt gekeken tot welk niveau de huidige zandige kust veilig is tegen overstromingen en wat de extra hoogte, ruimte en de bijbehorende kosten van de versterking zijn voor verschillende mate van zeespiegelstijging. Voor de zandige kust zijn de resultaten gepresenteerd voor 3 gebieden: Waddenkust, Hollandse kust en Zeeuwse kust.

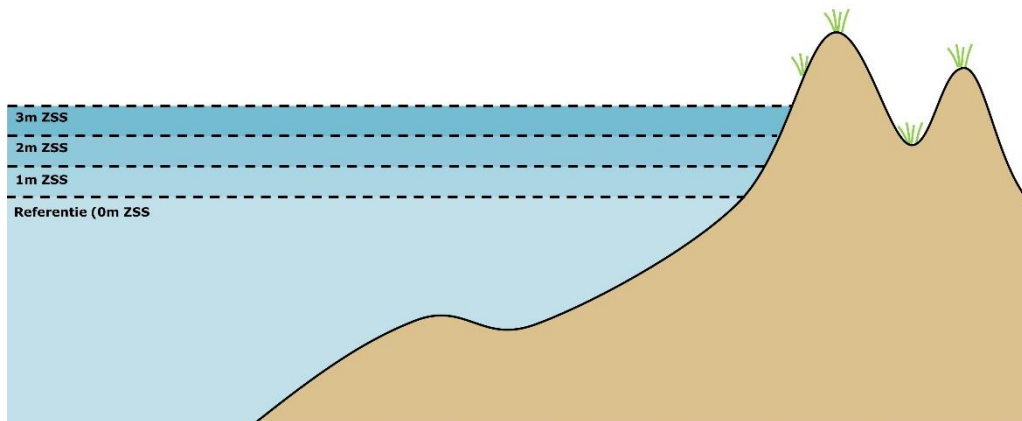
### 7.2 Methode

Door Rijkswaterstaat (2023b) is een landelijk uniforme inschatting gemaakt van de waterveiligheidsopgave van de zandige Nederlandse kust als gevolg van een stijgende zeespiegel. Hiervoor is een pragmatische methode gebruikt voor verschillende mate van zeespiegelstijging (4) en morfologische veranderingen (6) met het rekenmodel DUROS+ voor duinafslag. Het model DUROS+ is een eenvoudig balansmodel dat is ontwikkeld om de veiligheid van een duinwaterkering te kunnen beoordelen. Nadeel van deze pragmatische methode is dat het gebruikte rekenmodel voor bepaalde locaties langs de kust – met name op locaties waar een 2D aanpak vereist is – buiten het toepassingsbereik gebruikt is. Voor de toepassing in dit project is deze aanpak echter voldoende voor een inschatting wat het effect van zeespiegelstijging zal zijn.

De analyse is uitgevoerd voor 0, 1, 2 en 3 meter zeespiegelstijging voor alle (Jarkus)raaien langs de Nederlandse kust (zie Figuur 14). Hierbij is het de vraag hoe hoogwaterstanden meestijgen met de zeespiegelstijging en hoe het golfklimaat als gevolg van zeespiegelstijging (bij onveranderde windstatistiek) verandert. Hiervoor is op basis van bekende literatuur een eerste inschatting gemaakt van het effect van zeespiegelstijging op hydraulische belastingen langs de kust.

Op basis van literatuur onderzoek is aangenomen dat:

- De hoogwaterstanden tijdens extreme omstandigheden meestijgen met de zeespiegelstijging.
- De golfhoogte wordt verondersteld met 2% per meter zeespiegelstijging toe te nemen, ten opzichte van de initiële golfcondities. Een uitzondering hierop vormt het scenario dat de Voordelta niet meegroeit. Voor de Zuidwestelijke Delta kust kunnen in dat geval aanzienlijk hogere golfhoogte worden verwacht.
- De golfperiode zal ongeveer 0,1s per meter zeespiegelstijging toenemen.



Figuur 38: Zeespiegelstijging scenario's [Rijkswaterstaat, 2023b].

De hydraulische randvoorwaarden voor het referentie scenario (0 m ZSS) zijn afgeleid met softwarepakket Riskeer. Dit betreffen de lokale maatgevende golfhoogte, golfperiode en het rekenpeil voor het faalmechanisme duinafslag. Voor de zeespiegelstijging zijn de HR aangepast volgens de bovengenoemde methodiek.

De onzekerheid van morfologische veranderingen is meegenomen door de profielen in de berekeningen al dan niet aan te passen. Daarbij is rekening gehouden met de voorkeursstrategie om de BKL te handhaven.

In deze studie is de onzekerheid van het wel of niet (volledig) meegroeien van de vooroever en het strand en de duinen meegenomen door enkele versimpelde morfologische scenario's te beschouwen. Op hoofdlijnen wordt er onderscheid gemaakt tussen Volledig Meegroeien, Gedeeltelijk Meegroeien en Niet Meegroeien:

- Volledig Meegroeien betekent dat het profiel boven de -10m NAP met 1 meter stijgt bij 1 meter zeespiegelstijging. Waarschijnlijk zal dus enkel de toename van de golfcondities tot enige mate van extra afslag leiden.
- Gedeeltelijk Meegroeien betekent dat het profiel boven de -10m NAP met 0,5 meter stijgt bij 1 meter zeespiegelstijging (50%).
- Niet Meegroeien betekent dat het profiel hetzelfde blijft, ongeacht de zeespiegelstijging.

Binnen de twee meegroeiscenario's wordt lokaal onderscheid gemaakt tussen het wel en niet meegroeien van de duinen (boven NAP+3 m). Ter plaatse van kustplaatsen en locaties met hoge statische duinen wordt de aanname gedaan dat hier het profiel boven de +3m NAP niet meegroeit, ongeacht het morfologische scenario. Op de overige locaties wordt er van uitgegaan dat de duinen even hard meegroeien als de vooroever en het strand.

Hierbij is niet onderzocht of het strand en de duinen mee kunnen groeien zonder aanvullende maatregelen (bijv. bij bebouwing, landwaarts meegroeien, voortgaande erosie). Ook is niet onderzocht of duinen snel genoeg meegroeien als de zeespiegel sneller gaat stijgen. Met name in brede duingebieden waar het grensprofiel / de formele waterkering verder landwaarts ligt groeien de duinen in de huidige beheerpraktijk niet/minder mee met de zeespiegelstijging.

Per profiel en mate van zeespiegelstijging wordt bepaald of het profiel nog voldoet aan de ondergrens en mogelijk de signaleringswaarde (criterium IIIv). Als dit niet het geval is (criterium IVv t/m VIv) dan dient het profiel versterkt te worden. Het spreekt voor zich dat naarmate het profiel al (deels) meegroeit de versterkingsopgave kleiner en/of later nodig is.

Er is voor gekozen om alleen landwaartse duinversterkingen te beschouwen.

### 7.3 Resultaten

Op basis van de uitgevoerde analyse komt naar voren dat het mee laten groeien van de kust met zeespiegelstijging voor bijna de gehele kust extra waterveiligheidsopgaven door zeespiegelstijging voorkomt, uitgezonderd enkele lokale situaties. Het blijven uitvoeren van het huidige kustbeleid – meegroeien met zeespiegelstijging – blijkt zeer effectief om waterveiligheidsopgaven door zeespiegelstijging in de toekomst te voorkomen. Hierbij is er van uitgegaan dat duinen voldoende ruimte landwaarts hebben om mee te groeien. Op plaatsen waar de aangroei van duinen onwaarschijnlijk is, bijvoorbeeld waar bebouwing het meegroeien van de waterkering belemmert, ontstaan de eerste problemen voor de waterveiligheid. Dit zijn met name Noordwijk aan Zee, Katwijk aan Zee en Scheveningen. Hier zullen vermoedelijk al ruim eerder dan bij 2 meter zeespiegelstijging problemen ontstaan, zelfs met een volledig meegroeiende vooroever en strand. Het probleem van deze 'lage kustgebieden' kan enkel worden opgelost door het toevoegen van waterkerende hoogte doordat overslag/overloop de dominante mechanismen zijn.

Wanneer de kust niet kan meegroeien met zeespiegelstijging ontstaan de grootste problemen. In deze situatie dienen veel waterkeringen versterkt te worden. Separaat hiervan zal de kust natuurlijke regressie gaan vertonen (Bruun's rule). Deze natuurlijke terugtrekking is enkel ruimtelijk ingeschat. De impact hiervan op waterveiligheid is niet onderzocht in deze studie.

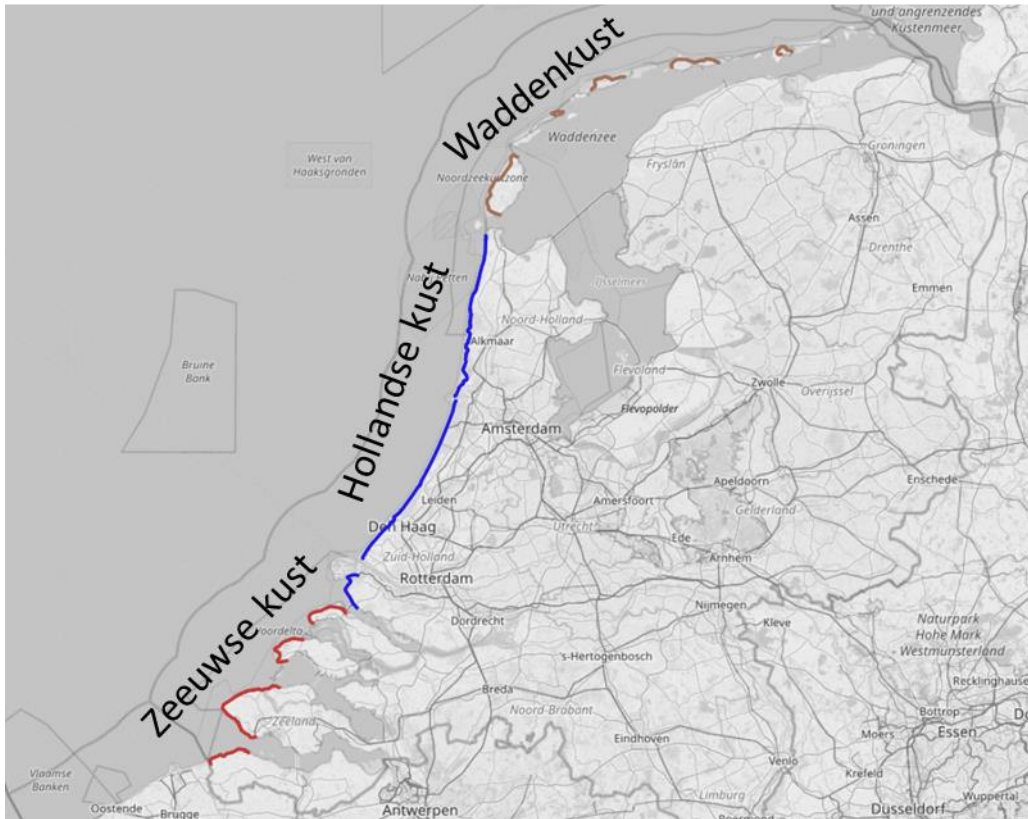
Uit de berekeningen komt naar voren dat vanaf 2 meter zeespiegelstijging bij gedeeltelijk of niet meegroeiende zeekeringen er op de meeste plaatsen versterking nodig is. De versterking voor 3 meter zeespiegelstijging, bij het bodemscenario Niet Meegroeien van de kust, is berekend op 45 miljoen kubieke meter zand met een bijbehorend kostenplaatje van 675 miljoen euro (nominale kosten). Daarnaast zullen door de versterkingen in combinatie met de reguliere achteruitgang van de kust tussen de versterkte gebieden, bolwerken ontstaan die een veel grotere onderhoudsinspanning van de kustlijn gaan vragen in de toekomst. Dit zal op de langere termijn mogelijk de overhand gaan nemen. Het is daarom belangrijk om de kust over de gehele lengte te blijven versterken.

#### **Kostenschatting Zandige kust**

De kosten van de versterkingsopgave zijn bepaald door het volume benodigd zand voor verschillende mate van zeespiegelstijging te bepalen en deze te vertalen naar kosten. Hierbij is een eenheidsprijs van EUR 15,-/m<sup>3</sup> aangehouden.

Bij het bodemscenario Volledig Meegroeien volgt de vooroever, strand en duinen de zeespiegelstijging (Voorkeursstrategie Deltaprogramma). In Tabel 46t/m Tabel 49 zijn de kosten voor verschillende tijdslijnen gepresenteerd voor de Waddenkust, Hollandse Kust en Zeeuwse Kust voor het bodemscenario Volledig Meegroeien. In Figuur 39 zijn de drie deelgebieden van de Zandige waterkeringen langs de kust weergegeven.





Figuur 39: Deelgebieden van de zandige waterkeringen langs de kust: Waddenkust, Hollandse kust en Zeeuwse kust.

In de tabellen is te zien dat de kosten vrijwel niet oplopen omdat de onderhoudsopgave nagenoeg gelijk blijft. De kosten zijn ook veel lager dan bij een niet meegroeiende bodem. Ongeveer 93% van de kosten is voor de Waddenkust nodig.

Tabel 46: Nominale cumulatieve kosten Zandige kust Wadden bodemscenario Volledig meegroeien.

Zichtjaar	Tijdlijnen en Nominale kosten [mln. euro].			
	Laag	Gematigd	Extreem	Zeer Extreem
	Nominale kosten	Nominale kosten	Nominale kosten	Nominale kosten
2050	29	29	29	29
2100	29	29	29	33
2150	29	30	32	*
2200	29	33	36	*

\*) Geen resultaten beschikbaar omdat de analyse is uitgevoerd voor 0, 1, 2 en 3 meter zeespiegelstijging voor alle (Jarkus)raaien langs de Nederlandse kust.

Tabel 47: Nominale cumulatieve kosten Zandige Hollandse kust bodemscenario Volledig meegroeien.

Zichtjaar	Tijdlijnen en Nominale kosten [mln. euro].			
	Laag	Gematigd	Extreem	Zeer Extreem
	Nominale kosten	Nominale kosten	Nominale kosten	Nominale kosten
2050	1	1	1	1

2100	1	1	1	1
2150	1	1	1	*
2200	1	1	1	*

\*) Geen resultaten beschikbaar omdat de analyse is uitgevoerd voor 0, 1, 2 en 3 meter zeespiegelstijging voor alle (Jarkus)raaien langs de Nederlandse kust.

Tabel 48: Nominale cumulatieve kosten Zandige Zeeuwse kust bodemscenario Volledig meegroeien.

Zichtjaar	Tijdslijnen en Nominale kosten [mln. euro].			
	Laag	Gematigd	Extreem	Zeer Extreem
	Nominale kosten	Nominale kosten	Nominale kosten	Nominale kosten
2050	1	1	1	1
2100	1	1	1	1
2150	1	1	1	*
2200	1	1	1	*

\*) Geen resultaten beschikbaar omdat de analyse is uitgevoerd voor 0, 1, 2 en 3 meter zeespiegelstijging voor alle (Jarkus)raaien langs de Nederlandse kust.

Tabel 49: Nominale cumulatieve kosten Zandige kust gehele Kust bodemscenario Volledig meegroeien.

Zichtjaar	Tijdslijnen en Nominale kosten [mln. euro].			
	Laag	Gematigd	Extreem	Zeer Extreem
	Nominale kosten	Nominale kosten	Nominale kosten	Nominale kosten
2050	31	31	31	31
2100	31	31	31	35
2150	31	32	35	*
2200	31	35	38	*

\*) Geen resultaten beschikbaar omdat de analyse is uitgevoerd voor 0, 1, 2 en 3 meter zeespiegelstijging voor alle (Jarkus)raaien langs de Nederlandse kust.

Naast de voorkeursstrategie zijn ook berekeningen uitgevoerd voor het bodemscenario Niet Meegroeien. In Tabel 50 tot en met Tabel 53 zijn de kosten voor verschillende tijdslijnen gepresenteerd voor de Waddenkust, Hollandse Kust en Zeeuwse Kust voor het bodemscenario Niet Meegroeien. Hierbij is geen rekening gehouden met de restwaarde van eventuele versterkingen. In de tabellen is te zien dat de kosten oplopen en dat de meeste kosten (60% tot 90%) voor de Waddenkust nodig zijn.

Tabel 50: Nominale cumulatieve kosten Zandige kust Wadden bodemscenario Niet meegroeien.

Zichtjaar	Tijdslijnen en Nominale kosten [mln. euro].			
	Laag	Gematigd	Extreem	Zeer Extreem
	Nominale kosten	Nominale kosten	Nominale kosten	Nominale kosten
2050	41	41	41	53
2100	53	65	77	206
2150	65	117	180	*
2200	77	206	415	*

\*) Geen resultaten beschikbaar omdat de analyse is uitgevoerd voor 0, 1, 2 en 3 meter zeespiegelstijging voor alle (Jarkus)raaien langs de Nederlandse kust.

Tabel 51: Nominale cumulatieve kosten Zandige kust Hollandse Kust bodemscenario Niet meegroeien.

Zichtjaar	Tijdlijnen en Nominale kosten [mln. euro].			
	Laag	Gematigd	Extreem	Zeer Extreem
	Nominale kosten	Nominale kosten	Nominale kosten	Nominale kosten
2050	3	3	3	6
2100	6	8	11	51
2150	8	23	43	*
2200	11	51	182	*

\*) Geen resultaten beschikbaar omdat de analyse is uitgevoerd voor 0, 1, 2 en 3 meter zeespiegelstijging voor alle (Jarkus)raaien langs de Nederlandse kust.

Tabel 52: Nominale cumulatieve kosten Zandige kust Zeeland bodemscenario Niet meegroeien.

Zichtjaar	Tijdlijnen en Nominale kosten [mln. euro].			
	Laag	Gematigd	Extreem	Zeer Extreem
	Nominale kosten	Nominale kosten	Nominale kosten	Nominale kosten
2050	3	3	3	5
2100	5	7	9	35
2150	7	17	30	*
2200	9	35	76	*

\*) Geen resultaten beschikbaar omdat de analyse is uitgevoerd voor 0, 1, 2 en 3 meter zeespiegelstijging voor alle (Jarkus)raaien langs de Nederlandse kust.

Tabel 53: Nominale cumulatieve kosten Zandige kust gehele Kust bodemscenario Niet meegroeien.

Zichtjaar	Tijdlijnen en Nominale kosten [mln. euro].			
	Laag	Gematigd	Extreem	Zeer Extreem
	Nominale kosten	Nominale kosten	Nominale kosten	Nominale kosten
2050	47	47	47	64
2100	64	81	97	292
2150	81	157	253	*
2200	97	292	673	*

\*) Geen resultaten beschikbaar omdat de analyse is uitgevoerd voor 0, 1, 2 en 3 meter zeespiegelstijging voor alle (Jarkus)raaien langs de Nederlandse kust.

## 7.4 Samenvatting

Uit de resultaten blijkt dat het laten meegroeien van de kust voor vrijwel de gehele kust met zandige waterkeringen extra veiligheidsopgaven voorkomt en veel lagere versterkingskosten met zich meebrengt. Het blijven uitvoeren van het huidige kustbeleid – meegroeien met zeespiegelstijging – blijkt zeer effectief om waterveiligheidsopgaven door zeespiegelstijging in de toekomst te voorkomen. Bij de kustplaatsen ontstaan de eerste opgaves, omdat hier het meegroeien met de zeespiegelstijging niet goed mogelijk is. Het probleem van deze 'lage kustgebieden' kan enkel worden opgelost door het toevoegen van waterkerende hoogte doordat overslag/overloop de dominante mechanismen zijn.

Wanneer de kust niet kan meegroeien met zeespiegelstijging ontstaan de grootste problemen. Er bestaat kans op de vorming van bolwerken die een grotere onderhoudsinspanning van de kustlijn gaan vragen in de toekomst. Laatst genoemde effect zal op de langere termijn mogelijk de overhand gaan nemen.

Uit de berekeningen komt naar voren dat vanaf 2 meter zeespiegelstijging bij gedeeltelijk of niet meegroeiende zeeweringen er op de meeste plaatsen versterking nodig is. De versterking voor 3 meter zeespiegelstijging, bij een niet meegroeien scenario van de kust, is berekend op 45 miljoen kubieke meter zand met een bijbehorend kostenplaatje van 675 miljoen euro (nominale kosten). Deze versterking betreft alleen het extra volume dat nodig is ten opzichte van de huidige situatie. Het onderhoud van de kust is hierin niet meegenomen. Vanwege de natuurlijke regressie van de kust zal het onderhoud ook nodig blijven en waarschijnlijk ook toenemen bij zeespiegelstijging.

In Tabel 54 zijn de kosten weergegeven als de kust niet meegroeit. In vergelijking met Tabel 55 zijn de kosten van een niet meegroeiende bodem vele malen hoger.

Tabel 54: Nominale cumulatieve kosten Zandige kust gehele Kust bodemscenario Niet meegroeien.

Zichtjaar	Tijdlijnen en Nominale kosten [mln. euro].			
	Laag	Gematigd	Extreem	Zeer Extreem
	Nominale kosten	Nominale kosten	Nominale kosten	Nominale kosten
2050	47	47	47	64
2100	64	81	97	292
2150	81	157	253	*
2200	97	292	673	*

\*) Geen resultaten beschikbaar omdat de analyse is uitgevoerd voor 0, 1, 2 en 3 meter zeespiegelstijging voor alle (Jarkus)raaien langs de Nederlandse kust.

Tabel 55: Nominale cumulatieve kosten Zandige kust gehele Kust scenario Volledig meegroeien.

Zichtjaar	Tijdlijnen en Nominale kosten [mln. euro].			
	Laag	Gematigd	Extreem	Zeer Extreem
	Nominale kosten	Nominale kosten	Nominale kosten	Nominale kosten
2050	31	31	31	31
2100	31	31	31	35
2150	31	32	35	*
2200	31	35	38	*

\*) Geen resultaten beschikbaar omdat de analyse is uitgevoerd voor 0, 1, 2 en 3 meter zeespiegelstijging voor alle (Jarkus)raaien langs de Nederlandse kust.

## 8 Regionaal beeld en conclusies

### 8.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft een regionaal beeld van de resultaten van de systeemanalyse voor het deelgebied Kust, waarin onderzocht is wat de impact is van diverse niveaus van zeespiegelstijging op de houdbaarheid van het huidige hoofdwatersysteem voor waterveiligheid. De consequenties daarvan zijn inzichtelijk gemaakt op de:

1. Hydraulische belastingen;
2. Versterkingsopgave en potentiële ruimtelijke knelpunten;
3. Kosten voor versterking.

Het deelgebied Kust bestaat uit de Zandige waterkeringen en Harde waterkeringen (bolwerken en overige harde waterkeringen) en het sluiscomplex IJmuiden.

Daarna volgt een reflectie op de grootste bronnen van onzekerheid in de gevolgde aanpak en op de potentiële oprekmogelijkheden in het huidige watersysteem aan de hand van enkele gevoeligheidsanalyses.

Voor vijf verschillende waarden van zeespiegelstijging (0,5, 1, 2, 3 en 5,4 m) ten opzichte van 1995 volgen indicaties voor de te verwachten waterstanden en minimaal benodigde kruinhoogten in het gebied. Op basis van die informatie, gecombineerd met specifieke informatie over de aanwezige hoogte en opbouw van de waterkeringen, worden uitspraken gedaan over de te verwachten versterkings- c.q. vervangingskosten. De kosten worden gepresenteerd als nominale kosten met prijspeil.<sup>8</sup>

Voor de kosten is niet alleen de absolute waarde van de zeespiegelstijging van belang, maar ook de snelheid waarmee de stijging plaatsvindt. Dit is met name relevant om de vraag te beantwoorden wat de waterveiligheidsopgave is bij een bepaalde mate van zeespiegelstijging, onafhankelijk van het zichtjaar waarin deze zeespiegelstijging wordt bereikt. Als bijvoorbeeld een zeespiegelstijging van 2 m in zichtjaar 2200 optreedt, dan geeft dat een andere kostenschatting dan wanneer dezelfde mate van zeespiegelstijging eerder optreedt (bijvoorbeeld 2 m in 2100). Naarmate de zeespiegelstijging zich sneller ontwikkelt zal de benodigde aanpassing *per versterkingsstap* aan de waterkeringen groter zijn, het *aantal* versterkingsronden om te voldoen aan dezelfde mate van zeespiegelstijging zal echter afnemen. Met name dat laatste is gunstig voor de kosten, omdat verreweg de grootste bijdrage aan de totale kosten van een dijkversterking volgt uit de vaste kosten (als je ergens aan de slag gaat kost het relatief weinig om iets meer te doen). Dus ondanks dat de benodigde aanpassingen aan de waterkeringen per versterkingsstap groter zullen worden met een stijgende zeespiegel, kunnen de kosten om aan een bepaalde mate van zeespiegelstijging te voldoen in totaal lager uitvallen. De kosten per m zeespiegelstijging zullen bij een snellere zeespiegelstijging lager uitvallen dan bij een langzamere zeespiegelstijging. De jaarlijkse kosten zijn bij een snellere zeespiegelstijging wel hoger, dan bij een langzamere zeespiegelstijging.

De morfologie aan de voet van de waterkering en de bodemdaling eronder zijn twee andere factoren die variëren in de tijd. Ook zonder zeespiegelstijging zullen deze twee factoren zorgen voor een waterveiligheidsopgave. Op basis van bovenstaande constatering wordt het beeld voor de kosten besproken aan de hand van een bepaalde mate van zeespiegelstijging, morfologie en bodemdaling onder de waterkering passend bij het zichtjaar 2200. We merken op dat de kosten in deze

<sup>8</sup> De recente kostenstijgingen die hoger zijn dan de gemiddelde prijspeilontwikkeling waarvan is uitgegaan, zijn hier niet in meegenomen.

studie zijn bepaald op basis van een perfecte voorspelling van de zeespiegelstijging. In werkelijkheid is de snelheid waarmee de zeespiegel stijgt onzeker en wordt geprobeerd die binnen een ontwerpproject zo goed mogelijk in te schatten voor een periode van 50 jaar (levensduur ontwerp).

Op dit moment voldoen nog niet alle waterkeringen aan de norm uit de Waterwet en zijn ook nog niet alle waterkeringen aangemeld voor een versterkingsronde binnen het Hoogwaterbeschermingsprogramma. Om op een landelijk consistente manier verschillende watersystemen met elkaar te kunnen vergelijken, is aangenomen dat alle dijken en kunstwerken in 2050 minimaal voldoen aan de norm in de Waterwet ("systeem op orde"). Zo wordt een knip gelegd tussen de kosten die gemaakt moeten worden om aan de nieuwe normen te voldoen en de kosten die gemaakt moeten worden door zeespiegelstijging.

## **8.2 Invloed van zeespiegelstijging op de hydraulische belastingen**

In deze paragraaf beschouwen we de invloed van zeespiegelstijging op de hydraulische belastingen (golven en waterstanden) langs de Kust. Voor de Zeeuwse en Hollandse Kust is het uitgangspunt in de voorkeursstrategie dat ten gevolge van de Basiskustlijn (BKL) en kustfundamentsuppleties de Noordzeebodem volledig meegroeit met de zeespiegelstijging. Voor de Helderse Zeewering (Waddengebied) is het uitgangspunt voorkeursstrategie dat de bodem de huidige trend volgt (niet-actief gestuurd beheer).

### *8.2.1 Impact op de waterstanden*

Door de beleidskeuze om het kustfundament mee te laten groeien met de zeespiegelstijging en de aanname dat de waterstanden evenredig meestijgen met de zeespiegelstijging, nemen de waterstanden langs de Kust evenveel toe als de zeespiegelstijging.

### *8.2.2 Impact op de hydraulische belastingniveaus voor golfoverslag*

In Tabel 56 is de gemiddelde stijging van de hydraulische belastingniveaus voor verschillende niveaus van zeespiegelstijging uiteengezet. Daarbij is de zeespiegelstijging telkens gekoppeld aan het resultaat voor een bepaalde tijdlijn en zichtjaar 2200 (zie Tabel 1). De resultaten zijn steeds relatief beschouwd ten opzichte van tijdlijn Laag in 2050. De resultaten voor een zeespiegelstijging van 0,5 m zijn ook beschikbaar, maar niet gerapporteerd omdat deze zijn afgeleid voor zichtjaar 2100.

Tabel 56: Gemiddelde stijging van het hydraulisch belastingniveau voor golfoverslag (HBN) ten opzichte van het hydraulisch belastingniveau in 2050 (met daarin een zeespiegelstijging van 0,25 m ten opzichte van 1995) voor verschillende niveaus van zeespiegelstijging (ZSS) ten opzichte van 1995 bij het bodemscenario Volledig Meegroeien langs de Hollandse en Zeeuwse Kust en Voortzetting Trend voor de Helderse Zeewering. De morfologie en de bodemdaling passen bij zichtjaar 2200.

ZSS ten opzichte van 1995	ZSS ten opzichte van 2050	Gemiddelde stijging HBN in 2200 ten opzichte van het HBN voor tijdlijn Laag in 2050 (ZSS 0,25 m)	
		Kust – Hollandse Kust en Zeeuwse Kust (Volledig Meegroeien)	Kust – Helderse Zeewering (Volgen Trend)
1,0 m	0,75 m	1,2	1,3
2,0 m	1,75 m	2,4	3,0
3,0 m	2,75 m	3,6	4,9
5,4 m	5,15 m	6,3	9,3

Ter illustratie beschouwen we een zeespiegelstijging van +2 m ten opzichte van 1995. Dit komt overeen met een zeespiegelstijging van +1,75 m ten opzichte van 2050. Een zeespiegelstijging van +1,75 m ten opzichte van 2050 geeft een toename van het hydraulisch belastingniveau bij het bodemscenario Volledig Meegroeien van ongeveer 2,4 m en bij het bodemscenario Volgen Trend van ongeveer 3,0 m. Zoals opgemerkt zouden bij het bodemscenario Volledig Meegroeien de waterstanden en hydraulisch belastingniveaus bij de Zeeuwse Kust even hard meegroeien met de zeespiegelstijging. We zien dat de hydraulisch belastingniveaus voor de Zeeuwse Kust uit Tabel 56 hoger zijn dan alleen de mate van zeespiegelstijging, vanwege de toepassing van de illustratiepuntenmethode. In paragraaf 3.2 en notitie van Rijkswaterstaat (2023) is dit nader toegelicht.

### 8.3 Versterkingsopgave per type waterkering

De impact van zeespiegelstijging op de versterkingsopgave voor de zandige waterkeringen en de harde waterkeringen langs de Kust en het kunstwerk sluizencomplex IJmuiden is bepaald. Het vertrekpunt voor het bepalen van het effect van zeespiegelstijging op de kosten is de situatie dat alle primaire waterkeringen (dijken, duinen, dammen en kunstwerken) minimaal voldoen aan de wettelijk vastgelegde overstromingskansnorm in 2050. De versterkingsopgave wordt hier per type waterkering besproken.

#### Zandige waterkeringen

Voor de zandige waterkeringen langs de Kust is de opgave per Jarkusraai bepaald. De benodigde zandvolumes voor het faalmechanisme duinafslag staan gerapporteerd in de Systeemanalyse Waterveiligheid – Deelrapport Zandige waterkeringen Kust [Rijkswaterstaat, 2023b].

#### Harde waterkering – bolwerken en overige harde waterkeringen

Voor de bolwerken is de opgave per sectie van het bolwerk bepaald. Voor de overige harde waterkeringen binnen het bereik van de SWAN-modellen is de opgave per dijkvak bepaald. Voor de Veerse Gatdam, Flaauwe Werk en de Brouwersdam is de hoogteopgave door RWS bepaald ([RWS, 2022e], [RWS, 2022f] en [RWS, 2022g]).

In Tabel 57 is de hoogteopgave ten opzichte van de huidige situatie (zichtjaar 2023)<sup>9</sup> met een bandbreedte weergegeven.

Tabel 57: Hoogteopgave voor verschillende niveaus van zeespiegelstijging ten opzichte van 1995. Voor de bolwerken wordt met een bandbreedte de hoogteopgave voor de verschillende secties beschreven. Voor de waterkeringen langs de Zeeuwse Kust is uitgegaan van het bodemscenario Volledig Meegroeien. Voor de Helderse Zeewering is uitgegaan van het bodemscenario Voortzetting Trend.

ZSS t.o.v. 1995 [m]	Gemiddelde hoogteopgave ten opzichte van 2023 over alleen te versterken trajecten per watersysteem									
	Bolwerken			Overige harde waterkeringen						
	Breskens haven	Vlissing en	Helders e zeeveri	Westkapel se Zeedijk	Zoute- lande	Breskens fort	Waterdun en	Verdronke n Zwarte Polder	Cadzand	Het Zwin
1,0 m	0-0,7	0-0,8	0,8-2,7	1,2	0,0	0,7	1,0	0,0	2,8	0
2,0 m	0,3-1,7	0-1,8	2,2-4,8	2,8	1,5	1,4	2,1	0,6	5,5	1,4
3,0 m	1,5-2,7	0,1-3,1	3,5-7,0	3,8	3,0	2,0	3,1	1,2	6,9	2,9
5,4 m	4,3-5,1	2,5-6,1	6,7-12,1	6,6	6,5	3,2	5,4	2,6	10,1	6,4

De versterkingsopgave voor piping en macrostabiliteit is beperkt. Enkel voor de tijdljn Zeer Extreem in 2200 wordt voor de meeste waterkeringen een significante opgave berekend (> 50 m). Echter is bij een ZSS tot 3 m de benodigde verbreding van de dijkbasis minder dan 50 m. Dit is het geval voor de meeste conventionele waterkeringen met uitzondering van Waterdunen, de Verdronken Zwarte Polder en Cadzand. Voor deze keringen is de versterkingsopgave voor piping en macrostabiliteit ook in zichtjaar 2200 klein voor tijdljn Zeer Extreem (< 50 m).

### Sluizencomplex IJmuiden

Bij 1 m zeespiegelstijging is de hoogteopgave voor de Noordersluis en Middensluis 1,2 m en voor de Zuidersluis en Kleine Sluis 2,2 m. Voor Gemaal IJmuiden ontstaat pas een hoogteopgave bij 2 m zeespiegelstijging en voor de spuizenluizen is dit pas rond 2,5 m zeespiegelstijging. De in deze beleidsstudie berekende hoogteopgave neemt 1-op-1 toe met toenemende zeespiegelstijging. De hoogteopgave voor het sluizencomplex IJmuiden is gebaseerd op globale kenmerken, die kunnen afwijken van de gedetailleerdere gegevens die beschikbaar zijn uit de eerste ronde van de Landelijke Beoordeling (LBO1).

## 8.4 Kosten voor verschillende niveaus van ZSS

De kosten voor de veiligheidsopgave voor de dijken en kunstwerken langs de Kust zijn bepaald voor drie situaties:

1. Kosten tot en met 2050 voor tijdljn Laag waarbij alle dijken en kunstwerken tenminste voldoen aan de norm ("systeem op orde") ten opzichte van 2023; zie Tabel 58 in paragraaf 8.4.1.
2. Kosten voor verschillende niveaus van zeespiegelstijging ten opzichte van 2023; zie Tabel 59 in paragraaf 8.4.2. Dit zijn de kosten die horen bij de opgave in Tabel 57.
3. Kosten voor verschillende niveaus van zeespiegelstijging ten opzichte van de situatie "systeem op orde" tot en met 2050; zie Tabel 60 in paragraaf 8.4.3.

<sup>9</sup> Opgemerkt wordt dat de versterkingsopgave is bepaald ten opzichte van zichtjaar 2023, terwijl de zeespiegelstijging is uitgedrukt ten opzichte van 1995. De zeespiegelstijging van 2023 ten opzichte van 1995 is ongeveer +5 cm.



De kosten gelden voor de basisversterkingsstrategie voor de dijken: traditionele versterking (business as usual), dat wil zeggen een grondoplossing zo lang het ruimtelijk past en anders constructieve maatregelen. Voor de kunstwerken zijn de kosten gepresenteerd voor de strategie die tot de laagste kosten leidt: aanpassing van object bij hoogtetekort zodat deze voldoet tot einde levensduur of volledige vervanging bij een hoogtetekort.

#### **Mix van verschillende versterkingsstrategieën**

In deze systeemverkenning is voor de overige harde waterkeringen (binnen het bereik van de SWAN-modellen Waddenzee en Westerschelde) - zeedijken - de traditionele versterkingsstrategie "business as usual" als basisvariant beschouwd. Deze strategie bestaat uit een grondoplossing zolang het past en anders worden constructieve maatregelen getroffen. Deze strategie wordt hoofdzakelijk in Nederland toegepast wanneer er bebouwing of andere objecten in de versterkingszone aanwezig zijn. In werkelijkheid bestaat een dijkversterkingstraject uit een mix van versterkingsstrategieën met verschillende oplossingen, zo ook volledige grondoplossingen waarbij de aanwezige bebouwing in de versterkingszone zo nodig tijdelijk of permanent geamoveerd dient te worden. De gekozen strategie is afhankelijk van lokale omstandigheden die leiden tot de "beste" oplossing.

#### 8.4.1 *Kosten tot en met 2050 voor Systeem op orde*

De kosten voor Systeem op orde zijn opgenomen in Tabel 58. Deze zijn ongeveer 0,3 miljard euro voor de harde waterkeringen langs de kust en 0,5 miljard euro voor het sluiscomplex IJmuiden. De kosten worden niet gecorrigeerd voor reststerkte, om ervoor te zorgen dat de kosten voor het 'op orde' komen buiten de analyses van het KP ZSS blijven. De tijdlijnen worden immers met deze kosten gecorrigeerd (zie paragraaf 8.4.3).

Voor de zandige waterkeringen langs de kust is geen opgave tot en met 2050 berekend.

Een duidelijke kanttekening is dat de kosten voor "systeem op orde" per definitie afwijken van de werkelijke kosten van het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP), omdat hier een grovere aanpak wordt gehanteerd voor het bepalen van de veiligheidsopgave met landelijk uniforme uitgangspunten en kostenramingen op basis van KOSWAT. De ramingen kunnen op dijkvakken afwijken van de werkelijke kosten vanwege lokale complexiteit, of omdat bijvoorbeeld in de praktijk in (locatie)specifieke gevallen andere ontwerpkeuzes gemaakt worden.

Tabel 58: Nominale kosten in miljard euro voor alle zandige en harde waterkeringen langs de Kust en sluiscomplex IJmuiden voor "systeem op orde" tot en met 2050. Voor Systeem op orde zijn dit de kosten tot en met 2050, inclusief reststerkte na 2050. Voor het bodemsценario Volledig Meegroeien voor de Zeeuwse Kust en Hollandse Kust en bodemsценario Voortzetting Trend voor de Helderse Zeewering.

ZSS t.o.v. 1995 (0,25 – 0,5 m)	Nominale kosten in miljard euro			
	Totaal	Zandige keringen	Harde keringen	Sluiscomplex IJmuiden
Systeem op orde	0,7	0	0,2	0,5

#### 8.4.2 Kosten voor verschillende niveaus van zeespiegelstijging ten opzichte van de huidige situatie in zichtjaar 2023

De kosten voor het versterken van de zandige keringen en harde keringen langs de kust en het sluiscomplex IJmuiden zijn bepaald voor een zeespiegelstijging van 1 m, 2 m, 3 m en 5,4 m<sup>10</sup>. De kosten voor de nieuwe Zeesluis (realisatie 2022) zijn niet meegenomen in de Systeemanalyse Waterveiligheid. In Tabel 59 zijn de kosten passend bij zichtjaar 2200 opgenomen ten opzichte van 2023, waarbij de waterkeringen uiteindelijk precies voldoen aan de norm in zichtjaar 2200 bij verschillende niveaus van zeespiegelstijging. Dit betekent dat de waterkeringen in 2200 geen reststerkte hebben (alleen de kosten zijn hiervoor gecorrigeerd, niet de hoogte- en sterkteopgaves). De kosten lopen uiteen van orde 2,6 miljard euro voor 1 m zeespiegelstijging tot ongeveer 3,0 miljard euro voor 3 m zeespiegelstijging. Als de zeespiegel sneller stijgt wil dat zeggen dat hetzelfde niveau van zeespiegelstijging eerder optreedt (bijv. 2 m in zichtjaar 2100 i.p.v. 2 m in zichtjaar 2200). Hierdoor zullen de absolute nominale kosten voor dezelfde mate van ZSS lager zijn, omdat minder versterkingsrondes nodig zijn. Minder versterkingsrondes betekent een minder grote bijdrage aan de vaste kosten (wat de belangrijkste kostenpost is) en dus lagere vaste kosten. Bij snellere zeespiegelstijging zijn de kosten per versterkingsronde (iedere 50 jaar) wel hoger (en dus je kosten in de tijd), omdat de opgave per versterkingsronde groter is.

Tabel 59: Nominale kosten in miljard euro voor alle zandige en harde waterkeringen langs de Kust en het sluiscomplex IJmuiden voor verschillende niveaus van zeespiegelstijging met uitgangspunt zichtjaar 2200 (ten behoeve van bodemdaling en een vijftigjarige versterkingscyclus) ten opzichte van de huidige situatie 2023 voor het bodemsценario Volledig Meegroeien voor de Zeeuwse Kust en Hollandse Kust en bodemsценario Voortzetting Trend voor de Helderse Zeewering. Hierbij geldt dat alle keringen precies voldoen in 2200 bij een bepaald niveau van zeespiegelstijging en waarbij geen rekening is gehouden met de reststerkte na 2200.

ZSS ten opzichte van 1995	Nominale kosten in miljard euro			
	Totaal	Zandige keringen	Harde keringen	Sluiscomplex IJmuiden
1,0 m	2,6	0,03	0,4	2,1
2,0 m	2,8	0,03	0,7	2,1
3,0 m	3,0	0,03	0,9	2,1
5,4 m	3,5	Niet bepaald	1,4	2,1

De kosten worden voornamelijk bepaald door versterking van het sluiscomplex IJmuiden (ongeveer 60 – 80%) en in mindere mate de harde waterkeringen langs de Kust (15 – 40%) en de zandige waterkeringen langs de Kust (ongeveer 1%). De kosten voor de harde waterkeringen langs de kust worden voor een groot deel

<sup>10</sup> De waterveiligheidsopgave en kosten voor de impact van 5,4 m zeespiegelstijging op de zandige waterkeringen langs de kust worden in een latere fase van het KP ZSS uitgewerkt.

bepaald door de conventionele waterkeringen (zeedijken), ongeveer 75%. De kosten voor de versterkingsopgave van de bolwerken is ongeveer 25%.

#### 8.4.3 Kosten voor verschillende niveaus van zeespiegelstijging ten opzichte van het Systeem op orde tot en met zichtjaar 2050

Gevraagd is om ook inzicht te bieden in de bijdrage van alleen zeespiegelstijging op de versterkingskosten. In Tabel 60 staan de nominale kosten in zichtjaar 2200 voor het versterken van alle zandige en harde waterkeringen langs de Kust en het sluisencomplex IJmuiden. Daarbij voldoen deze precies aan de norm bij een bepaald niveau van zeespiegelstijging in 2200 en zijn ze verminderd met de (niet gecorrigeerde) kosten tot en met 2050 (tijdlijn Laag) om het systeem op orde te brengen. Opgemerkt wordt dat de opgave voor de dijken – naast zeespiegelstijging – ook wordt veroorzaakt door autonome bodemdaling. Dat betekent dat alleen bodemdaling ook tot een opgave zal leiden.

Tabel 60: Toename van de nominale kosten in miljard euro voor alle zandige en harde waterkeringen langs de Kust en het sluisencomplex IJmuiden voor verschillende niveaus van zeespiegelstijging in zichtjaar 2200 ten opzichte van de nominale kosten voor Systeem op orde tot en met zichtjaar 2050 voor het bodemscenario Volledig Meegroeien voor de Zeeuwse Kust en Hollandse Kust en bodemscenario Voortzetting Trend voor de Helderse Zeewering.

ZSS t.o.v. 1995	ZSS t.o.v. 2050	Nominale kosten in miljard euro			
		Totaal	Zandige keringen	Harde keringen	Sluisencomplex IJmuiden
1,0 m	0,75 m	1,9	0,03	0,3	1,6
2,0 m	1,75 m	2,2	0,03	0,55	1,6
3,0 m	2,75 m	2,3	0,03	0,7	1,6
5,4 m	5,15 m	2,9	Niet bepaald	1,2	1,6

#### 8.4.4 Gemiddelde jaarlijkse kosten per m zeespiegelstijging

De totale nominale kosten om alle dijken en kunstwerken te versterken zodat deze voldoen bij een bepaald niveau van zeespiegelstijging zijn verspreid over de periode 2050 – 2200. Naast de totale kosten die geïnvesteerd moeten worden in de dijken en kunstwerken bij een bepaald niveau van zeespiegelstijging, zijn ook de jaarlijkse kosten als maatstaf genomen, waarbij de vergelijking kan worden gemaakt met de jaarlijkse kosten om het systeem op orde te brengen tot en met 2050.

De totale kosten voor "systeem op orde" van de Kust bedragen ongeveer 650 miljoen euro. Dat is omgerekend ongeveer 24 miljoen euro per jaar, zie Tabel 61. De jaarlijkse kosten om alle harde waterkeringen en sluisencomplex IJmuiden te laten voldoen aan een bepaald niveau van zeespiegelstijging zijn berekend o.b.v. de periode 2050 tot en met 2200. De jaarlijkse kosten na 2050 bij 1 m zeespiegelstijging zijn gemiddeld 14 miljoen euro per jaar, wat overeenkomt met ongeveer 55% van de jaarlijkse kosten voor "systeem op orde" tot 2050. De jaarlijkse kosten voor een zeespiegelstijging van 2,0, 3,0 en 5,4 m zijn respectievelijk 60%, 65% en 80% van de jaarlijkse kosten van "systeem op orde". Gegeven alle onzekerheden van de verdere toekomst concluderen we dat de – in deze beleidsstudie berekende – jaarlijkse kosten op eenzelfde orde grootte liggen als in de periode 2023-2050.

Tabel 61: Totale nominale kosten in miljard euro en jaarlijkse nominale kosten in miljoen euro per jaar voor alle zandige en harde waterkeringen langs de Kust en het Sluizencomplex IJmuiden voor "systeem op orde" tot en met 2050 en bij een bepaald niveau van zeespiegelstijging in zichtjaar 2200.

ZSS ten opzichte van 1995	Totale nominale kosten en jaarlijkse kosten voor de Kust voor de zandige en harde waterkeringen langs de kust en het sluizencomplex IJmuiden			
	Totale nominale kosten voor systeem op orde tot en met 2050 [miljoen euro]	Jaarlijkse nominale kosten voor systeem op orde tot en met 2050 gemiddeld over periode 2023 – 2050. [miljoen euro per jaar]	Totale nominale kosten voor verschillende niveaus van ZSS vanaf moment systeem op orde. [miljoen euro]	Jaarlijkse nominale kosten voor verschillende niveaus van ZSS vanaf moment systeem op orde periode 2050 – 2200. [miljoen euro per jaar]
Tot en met 2050 Systeem op orde	650	24		
1,0 m			2.600	13
2,0 m			2.800	15
3,0 m			3.000	16
5,4 m			3.500	19

## 8.5 Ruimtelijke impact

Voor de harde waterkeringen en zandige waterkeringen langs de kust zijn ruimtelijke knelpunten niet expliciet in beeld gebracht in tegenstelling tot de dijken in de andere deelgebieden. Over het algemeen kan gesteld worden dat ruimtelijke knelpunten als eerste zullen ontstaan daar waar de kust bebouwd is.

## 8.6 Inschatting onzekerheidsbandbreedte resultaten

Voor deze analyse is een vooraf door Rijkswaterstaat vastgestelde landelijk uniforme aanpak gevolgd. Omdat de materie complex is en we op landelijk niveau op een consistente manier uitspraken willen kunnen doen, zijn bepaalde uitgangspunten gehanteerd. Deze uitgangspunten, met achterliggende keuzes aannames, modellen en onzekerheden zijn zodanig gekozen dat de nauwkeurigheid en diepgang van de analyses zo goed mogelijk passen bij de scope van een beleidsanalyse op landelijk niveau. Voor regionale of lokale studies zouden deze keuzes mogelijk anders gemaakt zijn.

In dit hoofdstuk geven we een overzicht van de belangrijkste onzekerheden in de gehanteerde aanpak en de consequenties daarvan op de resultaten en conclusies.

In zijn algemeenheid geldt dat hoe lager de zeespiegelstijging, hoe "zekerder" de uitkomsten van de analyses zullen zijn. Dit hangt samen met o.a. de betrouwbaarheid van de uitgangspunten (korte termijn is zekerder dan lange termijn), de betrouwbaarheid van de modellen en de mate van extrapolatie richting de toekomst. De onzekerheden richting de toekomst worden steeds groter, niet alleen op het gebied van de hydraulica, maar ook wat betreft landgebruik, statistiek, kosten en de modelonzekerheden zelf.

Om uitspraken te doen over de onzekerheden in de aanpak en de uitgangspunten maken we gebruik van expert judgement, wat we vertalen naar onzekerheidsklassen: klein, middel en groot (zie Tabel 62).

Tabel 62: Matrix voor onzekerheidsbandbreedte.

Klasse	Invloed op:		
	Hydraulische belastingen [m]	Versterkingsopgave [%]	Kosten [%]
Klein	< 0,3	10	10
Middel	0,3 – 0,5	25	25
Groot	> 0,5	40	40

In het vervolg bespreken we voor elk van de drie bouwstenen van de aanpak (hydraulische belastingen, versterkingsopgave voor dijken en kunstwerken en de doorvertaling naar de kosten) de belangrijkste onzekerheden en hun impact.

#### 8.6.1 Hydraulische belastingen

- In alle kruinhoogteberekeningen voor de bolwerken en overige harde waterkeringen (binnen het bereik van de SWAN-modellen) is gekozen voor een constant golfoverslagdebiet van respectievelijk 10 en 5l/s/m. Voor de overige harde waterkeringen buiten het bereik van de SWAN-modellen heeft Rijkswaterstaat een constant golfoverslagdebiet van 10 l/s/m gehanteerd. Deze aanpak wijkt af van de binnen de gehanteerde aanpak van het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI2017). Voor sommige locaties zal deze keuze conservatief zijn, voor andere juist niet (zoals bijvoorbeeld locaties met overgangen op het binnentalud). Met name voor locaties met grote golven is deze keuze van belang. Plaatselijk kunnen hydraulische belastingniveaus naar verwachting dan ook meer dan 0,5 m toe- of afnemen. Ook voor bolwerken zal een overslagdebiet van 10 l/s/m nog steeds een veilige benadering zijn. *Effect: klein – groot, afhankelijk van de golfhoogte en dus van een tijdlijn.*
- De onzekerheid van de informatie in de databases fysica. De gegevens in de databases (waterstanden en golfcondities) zijn afkomstig uit modelsimulaties, die elk eigen uitgangspunten hebben en ook benaderingen zijn van de werkelijkheid. Het vertrouwen in de kwaliteit van deze modellen is hoog: RWS Zee en Delta werkt al tientallen jaren met deze modellen en heeft deze in hoge mate afgestemd op het gebruik voor de waterkeringbeheerders. De ontwikkeling van het fysische systeem bij grotere meters zeespiegelstijging is daarbij een grote onbekende. Deze onzekerheid neemt toe met een grotere mate van zeespiegelstijging. Desondanks zal een ander fysisch model voor andere resultaten zorgen, die ook door zullen werken in de uiteindelijke waterstanden en hydraulische belastingniveaus. *Effect: middel.*
- De betrouwbaarheid van de illustratiepuntenmethode voor het bodemscenario's Volledig meegroei is onzeker. De resultaten vallen binnen de door Deltares afgegeven bandbreedte van 30%. *Effect: middel.*

#### 8.6.2 Waterveiligheidsopgave dijken en kunstwerken

- Voor de conventionele waterkeringen (zeedijken) is binnen OKADER gebruik gemaakt van 2 soorten fragility curves: macrostabiliteit en voor piping. De resultaten voor de hoogteopgave door golfoverslag (minimaal benodigde kruinhoogte) volgt direct uit de vergelijking van de aanwezige kruinhoogte en het hydraulische belastingniveau door golfoverslag. In deze landelijke set voor piping en macrostabiliteit is gewerkt met verschillende typologieën die de dijken beschrijven. Het gebruik van deze fragility curves is een versimpeling van de werkwijze die binnen het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI2017) is

gehanteerd voor de beoordeling of het ontwerp van waterkeringen. Per dijkvak is het onzeker in hoeverre de werkelijke situatie (dijkprofiel, grondopbouw en sterkte van de grondlagen) overeenkomt met de uitgangspunten die horen bij de gehanteerde fragility curve. De verwachting is dat het effect gemiddeld is, omdat de effecten van onderschatting en overschatting van de waterveiligheidsopgave binnen een watersysteem uitmiddelen. *Effect: middel.*

- Voor de kustgebieden die sterk worden beïnvloed door een storm speelt de invloed van de korte duur van het hoogwater een belangrijke rol in de faalkans van piping en macrostabiliteit. De tijdsafhankelijke effecten in de faalbeschrijving van piping en macrostabiliteit wordt nu indirect meegenomen in de fragility curves<sup>11</sup>. De verwachting is dat de invloed hiervan klein is, omdat de gemiddelde opgave per dijkvak beperkt is. *Effect: klein.*
- De hoogteopgave voor de versterking van de conventionele waterkeringen (zeedijken) langs de Zeeuwse Kust wordt bij het bodemscenario Volledig Meegroeiën naar verwachting overschat. Bij grotere mate van zeespiegelstijging is de overschatting van de hoogteopgave absoluut gezien hoger. De verwachting is dat het effect op de kosten beperkt is (zie 4<sup>e</sup> bullet in paragraaf 8.6.3). *Effect: middel.*
- De versterkingsopgave voor het sluizencomplex IJmuiden is alleen bepaald voor het faalmechanismen hoogte, omdat dit faalmechanisme bij kunstwerken met name wordt beïnvloed door zeespiegelstijging. Er is geen inzicht in welke mate andere faalmechanismen bij kunstwerken leidend zijn voor het moment voor het versterken of vervangen van het betreffende kunstwerk en daarmee maatgevend zijn boven de versterkingsopgave voor hoogte door zeespiegelstijging. Daarnaast geldt ook dat sommige kunstwerken niet gedeeltelijk te versterken (op te hogen) zijn en dus direct vervangen moeten worden. *Effect: klein.*
- Voor het sluizencomplex IJmuiden is de huidige kerende hoogte van het object overgenomen uit de database - Natte kunstwerken (toegeleverd document "Natte kunstwerken KP-ZSS-v-jan2021.xls"). De gegevens in deze database komen uit project VONK en hebben soms een onnauwkeurigheid in zich. Het exacte moment van het ontstaan van het hoogtetekort dient daarom niet absoluut geïnterpreteerd te worden in deze studie. *Effect: klein.*

### 8.6.3 Kosten

- KOSWAT hanteert een maximale kruinverhoging van 2 m per versterkingsronde. Dit heeft als gevolg dat verhogingen van meer dan 2 m niet resulteren in hogere kosten dan een verhoging van 2 m per versterkingsmoment. Indien een verhoging van meer dan 2 m benodigd is, resulteert dit in een onderschatting van de dijkversterkingskosten. Voor de Zeeuwse Kust geldt dit bij tijdlijn Zeer Extreem voor ongeveer 75% van de versterkingsmomenten. Het effect is dus onafhankelijk van de mate van zeespiegelstijging en wordt daarom als gemiddeld geschat. *Effect: middel.*
- De kosten worden gepresenteerd voor 1 uniforme versterkingsstrategie voor het hele gebied, terwijl in werkelijkheid een combinatie van constructieve versterking en volledige grondoplossing zal worden gerealiseerd. Deze combinatie kan tot een andere afweging leiden en lokaal tot lagere versterkingskosten. Het effect hiervan op de kosten is ongeveer 10 – 15%. *Effect: middel.*
- Het effect van de foutmarge van de illustratiepuntenmethode bij het bodemscenario Volledig Meegroeiën op de kosten wordt geschat op maximaal 10%. Dit effect is kleiner dan het effect op de hoogteopgave, omdat het alleen de variabele kosten beïnvloed en niet de vaste kosten. De vaste kosten hebben

<sup>11</sup> Op basis van de ondergrondopbouw en de sterkte van de grondlagen is bepaald of een dijkvak wel of niet gevoelig is voor piping en/of macrostabiliteit. Hier wordt ook rekening gehouden met de kortere duur van het hoogwater in kustgebieden.

een groot aandeel in de totale kosten van een dijkversterking. Bij het bodemscenario Voortzetting Trend voor de Helderse Zeewering langs de Waddenkust is het effect kleiner dan langs de Zeeuwse Kust. *Effect: klein.*

- Het versterken of vervangen van een kunstwerk is maatwerk en dat betekent ook dat de bijbehorende kosten voor de versterkings- en vervangingsopgave objectspecifiek zijn. De verwachting is dat de kosten voor de kunstwerken nu worden onderschat. De gehanteerde kostenkanten zijn onafhankelijk verondersteld van de omvang van de versterking (bijv. hoogteopgave) en dat betekent dat alleen zeespiegelstijging invloed heeft op het moment van versterken van de kunstwerken. De invloed op de kosten voor kunstwerken is naar verwachting groot en ook de invloed op de totale kosten is groter doordat de kosten voor het versterken en vervangen van het sluizencomplex IJmuiden ongeveer 60 – 80% is van de totale kosten voor het versterken van alle zandige waterkeringen en harde waterkeringen en het sluizencomplex IJmuiden tezamen. Het effect op de totale kosten voor de kust is groot. *Effect: groot.*
- In de versterkingsstrategie business as usual wordt ervanuit gegaan dat dijken 'tot in het oneindige' constructief versterkt kunnen worden op het moment dat bebouwing in de versterkingszone aanwezig is. Dit door gebruik te maken van een kistdam of iets dergelijks. In praktijk zal dit niet oneindig hoog kunnen worden uitgevoerd en zal gedwongen overgestapt moeten worden naar een strategie waarbij bebouwing wordt geamoveerd. De grens hiervan is niet nader onderzocht. *Dit effect hiervan is binnen deze systeemanalyse niet ingeschat.*

## 8.7 Effectiviteit van een aantal mogelijke oprekmogelijkheden

Langs de Zeeuwse Kust en langs de Helderse Zeewering (Waddenkust) is gekeken naar de invloed van de bodemligging. Voor de verandering van de bodemligging is het effect op versterkingsopgave en kosten berekend.

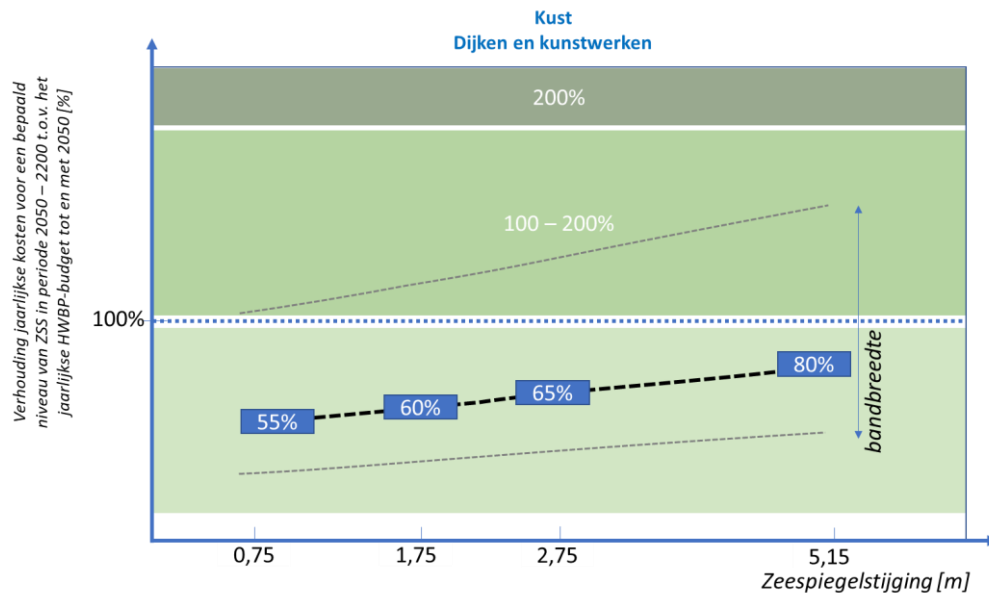
- Voor de Zeeuwse Kust is als basisscenario voor de bodem uitgegaan van het Volledig Meegroeien ervan met de zeespiegelstijging – in lijn met het huidige beleid. Om het effect van de andere bodemscenario's (Niet Meegroeien en Voortzetting Trend) inzichtelijk te krijgen, zijn de kosten voor de waterveiligheidsopgave per tijdlijn bepaald voor de overige bodemscenario's. Het bodemscenario Niet Meegroeien in 2200 zorgt voor een toename in de orde van orde 15% van de totale kosten ten opzichte van het bodemscenario Volledig Meegroeien. Het bodemscenario Voortzetting Trend levert een toename van de totale kosten in 2200 van orde 40% ten opzichte van het bodemscenario Volledig Meegroeien. Hierbij wordt opgemerkt dat de hoogteopgave en daarmee de kosten voor Volledig Meegroeien overschat worden.
- Voor de Helderse Zeewering is als basisscenario voor de bodem uitgegaan van Voortzetting Trend. De resultaten van deze gevoeligheidsanalyse zijn gerapporteerd in de Systeemanalyse Waterveiligheid voor de Waddenzee en Eems-Dollard [RWS, 2023a].

## 8.8 Conclusies

Op basis van deze Systeemanalyse Waterveiligheid voor de regio Kust kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De jaarlijkse kosten om de harde waterkeringen langs de Kust en het sluizencomplex IJmuiden te laten voldoen bij een zeespiegelstijging tot 5,4 m zijn lager dan de - in deze beleidsstudie berekende - jaarlijkse kosten om beide watersystemen te laten voldoen aan de norm in 2050 (zie Figuur 58). Hierbij wordt uitgegaan dat het niveau van zeespiegelstijging van 5,4 m pas in 2200 zal optreden.
- Op basis van een vergelijking van de jaarlijkse kosten voor een bepaalde mate van zeespiegelstijging in de periode 2050 – 2200 ten opzichte van het jaarlijkse

budget van het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) voor het laten voldoen van de dijken en kunstwerken aan de norm tot en met 2050 is te concluderen dat het versterken van de dijken en kunstwerken voor zeespiegelstijging een gelijke orde grootte heeft als het huidige budget van het HWBP. Deze conclusie kent wel enige mate van onzekerheid, doordat onder meer de totale kosten voor meer dan de helft door alleen het sluisencomplex IJmuiden worden bepaald.



Figuur 40: Schematische weergave van de verhouding van de jaarlijkse nominale kosten voor verschillende niveaus van zeespiegelstijging in de periode 2050 – 2200 ten opzichte van de jaarlijkse nominale kosten voor "systeem op orde" tot en met 2050 inclusief 25 – 50 cm zeespiegelstijging. De zwarte gestippelde lijn zijn de berekende kosten. De lichtgrijze lijn is geeft schematisch de bandbreedte weer, maar is niet berekend.

Geconcludeerd mag worden dat de waterveiligheidskosten ten gevolge van zeespiegelstijging voor de dijken en kunstwerken, zelfs tot zeespiegelstijgingen van meer dan 5 meter ongeveer even groot zijn als die van de huidige benodigde versterkingen om aan de nieuwe normen te voldoen in 2050. Gezamenlijk zijn de totale kosten bij een zeespiegelstijging tussen 1 en 5,4 meter ongeveer 2,5 – 3,5 miljard euro voor de kust.



## 9 Referenties

- | <b>Auteur</b>  | <b>titel</b>  |
|--|---|
| 1. Bamber et al. (2019).   | Ice sheet contributions to future sea-level rise from structured expert judgment. Bamber, J.L., M. Oppenheimer, R. E. Kopp, W. P. Aspinall en R. M. Cooke. Proceedings of the National Academy of Sciences 116(23), pp. 11195-11200 (DOI: 10.1073/pnas.1817205116). may May 2019. |
| 2. CBS (2022).   | Grond-, weg- en waterbouw (GWW) inputprijsindex 2015=100 <a href="https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/84538NED/table">https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/84538NED/table</a> .  |
| 3. CUR (2005).   | Handboek Kademuren. CUR publicatie 211E. September 2005.  |
| 4. De Conto en Pollard (2016).   | Contribution of Antarctica to past and future sea-level rise. Nature 531(7596):591-597. DOI:10.1038/nature17145. Mmaart 2016  |
| 5. Deltares (2011).  | Kosten van maatregelen. Informatie ten behoeve van het project Waterveiligheid 21e eeuw. P. de Grave en G. Baarse (BB&C). maart 2011.   |
| 6. Deltares (2014).  | KOSTen voor versterken WATERkeringen KOSWAT systeemdocumentatie versie 2.3.2 revisie 47275. Augustus 2015.  |
| 7. Deltares (2022 a).  | Verificatiemethode effectbepaling zeespiegelstijging. 2022.   |
| 8. Deltares (2022 b).  | Bodemszenario's Waddenzee en Eems-Dollard en Westerschelde t.b.v. SWAN sommen KP ZSS spoor 2. 2022.   |
| 9. Elias, E., Van der Spek, A., & Lazar, M. (2016).                        | The 'Voordelta', the contiguous ebb-tidal deltas in the SW Netherlands: large-scale morphological changes and sediment budget 1965- 2013; impacts of large-scale engineering. Netherlands Journal of Geosciences - Geologie en Mijnbouw, 1-27. doi:10.1017/njg.2016.37.           |
| 10. Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (2021).                     | WBI Beoordeling Normtraject 13-4. De (verlengde -) Helderse Zeewering, Havendijk en Koegrasdijk. Bijlage 5. Toetsoordeel Piping en Heave op vakniveau. Juli 2021.   |
| 11. IPCC (2023).   | Synthesis report of the IPCC Sixth assessment report (AR6). 20 maart 2023.  |
| 12. Rijkswaterstaat (1970) - Directie Zeeland - Arr. Terneuzen (1970).     | Handelshaven  |
| 13. Rijkswaterstaat (2015).  | Handreiking Ontwerpen met overstromingskansen. Veiligheidsfactoren en belastingen bij nieuwe overstromingskansenormen. Versie 2.5 juli 2015.  |
| 14. Rijkswaterstaat - Directie Zeeland - Arr. Terneuzen (1970).            | Handelshaven RWS GPO (2019). Excelfile behorende bij het rapport GPO RWS, 2019. Bijlage I - Onderbouwing raming vervangingswaarde kunstwerken. 2019.  |
| 15. Rijkswaterstaat (2021a).   | Modellentrein harde kust, opzet modelketen en keuze bodemszenario's. RWS memo versie 0.5, d.d. 29 november 2021, concept (R. Vos). 2021.  |
| 16. Rijkswaterstaat (2021b).   | Tijdlijnen voor Spoor 2 Kennisprogramma Zeespiegelstijging. RWS memo. 24 maart 2021.  |
| 17. Rijkswaterstaat (2022a).   | Referentie - Systeemanalyse WV KP ZSS. 2022.  |
| 18. Rijkswaterstaat (2022b) - Aanpak Kunstwerken Systeemanalyse WV KP ZSS. | 2022.   |
| 19. Rijkswaterstaat (2022c).   | Generieke werkwijze, Systeemanalyse waterveiligheid Kennisprogramma Zeespiegelstijging, versie 1.0, 28 juli 2022.   |
| 20. Rijkswaterstaat (2022d).   | Leidraad Bolwerken kust. 2022.  |
| 21. Rijkswaterstaat (2022e).   | Systeemanalyse Waterveiligheid. Systeemanalyse Waterveiligheid. Deelrapport Harde Kust - Onderdeel Veerse Gatdam. 11 november 2022.   |

22. Rijkswaterstaat (2022f). Systeemanalyse Waterveiligheid. Systeemanalyse Waterveiligheid. Deelrapport Harde Kust - Onderdeel Flaauwe Werk. 11 november 2022.
23. Rijkswaterstaat (2022g). Systeemanalyse Waterveiligheid. Systeemanalyse Waterveiligheid. Deelrapport Harde Kust - Deelsectie Brouwersdam. 18 oktober 2022.
24. Rijkswaterstaat (2023a). Systeemanalyse Waterveiligheid –Deelrapport Waddenzee en Eems-Dollard. Kennisprogramma Zeespiegelstijging – Spoor II – Systeemverkenningen, status definitief, mei 2023.
25. Rijkswaterstaat (2023b). Systeemanalyse Waterveiligheid. Systeemanalyse Waterveiligheid. Deelrapport Zandige waterkeringen Kust. april 2023.
26. Rijkswaterstaat (2023c). Illustratiepuntenmethode in de praktijk (analyse diverse varianten). RWS-WVL, versie 1.0, 02 maart 2023.
27. Rijkswaterstaat (2023d). Systeemanalyse Waterveiligheid. Systeemanalyse Waterveiligheid. Deelrapport Rijn-Maasmonding en Rivierengebied, status definitief, mei 2023.
28. Rijkswaterstaat (2023e). Systeemanalyse Waterveiligheid. Systeemanalyse Waterveiligheid. Deelrapport Zuidwestelijke Delta, status definitief, mei 2023.
29. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (2002). Technisch rapport golfploop en golfoverslag bij dijken.
30. Breskens, verbetering Waterkering. Bestek no. Z1413 B-5. Juni 1970.
31. Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2017). Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid primaire waterkeringen. 2016.
32. WVI (2013). Project Zeeweringen Breskens Kom, Overzicht Keerwand. Zaaknr 310502259. ZLRW-2013-01364. Augustus 2013.
33. Waterschap Walcheren Westwatering (1980a). Verbetering Zeewering te Vlissingen Boulevards Bankert en Evertse. Nr. 131B7 401A. Oktober 1980.
34. Waterschap Walcheren Westwatering (1980b). Verbetering Zeewering te Vlissingen Boulevards Bankert en Evertse. Nr. 112B7 401. Oktober 1980.
35. Waterschap Scheldestromen (2021). Achtergrondrapport Veiligheidsoordeel WBI2017 Normtraject 29-2 Kunstwerken Langsconstructies. December 2021.
36. Witteveen+Bos & HKV (2022). Landelijke set fragility curven t.b.v. KP ZSS. In opdracht van Rijkswaterstaat, Referentie: 129320/22-011.011. WVL. 22 juli 2022.

## Bijlage A Onderbouwing bolwerken

In deze bijlage wordt voor elk bolwerk een situatieschets gegeven. Op basis hiervan zijn de verschillende strekkingen gedefinieerd, reductiefactoren voor het bepalen van de golfoverslag vastgelegd en is de motivatie voor het gekozen versterkingsalternatief beschreven.

### A.1 Breskens haven

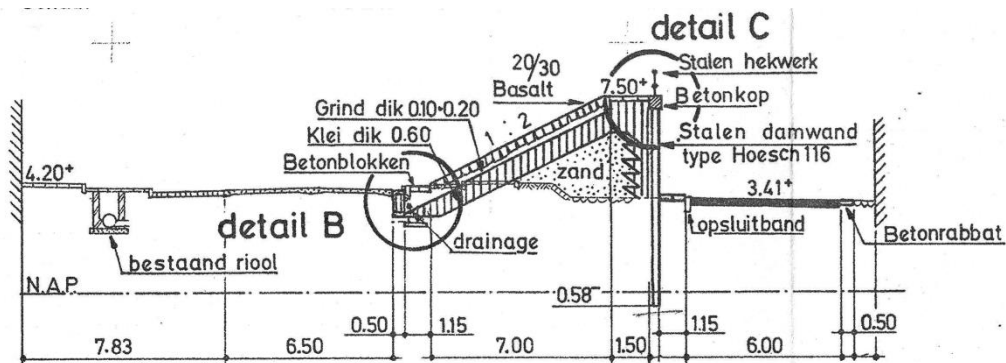
#### A.1.1 Situatieschets en strekkingen

##### Strekking 1

Het representatieve dwarsprofiel voor strekking 1 is gepresenteerd in Figuur 41. Voor de representatieve snede voor strekking 1 gelden de volgende eigenschappen:

- Verticale kade muur tot NAP+3,4 m
- Kade op NAP+3,4 m
- Verticale wand tot NAP+7,5 m

Zoals te zien in Figuur 42 is op de kade een weg aanwezig. De kade wordt gebruikt door vrachtwagens, auto's en fietsers. De woningen landwaarts van de kade kunnen in de huidige situatie niet over de kruin van de kering kijken.



Figuur 41 Kenmerkend dwarsprofiel strekking 1 Breskens haven [Rijkwaterstaat - Directie Zeeland - Arr. Terneuzen (1970)].



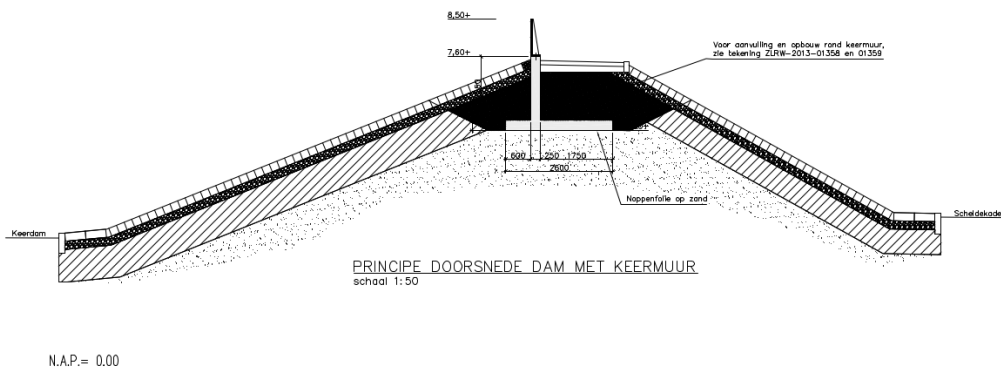
Figuur 42: Zicht vanaf kade Breskens Haven strekking 1.

Strekking 1 is kenmerkend voor Breskens haven over een lengte van circa 350 meter.

### Strekking 2 Breskens haven

Het representatieve dwarsprofiel voor strekking 2 is weergegeven in Figuur 43. Voor het representatieve dwarsprofiel gelden de volgende eigenschappen:

- Verticale kade muur tot NAP+3,4 m
- Kade op NAP+3,4 m
- 1:2,5 basalt talud tot NAP+7,6 m
- Keermuur vanaf NAP+7,6 m tot NAP+8,5 m.



Figuur 43: Kenmerkend dwarsprofiel strekking 2 Breskens Haven [WVI (2013)].

Zoals te zien in Figuur 44 is op de kade een weg aanwezig. De kade wordt gebruikt door vrachtwagens, auto's en fietsers. De meeste woningen landwaarts van de kade kunnen in de huidige situatie niet over de kruin van de kering kijken.



Figuur 44: Zicht vanaf kade Breskens Haven strekking 2.

Strekking 2 is kenmerkend voor Breskens haven over een lengte van circa 300 meter.

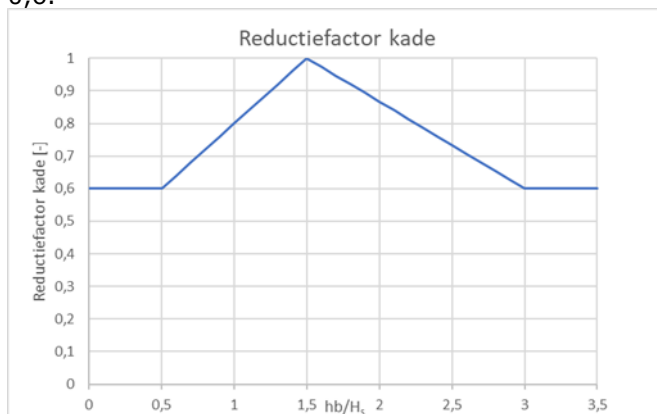
#### A.1.2 Kruinhoogtetekort

##### **Strekking 1**

Voor strekking 1 wordt voor de ruwheidsreductiefactor een waarde van 1 aangehouden. De bekleding bestaat uit asfalt en stalen damwanden.

Voor strekking 1 wordt conform de TAW de reductiefactor voor een constructie met een verticale wand en kade bepaald met de vergelijkingen uit "Golfoverslag en krachten op verticale waterkeringsconstructies" [WL 1998]. In dit rapport wordt de constructie met een verticale wand of talud en de kade als een geheel gezien. De reductiefactor is afhankelijk van de relatieve kade hoogte ( $h_b = SWL - h_{kade}$ ). Uit de proefdata volgt voor de reductiefactor het volgende verloop, zie Figuur 45.

Hieruit volgt voor de overslagberekeningen in strekking 1 een reductiefactor van 0,6.



Figuur 45: Reductiefactor kade.

## **Strekking 2**

Bij het bepalen van het kruinhoogtetekort wordt een ruwheidsreductiefactor van 0,9 aangehouden. Op het boventalud is een steenzetting aanwezig. Op de kruin is een kruinmuur aanwezig, hier is een reductiefactor van 0,7 voor gehanteerd. Voor de kade wordt een reductiefactor van 0,6 gehanteerd. Deze is afgeleid op basis van de grafiek in Figuur 45.

Vermenigvuldiging van de reductiefactoren resulteert in een waarde van 0,38. In de overslagberekeningen is een totale reductiefactor van 0,4 gehanteerd, omdat niet alle combinaties van overslag reducerende maatregelen zijn onderzocht.

### *A.1.3 Motivatie versterkingsalternatief*

In strekking 1 en 2 is slechts beperkte ruimte om de kering landwaarts te versterken door de aanwezigheid van de Scheldekade en de woningen. Het talud in strekking 2 kan niet verder zeewaarts geplaatst worden in verband met de weg op de kade. Een verticale constructie heeft daarom de voorkeur. De verticale constructie kan in strekking 1 op de huidige locatie van de verticale wand worden aangebracht. In strekking 2 kan deze het talud vervangen.

Het toepassen van een kruinmuur resulteert in onrealistisch hoge kruinmuren. Een golfdempende uitbouw is niet wenselijk in verband met de functie die de kade vervult. Door het aanbrengen van een golfdempende uitbouw wordt het lastiger om schepen te laden en te lossen. De haven wordt op dit moment nog maar beperkt gebruikt voor handel, het is onbekend hoe het gebruik van de kade zich ontwikkelt in de toekomst.

Het verhogen van de kruin door middel van een damwand is een maatregel welke voor alle tijdlijnen de overslag voldoende kan reduceren. De damwand wordt blootgesteld aan golfklappen, daarom dient de damwand aan de landwaartse zijde aangevuld te worden met grond. De damwand zal zeewaarts of op de locatie van de huidige kering geplaatst moeten worden, omdat er geen ruimte is voor de landwaartse vulling in verband met de weg welke achter de huidige kering ligt. Voor de landwaartse vulling wordt een helling van 1:3 aangenomen. Doordat de damwand zeewaarts van de huidige kering aangebracht dient te worden, wordt de huidige kade smaller voor verkeer.

Het toepassen van een kistdam is een maatregel welke voor elke tijdlijn toegepast kan worden om de overslag voldoende te reduceren. De kistdam kan zowel zeewaarts als op de locatie van de bestaande zeewering worden aangebracht. Wanneer deze zeewaarts van de bestaande kering wordt aangebracht ontnemt de kistdam ruimte voor het verkeer op de kade. Het toepassen van een kistdam op de locatie van de bestaande zeewering is daarom de voorkeursoplossing, omdat dit het minste beslag op de aanwezige ruimte legt.

## A.2 Vlissingen

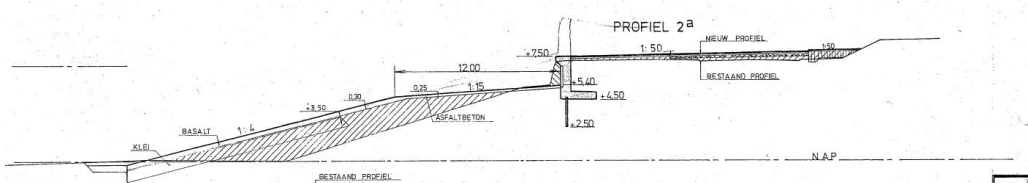
### A.2.1 Situatieschets en strekkingen

#### Strekking 1

Het representatieve dwarsprofiel voor strekking 1 is gepresenteerd in Figuur 46.

Voor het representatieve dwarsprofiel gelden de volgende eigenschappen:

- 1:4 basalt talud tussen circa NAP-0,5m en NAP+3,5m
- 1:4 asfaltbeton talud van NAP+3,5m tot NAP+4,5m
- 1:15 berm met asfaltbeton van NAP+4,5m tot NAP+5,4m
- Keermuur van NAP+5,4m tot NAP+7,5m met parapet.
- Boulevard op NAP+7,5m



Figuur 46 Representatieve dwarsprofiel strekking 1 Vlissingen [Waterschap Walcheren Westwatering (1980)].

Strekking 1 betreft een boulevard die toegankelijk is voor autoverkeer (fietsstraat), fietsers en wandelaars, zoals goed te zien is in Figuur 47. De woningen aan de boulevard hebben in de huidige situatie een vrij zicht over zee. Bij mogelijk versterkingsalternatieven dient hier, waar mogelijk rekening mee gehouden te worden.



Figuur 47 Zicht vanaf Boulevard

Strekking 1 heeft een lengte van circa 1100 meter. Strekking 1 valt samen met Okadervak 29001016.

De daadwerkelijke kering ligt achter de beschouwde strekking, zoals aangeven in onderstaande afbeelding. De dijpalen (dp 335 tot en met dp 343) geven de ligging aan. DP335 tot en met 343





Figuur 48 Daadwerkelijke ligging kering

### Strekking 2 Vlissingen

Het representatieve dwarsprofiel voor strekking 2 is een combinatie van de linker en rechter doorsnede in Figuur 50. Voor de representatieve snede gelden de volgende eigenschappen:

- Een overlaging van breuksteen (10-60kg) vol en zat gepenetreerd met gietasfalt van NAP-1,0m tot een hoogte tussen minimaal NAP+2,4m en maximaal NAP+4,0m. het gepenetreerd breuksteen heeft een helling van circa 1:4.
- Vanaf de overlaging tot NAP+6m bestaat de bekleding uit waterbouwasfaltbeton. Het waterbouwasfaltbeton heeft een helling van 1:10-15.
- Een verticale betonnen wand is aanwezig tussen NAP+6m tot NAP+9,9m. Achter de betonnen wand is een damwand aanwezig, waaraan de betonnen wand verankerd is.

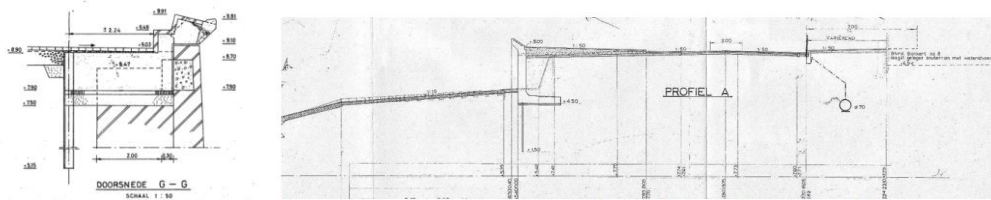
Zoals te zien in Figuur 49 betreft strekking 2 een boulevard welke toegankelijk is voor autoverkeer (fietsstraat), fietsers en wandelaars. De woningen hebben in de huidige situatie vrij zicht over zee. Bij mogelijk versterkingsalternatieven dient hier, waar mogelijk rekening mee gehouden te worden.

Strekking 2 heeft een lengte van circa 700 meter. Strekking 2 valt samen met Okadervak 29001015.



Figuur 49 Zicht vanaf fietspad over strekking 2

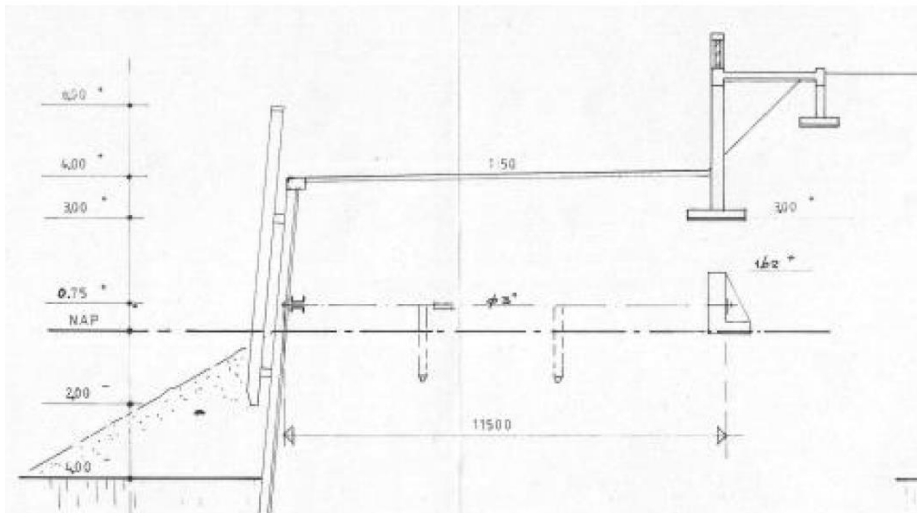




Figuur 50: Strekking 2, parapet en doorsnede strekking 2 [Waterschap Walcheren Westwatering (1980b)].

### Strekking 3 Vlissingen

De korte zijde van de Koopmanshaven bestaat uit een coupure. Hier worden bij een hoogwater vloedplanken geplaatst, zodat de kering op deze locatie dezelfde hoogte heeft als langs de lange zijdes van de Koopmanshaven. Bij het bepalen van de representatieve snede wordt rekening gehouden met de aanwezigheid van de vloedplanken. Het representatieve dwarsprofiel voor strekking 3 is gepresenteerd in Figuur 51.



Figuur 51 Representatief dwarsprofiel strekking 3 [Waterschap Scheldestromen (2021)]

Voor de representatieve snede wordt uitgegaan van de volgende eigenschappen:

- Verticale wand tussen NAP+0,0m en NAP+4,0 m.
- Berm met een helling van 1:50.
- Verticale wand tussen NAP+4,2 m en NAP+6,9 m.

Aan de lange zijdes van de Koopmanshaven is het in de huidige situatie mogelijk om loodsboten aan te leggen aan de kade. Strekking 3 heeft een lengte van circa 200 meter. Voor strekking 3 worden de randvoorwaarden van het okadervak 29001014 gehanteerd.



Figuur 52 Koopmanshaven Vlissingen

#### A.2.2 *Kruinhoogtetekort*

##### **Strekking 1**

Voor strekking 1 wordt een ruwheidsreductiefactor van 0,9 gehanteerd. De bekleding op het ondertalud bestaat uit een basaltsteenzetting. Voor de aanwezigheid van de berm wordt een reductiefactor van 0,7 gehanteerd. Vanaf de berm tot aan de kruin is een verticale wand aanwezig. Hiervoor is een reductiefactor van 0,7 gehanteerd.

Vermenigvuldiging van de reductiefactoren resulteert in een waarde van 0,44. Deze waarde wordt gebruikt in de overslag berekeningen.

##### **Strekking 2**

In strekking 2 bestaat het ondertalud uit breuksteen gepenetreerd asfalt. Voor dit type bekleding is een ruwheidsreductiefactor van 0,9 gehanteerd. Voor de berm is een berm reductiefactor van 0,7 gehanteerd. Vanaf de berm tot aan de kruin is een verticale wand aanwezig. Hiervoor is een reductiefactor van 0,7 toegepast. Op de verticale wand is een parapet aanwezig. Hier is geen extra reductiefactor voor toegepast.

Vermenigvuldiging van de reductiefactoren resulteert in een waarde van 0,44. Deze waarde wordt gebruikt in de overslag berekeningen.

##### **Strekking 3**

De bekleding in strekking bestaat uit baksteen en houten vloedplanken. Voor de ruwheidsreductiefactor is een waarde van 1,0 aangehouden. Voor de kade is op basis van Figuur 45 een reductiefactor van 0,6 aangehouden.

Vermenigvuldiging van de reductiefactoren levert een waarde van 0,6 op. Deze wordt gehanteerd in de overslag berekeningen.

#### A.2.3 *Motivatie versterkingsalternatief*

In alle drie de strekkingen is slechts beperkte ruimte om de kering landwaarts te versterken. Op de kruin is een weg en boulevard aanwezig. Aan de weg en boulevard staan woningen. De woningen hebben in de huidige situatie vrij zicht op zee.

Voor de drie strekkingen heeft het de voorkeur om de kering zeewaarts te versterken of de versterking aan te brengen binnen de grenzen van de huidige

kering. Een verticale constructie heeft de voorkeur, omdat deze slechts beperkte ruimte inneemt. Voor de versterking zijn vier opties beschouwd, zie paragraaf 4.2.1.

Het toepassen van een kruinmuur resulteert in onrealistisch hoge kruinmuren. Deze versterkingsoptie is niet nader beschouwd.

Bij het toepassen van een golfdempende uitbouw behouden de huizen langs de boulevard het huidige zicht. Wanneer de huidige kruinmuur/kruinhoogte niet wordt verhoogd is de golfdempende uitbouw geen afdoende maatregel voor alle scenario's. De overslag wordt onvoldoende gereduceerd bij grotere zeespiegelstijgingen.

Het verhogen van de kruin door middel van een damwand is een maatregel welke voor alle tijdlijnen de overslag voldoende kan reduceren. De damwand wordt blootgesteld aan golfklappen, daarom dient de damwand aan de landwaartse zijde aangevuld te worden met grond. De damwand zal zeewaarts of op de locatie van de huidige kering geplaatst moeten worden, omdat er geen ruimte is voor de landwaartse vulling in verband met de weg welke op de kruin ligt. Voor de landwaartse vulling wordt een helling van 1:3 aangenomen. Doordat de damwand zeewaarts van de huidige kering aangebracht dient te worden wordt de huidige berm in strekking 1 en 2 en de kade in strekking 3 smaller. Bij het toepassen van een damwand wordt het uitzicht van de woningen ontnomen.

Het toepassen van een kistdam om de kruinhoogte te verhogen ontnemt het zicht van de woningen langs de boulevard en de kade. De kistdam kan zeewaarts van de bestaande zeewering worden aangebracht, waardoor de boulevard en de weg hun functie behouden. De kade van de vissershaven verdwijnt wanneer de kistdam zeewaarts van de bestaande zeewering wordt geplaatst. De kistdam zou hier ingepast kunnen worden op de locatie van de bestaande zeewering.

Het toepassen van een kistdam is een maatregel welke voor elk zeespiegelscenario toegepast kan worden om de overslag voldoende te reduceren. Daarnaast resulteert deze versterking in het kleinste ruimtebeslag waardoor de huidige functies het meest blijven behouden. De woningen verliezen het uitzicht, maar dit is onvermijdelijk voor de vier beschouwde versterkingen. De kistdam heeft daarom de voorkeur als versterkingalternatief.

## A.3 Den Helder

### A.3.1 Situatieschets en strekkingen

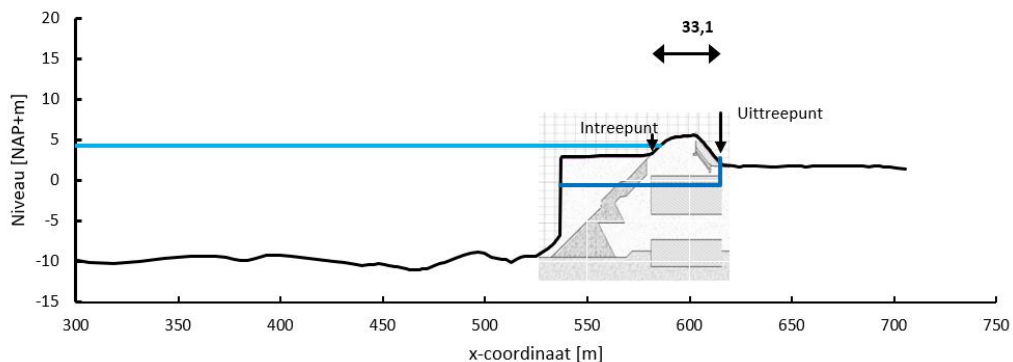
#### Strekking 1 (Paleiskade)

Het representatieve dwarsprofiel voor strekking 1 is gepresenteerd in Figuur 53.

Voor het representatieve dwarsprofiel gelden de volgende eigenschappen:

- Verticale kade tussen NAP-10,0m en NAP+2,9m
- Asphaltberm tussen NAP+2,9m en NAP+3,6m. De berm functioneert als haventerrein en heeft een breedte variërend van 30 tot 200 meter.
- 1:5 tot 1:10 boventalud tussen NAP+3,6 en NAP+5,6m bekleed met asfalt.
- Autoweg op NAP+5,6 op

Op de kruin van strekking 1 is een autoweg aanwezig. Aan zeewaartse zijde wordt het boventalud op een aantal locaties gebruikt als parkeerplaats. De berm functioneert als haventerrein. Op het haventerrein zijn meerdere loodsen aanwezig. Aan de landwaartse zijde zijn meerder gebouwen aanwezig. Dit beperkt de aanwezige ruimte voor mogelijke versterkingsalternatieven.



Figuur 53 Representatieve dwarsprofiel strekking 1 Den Helder [Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (2021)].



Figuur 54 Zicht vanaf autoweg op kruin.

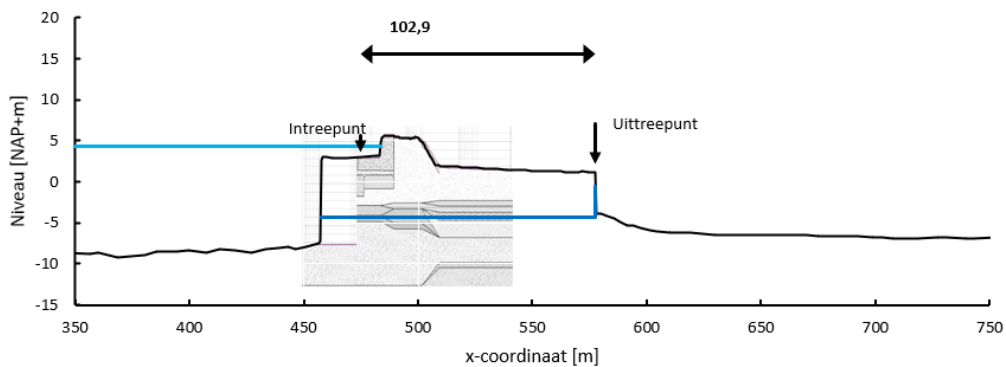
Strekking 1 heeft een lengte van circa 250 meter. Strekking 1 valt samen met Okadervak 13004010.

### Strekking 2 (Onderzeedienstkade, NAM kade en visafslagkade)

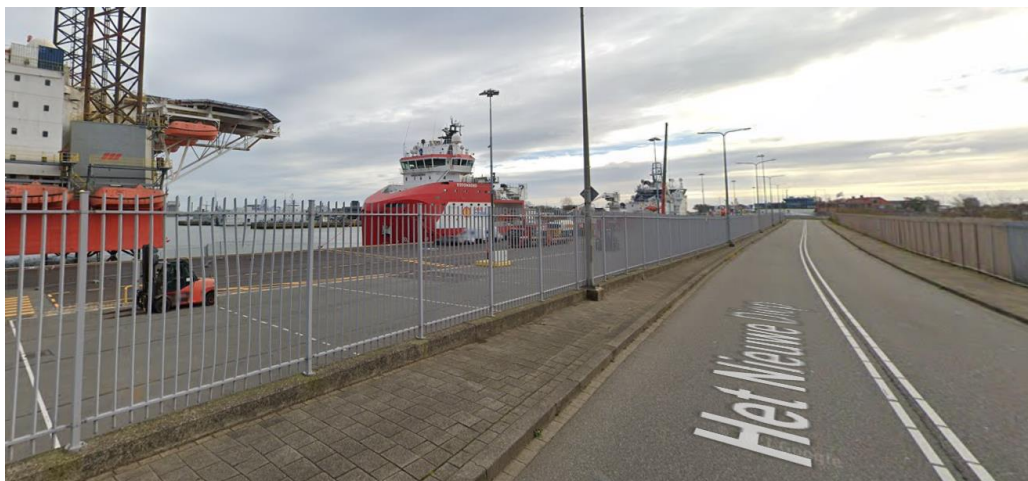
Het representatieve dwarsprofiel voor strekking 2 is gepresenteerd in Figuur 55.

- Verticale kade tussen NAP-10,0m en NAP+3,0m
- Asphaltberm op NAP+3,0m. De berm functioneert als haventerrein en heeft een breedte variërend van 30 tot 50 meter.
- Verticale wand tussen NAP+3,0 m en NAP+5,6m.
- Autoweg op NAP+5,6

Zoals te zien in Figuur 56 betreft strekking 2 een kade waar schepen kunnen aanmeren. De kruin is toegankelijk voor autoverkeer. Aan landwaartse zijde is maar beperkte hoeveelheid ruimte om te versterken door de aanwezigheid van meerdere bedrijven.



Figuur 55 Representatieve dwarsprofiel strekking 2 Den Helder [Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (2021)].



Figuur 56 Zicht vanaf autoweg op strekking 2.

Strekking 2 heeft een lengte van circa 700 meter. Strekking 2 valt samen met Okadervak 13004011.

### Strekking 3 (Het Nieuwe Diep)

Het representatieve dwarsprofiel voor strekking 3 is gepresenteerd in Figuur 57.

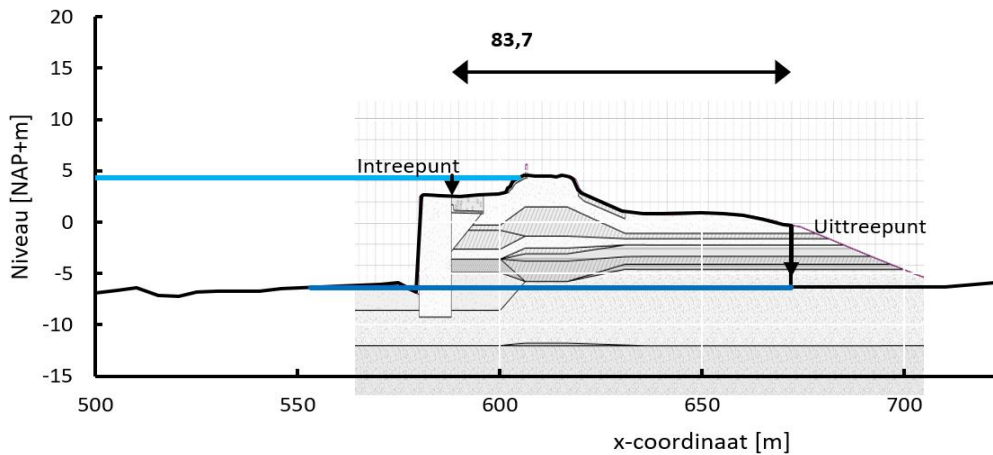
Voor het representatieve dwarsprofiel gelden de volgende eigenschappen:

- Verticale kade tussen NAP-10,0m en NAP+2,7m
- Asphaltberm op NAP+2,7m. De berm heeft een breedte van circa 10 meter.
- 1:3 boventalud tussen NAP+2,7 en NAP+4,6m bekleed met een steenzetting.
- Kruinmuur tot NAP+5,6m
- Autoweg van asfalt op NAP+4,6m.



Langs Het Nieuwe Diep ligt een kade waar schepen kunnen aanmeren. De kade is publiek toegankelijk voor, voetgangers, fietsers en auto's. Op de kruin ligt een autoweg. Op een aantal locaties staat de bebouwing direct tegen het binnentalud aan, waardoor geen ruimte is om landwaarts te versterken. Hier dient bij de versterkingsalternatieven rekening mee gehouden te worden.

Strekking 3 heeft een lengte van circa 800 meter en valt samen met Okadervak 13004012.



Figuur 57 Representatieve dwarsprofiel strekking 3 Den Helder [Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (2021)].

#### Strekking 4 (Het Nieuwe Werk)

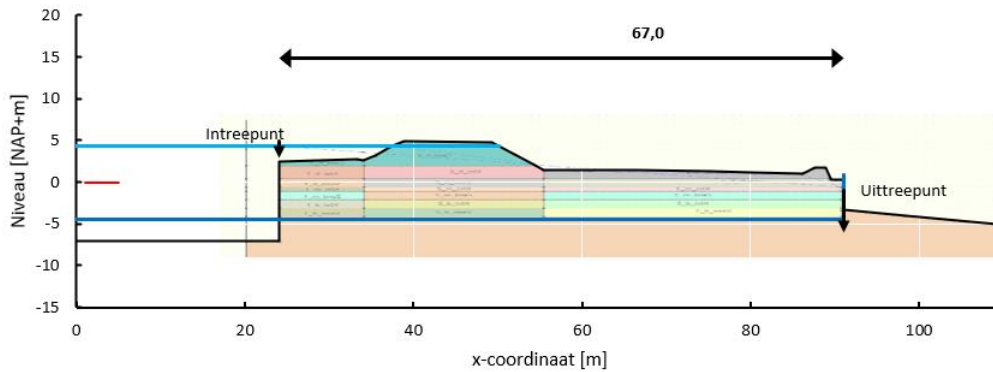
Het representatieve dwarsprofiel voor strekking 4 is gepresenteerd in Figuur 59. Voor het representatieve dwarsprofiel gelden de volgende eigenschappen:

- Verticale kade tussen NAP-10,0m en NAP+2,7m
- Asphaltberm op NAP+2,7m. De berm heeft een breedte van circa 10 meter.
- 1:2 boventalud tussen NAP+2,7 en NAP+4,9m bekleed met een steenzetting.
- Autoweg van asfalt op NAP+4,9m.

Langs Het Nieuwe Werk ligt een kade waar schepen kunnen aanmeren. De kade is publiek toegankelijk voor, voetgangers, fietsers en auto's. Op de kruin ligt een autoweg. Op een aantal locaties staat de bebouwing direct tegen het binnentalud aan, waardoor geen ruimte is om landwaarts te versterken. Hier dient bij de versterkingsalternatieven rekening mee gehouden te worden.



Figuur 58 Uitzicht vanaf kade over strekking 3.



Figuur 59 Representatieve dwarsprofiel strekking 4 Den Helder [Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (2021)].



Figuur 60 Uitzicht van kruin over strekking 4.

### A.3.2 Kruinhoogtetekort

#### **Strekking 1**

Bij het bepalen van het kruinhoogtetekort wordt een ruwheidsreductiefactor van 1,9 aangehouden. De berm en het boventalud bestaan uit asfalt. De kade is gemaakt van damwanden. Voor de kade wordt een reductiefactor van 0,76 gehanteerd. Deze is afgeleid op basis van de grafiek in Figuur 45.

Vermenigvuldiging van de reductiefactoren resulteert in een waarde van 0,76. Deze waarde is gehanteerd in de overslagberekeningen.

#### **Strekking 2**

Bij het bepalen van het kruinhoogtetekort wordt een ruwheidsreductiefactor van 1,0 gehanteerd. De constructie is opgebouwd uit staal, asfalt en beton. Voor de kade wordt een reductiefactor van 1,0 gehanteerd. Deze is afgeleid op basis van de grafiek in Figuur 45. De verhouding tussen  $h_b/H_s$  is 1,5.

Vermenigvuldiging van de reductiefactoren resulteert in een waarde van 1,0. Deze waarde is gehanteerd in de overslagberekeningen.

#### **Strekking 3**

Bij het bepalen van het kruinhoogtetekort wordt een ruwheidsreductiefactor van 0,9 aangehouden. Op het boventalud is een steenzetting aanwezig. Op de kruin is een kruinmuur aanwezig, hier is een reductiefactor van 0,7 voor gehanteerd. Voor de kade wordt een reductiefactor van 0,6 gehanteerd. Deze is afgeleid op basis van de grafiek in Figuur 45.

Vermenigvuldiging van de reductiefactoren resulteert in een waarde van 0,38. In de overslagberekeningen is een totale reductiefactor van 0,4 gehanteerd, omdat niet alle combinaties van overslag reducerende maatregelen zijn onderzocht.

#### **Strekking 4**

Bij het bepalen van het kruinhoogtetekort wordt een ruwheidsreductiefactor van 0,9 aangehouden. Op het boventalud is een steenzetting aanwezig. Voor de kade is een reductiefactor van 0,6 gehanteerd. Deze is afgeleid op basis van de grafiek in Figuur 45.

Vermenigvuldiging van de reductiefactoren resulteert in een waarde van 0,54.

#### *A.3.3 Motivatie versterkingsalternatief*

Bij alle strekkingen is geen ruimte of slechts hele beperkte ruimte aanwezig om de kering landwaarts te versterken. Op de kruin ligt een weg en tegen het binnentalud zijn een weg en woningen gebouwd. De kade is in gebruik voor het aan- en afmeren van schepen. Door de beperkte ruimte en om zoveel mogelijk de huidige functies te behouden zijn vier versterkingsmaatregelen beschouwd, zie paragraaf 4.2.1.

De vier beschouwde versterkingalternatieven betreffen verticale constructies, omdat deze slechts een beperkte hoeveelheid ruimte innemen. De vier versterkingsopties zijn beschreven in paragraaf 4.2.1.

Het toepassen van een kruinmuur is geen optie voor de vier strekkingen. De benodigde hoogte van de kruinmuren is niet realistisch. Deze optie wordt niet verder beschouwd.

Het toepassen van een golfdempende uitbouw is ook geen geschikte versterkingsoptie, omdat de kade wordt gebruikt voor het aan- en afmeren van schepen. Door het toepassen van een golfdempende uitbouw gaat deze belangrijke functie van de kade verloren. Daarnaast is enkel het toepassen van een golfdempende uitbouw geen afdoende maatregel om de overslag voldoende te reduceren voor alle tijdlijnen.

Het verhogen van de kruin door middel van een damwand is een maatregel welke voor alle tijdlijnen de overslag voldoende kan reduceren. De damwand wordt blootgesteld aan golfklappen, daarom dient de damwand aan de landwaartse zijde aangevuld te worden met grond. De damwand zal zeewaarts of op de locatie van de huidige kering geplaatst moeten worden, omdat er geen ruimte is voor de landwaartse vulling in verband met de weg welke op de kruin ligt. Voor de landwaartse vulling wordt een helling van 1:3 aangenomen. Doordat de damwand zeewaarts van de huidige kering aangebracht dient te worden wordt de huidige berm in strekking 1 en 2 en de kade in strekking 3 smaller. Bij het toepassen van een damwand wordt het uitzicht van de woningen ontnomen.

Het toepassen van een kistdam om de kruinhoogte te verhogen ontnemt het zicht van de woningen. De kistdam kan zeewaarts van de bestaande zeewering worden aangebracht, waardoor de boulevard en de weg op de kruin en bij het binnentalud hun functie behouden. De kade wordt smaller wanneer de kistdam zeewaarts van de bestaande zeewering wordt geplaatst. Het is ook mogelijk de kistdam in het bestaande boventalud in te passen. Hierdoor hoeft de kade niet smaller te worden.

Het toepassen van een kistdam is een maatregel welke voor elk zeespiegelscenario toegepast kan worden om de overslag voldoende te reduceren. Daarnaast resulteert deze versterking in het kleinste ruimtebeslag waardoor de huidige functies het meest blijven behouden. De woningen verliezen het uitzicht, maar dit is



onvermijdelijk voor de vier beschouwde versterkingen. De kistdam heeft daarom de voorkeur als versterkingsalternatief.

## Bijlage B Sluizencomplex IJmuiden

Sluizencomplex IJmuiden bestaat uit 12 objecten. Tussen deze 12 objecten is onderscheid gemaakt in vier soorten schutsluizen (klein, middel en twee grote), één type gemaal en één type uitwateringsluis. De kenmerken van de zes soorten objecten staan in onderstaande tabel.

Tabel 63 Kenmerken Sluizencomplex IJmuiden Nominaal

		Schutsluis <sup>1</sup>	Schutsluis <sup>2</sup>	Schutsluis <sup>3</sup>	Schutsluis <sup>4</sup>	Gemaal <sup>5</sup>	Spuisluis <sup>6</sup>
Kosten vervanging 2022	[€]	686.371.252	328.366.067	75.272.234	30.214.144	177.862.291	8.936.000
KostenType	[-]	Schutsluis - Groot	Schutsluis - Groot	Schutsluis - Middel	Schutsluis - Klein	Gemaal - Special	Uitwateringssluis - Special
Huidig kruinniveau	[m+NA P]	5,9	5,9	4,9	4,9	8	8,7
Einde levensduur	[-]	2051	2047	2051	2051	2055	2049
Overschrijdingkans	[per jaar]	0,000008	0,000008	0,000008	0,000008	0,000008	0,000008

<sup>1</sup> Noordersluis

<sup>2</sup> Middensluis

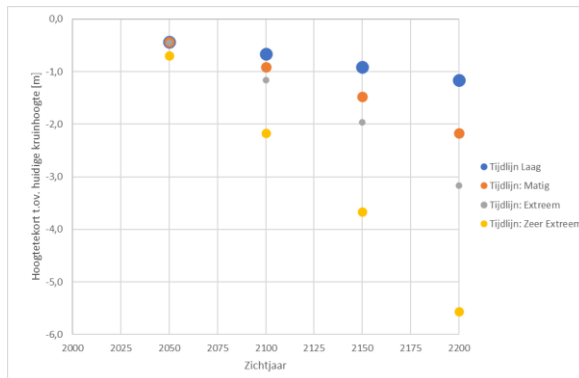
<sup>3</sup> Zuidersluis

<sup>4</sup> Klein sluis

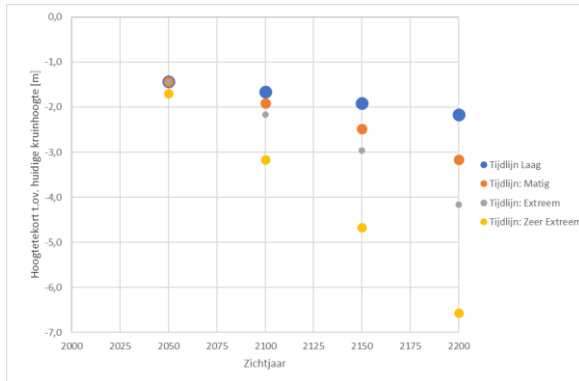
<sup>5</sup> Gemaal IJmuiden

<sup>6</sup> Spuisluis IJmuiden 1, Spuisluis IJmuiden 2, Spuisluis IJmuiden 3, Spuisluis IJmuiden 4, Spuisluis IJmuiden 5, Spuisluis IJmuiden 6, Spuisluis IJmuiden 7

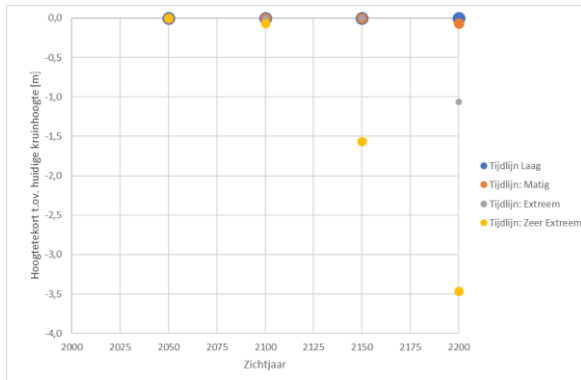
### B.1 Kruinhoogtetekort



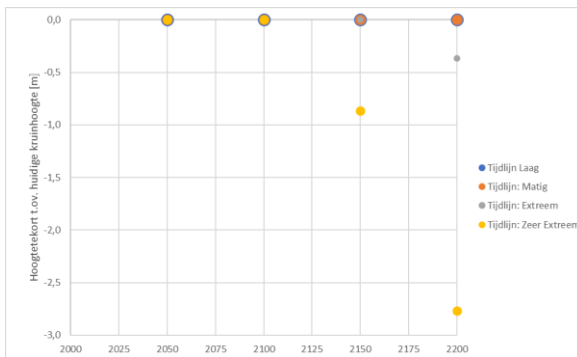
Figuur 61 Kruinhoogtetekort Noordersluis en Middensluis



Figuur 62 Kruinhoogtetekort Kleine Sluis en Zuiderluis

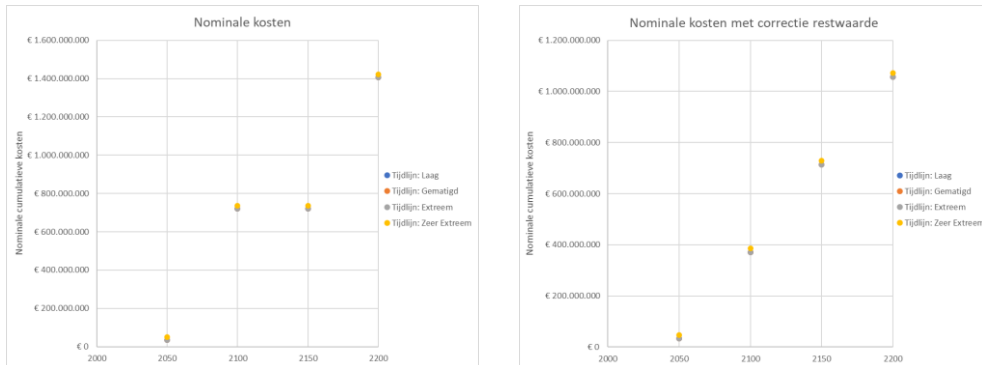


Figuur 63 Kruinhoogtetekort Gemaal IJmuiden



Figuur 64 Kruinhoogtetekort Spuisluizen

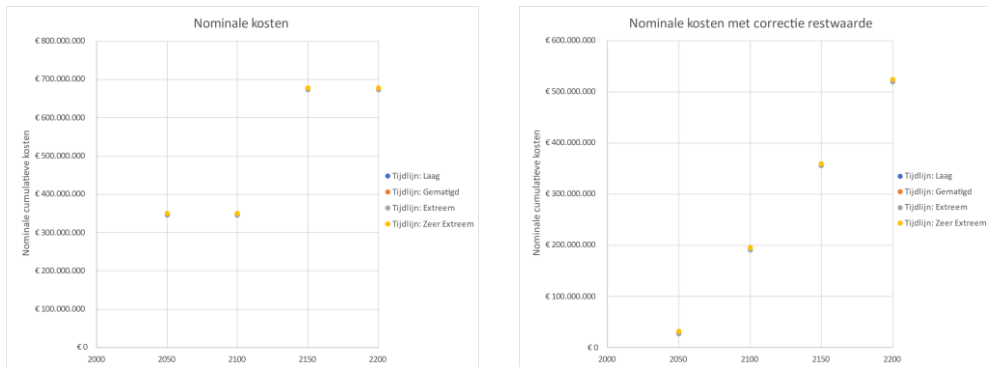
## B.2 Nominale cumulatieve kosten



Figuur 65 Nominale cumulatieve kosten Noordersluis: Links totale kosten preventie, rechts totale kosten inclusief verwerking restwaarde

Tabel 64 Nominaal cumulatieve kosten Noordersluis

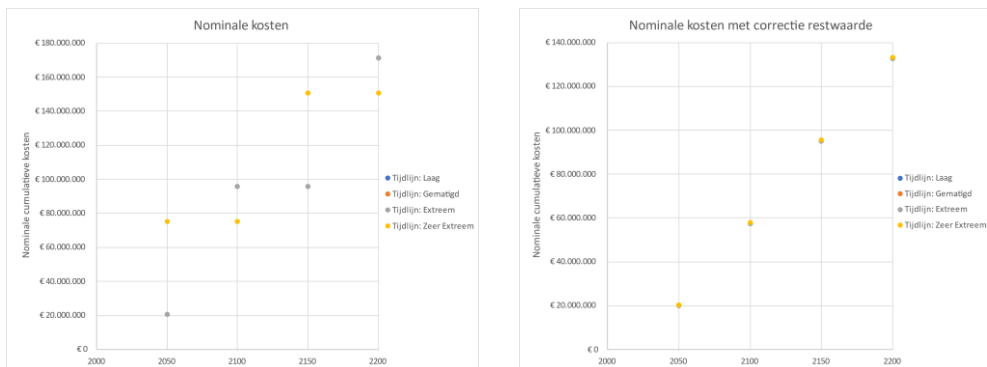
Zichtjaar	Cumulatief nominale kosten	Cumulatief nominale kosten met correctie restwaarde
<b>Tijdlijn: Laag</b>	<b>Spoor 1</b>	
2050	€ 34.508.859	€ 33.276.399
2100	€ 720.880.111	€ 370.830.772
2150	€ 720.880.111	€ 714.016.399
2200	€ 1.407.251.363	€ 1.057.202.025
<b>Tijdlijn: Gematigd</b>	<b>Spoor 1</b>	
2050	€ 34.508.859	€ 33.276.399
2100	€ 720.880.111	€ 370.830.772
2150	€ 720.880.111	€ 714.016.399
2200	€ 1.407.251.363	€ 1.057.202.025
<b>Tijdlijn: Extreem</b>	<b>Spoor 1</b>	
2050	€ 34.508.859	€ 33.276.399
2100	€ 720.880.111	€ 370.830.772
2150	€ 720.880.111	€ 714.016.399
2200	€ 1.407.251.363	€ 1.057.202.025
<b>Tijdlijn: Zeer Extreem</b>	<b>Spoor 1</b>	
2050	€ 49.185.792	€ 47.429.157
2100	€ 735.557.044	€ 385.507.706
2150	€ 735.557.044	€ 728.693.332
2200	€ 1.421.928.297	€ 1.071.878.958



Figuur 66 Nominale cumulatieve kosten Middelensluis: Links totale kosten preventie, rechts totale kosten inclusief verwerking restwaarde

Tabel 65 Nominaal cumulatieve kosten Middelensluis

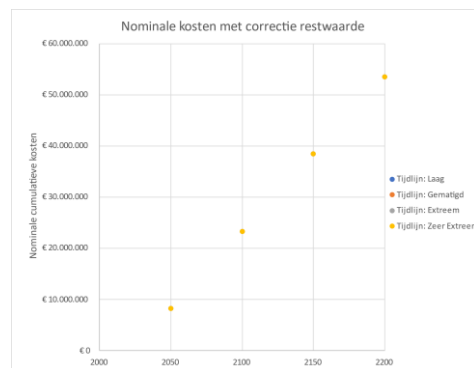
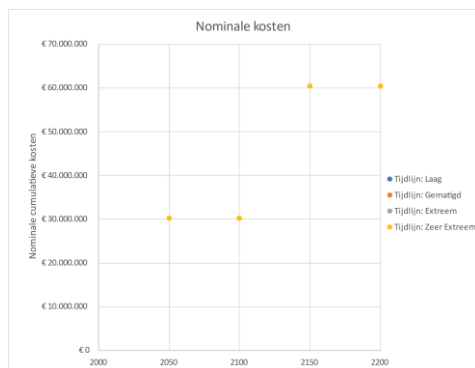
Zichtjaar	Cumulatief nominale kosten	Cumulatief nominale kosten met correctie restwaarde
<b>Tijdlijn: Laag</b>	<b>Spoor 1</b>	
2050	€ 344.875.410	€ 26.360.325
2100	€ 344.875.410	€ 190.543.358
2150	€ 673.241.477	€ 354.726.392
2200	€ 673.241.477	€ 518.909.425
<b>Tijdlijn: Gematigd</b>	<b>Spoor 1</b>	
2050	€ 344.875.410	€ 26.360.325
2100	€ 344.875.410	€ 190.543.358
2150	€ 673.241.477	€ 354.726.392
2200	€ 673.241.477	€ 518.909.425
<b>Tijdlijn: Extreem</b>	<b>Spoor 1</b>	
2050	€ 344.875.410	€ 26.360.325
2100	€ 344.875.410	€ 190.543.358
2150	€ 673.241.477	€ 354.726.392
2200	€ 673.241.477	€ 518.909.425
<b>Tijdlijn: Zeer Extreem</b>	<b>Spoor 1</b>	
2050	€ 349.556.460	€ 31.041.374
2100	€ 349.556.460	€ 195.224.408
2150	€ 677.922.527	€ 359.407.442
2200	€ 677.922.527	€ 523.590.475



Figuur 67 Nominale cumulatieve kosten Zuidersluis: Links totale kosten preventie, rechts totale kosten inclusief verwerking restwaarde

Tabel 66 Nominaal cumulatieve kosten Zuidersluis

Zichtjaar	Cumulatief nominale kosten	Cumulatief nominale kosten met correctie restwaarde
Tijdlijn: Laag	Spoor 1	
2050	€ 20.575.007	€ 19.840.185
2100	€ 95.847.241	€ 57.458.402
2150	€ 95.847.241	€ 95.094.519
2200	€ 171.119.475	€ 132.730.636
Tijdlijn: Gematigd	Spoor 1	
2050	€ 20.575.007	€ 19.840.185
2100	€ 95.847.241	€ 57.458.402
2150	€ 95.847.241	€ 95.094.519
2200	€ 171.119.475	€ 132.730.636
Tijdlijn: Extreem	Spoor 1	
2050	€ 20.575.007	€ 19.840.185
2100	€ 95.847.241	€ 57.458.402
2150	€ 95.847.241	€ 95.094.519
2200	€ 171.119.475	€ 132.730.636
Tijdlijn: Zeer Extreem	Spoor 2	
2050	€ 75.272.234	€ 20.323.503
2100	€ 75.272.234	€ 57.959.620
2150	€ 150.544.468	€ 95.595.737
2200	€ 150.544.468	€ 133.231.854

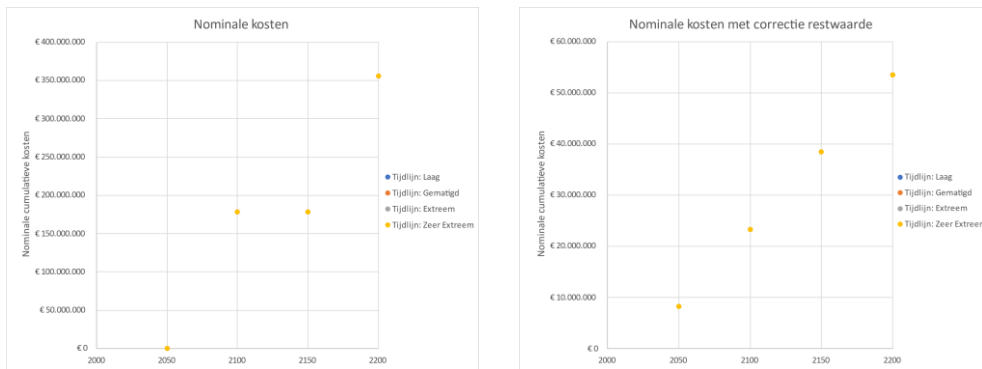


Figuur 68 Nominale cumulatieve kosten Kleine sluis: Links totale kosten preventie, rechts totale kosten inclusief verwerking restwaarde

Tabel 67 Nominaal cumulatieve kosten Kleine sluis

Zichtjaar	Cumulatief nominale kosten	Cumulatief nominale kosten met correctie restwaarde
Tijdlijn: Laag	Spoor 2	
2050	€ 30.214.144	€ 8.157.819
2100	€ 30.214.144	€ 23.264.891
2150	€ 60.428.288	€ 38.371.963
2200	€ 60.428.288	€ 53.479.035
Tijdlijn: Gematigd	Spoor 2	
2050	€ 30.214.144	€ 8.157.819
2100	€ 30.214.144	€ 23.264.891
2150	€ 60.428.288	€ 38.371.963

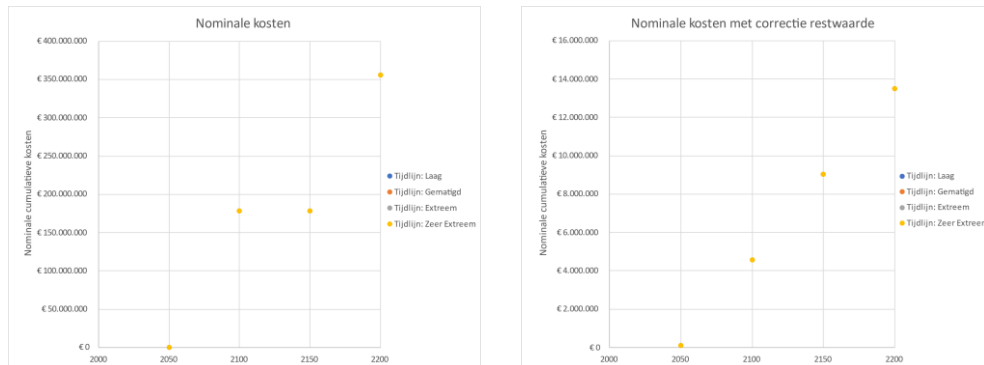
2200	€ 60.428.288	€ 53.479.035
Tijdlijn: Extreem	Spoor 2	
2050	€ 30.214.144	€ 8.157.819
2100	€ 30.214.144	€ 23.264.891
2150	€ 60.428.288	€ 38.371.963
2200	€ 60.428.288	€ 53.479.035
Tijdlijn: Zeer Extreem	Spoor 2	
2050	€ 30.214.144	€ 8.157.819
2100	€ 30.214.144	€ 23.264.891
2150	€ 60.428.288	€ 38.371.963
2200	€ 60.428.288	€ 53.479.035



Figuur 69 Nominale cumulatieve kosten Gemaal IJmuiden: Links totale kosten preventie, rechts totale kosten inclusief verwerking restwaarde

Tabel 68 Nominaal cumulatieve kosten Gemaal IJmuiden

Zichtjaar	Cumulatief nominale kosten	Cumulatief nominale kosten met correctie restwaarde
Tijdlijn: Laag	Spoor 2	
2050	€ 0	€ 0
2100	€ 177.862.291	€ 80.038.031
2150	€ 177.862.291	€ 168.969.177
2200	€ 355.724.583	€ 257.900.323
Tijdlijn: Gematigd	Spoor 2	
2050	€ 0	€ 0
2100	€ 177.862.291	€ 80.038.031
2150	€ 177.862.291	€ 168.969.177
2200	€ 355.724.583	€ 257.900.323
Tijdlijn: Extreem	Spoor 2	
2050	€ 0	€ 0
2100	€ 177.862.291	€ 80.038.031
2150	€ 177.862.291	€ 168.969.177
2200	€ 355.724.583	€ 257.900.323
Tijdlijn: Zeer Extreem	Spoor 2	
2050	€ 0	€ 0
2100	€ 177.862.291	€ 80.038.031
2150	€ 177.862.291	€ 168.969.177
2200	€ 355.724.583	€ 257.900.323



Figuur 70 Nominale cumulatieve kosten Spuisluis 1 IJmuiden: Links totale kosten preventie, rechts totale kosten inclusief verwerking restwaarde

Tabel 69 Nominaal cumulatieve kosten Spuisluis 1 IJmuiden

Zichtjaar	Cumulatief nominale kosten	Cumulatief nominale kosten met correctie restwaarde
Tijdlijn: Laag	Spoor 2	
2050	€ 8.936.000	€ 89.360
2100	€ 8.936.000	€ 4.557.360
2150	€ 17.872.000	€ 9.025.360
2200	€ 17.872.000	€ 13.493.360
Tijdlijn: Gematigd	Spoor 2	
2050	€ 8.936.000	€ 89.360
2100	€ 8.936.000	€ 4.557.360
2150	€ 17.872.000	€ 9.025.360
2200	€ 17.872.000	€ 13.493.360
Tijdlijn: Extreem	Spoor 2	
2050	€ 8.936.000	€ 89.360
2100	€ 8.936.000	€ 4.557.360
2150	€ 17.872.000	€ 9.025.360
2200	€ 17.872.000	€ 13.493.360
Tijdlijn: Zeer Extreem	Spoor 2	
2050	€ 8.936.000	€ 89.360
2100	€ 8.936.000	€ 4.557.360
2150	€ 17.872.000	€ 9.025.360
2200	€ 17.872.000	€ 13.493.360



## Bijlage C Kosten Harde Keringen

Onderstaande nominale kosten zijn aangeleverd door RWS voor de harde keringen:

- Veerse Gatdam
- Flaauwe Werk
- Brouwersdam

**Nominale kosten Veerse Gatdam**

Tabel 70 Nominale kosten Veerse Gatdam in euro.

Jaar_1	Jaar_2	Jaar_3	Kost._1	Kost._2	Kost._3	Suppleties	
							50% Meegroeiend
-	-	-	-	-	-	3009000	Laag
2160	-	-	1200000	-	-	6230400	Gematigd
2120	2170	-	1200000	1200000	-	9628800	Extreem
2080	2130	2180	2400000	2400000	5000000	19359200	Zeer Extreem
						0	0% meegroeiend
-	-	-	-	-	-	6018000	Laag
2130	2180	-	1200000	1200000	-	12460800	Gematigd
2100	2150	-	1200000	2400000	-	23757600	Extreem
2070	2120	2170	2400000	2400000	5000000	45718400	Zeer Extreem
2170	-	-	3200000	-	-	0	100%Meegroeiend_Zeer Extr.

**Nominale kosten Flaauwe Werk**

Tabel 71 Nominale kosten Veerse Gatdam in euro

Jaar_1	Jaar_2	Jaar_3	Kost._1	Kost._2	Kost._3	Maatregel	Tijdlijn	Morfologie
2075	2125	2175	15,31	30,8	30,8	Groene dijk	<i>Zeer Extreem</i>	Meegroeiende Bodem
2106	2156	-	2,61	20,9	0	Groene dijk	<i>Extreem</i>	Meegroeiende Bodem
2131	2181	-	1,3	8,92	0	Groene dijk	<i>Matig</i>	Meegroeiende Bodem
-	-	-	0	0	0	Groene dijk	<i>Laag</i>	Meegroeiende Bodem
2075	2125	2175	34,86	36,1	18,05	Groene dijk	<i>Zeer Extreem</i>	Niet Meegroeiende Bodem
2106	2156	-	21,83	23,7	0	Groene dijk	<i>Extreem</i>	Niet Meegroeiende Bodem
2131	2181	-	7,65	14,72	0	Groene dijk	<i>Matig</i>	Niet Meegroeiende Bodem
-	-	-	0	0	0	Groene dijk	<i>Laag</i>	Niet Meegroeiende Bodem
2075	2125	2175	25,65	33,5	16,75	Groene dijk	<i>Zeer Extreem</i>	50% Meegroeiende Bodem
2106	2156	-	12,29	22,2	0	Groene dijk	<i>Extreem</i>	50% Meegroeiende Bodem
2131	2181	-	4,23	13,72	0	Groene dijk	<i>Matig</i>	50% Meegroeiende Bodem
-	-	-	0	0	0	Groene dijk	<i>Laag</i>	50% Meegroeiende Bodem
2075	2175	0	24,136	27,272	0	Constructief	<i>Zeer Extreem</i>	Meegroeiende Bodem
2106	-	-	10	0	0	Constructief	<i>Extreem</i>	Meegroeiende Bodem
2131	-	0	10	0	0	Constructief	<i>Matig</i>	Meegroeiende Bodem
-	-	0	0	0	0	Constructief	<i>Laag</i>	Meegroeiende Bodem
2075	2175	0	26,6	32,2	0	Constructief	<i>Zeer Extreem</i>	Niet Meegroeiende Bodem
2106	-	-	24,36	0	0	Constructief	<i>Extreem</i>	Niet Meegroeiende Bodem
2131	-	0	23,272	0	0	Constructief	<i>Matig</i>	Niet Meegroeiende Bodem

-	-	-	0	0	0	Constructief	<i>Laag</i>	Niet Meegroeiende Bodem
2075	2175	0	25,3648	29,7296	0	Constructief	<i>Zeer Extreem</i>	50% Meegroeiende Bodem
2106	-	0	23,6048	0	0	Constructief	<i>Extreem</i>	50% Meegroeiende Bodem
2131	-	0	22,7408	0	0	Constructief	<i>Matig</i>	50% Meegroeiende Bodem
-	-	0	0	0	0	Constructief	<i>Laag</i>	50% Meegroeiende Bodem

### Nominale kosten Brouwersdam

Tabel 72 Nominale kosten Brouwersdam in miljoen euro

Jaar_1	Jaar_2	Jaar_3	Kost._1	Kost._2	Kost._3		
2066	2116	2166	119,7	176,7	176,7	<i>Zeer Extreem</i>	50% meegroeiende bodem
2087	2137	2187	102,6	148,2	148,2	<i>Extreem</i>	50% meegroeiende bodem
2118	2168	-	62,7	62,7	0	<i>Matig</i>	50% meegroeiende bodem
2177	-	-	22,8	0	0	<i>Laag</i>	50% meegroeiende bodem
2071	2121	2171	102,6	131,1	131,1	<i>Zeer Extreem</i>	Meegroeiende Bodem
2100	2150	-	74,67	80,37	0	<i>Extreem</i>	Meegroeiende Bodem
2125	2175	-	62,7	62,7	0	<i>Matig</i>	Meegroeiende Bodem
-	-	-	0	0	0	<i>Laag</i>	Meegroeiende Bodem
2060	2110	2160	210,9	245,1	245,1	<i>Zeer Extreem</i>	Niet Meegroeiende Bodem
2078	2128	2178	125,4	171	171	<i>Extreem</i>	Niet Meegroeiende Bodem
2095	2145	2195	51,3	68,4	68,4	<i>Matig</i>	Niet Meegroeiende Bodem
2158	-	-	25,65	0	0	<i>Laag</i>	Niet Meegroeiende Bodem

