



RWS INFORMATIE

Onderzoek Motie Grinwis c.s., 'Hollandkering'

Verkenkend onderzoek naar de haalbaarheid en de kosten/baten van een tweede stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg op de waterveiligheid van Rijnmond-Drechtsteden en het gebied daaromheen



Datum	1 november 2023
Versie	1.0
Status	Definitief

Inhoud

Samenvatting (beknopte versie) 6

Samenvatting (uitgebreide versie) 9

1	Inleiding 20
1.1.	Motie Grinwis 20
1.2.	Context 20
1.3.	Scope 22
1.4.	Methodiek 22
1.5.	Hoofdvraag 22
1.6.	Resultaat 22
1.7.	Relatie met lopend onderzoek/Deltaprogramma 22
1.8.	Organisatie 23
2	Beschrijving Voorkeursstrategie Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden en Tweede stormvloedkering 24
2.1.	Gebied 24
2.2.	De opgave in het gebied voor waterveiligheid 24
2.3.	Voorkeursstrategie Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden 25
2.4.	Tweede stormvloedkering 26
2.5.	Vergelijking huidige voorkeursstrategie Deltaprogramma en een extra stormvloedkering/plan Samen Sterk 27
3	Aanpak 28
3.1.	Algemeen 28
3.2.	Beschrijving referentiesituatie en variant tweede stormvloedkering 28
3.2.1.	Referentiesituatie 28
3.2.2.	Variant tweede stormvloedkering 28
3.3.	Gehanteerde methode 28
4	Uitgangspunten 31
4.1.	Inleiding 31
4.2.	Studiegebied 31
4.3.	Waterkeringen en bodemdaling 32
4.4.	Hydraulische belastingen 32
4.4.1.	Hydraulische databases 32
4.4.2.	Zeespiegelstijging per zichtjaar 33
4.4.3.	Sluitpeil 33
4.4.4.	Rivieraafvoeren. 33
4.5.	Versterkingskosten 34
5	Hydraulische belastingen en waterveiligheidsopgave 36
5.1.	Inleiding 36
5.2.	Resultaten waterstanden 37
5.2.1.	Verloop langs de riviertak voor verschillende zeespiegelstijging 37
5.2.2.	Verschillen per locatie voor een zeespiegelstijging van +1 m 40
5.3.	Resultaten hydraulisch belastingniveaus 42
5.4.	Doorkijk naar resultaten zichtjaar 2200 44
5.5.	Analyse resultaten 44

6 Waterveiligheidsopgave 48

- 6.1. Inleiding 48
- 6.2. Resultaten waterveiligheidsopgave 48
- 6.3. Analyse resultaten 50

7 Kosten van infrastructurele maatregelen 51

- 7.1. Inleiding 51
- 7.2. Resultaten (cumulatieve) nominale dijkversterkingskosten 51
- 7.3. Doorkijk naar resultaten zichtjaar 2200 53
- 7.4. Analyse resultaten cumulatieve nominale kosten dijkversterkingen 55
- 7.5. Kosten van stormvloedkeringen 55
- 7.6. Cumulatieve nominale kosten dijken en stormvloedkeringen 56
- 7.7. Contante waarde versterkingskosten en stormvloedkeringen 57
- 7.8. Resultaten basisberekening 58
- 7.9. Gevoeligheidsanalyses 59
 - 7.9.1. Discontovoet 2,25% 59
 - 7.9.2. Vervanging MLK in 2100 en 2200 60
 - 7.9.3. Discontovoet 2,25 % en vervanging MLK in 2100 en 2200 60
- 7.10. Analyse resultaten 61

8 Effecten op andere functies en overige kosten-baten 63

- 8.1. Inleiding 63
- 8.2. Aandachtspunten in de regio 63
- 8.3. Effecten op andere systeemmaatregelen uit de benadering van Samen sterk 63
- 8.4. Nadere duiding effecten in de regio 65

9 Ontwerpcriteria voor een nieuwe Stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg 67

- 9.1. Ontwerpcriteria algemeen 67
- 9.2. Ontwerpcriteria voor een nieuwe stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg 67
 - 9.2.1. Technische ontwerpcriteria Maeslantkering 67
 - 9.2.2. Maatschappelijke aanvaardbaarheid 69
- 9.3. Ontwerpcriteria Hollandkering 69

10 Conclusies, discussie en aanbevelingen 71

- 10.1. Inleiding 71
- 10.2. Conclusies 71
- 10.3. Discussie en aanbevelingen 76

Referenties 80

Bijlagen 84

- Bijlage 1: Motie Grinwis c.s; Hollandkering 85
- Bijlage 2: Reactie Samen Sterk op deze studie 86
- Bijlage 3: Hollandkering en Samen Sterk (Deltalinks, oktober 2023) 88
- Bijlage 4: Uitgangspunten 94
- Bijlage 5: OKADER 103
- Bijlage 6: Technische en maatschappelijke ontwerpcriteria. 105
- Bijlage 7: Verantwoording proces 108

Samenvatting (beknopte versie)

Motie Grinwis

Op 21 November 2022 is tijdens het jaarlijkse Wetgevingsoverleg (WGO) de motie Grinwis c.s. (Hollandkering) in de Tweede Kamer ingediend. Deze motie is met brede steun aangenomen. Kort samengevat is de kern van de motie:

'Overwegende dat recent in aanvulling op eerdere mogelijke strategieën (..) het idee van een tweede stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg is gelanceerd.'

'Verzoekt de regering om in het Kennisprogramma Zeespiegelstijging de haalbaarheid en de kosten en baten van de «Hollandkering» op de waterveiligheid van Rijnmond-Drechtsteden en het gebied daaromheen op korte termijn te onderzoeken.'

Dit rapport geeft de bevindingen van het onderzoek dat naar aanleiding van de motie is uitgevoerd.

Hollandkering

Het plan van de Hollandkering, van het consortium Samen Sterk [Samen Sterk, 2022] past in het verder optimaliseren van de huidige waterveiligheidsstrategie zoals die is vastgelegd in het Nationaal Waterprogramma [MinIenW, 2021].

De kern van het idee van Samen Sterk bestaat uit het aanleggen van een tweede stormvloedkering in de monding van de Nieuwe Waterweg, in de buurt van de huidige Maeslantkering. Rijnmond-Drechtsteden is een complex gebied, waarin rivieren en zee samen komen. Met een tweede stormvloedkering wordt beoogd om de effecten van klimaatverandering en zeespiegelstijging te beperken. Dankzij de tweede kering wordt de kans dat de (gecombineerde) stormvloedkering faalt (op het moment dat deze moet sluiten) kleiner vergeleken met de situatie met één kering. En daarmee neemt ook de kans op een overstroming af.

Daarnaast zijn ook andere maatregelen die leiden tot waterstandsverlaging onderdeel van de benadering, zoals gemalen en extra berging in de Zuidwestelijke delta. Dit worden systeemmaatregelen genoemd. Een achterliggende gedachte van het consortium is dat gemalen, die in de toekomst wellicht nodig zijn om rivierwater naar buiten te pompen, efficiënter worden naarmate de faalkans van een stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg kleiner wordt. Dezelfde gedachte geldt ook voor de effectiviteit van extra bergingsgebieden in de zuidwestelijke delta. Bergingsgebieden zijn nodig om overtollig rivierwater op te vangen als de stormvloedkeringen gesloten zijn. Het rivierwater kan dan niet naar zee, waardoor de waterstanden stijgen. De hypothese is dat de Hollandkering in combinatie met andere systeemmaatregelen tot een positieve business-case zou kunnen leiden. Deze extra systeemmaatregelen zijn echter in dit stadium van de planvorming logischerwijs nog niet kwantitatief uitgewerkt door Samen Sterk. Vanwege die reden, en omdat de motie met name ingaat op de Hollandkering, zijn ze in deze studie ook alleen op kwalitatieve wijze geanalyseerd.

In deze studie is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de resultaten en de methode zoals die gebruikt wordt in het Kennisprogramma Zeespiegelstijging. Binnen het Kennisprogramma Zeespiegelstijging wordt onderzoek gedaan naar de effecten van zeespiegelstijging op de waterveiligheid en zoetwater. Daarbij wordt allereerst onderzoek gedaan naar de impact van zeespiegelstijging op de huidige aanpak [RWS, 2023a]. Vervolgens wordt onderzoek gedaan naar mogelijke optimalisatie van deze aanpak. Het idee van de Hollandkering sluit goed aan bij dit onderzoek.

Aanpak

Bij deze studie zijn in een aantal stappen de volgende vragen beantwoord:

1. Hydraulische analyse: wat is het effect van een tweede stormvloedkering op de waterstanden en hydraulische belastingen (combinatie van waterstand en golven) op de dijken achter de stormvloedkering? Zowel in de huidige situatie als bij een stijgende zeespiegel tot 2200.
2. Wat betekent dit voor de dijkversterkingen in het gebied?
3. Welke kosten (van de extra stormvloedkering) en baten (onder andere de vermeden dijkversterkingen) zijn hiermee gemoeid?
4. Welke andere effecten treden op, bijvoorbeeld voor de scheepvaart en haven, het buitendijks gebied in de regio of de natuur?
5. In hoeverre worden andere systeemmaatregelen, zoals wateropvang in het Volkerak-Zoommeer, in de regio Rijnmond-Drechtsteden en het gebied daaromheen effectiever dankzij de tweede stormvloedkering?

Voor de eerste drie vragen is kwantitatief onderzoek uitgevoerd [HKV, 2023; De Waterwerkers, 2023]. De laatste twee vragen zijn kwalitatief beschouwd op basis van expert-bijeenkomsten.

Conclusie

De benadering van het consortium Samen Sterk met de Hollandkering bouwt voort op de huidige voorkeursstrategie. Eén onderdeel uit het plan is kwantitatief onderzocht: het effect van de Hollandkering. Uit het onderzoek blijkt dat het bouwen van alleen de Hollandkering (dus zonder aanvullende systeemmaatregelen zoals pompen of extra bergingsgebieden) een positief effect heeft op de hydraulische belastingen (waterstand en golven) in Rijnmond-Drechtsteden. Het effect is echter zodanig, dat dit dijkversterkingen maar in beperkte mate kan voorkomen. Daardoor wegen de kosten van deze extra stormvloedkering van ongeveer 1,7 miljard euro niet op tegen de baten van vermeden dijkversterkingen. Deze bedragen ongeveer 100 miljoen euro, op een totaal aan dijkversterkingen tot 2200 van 10 miljard euro (contante waarde, prijspeil 2022)). Op langere termijn kan een tweede stormvloedkering in de monding van de Nieuwe Waterweg wellicht meer effect hebben. Met name zou dit kunnen in combinatie met andere systeemmaatregelen, zoals het creëren van extra berging in de Zuidwestelijke delta of het plaatsen van grote gemalen om overtollig rivierwater af te voeren. Met deze aanvullingen veranderen ook de kosten en baten voor het gebied. Aanvullend onderzoek naar dit soort maatregelen is complex en vindt plaats in het vervolg van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging.

Toelichting: Onder invloed van een stijging van de zeespiegel en een toename van de rivierafvoeren zal de hydraulische belasting (waterstanden en golven) op de dijken in de regio Rijnmond-Drechtsteden en het gebied eromheen in de toekomst groter worden. Dit betekent dat de dijken versterkt moeten worden. Dat is een complexe opgave in het verstedelijkte gebied rondom Rotterdam en Dordrecht. Het voorkomen of beperken van de (hoogte)opgave is daarom interessant voor dit gebied.

Door de aanleg van een tweede stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg zal de kans op het doordringen van een hoge stormvloed vanaf zee afnemen (de kans op falen van het geheel aan stormvloedkeringen wordt kleiner). Daardoor nemen de hydraulische belastingen op de primaire waterkeringen achter de stormvloedkeringen af.

Het gevolg is dat de huidige dijken als gevolg van de tweede stormvloedkering in de toekomst minder (en soms minder vaak) versterkt hoeven te worden om aan de veiligheidsnormen te blijven voldoen. Met andere woorden: de veiligheidsopgave voor de dijken wordt kleiner. Desalniettemin kan zowel bij de huidige aanpak als de variant met

een tweede stormvloedkering op een betrouwbare manier aan de wettelijke normen worden voldaan.

In beide varianten zijn daarvoor tot 2200 op grote schaal dijkversterkingen nodig, zij het met een tweede stormvloedkering in mindere mate. In een gebied als Rotterdam of Dordrecht maakt dat een verschil, omdat het complex is om de hogere keringen op een goede manier in het verstedelijkte gebied in te passen. De verschillen in opgave voor de dijken zijn echter niet groot. Dat komt onder andere door veranderingen die niet door de tweede stormvloedkering beïnvloed worden. Bijvoorbeeld een grotere rivierafvoer (door klimaatverandering) en bodemdaling, waardoor dijkversterkingen in beide situaties nodig blijven.

Dankzij een tweede stormvloedkering kan een bedrag worden bespaard van ongeveer 100 miljoen euro aan dijkversterkingen (contante waarde; prijspeil 2022). De inschatting van de kosten voor de aanleg van een tweede stormvloedkering bedraagt 1,7 miljard euro (contante waarde; prijspeil 2022). Het verschil tussen de kosten van een tweede stormvloedkering en de baten door vermeden dijkversterkingen is daarmee ordegrrootte 1,5 miljard euro. Daarmee zijn de netto kosten voor een tweede stormvloedkering aanzienlijk hoger dan die in de huidige aanpak zonder extra stormvloedkering (de referentiesituatie).

Over de technische haalbaarheid van de Hollandkering is in dit stadium nog geen conclusie te trekken. Daarvoor is een meer uitgewerkt ontwerp nodig. Wel zijn er een aantal aandachtspunten en risico's benoemd waar bij het ontwerp rekening mee moet worden gehouden. Bijvoorbeeld bij het ontwerp alvast nadenken hoe het beheer en onderhoud van de kering goed kan worden uitgevoerd in de 100 jaar die de kering mee moet gaan, of het zoveel mogelijk benutten van 'proven technology'. Dit laatste is belangrijk om de betrouwbaarheid (uitgedrukt in de zogenaamde 'faalkans') van de kering op papier bij het ontwerp ook te halen in de praktijk.

Uit de analyse blijkt dat er tussen beide varianten (de huidige strategie versus de strategie met Hollandkering) geen significant verschil is in de effecten op andere functies en overige kosten-baten. Zo zal alleen een tweede stormvloedkering niet leiden tot een efficiëntere inzet van de berging van het Volkerak-Zoommeer, omdat andere effecten, zoals een verhoogde rivierafvoer, een groot deel van het positieve effect van de Hollandkering weer teniet doen. Op langere termijn kan een tweede stormvloedkering in de monding van de Nieuwe Waterweg wellicht meer effect hebben. Daarvoor zijn naast de tweede stormvloedkering waarschijnlijk extra systeemmaatregelen nodig, zoals grote gemalen en extra berging in de zuidwestelijke delta.

Vervolg

Met dit onderzoek zijn de vragen zoals vastgelegd in de Kamermotie over de Hollandkering beantwoord. De resultaten en inzichten worden meegenomen in fase 2 van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging, waarin ook andere systeemmaatregelen worden onderzocht. De eindresultaten van het Kennisprogramma worden in 2026 verwacht.

Samenvatting (uitgebreide versie)

0.1 Motie Grinwis

Op 21 November 2022 is tijdens het jaarlijkse Wetgevingsoverleg (WGO) de motie Grinwis c.s. (Hollandkering) in de Tweede Kamer ingediend. Deze motie is met brede steun aangenomen.

Kort samengevat is de kern van de motie:

'Overwegende dat recent in aanvulling op eerdere mogelijke strategieën (..) het idee van een tweede stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg is gelanceerd.'

'Verzoekt de regering om in het Kennisprogramma Zeespiegelstijging de haalbaarheid en de kosten en baten van de «Hollandkering» op de waterveiligheid van Rijnmond-Drechtsteden en het gebied daaromheen op korte termijn te onderzoeken.'

Dit rapport geeft de bevindingen van het onderzoek dat naar aanleiding van de motie is uitgevoerd.

0.2 Hollandkering

Het plan van de Hollandkering, van het consortium Samen sterk [Samen Sterk, 2022a] past in het verder optimaliseren van de huidige waterveiligheidsstrategie zoals die is vastgelegd in het Nationaal Waterprogramma [MinIenW, 2021]. Voor de regio Rijnmond-Drechtsteden en het gebied daaromheen richt die zich op een afsluitbaar-open systeem. Hiermee wordt bedoeld dat aan de kustzijde van het gebied onder normale omstandigheden een open verbinding met de zee wordt nagestreefd. Alleen bij extreem hoge zeewaterstanden door storm wordt die afgesloten met stormvloedkeringen. Naarmate de zeespiegel stijgt en het klimaat verder verandert, wordt dit steeds moeilijker en bestaat de kans dat stormvloedkeringen steeds vaker dicht moeten.

Om de effecten van zeespiegelstijging en klimaatverandering te compenseren, is de Hollandkering bedacht. De kern van de benadering van Samen Sterk bestaat uit het aanleggen van een tweede stormvloedkering in de monding van de Nieuwe Waterweg, in de buurt van de huidige Maeslantkering. Dankzij de tweede kering wordt de kans dat de (gecombineerde) stormvloedkering faalt (op het moment dat deze moet sluiten) kleiner vergeleken met de situatie met één kering. En daarmee neemt ook de kans op een overstroming af.

Daarnaast zijn ook andere systeemmaatregelen die leiden tot waterstandsverlaging onderdeel van de benadering, zoals gemalen en extra berging in de Zuidwestelijke delta. Een achterliggende gedachte van het consortium is dat dergelijke gemalen, die in de toekomst wellicht nodig zijn om rivierwater naar buiten te pompen, efficiënter worden naarmate de faalkans van een stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg kleiner wordt. Dezelfde gedachte geldt ook voor de effectiviteit van extra bergingsgebieden in de zuidwestelijke delta. Bergingsgebieden zijn nodig om overtollig rivierwater op te vangen als de stormvloedkeringen gesloten zijn. Het rivierwater kan dan niet naar zee, waardoor de waterstanden stijgen. De hypothese is dat de Hollandkering in combinatie met andere systeemmaatregelen tot een positieve business-case zou kunnen leiden. Deze extra systeemmaatregelen, aanvullend op de Hollandkering, zijn in dit stadium van de planvorming logischerwijs nog niet kwantitatief uitgewerkt door Samen Sterk. Vanwege die reden, en omdat de motie met name ingaat op de Hollandkering, zijn ze in deze studie ook alleen op kwalitatieve wijze geanalyseerd. De effecten van de tweede stormvloedkering/Hollandkering zelf zijn wel kwantitatief uitgewerkt, zowel wat betreft de effecten op de waterveiligheid als de kosten en baten.

Daarbij is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de resultaten en de methode zoals die gebruikt wordt in het Kennisprogramma Zeespiegelstijging. Binnen het Kennisprogramma Zeespiegelstijging wordt in opdracht van de minister van Infrastructuur en Waterstaat en de Deltacommissaris onderzoek gedaan naar de effecten van zeespiegelstijging op de waterveiligheid en zoetwater. Daarbij wordt allereerst onderzoek gedaan naar de impact van zeespiegelstijging op de aanpak zoals die in het huidige beleid is vastgelegd [RWS, 2023a]. Vervolgens wordt onderzoek gedaan naar mogelijke optimalisatie van deze aanpak. Het idee van de Hollandkering sluit goed aan bij dit onderzoek.

Daarnaast wordt in het Kennisprogramma ook gekeken naar alternatieve plannen die al eerder zijn ontwikkeld, bijvoorbeeld om eilanden voor de kust aan te leggen, een tweede kustlijn aan te leggen of meer zeewater toe te laten landinwaarts. De eindresultaten van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging worden in 2025 verwacht.

0.3 Aanpak

Bij deze studie zijn in een aantal stappen de volgende vragen beantwoord:

1. Hydraulische analyse: wat is het effect van een tweede stormvloedkering op de waterstanden en hydraulische belastingen (de kracht uitgeoefend door het water) op de dijken achter de stormvloedkering? Zowel in de huidige situatie als bij een stijgende zeespiegel tot 2200.
2. Wat betekent dit voor de dijkversterkingen in het gebied?
3. Welke kosten (van de extra stormvloedkering) en baten (onder andere de vermeden dijkversterkingen) zijn hiermee gemoeid?
4. Welke andere effecten treden op, bijvoorbeeld voor de scheepvaart en haven, het buitendijks gebied in de regio of de natuur?
5. In hoeverre worden andere systeemmaatregelen in de regio Rijnmond-Drechtsteden en het gebied daaromheen effectiever dankzij de tweede stormvloedkering?

Voor de eerste 3 vragen is kwantitatief onderzoek uitgevoerd [HKV, 2023; De Waterwerkers, 2023]. De laatste twee vragen zijn kwalitatief beschouwd in voorliggend rapport op basis van expert-bijeenkomsten.

Deze studie is uitgevoerd met het modelinstrumentarium van de Systeemanalyse Waterveiligheid van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging [RWS, 2023a]. Dat is hetzelfde instrumentarium dat ook voor andere landelijke en regionale studies naar de waterveiligheid wordt gebruikt, onder meer voor het Deltaprogramma en de beoordeling van de primaire keringen. Dat betekent dat een uniforme aanpak voor het hele gebied is uitgevoerd voor het berekenen van de hydraulische belastingen, de waterveiligheidsopgave, de dijkversterkingen en de kosten en baten.

Voor de studie is een groot aantal berekeningen uitgevoerd. Daarbij is onder meer gevarieerd in:

- Zichtjaren (2023, 2050, 2100, 2150 en 2200).
- Zeespiegelstijging (van 25 centimeter in 2050 tot 2 meter in 2200).
- Rivierafvoeren (voor de Rijn 16.000 m³/s in 2023 tot 22.000 m³/s in 2200).
- Faalkansen (1:100 voor de huidige Maeslantkering; 1:5000 voor de combinatie van Maeslantkering en Hollandkering samen).
- Bodemdaling: in het westen van het land zakken de dijken mee met de bodemdaling die daar plaatsvindt. Dit is locatiespecifiek, en kan op sommige plaatsen met veel veen in de ondergrond oplopen tot een meter per eeuw.

Naast de kosten voor dijkversterkingen is de investering in een extra stormvloedkering een grote kostenpost. Voor het bepalen van deze kosten is gebruik gemaakt van de kostenkanten zoals die beschikbaar zijn voor de Maeslantkering, maar dan geactualiseerd voor de huidige situatie. De functionaliteit van de nieuwe kering is vergelijkbaar met die van de huidige Maeslantkering, dus dit geeft een goede eerste inschatting van de kosten. Daarbij is niet alleen gekeken naar de aanlegkosten, maar ook

naar de kosten van beheer en onderhoud gedurende de levensduur van de nieuwe kering. Die is net als de Maeslantkering op 100 jaar gesteld.

Daarbij zijn twee verschillende kostenberekeningen uitgevoerd: de nominale (cumulatieve) kosten tot en met een bepaald zichtjaar en de contante waarde berekening van de dijkversterkingskosten.

Voor de nominale (cumulatieve) dijkversterkingskosten tot en met een bepaald zichtjaar worden de kosten bepaald die tot en met een relevant zichtjaar zijn berekend. Dat betekent bijvoorbeeld voor het jaar 2200 dat alle uitgaven die tot die tijd gedaan worden (met name aan dijkversterkingen en stormvloedkeringen) bij elkaar opgeteld worden.

Voor de contante waarde berekening van de dijkversterkingskosten wordt de contante waarde bepaald van de dijkversterkingskosten in de periode 2025-2200. Als discontovoet wordt conform de standaard van de rijksoverheid een waarde van 1,6% gehanteerd (+gevoeligheidsanalyse met 2,25%; MinFin, 2020). Voor het prijspeil wordt zichtjaar 2022 gebruikt (incl. BTW). Door met een contante waarde te werken, worden uitgaven die in verschillende jaren gedaan worden vergelijkbaar. Datzelfde geldt voor de baten.

Voor de totale kosten en baten zijn ook nog alle overige effecten van belang, bijvoorbeeld op de scheepvaart en haven, natuur of buitendijks gebied. Deze kosten en baten zijn kwalitatief ingeschat op basis van expert-judgement.

Het effect van een tweede stormvloedkering op de waterveiligheidsopgave en dijkversterkingskosten is bepaald ten opzichte van de referentiesituatie. In dit geval is dat de huidige waterveiligheidsstrategie zoals die is vastgelegd in het Nationaal Waterprogramma [MinIenW, 2021]. Die wordt ook wel de voorkeursstrategie van het Deltaprogramma genoemd. Het verschil tussen beide berekeningen laat zien welke dijkversterkingskosten kunnen worden vermeden dankzij de extra stormvloedkering.

Wat betreft de technische en maatschappelijke haalbaarheid is onder meer gekeken naar de faalkans, het beheer en onderhoud, de effecten op buitendijks gebied en de ruimtelijke inpasbaarheid.

0.4 Studiegebied

Binnen de scope van deze studie liggen alle dijktrajecten in het achterland van de huidige Maeslantkering tot aan de IJsselkop en de Pannerdensche Kop (omgeving Arnhem-Nijmegen). De relevante trajecten betreffen de trajecten waarvoor geldt dat de verbetering van de faalkans van een stormvloedkering ter hoogte van de huidige Maeslantkering invloed heeft op de hydraulische belastingen en daarmee de waterveiligheids- en versterkingsopgave. Uit de gevoeligheidsanalyse naar de invloed van de faalkans van de Maeslantkering [HKV, 2023] blijkt dat het effect van een verbetering van de faalkans op de waterstanden afneemt als een locatie verder van de stormvloedkeringen vandaan ligt. Bij locaties Streefkerk langs de Lek, Werkendam langs de Boven Merwede en Geertruidenberg langs de Amer zijn de effecten van het verkleinen van de faalkans op de waterstanden nagenoeg verdwenen.

In figuur 0.1 zijn alle trajecten die in deze studie zijn meegenomen weergegeven, inclusief de wettelijke norm waaraan ze moeten voldoen.



*Figuur 0.1: Studiegebied met wettelijke norm voor de dijktrajecten
(<https://waterveiligheidsporaal.nl/>).*

0.5 Resultaten

De studie heeft een groot aantal resultaten opgeleverd. Hieronder worden deze samengevat, inclusief ook de belangrijkste conclusies. In de paragraaf daarna volgen nog de discussie en aanbevelingen.

Hoofconclusie

De benadering zoals die is opgesteld door het consortium Samen sterk, waarvan de Hollandkering een onderdeel is, bouwt voort op de huidige voorkeursstrategie. Eén onderdeel uit het plan is kwantitatief onderzocht: het bouwen van de Hollandkering. Uit het onderzoek blijkt dat het bouwen van alleen de Hollandkering (dus zonder aanvullende systeemmaatregelen zoals pompen of extra bergingsgebieden) een positief effect heeft op de hydraulische belastingen in Rijnmond-Drechtsteden. Het effect is echter zodanig, dat dit dijkversterkingen maar in beperkte mate kan voorkomen.. Daardoor wegen de kosten van deze extra stormvloedkering van ongeveer 1,7 miljard euro niet op tegen de baten van vermeden dijkversterkingen van ongeveer 100 miljoen euro (op een totaal aan dijkversterkingen tot 2200 van 10 miljard euro (contante waarde, prijspeil 2022)). Op langere termijn kan een tweede stormvloedkering in de monding van de Nieuwe Waterweg wellicht meer effect hebben. Met name zou dit het geval kunnen zijn in combinatie met andere systeemmaatregelen, zoals het creëren van extra berging in de Zuidwestelijke delta of het plaatsen van grote gemalen om overtollig rivierwater af te voeren. Met deze aanvullingen veranderen ook de kosten en baten voor het gebied. Aanvullend onderzoek naar dit soort maatregelen is complex en vindt plaats in het vervolg van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging.

Toelichting: Onder invloed van een stijging van de zeespiegel en een toename van de rivierafvoeren zal de hydraulische belasting (waterstanden en golven) op de dijken in de regio Rijnmond-Drechtsteden en het gebied eromheen in de toekomst groter worden. Dit betekent dat de dijken versterkt moeten worden. Dat is een complexe opgave in het verstedelijkte gebied rondom Rotterdam en Dordrecht. Het voorkomen of beperken beperking van de (hoogte)opgave is daarom interessant voor dit gebied.

Door de aanleg van een tweede stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg zal de kans op het doordringen van een hoge stormvloed vanaf zee afnemen (de kans op falen van het geheel aan stormvloedkeringen wordt kleiner). Daardoor nemen de hydraulische belastingen op de primaire waterkeringen achter de stormvloedkeringen af.

Het gevolg is dat de huidige dijken als gevolg van de tweede stormvloedkering in de toekomst minder (en soms minder vaak) versterkt hoeven te worden om aan de veiligheidsnormen te blijven voldoen. Met andere woorden: de veiligheidsopgave voor de dijken wordt kleiner. Desalniettemin kan zowel bij de huidige aanpak als de variant met een tweede stormvloedkering op een betrouwbare manier aan de wettelijke normen worden voldaan.

In beide varianten zijn daarvoor tot 2200 op grote schaal dijkversterkingen nodig, zij het met een tweede stormvloedkering in mindere mate. In een gebied als Rotterdam of Dordrecht maakt dat een verschil, omdat het complex is om de hogere keringen op een goede manier in het verstedelijkte gebied in te passen.

Voor 2050 is er nauwelijks sprake van een hoogteopgave. Voor 2100 en 2200 geldt dat er een aantal normtrajecten is waar dijkverhogingen van een halve meter of meer spelen. Op traject 14-3 zijn er in 2200 12 dijkvakken waar een hoogteopgave is van 50 tot 75 cm, 5 dijkvakken waar een hoogteopgave speelt van 75 cm tot een meter, en op twee dijkvakken zelfs orde grootte 1,70 meter.

De verschillen in opgave voor de dijken tussen de situatie met en zonder Hollandkering zijn echter over het gehele gebied bezien niet groot. Dat komt onder andere door veranderingen die niet door een tweede stormvloedkering beïnvloed worden. Bijvoorbeeld een grotere rivierafvoer (door klimaatverandering) en bodemdaling, waardoor dijkversterkingen in beide situaties nodig blijven. Dankzij een tweede stormvloedkering kan een bedrag worden bespaard van ongeveer 100 miljoen euro aan dijkversterkingen (contante waarde; prijspeil 2022).

De inschatting van de kosten voor de aanleg van een tweede stormvloedkering bedraagt 1,7 miljard euro (contante waarde; prijspeil 2022). Het verschil tussen de kosten van een tweede stormvloedkering en de baten door vermeden dijkversterkingen is daarmee orde grootte 1,5 miljard euro. Daarmee zijn de netto kosten voor een tweede stormvloedkering aanzienlijk hoger dan die in de huidige aanpak zonder extra stormvloedkering (de referentiesituatie).

In de berekening van de contante waarde zijn enkele gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Zo is de discontovoet en het moment van vervangen van de Maeslantkering gevarieerd. Beide kunnen leiden tot een kleiner verschil tussen kosten en baten.

Op basis van gevoeligheidsanalyses is ingeschat dat de onzekerheid in de bandbreedte van de variant met een tweede kering ongeveer plus of min 0,5 miljard euro bedraagt. Daarmee blijven de meerkosten van een tweede stormvloedkering ook bij de meest gunstige aannames minimaal 1 miljard euro. De conclusies blijven daarmee onveranderd.

Over de technische haalbaarheid van de Hollandkering is in dit stadium nog geen uitspraak te doen. Daarvoor is een meer uitgewerkt ontwerp nodig. Wel zijn er een aantal aandachtspunten en risico's benoemd waar bij het ontwerp rekening mee moet worden gehouden. Bijvoorbeeld bij het ontwerp alvast nadenken hoe het beheer en onderhoud van de kering goed kan worden uitgevoerd in de 100 jaar die de kering mee moet gaan, of het zoveel mogelijk benutten van 'proven technology'. Dit laatste is belangrijk om de faalkans van de kering op papier bij het ontwerp ook te halen in de praktijk.

Uit de analyse blijkt dat er tussen beide varianten (de huidige strategie versus de strategie met Hollandkering) geen significant verschil is in de effecten op andere functies en overige kosten-baten. Zo zal alleen een tweede stormvloedkering niet leiden tot een

efficiëntere inzet van de berging van het Volkerak-Zoommeer, omdat andere effecten, zoals een verhoogde rivierafvoer, een groot deel van het positieve effect van de Hollandkering weer teniet doen. Op langere termijn kan een tweede stormvloedkering in de monding van de Nieuwe Waterweg wellicht meer effect hebben. Daarvoor zijn naast de tweede stormvloedkering waarschijnlijk extra systeemmaatregelen nodig, zoals grote gemalen en extra berging in de zuidwestelijke delta. Dit soort systeemmaatregelen worden meegenomen in het onderzoek van fase 2 van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging.

Conclusies over hydraulische belastingen

Het gebied rondom de Rijnmond-Drechtsteden staat onder invloed van zowel de zee als de rivieren. Toename van de zeespiegel of de afvoer van de rivieren vormen richting de toekomst dan ook bedreigingen voor het gebied waarop geanticipeerd moet worden. De stormvloedkeringen in het gebied zorgen voor een complex samenspel tussen het afsluiten van het gebied om hoge stormvloeden buiten te houden en het aan de achterkant volstromen van het (af en toe bij storm) afgesloten gebied met water vanaf de rivieren.

Het verkleinen van de kans op doordringen van een stormvloed (bijvoorbeeld door de aanleg van een tweede stormvloedkering) heeft effect op de hydraulische belastingen in het achter de stormvloedkeringen liggende gebied. Met name voor de dijktrajecten langs de Nieuwe Maas en de Oude Maas die net achter de kering liggen, geeft een tweede stormvloedkering een verlaging van de hydraulische belastingen. De waterstanden bij de normen van de dijken nemen grofweg af met 0,15 – 0,25 m en de hydraulische belastingniveaus (als maat voor de minimaal benodigde kruinhoogte) nemen af met ongeveer 0,20 – 0,50 m. De precieze verlagingen van de hydraulische belastingen hangen af van veel locatiespecifieke details, zoals de precieze ligging, oriëntatie (ligging ten opzichte van de wind) of de vorm van het dwarsprofiel van de dijk. Algemeen geldt dat hoe verder een locatie verwijderd is van de stormvloedkeringen, hoe minder verlaging wordt gevonden. Dit is logisch omdat andere aspecten (zoals de rivierafvoer en het sluitpeil) een rol gaan spelen en het effect van een stormvloedkering uitdempt.

Conclusies over de waterveiligheidsopgave en dijkversterkingen

Een tweede stormvloedkering heeft voornamelijk effect op de hydraulische belastingen langs de trajecten in de Nieuwe Maas tot Rotterdam en de Oude Maas tot de splitsing met het Spui. Omdat de dijkversterkingsopgave direct gekoppeld is aan de hydraulische belastingen, is op deze trajecten ook het grootste effect op de dijkversterkingen zichtbaar. Daarnaast hebben de variaties in hydraulische belastingen met name effect op de benodigde hoogte van de keringen (hoogteopgave). De tweede stormvloedkering heeft zeer beperkt invloed op de opgave voor de sterkte van de kering (faalmechanismen piping en macrostabiliteit), doordat deze mechanismen over het algemeen minder gedreven worden door de relatief kortdurende waterstandsverhoging zoals die bij een storm plaatsvindt (meestal maar 1 of 2 dagen).

De totale waterveiligheidsopgave wordt echter niet alleen beïnvloed door de variaties in de waterstand. Als eerste beïnvloedt de bodemdaling in het gebied de opgave voor hoogte. Datzelfde geldt voor de toename van de rivierafvoeren, die door klimaatverandering de komende eeuwen naar verwachting zal optreden. Een (tweede) stormvloedkering alleen kan deze extra opgave aan de dijken niet voorkomen. Ten tweede geldt dat voor alle dijkvakken met zowel een hoogteopgave als een sterkteopgave de besparingen op de dijkversterkingskosten relatief klein zijn door realisatie van een tweede stormvloedkering. Het blijkt dat het *aantal* versterkingsronden per dijkvak niet of nauwelijks zal afnemen op basis van de gehanteerde aanpak, zelfs als de opgave voor hoogte geheel wordt weggenomen. Dit geldt zowel in de referentie als in de situatie met een tweede

stormvloedkering. Dit komt doordat de opgaven voor piping en macrostabiliteit ervoor zorgen dat de dijkvakken ook in de toekomst aangepakt moeten worden.

Conclusies over kosten en baten

De belangrijkste kostenposten in beide onderzochte varianten zijn dijkversterkingen en investeringen in stormvloedkeringen. De vermeden (cumulatieve) nominale dijkversterkingskosten tot en met 2200 door de aanleg van een tweede stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg worden geschat op 247 miljoen euro. Dit zijn dus alle vermeden in de periode tussen nu en 2200 (inclusief beheer en onderhoud en eventuele vervangingen). Door onder andere de mogelijkheid om rente te krijgen op banktegoeden zijn uitgaven die later plaatsvinden, bijvoorbeeld na 2050 of 2100, niet goed vergelijkbaar met investeringen die nu plaatsvinden. Daarom zijn de uitgaven zoals gebruikelijk bij overheidsinvesteringen omgerekend naar de contante waarde. Hierbij worden investeringen in de toekomst vertaald naar kosten in het huidige zichtjaar, waardoor ze beter vergelijkbaar worden. Hieruit volgt dat een tweede stormvloedkering ervoor zorgt dat uitgedrukt in contante waarde grofweg 111 miljoen euro aan dijkversterkingen kan worden voorkomen tot en met het jaar 2200 (de baten van een extra stormvloedkering). De kosten van aanleg, beheer en onderhoud en vervanging van een tweede stormvloedkering bedragen uitgedrukt in contante waarde ongeveer 1,7 miljard euro. Het verschil in contante waarde tussen de situatie met een tweede stormvloedkering en de referentiesituatie (zonder extra stormvloedkering) bedraagt daarmee afgerond ruim 1,5 miljard euro.

De dijkversterkingskosten worden voor een groot deel bepaald door de vaste kosten van een dijkversterking en die zijn grotendeels onafhankelijk van de omvang van een dijkversterking. Alleen de variabele kosten (zoals die gebaseerd op het grondvolume, of op de afmetingen van een kistdam die diep de grond in gaat) worden beïnvloed. Denk daarbij als voorbeeld aan een kistdam die 0,5 m minder diep hoeft te zijn (bij een lengte van soms enkele tientallen meters) door de aanleg van een tweede stormvloedkering. Dit geeft slechts een kleine reductie op de totale dijkversterkingskosten.

Conclusies ten aanzien van andere functies en overige kosten-baten

Uit een kwalitatieve analyse tijdens een expert-workshop blijkt dat er tussen beide varianten geen significant verschil is in de effecten op andere functies en overige kosten-baten.

Samengevat zijn de belangrijkste aandachtspunten voor de regio:

- De frequentie, en de hoeveelheid water waarmee (delen van) van buitendijkse gebieden onder lopen. Dit bepaalt sterk de mate van wateroverlast, mogelijke schade en slachtoffers en hoe vaak maatregelen moeten worden genomen om de overlast in buitendijkse gebieden te beperken. Tevens bepaalt dit de bouwhoogte voor nieuwbouw, en daarmee de (on)mogelijkheden voor ruimtelijke ontwikkeling. Dit is afhankelijk van het sluitpeil. Hierin is geen significant verschil tussen beide strategieën.
- De sluitfrequentie van de stormvloedkering(en). Dit bepaalt met name de hinder voor de scheepvaart en bereikbaarheid van de haven.
- De bescherming tegen overstromingen binnendijks. Met name dijkversterkingen in stedelijk gebied kunnen tot veel overlast leiden, zowel in de bouwfase (met als gevolg maatschappelijke weerstand, vertraging en oplopende kosten) als permanent.

Conclusies ten aanzien van andere systeemmaatregelen uit het plan Samen sterk

Zoals beschreven in paragraaf 0.2 omvat de benadering van Samen sterk naast de Hollandkering nog een aantal andere systeemmaatregelen. Deze zijn in dit stadium slechts kwalitatief uitgewerkt in het plan. Tevens concentreert de motie zich op de

Hollandkering. Desalniettemin is een kwalitatieve inschatting gegeven van de effecten van deze systeemmaatregelen. De hypothese van Samen Sterk is dat de tweede stormvloedkering voordelig uitwerkt voor een aantal systeemmaatregelen in het gebied:

1. Het wordt efficiënter om het Volkerak-Zoommeer in te zetten als waterbuffer onder maatgevende condities.
2. Dat geldt ook voor het verder vergroten van de waterberging in de zuidwestelijke delta, bijvoorbeeld bij het Grevelingenmeer.
3. Gemalen die in de toekomst wellicht nodig zijn om rivierwater naar buiten te pompen worden efficiënter (en daarmee goedkoper) naarmate de faalkans van een stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg kleiner wordt.

Over deze systeemmaatregelen wordt geconcludeerd dat de hypothese voor het eerste punt waarschijnlijk niet geldt. De effectiviteit van de laatste twee maatregelen is geheel afhankelijk van de uitwerking, en kan op dit moment niet goed beoordeeld worden. Wel zou het kunnen dat op langere termijn een tweede stormvloedkering in de monding van de Nieuwe Waterweg meer effect heeft, in combinatie met de extra systeemmaatregelen. Onderstaand wordt verder op deze systeemmaatregelen ingegaan.

1. Efficiëntere inzet berging Volkerak-Zoommeer

Voor het Volkerak-Zoommeer is van belang in hoeverre een extra stormvloedkering invloed heeft op dit gebied. Uit de berekeningen volgt dat er in de omgeving van het Volkerak-Zoommeer en de zuidrand van de RijnMaasmonding geen enkele invloed is op de waterstanden. Hieruit volgt dat er van een efficiëntere inzet van de berging in het Volkerak-Zoommeer door het bijbouwen van een tweede stormvloedkering geen sprake is; zie voor de combinatie met andere systeemmaatregelen punt 2+3).

2+3. Vergroten waterberging zuidwestelijke delta en efficiëntere inzet gemalen.

In het algemeen kan gezegd worden dat meer waterberging er voor zorgt dat de waterstanden minder hoog uitvallen dan zonder. Om het effect van deze maatregelen te kunnen bepalen, is een verdere uitwerking noodzakelijk. Dan alleen kan iets gezegd worden over effecten op de waterveiligheid, de kosten en de baten.

Gemalen leiden eveneens tot daling van waterstanden, waardoor maatregelen elkaar versterken. Maar het hangt af van de grootte, de plaats en eventuele andere systeemmaatregelen hoeveel precies. Zowel extra waterberging als gemalen zijn maatregelen waar hoge investeringskosten mee zijn gemoeid.

Voor beide groepen maatregelen is niet goed te zeggen in hoeverre dit efficiënter werkt met een tweede stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg. En in hoeverre de berging in het Volkerak-Zoommeer in combinatie met andere systeemmaatregelen wellicht wel effect heeft. Daarvoor zullen uitgebreide berekeningen moeten worden gemaakt. Berekeningen naar dit soort systeemmaatregelen zijn de komende jaren voorzien in fase 2 van het Kennisprogramma zeespiegelstijging.

Conclusies ten aanzien van technische haalbaarheid

Over de technische haalbaarheid van de Hollandkering is nog geen uitspraak te doen. Daarvoor is een meer uitgewerkt ontwerp nodig. Wel zijn er een aantal aandachtspunten en risico's benoemd. Zie hiervoor het eind van de volgende paragraaf (discussie en aanbevelingen).

0.6 Discussie en aanbevelingen

In deze studie is gekeken naar de extra bescherming die de realisatie van een tweede stormvloedkering biedt ten opzichte van de situatie met alleen de Maeslantkering. Er is kwalitatief eveneens gekeken naar een combinatie met andere systeemmaatregelen, met name het creëren van extra berging of het plaatsen van grote gemalen om water af te voeren naar zee.

De verwachting is dat een tweede stormvloedkering in combinatie met andere systeemmaatregelen een groter effect zal hebben op de hydraulische belastingen. Daarbij kan gedacht worden aan het beperken van de overstroombaarheid van de huidige Maeslantkering en het vergroten van de waterberging, door naast de Volkeraksluizen ook een kunstwerk in de Grevelingendam open te zetten tijdens het sluiten van de stormvloedkeringen. Met het operationaliseren van waterberging op de Grevelingen neemt de bergingscapaciteit in het gebied met orde 25% toe. Een andere optie is ook om water te bergen in de Oosterschelde (zie Plan Sluizen [RWS, 2014]). Aanvullend kan het oplopen van de waterstand achter een gesloten stormvloedkering worden verkleind door tijdens het sluiten water naar de zee te pompen met een gemaal. Hierbij is de locatie van de beschikbare waterberging en pompcapaciteit van belang, omdat ook in de delta rekening moet worden gehouden met het benodigd verval (het water moet er kunnen komen).

Of dit soort combinaties van maatregelen wel tot een positieve kosten-batenanalyse leiden is op basis van deze studie niet te zeggen. Het aantal vermeden dijkversterkingen zal waarschijnlijk toenemen. Maar hetzelfde geldt ook voor de investeringskosten. In de analyses die recent zijn uitgevoerd blijken de vermeden dijkversterkingskosten beperkter te zijn dan vooraf gedacht (zie Plan Sluizen; fase 1 KP ZSS; dit onderzoek). En de kosten van het creëren van extra berging of het bouwen van grote gemalen zijn hoog.

In de bepaling van hydraulische belastingen zijn enkele onregelmatigheden in de hydraulische databases opgemerkt. Op basis van nadere analyses is ingeschat dat er een invloed is van deze onregelmatigheden op de hydraulische belastingen. Deze is echter beperkt. Dat geldt ook voor het effect op de contante waarde. Dat heeft drie oorzaken: 1. Het effect op de hoogtegave is beperkt (maximaal een paar decimeter); 2. De kosten voor de sterkteopgave overheersen ten opzichte van de kosten voor de hoogtegave; 3. Deze fout speelt alleen een rol op locaties dicht achter de kering. Herstel van deze onregelmatigheden zal weliswaar het verschil tussen de aanlegkosten van een tweede stormvloedkering en de vermeden dijkversterkingskosten verkleinen, maar qua orde grootte zal dit verschil in contante waarde niet significant veranderen. De onregelmatigheden zullen daarmee ook de conclusies van deze studie niet veranderen; de investeringskosten voor een tweede stormvloedkering zijn daarvoor te groot. Aanbevolen wordt om de onregelmatigheden in de databases aan te passen, zodat toekomstige vragen in het kader van zeespiegelstijging beantwoord kunnen worden zonder deze onregelmatigheden.

De faalkans van de Maeslantkering met tweede stormvloedkering is aangenomen op 1/5.000 per sluitvraag. Uit de gevoeligheidsanalyse naar de faalkans van de kering [HKV, 2023] blijkt dat een kleinere faalkans dan 1/5000 niet of nauwelijks meer effect heeft. De faalkans van 1/5.000 per sluiting is hiermee een keuze. De realiseerbaarheid van deze faalkans in een daadwerkelijk ontwerp en/of constructie is niet nader in beeld gebracht en is niet beschouwd in deze studie. Dat valt buiten de scope van deze opdracht.

In de berekening van de contante waarde zijn enkele gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Zo is de discontovoet en het moment van vervangen van de Maeslantkering gevarieerd. Beide kunnen leiden tot een kleiner verschil tussen kosten en baten. Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt inderdaad een effect op de contante waarde berekening, al blijven de meerkosten van een tweede stormvloedkering ook bij de meest gunstige aannames minimaal 1 miljard euro. De conclusies blijven daarmee onveranderd. Overige gevoeligheden in de dijkversterkingskosten zijn niet inzichtelijk gemaakt, omdat die naar verwachting geen significante invloed hebben op de conclusies. Wel kunnen variaties in de dijkversterkingsplanning door de aanleg van een tweede stormvloedkering invloed hebben op de resultaten. Voor het vervolg wordt aanbevolen om naar de mogelijke bijkomende

effecten van de aanleg van een tweede stormvloedkering op de uitgangspunten van de dijkversterkingskostenanalyse te kijken (misschien geeft ontwerpen op basis van 75 jaar in plaats van 50 jaar wel een ander beeld) en deze onzekerheden te duiden.

Onlangs zijn er nieuwe KNMI-klimaatscenario's uitgekomen. Binnen het Kennisprogramma Zeespiegelstijging zal worden doorgerekend wat de invloed hiervan is. De verschillen met de in deze studie gebruikte KNMI'14-scenario's zijn echter beperkt, zodat niet te verwachten valt dat de uitkomsten significant veranderen.

De uitgangspunten van 1 m zeespiegelstijging in 2100 en 2 m in 2200 zijn bepalend voor de hydraulische belastingen aan de binnenzijde van de kering in gesloten situatie. Variaties in dit uitgangspunt, zoals het sluitpeil en de afvoerstatistiek, zouden inzichten kunnen geven in het functioneren van een tweede stormvloedkering. Dit wordt onderzocht in lopende onderzoeksprogramma's, zoals de tweede fase van het Kennisprogramma zeespiegelstijging.

Opvallend is dat een tweede stormvloedkering na 2100 minder effectief wordt. Dat heeft te maken met de doorstijgende rivierafvoeren door klimaatverandering (waardoor er meer water geborgen moet worden als de kering sluit) en de als gevolg van zeespiegelstijging doorzettende gemiddelde waterstand in de RijnMaasmonding. Bij 2 meter zeespiegelstijging stijgt bijvoorbeeld ook de gemiddelde waterstand op de Nieuwe Maas 2 meter mee. Dit leidt tot minder (verticale) bergingscapaciteit, tenzij de dijken ook verhoogd worden. De voordelen van een kleinere faalkans worden hier deels door teniet gedaan.

Dat kan worden voorkomen door het sluitpeil van de stormvloedkeringen minder mee te laten stijgen met de zeespiegel. Voordeel is dat het buitendijks gebied dan minder vaak onder water komt te staan. Maar de kering gaat wel steeds vaker sluiten, wat ten koste gaat van de bereikbaarheid van de haven. De strategie 'afsluitbaar-open' komt daarmee steeds meer onder druk te staan. Dit dilemma van de toegankelijkheid van de haven versus de wateroverlast bij buitendijkse gebieden speelt pas na 2100, maar het is in de regio nu al wel een onderwerp dat op de agenda staat.

Wat betreft de technische haalbaarheid vallen een aantal dingen op:

- De beoogde faalkans van 1:5000 is aanzienlijk beter dan die van de huidige Maeslantkering. Als er twee keringen achter elkaar gezet kunnen worden, elk met een faalkans van 1:100 die onafhankelijk zijn van elkaar, dan zou theoretisch 1:5000 haalbaar moeten zijn. Het is essentieel dat de keringen daadwerkelijk 'onafhankelijk' van elkaar kunnen opereren. De keringen moeten dan bijvoorbeeld een eigen energievoorziening hebben, software, operationeel team, enzovoorts.
- De kosten voor een tweede stormvloedkering zijn nu ingeschat als vergelijkbaar met de Maeslantkering. Het is de vraag of dat realistisch is. De Hollandkering is een geheel nieuw ontwerp. De ervaring leert dat de kosten dan vaak tegenvallen. Dat kan uiteraard meevallen, maar het risico op kostenoverschrijdingen lijkt groter dan bij het bouwen van een extra Maeslantkering.
- Voor het beheer en onderhoud van de Hollandkering is nog geen uitgewerkt plan. Het lijkt op voorhand ingewikkelder dan bij de Maeslantkering, omdat daar de deuren als de kering niet gesloten is in een droogdok op het land liggen dat makkelijk te bereiken is. Ook over de bediening en mogelijke redundantie bij een falend sluitproces (inclusief het weer openen) is slechts beperkt nagedacht.
- Doordat de faalkans met Hollandkering kleiner is, is de kans ook reëel dat de Hollandkering minder vaak faalt op het moment dat deze moet sluiten. Dit is gunstig voor het buitendijks gebied, omdat het buitendijks gebied minder vaak onverwachts (bij falen van de kering) onder zal lopen.

- Doordat minder dijkversterkingen nodig zijn, zijn er ook minder problemen met de inpassing. Met name in stedelijk gebied levert elke dijkversterking veel overlast op. Het voorkomen daarvan is dus een voordeel van de tweede stormvloedkering. De Hollandkering kan dijkversterkingen slechts in geringe mate voorkomen. Maar er zitten wel stukjes bij, met name in Rotterdam, waar de hoogteverschillen oplopen tot ongeveer 1,5 meter. Als zo'n extra verhoging niet nodig is, maakt dat de ruimtelijke inpassing van een dijkversterking in stedelijk gebied aanzienlijk eenvoudiger.
- Tot slot zij benadrukt dat verfijnen van de resultaten mogelijk is door lokaal specifieke uitgangspunten te hanteren die afwijken van de landelijk uniforme keuzes die nu gemaakt zijn.

Vervolg

Met dit onderzoek zijn de vragen zoals vastgelegd in de Kamermotie over de Hollandkering beantwoord. De resultaten en inzichten worden meegenomen in fase 2 van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging, waarin ook andere systeemmaatregelen worden onderzocht. De eindresultaten van het Kennisprogramma worden in 2026 verwacht.

1 Inleiding

1.1. Motie Grinwis

Op 21 November 2022 is tijdens het jaarlijkse Wetgevingsoverleg (WGO) de motie Grinwis c.s. (Hollandkering) in de Tweede Kamer ingediend. Deze motie kon rekenen op brede steun vanuit de Tweede Kamer.

Kort samengevat is de kern van de motie:

- 'Overwegende dat recent in aanvulling op eerdere mogelijke strategieën (..) het idee van een tweede stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg is gelanceerd.'
- 'Verzoekt de regering om in het Kennisprogramma Zeespiegelstijging de haalbaarheid en de kosten en baten van de «Hollandkering» op de waterveiligheid van Rijnmond-Drechtsteden en het gebied daaromheen op korte termijn te onderzoeken.'

De volledige tekst van de motie is opgenomen in bijlage 1.

Onderstaand een artist impression van de Hollandkering.



Figuur 1.1: Artist impression van de Hollandkering [bron: Samen sterk, 2022]

1.2. Context

Stormvloedkeringen, dijken, dammen en duinen beschermen Nederland tegen een overstroming. In 2017 zijn nieuwe veiligheidsnormen voor waterkeringen van kracht geworden. Waterschappen en het Rijk werken samen om in 2050 alle waterkeringen aan de normen voor de primaire keringen te laten voldoen.

Ook daarna zijn dijkversterkingen nodig om Nederland te beschermen tegen overstromingen, onder andere omdat de zeespiegel stijgt en de maximale rivierafvoer van de Rijn en de Maas toeneemt door klimaatverandering. De huidige strategie voor waterveiligheid bestaat uit het op orde houden van de bestaande keringen. Het overgrote

deel daarvan bestaat uit dijken, maar ook de stormvloedkeringen, grote dammen en duinen vallen hieronder.

Binnen het Kennisprogramma Zeespiegelstijging wordt in opdracht van de minister van Infrastructuur en Waterstaat en de Deltacommissaris onderzoek gedaan om de waterveiligheid bij een stijgende zeespiegel op de lange termijn te garanderen. Daarbij wordt allereerst onderzoek gedaan naar het verder optimaliseren van de huidige strategie om Nederland te beschermen tegen overstromingen. Recent heeft het Kennisprogramma Zeespiegelstijging een eerste studie hiernaar afgerond [RWS, 2023a]. Daarnaast wordt ook gekeken naar alternatieve plannen die al eerder zijn ontwikkeld, bijvoorbeeld om eilanden voor de kust aan te leggen, een tweede kustlijn aan te leggen of meer zeewater toe te laten Landinwaarts.

Het plan van de Hollandkering, van het consortium Samen sterk (Samen Sterk, 2022a) , past in het verder optimaliseren van de huidige waterveiligheidsstrategie zoals die is vastgelegd in het Nationaal Waterprogramma [MinIenW, 2021]. Voor de Rijn-Maasmonding richt die zich op een afsluitbaar-open systeem. Hiermee wordt bedoeld dat aan de kustzijde van het gebied onder normale omstandigheden een open verbinding met de zee wordt nagestreefd. Alleen bij extreem hoge zeewaterstanden door storm wordt die afgesloten met stormvloedkeringen.

De kern van het idee van Samen Sterk is te onderzoeken in hoeverre met systeemmaatregelen waterstandverhogingen, en daarmee dijkversterkingen, kunnen worden voorkomen. Een belangrijk onderdeel is het aanleggen van een tweede stormvloedkering in de monding van de Nieuwe Waterweg. Daarnaast is ook een efficiëntere inzet van de berging op het Volkerak-Zoommeer onderdeel van dit plan. Een achterliggende hypothese is tevens dat gemalen die in de toekomst wellicht een optie kunnen zijn om rivierwater naar buiten te pompen efficiënter worden naarmate de faalkans van een stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg kleiner wordt. Deze extra systeemmaatregelen, aanvullend op de Hollandkering, zijn nog niet kwantitatief uitgewerkt door Samen Sterk. Vanwege die reden, en omdat de motie met name ingaat op de Hollandkering, zijn ze in deze studie ook alleen op kwalitatieve wijze geanalyseerd. De effecten van de tweede stormvloedkering/Hollandkering zelf zijn wel kwantitatief uitgewerkt, zowel wat betreft de effecten op de waterveiligheid als de kosten en baten.

Voor het gebied van Rijnmond-Drechtsteden is een belangrijk aandachtspunt dat er veel buitendijkse activiteiten plaatsvinden. Er wonen ongeveer 100.000 mensen buitendijks, en het gebied bevat ook veel bedrijven. Omdat deze buitendijkse gebieden vaak hoger liggen (de meeste +3.60 NAP of hoger), is het risico op een overstroming waarbij mensen verdrinken klein. Wel kan er bij hoog water wateroverlast optreden op de kades, waardoor schade ontstaat. Voor de buitendijkse gebieden gelden geen overstromingsnormen.

In het Kennisprogramma Zeespiegelstijging wordt zoals eerder aangegeven onderzoek gedaan naar de houdbaarheid en oprekbaarheid van de huidige strategie om Nederland te beschermen tegen overstromingen bij een stijgende zeespiegel, en de lange termijn opties mocht de huidige strategie aanpassing behoeven. Het idee van de Hollandkering past goed in dit onderzoek.

Fase 1 van het Kennisprogramma is recent afgerond, en fase 2 loopt de komende jaren. Deze kamerbreed aangenomen motie vraagt echter feitelijk om een versnelling van het onderzoek voor dit onderdeel. Vandaar dat hiervoor een aparte studie is ingericht. Maar het is wel belangrijk om de uitwerking in samenhang met het Kennisprogramma Zeespiegelstijging (spoor II en spoor IV; [KPZSS, 2020]) uit te voeren. Vandaar dat

zoveel mogelijk dezelfde aanpak wordt gehanteerd (conform de motie) en gebruik wordt gemaakt van de tussenresultaten van fase 1.

1.3. Scope

Voorliggend rapport richt zich zoals in de motie gevraagd in hoofdzaak op het effect van een tweede stormvloedkering in het gebied Rijnmond-Drechtsteden. Op basis van deze kwantitatieve analyse wordt tevens een kwalitatieve inschatting gemaakt van de effecten van de andere waterstandsverlagende systeemmaatregelen in het plan van Samen sterk, zoals het creëren van extra berging in de Zuidwestelijke delta en (optioneel) extra pompcapaciteit.

1.4. Methodiek

Bij deze studie zijn in een aantal stappen de volgende vragen beantwoord:

1. Hydraulische analyse: wat is het effect van een tweede stormvloedkering op de waterstanden en hydraulische belastingen op de dijken achter de stormvloedkering? Zowel in de huidige situatie als bij een stijgende zeespiegel tot 2200.
2. Hoe verandert hierdoor de waterveiligheidsopgave?
3. Welke dijkversterkingen kunnen hierdoor worden voorkomen?
4. Welke dijkversterkingen blijven noodzakelijk?
5. Welke kosten (van de extra stormvloedkering) en baten (onder andere de vermeden dijkversterkingen) zijn hiermee gemoeid?
6. Welke andere effecten treden op, bijvoorbeeld voor de scheepvaart en haven, het buitendijks gebied in de regio of de natuur?
7. In hoeverre worden andere systeemmaatregelen in de RijnMaasmonding effectiever dankzij de tweede stormvloedkering?

Voor de eerste 5 vragen is kwantitatief onderzoek uitgevoerd [HKV, 2023]. De laatste twee vragen zijn kwalitatief beschouwd in twee expertsessies en samengevat in voorliggend rapport.

1.5. Hoofdvraag

Zoals in de motie gevraagd zijn de hoofdvragen voor deze studie:

1. Wat is de haalbaarheid van de «Hollandkering» op de waterveiligheid van Rijnmond-Drechtsteden en het gebied daaromheen?
2. Wat zijn de kosten en baten?

1.6. Resultaat

Gegeven de aanleiding van deze studie is het belangrijkste resultaat een rapport dat antwoord geeft op de in de Kamermotie gestelde vragen over de Hollandkering. Dit rapport wordt opgeleverd aan DGWB, en kan vervolgens worden gebruikt om aan de Kamermotie over de Hollandkering te voldoen.

De resultaten kunnen tevens worden gebruikt voor het vervolg van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging.

1.7. Relatie met lopend onderzoek/Deltaprogramma

Zoals eerder aangegeven is er een nauwe relatie van deze studie met het Kennisprogramma zeespiegelstijging. De resultaten van het Kennisprogramma worden weer gebruikt voor het Deltaprogramma. Met name voor de regio Rijnmond-Drechtsteden is deze studie relevant. Er ligt echter ook een relatie met de Deltaprogrammaregio's Zuidwestelijke delta, dat een belangrijk bergingsgebied is voor overtollig water in het gebied van Rijnmond-Drechtsteden, en het (beneden)rivierengebied, dat bovenstrooms ligt en waar het water van de grote rivieren Rijn en Maas vandaan komt.

1.8. Organisatie

Voor de uitwerking van de motie is een projectteam samengesteld met vertegenwoordigers van het ministerie van IenW, Rijkswaterstaat en Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden. Dit projectteam heeft vervolgens de volgende organisaties betrokken:

- HKVLIJNINWATER voor het uitvoeren van een studie naar de hydraulische effecten en kosten-baten.
- Bureau De Waterwerkers voor de kosten-baten.
- Diverse experts voor het bepalen van de ontwerpeisen die gesteld moeten worden aan een nieuwe stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg. Hiervoor is onder andere een workshop georganiseerd.
- Diverse experts voor het kwalitatief bepalen van de effecten op onder andere scheepvaart, buitendijks gebied en natuur. Hiervoor is eveneens een workshop georganiseerd.
- Organisaties betrokken bij het deelprogramma Rijnmond-Drechtsteden van het Deltaprogramma (als klankbord en voor het inbrengen van kennis).
- Deskundigen betrokken bij het Kennisprogramma Zeespiegelstijging.
- De bedenkers van het plan Samen Sterk. Zij hebben geparticipeerd in onder andere de workshops, er zijn diverse gesprekken gevoerd (onder andere over de aanpak en tussenresultaten) en conceptrapporten zijn van commentaar voorzien.
- Diverse experts voor de kwaliteitsborging, waar onder prof.dr.ir. S.N. Jonkman, hoogleraar integrale waterbouwkunde aan de TU Delft, die een review heeft uitgevoerd van het eindrapport.

2 Beschrijving Voorkeursstrategie Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden en Tweede stormvloedkering

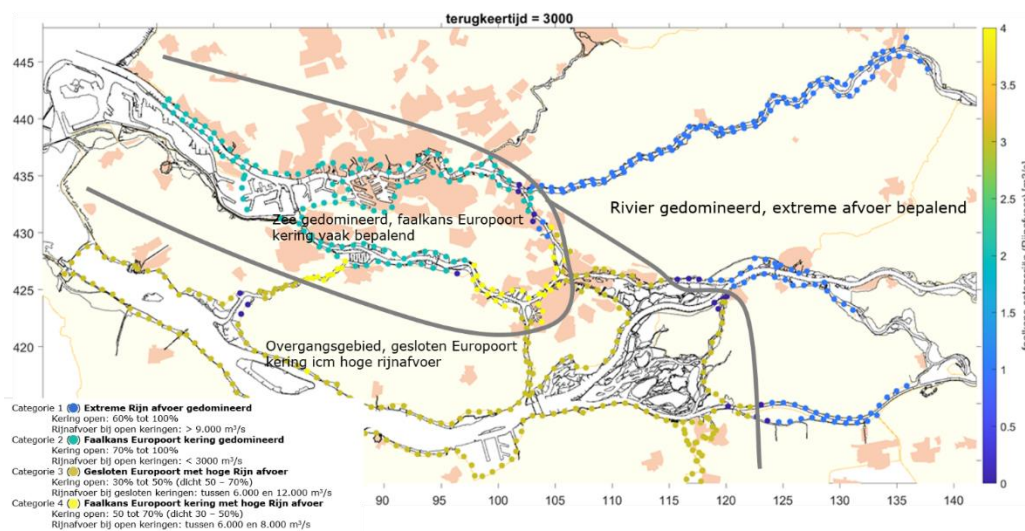
2.1. Gebied

Het gebied Rijnmond-Drechtsteden is een sterk verstedelijkt en geïndustrialiseerd gebied waar de Lek, Waal en Maas samen komen met de zee. De Maeslantkering zorgt ervoor dat de invloed van de zee wordt beperkt.

Klimaatverandering zorgt voor veranderende rivierafvoeren en zeespiegelstijging, waardoor de belastingen op de waterkeringen in het gebied veranderen.

Zeespiegelstijging zorgt er ook voor dat de kans dat buitendijkse gebieden af en toe overstromen groter wordt. In deze regio wonen ongeveer 100.00 mensen buitendijks. Ook het overgrote deel van de havengebonden activiteiten vindt buitendijks plaats, waar onder de industrie.

De belangrijkste oorzaak van de belasting van de waterkeringen is afhankelijk van de locatie. Oostelijk in het gebied worden de belastingen voornamelijk gedomineerd door de rivieren. Het westelijke gebied, direct achter de Maeslantkering, wordt voornamelijk gedomineerd door de zee. De zuidrand, met onder andere het Haringvliet en de Biesbosch is een overgangsgebied van rivier naar zee, zie onderstaande figuur.



Figuur 2.1: Studiegebied en impact van rivierafvoeren, zeewaterstanden en falen van de stormvloedkeringen

2.2. De opgave in het gebied voor waterveiligheid

In het Deltaprogramma is een voorkeursstrategie ontwikkeld om de Rijn-Maasmonding ook voor de lange termijn goed te beschermen tegen overstromingen (Deltaprogramma, 2020a, 2020b).

Op hoofdlijnen komt de opgave voor dit gebied neer op:

- een verandering in de hydraulische belastingen als gevolg van klimaatverandering;
- vooral in dijkkring 15 en 16 (omgeving Hollandse IJssel en Lek) zetting van de bodem onder de dijken, hetgeen doorwerkt in een hoogteopgave voor de waterkeringen;

- een relatief grote sterkteopgave in de huidige situatie. Stabiliteit en piping blijken belangrijker dan in het verleden gedacht;
- invoering van nieuwe normen voor waterveiligheid (met ingang van 2017). Hierbij is overgestapt van overschrijdingskansen (van ontwerpbelastingen) op overstromingskansen, waarbij de belasting van waterkeringen en de sterkte van de waterkering in samenhang worden beschouwd;
- sociaal-economische ontwikkelingen die bijvoorbeeld economische groei en ruimtelijke ontwikkelingen omvatten waardoor het aantal te beschermen mensen en de (economische) waarde in de dijkringen in de loop van de tijd toeneemt; en tevens de fysieke ruimte voor het nemen van extra waterveiligheidsmaatregelen afneemt.
- zeespiegelstijging als gevolg van klimaatverandering, waardoor naast de extra waterveiligheidsopgave de verzilting toeneemt en ook buitendijkse gebieden beïnvloed worden. Klimaatverandering leidt er ook toe, dat de aanvoer van rivierwater toeneemt.

Zowel de voorkeursstrategie van Deltaprogramma Rijnmond – Drechtsteden als het plan om een tweede stormvloedkering aan te leggen in de monding van de Nieuwe waterweg beogen de hiervoor beschreven opgave het hoofd te bieden.

2.3. Voorkeursstrategie Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden

Het Deltaprogramma is opgedeeld in regionale deelprogramma's. Rijnmond-Drechtsteden is er daar één van. In de regio werken de overheden en belanghebbenden samen aan de waterveiligheid.

De voorkeursstrategie Waterveiligheid geeft aan hoe Rijnmond-Drechtsteden om wil gaan met de opgave voor waterveiligheid. De voorkeursstrategie is gebaseerd op drie principes: adaptiviteit, integraliteit en meerlaagsveiligheid:

- **Adaptiviteit:** Het moet mogelijk zijn de strategie aan te passen als nieuwe ontwikkelingen daarom vragen. Adaptiviteit is ook belangrijk bij het ontwerp van maatregelen, om in te kunnen spelen op nieuwe inzichten in de snelheid en de ontwikkeling van de zeespiegelstijging.
- **Integraliteit:** Een integrale aanpak is het uitgangspunt van de strategie. Dat betekent onder meer: alle belangen in samenhang bekijken, vraagstukken en oplossingen voor verschillende sectoren en bestuurslagen verbinden en de ruimtelijke samenhang zoeken. Bij de keuze voor waterveiligheidsmaatregelen wordt in een vroeg stadium de verbinding gelegd met andere ruimtelijke maatregelen en de ontwikkelingen in de omgeving, en vice versa.
- **Meerlaagsveiligheid:** Bij het zoeken naar oplossingen voor waterveiligheid staat de risicobenadering centraal. Zowel de kans op een overstroming als de gevolgen van een overstroming krijgen aandacht door de drie lagen van meerlaagsveiligheid in beschouwing te nemen: preventie (laag 1), ruimtelijke inrichting (laag 2) en crisisbeheersing (laag 3).

Deze principes hebben tot een voorkeursstrategie geleid met de volgende typen maatregelen als basis:

- Onzekerheden over de langetermijnstrategie verkleinen door onderzoek: wat is de impact van zeespiegelstijging op de voorkeursstrategie en wat betekenen de verschillende beleidsopties voor vervanging van de Maeslantkering voor de investeringsbeslissingen op korte termijn;
- Op de volgende manier invulling geven aan meerlaagsveiligheid:

1. Eerst inzetten op preventie (laag 1) met een combinatie van stormvloedkeringen, dijkversterkingen en (deels) rivierverruiming, gebaseerd op de nieuwe normering en een overstromingskansbenadering;
 2. Vervolgens inzetten op overstromingsbewust inrichten (laag 2), met maatwerk voor het buitendijks gebied.
 3. Tot slot de crisisbeheersing goed organiseren (laag 3), voor als het misgaat in dit dichtbevolkte en economisch belangrijke gebied;
- Dijkversterkingen en andere ruimtelijke ontwikkelingen op elkaar afstemmen en toekomstige dijkversterkingen mogelijk houden;
 - De uitvoering van maatregelen voor de waterveiligheid en voor andere maatschappelijke ontwikkelingen, zoals de energietransitie en bodemdaling, met elkaar verbinden.

De voorkeursstrategie van het Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden is door regionale bestuurders en het rijk in 2020 vastgesteld (herbevestigd) in de herijking van het Deltaprogramma [DP, 2021]. Vervolgens is deze in 2021 opgenomen in het Nationaal Waterprogramma [MinIenW, 2021].

Naast de voorkeursstrategie Rijnmond-Drechtsteden zijn voor de gehele opgave in het Benedenrivierengebied ook de voorkeursstrategie Zoetwater en de voorkeursstrategie voor de Zuidwestelijke delta en het rivierengebied relevant. Daarnaast lopen er diverse andere projecten, bijvoorbeeld in het kader van de Kaderrichtlijn Water, Programmatische aanpak grote wateren en vervanging en renovatie van grote scheepvaartsluizen in de vaarroute Rotterdam-Antwerpen.

2.4. Tweede stormvloedkering

De Hollandkering is een onderdeel van 'Samen Sterk' [Samen Sterk, 2022]. Essentieel onderdeel van deze benadering is de bestaande Maeslantkering te behouden en aan te vullen met een extra stormvloedkering. Deze extra stormvloedkering wordt aangelegd ter hoogte van Hoek van Holland: de Hollandkering.

Het samenspel tussen twee stormvloedkeringen reduceert de kans op hoge waterstanden. Bovendien wordt het met twee stormvloedkeringen mogelijk om onderhoud aan de één te plegen terwijl de ander in gebruik blijft. Samen Sterk beoogt daarmee vooral kostenbesparing op dijkversterkingen (zonder dat dit ten koste gaat van de bescherming tegen overstromingen), het zo lang mogelijk behouden van een open verbinding met de zee voor scheepvaart en ecologie, en betere ontwikkelingsvoorwaarden voor het buitendijks gebied en de dijkzones.

De gedachte achter de benadering van Samen Sterk is dat het aanleggen van een tweede stormvloedkering voordelig werkt voor een aantal systeemwerkingen in het gebied:

- De faalkans van de stormvloedkering(en) wordt verbeterd van nu 1:100 bij alleen de Maeslantkering tot 1:5000 voor de combinatie van Maeslant- en Hollandkering.
- De belasting van de achterliggende keringen vermindert, waardoor er minder dijkversterking nodig is.
- Het wordt efficiënter om het Volkerak-Zoommeer in te zetten als waterbuffer onder maatgevende condities.
- Gemalen die in de toekomst een optie kunnen zijn om overtollig rivierwater naar buiten te pompen worden efficiënter (en daarmee goedkoper) naarmate de faalkans van een stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg kleiner wordt.

De motie Grinwis gaat over een mogelijke tweede stormvloedkering in de monding van de Nieuwe Waterweg en verzoekt de regering om de haalbaarheid van de Hollandkering te onderzoeken. In dit rapport wordt daarom niet het volledige plan van Samen Sterk in detail geanalyseerd, maar wordt gefocust op de tweede stormvloedkering. Wel vindt een kwalitatieve analyse plaats van de andere systeemmaatregelen die het plan omvat. Een

kwantitatieve analyse is sowieso niet mogelijk omdat de andere systeemmaatregelen nog niet zijn uitgewerkt. Wel zullen de systeemmaatregelen uit het plan verder worden meegenomen in fase 2 van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging.

In de in 2022 afgeronde beoordelingsronde van de primaire keringen is een flink aantal dijktrajecten afgekeurd. Met het aanleggen van een tweede stormvloedkering kunnen mogelijk nu al dijkversterkingskosten vermeden worden doordat er een lagere hydraulische randvoorwaarde is (hypothese). Dit maakt ook dat de huidige voorkeursstrategie (afsluitbaar-open) langer kan worden volgehouden. Een Hollandkering heeft volgens Samen Sterk daarom vanaf nu een toegevoegde waarde. Wat betreft de kosten is door Samen Sterk een analyse (in termen van kosten) gemaakt tot 1,5 meter zeespiegelstijging. Of de hypothese van Samen sterk klopt, en in welke mate dit baten (of vermeden kosten) oplevert, wordt in deze studie onderzocht.

2.5. Vergelijking huidige voorkeursstrategie Deltaprogramma en een extra stormvloedkering/plan Samen Sterk

Het plan voor een extra stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg kan worden vergeleken met de huidige voorkeursstrategie voor Rijnmond-Drechtsteden. Dat is ook waar de motie over gaat. Voor de huidige voorkeursstrategie zijn in fase 1 van het Kennisprogramma zeespiegelstijging de nodige berekeningen gedaan die goed gebruikt kunnen worden in deze studie.

De bedenkers van het plan Samen Sterk hebben aangegeven dat ze het daarnaast waardevol vinden ook het complete plan, inclusief diverse systeemmaatregelen, te vergelijken met de voorkeursstrategie. Deze onderdelen van het plan van Samen Sterk passen meer bij wat er in fase 2 van het Kennisprogramma nog staat te gebeuren. Dan gaat het bijvoorbeeld over extra pompcapaciteit (optioneel) of berging. In het plan Samen Sterk zijn deze onderdelen nog slechts kwalitatief uitgewerkt.

In onderstaande tabel 2.1 is een overzicht gegeven van de verschillende aspecten van de huidige voorkeursstrategie van het Deltaprogramma (zoals doorgerekend in fase 1 van het Kennisprogramma), de nog door te rekenen plannen en maatregelen in fase 2 van het Kennisprogramma, de Hollandkering (waar de motie over gaat) en het Plan van Samen Sterk.

Tabel 2.1: Huidige voorkeursstrategie van het Deltaprogramma (zoals doorgerekend in fase 1 van het Kennisprogramma), de Hollandkering (waar de motie over gaat), de nog door te rekenen plannen en maatregelen in fase 2 van het kennisprogramma, en het Plan van Samen Sterk. De laatste twee kolommen vallen buiten de scope van deze studie.

	Voorkeursstrategie Deltaprogramma (Kennisprogramma zeespiegelstijging; fase 1)	Hollandkering	Kennisprogramma zeespiegelstijging (fase 2)	Samen Sterk
Doorgerekende zeespiegelstijging	1, 2 en 3 m	Tot 1,5 m; Nog niet gerekend	Tot 3 m; nog niet doorgerekend	Tot 1,5 m; Nog niet gerekend
Faalkans afsluiting Nieuwe Waterweg	1:100	1:5000	1:100	1:5000
Gemaalcapaciteit	Na 2070 te verkleinen	Geen	Na 2070 te verkleinen	Optioneel uit te breiden
Spuicapaciteit Nieuwe Waterweg	Blijft gelijk	Geen	Optioneel uit te breiden	Circa 250 m ³ /s per dm zss
Spuicapaciteit Volkeraksluizen	Blijft gelijk	Blijft gelijk	Optioneel uit te breiden	Optioneel uit te breiden
Berging in Zuidwestelijke delta	Volkerak-Zoommeer	Volkerak-Zoommeer	Optioneel uit te breiden	Optioneel uit te breiden
Nieuwe scheepvaartsluizen	Geen	Geen	Optioneel uit te breiden	Optioneel uit te breiden
Hartelkanaal	Open houden	Open houden	Verschilt per strategie	Open houden
Dijkversterkingskosten	10 miljard € (Contante waarde; prijspeil 2022)	Minder dan VKS (hypothese)	Nader te bepalen	Nader te bepalen
Nevenbaten	Neutraal		Verschilt per strategie	o.a. recreatief medegebruik scheepvaart/haven, minder overlast bij dijkversterkingen
Nevenkosten	Neutraal	Neutraal	Verschilt per strategie	Neutraal

3 Aanpak

3.1. Algemeen

Deze analyse is uitgevoerd met het modelinstrumentarium van de Systeemanalyse Waterveiligheid van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging [RWS, 2023a]. Het modelinstrumentarium sluit aan bij de uitgangspunten van aanpalende beleidsstudies en is een versimpeling van de BOI-systematiek die toegepast wordt bij de landelijke beoordeling van de primaire keringen zoals vastgelegd in de Waterwet.

3.2. Beschrijving referentiesituatie en variant tweede stormvloedkering

De hydraulische belastingen en de vermeden dijkversterkingskosten zijn berekend voor de situatie met een tweede stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg ter hoogte van de Maeslantkering (hierna te noemen "Variant tweede stormvloedkering") ten opzichte van de referentiesituatie.

3.2.1. Referentiesituatie

De referentiesituatie (zie ook hoofdstuk 2) gaat uit van de huidige inrichting van het watersysteem in zichtjaar 2023. Dit betekent dat de stormvloedkeringen in de Rijn-Maasmonding (Maeslantkering, Hartelkering, Hollandse IJsselkering en de Haringvlietsluizen) aanwezig zijn met de huidige dimensies. De Maeslantkering heeft een faalkans van 1/100 per sluitvraag (van elke 100 keer dat de kering zou moeten sluiten, gaat dit één keer niet goed). De Hollandse IJsselkering heeft vanaf 2030 een faalkans van 1/1.500 per sluitvraag. Vanaf 2050 is de beoogde faalkans 1:2000. Het falen van de Haringvlietsluizen is verwaarloosbaar verondersteld (kleine kans en kleine gevolgen).

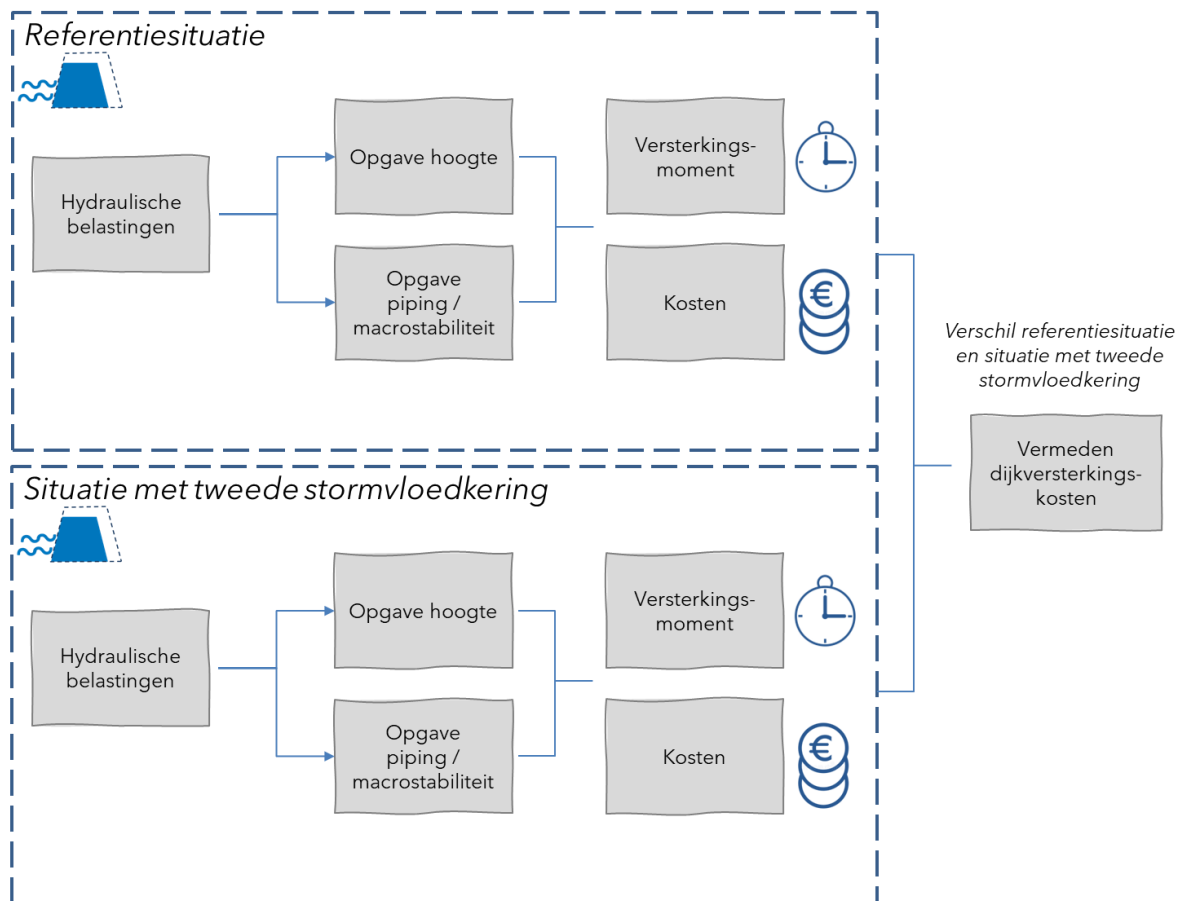
3.2.2. Variant tweede stormvloedkering

De variant met een tweede stormvloedkering" (zie ook hoofdstuk 2) betreft een systeem met twee stormvloedkeringen in de Nieuwe Waterweg ter plaatse van de huidige Maeslantkering, dat in zichtjaar 2050 is gerealiseerd. De twee stormvloedkeringen hebben samen een faalkans van 1/5.000 per sluitvraag. De huidige Maeslantkering blijft bestaan. De tweede stormvloedkering is wat betreft de belangrijkste kenmerken vergelijkbaar met de huidige Maeslantkering. Hierbij is met name de kerende hoogte van belang, waardoor de stormvloedkeringen bij een bepaalde zeespiegelstijging zullen overlopen (bij een zeespiegelstijging van meer dan 1 m wordt dit van belang). Bij de vervanging van de Maeslantkering is overigens hetzelfde uitgangspunt gehanteerd, waardoor er op dit punt geen verschillen zijn.

De schematisatie en betrouwbaarheid van de Hartelkering, Hollandse IJsselkering en de Haringvlietsluizen zijn in de variant met een tweede stormvloedkering gelijk aan die uit de referentiesituatie.

3.3. Gehanteerde methode

De methode zoals die door HKV LJNINWATER is gehanteerd voor het bepalen van de hydraulische belastingen, waterveiligheidsopgave en de kosten-baten bestaat op hoofdlijnen uit de volgende stappen [figuur 3.1; HKV, 2023]:



Figuur 3.1: Schematische weergave van de gehanteerde werkwijze [HKV, 2023].

Voor zowel de referentiesituatie als de variant met een tweede stormvloedkering zijn de volgende stappen gevolgd:

1. Het berekenen van **hydraulische belastingen** voor alle dijken voor zichtjaar 2023, 2050, 2100, 2150 en 2200. Dit resulteert in een waterstand bij de norm (ondergrens), en een hydraulisch belastingniveau bij de norm op vakniveau¹. Voor elk zichtjaar geldt een scenario voor de mate van zeespiegelstijging (van 0,25 m in 2050, 1 m in 2100 en 2 m in 2200; de getallen voor zeespiegelstijging in 2050 en 2100 vormen de bovenrand van de KNMI-klimaatscenario's (GL voor 2050 en WH voor 2100). De KNMI-klimaatscenario's zijn ook gebruikt voor rivierafvoeren en informatie over het sluitpeil van de stormvloedkeringen. De belasting op de waterkeringen (waterstanden en windgolven) volgt uit een set hydraulische databases die zijn gemaakt voor het Kennisprogramma Zeespiegelstijging [HKV, 2022ab].
2. Het berekenen van de **waterveiligheids- en versterkingsopgave voor dijken** voor de faalmechanismen hoogte, piping en macrostabiliteit op basis van het verloop van de hydraulische belastingen tussen 2023 en 2200. De waterveiligheidsopgave geeft het tekort weer in termen van kruinhoogte en de breedte van de waterkeringen (onder andere afmetingen van piping- of stabiliteitsberm). Uit de waterveiligheidsopgave volgen de bijbehorende dijkversterkingskosten die worden uitgedrukt in een nominale waarde en/of contante waarde (versterkingsopgave).

¹ Dit is de doorsnede-eis bij de norm (ondergrens) op vakniveau voor een betreffend faalmechanisme.

3. De **vermeden dijkversterkingskosten** betreffen het verschil tussen de dijkversterkingskosten van de referentiesituatie (de huidige voorkeursstrategie) en die van de situatie met een tweede stormvloedkering.

De hydraulische belastingen en waterveiligheidsopgave staan beschreven in hoofdstuk 5 en 6. De kosten en baten worden gerapporteerd in hoofdstuk 6 en 7. Voor de totale kosten en baten zijn naast de kosten voor dijkversterking ook nog alle overige kosten van belang, bijvoorbeeld de extra investeringen voor de tweede stormvloedkering. Daarnaast kunnen er neveneffecten zijn op bijvoorbeeld scheepvaart, natuur of buitendijks gebied. Deze staan beschreven in hoofdstuk 8. Tot slot zijn nog de ontwerpuitsgangspunten voor een nieuwe Stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg belangrijk. Die staan beschreven in hoofdstuk 9.

4 Uitgangspunten

4.1. Inleiding

De uitgangspunten voor de analyses naar de effectiviteit van de tweede stormvloedkering staan beschreven in het rapport van HKV LIJNINWATER [HKV, 2023]. De gehanteerde uitgangspunten en het modelinstrumentarium sluiten zoveel mogelijk aan bij de Systeemanalyse Waterveiligheid binnen Spoor II van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging [RWS, 2023a]. In dit hoofdstuk zijn de belangrijkste uitgangspunten samengevat. Een meer uitgebreide beschrijving is gegeven in bijlage 4.

4.2. Studiegebied

Binnen de scope van deze studie liggen alle trajecten in het achterland van de huidige Maeslantkering tot aan de IJsselkop en de Pannerdensche Kop. De relevante trajecten betreffen de trajecten waarvoor geldt dat de verbetering van de faalkans van een stormvloedkering ter hoogte van de huidige Maeslantkering invloed heeft op de hydraulische belastingen en daarmee de waterveiligheids- en versterkingsopgave. In figuur 4.1 zijn deze trajecten met de norm (ondergrens) weergegeven. Uit de gevoeligheidsanalyse naar de invloed van de faalkans van de Maeslantkering [HKV, 2023] blijkt dat het effect van een verbetering van de faalkans op de waterstanden afneemt als een locatie verder van de stormvloedkeringen vandaan ligt. Bij de locaties Streefkerk langs de Lek, Werkendam langs de Boven Merwede en Geertruidenberg langs de Amer zijn de effecten van het verkleinen van de faalkans op de waterstanden nagenoeg verdwenen.

De dijktrajecten langs de Hollandsche IJssel (14-1 en 15-3) zijn buiten beschouwing gelaten. In de Systeemanalyse Waterveiligheid van het KP Zeespiegelstijging [RWS, 2023a] is het effect van een verbetering van de faalkans van de huidige Maeslantkering onderzocht. Hieruit is gebleken dat de waterstanden op de Hollandsche IJssel slechts met enkele centimeters worden verlaagd door het verkleinen van de faalkans van de Maeslantkering.



Figuur 4.1: Ondergrensnorm voor de trajecten binnen de scope (<https://waterveiligheidsportaal.nl/>).

4.3. Waterkeringen en bodemdaling

De vermeden dijkversterkingskosten zijn bepaald voor de dijken die onderdeel zijn van de primaire waterkeringen. De vermeden versterkingskosten voor de natte kunstwerken zijn buiten beschouwing gelaten. Deze zijn niet significant ten opzichte van de vermeden kosten van de dijkversterkingen [RWS, 2023a].

De versterkingskosten van kunstwerken maken ongeveer 25 tot 30% uit van de totale versterkingskosten (dijken+kunstwerken). De opgave van de kunstwerken loopt in de loop van de tijd niet heel sterk op omdat ze op een gegeven moment vervangen moeten worden vanwege de (einde) levensduur. De vervangingskosten zijn vervolgens onafhankelijk verondersteld van de te bouwen hoogte. Dat is een onderschatting, maar voor deze studie levert dat geen grote verschillen op omdat het vooral gaat om (een beperkt aantal) locaties die dicht achter de stormvloedkering in de monding van de Nieuwe Waterweg liggen. Daarbij zijn voor de vervangingswaarde de kostenkentallen gehanteerd zoals bepaald door Rijkswaterstaat [RWS, 2023ab].

Voor de geometrie en de sterkte van de dijken en de bodemdaling is volledig aangesloten bij de analyse uit de Systeemanalyse Waterveiligheid van spoor II uit het Kennisprogramma Zeespiegelstijging, deelrapport Rijnmond-Drechtsteden [RWS, 2023a].

4.4. Hydraulische belastingen

4.4.1. Hydraulische databases

De hydraulische belastingen voor de Rijn-Maasmonding en het Rivierengebied zijn berekend met Hydra-NL (v2.8.4 die speciaal geschikt gemaakt is voor het Kennisprogramma). Hiervoor zijn hydraulische databases beschikbaar gesteld uit het Kennisprogramma Zeespiegelstijging [RWS, 2023a]. In deze hydraulische databases zijn de maximale waterstand en de golfcondities opgeslagen die op een willekeurige locatie in de Rijnmaasmonding ontstaan, door een combinatie van een rivierafvoer, een zeewaterstand, een windconditie en een toestand van de stormvloedkeringen (open of dicht).

4.4.2. Zeespiegelstijging per zichtjaar

Hydra-NL koppelt de lokale waterstand en golfcondities uit de hydraulische databases met de statistiek van (de kans van voorkomen van bepaalde) rivierafvoeren, zeewaterstanden, windcondities en toestanden van de stormvloedkeringen. Zodoende kan de kans worden berekend dat bepaalde hydraulische belastingen (als gevolg van lokale waterstanden en golven) optreden. Met andere woorden, door het koppelen van de hydraulische databases met de statistiek berekent Hydra-NL de frequentielijnen voor de waterstand en het hydraulisch belastingniveau (golfoverslag).

Voor de betreffende combinatie van tijdlijn en zichtjaar is in de Hydra-NL berekeningen steeds, naast de keuze voor de database, ook de statistiek aangepast. Dit betreft de zeewaterstandsstatistiek en de afvoerstatistiek voor de Rijn en de Maas. Voor het gemak zijn de gehanteerde uitgangspunten samengevat in tabel 4.1 hieronder.

Tabel 4.1: Overzicht gebruikte hydraulische databases en statistiek [RWS, 2023a] per tijdlijn en zichtjaar.

Zichtjaar	Zeespiegelstijging	Bijbehorende tijdlijn en zichtjaar conform Kennisprogramma Zeespiegelstijging	Hydraulische database			Statistiek	
			Zeespiegelstijging	Aanpassing sluitpeil	Afvoer-verdeling	Zeespiegelstijging	Afvoerstatistiek
2023	5 cm	n.v.t.	5 cm	-	Vast16000	5 cm	Ref2023
2050	25 cm	Extreem, 2050	5 cm	-	Vast16000	25 cm	GL2050
2100	100 cm	n.v.t.	Hydraulische belastingen voor zichtjaren 2100 en 2150 o.b.v. interpolatie van de resultaten uit zichtjaren 2050 en 2200, zodanig dat de zeespiegelstijging in 2100 gelijk is aan 1 m en 1,50 m in 2150.				
2150	150 cm	n.v.t.					
2200	200 cm	Zeer extreem, 2100	200 cm	125 cm	Vast18000	200 cm	WH2100

4.4.3. Sluitpeil

Bij een stijgende zeespiegel gaan de stormvloedkeringen steeds vaker dicht. Als de huidige sluitpeilen gehandhaafd worden, sluit de Oosterscheldekering ongeveer 45 keer per jaar bij 1 meter zeespiegelstijging (nu eens in de twee jaar) en de Maeslantkering zes keer per jaar (nu eens in de 10-20 jaar). Bij een zeespiegelstijging van 2 meter is de Maeslantkering ongeveer wekelijks gesloten. Dat heeft onder meer gevolgen voor natuur en scheepvaart. Om het open karakter van de Nieuwe Waterweg te behouden, moeten de sluitpeilen uiteindelijk omhoog. De stormvloedkeringen gaan dan minder vaak dicht, maar er ontstaat wel meer en vaker wateroverlast in buitendijkse gebieden. Dat kan grote gevolgen hebben, met name in buitendijkse woon- en havengebieden.

Binnen het Kennisprogramma Zeespiegelstijging is er voor gekozen om binnen de huidige voorkeursstrategie ('afsluitbaar-open') uit te gaan van een sluitpeil voor de Maeslantkering dat past bij maximaal tien maal sluiten per jaar. Dit uitgangspunt wordt ook in voorliggende studie gehanteerd. Tot 2100 blijft het sluitpeil gelijk (+ 3,00 m NAP). Naarmate de zeespiegel stijgt, stijgt na 2100 ook het sluitpeil mee. Voor 2200 is gerekend met een zeespiegelstijging van 2 meter, en een sluitpeil van +4,25 m NAP.

4.4.4. Rivierafvoeren.

Rijn: De rivierafvoer is inclusief aftoppen van de Rijnaafvoer (Lobith) bij 22.000 m³/s; Aangenomen is dat bij extremere afvoeren (groter dan 22.000 m³/s) in het Rijnstroomgebied delen van Duitsland overstromen. Maar dat de dijken wel worden

verhoogd ten opzichte van de huidige situatie waarbij het fysisch maximum rond de 18.500 m³/s ligt. Zowel nu als in 2200 wordt er vanuit gegaan dat ook noodmaatregelen als zandzakken worden getroffen. Hierdoor wordt de afvoer die bij Lobith kan optreden gemaximaliseerd.

Maas: De rivierafvoer is zonder aftoppen van de Maasafvoer. De keringen in de Maasvallei zijn als overstroombaar beschouwd en komen overeen met de uitgangspunten van het OI2014. Dit geldt via het gebruik van de statistiek bij Lith alleen voor het Maasgedomineerde deel van de Rijn-Maasmonding (deze is afgeleid op basis van de koppeling tussen Borgharen en Lith waarin deze aanname is verwerkt).

In bijlage 4 zijn nog een aantal andere uitgangspunten beschreven. Die gaan over onder andere de gehanteerde faalkansen van stormvloedkeringen, de gehanteerde databases en enkele onvolkomenheden daarin, rivierafvoerstatistiek, rekeninstellingen van de gebruikte modellen en bergingsgebieden (bergend oppervlak).

4.5. Versterkingskosten

De dijkversterkingskosten zijn berekend volgens de uitgangspunten van de Systeemanalyse Waterveiligheid van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging [RWS, 2023a].

Als versterkingsstrategie wordt de *traditionele versterking met constructieve inpassing* gehanteerd. Binnen deze versterkingsstrategie wordt met een groene oplossing versterkt waar mogelijk (een groene dijk is een traditionele dijk met een grasmatt), maar wordt gekozen voor een constructieve oplossing als er te weinig ruimte is om de dijk te verbreden. Deze strategie is in de Systeemanalyse Waterveiligheid van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging de basisstrategie [RWS, 2023a], omdat deze het beste aansluit bij de uitvoering van versterkingen in de huidige ontwerppraktijk ("business-as-usual"). Constructieve maatregelen (damwand, kwelscherm, etcetera) worden ontworpen met een levensduur van 100 jaar.

In deze studie zijn twee verschillende kostenberekeningen gemaakt:

- Nominale (cumulatieve) dijkversterkingskosten tot en met een bepaald zichtjaar;
- Contante waarde berekening van de dijkversterkingskosten.

Voor de nominale (cumulatieve) dijkversterkingskosten tot en met een bepaald zichtjaar worden de kosten bepaald die tot en met een relevant zichtjaar zijn berekend. Hierbinnen vallen de investeringen voor een bepaald zichtjaar die gedaan worden om 50 jaar vooruit te voldoen aan de norm. Een voorbeeld van een dergelijke berekening is gegeven in het tekstvak hieronder.

Voorbeeld nominale (cumulatieve) dijkversterkingskosten t/m een bepaald zichtjaar

Er 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 miljoen euro en in 2155 een versterking van 1,2 miljoen euro. De nominale kosten betreffen t/m:

- zichtjaar 2050 1,2 miljoen euro,
- zichtjaar 2100 3,8 miljoen euro,
- zichtjaar 2150 3,8 miljoen euro
- zichtjaar 2200 5,0 miljoen euro.

Voor de contante waarde berekening van de dijkversterkingskosten wordt de contante waarde bepaald van de dijkversterkingskosten in de periode 2025-2200. Als discontovoet wordt conform de standaard van de rijksoverheid een waarde van 1,6% gehanteerd (+gevoeligheidsanalyse met 2,25%; [MinFin, 2020]). Voor het prijspeil wordt zichtjaar 2022 gebruikt (inclusief BTW). In onderstaand tekstvak is ook hiervoor een voorbeeldberekening gegeven.

Voorbeeld contante waarde berekening van de dijkversterkingskosten

Er 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 miljoen euro en in 2155 een versterking van 1,2 miljoen euro. De versterkingskosten van 2045 hebben een waarde van $(1,2/(1+0,016)^{20})=0,87$ miljoen euro in 2025. Zie onderstaand de berekening voor alle zichtjaren:

	Kosten [miljoen euro]	Contante waarde in 2025 [miljoen euro]
2045	1,2	$(1,2/(1+0,016)^{20}) = 0,87$
2095	2,6	$(2,6/(1+0,016)^{70}) = 0,86$
2155	1,2	$(1,2/(1+0,016)^{175}) = 0,15$
Restwaarde in 2200	$(1,2/50*(50-(2200-2155))) = 0,12$	$(0,12/(1+0,016)^{175}) = 0,0075$
		TOTAAL: 1,89

Meer informatie over de gehanteerde uitgangspunten bij de kostenberekeningen is te vinden in hoofdstuk 7 en bijlage 4.

5 Hydraulische belastingen en waterveiligheidsopgave

5.1. Inleiding

Voor de twee beschouwde situaties (referentiesituatie en de situatie met de tweede stormvloedkering) zijn de hydraulische belastingen berekend volgens de aanpak uit de rapportage van HKV LIJNINWATER [HKV, 2023]. Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de resultaten. Nadrukkelijk wordt opgemerkt dat alléén het effect van de variant met een tweede stormvloedkering is beschouwd door de faalkans van de huidige Maeslantkering te verkleinen. Deze individuele maatregel is niet bekeken in combinatie met andere maatregelen – zoals extra waterberging in de Zuidwestelijke Delta, of het verbeteren van de kerende hoogte van de huidige Maeslantkering.

In dit hoofdstuk zijn de resultaten beschouwd voor zichtjaar 2100 (waarbij 1 m zeespiegelstijging is gehanteerd) en 2200 (met 2 m zeespiegelstijging).

Voor elk dijkvak zijn de waterstanden en hydraulisch belastingniveaus berekend. De resultaten worden besproken aan de hand van 4 tracés (Figuur 5.1):

1. Maasmond – Arnhem (rood): Nieuwe Waterweg – Nieuwe Maas – Lek;
2. Maasmond – Nijmegen (groen): Calandkanaal – Hartelkanaal – Oude Maas – Beneden Merwede – Boven Merwede – Waal;
3. Haringvlietsluizen – Nijmegen (paars): Haringvliet – Hollands Diep – Nieuwe Merwede – Boven Merwede – Waal;
4. Haringvlietsluizen – Mook (geel): Haringvliet – Hollands Diep – Amer – Bergsche Maas – Maas.



Figuur 5.1: Tracés voor duiding resultaten.

Voorafgaand aan het rekenwerk is voor 20 locaties de gevoeligheid van de resultaten voor de faalkans van de stormvloedkeringen onderzocht. De ruimte tussen faalkans 0 (faalt nooit) en faalkans 1 (faalt altijd) is in 8 waarden van de faalkans verdeeld en het effect van deze faalkansen is doorgerekend voor deze 20 locaties. De uitgevoerde gevoeligheidsanalyse is beschreven in bijlage B van het rapport van HKV [HKV, 2023]. Op basis van deze analyse is het volgende geconcludeerd: voor de zichtjaren 2023 t/m 2200 wordt het maximale effect op de waterstanden rond de ondergrensnorm bereikt met een faalkans van 1/5.000 per sluitvraag van de gecombineerde Hollandkering-Maeslantkering. Verder verkleinen van de faalkans levert nauwelijks meer effect op. Voor een studie naar

de vermeden dijkversterkingskosten door de variant met twee stormvloedkeringen is deze waarde van de 'te realiseren' faalkans daarmee een zinvolle keuze.

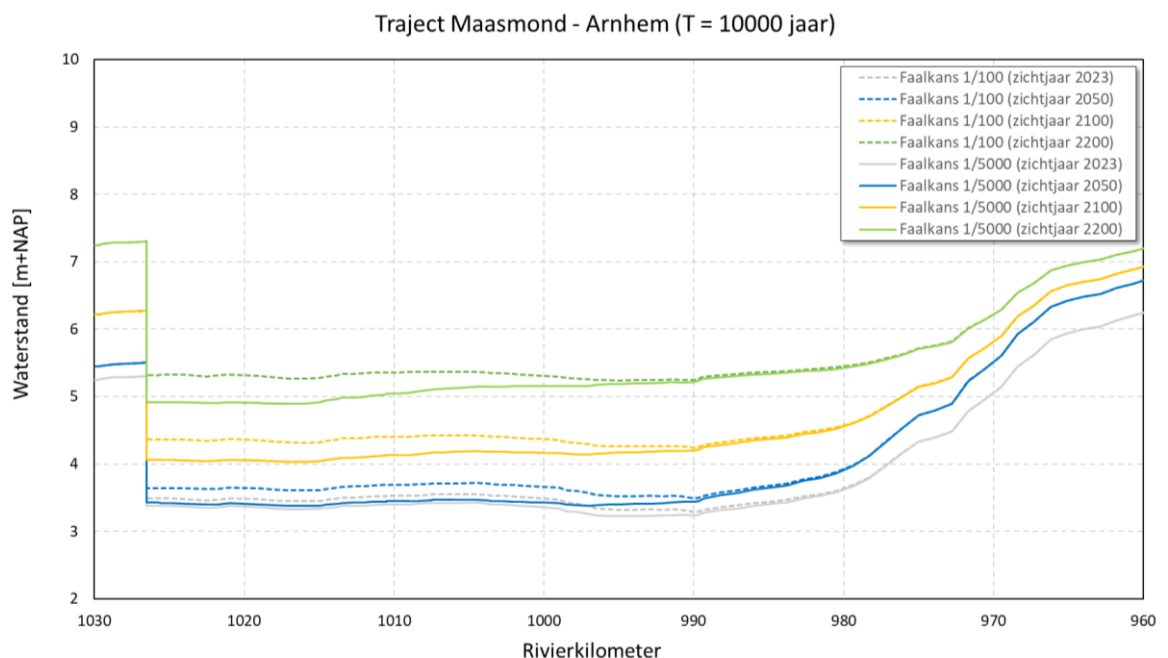
5.2. Resultaten waterstanden

5.2.1. Verloop langs de riviertak voor verschillende zeespiegelstijging

In figuur 5.2 tot en met 5.5 zijn de waterstanden bij een herhalingsstijd van $T = 10.000$ jaar weergegeven voor de 4 tracés uit figuur 5.1. De tweede stormvloedkering heeft nagenoeg geen effect bij terugkeertijden die kleiner zijn dan $T = 3.000$ jaar. Om die reden, gekoppeld met het feit dat de ondergrens voor een aantal van de achterliggende normtrajecten gelijk is aan $1/10.000$ per jaar, worden de resultaten bij een herhalingsstijd van $T = 10.000$ jaar gepresenteerd. De waterstanden voor de referentiesituatie – waarbij de Maeslantkering een faalkans heeft van $1/100^e$ per sluitvraag – is weergegeven met de gestippelde lijn. De waterstanden voor de variant met een tweede stormvloedkering is weergegeven met een doorgetrokken lijn. In het vervolg komt elk van de 4 tracés in wat meer detail aan de orde.

Maasmond tot Arnhem

Op de Nieuwe Maas bij Rotterdam (rivierkilometer 1.000) geeft het verkleinen van de faalkans naar $1/5000$ per sluitvraag een verlaging van de waterstanden van ongeveer 0,10 – 0,15 m in 2023, 0,20 – 0,25 m in 2050 en 0,20 m bij 1 m zeespiegelstijging in 2100 en 0,15 m bij 2 m zeespiegelstijging in 2200; zie figuur 5.2.



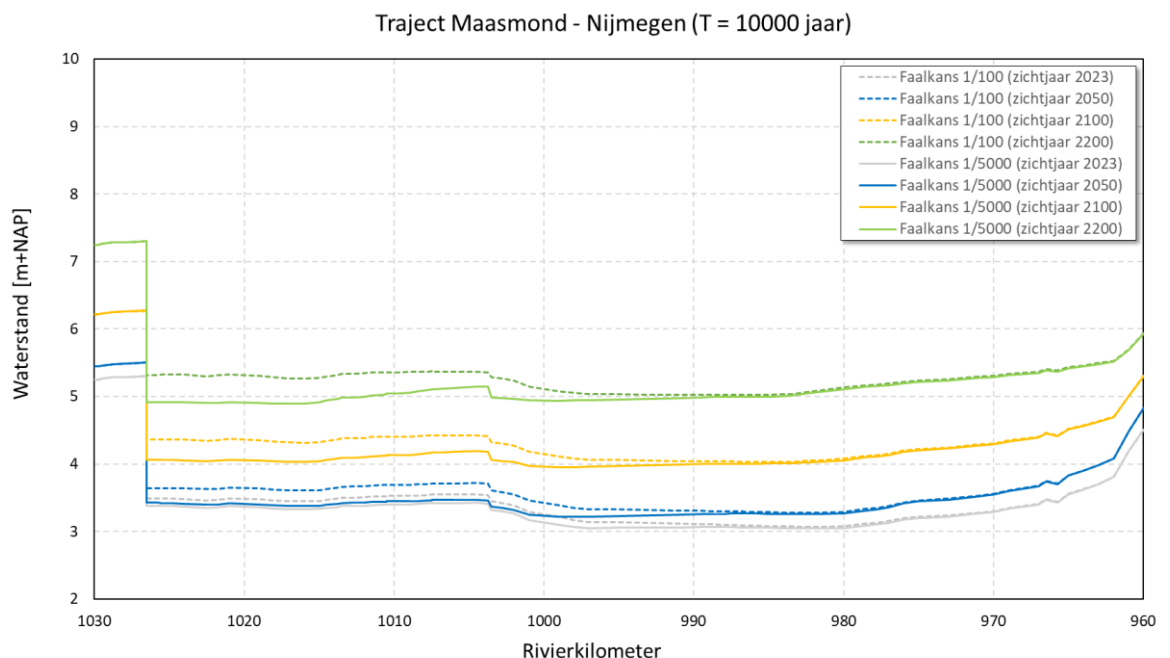
Figuur 5.2: Waterstanden voor referentiesituatie met faalkans Maeslantkering $1/100$ per sluitvraag (gestippelde lijn) en de variant met een tweede stormvloedkering met faalkans $1/5.000$ per sluitvraag (doorgetrokken lijn) voor zichtjaren 2023 (grijs), 2050 (blauw), 2100 (geel) en 2200 (groen) – tracé Maasmond tot Arnhem bij herhalingsstijd $T = 10.000$ jaar.

Dat de verlaging van de waterstanden afneemt tussen 2100 en 2200 heeft naar verwachting te maken met een afname van de ruimte tussen de middenstand van het getij en het sluitpeil (verticale berging, zie ook paragraaf 5.5) en met een toename van de

rivierafvoeren. De waterstanden achter een gesloten Maeslantkering stijgen aanzienlijk, waardoor het verkleinen van de kans op falen van een sluiting een kleiner effect heeft op de waterstanden. De situatie met een gesloten kering (geen falen) wordt daardoor belangrijker en de situatie met een open kering minder belangrijk, waardoor de faalkans minder invloed gaat krijgen op de waterstanden bij de normen waaraan de dijken worden getoetst. Ter hoogte van Krimpen aan de Lek (rivierkilometer 990) heeft de variant met een tweede stormvloedkering een effect van ongeveer 0,05 m ten opzichte van de referentiesituatie. Vanaf het begin van de Lek bij Krimpen aan de Lek tot aan Schoonhoven dempt het effect van de tweede stormvloedkering helemaal uit. Dit sluit aan bij de bevindingen van de Systeemanalyse Waterveiligheid van het KP Zeespiegelstijging waarin is opgemerkt dat vanaf het begin van de Lek de invloed van de zeespiegelstijging op de maatgevende waterstanden begint uit te dempen en de rivierafvoeren steeds belangrijker worden [RWS, 2023a]. Bij dagelijks optredende waterstanden zal er nog steeds invloed zijn van zeespiegelstijging.

Maasmond tot Nijmegen

Op de Oude Maas bij Spijkenisse (rivierkilometer 1.000) geeft de variant met tweede stormvloedkering een verlaging van de waterstanden van ongeveer 0,10 – 0,15 m in 2023 tot 0,15 – 0,20 m in 2050, 2100 en 2200 bij een herhalingstijd van $T = 10.000$ jaar (zie figuur 5.3). Ter hoogte van Barendrecht (rivierkilometer 990) is dit effect nog 0,05 m voor alle zichtjaren en bij Sliedrecht (rivierkilometer 970) is geen verlaging meer te zien.

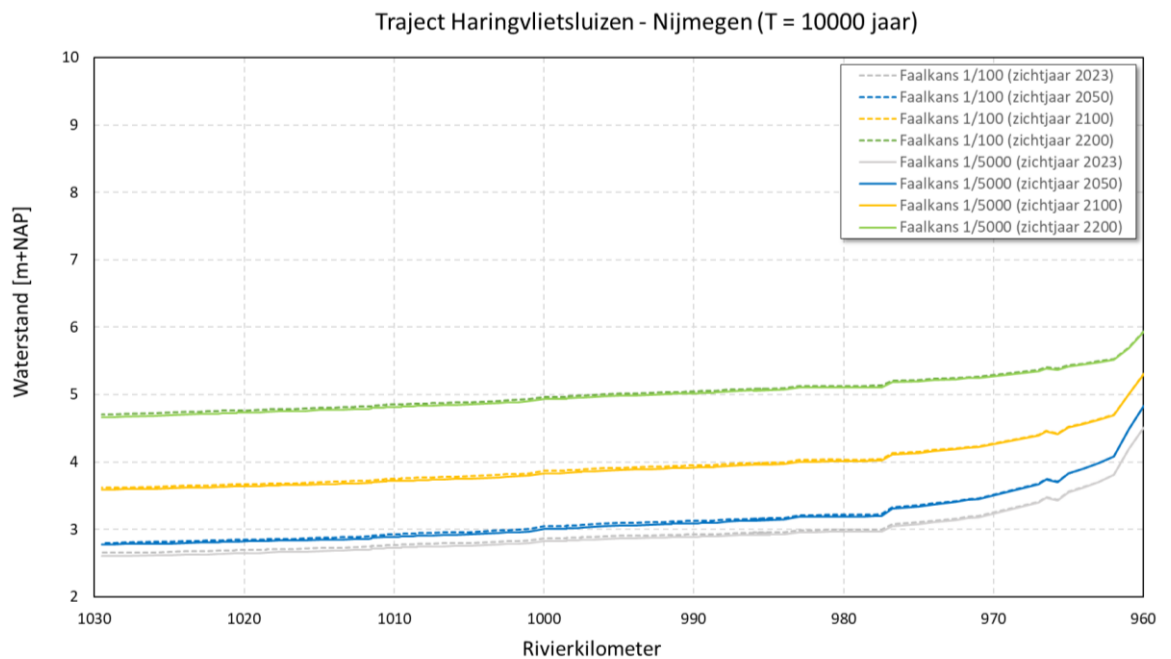


Figuur 5.3: Waterstand voor referentiesituatie met faalkans Maeslantkering 1/100 per sluitvraag (gestippelde lijn) en de variant met een tweede stormvloedkering met faalkans 1/5.000 per sluitvraag (doorgetrokken lijn) voor zichtjaren 2023 (grijs), 2050 (blauw), 2100 (geel) en 2200 (groen) – tracé Maasmond tot Nijmegen bij herhalingstijd $T = 10.000$ jaar.

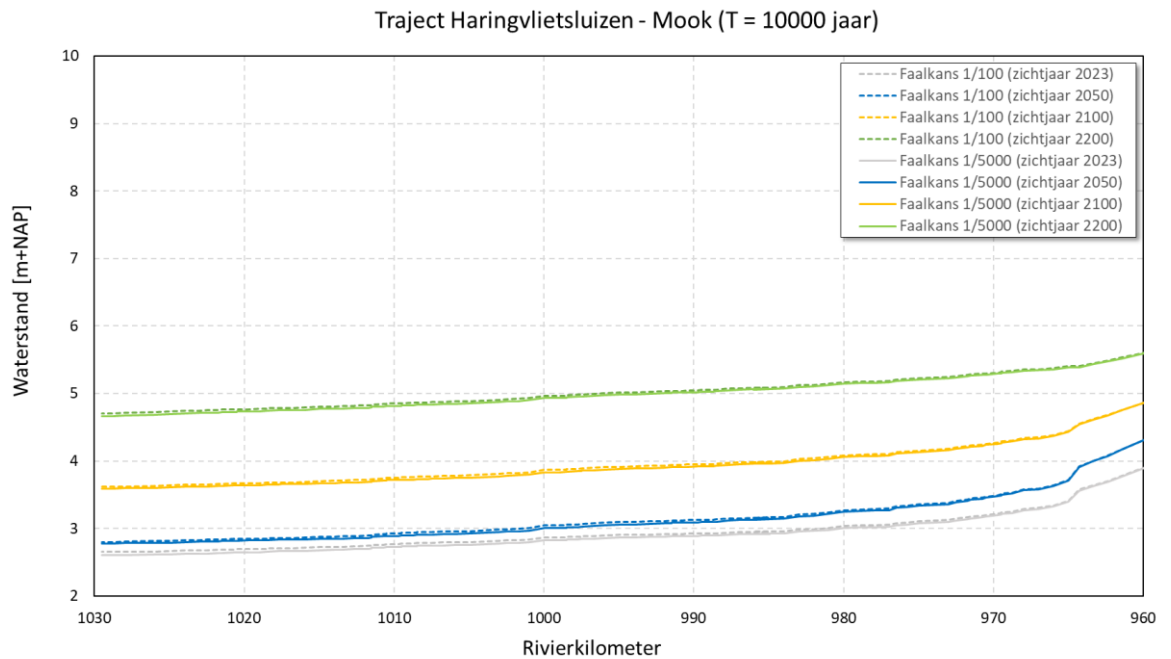
Merk op dat de "sprong" in de lijnen rondom rivierkilometer 1006 puur een visualisatiekwesitie is. De kilometrering van de Oude Maas sluit bij gelijke kilometers niet aan bij de Nieuwe Maas.

Haringvliet tot Nijmegen en Mook

De variant met tweede stormvloedkering heeft vrijwel geen effect op waterstanden langs het tracé van het Haringvliet, Hollands Diep, Nieuwe Merwede tot aan de Waal en de Maas (zie figuur 5.4 en figuur 5.5). Dit wordt veroorzaakt doordat in dit gebied de hoge rivierafvoeren een belangrijke bijdrage hebben aan de waterstand bij een herhalingstijd van $T = 10.000$ jaar. Hier zijn de waterstanden die ontstaan door het falen van de Maeslantkering lager (door een grotere afstand in combinatie met een groot wateroppervlak), waardoor gebeurtenissen met een gesloten kering en een extreme rivierafvoer belangrijker worden. Net als hiervoor besproken, heeft aanpassen van de faalkans daardoor minder invloed op de waterstanden bij terugkeertijden waaraan de dijken worden beoordeeld.



Figuur 5.4: Waterstand voor referentiesituatie met faalkans Maeslantkering 1/100 per sluitvraag (gestippelde lijn) en de variant met een tweede stormvloedkering met faalkans 1/5.000 per sluitvraag (doorgetrokken lijn) voor zichtjaren 2023 (grijs), 2050 (blauw), 2100 (geel) en 2200 (groen) – tracé Haringvlietsluizen tot Nijmegen bij herhalingstijd $T = 10.000$ jaar.

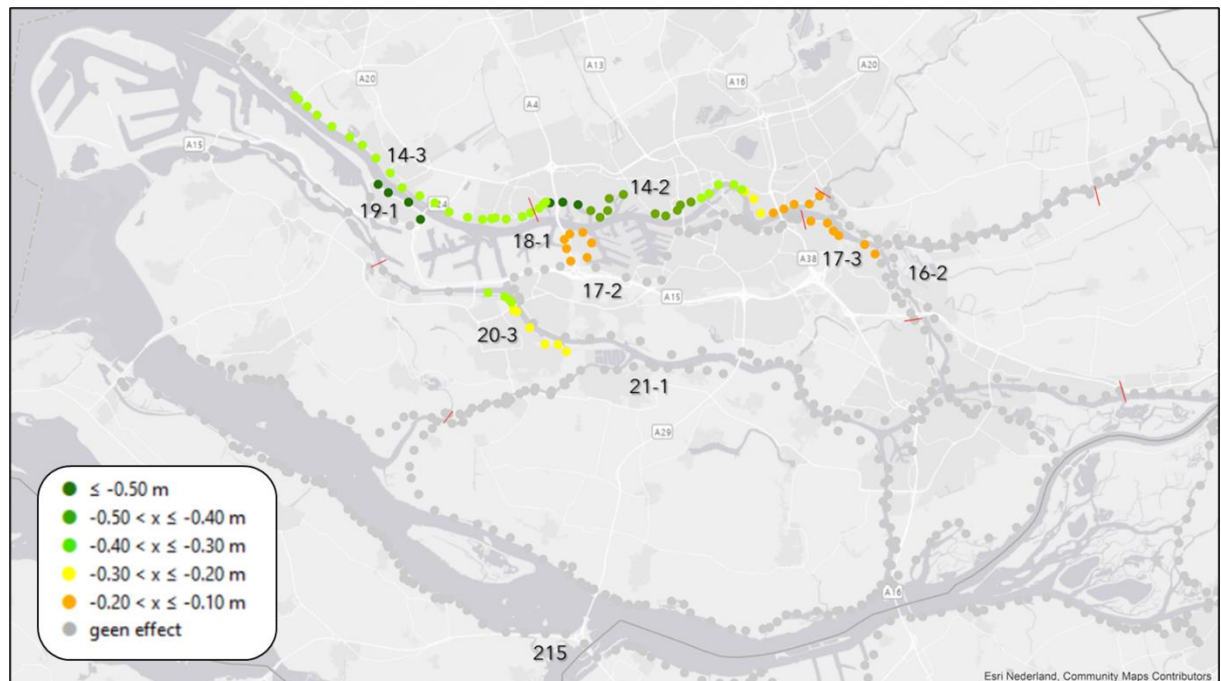


Figuur 5.5: Waterstand voor referentiesituatie met faalkans Maeslantkering 1/100 per sluitvraag (gestippelde lijn) en de variant met een tweede stormvloedkering met faalkans 1/5.000 per sluitvraag (doorgetrokken lijn) voor zichtjaren 2023 (grijs), 2050 (blauw), 2100 (geel) en 2200 (groen) – tracé Haringvlietsluizen tot Mook bij herhalingsstijd T = 10.000 jaar.

5.2.2. Verschillen per locatie voor een zeespiegelstijging van +1 m

In paragraaf 5.2.1 zijn de waterstanden voor 4 verschillende tracés voor een herhalingsstijd van T = 10.000 jaar toegelicht. Het verloop van de waterstanden langs deze tracés laat zien dat de berekende waterstanden een logisch, stabiel beeld geven. Voor het bepalen van de waterveiligheidsopgave en de bijbehorende dijkversterkingskosten is het van belang om inzicht te hebben in de waterstanden bij de norm (ondergrens). Deze norm is verschillend per traject.

In figuur 5.6 is het waterstandsverschil tussen de referentiesituatie en de variant met een tweede stormvloedkering per locatie bij de norm getoond.

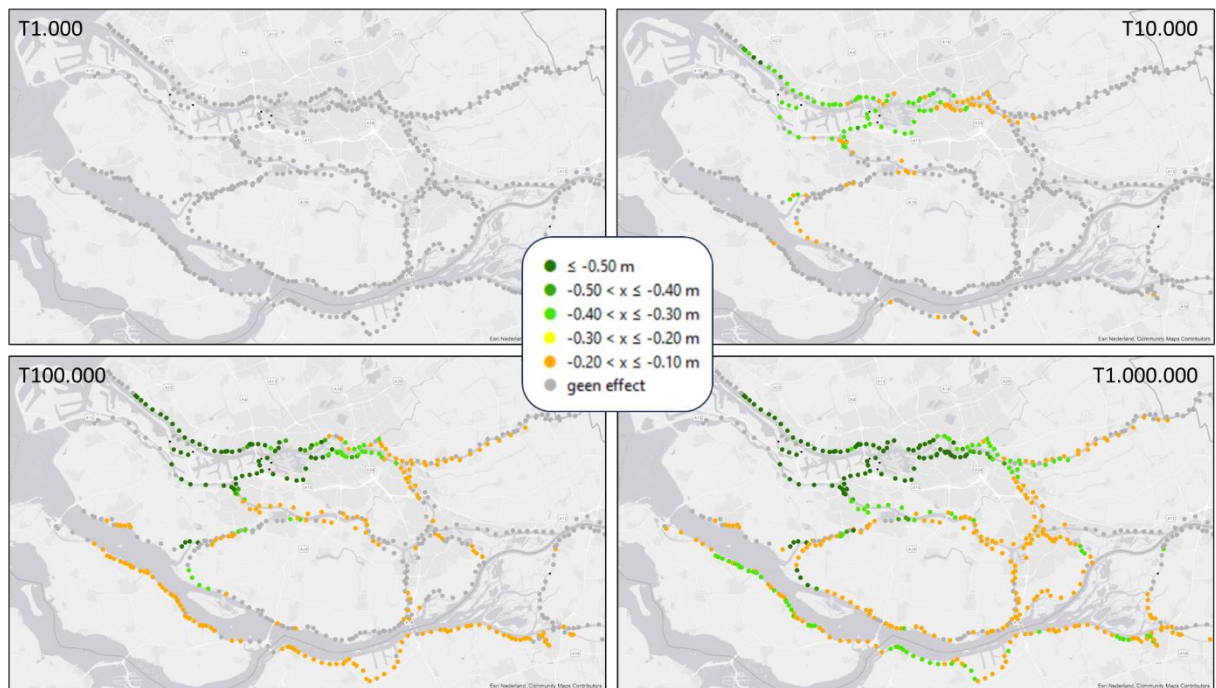


Figuur 5.6: Absoluut verschil in waterstand tussen de referentiesituatie met faalkans Maeslantkering 1/100 per sluitvraag en de variant met een tweede stormvloedkering met faalkans 1/5.000 per sluitvraag voor zichtjaar 2100 bij de norm (ondergrens).

Voor alle grijze bolletjes geldt dat de tweede stormvloedkering bij de norm nauwelijks leidt tot lagere waterstanden ten opzichte van de referentiesituatie (verschillen $< 0,1$ m). Dit heeft verschillende redenen. Een aantal trajecten liggen buitengaats van de huidige Europoortkering (Maeslantkering en Hartelkering), dus daar is geen effect. Daarnaast komt dit door de normhoogte. Zoals eerder opgemerkt heeft de tweede stormvloedkering nagenoeg geen effect bij locaties met een norm van 1/3.000 per jaar of groter. Dit verklaart bijvoorbeeld het verschil tussen traject 14-2 (Rotterdam, noordzijde van de Nieuwe Maas met een norm van 1/30.000 per jaar, waar de bolletjes groen zijn) en het direct daartegenover liggende traject 17-2 (Rotterdam, zuidzijde van de Nieuwe Maas met een norm van 1/1.000 per jaar, waar de bolletjes grijs zijn). Hetzelfde geldt voor het verschil tussen traject 15-2 (Krimpen aan den IJssel, noordzijde Nieuwe Maas met een norm van 1/3.000 jaar, waar de bolletjes grijs zijn) en traject 17-3 (Ridderkerk, zuidzijde Nieuwe Maas met een norm van 1/30.000 jaar, waar de bolletjes oranje zijn).

Tot slot dempt (zoals eerder benoemd) het effect van de tweede stormvloedkering op de hoogwaterstanden uit naarmate de afstand tot de stormvloedkering toeneemt. Dat is bijvoorbeeld te zien op de Oude Maas voor traject 20-3, waar de variant met tweede stormvloedkering nog effect heeft voor de locaties oostwaarts van de Hartelkering, maar waar ter hoogte van het Spui het effect is uitgedempt. Door afname van de ruimte tussen de middenstand van het getij en het sluitpeil (en aanvullend de toename van de rivierafvoer) is voor deze locaties de "open keringsituatie" minder dominant bij toenemende klimaatontwikkeling.

In figuur 5.7 is het waterstandsverschil tussen de referentie en de variant met een tweede stormvloedkering per locatie bij herhalingstijden van $T = 1.000$, 10.000 , 100.000 en $1.000.000$ jaar getoond.



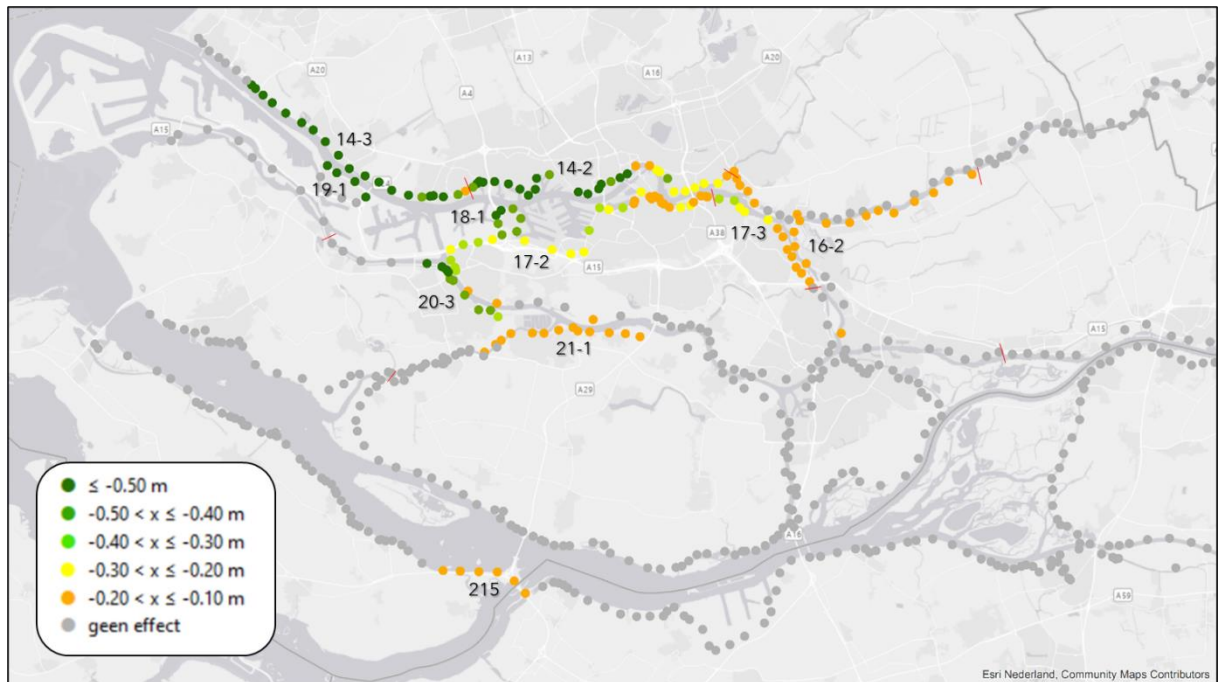
Figuur 5.7: Absoluut verschil in waterstand tussen de referentiesituatie met faalkans Maeslantkering 1/100 per sluitvraag en de variant met een tweede stormvloedkering met faalkans 1/5.000 per sluitvraag voor zichtjaar 2100 voor verschillende herhalingstijden.

Deze figuren geven een goed beeld, zonder dat het verschil in normhoogtes tussen trajecten het beeld vertroebelt. Hieruit blijkt ook dat de tweede stormvloedkering vanaf een herhalingstijd van $T = 100.000$ jaar² effect gaat hebben op de waterstanden langs het Spui, Haringvliet, Hollands Diep tot aan Moerdijk en stroomopwaarts op de Lek tot ongeveer Streefkerk. Bij een extreem grote herhalingstijd van $T = 10^6$ jaar is te zien dat de variant met tweede stormvloedkering verlaging van de waterstanden geeft langs de Noord, rond Dordrecht en langs de Amer tot aan Geertruidenberg.

5.3. Resultaten hydraulisch belastingniveaus

In deze paragraaf is de invloed van de tweede stormvloedkering op het hydraulisch belastingniveau (als maat voor de minimaal benodigde kruinhoogte) toegelicht. Voor de waterveiligheidsopgave is het hydraulisch belastingniveau bij de herhalingstijd behorende bij de faalkanseis voor golfoverslag (faalmechanisme graserosie kruin en binnentalud - GEKB) van belang. Deze herhalingstijd is hoger dan de herhalingstijd bij de norm. Op sommige plekken speelt het overlopen van de kruin door de waterstand een rol. De algemene werking van het watersysteem als geheel (zoals beschreven in paragraaf 5.2) is ook hier de belangrijkste verklaring voor de invloed van de tweede stormvloedkering op de hydraulisch belastingniveaus. In figuur 5.8 is het absolute verschil in hydraulisch belastingniveau bij de faalkanseis getoond.

² Dergelijke grote herhalingstijden zijn relevant voor de eisen op doorsnedeniveau voor verschillende faalmechanismen en komen eigenlijk niet voor als trajectnorm.



Figuur 5.8: Absoluut verschil in hydraulisch belastingniveau tussen de referentiesituatie met faalkans Maeslantkering 1/100 per sluitvraag en de variant met een tweede stormvloedkering met faalkans 1/5.000 per sluitvraag voor zichtjaar 2100 bij de norm (faalkanseis).

In vergelijking met de waterstandsverschillen in figuur 5.6 is wat meer variatie tussen de locaties te zien. Dat heeft te maken met verschillende hoogtes van windgolven tussen de locaties, door de lokale verschillen van onder andere strijklengten van de wind, het dijkprofiel, oriëntatie van de dijk, etcetera. De oriëntatie van de dijk is goed te zien op onder andere de Lek ten oosten van de monding, waarbij de variant met tweede stormvloedkering wel effect heeft op de minimaal benodigde kruinhoogtes aan de zuidzijde (traject 16-2) en geen effect heeft aan de noordzijde (traject 15-2). Hetzelfde geldt voor het verschil tussen de zuidzijde van de Oude Maas (traject 21-1 ter hoogte van Oud-Beijerland), waar de tweede stormvloedkering wel effect heeft op de minimaal benodigde kruinhoogte, en de noordzijde van de Oude Maas (traject 17-1), waar de variant met een tweede stormvloedkering geen effect heeft.

Een ander aspect dat een rol speelt is de hoogte van de norm. Bij een strengere norm is de invloed van het verkleinen van de faalkans over het algemeen groter. Hierdoor heeft de tweede stormvloedkering wel effect op de minimaal benodigde kruinhoogtes bij de Hellegatsdam en de Volkeraksluizen (traject 215), met een norm van 1/10.000 per jaar, en niet op de aangrenzende trajecten langs het Haringvliet en Hollands Diep met een norm van 1/300 per jaar.

Daarnaast zijn de absolute verschillen tussen de hydraulische belastingniveaus bij de faalkanseis gemiddeld genomen iets groter dan tussen de waterstanden. Dat komt voornamelijk doordat de faalkanseis bij de norm voor de minimaal benodigde kruinhoogte een grotere herhalingsstijd heeft dan de herhalingsstijd bij de norm voor de waterstand. De kans op bezwijken bij de norm is opgesplitst in meerdere faalmechanismen, waardoor de faalkanseis per mechanisme strenger is. Ook de vertaling van trajectniveau naar

vakniveau ("lengte-effect") speelt een rol. Vanwege de grotere herhalingstijd die relevant is voor de minimaal benodigde kruinhoogte heeft de variant met tweede stormvloedkering effect op een groter gebied.

5.4. Doorkijk naar resultaten zichtjaar 2200

In deze paragraaf wordt een doorkijk gegeven naar de invloed van de tweede stormvloedkering op de waterstand en het hydraulisch belastingniveau in zichtjaar 2200. Het zeefront wordt in 2200 vaker gesloten dan in 2100. Bij lichtere stormen (kleinere stormopzet) dan in 2100 worden door de hogere zeespiegelstijging de stormvloedkeringen in de Nieuwe Waterweg in principe gesloten. In 2200 neemt de beschikbare (verticale) berging door zeespiegelstijging dankzij een verhoogd sluitpeil verder af en nemen de rivierafvoeren verder toe. Uit de resultaten blijkt dat vlak achter de kering (van de Beerenplaat en Brienoord naar de Maeslantkering) de daling van de waterstand in de berekeningen in de variant met een tweede stormvloedkering ten opzichte van de referentiesituatie groter is. Verder weg van de stormvloedkeringen is het effect van de variant met de tweede stormvloedkering echter kleiner.

In de Rijnmaasmonding ontstaan extreem hoge waterstanden (herhalingstijd groter dan $T = 1.000$ jaar) door hoge rivierafvoeren als de stormvloedkeringen gesloten zijn of bij het falen van de stormvloedkeringen bij een storm op zee. Daar waar de gesloten situatie aanzienlijk bijdraagt aan het overschrijden van de waterstanden (in het overgangsgebied), neemt het effect van de tweede stormvloedkering in 2200 af. Dit is het beeld tot herhalingstijden van $T = 30.000$ jaar. Bij grotere herhalingstijden neemt het effect van de variant in 2200 ten opzichte van 2100 ook op de Nieuwe en Oude Maas (vlak achter de kering) af. Aangenomen wordt dat bij zeer grote herhalingstijden de bijdrage van de gesloten situatie op deze trajecten (storm gedomineerde locaties) groter is. Dit is verder niet onderzocht.

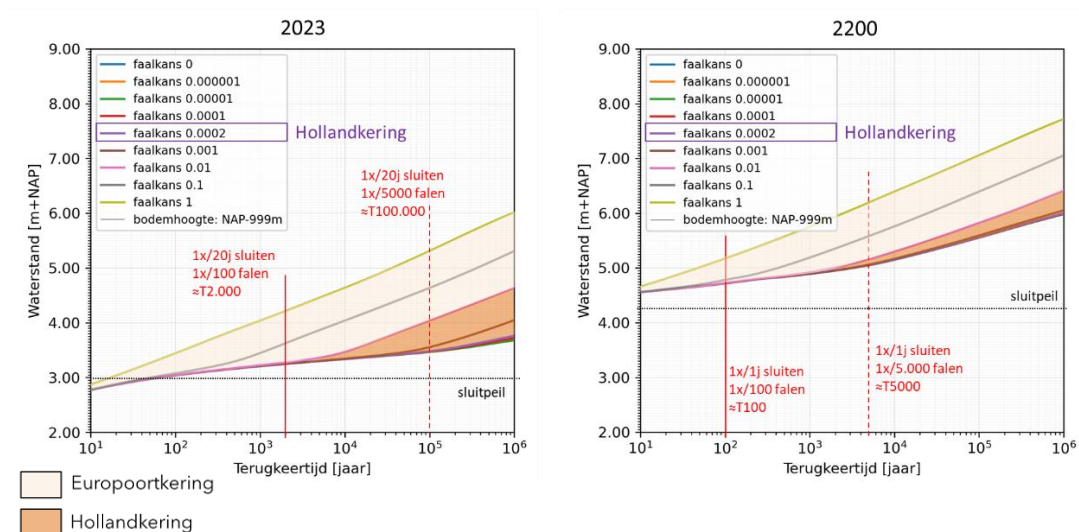
De invloed van de tweede stormvloedkering op het hydraulisch belastingniveau in 2200 is minder eenduidig. De faalkanseis voor het mechanisme 'GEKB' (graserosie kruin binnentalud) is streng, gekeken wordt naar herhalingstijden die vaak groter zijn dan 30.000 jaar. Door de oriëntatie van de dijken is de golfploop langs een normtraject niet constant. Uit de resultaten blijkt dat het effect van de variant met een tweede stormvloedkering in 2200 ten opzichte van 2100 overeenkomt met het effect op de waterstanden bij herhalingstijden groter dan 30.000 jaar. Alhoewel het voor het hydraulisch belastingniveau minder eenduidig is dan voor de berekende waterstanden, kan geconcludeerd worden dat de gesloten situatie meer bijdraagt aan de hoogte bij de herhalingstijden waarop de keringen moeten worden gedimensioneerd.

5.5. Analyse resultaten

Het effect van de tweede stormvloedkering op de hydraulische belastingen is onderzocht voor een faalkans van 1/5.000 per sluitvraag van de combinatie van Hollandkering en Maeslantkering voor verschillende zichtjaren [HKV, 2023].

Effect van de tweede stormvloedkering

Met de informatie in figuur 5.9 kan de effectiviteit van de tweede stormvloedkering geduid worden aan de hand van de waterstandsverschillen bij Rotterdam tussen verschillende faalkansen van een stormvloedkering voor zichtjaar 2023 (links) en 2200 (rechts).



Figuur 5.9: Uitleg waterstand bij Rotterdam voor zichtjaar 2023 (links) en zichtjaar 2200 (rechts) voor verschillende faalkansen van een stormvloedkering.

Rotterdam is illustratief omdat dit een belangrijke locatie is voor de regio en omdat de werking van het watersysteem hier duidelijk door de faalkans wordt beïnvloed. De gele lijn geeft de waterstand bij een faalkans 1 (altijd open situatie, ofwel een falende kering) weer en de blauwe lijn geeft de waterstand bij faalkans 0 (correct functionerende kering) weer. De roze lijn geeft de waterstanden bij de huidige faalkans van de Maeslantkering van 1/100 per sluitvraag weer. De waterstanden bij een faalkans van de variant met een tweede stormvloedkering van 1/5.000 per sluitvraag zijn vrijwel gelijk aan de waterstanden bij faalkans 0. De effectiviteit van de Maeslantkering met faalkans 1/100 per sluitvraag ten opzichte van de open situatie is weergegeven met het lichtoranje vlak. De extra bijdrage van de tweede stormvloedkering met faalkans 1/5.000 per sluitvraag ten opzichte van de Maeslantkering is weergegeven met het donkeroranje vlak.

Uit figuur 5.9 blijkt voor locatie Rotterdam dat:

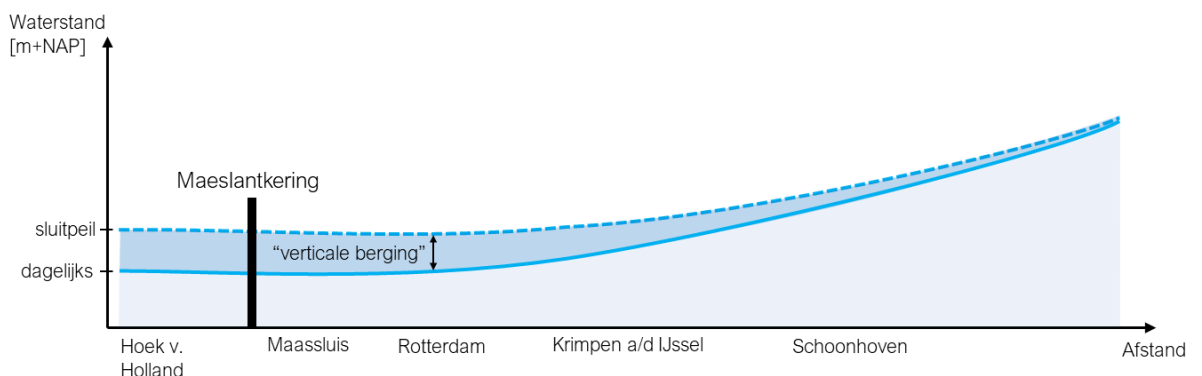
- de waterstanden bij faalkans 0 (feitelijk betekent dit géén stormvloedkeringen) met ongeveer 1,8 m zouden toenemen in 2200 ten opzichte van 2023. Dit wordt veroorzaakt door een afname van de ruimte tussen de middenstand van het getij en het sluitpeil (verticale berging, zie ook figuur 5.10) en een toename van de rivierafvoeren.
- de variant met tweede stormvloedkering zorgt voor een extra afname van de waterstanden vanaf een herhalingstijd van ongeveer $T = 5.000$ jaar voor zowel zichtjaar 2023 als 2200.
- de afname van de waterstanden door de Maeslantkering met faalkans 1/100 per sluitvraag ten opzichte van de situatie zonder Maeslantkering is groter dan de extra bijdrage van de tweede stormvloedkering met faalkans 1/5.000 per sluitvraag ten opzichte van de situatie met Maeslantkering (verschil tussen lichtoranje en donkeroranje vlak in de grafiek). Dit geldt zowel voor zichtjaar 2023 als 2200.
- de bijdrage van de Maeslantkering aan het verlagen van de waterstanden blijft ongeveer gelijk in 2200 ten opzichte van 2023. Het verder verkleinen van de faalkans met de tweede stormvloedkering zorgt voor een minder grote waterstandsreductie in 2200 dan in 2100. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de effectiviteit van de

tweede stormvloedkering (qua reduceren van waterstanden) in 2200 bij Rotterdam minder groot is dan in 2100, tenzij de dijken verder worden verhoogd.

Toename hydraulische belastingen tussen 2023 en 2200 (zonder tweede stormvloedkering)

De verschillen in hydraulische belastingen tussen zichtjaren 2023 tot en met 2200 worden verklaard door zeespiegelstijging, toename van de rivierafvoer, verhoging van het sluitpeil en de (dominante) toestand van de stormvloedkeringen en hangen ook samen met de dijkoriëntatie. Bij eenzelfde faalkans van de stormvloedkeringen zullen de waterstanden bij de norm tussen 2023 en 2200 daarom toenemen. Door klimaatverandering komen hogere zeewaterstanden en rivierafvoeren vaker voor. Door de hogere zeewaterstanden moeten de stormvloedkeringen vaker dicht (bij een storm). Door het falen van de stormvloedkeringen zullen hogere waterstanden in het achterliggend gebied vaker optreden. Daar komt nog bij dat op een aantal locaties door bodemdaling de kruinhoogte van dijken lager wordt.

Als de stormvloedkeringen altijd correct sluiten, zullen de waterstanden in het achterliggende gebied ook toenemen door een stijgende zeespiegel en de toename van de rivierafvoer. Er is daardoor minder ruimte in de delta om de toegenomen rivierafvoeren tijdens een storm achter een gesloten Maeslantkering op te vangen, tenzij de dijken verhoogd worden.



Figuur 5.10: Toelichting bij het begrip "verticale berging" en de invloed van het sluitpeil daarop.

In de referentiesituatie zal de Maeslantkering gemiddeld genomen in 2023 1x per 18 jaar sluiten en dit neemt richting 2200 toe naar 5x per 4 jaar (met de in deze studie en het Kennisprogramma Zeespiegelstijging gehanteerde verhoging van het sluitpeil). Door het sluitpeil te verhogen hoeven de stormvloedkeringen (bij eenzelfde zichtjaar / klimaat-scenario) minder vaak te sluiten en neemt de ruimte tussen het sluitpeil en de middenstand van het getij ("verticale berging") toe. Deze ruimte speelt een belangrijke rol bij het kunnen opvangen van hoge rivierafvoeren.

Toename hydraulische belastingen tussen 2023 en 2200 (met tweede stormvloedkering)

De tweede stormvloedkering leidt met name tot lagere waterstanden vanaf een herhalingstijd van $T = 10.000$ jaar (zie paragraaf 5.2). Bij vaker voorkomende gebeurtenissen dan eens in de 10.000 jaar zijn de waterstandsverschillen tussen de referentiesituatie en de situatie met een tweede stormvloedkering klein (maximaal 0,05 m). Dit betekent dat de tweede stormvloedkering vrijwel geen effect heeft op de waterveiligheidsopgave voor piping en macrostabiliteit met een norm (ondergrens) van 1/3.000 per jaar. Voor trajecten met een herhalingstijd groter dan $T = 10.000$ jaar zullen de absolute waterstandsverschillen iets toenemen.

Bij de norm (ondergrens) heeft de tweede stormvloedkering met name effect op de locaties direct achter de huidige Maeslantkering, waarbij de norm 1/10.000 per jaar of strenger is. De variant met tweede stormvloedkering heeft geen effect op de waterstanden voor locaties en trajecten met een norm 1/3.000 jaar of lager. Bij de trajectnorm is het effect van de tweede stormvloedkering verdwenen op de Lek ter hoogte van Krimpen aan den IJssel en op de Oude Maas ter hoogte van het Spui, Haringvliet en Hollands Diep.

Voor de hydraulisch belastingniveaus is berekend dat de tweede stormvloedkering invloed heeft op een groter deel van het gebied dan bij de waterstanden het geval was (zie paragraaf 5.3). Dit komt voornamelijk doordat de minimaal benodigde kruinhoogte bij grotere herhalingstijden (relevante faalkanseis) bepalend is voor de waterveiligheidsopgave. Daarnaast speelt golfaanval een belangrijke rol, waardoor de tweede stormvloedkering meer invloed heeft op de dijken met een ongunstigere oriëntatie en langere strijklengten.

Kanttekening bij de hydraulische resultaten

Zoals in hoofdstuk 4 is aangegeven, zijn in de gehanteerde databases enkele onregelmatigheden geconstateerd rondom het sluitgedrag van de stormvloedkeringen. Dat is naar voren gekomen doordat bij combinaties van een extreme zeewaterstand ($T = 1000$ jaar) en een verhoogde rivierafvoer ($T = 10$ jaar) de open keringtoestand een grote bijdrage heeft gekregen. Na verder zoeken blijkt dat in sommige combinaties de stormvloedkering open blijft staan, terwijl de stormvloedkering gesloten zou moeten zijn. Dit leidt op basis van een eerste grove inschatting tot waterstanden die orde één tot enkele decimeters hoger liggen in berekeningen met een gesloten kering op enkele trajecten direct achter de kering. Omdat in de situatie met een tweede stormvloedkering de bijdrage van de gesloten keringtoestand belangrijker is dan in de situatie met één stormvloedkering, valt een onderschatting te verwachten van het effect van de hydraulische belastingen door de tweede stormvloedkering (zie ook [HKV, 2023]). De doorwerking van dit effect op de uiteindelijke conclusies in termen van kosten zijn waarschijnlijk minimaal (zie voor een toelichting paragraaf 7.10).

6 Waterveiligheidsopgave

6.1. Inleiding

Op basis van de in het voorgaande hoofdstuk beschreven hydraulische belastingen en de effecten op de huidige sterkte- en hoogteopgave van de dijken voor de referentiesituatie en de situatie met tweede stormvloedkering volgt het totale effect op de waterveiligheidsopgave voor de dijken in het achterliggende gebied. In dit hoofdstuk zijn de resultaten voor de waterveiligheidsopgave samengevat zoals onderzocht door HKV [LIJNINWATER \[HKV, 2023\]](#)

In dit hoofdstuk zijn allereerst de resultaten beschouwd voor zichtjaar 2100 (waarbij 1 m zeespiegelstijging is gehanteerd). Vervolgens is de doorkijk naar 2200 beschreven.

Een tweede stormvloedkering kan voor verschillende locaties in het achterliggend gebied leiden tot lagere hydraulische belastingen en daardoor een afname van de waterveiligheidsopgave. Dit betekent dat de omvang van de dijkversterkingen kleiner is en/of dat een dijkversterking pas later in de tijd nodig is.

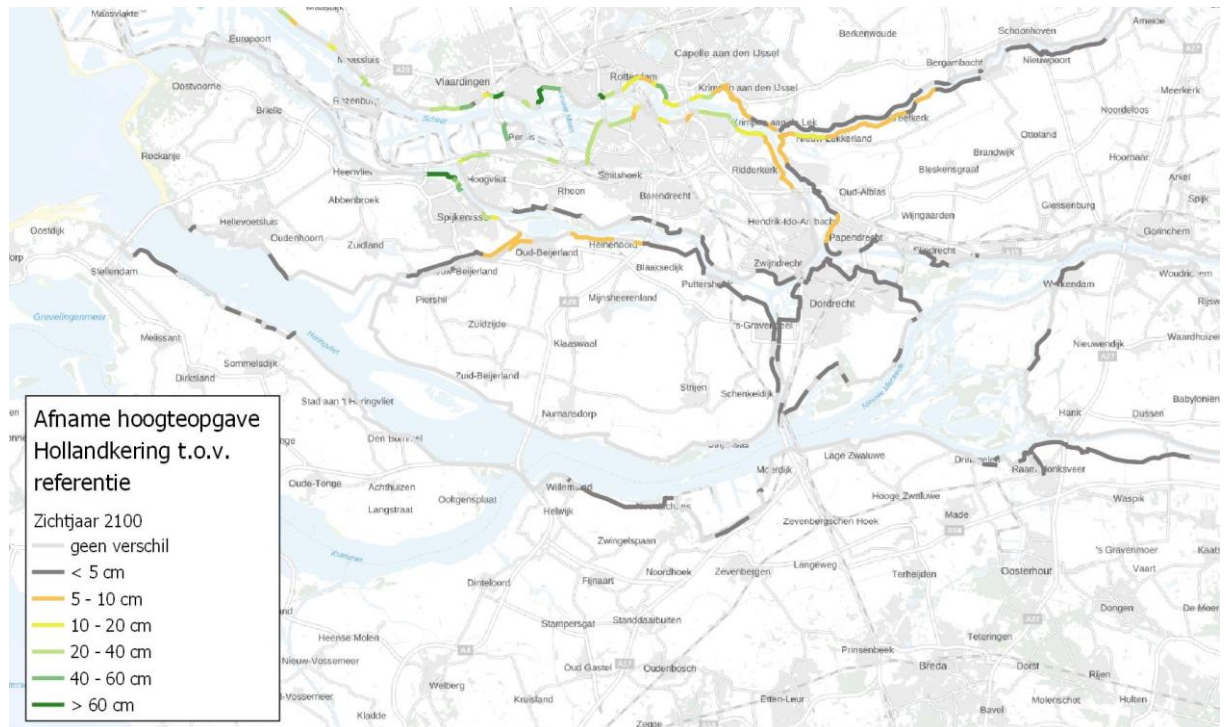
6.2. Resultaten waterveiligheidsopgave

De waterveiligheidsopgave is de totale opgave (hoogte- en sterktetekort) van dijken en dammen die niet voldoen aan de (ondergrens)norm in een bepaald zichtjaar. De hoogteopgave wordt bepaald op basis van het faalmechanisme voor golfoverslag (grasbekleding, erosie, kruin en binnentalud) en overloop. De sterkteopgave wordt bepaald door de faalmechanismen piping en macrostabiliteit binnenwaarts. De methode en bijbehorende uitgangspunten staan beschreven in hoofdstuk 3 en 4.

De waterveiligheidsopgave is voor elk dijkvak langs een traject berekend. De waterveiligheidsopgave is hier per traject gepresenteerd. Hierbij zijn drie belangrijke opmerkingen:

- de tweede stormvloedkering heeft voor trajecten met een ondergrensnorm van 1/3.000 per jaar of groter (minder strenge norm) geen effect op de waterstanden. Voor zichtjaar 2100 (bij 1 m zeespiegelstijging) geldt dit bijvoorbeeld voor normtrajecten 15-2, 18-1, 17-1, 17-2 en 21-1. Daardoor wordt de sterkteopgave voor deze normtrajecten niet beïnvloed door de aanwezigheid van de tweede stormvloedkering. Voor deze normtrajecten heeft de tweede stormvloedkering (voor een deel van de locaties langs een traject) wél invloed op het hydraulisch belastingniveau en daarmee op de hoogteopgave, maar beperkt (vooral 14-2, 14-3 en 18-1 en in wat mindere mate 17-2 en 17-3). Doordat de sterkteopgave niet wordt beïnvloed en de invloed op de hoogteopgave klein is, nemen de dijkversterkingskosten tot en met zichtjaar 2100 vrijwel niet af.
- de tweede stormvloedkering leidt voor sommige trajecten slechts voor een gedeelte van het traject tot lagere waterstanden en/of hydraulische belastingniveaus. Dit is afhankelijk van het zichtjaar en geeft soms een kleinere dijkversterkingsopgave als er geen resthoogte aanwezig is. Voor zichtjaar 2100 (bij 1 m zeespiegelstijging) geldt dit bijvoorbeeld voor normtrajecten 15-2, 16-2, 19-1, 20-3 en 21-1.
- de tweede stormvloedkering heeft geen effect op de hoogteopgave die ontstaat door bodemdaling en de toename van de rivierafvoeren.

In figuur 6.1 is de afname van de hoogteopgave per dijkvak in zichtjaar 2100 getoond.



Figuur 6.1: Absoluut verschil in hoogteopgave tussen de referentiesituatie met faalkans Maeslantkering 1/100 per sluitvraag en situatie met faalkans Maeslantkering 1/5.000 per sluitvraag voor zichtjaar 2100 bij de norm (faalkanseis).

Voor de dijkvakken met een lichtgrijze kleur geldt dat er geen afname is van de hoogteopgave. Dit kan ook betekenen dat er in de referentiesituatie geen hoogteopgave is. Zodoende is er ook geen opgave te reduceren. Dit geldt voor een aantal vakken langs de Nieuwe Maas tussen de tweede stormvloedkering en Rotterdam, waar wel te verwachten zou zijn dat de situatie met een tweede stormvloedkering leidt tot een afname van de hoogteopgave. Ondanks dat een dijkversterking in dit soort situaties niet nodig is, betekent een lagere hydraulische belasting wel een lagere overstromingskans, en daarmee een lager risico. Dit effect is nu niet meegenomen omdat het slechts op een beperkt aantal dijktrajecten speelt. Voor dijkvakken met een donkergrijze kleur geldt dat het verschil zeer beperkt is (minder dan 0,05 m). De normtrajecten waar de afname het grootste is, betreffen de trajecten 14-2, 14-3, 17-2 en 17-3. Op basis van de hydraulische belastingniveaus uit hoofdstuk 5 (figuur 5.8) lijkt ook normtraject 18-1 van belang voor de reductie van de hoogteopgave, maar voor een deel van dit traject is sprake van overhoogte, waardoor dit in de reductie van de hoogteopgave niet opvalt. Dit zijn de trajecten vlak achter de stormvloedkeringen. Verder is in figuur 6.1 te zien dat voor de meeste trajecten maar gedeeltelijk een afname van de hoogteopgave wordt berekend. Naast de situatie in 2100 zijn er ook berekeningen gemaakt voor het jaar 2050 en 2200. Hiervoor zijn geen kaarten gemaakt. Voor 2050 is er nauwelijks sprake van een hoogteopgave. Voor 2200 geldt dat de normtrajecten waar dijkverhogingen van een halve meter of meer spelen vergelijkbaar zijn met die in 2100. Op traject 14-3 zijn er 12 dijkvakken waar een hoogteopgave is in 2200 van 50 tot 75 cm, 5 dijkvakken waar een hoogteopgave speelt van 75 cm tot een meter, en op twee dijkvakken zelfs orde grootte 1,70 meter.

Piping en Macrostabieleit

De afname van de sterkteopgave voor piping en macrostabieleit is beperkt en hiervoor zijn geen kaarten gemaakt. Tot zichtjaar 2100 wordt een afname van de sterkteopgave voor maximaal 15% van het aantal beschouwde dijkvakken berekend. De belangrijkste redenen hier zijn dat de situatie met een tweede stormvloedkering alleen tot lagere waterstanden leidt voor trajecten met een norm van 1/10.000 per jaar of strenger binnen het invloedsgebied en dat de piping- en macrostabieleitsopgave minder gevoelig is voor variaties in de waterstand die beperkt blijven tot een paar decimeter.

6.3. Analyse resultaten

Het effect van een tweede stormvloedkering is allereerst terug te zien in het effect ervan op de hydraulische belastingen. Direct achter de stormvloedkering is dat effect goed terug te zien. Het waterstandsverlagende effect dempt uit naarmate een locatie verder van de stormvloedkering ligt en is nagenoeg volledig verdwenen bij Streefkerk op de Lek, Barendrecht op de Oude Maas en op het Spui.

De tweede stormvloedkering heeft met name effect op de hoogteopgave, door een daling in de hydraulische belastingniveaus. De sterkteopgave is minder gevoelig voor variaties in de waterstand, waardoor het effect van een tweede stormvloedkering op piping en macrostabieleit minder is.

De verschillen tussen de referentiesituatie en de situatie met een tweede stormvloedkering tot 2100 zijn beperkt. Voor veel trajecten geldt dat met name de sterkteopgave tot 2100 de dijkversterkingsopgave bepaalt. En juist daarop heeft een tweede stormvloedkering relatief weinig effect.

Verder valt op dat er geen grote verschillen zitten in versterking in grond ('groene oplossingen') en constructieve oplossingen. In onderstaande tabel zijn deze resultaten samengevat.

Tabel 6.1: Dijkversterkingen in groen (met grond) ten opzichte van de totale dijkversterkingen die tot een bepaald zichtjaar nodig zijn

	Referentiesituatie			Situatie HK	
	Totale km's	Km's in groen		Totale km's	Km's in groen
2050	798	21.6		790	23.8
2100	923	42.6		909	42.1
2150	980	49.4		975	54.6
2200	1000	46.3		993	38.5

In de situatie met Hollandkering is er in totaal per periode iets minder dijkversterking nodig zijn. Dat varieert tussen de 5 en 14 km op een totaal van 800 tot 1000 km. In de eerste tijdsperiodes is er in de variant met Hollandkering sprake van iets meer dijkversterkingen in groen (0,5 tot 5 km per periode). In de laatste periode zijn in de variant zonder Hollandkering de meeste groene oplossingen zichtbaar, al scheelt het ook hier niet veel (8 km).

7 Kosten van infrastructurele maatregelen

7.1. Inleiding

Op basis van de in het vorige hoofdstuk beschreven waterveiligheidsopgave kan worden bepaald wat de bijbehorende (vermeden) dijkversterkingskosten zijn. In dit hoofdstuk zijn deze resultaten samengevat zoals onderzocht door HKV LIJNINWATER en bureau De Waterwerkers [HKV, 2023; De Waterwerkers, 2023].

Net als in het vorige hoofdstuk worden allereerst de resultaten beschreven voor zichtjaar 2100 (waarbij 1 m zeespiegelstijging is gehanteerd). Daarna wordt de doorkijk naar 2200 beschreven.

Een tweede stormvloedkering kan voor verschillende locaties in het achterliggend gebied leiden tot een afname van de waterveiligheidsopgave. Dit betekent dat de omvang van de dijkversterkingen kleiner is en/of dat een dijkversterking pas later in de tijd nodig is. Dit leidt tevens tot lagere dijkversterkingskosten. Het verschil tussen de dijkversterkingskosten in de referentiesituatie en de situatie met de tweede stormvloedkering zijn de vermeden dijkversterkingskosten door het effect van de tweede stormvloedkering. De dijkversterkingskosten tot en met zichtjaar 2200 worden uitgedrukt in:

- Nominale (cumulatieve) dijkversterkingskosten (zonder discontering); en
- Contante waarde dijkversterkingskosten (met discontering).

Daarbij worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

Algemene uitgangspunten

Prijspeil	2022, inclusief BTW
Rekenperiode	2025-2200
Discontovoet	1,6% per jaar; gevoeligheidsanalyse 2,25% per jaar.

Dijkversterkingen

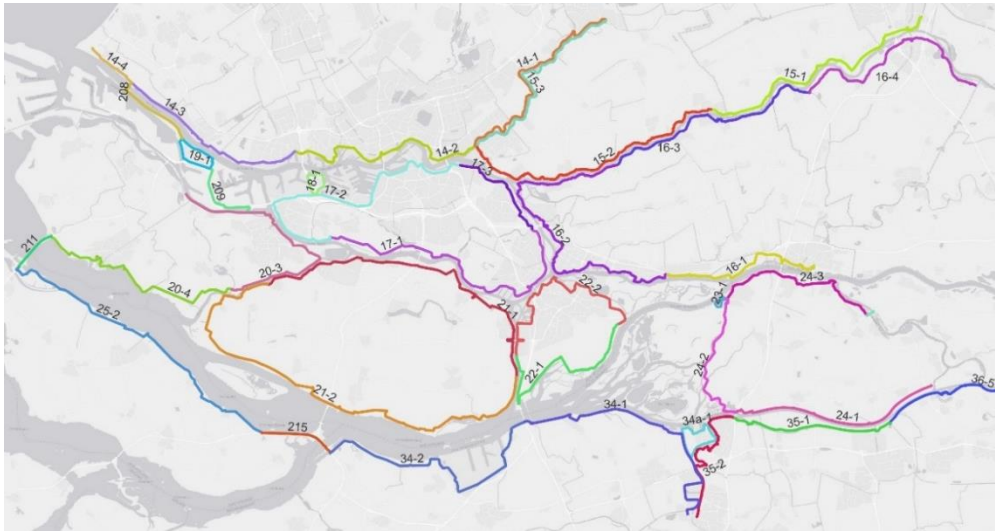
Zichtjaar dijkversterkingen en restwaarde.	50 jaar (conform Okader). Voor constructieve maatregelen wordt 100 jaar gerekend. Voor dijkversterkingen die in het tijdvak 2155-2200 gedaan worden, wordt in 2200 een restwaarde berekend op basis van levensduur van 50 jaar.
Beheer en onderhoud	Aangenomen wordt dat een dijkversterking leidt tot extra beheer en onderhoudskosten van 0,2% per jaar van de cumulatieve investeringen in dijkversterking ³ .

7.2. Resultaten (cumulatieve) nominale dijkversterkingskosten

De vermeden (cumulatieve) nominale investeringskosten door de aanleg van een tweede stormvloedkering zijn de besparingen doordat de versterkingsopgave – om te voldoen aan de norm in een bepaald zichtjaar – minder groot is, of doordat een versterking later uitgevoerd kan worden.

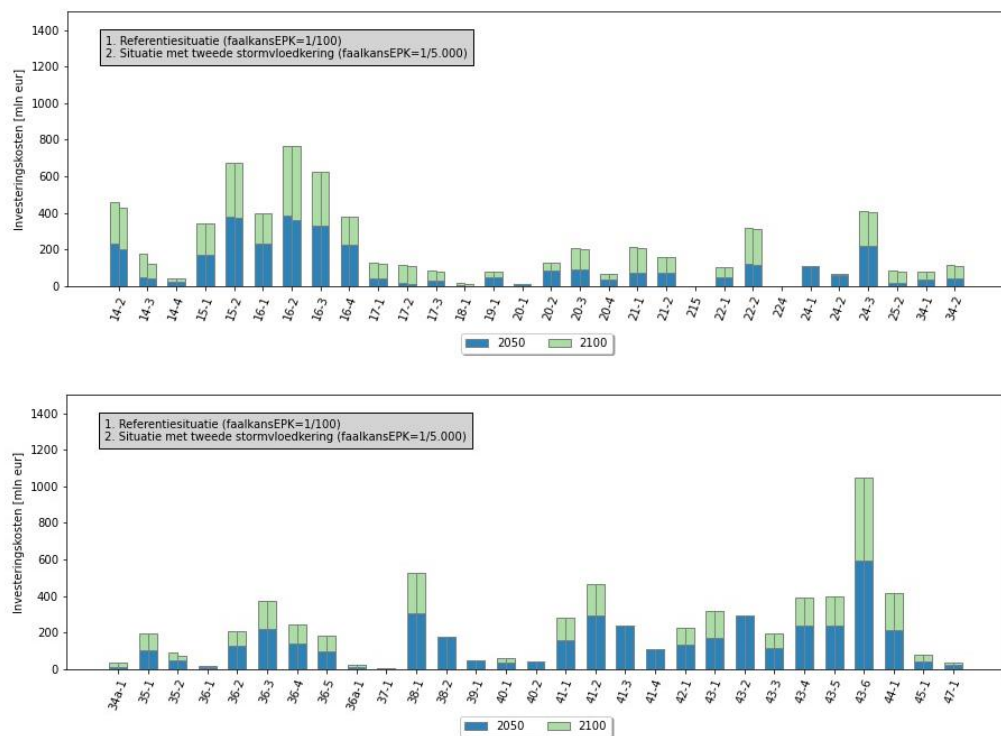
Figuur 7.1 geeft de dijktrajecten weer die zijn onderzocht.

³ 0,2% is de standaard bij dijkversterkingen, o.a. bij het Hoogwaterbeschermingsprogramma



Figuur 7.1: Dijktrajecten die zijn onderzocht.

In figuur 7.2 zijn de (cumulatieve) nominale dijkversterkingskosten per traject weergegeven voor de referentiesituatie (1) en voor de variant met tweede stormvloedkering (2). De optelsom van de verschillen per normtraject zijn de te besparen dijkversterkingskosten door de aanwezigheid van een tweede stormvloedkering.



Figuur 7.2: Cumulatieve nominale dijkversterkingskosten per normtraject voor de referentiesituatie met faalkans Maeslantkering 1/100 per sluitvraag en situatie met faalkans Maeslantkering 1/5.000 per sluitvraag tot en met zichtjaar 2100. De kosten zijn niet gecorrigeerd voor de restwaarde na een bepaald zichtjaar.

Te zien is dat besparingen optreden door een tweede stormvloedkering voor diverse trajecten, maar dat deze minimaal zijn. Het gaat om een bedrag van ongeveer 150 miljoen euro op een totaal (cumulatief) nominaal bedrag van 13 miljard euro tot 2100. De trajecten 14-2 en 14-3 (gelegen direct achter de stormvloedkeringen) leveren een besparing op. Het hele gebied overziend zijn de besparingen beperkt. Belangrijke oorzaken hiervoor zijn:

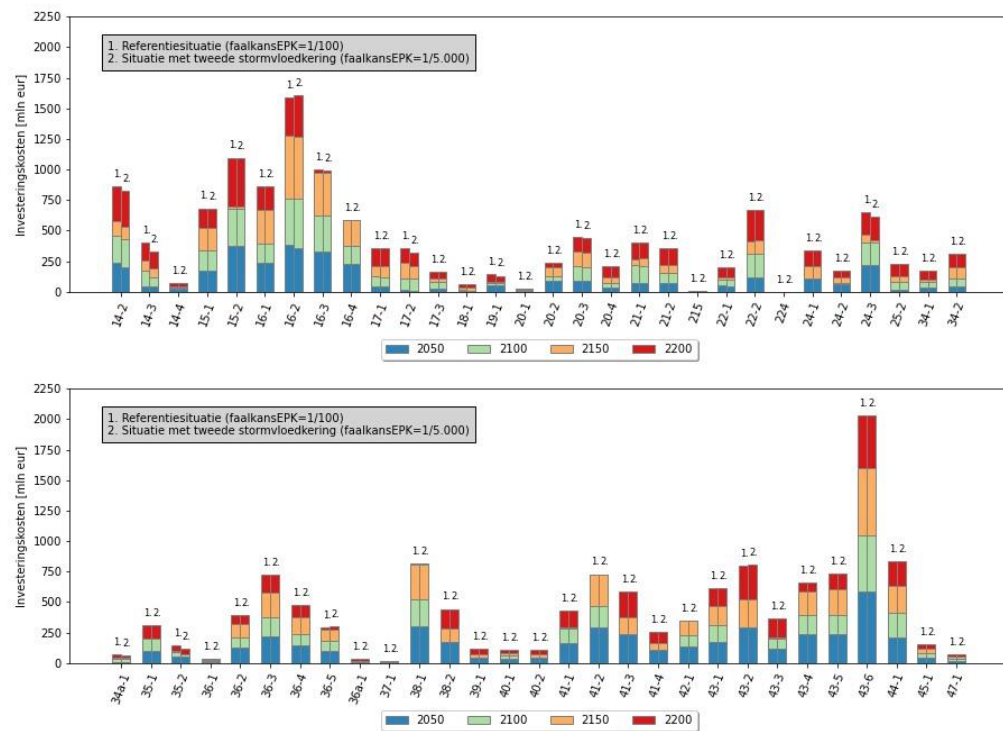
- De vaste kosten bepalen een groot deel van de dijkversterkingskosten en deze zijn slechts beperkt afhankelijk van de dimensies van de dijkversterking.
- Omdat gerekend is met een vaste versterkingsperiode van 50 jaar (de gebruikelijke termijn voor dijkversterkingen), zal het aantal versterkingen niet of nauwelijks afnemen. Voor constructieve maatregelen wordt overigens een levensduur van 100 jaar gerekend.
- De tweede stormvloedkering heeft beperkt invloed op de opgave voor piping en macrostabiliteit, en voor de meeste trajecten ook maar beperkt op de hoogte.
- De tweede stormvloedkering heeft geen invloed op bodemdaling en stijgende rivierafvoeren.

Enkele specifieke zaken die opvallen in de figuur zijn:

- Ondanks de ligging heeft de tweede stormvloedkering voor traject 19-1 (Rozenburg) effect op de dijkvakken langs het Scheur. Voor deze dijkvakken is vrijwel geen opgave tot 2100.
- Traject 35-2 laat, ondanks de ligging, een besparing zien tot en met 2100. Dit volgt uit de versterking van één dijkvak, die in de situatie met tweede stormvloedkering aanzienlijk kleiner is dan in de referentiesituatie.
- De grootste versterkingskosten zijn te zien voor traject 43-6. Omdat figuur 7.2 de versterkingskosten per traject toont, is de trajectlengte dominant in de grootte van de kosten voor een traject. Omdat traject 43-6 erg lang is, vallen de kosten voor dit traject daarom hoog uit ten opzichte van kortere trajecten. Een tweede stormvloedkering heeft in dit gebied echter geen enkel effect op de versterkingskosten.

7.3. Doorkijk naar resultaten zichtjaar 2200

Voor de hydraulische belastingen geldt dat de afname van de hoogteopgave (door de aanleg van een tweede stormvloedkering) voor zichtjaar 2200 wat kleiner is dan voor zichtjaar 2100. Een van de verklaringen hiervoor is dat de tweede stormvloedkering wat minder effectief wordt in 2200, door hogere zeespiegelstijging, de toename van de rivierafvoeren en afname van de verticale berging in het gebied (mede door het verhoogde sluitpeil). In figuur 7.3 zijn de (cumulatieve) nominale dijkversterkingskosten per traject weergegeven voor de referentiesituatie (1) en voor de variant met tweede stormvloedkering(2) tot en met zichtjaar 2200.



Figuur 7.3: Cumulatieve nominale dijkversterkingskosten per traject voor de referentiesituatie met faalkans Maeslantkering 1/100 per sluitvraag en situatie met faalkans Maeslantkering 1/5.000 per sluitvraag tot en met zichtjaar 2200. De kosten zijn niet gecorrigeerd voor de restwaarde na een bepaald zichtjaar.

Over het algemeen volgt voor zichtjaar 2200 hetzelfde beeld als voor zichtjaar 2100. Te zien is dat besparingen optreden door een tweede stormvloedkering voor diverse trajecten, maar dat deze minimaal zijn. Het gaat om een bedrag van ongeveer 250 miljoen euro op een totaal (cumulatief) nominaal bedrag van ruim 25 miljard euro tot 2200.

De besparingen zijn direct achter de kering (voor de trajecten 14-2, 14-3 en 17-2) het grootst. Verder landinwaarts neemt het effect af. Enkele zaken vallen in het beeld tot en met 2200 op ten opzichte van de resultaten tot en met 2100:

- Voor traject 16-2 wordt voor de situatie met een tweede stormvloedkering een toename van de nominale dijkversterkingskosten tot en met 2200 berekend. Dat is niet intuïtief en komt doordat versterkingen soms om de 55 jaar in plaats van om de 50 jaar worden uitgevoerd. Dit kan in de methode soms gebeuren en is een artefact van het uitgangspunt dat gerekend is met stappen van 5 jaar. Daardoor worden voor traject 16-2 voor de situatie met een tweede stormvloedkering een aantal versterkingsmomenten voor 2200 berekend, waardoor deze kosten nog in de nominale kosten worden meegenomen. In de referentiesituatie vallen een aantal versterkingsmomenten net na 2200, en worden ze zodoende niet meegenomen in de nominale kosten tot en met 2200. Daardoor zijn de kosten in de referentiesituatie lager.
- De trajecten 24-3, 34a-1 en 35-2 laten een duidelijke besparing zien. De oorzaak hiervan is dat er voor deze trajecten voor enkele vakken in de referentiesituatie een versterking wordt uitgevoerd in zichtjaar 2200. In de situatie met een tweede stormvloedkering valt deze versterking niet meer binnen de relevante periode (2025-2200). Hierdoor wordt in de situatie met tweede stormvloedkering één versterking

minder uitgevoerd, waardoor de kosten lager uitvallen. Dit kan als oorzaak hebben dat de belastingen minimaal lager worden (orde centimeters), waardoor de versterking net buiten de relevante periode valt, of dat in de situatie met een tweede stormvloedkering de versterking na 55 jaar wordt uitgevoerd. Dit is een artefact van het uitgangspunt dat gerekend is met stappen van 5 jaar. Een verbetering van dit algoritme past niet binnen de scope van deze studie, maar heeft geen significante invloed op de conclusies.

De investeringen vinden niet allemaal in hetzelfde jaar plaats. Sommige van de maatregelen zitten op relatief korte termijn (tot 2030-2040), andere meer aan het eind van deze eeuw (2070-2100) of volgende eeuw.

7.4. Analyse resultaten cumulatieve nominale kosten dijkversterkingen

De verschillen tussen de referentiesituatie en de situatie met een tweede stormvloedkering tot 2100 zijn beperkt. Voor veel trajecten geldt dat met name de sterkteopgave tot 2100 de dijkversterkingskosten bepaalt. En daarop heeft een tweede stormvloedkering maar een klein effect: er is dan maar een geringe reductie van de versterkingskosten.

Het grootste effect van de tweede stormvloedkering op de kosten is te zien direct achter de kering (normtrajecten 14-2, 14-3 en 17-2). Met name in 2200 is ook een effect te zien op trajecten die wat verder landinwaarts liggen (bijvoorbeeld 24-3 en 35-2). Het totale verschil in (cumulatieve) nominale dijkversterkingskosten tussen de referentiesituatie en de situatie met tweede stormvloedkering is voor zichtjaar 2100 gelijk aan grofweg 150 miljoen euro (op een cumulatieve nominale waarde van 13 miljard euro). Voor 2200 loopt dit verschil op tot grofweg 250 miljoen euro (bij een cumulatieve nominale waarde van 25 miljard euro).

Bij de verschillen in dijkversterkingskosten tussen de referentiesituatie en de situatie met tweede stormvloedkering zijn enkele opmerkingen te plaatsen:

- Er is alleen gekeken naar het effect van een tweede stormvloedkering op de (cumulatieve) nominale dijkversterkingskosten van de primaire waterkeringen (specifieker de dijken). Eventuele effecten op overige functies (zoals kosten en schades voor buitendijks gebied, scheepvaart, de haven van Rotterdam, etcetera) zijn niet meegenomen in deze analyse.
- Er is uitgegaan van de rekeninstellingen en uitgangspunten die zoveel mogelijk aansluiten bij de Systeemanalyse Waterveiligheid van het KP ZSS spoor II [RWS, 2023a]. Hierbij is een dijkversterkingsplanning voor de eerste dijkversterking opgegeven én wordt uitgegaan van een dijkversterkingshorizon van 50 jaar per dijkversterking. Voor constructieve maatregelen wordt overigens een levensduur van 100 jaar gerekend.
- De tweede stormvloedkering is niet in samenhang/combinatie met andere systeemingrepen (bijvoorbeeld extra berging of pompen) beschouwd. Wel wordt er in hoofdstuk 8 en de conclusies kwalitatief op ingegaan. In de volgende fase van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging zal een verkleining van de faalkans van de stormvloedkering (eventueel door een tweede stormvloedkering) in combinatie met andere systeemingrepen wel worden meegenomen.

7.5. Kosten van stormvloedkeringen

Naast de kosten voor dijkversterkingen zijn ook de kosten voor de stormvloedkeringen een belangrijke kostenpost in zowel de voorkeursstrategie als de variant met de tweede stormvloedkering. Het gaat daarbij niet alleen om de kosten voor de nieuw te bouwen Hollandkering, maar ook de vervanging van de Maeslantkering, die ontworpen is met een

technische levensduur van 100 jaar. Voor 2200 moet die dus minimaal één keer vervangen worden. Uitgaande van een ontwerplevensduur van de tweede stormvloedkering van eveneens 100 jaar zal dit betekenen dat deze ook voor 2200 nog een keer moet worden vervangen.

Rijkswaterstaat heeft op basis van kostenkentallen voor de Maeslantkering een inschatting gemaakt van de kosten voor een tweede stormvloedkering. Aangezien die min of meer op dezelfde plek ligt en aan dezelfde ontwerpeisen moet voldoen, is dit op dit moment de best mogelijke schatting. Wellicht dat de werkelijke kosten van de Hollandkering nog wat hoger liggen, omdat dit een geheel nieuw ontwerp is. Met het bouwen van een nieuwe Maeslantkering is inmiddels ervaring, en vaak kunnen de kosten dan wat beter worden ingeschat.

Deze paragraaf begint met een korte beschrijving van de belangrijkste uitgangspunten voor de berekening van nominale kosten en contante waarden. Daarna volgt een korte uitleg van de resultaten.

Algemene uitgangspunten

Prijspeil	2022, inclusief BTW
Rekenperiode	2025-2200
Discontovoet	1,6% per jaar; gevoeligheidsanalyse 2,25% per jaar.

Stormvloedkeringen (Maeslantkering en Hollandkering)

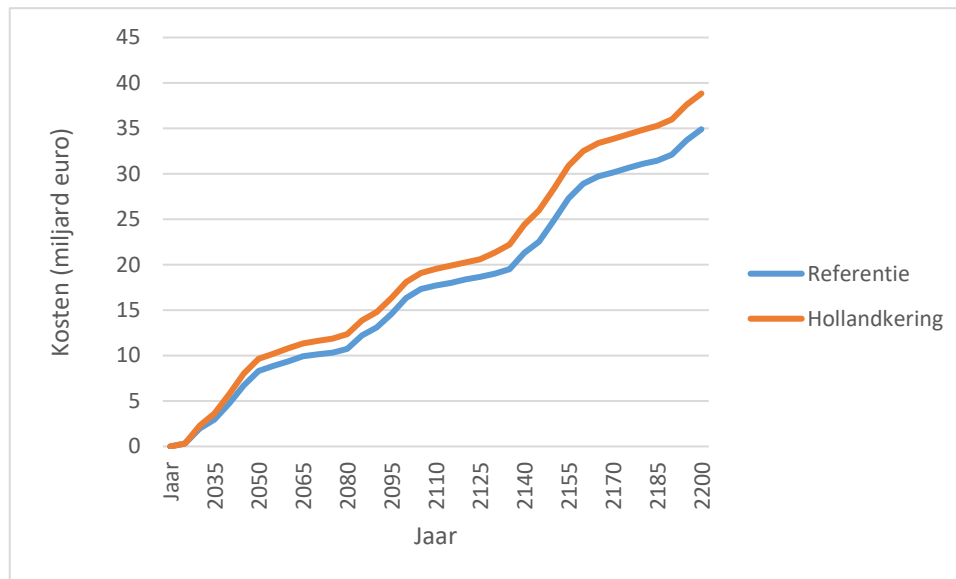
Kosten (voor 1 m zss)	€ 1,345 miljard exclusief sloop [RWS, 2023c] € 1,435 miljard inclusief sloop [RWS, 2023c]
Levensduur en restwaarde	100 jaar na volledige realisatie. Voor stormvloedkeringen die in het tijdvak 2105-2200 gerealiseerd worden, wordt in 2200 een restwaarde berekend op basis van een levensduur van 100 jaar
Beheer en onderhoud	0,82% van de investeringskosten [RWS, 2023c].
Bouwperiode stormvloedkeringen	20 jaar. Gedurende deze 20 jaar bouwen de investeringen zich geleidelijk op (5% per jaar).

Bij de kostenraming is rekening gehouden met de volgende aspecten:

- De aanlegkosten voor een nieuwe stormvloedkering worden geschat op net iets meer dan 1 miljard euro (1.013 miljoen euro; contante waarde, prijspeil 2022; aanlegperiode 2030-2050).
- De kosten van beheer en onderhoud van de Maeslantkering bedroegen in de eerste 15 jaar ongeveer 0,82% van de aanlegkosten. Dit percentage wordt ook gebruikt voor de tweede stormvloedkering. De laatste jaren zijn de kosten voor beheer en onderhoud opgelopen naar een bedrag dat aanzienlijk hoger ligt, ongeveer 2 tot 4% per jaar. Dat heeft er mee te maken dat zo langzamerhand de Maeslantkering een leeftijd bereikt waarop de eerste wat duurdere onderdelen vervangen moeten worden. Hiervoor zijn aparte gevoeligheidsberekeningen gemaakt.

7.6. Cumulatieve nominale kosten dijken en stormvloedkeringen

In onderstaande figuur 7.4 zijn de cumulatieve nominale kosten van alle kostenposten samengevat. Te zien is dat de uitgaven voor de variant met de Hollandkering in de loop van de tijd steeds hoger komen te liggen ten opzichte van de referentie. Dat heeft met name te maken met de extra kosten voor de Hollandkering. De uitgaven aan de dijken zijn weliswaar iets minder, maar deze kunnen de extra uitgaven aan de Hollandkering niet compenseren.



Figuur 7.4: Investeringskosten in de tijd van Voorkeursstrategie en Samen sterk.

7.7. Contante waarde versterkingskosten en stormvloedkeringen

De contante waarde berekening berekent de contante waarde van de nominale kosten (zie vorige paragraaf) in de periode 2025-2200, waarbij naast de dijkversterkingskosten ook kosten voor beheer en onderhoud van de dijk en de aanleg, sloop en beheer en onderhoudskosten van de stormvloedkeringen in rekening worden gebracht. Dit hoofdstuk beschrijft naast de basisvariant drie gevoeligheidsanalyses:

1. Basisvariant:

De tweede stormvloedkering wordt in de periode 2030-2050 gebouwd. In de periode 2130-2150 wordt deze vervangen. De Maeslantkering (MLK) wordt in 2070 en in 2170 vervangen. De discontovoet is 1,6% per jaar.

2. Gevoeligheidsanalyse discontovoet:

De tweede stormvloedkering wordt in de periode 2030-2050 gebouwd. In de periode 2130-2150 wordt deze vervangen. De Maeslantkering wordt in 2070 en in 2170 vervangen. De discontovoet is 2,25% per jaar.

3. Gevoeligheidsanalyse uitgestelde vervanging Maeslantkering:

De tweede stormvloedkering wordt in de periode 2030-2050 gebouwd. In de periode 2130-2150 wordt deze vervangen. De Maeslantkering wordt in 2100 en in 2200 vervangen. De discontovoet is 1,6% per jaar.

4. Gevoeligheidsanalyse uitgestelde vervanging Maeslantkering en aangepaste discontovoet:

De tweede stormvloedkering wordt in de periode 2030-2050 gebouwd. In de periode 2130-2150 wordt deze vervangen. De Maeslantkering wordt in 2100 en in 2200 vervangen. De discontovoet is 2,25% per jaar.

In tabel 7.1 is dit samengevat.

Tabel 7.1: Uitgevoerde gevoeligheidsanalyses

Variant	Discontovoet	Zichtjaar vervanging Maeslantkering
Basisvariant	1,6%	2070 en 2170
Gevoeligheidsanalyse 1	2,25%	2070 en 2170
Gevoeligheidsanalyse 2	1,6%	2100 en 2200
Gevoeligheidsanalyse 2	2,25%	2100 en 2200

7.8. Resultaten basisberekening

In de basisberekening wordt de tweede stormvloedkering (2^e SVK) in de periode 2030-2050 gebouwd. In de periode 2130-2150 wordt deze vervangen. De Maeslantkering wordt in 2070 en in 2170 vervangen. De discontovoet is 1,6% per jaar. In tabel 7.2 is de contante waarde berekening opgenomen. De kosten zijn in miljoen euro. De referentiesituatie is beschreven met *Ref* en de situatie met tweede stormvloedkering met 2^e SVK.

Tabel 7.2: Contante waarde berekening, Basisberekening. Discontovoet = 1,6% en vervanging Maeslantkering in 2070 en 2170

Onderdeel	(kosten in mln €)	Ref	2 ^e SVK	Verschil
Dijken				
	Investerings	9.623	9.522	101
	Beheer en onderhoud	1.070	1.059	11
	Totaal	10.693	10.581	112
	Restwaarde in 2200	194	192	2
	Totaal-Restwaarde	10.500	10.389	111
Maeslantkering				
	Vervanging 1 ^e	787	787	
	Vervanging 2 ^e	161	161	
	Beheer en onderhoud	655	655	
	Totaal	1.603	1.603	
	Restwaarde in 2200	57	57	
	Totaal-Restwaarde	1.546	1.546	
2 ^e Stormvloedkering	Aanleg		1.013	-1.013
	Vervanging		221	-221
	Beheer en onderhoud		507	-507
	Totaal		1.741	-1.741
	Restwaarde in 2200		41	-41
	Totaal-Restwaarde		1.700	-1.700
	Totaal	12.046	13.635	-1.589

Uit de basisberekening volgt dat het verschil in contante waarde tussen de referentie (Ref) en de situatie met tweede stormvloedkering (2^e SVK) € -1.590 miljoen bedraagt. Met andere woorden, de in de berekening meegenomen kosten voor waterveiligheid met een tweede stormvloedkering zijn in totaal € 1.590 miljoen hoger dan in de referentiesituatie. Deze kosten bestaan voornamelijk uit de kosten van aanleg, beheer en onderhoud, en vervanging van de tweede stormvloedkering (€ 1.700 miljoen). De besparingen op de dijkinvesteringen zijn ten opzichte van dit bedrag aanzienlijk kleiner en bedragen in totaal € 111 miljoen contante waarde (prijspeil 2022).

De kosten voor het onderhoud en vervangen van de Maeslantkering zijn in de referentiesituatie en de situatie met een tweede stormvloedkering aan elkaar gelijk en laten daarom geen verschil zien.

Wanneer de extra kosten van beheer en onderhoud van de dijken verwaarloosbaar worden verondersteld, dan vallen de besparingen met de tweede stormvloedkering € 11 miljoen lager uit en wordt het verschil tussen de referentiesituatie en situatie met tweede stormvloedkering groter: € 1.601 miljoen. Wanneer de kosten van beheer en onderhoud van de Maeslantkering en tweede stormvloedkering drie keer hoger zijn ($3 \times 0,82\% = 2,46\%$), dan neemt de contante waarde van de kosten van het beheer en onderhoud van de tweede stormvloedkering toe tot $3 \times € 507 \text{ miljoen} = € 1.521 \text{ miljoen}$. Het verschil in de totale contante waarde neemt dan verder toe van € -1.590 miljoen naar € -2.604 miljoen ($= € -1.590 \text{ miljoen} - 2 \times € 507 \text{ miljoen}$).

7.9. Gevoeligheidsanalyses

Voorliggende paragraaf geeft een overzicht met de berekeningsresultaten van de drie gevoeligheidsanalyses.

7.9.1. Discontovoet 2,25%

De gevoeligheidsanalyse uit tabel 7.3 laat eenzelfde beeld zien als de basisberekening: de kosten voor de situatie met tweede stormvloedkering zijn weliswaar lager, maar nog steeds aanzienlijk hoger dan de kosten van de referentiesituatie.

Tabel 7.3: Contante waarde berekening, Gevoeligheidsanalyse. Discontovoet = 2,25% en vervanging Maeslantkering in 2070 en 2170

Onderdeel	(kosten in mln €)	Ref	2 ^e SVK	Vershil
Dijken				
	Investeringsen	7.576	7.498	78
	Beheer en onderhoud	676	669	7
	Totaal	8.252	8.167	85
	Restwaarde in 2200	63	63	1
	Totaal-Restwaarde	8.189	8.104	85
Maeslantkering				
	Vervanging 1 ^e	642	642	
	Vervanging 2 ^e	69	69	
	Beheer en onderhoud	502	502	
	Totaal	1.213	1.213	
	Restwaarde in 2200	19	19	
	Totaal-Restwaarde	1.195	1.195	
2 ^e Stormvloedkering	Aanleg		939	-939
	Vervanging		108	-108
	Beheer en onderhoud		357	-357
	Totaal		1.405	-1.405
	Restwaarde in 2200		13	-13
	Totaal-Restwaarde		1.391	-1.391
	Totaal	9.383	10.690	-1.306

7.9.2. Vervanging MLK in 2100 en 2200

Uit de berekening in tabel 7.4 blijkt dat het uitstellen van de vervanging van de MLK met 30 jaar een aanzienlijk kostenvoordeel met zich meebrengt, van € 384 miljoen contante waarde, waardoor het verschil afneemt van €- 1.590 miljoen (basisberekening) naar €- 1.206 miljoen (gevoeligheidsanalyse 2, tabel 7.4).

Tabel 7.4: Contante waarde berekening, Gevoeligheidsanalyse. Discontovoet = 1,6% en vervanging Maeslantkering in 2100 en 2200

Onderdeel	(kosten in mln €)	Ref	2 ^e SVK	Vershil
Dijken				
	Investerings	9.623	9.522	101
	Beheer en onderhoud	1.070	1.059	11
	Totaal	10.693	10.581	112
	Restwaarde in 2200	194	192	2
	Totaal-Restwaarde	10.500	10.389	111
Maeslantkering				
	Vervanging 1 ^e	787	489	298
	Vervanging 2 ^e	161	100	61
	Beheer en onderhoud	655	655	
	Totaal	1.603	1.244	359
	Restwaarde in 2200	57	82	-24
	Totaal-Restwaarde	1.546	1162	384
2 ^e Stormvloedkering	Aanleg		1.013	-1.013
	Vervanging		221	-221
	Beheer en onderhoud		507	-507
	Totaal		1.741	-1.741
	Restwaarde in 2200		41	-41
	Totaal-Restwaarde		1.700	-1.700
	Totaal	12.056	13.262	-1.206

7.9.3. Discontovoet 2,25 % en vervanging MLK in 2100 en 2200

Uit de berekening in tabel 7.5 blijkt dat het uitstellen van de vervanging van de MLK met 30 jaar én een discontovoet van 2,25% een aanzienlijk kostenvoordeel met zich meebrengt, van € 354 miljoen contante waarde. Het verschil tussen de referentiesituatie en de situatie met tweede stormvloedkering bedraagt € -952 miljoen.

Tabel 7.5: Contante waarde berekening, Gevoeligheidsanalyse. Discontovoet = 2,25% en vervanging Maeslantkering in 2100 en 2200

Onderdeel	(kosten in mln €)	Ref	2 ^e SVK	Verschil
Dijken				
	Investerings	7.576	7.498	78
	Beheer en onderhoud	676	669	7
	Totaal	8.252	8.167	85
	Restwaarde in 2200	63	63	1
	Totaal-Restwaarde	8.189	8.104	85
Maeslantkering				
	Vervanging 1 ^e	642	329	313
	Vervanging 2 ^e	69	36	34
	Beheer en onderhoud	502	502	
	Totaal	1.213	867	346
	Restwaarde in 2200	19	27	-8
	Totaal-Restwaarde	1.195	840	354
2 ^e Stormvloedkering	Aanleg		939	-939
	Vervanging		108	-108
	Beheer en onderhoud		357	-357
	Totaal		1.405	-1.405
	Restwaarde in 2200		13	-13
	Totaal-Restwaarde		1.391	-1.391
	Totaal	9.383	10.335	-952

7.10. Analyse resultaten

In voorgaande paragraaf is de contante waarde van de investeringen in de dijkversterkingen, aanleg en vervanging van de stormvloedkeringen en kosten voor beheer en onderhoud in kaart gebracht. De basisberekening laat zien dat de contante waarde kosten voor de referentiesituatie ruim 1,5 miljard euro kleiner zijn dan voor de situatie met tweede stormvloedkering (op een totale contante waarde van ongeveer 10 miljard euro). De gevoeligheidsanalyses naar de discontovoet en het uitstellen van de vervanging van de Maeslantkering laten hier enige variatie in zien, maar nog steeds is het verschil minimaal 1 miljard euro.

De besparingen in dijkversterkingskosten in contante waarde is 111 miljoen euro en sluiten aan bij de conclusies over de nominale kosten. Deze besparing wordt dus opgeheven door de benodigde investering in de tweede stormvloedkering. Voor de besparing in contante waarde van de dijkversterkingskosten per traject wordt verwezen naar het onderzoek uitgevoerd door De Waterwerkers [De Waterwerkers, 2023].

Bij de contante waarde berekening zijn dezelfde opmerkingen te plaatsen als bij de (cumulatieve) nominale kosten, aangezien de dijkversterkingskosten (in contante waarde) hier direct uit volgen. Daarnaast zijn bij de contante waarde berekening aanvullende kosten inzichtelijk gemaakt, zoals aanleg en vervanging van de stormvloedkeringen en kosten voor beheer en onderhoud. Dit geeft een completer beeld dan de nominale kosten in eerdere paragrafen. Met als kanttekening dat overige kosten, waar de tweede

stormvloedkering effect op kan hebben (zoals bijvoorbeeld buitendijkse gebieden), hier niet in meegenomen zijn. Deze worden beschreven in hoofdstuk 8.

Kanttekening bij de resultaten

Zoals eerder aangegeven in hoofdstuk 4 en 5 is geconstateerd dat de gebruikte databases onregelmatigheden bevatten omtrent het sluitgedrag van de stormvloedkeringen. Het effect op de contante waarde is naar verwachting beperkt. Dat heeft drie oorzaken: 1. Het effect op de hoogteopgave is beperkt (maximaal een paar decimeter); 2. De kosten voor de sterkteopgave overheersen ten opzichte van de kosten voor de hoogteopgave; 3. Deze fout speelt alleen een rol op locaties dicht achter de kering. Herstel van deze onregelmatigheden zal weliswaar het verschil tussen de aanlegkosten van een tweede stormvloedkering en de vermeden dijkversterkingskosten verkleinen, maar qua orde grootte zal dit het verschil in contante waarde niet significant veranderen.

8 Effecten op andere functies en overige kosten-baten

8.1. Inleiding

De effecten op andere functies en de overige kosten en baten zijn in een expertsessie kwalitatief beoordeeld. Het verslag is weergegeven in bijlage 6.

8.2. Aandachtspunten in de regio

Bij een stijgende zeespiegel zijn de belangrijkste aandachtspunten in de regio:

- De frequentie, en de hoeveelheid water waarmee (delen van) van buitendijkse gebieden onder lopen. Dit bepaalt sterk de mate van wateroverlast, mogelijke schade en slachtoffers en hoe vaak maatregelen moeten worden genomen om de overlast in buitendijkse gebieden te beperken. Tevens bepaalt dit de bouwhoogte voor nieuwbouw, en daarmee de (on)mogelijkheden voor ruimtelijke ontwikkeling. De frequentie is afhankelijk van het sluitpeil. Hierin is geen significant verschil tussen beide strategieën.
- De sluitfrequentie van de stormvloedkering(en). Dit bepaalt met name de hinder voor de scheepvaart en bereikbaarheid van de haven. Ook hier is geen significant verschil tussen beide strategieën.
- De bescherming tegen overstromingen binnendijks. Met name dijkversterkingen in stedelijk gebied kunnen tot veel overlast leiden, zowel in de bouwfase (met als gevolg maatschappelijke weerstand, vertraging en oplopende kosten) als permanent.

De wateroverlast in buitendijkse gebieden kan worden voorkomen door het sluitpeil van de stormvloedkeringen minder mee te laten stijgen met de zeespiegel. Het buitendijks gebied komt dan minder vaak onder water te staan. Maar de kering gaat wel steeds vaker sluiten, wat ten koste gaat van de bereikbaarheid van de haven. De strategie 'afsluitbaar-open' komt daarmee steeds meer onder druk te staan. Dit dilemma van de toegankelijkheid van de haven versus de wateroverlast bij buitendijkse gebieden speelt pas na 2100, maar het is in de regio nu al wel een onderwerp dat op de agenda staat.

In paragraaf 8.4 wordt hiervan een nadere duiding gegeven.

Daarnaast zijn er tijdens de expertbijeenkomst nog een aantal andere mogelijke effecten genoemd:

- Creëren van betere condities voor andere systeemmaatregelen in de regio (conform hypothese Samen Sterk).
- Verzilting/zoetwatervoorziening.
- Natuur.
- Recreatief medegebruik.
- Morfologie.
- Vitale functies en crisis management.
- Energietransitie/duurzaamheid.

Op het eerste punt wordt in de volgende paragraaf ingegaan. De overige worden in het algemeen tijdens de expert-workshop als niet significant beoordeeld. Zie voor een toelichting bijlage 6.

8.3. Effecten op andere systeemmaatregelen uit de benadering van Samen sterk

Zoals beschreven in hoofdstuk 2 omvat de benadering van Samen sterk naast de Hollandkering nog een aantal andere systeemmaatregelen om waterstanden te verlagen.

Deze zijn slechts kwalitatief uitgewerkt in het plan. Daarom is alleen een kwalitatieve inschatting gegeven van de effecten van deze systeemmaatregelen.

In de benadering van Samen Sterk is aangenomen dat door het aanleggen van een tweede stormvloedkering de gecombineerde faalkans van de stormvloedkering(en) wordt verbeterd van nu 1:100 bij alleen de Maeslantkering tot 1:5000 voor de gecombineerde kering. Vervolgens wordt de hypothese gesteld dat dit voordelig werkt voor een aantal systeemwerkingen in het gebied:

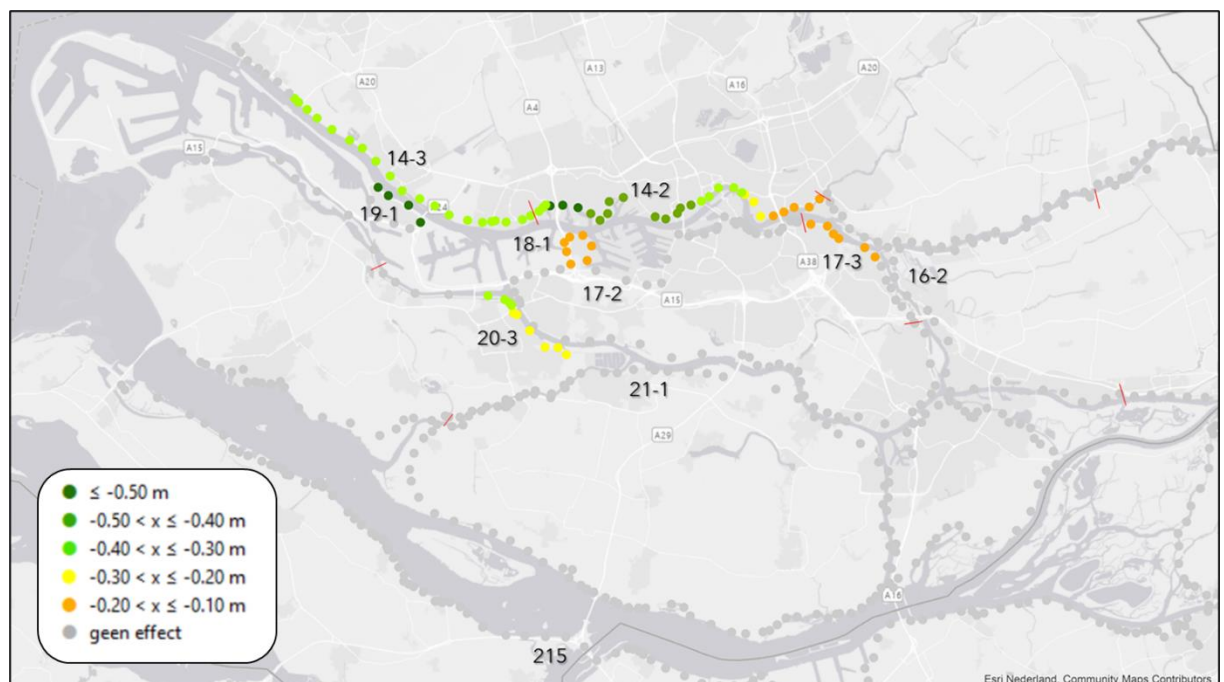
1. Het wordt efficiënter om het Volkerak-Zoommeer in te zetten als waterbuffer onder maatgevende condities.
2. Dat geldt eveneens voor het verder vergroten van de waterberging in de zuidwestelijke delta, bijvoorbeeld bij het Grevelingenmeer.
3. Gemalen die in de toekomst een optie kunnen zijn om overtollig rivierwater naar buiten te pompen worden efficiënter (en daarmee goedkoper) naarmate de faalkans van een stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg kleiner wordt.

Onderstaand wordt op deze systeemmaatregelen ingegaan.

1. Efficiëntere inzet berging Volkerak-Zoommeer

Om het effect van de tweede stormvloedkering te kunnen bepalen op de berging van het Volkerak-Zoommeer bij hoogwater op de rivier, kan gebruik worden gemaakt van berekeningen die gemaakt zijn in het kader van het Kennisprogramma zeespiegelstijging en deze studie. De resultaten zijn besproken in de tweede expert workshop.

Voor het Volkerak-Zoommeer is van belang in hoeverre een extra stormvloedkering invloed heeft op dit gebied. In onderstaande figuur is te zien dat er in de omgeving van het Volkerak-Zoommeer en de zuidrand van de RijnMaasmonding geen enkele invloed is op de waterstanden (bij de norm; faalkanseis).



Figuur 8.1: Resultaten hydraulisch belastingniveau in 2100.

2+3. Vergroten waterberging zuidwestelijke delta en efficiëntere inzet gemalen.

In het algemeen kan gezegd worden dat meer waterberging er voor zorgt dat bij een gesloten stormvloedkering de waterstanden minder hoog uitvallen dan zonder. Om het effect van extra berging te kunnen bepalen, is een verdere uitwerking noodzakelijk. Dan alleen kan iets gezegd worden over effecten op de waterveiligheid, de kosten en de baten. Gemalen leiden tot hetzelfde effect. Maar het hangt af van de grootte, de plaats en eventuele andere systeemmaatregelen hoeveel precies. Zowel extra waterberging als gemalen zijn maatregelen waar hoge investeringskosten mee zijn gemoeid. Voor beide groepen maatregelen is niet goed te zeggen in hoeverre dit efficiënter werkt met een tweede stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg. En in hoeverre de berging in het Volkerak-Zoommeer in combinatie met andere systeemmaatregelen wellicht wel effect heeft, waardoor wellicht meer dijkversterkingen kunnen worden voorkomen. Daarvoor zullen uitgebreide berekeningen moeten worden gemaakt. Berekeningen naar dit soort systeemmaatregelen zijn de komende jaren voorzien in fase 2 van het Kennisprogramma zeespiegelstijging.

8.4. Nadere duiding effecten in de regio

Gemeente Rotterdam: De gemeente hecht veel belang aan een open verbinding met de zee, zoals beoogd in de strategie 'afsluitbaar-open'. Een open Nieuwe Waterweg is belangrijk voor de haven. Maar het heeft ook nadelen: de buitendijkse gebieden zijn kwetsbaar voor wateroverlast. Het gebeurt regelmatig dat er water staat op de kade. Bij zeespiegelstijging zal dat toenemen. De buitendijkse gebieden worden in Rotterdam intensief gebruikt, zowel voor wonen als bedrijven. Er wonen 50.000 mensen buitendijks, en er zijn nog 17.500 woningen gepland.

Om voorbereid te zijn op de stijgende zeespiegel en klimaatverandering, wordt een uitgiftepeil voor nieuwe buitendijkse bouwprojecten gehanteerd van +3,60 meter boven NAP tegen het jaar 2100 (voor het gebied beschermd door de Europoortkering). Daarbij wordt voor vitale en kwetsbare functies +3.90m NAP gehanteerd. Voor de delen niet beschermd door de Europoortkering (zoals Hoek van Holland) is het +5.10 en +5.50 NAP voor vitaal en kwetsbaar. Hoewel deze hoogte het risico op overschrijding enigszins inperkt, zouden sommige buitendijkse gebieden toch jaarlijks kunnen lijden onder de last van wateroverlast. Op dit moment wordt het beleid herijkt en wordt gekeken of het peil omhoog moet gegeven de nieuwe KNMI-klimaatscenario's (KNMI'23).

Een belangrijk aspect van de planningshorizon is het omgaan met de eigen verantwoordelijkheid van burgers in het buitendijkse gebied. Dit roept de vraag op hoe de overheid en lokale gemeenschap moeten omgaan met de risico's en uitdagingen van het leven in een gebied dat gevoelig is voor overstromingen. Er moeten wellicht richtlijnen, reguleringen en bewustmakingsprogramma's worden ontwikkeld om ervoor te zorgen dat bewoners hun verantwoordelijkheid nemen bij het opbouwen en onderhouden van veilige en veerkrachtige gemeenschappen. Dit kan ook betekenen dat er bij het ontwerp van nieuwe wijken en infrastructuur rekening wordt gehouden met duurzame en overstromingsbestendige maatregelen.

Het verhogen van het sluitpeil zal voor het buitendijkse gebied ook inpassing vragen. Los daarvan zullen dijkversterkingen noodzakelijk zijn bij een stijgende zeespiegel. Echter, hoe minder dijkversterkingen nodig zijn, hoe minder ook problemen met de inpassing. Met name in stedelijk gebied levert elke dijkversterking veel overlast op, ook in een brede strook achter de primaire kering. Niet alleen tijdens de bouwfase, maar ook daarvoor en daarna. Stedelijke inpassing zorgt nu al voor uitdagingen. Rotterdam kent een grote woningbouwopgave (mede vanuit het Rijk). Elke vierkante meter telt, dus ook hoe dicht er bij een dijk gebouwd kan en mag worden. Minder hoge dijken betekent minder brede dijken, en dus meer ruimte voor ontwikkeling. En, vanuit ruimtelijk perspectief echt belangrijk, een kleinere barriere-werking tussen wijken als dijken minder hoog hoeven.

Gemeente Dordrecht: In Dordrecht staat het buitendijkse gebied op de radar als potentiële locatie voor de ontwikkeling van ongeveer 5000 woningen, hoewel de precieze plekken nog moeten worden vastgesteld. Er wordt serieus rekening gehouden met wateroverlast, en het evalueren van de overschrijdingskans is een cruciale factor. Het uitgiftepeil van deze gebieden is van groot belang voor de gemeente, omdat het gekoppeld is aan de frequentie waarmee de beschermende keringen gesloten moeten worden. Tegelijkertijd wordt met zorg gekeken naar het historisch centrum van Dordrecht, een kostbaar cultureel erfgoed, waarbij het behouden ervan als uitdaging wordt gezien. Het vinden van de juiste balans tussen bescherming en behoud zonder afbreuk te doen aan de cultuur-historische waarde is een complexe opgave. Een belangrijke vraag is hoe om te gaan met de aangrenzende buitendijkse ruimte die in de nabijheid van de beschermende kering ligt. Het vinden van duurzame en evenwichtige oplossingen voor deze kwesties zal de koers van Dordrechts toekomstige ontwikkeling en erfgoed bepalen.

Havenbedrijf Rotterdam: Voor de haven is de toegankelijkheid van de haven cruciaal. Dat is direct gekoppeld aan de sluitfrequentie van de stormvloedkeringen. De havens en bedrijventerreinen liggen vrijwel geheel buitendijs. Gelukkig relatief hoog. Doel is om het huidige waterveiligheidsniveau te houden, ook als de zeespiegel stijgt. Voor nu ligt de horizon op 2100, waarbij rekening wordt gehouden met 1 meter zeespiegelstijging. Dat is haalbaar zonder rigoureuze ingrepen.

Bedrijven en ook het Havenbedrijf Rotterdam (voor openbaar gebied) zijn ieder zelf verantwoordelijk voor waterveiligheid. Het Havenbedrijf kan op dat punt geen eisen stellen aan bedrijven. Wel is een adaptatiestrategie opgesteld samen met bedrijven en overheden [PoR, 2023]. Deze is bij het Havenbedrijf intern verankerd. Het Havenbedrijf maakt bij alle nieuwe investeringsprojecten en onderhoudsprogramma's de afweging om extra te investeren in waterveiligheidsmaatregelen. Ook bij het afsluiten van nieuwe contracten of contractverlengingen krijgt waterveiligheid een plek.

Natuur: Voor de natuur zijn drie aspecten van groot belang: 1. een open verbinding, 2. met zoveel mogelijk getij, 3. met een voor trekvisen natuurlijke zoet-zoutovergang. Een stormvloedkering maakt dat mogelijk. Deze zorgt ervoor dat de huidige open verbinding van de Nieuwe Waterweg zo lang mogelijk open blijft bij een stijgende zeespiegel. Daarnaast is van belang dat tijdens de bouwfase en de periode dat de stormvloedkering in bedrijf is zo weinig mogelijk invloed is op de natuur. Een extra stormvloedkering is als deze eenmaal gebouwd is qua effecten op de natuur vergelijkbaar met de huidige situatie, met alleen de Maeslantkering.

9 Ontwerpcriteria voor een nieuwe Stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg

9.1. Ontwerpcriteria algemeen

In de Kamermotie wordt niet alleen gevraagd naar het effect op de waterveiligheid van een tweede stormvloedkering en de kosten en baten, maar ook naar de haalbaarheid. In deze studie is dat vertaald in de technische haalbaarheid.

Om die te toetsen is een uitgewerkt ontwerp nodig. Zover is het nog niet voor Hollandkering. Daarom wordt hier volstaan met een overzicht van de ontwerpeisen die gesteld moeten worden aan een mogelijke nieuwe stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg. Vervolgens wordt kwalitatief aangeduid welke aandachtspunten er zijn voor de Hollandkering om aan deze ontwerpeisen te voldoen.

9.2. Ontwerpcriteria voor een nieuwe stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg

Voor de ontwerpcriteria voor een nieuwe stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg kan allereerst gebruik worden gemaakt van de ontwerpcriteria zoals die zijn gebruikt bij het ontwerp van de Maeslantkering. Die zijn inmiddels 35 jaar geleden vastgesteld. Veel van die criteria zijn nog steeds bruikbaar.

Daarnaast is er echter ook het nodige veranderd. De zeespiegelstijging waarmee rekening moet worden gehouden in het ontwerp is bijvoorbeeld groter geworden dankzij de nieuwe inzichten van het IPCC [IPCC, 2022]. En inmiddels is er ook meer dan 25 jaar ervaring met het beheer en onderhoud van de kering, de bediening (bij proefsluitingen en bij storm) en de kwetsbare punten, zoals het bolscharnier en het halen van de benodigde faalkans. Die nieuwe inzichten zijn een tweede bron van informatie.

Tot slot zijn niet alleen de ontwerpeisen voor de kering zelf van belang, maar ook de eisen die uit de omgeving worden gesteld. Bijvoorbeeld door de scheepvaart/haven, de natuur of het buitendijks gebied.

9.2.1. Technische ontwerpcriteria Maeslantkering

De ontwerpcriteria zoals die zijn gebruikt bij de Maeslantkering zijn vastgelegd in een groot aantal documenten. Alles bij elkaar is dat een behoorlijk lange lijst [zie o.a. RWS 1987a en b]. Daarom is op basis van een expert-workshop en gesprekken met de ontwerpers van de Maeslantkering een samenvatting gemaakt van de belangrijkste criteria.

Tabel 9.1: Samenvatting van technische ontwerpcriteria.

Samenvatting van ontwerpcriteria in een zestal uitgangspunten:			
1.	Functionele uitgangspunten;	4.	Ontwerp;
	a. Faalkans	a.	Materiaal
	b. Belastingen (overschrijdingskans)	b.	Fundering
	c. Levensduur	c.	IV-ICT
	d. Translatiegolf	5.	Uitvoering;
	e. Locatie	a.	Bouwtijd
	f. Sluitfrequentie	b.	Overlast
	g. Doorstroming water	c.	Kerende constructies
2.	Hydraulische uitgangspunten;	6.	Beheer en onderhoud;
	a. Sluitpeil	a.	Staalconstructie
	b. Tussentijds lozen	b.	Kennisindexering
	c. Openen	c.	Electro
	d. Kerende hoogte	d.	Faalkans (probo)
3.	Natuurlijke uitgangspunten;		
	a. Getij		
	b. Wind		
	c. IJs		

Van deze technische criteria zijn er een aantal aspecten die de afgelopen 30 jaar steeds prominenter naar voren kwamen:

- Het cruciale belang van het in de ontwerpfase meenemen van het beheer en onderhoud, de beheerorganisatie en het operationeel team dat de kering moet sluiten als dat nodig is. Dit bleek zwaar onderschat. Door slim te ontwerpen, met inbreng van de beheerorganisatie en het operationeel team (die er dus al vroegtijdig moeten zijn), kunnen zowel de hoeveelheid onderhoudswerk, de kosten, de complexiteit die gemoeid is met de bediening en beheer en onderhoud, en daarmee de doorlooptijd van het werk, sterk worden gereduceerd. Gedurende de levensloop van de kering verdient dit zich vanzelf terug.
Als belangrijk voordeel van het ontwerp van de Maeslantkering kwam naar voren dat de kering als hij niet in gebruik is in een droogdok op de wal staat. Dit geeft veel mogelijkheden voor het beheer en onderhoud.
- Het voorkomen van last-minute wijzigingen van het ontwerp. Vanwege een bezuiniging is het ontwerp destijds gewijzigd. Dit heeft grote impact gehad, afzinken werd hierdoor ernstig bemoeilijkt. Nog steeds heeft het operationeel team daar last van. De ingreep heeft tot een jaar vertraging geleid bij de bouw en uiteindelijk 10% extra kosten. Tweede bezuiniging was om het beslissysteem (BOS) uit de opdracht van bouwer BMK te halen. Dit leidde tot problemen met de benodigde nauwe samenhang tussen kering en BOS, en had ook flinke invloed op de faalkans. Dit leidde tot meerkosten die alles bij elkaar aanzienlijk groter waren dan het bij het ontwerp bespaarde bedrag. Ook vandaag de dag behoeft het BOS veel aandacht.
- Realistisch inschatten van de faalkans. Faalkansanalyse stond bij de bouw van de kering nog in de kinderschoenen, daardoor is de faalkans groter dan bij het ontwerp gedacht. De oorspronkelijke doelstelling van 1:1000 bleek bij lange na niet haalbaar. Zelfs de huidige doelstelling van 1:100 vergt veel inspanning. Dat komt onder meer door de invloed van de software (zie vorige punt). Maar ook het onvoldoende meenemen van het beheer en onderhoud en het operationeel team bij het ontwerp speelde een grote rol (zie het eerste punt).
- Het gebruik van 'proven technology', waardoor experimenteren zoveel mogelijk wordt voorkomen. Dit voorkomt verrassingen na oplevering waardoor vooraf beter bekend is wat de betrouwbaarheid van de stormvloedkering gaat zijn. En aanvullend daarop: Onderzoek kansen om stormvloedkeringen te uniformeren. Uitwisselbaarheid van onderdelen zou een mooie toevoeging zijn.
- Het expliciet realiseren van redundantie en robuustheid. De deuren van de Maeslantkering kunnen bijvoorbeeld met een sleepboot worden geopend als ze

na een storm niet meer bediend kunnen worden. En het weer kunnen openen van een stormvloedkering is minstens zo belangrijk als het kunnen sluiten. Anders kan overtollig rivierwater niet wegstromen en volgt alsnog een overstroming.

Uit de expert workshop kwamen daarnaast nog een groot aantal aandachtspunten. Deze zijn samengevat in bijlage 6.

9.2.2. *Maatschappelijke aanvaardbaarheid*

De ingediende ontwerpen van de Maeslantkering zijn naast de technische ontwerpcriteria uit de vorige paragraaf ook getoetst op maatschappelijke criteria. In de nota's uit die tijd werd dat de maatschappelijke aanvaardbaarheid genoemd (RWS, 1989a):

- a. Beïnvloeding van actuele en potentiële ruimtelijke functies van de omgeving
- b. De mate waarin tijdens de bouw of na de bouw schadelijke stoffen in het water, de bodem of lucht terecht komen.
- c. Beïnvloeding van natuurwaarden.
- d. Beïnvloeding van het landschap en de beleving daarvan door de mens.
- e. Kans op (mede) door de aanwezigheid van de stormvloedkering veroorzaakte scheepsongevallen.

Ook voor deze maatschappelijke criteria is een aparte workshop georganiseerd met experts en betrokken overheden. De belangrijkste resultaten zijn beschreven in hoofdstuk 8 en bijlage 6.

9.3. **Ontwerpcriteria Hollandkering**

Zoals eerder aangegeven is het ontwerp van de Hollandkering nog niet uitgewerkt. Er bestaat in dit stadium alleen een artist-impression. Daarom kan ook niet goed beoordeeld worden hoe de Hollandkering scoort op alle ontwerpeisen. Samengevat is op de meeste punten het oordeel van de experts:

- Op de punten waar een beoordeling mogelijk is, is er in het algemeen geen significant effect te verwachten (positief of negatief).
- Zoals eerder in deze studie aangegeven is er wel een groot verschil in de kosten-baten tussen de voorkeursstrategie van het Deltaprogramma, en de situatie met een extra stormvloedkering. Deze laatste variant is aanzienlijk duurder, orde grootte 1 tot 2 miljard euro in contante waarde.

Daarnaast vallen in kwalitatieve termen een aantal dingen op:

- De beoogde faalkans van 1:5000 is aanzienlijk beter dan die van de huidige Maeslantkering. Of die ook echt gehaald kan worden is onduidelijk. Maar als er twee keringen achter elkaar gezet kunnen worden, elk met een faalkans van 1:100 die onafhankelijk zijn van elkaar, dan zou 1:5000 technisch haalbaar moeten zijn. De crux zit echter in de term 'onafhankelijk'. De keringen moeten dan bijvoorbeeld een eigen energievoorziening hebben, software, operationeel team, enzovoorts.
- De betrouwbaarheid sluiten met de Hollandkering erbij wordt aanzienlijk kleiner. Maar het risico dat de kering niet opent na een sluiting, is weer groter. En ook dat is van groot belang, want anders hoopt het rivierwater zich op en volgt alsnog een overstroming. De Maeslantkering kan eventueel met een sleepboot weer open worden getrokken. Voor de Hollandkering geldt dat niet. Die kan wel op zwaartekracht sluiten overigens, wat weer een voordeel is.
- De kosten voor een tweede stormvloedkering zijn nu ingeschat als vergelijkbaar met de Maeslantkering. Het is de vraag of dat realistisch is. De Hollandkering is

een geheel nieuw ontwerp (geen 'proven technology'). De ervaring leert dat de kosten dan vaak tegenvallen. Dat kan uiteraard meevallen, maar het risico op kostenoverschrijdingen lijkt groter dan bij sec het bouwen van een kopie van de huidige Maeslantkering.

- Over het beheer en onderhoud van de Hollandkering is nog niet nagedacht. Het lijkt op voorhand ingewikkelder dan bij de Maeslantkering, omdat daar de deuren als de kering niet gesloten is in een droogdok op het land liggen. Op die manier zijn ze eenvoudig te bereiken. Ook over de bediening en mogelijke redundantie bij een falend sluitproces (inclusief het weer openen) is slechts beperkt nagedacht.
- Buitendijks gebied. Doordat de faalkans met Hollandkering kleiner is, is de kans ook reëel dat de Hollandkering minder vaak faalt op het moment dat deze moet sluiten. Dit is gunstig voor het buitendijks gebied, omdat het buitendijks gebied minder vaak onverwachts (bij falen van de kering) onder zal lopen.
- Ruimtelijke ontwikkeling. Doordat minder dijkversterkingen nodig zijn, zijn er ook minder problemen met de inpassing. Met name in stedelijk gebied levert elke dijkversterking veel overlast en ruimtelijke beperkingen op. De Hollandkering kan dijkversterkingen slechts in geringe mate voorkomen. Maar er zitten wel stukjes bij, met name in Rotterdam, waar de hoogteverschillen oplopen tot ongeveer 1,5 meter. Als zo'n extra verhoging niet nodig is, maakt dat de ruimtelijke inpassing van een dijkversterking in stedelijk gebied aanzienlijk eenvoudiger.

Voor de 'maatschappelijke aanvaardbaarheid' is tot slot van belang dat in de benadering van Samen Sterk wordt verondersteld dat de kleinere faalkans voordelig werkt voor een aantal systeemwerkingen in het gebied:

1. Het wordt efficiënter om het Volkerak-Zoommeer in te zetten als waterbuffer onder maatgevende condities.
2. Dat geldt ook voor het verder vergroten van de waterberging in de zuidwestelijke delta, bijvoorbeeld bij het Grevelingenmeer.
3. Gemalen die in de toekomst een optie kunnen zijn om rivierwater naar buiten te pompen worden efficiënter (daarmee goedkoper) naarmate de faalkans van een stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg kleiner wordt.

In het vorige hoofdstuk is daarop ingegaan. Daarin wordt geconcludeerd dat de hypothese voor het eerste punt waarschijnlijk niet geldt. De effectiviteit van de laatste twee maatregelen is geheel afhankelijk van de uitwerking, en kan op dit moment niet beoordeeld worden.

10 Conclusies, discussie en aanbevelingen

10.1. Inleiding

In voorgaande hoofdstukken zijn de effecten op de waterveiligheid, de kosten en de baten onderzocht van een tweede stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg. Tevens is een kwalitatieve analyse uitgevoerd van de belangrijkste technische ontwerpcriteria en de criteria die van belang zijn voor de maatschappelijke inpasbaarheid.

Met deze informatie kunnen de vragen uit de motie Grinwis worden beantwoord:

1. Wat is de haalbaarheid van de «Hollandkering» op de waterveiligheid van Rijnmond-Drechtsteden en het gebied daaromheen?
2. Wat zijn de kosten en baten?

In dit hoofdstuk worden alle resultaten bij elkaar gevoegd, en volgen de conclusies en aanbevelingen. Daarbij wordt ingegaan op de volgende aspecten:

1. Effecten op de waterveiligheid (hfd. 4 en 5)
2. Kosten en baten van infrastructurele maatregelen (hfd. 6 en 7)
3. Effecten op andere functies en overige kosten-baten (hfd.8)
4. Technische haalbaarheid (hfd. 9).

Deze studie is nadrukkelijk een eerste verkenning, waarbij met name naar het losstaande effect van een kleinere faalkans van de combinatie van Hollandkering en Maeslantkering is gekeken. Er zijn geen combinaties gemaakt met mogelijke andere maatregelen om waterstanden te verlagen. Wel is hier voor zover mogelijk kwalitatief naar gekeken. Voor de aanpak is aangesloten bij het Kennisprogramma Zeespiegelstijging. Dat betekent dat een landelijk uniforme aanpak voor het hele gebied is uitgevoerd voor het berekenen van de hydraulische belastingen, de dijkversterkingen en de kosten. Enkele voorbeelden van landelijk uniforme uitgangspunten zijn de gebruikte modellen, kostenkentallen voor een dijkversterking en scenario's voor klimaatverandering en zeespiegelstijging.

10.2. Conclusies

Hoofdconclusie

De benadering zoals die is opgesteld door het consortium Samen sterk, waarvan de Hollandkering een onderdeel is, bouwt voort op de huidige voorkeursstrategie. Eén onderdeel uit het plan is kwantitatief onderzocht: het bouwen van de Hollandkering. Uit het onderzoek blijkt dat het bouwen van alleen de Hollandkering (dus zonder aanvullende systeemmaatregelen zoals pompen of extra bergingsgebieden) een positief effect heeft op de hydraulische belastingen in Rijnmond-Drechtsteden. Het effect is echter zodanig, dat dit dijkversterkingen maar in beperkte mate kan voorkomen. Daardoor wegen de kosten van deze extra stormvloedkering van ongeveer 1,7 miljard euro niet op tegen de baten van vermeden dijkversterkingen van ongeveer 100 miljoen euro (op een totaal aan dijkversterkingen tot 2200 van 10 miljard euro (contante waarde, prijspeil 2022)).

Op langere termijn kan een tweede stormvloedkering in de monding van de Nieuwe Waterweg wellicht meer effect hebben. Met name zou dit het geval kunnen zijn in combinatie met andere systeemmaatregelen, zoals het creëren van extra berging in de Zuidwestelijke delta of het plaatsen van grote gemalen om overtollig rivierwater af te voeren. Met deze aanvullingen veranderen ook de kosten en baten voor het

gebied. Aanvullend onderzoek naar dit soort maatregelen is complex en vindt plaats in het vervolg van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging.

Toelichting: Onder invloed van een stijging van de zeespiegel en een toename van de rivierafvoeren zal de hydraulische belasting (waterstanden en golven) op de dijken in de regio Rijnmond-Drechtsteden en het gebied eromheen in de toekomst groter worden. Dit betekent dat de dijken versterkt moeten worden. Dat is een complexe opgave in het verstedelijkte gebied rondom Rotterdam en Dordrecht.

Door de aanleg van een tweede stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg zal de kans op het doordringen van een hoge stormvloed vanaf zee afnemen (de kans op falen van het geheel aan stormvloedkeringen wordt kleiner). Daardoor nemen de hydraulische belastingen op de primaire waterkeringen achter de stormvloedkeringen af.

Het gevolg is dat de huidige dijken als gevolg van de tweede stormvloedkering in de toekomst minder (en soms minder vaak) versterkt hoeven te worden om aan de veiligheidsnormen te blijven voldoen. Met andere woorden: de veiligheidsopgave voor de dijken wordt kleiner. Desalniettemin kan zowel bij de huidige voorkeursstrategie van het Deltaprogramma (de referentievariant) als de variant met een tweede stormvloedkering op een betrouwbare manier aan de wettelijke normen worden voldaan.

In beide varianten zijn daarvoor tot 2200 op grote schaal dijkversterkingen nodig, zij het met een tweede stormvloedkering in mindere mate. In een gebied als Rotterdam of Dordrecht maakt dat een verschil, omdat het complex is om de hogere keringen op een goede manier in het verstedelijkte gebied in te passen.

Voor 2050 is er nauwelijks sprake van een hoogteopgave. Voor 2100 en 2200 geldt dat er een aantal normtrajecten is waar dijkverhogingen van een halve meter of meer spelen. Op traject 14-3 zijn er in 2200 12 dijkvakken waar een hoogteopgave is van 50 tot 75 cm, 5 dijkvakken waar een hoogteopgave speelt van 75 cm tot een meter, en op twee dijkvakken zelfs orde grootte 1,70 meter.

De verschillen in opgave voor de dijken tussen de situatie met en zonder tweede stormvloedkering zijn echter over het gehele gebied gezien niet groot. Dat komt onder andere door andere veranderingen die niet door de Hollandkering beïnvloed worden. Bijvoorbeeld een grotere rivierafvoer (door klimaatverandering) en bodemdaling, waardoor dijkversterkingen in beide situaties nodig blijven. Dankzij een tweede stormvloedkering kan een bedrag worden bespaard van ongeveer 100 miljoen euro op een totaalbedrag van ruim 10 miljard euro (contante waarde, prijspeil 2022).

De inschatting van de kosten voor de aanleg van een tweede stormvloedkering bedraagt 1,7 miljard euro (contante waarde; prijspeil 2022).

Het verschil tussen de kosten (van een tweede stormvloedkering) en de baten (vermeden dijkversterkingen) is daarmee orde grootte 1,5 miljard euro. Daarmee zijn de netto kosten voor een tweede stormvloedkering aanzienlijk hoger dan die in de huidige aanpak zonder extra stormvloedkering (de referentiesituatie).

In de berekening van de contante waarde zijn enkele gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Zo is de discontovoet en het moment van vervangen van de Maeslantkering gevarieerd. Beide kunnen leiden tot een kleiner verschil tussen kosten en baten. Op basis van gevoeligheidsanalyses is ingeschat dat de onzekerheid in de bandbreedte van de variant met een tweede kering ongeveer plus of min 0,5 miljard euro bedraagt. Daarmee blijven de meerkosten van een tweede stormvloedkering ook bij de meest gunstige aannames minimaal 1 miljard euro. De conclusies blijven daarmee onveranderd.

Over de technische haalbaarheid van de Hollandkering is in dit stadium nog geen uitspraak te doen. Daarvoor is een meer uitgewerkt ontwerp nodig. Wel zijn er een aantal aandachtspunten en risico's benoemd waar bij het ontwerp rekening mee moet worden gehouden. Bijvoorbeeld bij het ontwerp alvast nadenken hoe het beheer en onderhoud van de kering goed kan worden uitgevoerd in de 100 jaar die de kering mee moet gaan, of het zoveel mogelijk benutten van 'proven technology'. Dit laatste is belangrijk om de faalkans van de kering op papier bij het ontwerp ook te halen in de praktijk.

Uit de analyse blijkt dat er tussen beide varianten geen significant verschil is in de effecten op andere functies en overige kosten-baten. Tevens zal alleen een tweede stormvloedkering niet leiden tot een efficiëntere inzet van de berging van het Volkerak-Zoommeer. Op langere termijn kan een tweede stormvloedkering in de monding van de Nieuwe Waterweg wellicht meer effect hebben. Daarvoor zijn naast de tweede stormvloedkering waarschijnlijk extra systeemmaatregelen nodig, zoals grote gemalen om overtollig rivierwater weg te pompen en extra berging in de zuidwestelijke delta.

Dit soort systeemmaatregelen worden meegenomen in het onderzoek van fase 2 van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging ().

Conclusies over hydraulische belastingen

Het gebied rondom de Rijnmond-Drechtsteden staat onder invloed van zowel de zee als de rivieren. Toename van de zeespiegel of de afvoer van de rivieren vormen richting de toekomst dan ook bedreigingen voor het gebied waarop geanticipeerd moet worden. De stormvloedkeringen in het gebied zorgen voor een complex samenspel tussen het afsluiten van het gebied om hoge stormvloed buiten te houden en het aan de achterkant volstromen van het (af en toe bij storm) afgesloten gebied met water vanaf de rivieren.

Het verkleinen van de kans op doordringen van een stormvloed (bijvoorbeeld door de aanleg van een tweede stormvloedkering) heeft effect op de hydraulische belastingen in het achter de stormvloedkeringen liggende gebied. Met name voor de dijktrajecten langs de Nieuwe Maas en de Oude Maas die net achter de kering liggen, geeft een tweede stormvloedkering een verlaging van de hydraulische belastingen. De waterstanden bij de normen van de dijken nemen grofweg af met 0,15 – 0,25 m en de hydraulische belastingniveaus (als maat voor de minimaal benodigde kruinhoogte) nemen af met ongeveer 0,20 – 0,50 m. De precieze verlagingen van de hydraulische belastingen hangen af van veel locatiespecifieke details, zoals de precieze ligging, oriëntatie (ligging ten opzichte van de wind) of de vorm van het dwarsprofiel van de dijk. Algemeen geldt dat hoe verder een locatie verwijderd is van de stormvloedkeringen, hoe minder verlaging wordt gevonden. Dit is logisch omdat andere aspecten (zoals de rivierafvoer en het sluitpeil) een rol gaan spelen en het effect van een stormvloedkering uitdempt.

Conclusies over de waterveiligheidsopgave en dijkversterkingen

Een tweede stormvloedkering heeft voornamelijk effect op de hydraulische belastingen langs de trajecten in de Nieuwe Maas tot Rotterdam en de Oude Maas tot de splitsing met het Spui. Omdat de dijkversterkingsopgave direct gekoppeld is aan de hydraulische belastingen, is op deze trajecten ook het grootste effect op de dijkversterkingen zichtbaar. Daarnaast hebben de variaties in hydraulische belastingen met name effect op de hoogteopgave. De tweede stormvloedkering heeft zeer beperkt invloed op de opgave voor de faalmechanismen piping en macrostabiliteit, doordat deze mechanismen over het algemeen minder gedreven

worden door de relatief kortdurende waterstandsverhoging zoals die bij een storm plaatsvindt (meestal maar 1 of 2 dagen).

De totale waterveiligheidsopgave wordt echter niet alleen beïnvloed door de variaties in de waterstand. Als eerste beïnvloedt de bodemdaling in het gebied de opgave voor hoogte. Datzelfde geldt voor de toename van de rivierafvoeren, die door klimaatverandering de komende eeuwen zal optreden. Een (tweede) stormvloedkering kan deze extra opgave aan de dijken niet voorkomen. Ten tweede geldt dat voor alle dijkvakken met zowel een hoogteopgave als een sterkteopgave de besparingen op de dijkversterkingskosten relatief klein zijn door realisatie van een tweede stormvloedkering. Het blijkt dat het aantal versterkingsronden per dijkvak niet of nauwelijks zal afnemen, zelfs als de opgave voor hoogte geheel wordt weggenomen. Dit geldt zowel in de referentie als in de situatie met een tweede stormvloedkering. Dit komt doordat de opgaven voor piping en macrostabiliteit ervoor zorgen dat de dijkvakken ook in de toekomst aangepakt moeten worden.

Conclusies over kosten en baten

De belangrijkste kostenposten in beide onderzochte varianten zijn dijkversterkingen en investeringen in stormvloedkeringen. De vermeden (cumulatieve) nominale dijkversterkingskosten tot en met 2200 door de aanleg van een tweede stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg worden geschat op 247 miljoen euro (op een totaal aan benodigde dijkversterkingen tot 2200 in deze regio van 25 miljard euro). Dit zijn dus alle vermeden investeringen in de periode tussen nu en 2200 (inclusief beheer en onderhoud en eventuele vervangingen). Door onder andere de mogelijkheid om rente te krijgen op banktegoeden zijn uitgaven die later plaatsvinden, bijvoorbeeld na 2050 of 2100, niet goed vergelijkbaar met investeringen die nu plaatsvinden. Daarom zijn de uitgaven zoals gebruikelijk bij overheidsinvesteringen omgerekend naar de contante waarde. Hierbij worden investeringen in de toekomst vertaald naar kosten in het huidige zichtjaar, waardoor ze beter vergelijkbaar worden. Hieruit volgt dat een tweede stormvloedkering ervoor zorgt dat uitgedrukt in contante waarde grofweg 111 miljoen euro aan dijkversterkingen kan worden voorkomen tot en met het jaar 2200 (de baten van een extra stormvloedkering). De kosten van aanleg, beheer en onderhoud en vervanging van een tweede stormvloedkering bedragen uitgedrukt in contante waarde ongeveer 1,7 miljard euro. Het verschil in contante waarde tussen de situatie met een tweede stormvloedkering en de referentiesituatie (zonder extra stormvloedkering) bedraagt daarmee afgerond ruim 1,5 miljard euro (op een totaal van ongeveer 10 miljard euro; prijspeil 2022).

De dijkversterkingskosten worden voor een groot deel bepaald door de vaste kosten van een dijkversterking en die zijn grotendeels onafhankelijk van de omvang van een dijkversterking. Alleen de variabele kosten (zoals die gebaseerd op het grondvolume, of op de afmetingen van een kistdam die diep de grond in gaat) worden beïnvloed. Denk daarbij als voorbeeld aan een kistdam die 0,5 m minder lang hoeft te zijn (bij een lengte van soms enkele tientallen meters) door de aanleg van een tweede stormvloedkering. Dit geeft slechts een kleine reductie op de totale dijkversterkingskosten.

Conclusies ten aanzien van andere functies en overige kosten-baten

Uit een kwalitatieve analyse tijdens een expert-workshop blijkt dat er tussen beide varianten geen significant verschil is in de effecten op andere functies en overige kosten-baten.

Samengevat zijn de belangrijkste aandachtspunten voor de regio:

- De frequentie, en de hoeveelheid water waarmee (delen van) van buitendijkse gebieden onder lopen. Dit bepaalt sterk de mate van wateroverlast, mogelijke

schade en slachtoffers en hoe vaak maatregelen moeten worden genomen om de overlast in buitendijkse gebieden te beperken. Tevens bepaalt dit de bouwhoogte voor nieuwbouw, en daarmee de (on)mogelijkheden voor ruimtelijke ontwikkeling. Dit is afhankelijk van het sluitpeil. Hierin is geen significant verschil tussen beide strategieën.

- De sluitfrequentie van de stormvloedkering(en). Dit bepaalt met name de hinder voor de scheepvaart en bereikbaarheid van de haven.
- De bescherming tegen overstromingen binnendijs. Met name dijkversterkingen in stedelijk gebied kunnen tot veel overlast leiden, zowel in de bouwfase (met als gevolg maatschappelijke weerstand, vertraging en oplopende kosten) als permanent.

Daarnaast zijn er nog een aantal andere mogelijke effecten genoemd:

- Creëren van betere condities voor andere systeemmaatregelen in de regio (conform hypothese Samen Sterk).
- Verzilting/zoetwatervoorziening.
- Natuur.
- Recreatief medegebruik.
- Morfologie.
- Vitale functies en crisis management.
- Energietransitie/duurzaamheid.

Op het eerste punt wordt in de volgende paragraaf ingegaan. De overige worden in het algemeen tijdens de expert-workshop als niet significant beoordeeld.

Conclusies ten aanzien van andere systeemmaatregelen uit het plan Samen sterk

Zoals beschreven in hoofdstuk 2 en bijlage 3 omvat de benadering van Samen sterk naast de Hollandkering nog een aantal andere systeemmaatregelen om waterstanden te verlagen, en daarmee dijkversterkingen te voorkomen. Deze zijn in dit stadium slechts kwalitatief uitgewerkt in het plan. Tevens concentreert de motie zich op de Hollandkering. Desalniettemin is een kwalitatieve inschatting gegeven van de effecten van deze systeemmaatregelen. De hypothese van Samen Sterk is dat de tweede stormvloedkering voordelig uitwerkt voor een aantal systeemmaatregelen in het gebied:

1. Het wordt efficiënter om het Volkerak-Zoommeer in te zetten als waterbuffer onder maatgevende condities.
2. dat geldt ook voor het verder vergroten van de waterberging in de zuidwestelijke delta, bijvoorbeeld bij het Grevelingenmeer.
3. Gemalen die in de toekomst een optie kunnen zijn om overtollig rivierwater naar buiten te pompen worden efficiënter (en daarmee goedkoper) naarmate de faalkans van een stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg kleiner wordt.

Over deze systeemmaatregelen wordt geconcludeerd dat de hypothese voor het eerste punt waarschijnlijk niet geldt. De effectiviteit van de laatste twee maatregelen is geheel afhankelijk van de uitwerking, en kan op dit moment niet beoordeeld worden. Wel zou het kunnen dat op langere termijn een tweede stormvloedkering in de monding van de Nieuwe Waterweg meer effect heeft, in combinatie met de extra systeemmaatregelen. Onderstaand wordt verder op deze systeemmaatregelen ingegaan.

1. Efficiëntere inzet berging Volkerak-Zoommeer

Voor het Volkerak-Zoommeer is van belang in hoeverre een extra stormvloedkering invloed heeft op dit gebied. Uit de berekeningen volgt dat er in de omgeving van het Volkerak-Zoommeer en de zuidrand van de RijnMaasmonding geen enkele invloed is op de waterstanden. Hieruit volgt dat er van een efficiëntere inzet van de berging in het Volkerak-Zoommeer door het bijbouwen van een tweede stormvloedkering geen sprake is; zie voor de combinatie met andere systeemmaatregelen punt 2+3).

2+3. Vergroten waterberging zuidwestelijke delta en efficiëntere inzet gemalen.

In het algemeen kan gezegd worden dat meer waterberging er voor zorgt dat de waterstanden minder hoog uitvallen dan zonder. Om het effect van deze maatregelen te kunnen bepalen, is een verdere uitwerking noodzakelijk. Dan alleen kan iets gezegd worden over effecten op de waterveiligheid, de kosten en de baten. Gemalen leiden eveneens tot daling van waterstanden, waardoor maatregelen elkaar versterken. Maar het hangt af van de grootte, de plaats en eventuele andere systeemmaatregelen hoeveel precies. Zowel extra waterberging als gemalen zijn maatregelen waar hoge investeringskosten mee zijn gemoeid.

Voor beide groepen maatregelen is niet goed te zeggen in hoeverre dit efficiënter werkt met een tweede stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg. En in hoeverre de berging in het Volkerak-Zoommeer in combinatie met andere systeemmaatregelen wellicht wel effect heeft. Daarvoor zullen uitgebreide berekeningen moeten worden gemaakt. Berekeningen naar dit soort systeemmaatregelen zijn de komende jaren voorzien in fase 2 van het Kennisprogramma zeespiegelstijging.

Conclusies ten aanzien van technische haalbaarheid

Over de technische haalbaarheid van de Hollandkering is nog geen uitspraak te doen. Daarvoor is een meer uitgewerkt ontwerp nodig. Wel zijn er een aantal aandachtspunten en risico's benoemd. Zie hiervoor het eind van de volgende paragraaf (discussie en aanbevelingen).

10.3. Discussie en aanbevelingen

In deze studie is gekeken naar de extra bescherming die de realisatie van een tweede stormvloedkering biedt ten opzichte van de situatie met alleen de Maeslantkering. Er is kwalitatief eveneens gekeken naar een combinatie met andere systeemmaatregelen, met name het creëren van extra berging of het plaatsen van grote gemalen om water af te voeren naar zee.

De verwachting is dat een tweede stormvloedkering in combinatie met andere systeemmaatregelen een groter effect zal hebben op de hydraulische belastingen. Daarbij kan gedacht worden aan het beperken van de overstroombaarheid van de huidige Maeslantkering en het vergroten van de waterberging, door naast de Volkeraksluizen ook een kunstwerk in de Grevelingendam open te zetten tijdens het sluiten van de stormvloedkeringen. Met het operationaliseren van waterberging op de Grevelingen neemt de bergingscapaciteit in het gebied met orde 25% toe. Een andere optie is ook om water te bergen in de Oosterschelde (zie Plan Sluizen [RWS, 2014]). Aanvullend kan het oplopen van de waterstand achter een gesloten stormvloedkering worden verkleind door tijdens het sluiten water naar de zee te pompen met een gemaal. Hierbij is de locatie van de beschikbare waterberging en pompcapaciteit van belang, omdat ook in de delta rekening moet worden gehouden met het benodigd verval (het water moet er kunnen komen).

Of dit soort combinaties van maatregelen wel tot een positieve kosten-batenanalyse leiden is op basis van deze studie niet te zeggen. Het aantal vermeden dijkversterkingen zal waarschijnlijk toenemen. Maar hetzelfde geldt ook voor de investeringskosten. In de analyses die recent zijn uitgevoerd blijken de vermeden

dijkversterkingskosten beperkter te zijn dan vooraf gedacht (zie Plan Sluizen; fase 1 KP ZSS; dit onderzoek). En de kosten van het creëren van extra berging of het bouwen van grote gemalen zijn hoog.

In de bepaling van hydraulische belastingen zijn enkele onregelmatigheden in de hydraulische databases opgemerkt. Op basis van nadere analyses is ingeschat dat er een invloed is van deze onregelmatigheden op de hydraulische belastingen. Deze is echter beperkt. Dat geldt ook voor het effect op de contante waarde. Dat heeft drie oorzaken: 1. Het effect op de hoogtegave is beperkt (maximaal een paar decimeter); 2. De kosten voor de sterkteopgave overheersen ten opzichte van de kosten voor de hoogteopgave; 3. Deze fout speelt alleen een rol op locaties dicht achter de kering.

Herstel van deze onregelmatigheden zal weliswaar het verschil tussen de aanlegkosten van een tweede stormvloedkering en de vermeden dijkversterkingskosten verkleinen⁴, maar qua orde grootte zal dit verschil in contante waarde niet significant veranderen.

De onregelmatigheden zullen daarmee ook de conclusies van deze studie niet veranderen; de investeringskosten voor een tweede stormvloedkering zijn daarvoor te groot. Aanbevolen wordt om de onregelmatigheden in de databases aan te passen, zodat toekomstige vragen in het kader van zeespiegelstijging beantwoord kunnen worden zonder deze onregelmatigheden.

De faalkans van de Maeslantkering met tweede stormvloedkering is aangenomen op 1/5.000 per sluitvraag. Uit de gevoeligheidsanalyse naar de faalkans van de kering [HKV, 2023] blijkt dat een kleinere faalkans dan 1/5000 niet of nauwelijks meer effect heeft. De faalkans van 1/5.000 per sluiting is hiermee een keuze. De realiseerbaarheid van deze faalkans in een daadwerkelijk ontwerp en/of constructie is niet nader in beeld gebracht en is niet beschouwd in deze studie. Dat valt buiten de scope van deze opdracht.

In de berekening van de contante waarde zijn enkele gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Zo is de discontovoet en het moment van vervangen van de Maeslantkering gevarieerd. Beide kunnen leiden tot een kleiner verschil tussen kosten en baten. Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt inderdaad een effect op de contante waarde berekening, al blijven de meerkosten van een tweede stormvloedkering ook bij de meest gunstige aannames minimaal 1 miljard euro. De conclusies blijven daarmee onveranderd.

Overige gevoeligheden in de dijkversterkingskosten zijn niet inzichtelijk gemaakt, omdat die naar verwachting geen significante invloed hebben op de conclusies. Wel kunnen variaties in de dijkversterkingsplanning door de aanleg van een tweede stormvloedkering invloed hebben op de resultaten. Voor het vervolg wordt aanbevolen om naar de mogelijke bijkomende effecten van de aanleg van een tweede stormvloedkering op de uitgangspunten van de dijkversterkingskostenanalyse te kijken (misschien geeft ontwerpen op basis van 75 jaar in plaats van 50 jaar wel een ander beeld) en deze onzekerheden te duiden.

Onlangs zijn er nieuwe KNMI-klimaatscenario's uitgekomen. Binnen het Kennisprogramma Zeespiegelstijging zal worden doorgerekend wat de invloed hiervan is. De verschillen met de in deze studie gebruikte KNMI'14-scenario's zijn echter beperkt, zodat niet te verwachten valt dat de uitkomsten significant veranderen.

⁴ Geldt ook voor een beperkt aantal locaties met wateroverlast in buitendijkse gebieden

De uitgangspunten van 1 m zeespiegelstijging in 2100 en 2 m in 2200 zijn bepalend voor de hydraulische belastingen aan de binnenzijde van de kering in gesloten situatie. Variaties in dit uitgangspunt, zoals het sluitpeil en de afvoerstatistiek, zouden inzichten kunnen geven in het functioneren van een tweede stormvloedkering. Dit wordt onderzocht in lopende onderzoeksprogramma's, zoals de tweede fase van het Kennisprogramma zeespiegelstijging.

Opvallend is dat een tweede stormvloedkering na 2100 minder effectief wordt. Dat heeft te maken met de doorstijgende rivierafvoeren door klimaatverandering (waardoor er meer water geborgen moet worden als de kering sluit) en de als gevolg van zeespiegelstijging doorzettende gemiddelde waterstand in de RijnMaasmonding. Bij 2 meter zeespiegelstijging stijgt bijvoorbeeld ook de gemiddelde waterstand op de Nieuwe Maas 2 meter mee. Dit leidt tot minder (verticale) bergingscapaciteit, tenzij de dijken ook verhoogd worden. De voordelen van een kleinere faalkans worden hier deels door teniet gedaan.

Dat kan worden voorkomen door het sluitpeil van de stormvloedkeringen minder mee te laten stijgen met de zeespiegel. Het buitendijks gebied komt dan minder vaak onder water te staan. Maar de kering gaat wel steeds vaker sluiten, wat ten koste gaat van de bereikbaarheid van de haven. De strategie 'afsluitbaar-open' komt daarmee steeds meer onder druk te staan. Dit dilemma van de toegankelijkheid van de haven versus de wateroverlast bij buitendijkse gebieden speelt pas na 2100, maar het is in de regio nu al wel een onderwerp dat op de agenda staat.

Wat betreft de technische haalbaarheid vallen een aantal dingen op:

- De beoogde faalkans van 1:5000 is aanzienlijk beter dan die van de huidige Maeslantkering. Als er twee keringen achter elkaar gezet kunnen worden, elk met een faalkans van 1:100 die onafhankelijk zijn van elkaar, dan zou theoretisch 1:5000 haalbaar moeten zijn. Het is essentieel dat de keringen daadwerkelijk 'onafhankelijk' van elkaar kunnen opereren. De keringen moeten dan bijvoorbeeld een eigen energievoorziening hebben, software, operationeel team, enzovoorts.
- De kosten voor een tweede stormvloedkering zijn nu ingeschat als vergelijkbaar met de Maeslantkering. Het is de vraag of dat realistisch is. De Hollandkering is een geheel nieuw ontwerp. De ervaring leert dat de kosten dan vaak tegenvallen. Dat kan uiteraard meevallen, maar het risico op kostenoverschrijdingen lijkt groter dan bij sec het bouwen van een extra Maeslantkering.
- Voor het beheer en onderhoud van de Hollandkering is nog geen uitgewerkt plan. Het lijkt op voorhand ingewikkelder dan bij de Maeslantkering, omdat daar de deuren als de kering niet gesloten is in een droogdok op het land liggen dat makkelijk te bereiken is. Ook over de bediening en mogelijke redundantie bij een falend sluitproces (inclusief het weer openen) is slechts beperkt nagedacht.
- Doordat de faalkans met Hollandkering kleiner is, is de kans ook reëel dat de Hollandkering minder vaak faalt op het moment dat deze moet sluiten. Dit is gunstig voor het buitendijks gebied, omdat het buitendijks gebied minder vaak onverwachts (bij falen van de kering) onder zal lopen.
- Doordat minder dijkversterkingen nodig zijn, zijn er ook minder problemen met de inpassing. Met name in stedelijk gebied levert elke dijkversterking veel overlast op. Het voorkomen daarvan is dus een voordeel van de tweede stormvloedkering. De Hollandkering kan dijkversterkingen slechts in geringe mate voorkomen. Maar er zitten wel stukjes bij, met name in Rotterdam, waar de hoogteverschillen oplopen tot ongeveer 1,5 meter. Als zo'n extra verhoging

niet nodig, is, maakt dat de ruimtelijke inpassing van een dijkversterking in stedelijk gebied aanzienlijk eenvoudiger.

Tot slot zij benadrukt dat verfijnen van de resultaten mogelijk is door lokaal specifieke uitgangspunten te hanteren die afwijken van de landelijk uniforme keuzes die nu gemaakt zijn.

Vervolg

Met dit onderzoek zijn de vragen zoals vastgelegd in de Kamermotie over de Hollandkering beantwoord. De resultaten en inzichten worden meegenomen in fase 2 van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging, waarin ook andere systeemmaatregelen worden onderzocht. De eindresultaten van het Kennisprogramma worden in 2026 verwacht.

Referenties

CROW, 2010; Standaardsystematiek voor kostenramingen SSK-2010, CROW-publicatie 137, feb 2010.

Deltares, 2012

N. Slootjes, Nader onderzoek extra waterberging Zuidwestelijke Delta - Onderdeel van de mogelijke strategieën Deltaprogramma Zuidwestelijke Delta - Syntheserapport, Deltares rapport 206075-001, Delft, 2012.

Deltares, 2014a

Asselman, A., O. Levelt en A. van der Kraan. Bodemdaling in het rivierengebied. Technische analyses voor DPR, versie 2, 1209392-000. juli 2014.

Deltares, 2014b

KOSTen voor versterken WATERkeringen KOSWAT systeemdocumentatie versie 2.3.2 revisie 47275. augustus 2015.

Deltares, 2020

Statistiek extreme hoogwaters Rijn en Maas op basis van geschaalde KNMI'14 scenario's – versie 0.1. Mark Hegnauer. Deltares rapport 11205237-003-ZWS-0014, 4 december 2020.

De Waterwerkers, 2023

J.Kind. Contante waarde berekening Hollandkering (ref: 5200000713/10), De Waterwerkers, augustus 2023.

DP, 2020a

Deltaprogramma; Nationaal Deltaprogramma 2021. Koersvast werken aan een klimaatbestendig Nederland, Ministerie van IenW, september 2020.

DP, 2020b

Deltaprogramma; Synthesedocument van herijking Voorkeurstrategie Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden, Ministerie IenW, Deltaprogramma, juni 2020.

DPRD, 2020

Voorkeursstrategie Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden 2020. Rapport juni 2020.

HHSK, 2011

A. Van der Kraan; Zettingsverwachting primaire waterkeringen. Achtergrondplaatje van NAM/RWS. Zettingsverwachting geschat op basis van metingen (HHSK), ervaring/metingen (WSHD en WSRL) en de gegevens uit het achtergrondplaatje (overige waterschappen). In opdracht van Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden. december 2011.

HKV, 2010

Slootjes et al. (2010). Gevoeligheidsanalyse Waterberging Zuidwestelijke Delta - Hoofdrapport, Slootjes, N., M.K. Karelse, Y.J.G. van Kruchten, T. Louters, J. Bulthuis, S. de Goederen, J.W. Slager en R. Slomp. HKV / DHV / Rijkswaterstaat Rotterdam. 2010.

HKV, 2015

Achtergrondrapportage varianten voor afsluiting Rijnmond; MHW en HBN berekeningen in de Rijn-Maasmonding. T. Botterhuis en J.W. Stijnen. In opdracht van Rijkswaterstaat-WVL, HKV-rapport PR3014.20, Lelystad, augustus 2015.

HKV, 2021a

C. Oerlemans, J.W. Stijnen, M. Bénit en A. Paarlberg; Productieberekeningen BOI2023; Deelperceel 3: Rijn- en Maasmonding (conceptuitgangspunten). In opdracht van Rijkswaterstaat-WVL. HKV- en Arcadis rapport PR4538.10, Lelystad, 26 oktober 2021.

HKV, 2021b

M. Duits. Hydra-NL versie 2.8.3 voor het Kennisprogramma Zeespiegelstijging; Uitgangspunten en achtergronden. HKV lijn in water, rapport PR4407.20. juli 2021.

HKV, 2021c

C. Oerlemans, J.W. Stijnen, M. Bénit en A. Paarlberg. Productieberekeningen BOI2023; Deelperceel 3: Rijn- en Maasmonding (conceptuitgangspunten). In opdracht van Rijkswaterstaat-WVL. HKV- en Arcadis rapport PR4538.10, Lelystad. 26 oktober 2021.

HKV, 2022a

Pilotfase RMM. Opdrachtgever Rijkswaterstaat-WVL, C. Oerlemans, T. Botterhuis en B. Thonus. HKV lijn in water rapport PR4423.10. februari 2022.

HKV, 2022b

T. Botterhuis. Analyse bergend oppervlak Rijn-Maasmonding bij toename middenstand zee. In opdracht van Rijkswaterstaat-WVL. HKV-memorandum PR4682.10, Lelystad. oktober 2022.

HKV, 2022c

Hydraulische belastingen Hollandsche IJssel; voor KP-ZSS en BOI2023. D. Honingh, J.W. Stijnen, T. Botterhuis, C. Oerlemans en G. Rongen. In opdracht van Rijkswaterstaat-WVL. HKV-rapport PR4611.10, Lelystad. juni 2022.

HKV, 2023

T. Botterhuis, D. Knops, M. Zethof, J. Stijnen, J. Kind (De Waterwerkers); Quickscan tweede stormvloedkering; Systeemanalyse Rijnmond-Drechtsteden t.b.v. een tweede stormvloedkering, september 2023.

HKV/WiBo, 2023

M. Zethof, J.W. Stijnen, B. Kuijper, D. Knops (HKV) en B. van den Berg (Witteveen+Bos). Systeemanalyse waterveiligheid; Deelrapport Rijn-Maasmonding en Rivierengebied. Uitgegeven door Kennisprogramma Zeespiegelstijging – Spoor II – Systeemverkenningen. In opdracht van Rijkswaterstaat-WVL, HKV-project PR4862.10, Lelystad, mei 2023.

HWBP, 2022

Hoogwaterbeschermingsprogramma; 'HWBP-projecten 2023'; alliantie Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP); november 2022.

IPCC, 2023

IPCC; Synthesis report of the IPCC Sixth assessment report (AR6 20 maart 2023).

KNMI, 2014

KNMI; KNMI '14-Klimaatscenario's voor Nederland, Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie, 2014.

MinFin, 2020

Ministerie van Financiën, Inspectie der Rijksfinanciën/Bureau Strategische Analyse; Rapport werkgroep discontovoet 2020, oktober 2020

MinIenM, 2017

Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2017). Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid primaire waterkeringen. 2016.

MinIenW, 2021

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (min I&W), Het Nationaal Waterplan 2021-2027, 2021.

Port of Rotterdam, 2023

Port of Rotterdam, Adaptatiestrategie Waterveiligheid;
<https://www.portofrotterdam.com/nl/bouwen-aan-de-haven/veilige-haven/waterveiligheid>, 2023.

RWS, 1987a

Rijkswaterstaat; Werkgroep Techniek SWK; Toetsingsplan Stormvloedkering Nieuwe Waterweg; Nota 2: een uitgewerkt voorontwerp; 30 september 1987

RWS, 1987b

Rijkswaterstaat; Toetsingsgroep Stormvloedkering Nieuwe Waterweg; Toetsing aanbiedingen Stormvloedkering Nieuwe Waterweg; Utrecht, 2 november 1987.

RWS, 2015

Rijkswaterstaat; Motie Geurts, Deltaprogramma: onderzoek naar de effecten van sluizen in de Nieuwe Maas en Oude Maas op de waterveiligheid en de zoetwatervoorziening; 9 november 2015.

RWS/GPO, 2019

Rijkswaterstaat GPO; Excelfile behorende bij het rapport GPO RWS, 2019. Bijlage I – Onderbouwing raming vervangingswaarde kunstwerken. 2019.

RWS, 2022a

Rijkswaterstaat; Referentie – Systeemanalyse WV KP ZSS. 2022.

RWS, 2022b

Rijkswaterstaat; Aanpak Kunstwerken Systeemanalyse WV KP ZSS. 2022.

RWS, 2022c

Rijkswaterstaat; Generieke werkwijze, Systeemanalyse waterveiligheid Kennisprogramma Zeespiegelstijging, versie 1.0. 28 juli 2022.

RWS, 2022d

Rijkswaterstaat; Toepassingsleidraad OKADER voor KP ZSS spoor II. P. de Grave (Deltares). Februari 2022.

RWS, 2022e

Systeemanalyse Waterveiligheid. Systeemanalyse Waterveiligheid. Deelrapport Harde Kust - Onderdeel Veerse Gatdam. 11 november 2022.

RWS, 2023a

Systeemanalyse Waterveiligheid –Deelrapport Rijn-Maasmonding en Rivierengebied.
Kennisprogramma Zeespiegelstijging – Spoor II – Systeemverkenningen, v0.9, april 2023.

RWS, 2023b

Systeemanalyse Waterveiligheid –Deelrapport Zuidwestelijke Delta.
Kennisprogramma Zeespiegelstijging – Spoor II – Systeemverkenningen, v0.9, april 2023.

RWS, 2023c

S. Prins; “20230320 Kosten Stormvloedkeringen v03.000 voor KP ZSS.xls”. S.
Bedrijfsvertrouwelijke informatie RWS.

RWS/MinIenW, 2020

Notitie actualisatie beleidsuitgangspunt afvoerverdeling Rijntakken (hoogwater), M.
Schropp (RWS) en L. Kok (IenW/DGWB). 20 mei 2020.

Samen Sterk, 2022

Op zoek naar alternatieven voor dijkversterking langs de benedenrivieren onder
zeespiegelstijging;
https://flowsplatform.nl/documents/Samen_Sterk_Een_verkenning_v4.pdf, 2022.

WiBo/HKV, 2022

Witteveen+Bos & HKV , Landelijke set fragility curven t.b.v KP-ZSS. In opdracht van
Rijkswaterstaat, Referentie: 129320/22-011.011. WVL. 22 juli 2022.

Bijlagen

Bijlage 1: Motie Grinwis c.s; Hollandkering

MOTIE VAN HET LID GRINWIS C.S.

Voorgesteld tijdens het Wetgevingsoverleg van 21 november 2022

De Kamer, gehoord de beraadslaging, constaterende dat zeespiegelstijging gevolgen heeft voor de bewoonbaarheid van Nederland op de langere termijn, waarbij als eerste het gebied Rijnmond-Drechtsteden te maken krijgt met de gevolgen;

overwegende dat in het Kennisprogramma Zeespiegelstijging niet alleen tempo en omvang van de toekomstige zeespiegelstijging worden onderzocht, maar ook eventuele aanscherping van voorkeursstrategieën en nieuwe maatregelen;

overwegende dat recent in aanvulling op eerdere mogelijke strategieën – het vervangen van de Maeslantkering door een nieuwe stormvloedkering, een dam met sluizen, een open rivier of juist een tweede kustlijn – het idee van een tweede stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg is gelanceerd;

verzoekt de regering om in het Kennisprogramma Zeespiegelstijging de haalbaarheid en de kosten en baten van de «Hollandkering» op de waterveiligheid van Rijnmond-Drechtsteden en het gebied daaromheen op korte termijn te onderzoeken en de resultaten voor te leggen aan de Tweede Kamer,

en gaat over tot de orde van de dag.

Grinwis
Stoffer
Van der Molen
Minhas

Bijlage 2: Reactie Samen Sterk op deze studie

Delft, 16 oktober 2023

Met het spectaculaire ontwerp van de Hollandkering wilden wij de aandacht vestigen op bovenlokale alternatieven voor lokale dijkversterkingen en lokale buitendijkse aanpassingsmaatregelen langs de benedenrivieren: zogenaamde systeemmaatregelen.

Systeemmaatregelen hebben de benedenrivieren gevormd van een moeilijk begaanbaar gebied tot het internationale powerhouse dat het nu is. De grote vraag is of nieuwe systeemmaatregelen ons nog steeds van dienst kunnen zijn als de zeespiegel stijgt. Er is sinds de commissie-Veerman in 2008 regelmatig ontwerpend onderzoek naar gedaan. Het is niet makkelijk om nieuwe systeemmaatregelen te vinden die minder kosten dan de vermeden dijkversterkingskosten en het gereduceerde risico voor het buitendijks gebied. Beweegbare keringen, bergen, pompen, en riviermaatregelen werken, maar zolang de faalkans van de stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg 1:100 is, zal er in het probabilistische/statistische raamwerk een storm doorheen blijven "piepen" met ruwweg een kans van voorkomen van 1:100 ($1:100 \times 1:100 = 1:10.000$, de kans op een belasting waar de belangrijkste dijken zo ongeveer tegen moeten kunnen). De Hollandkering houdt deze storm tegen, zodat de andere systeemmaatregelen in hun werking niet meer begrensd worden door de 1:100 storm, die steeds hoger komt als de zeespiegel stijgt. Dit is de essentiële propositie van de Hollandkering, die mede gezien de bijzondere ligging aan het uiterste puntje van de Rijnmond, te zien is als het "kroonstuk der systeemmaatregelen".

In bijgaande studie is deze propositie niet onderzocht, maar wel benoemd en daar zijn we blij mee. In bijlage 3 van dit rapport zijn drie voordelen van de Hollandkering gepresenteerd. De eerste daarvan (de makkelijkste) is op indrukwekkende wijze doorgerekend met een krachtig instrumentarium dat het beste ter wereld kan worden genoemd: het hydraulisch model, de probabilistische benadering en de dijkenkostenfuncties zijn het resultaat van vele decennia samen optrekken door overheid, bedrijfsleven en kennisinstituten. De resultaten zijn goed te verklaren in de lijn van eerder gedane studies. Kennis voor Klimaat (2010) berekende met een faalkans van 1:10.000 waterstandsreducties van 50 tot 80 cm bij Rotterdam en 0 tot 10 cm bij Dordrecht, Deltaprogramma (2011) berekende met een faalkans van 1:10.000 waterstandsreducties van 40 tot 90 cm bij Rotterdam en 0 tot 10 cm bij Dordrecht en de Hollandkering-studie (2023) berekende met een faalkans van 1:5.000 waterstandsreducties van 20 tot meer dan 50 cm bij Rotterdam en 0 tot 10 cm bij Dordrecht.

Wij hopen dat het resultaat van de huidige studie nog eens goed in deze lijn gezien wordt, om de verschillen te begrijpen, en daarmee de finesses van het instrumentarium. En vooral hopen we dat de energie die is losgemaakt gedurende dit traject blijft stromen, zodat we gezamenlijk de primaire propositie (voordeel 2 uit bijlage 3) van de Hollandkering kunnen onderzoeken.

Onze gezamenlijke uitdaging is ook als volgt te formuleren: zonder systeemmaatregelen zal dijkversterking langs de benedenrivieren zo'n 25 miljard euro kosten (met een discontovoet verdisconteerd in het heden 10 miljard) en vele miljarden aan buitendijkse aanpassing. Dit zijn niet alleen kostbare, maar ook organisatorisch uiterst complexe projecten met duizenden lokale belanghebbenden die liever met andere dingen bezig zullen zijn. Het idee van systeemmaatregelen is om de lokale pijn te vermijden, te verzachten en te herverdelen.

Systeemmaatregelen zelf ogen groots, maar zijn in het tijdsgewricht van 21ste eeuw relatief makkelijk te bouwen omdat ze weinig ruimte innemen. Wij stellen voor om het vraagstuk van systeemmaatregelen versus dijkversterkingen/buitendijkse

aanpassing niet alleen te onderzoeken op kosten, maar vooral op lokale weerstand, CO₂- en stikstofuitstoot en andere duurzaamheidsaspecten.

Kortom, een veelomvattend vraagstuk dat vraagt om een veelomvattende gezamenlijke benadering. Wij denken graag verder mee en stellen bovendien voor om ook gezamenlijk studenten te activeren, om wiens toekomst het immers vooral gaat.

Met vriendelijke groet, hoogachtend,

Het consortium 'Samen Sterk'

Bijlage 3: Hollandkering en Samen Sterk (Deltalinks, oktober 2023)

Vijf veelgestelde vragen over de Hollandkering en Samen Sterk

Systeemmaatregelen en dijkversterkingen langs de benedenrivieren onder klimaatverandering: op naar "de Deltawerken van de 21ste eeuw"?

1) Kan alléén de Hollandkering het benedenrivierengebied beschermen tegen de zeespiegelstijging?

Nee. De Hollandkering kan de hele zeespiegelklus niet klaren, maar heeft in ieder geval drie voordelen:

1. Door de Hollandkering gaat de kans op een gefaalde sluiting van de stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg van 1:100 (alleen de Maeslantkering) naar 1:5000 (de Maeslantkering én de Hollandkering) per sluitvraag. Dat levert (in een *probabilistische/statistische beschouwing*) dichtbij de stormvloedkering een waterstandsdeling op van een halve meter en een overstromingskansreductie van een factor 50; dit neemt enkele tientallen kilometers landinwaarts (afhankelijk van het toekomst-scenario voor stormverloop en rivierafvoer) af tot nul. Dit geeft een voordeel van enkele honderden miljoenen euro's aan niet benodigde dijkversterking tot 2200 (afhankelijk van de huidige staat der dijken en de dijkencostenfuncties). Dit bedrag kan flink veranderen als in de wettelijke hydraulische modellen de stormduur of de stormopzet verandert vanwege rekenmethodes of klimaatverandering (maar dat wordt in 2023 door meteorologen nog niet voorzien). Zie deze [referentiestudies met waterstandsberekeningen](#).
Als bovendien de Hollandkering ter hoogte van Hoek van Holland wordt aangelegd, biedt dat extra bescherming voor het dijktraject tussen de huidige Maeslantkering en Hoek van Holland; goed voor een besparing tot 2200 van zo'n 50 tot 100 miljoen euro voor de zeedijk en het buitendijks gebied aldaar.
2. De Maeslantkering met een faalkans van 1:100 is (in een *probabilistische/statistische beschouwing*) te zien als een *stormvloedkering met gaten*. Zolang deze gaten er in zitten zijn zogenaamde *systeemmaatregelen* elders in het gebied minder effectief: pompen, bergen en beweegbare rivierkeringen; Door de gaten te dichten (een gecombineerde faalkans van 1:5000) neemt de effectiviteit toe – zie de volgende paragraaf voor meer uitleg. [Eerdere waterstandsberekeningen](#) laten zien dat dit voordeel goed is voor meerdere decimeters tot 1 meter per systeemmaatregel tot aan Gorinchem, voor megapompen kan het zelfs meerdere meters zijn.
Een systeemmaatregel gepland op korte termijn is te combineren met de aanpassing van het Volkeraksluiscomplex. Voor de scheepvaart is de komende jaren een vierde schutsluis voorzien, en deze is te combineren met verbetering van de naastgelegen spuisluizen en het aanpassen van de scheepvaartsluizen zodat ze ook geschikt worden om te spuien. Dat geeft een verruiming van de totale spuiopening van een factor 2 voor alleen de scheepvaartsluizen tot 4 voor ook het uitbreiden van de spuisluizen – zie [RWS 2010 pag. 29](#), en dus extra spui capaciteit en daarmee betere waterberging in het Volkerak-Zoommeer. Een lagere faalkans van de stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg verbetert de effectiviteit (de mate waarin maatgevende waterstanden worden verlaagd) van de waterberging met een [factor 1,5 tot 2](#).
3. Door de zeespiegelstijging moet de stormvloedkering steeds vaker paraat staan. Het onderhoudsseizoen loopt nu van [15 april tot 1 oktober](#), wanneer er geen zware stormen voorkomen, en ook in het onderhoudsseizoen kan er tot nu toe gedurende [13%](#) van de tijd niet gewerkt worden vanwege te hoge waterstanden. Als de zeespiegel stijgt en stormpatronen veranderen, wordt het onderhoudsseizoen korter, en moet er wellicht ooit permanent een stormvloedkering paraat staan. Met twee stormvloedkeringen zijn

onderhoudschema's zo in te richten dat er in de wintermaanden altijd twee keringen operationeel zijn en buiten de wintermaanden altijd één.

Wanneer zijn deze voordelen groot genoeg om de Hollandkering en andere systeemmaatregelen aan te leggen? Dat vraagt een onderzoek naar brede kosten en baten van meerdere strategieën. Deskundigen geven aan dat systeemmaatregelen werken, maar dat het niet evident is dat ze positief scoren op alléén aanlegkosten versus dijkbesparingskosten.

De kosten van een stormvloedkering hangen af van breedte, diepte en te keren oppervlak en zouden voor de Hollandkering tussen 1 en 2 miljard euro uitkomen, afhankelijk van de te faciliteren scheepvaart over de Nieuwe Waterweg. De kosten van bergen en van megagemalen zijn enkele honderden miljoenen euro's per deelproject. Verstedelijkte dijkversterkingen kosten meerdere tientallen miljoenen euro's per kilometer. Naast kosten worden CO₂- en stikstofscores steeds belangrijker, en uiteraard moeten we strategieën zo integraal mogelijk bekijken en vergelijken.

2) Het voordeel van de Hollandkering is dus vooral gelegen in de combinatie met andere systeemmaatregelen. Hoe werkt dat, in de benedenrivieren?

Systeemmaatregelen zijn civiele werken die de verdeling van waterstanden over een gebied beïnvloeden. Dat kan *statisch* of *dynamisch*. Statische systeemmaatregelen zijn dammen, rivierverruiming, nieuwe rivieren en niet-regelbare overlooptrempels: als ze eenmaal zijn aangelegd, zal de stroming door het gebied anders zijn, maar ze zijn niet meer aan te passen. Dynamische systeemmaatregelen zijn stormvloedkeringen, spuisluizen, inlaatwerken, doorlaatmiddelen en gemalen, die met één druk op de knop de verdeling van het water beïnvloeden.

Systeemmaatregelen hebben de *benedenrivieren* gevormd tot wat ze nu zijn. Er komen drie rivieren samen, die zich vertakken richting de zee, langs grote steden en havens. Nieuwe systeemmaatregelen kunnen het water leiden naar gebieden waar waterstandstoename voor minder problemen zorgt, dus vooral weg van de steden en havens. De uitdaging voor de komende eeuwen is om combinaties van systeemmaatregelen, dijkversterkingen en buitendijkse aanpassingen uit te rollen met de meeste voordelen en de minste nadelen – uiteraard adaptief, dus niet volgens een blauwdruk maar flexibel met voortschrijdend inzicht.

Dynamische systeemmaatregelen hebben een *faalkans*: ze werken goed, maar niet perfect; er is een kleine kans dat er iets mis gaat. De belangrijkste dynamische systeemmaatregelen in de benedenrivieren zijn de Hartelkering en de Maeslantkering (met een wettelijke eis van een faalkans van respectievelijk 1:10 en 1:100 per sluitvraag), de Haringvlietspuisluizen en de Volkerakspuisluizen (faalkans richting 0).

Een faalkans is jammer, maar geen ramp. Het gehele systeem wordt zodanig doorgerekend dat een mogelijk falende systeemmaatregel wordt opgevangen door de dijken, zodanig dat alle dijken aan de maximale overstromingskansen per dijktraject uit de Waterwet blijven voldoen.

Het gaat langs de benedenrivieren niet alleen om de kans op stormen en de kans op falen van systeemmaatregelen, maar ook om de rivierafvoer. Als een stormvloedkering dicht gaat zoals het hoort, zal het gebied vollopen met rivierwater. Dat gaat meestal langzamer dan als het gebied met een storm zou vollopen, en daarom is de stormvloedkering ook aangelegd. Er is een kans op zo veel rivierwater, dat de dijken bij een dichte stormvloedkering alsnog in de problemen komen, en ook op die mogelijkheid worden de dijken ook doorgerekend.

Wat je ook doet in de benedenrivieren, je moet je een antwoord hebben op *alle bedreigingen* die er kunnen optreden. Of, in ingenieurstermen, alle *externe belastingen* of *randvoorwaarden*: stormen op zee uit verschillende windrichtingen en afvoeren van drie rivieren. Het bepalen van deze randvoorwaarden en de kansen daarop is een vak apart, een combinatie van meteorologie, hydrologie en vloeistofmechanica.

Van honderden *combinaties van externe belastingen* worden er kansen van voorkomen bepaald. In de hydraulische modellen van de benedenrivieren wordt elke combinatie doorgerekend en dat resulteert dan, afhankelijk van de werking van systeemmaatregelen, in *lokale belastingen* op de dijken. Per locatie worden de lokale belastingen bij elkaar opgeteld, gewogen met de kans op die belasting. Het resultaat is input voor een dijksterkteberekening conform de Waterwet, en input voor berekeningen over buitendijkse risico's (kans maal schade).

Om de rol van systeemmaatregelen te begrijpen, is het handig om bij afsluitbaar open benedenrivieren aan de oostkant van de stormvloedkering *alle belastingcombinaties* terug te brengen tot drie groepen:

1. Een flinke storm op zee, in combinatie met een falende stormvloedkering, maar met normale rivierafvoer.
2. Een flinke rivierafvoer, in combinatie met een flinke storm maar een stormvloedkering die niet faalt.
3. Een extreme rivierafvoer, in combinatie met een kalme zee en een open stormvloedkering.

Een losse systeemmaatregel in de benedenrivieren werkt altijd het beste bij één van deze belastingcombinaties. Zo werkt extra berging richting het Volkerak goed voor belastingsituatie 2 en een beetje 3, maar niet voor 1. Daardoor nemen de waterstanden een beetje af, totdat belastingsituatie 1 het 'overneemt'. Met een Hollandkering vervalt belastingsituatie 1 en wordt het mogelijk om belastingsituatie 2 met meer berging of bemalen verder te verbeteren (totdat belastingsituatie 3 het overneemt).

Op pagina 29 van het rapport [Gevoeligheidsanalyse Waterberging Zuidwestelijke Delta](#) wordt dit heel mooi uitgelegd.

3) Kunnen systeemmaatregelen een alternatief zijn voor dijkversterking en buitendijkse aanpassing?

Ja, maar zo lang het klimaat blijft veranderen, niet voor altijd maar voor een bepaalde *duur*, bijvoorbeeld een paar decennia.

De ongeveer 500 kilometer dijken langs de benedenrivieren zijn niet perfect uitgelijnd, maar sterk gefragmenteerd: hoger, lager, breder, smaller, jong, oud, meer of minder bekleed, met of zonder voorlanden en buitendijkse gebieden, meer of minder verstedelijkt, met meer of minder kruisende kabels en leidingen, en meer of minder meervoudig gebruikt met infrastructuur of natuur.

Volgens de Waterwet worden alle dijken periodiek beoordeeld. Als ze niet voldoen is de bedoeling dat ze in de jaren die volgen worden aangepakt in het Hoogwaterbeschermingsprogramma. Dijken kunnen technisch gezien elke waterstand aan; er wordt dikwijls gevreesd dat aan dijkversterking een technische grens zit, maar dat heeft nog niemand kunnen onderbouwen. Dijkversterkingen in Nederland worden echter wel complex als er bouwwerken, infrastructuur, kabels en leidingen, stikstofproblemen en natuurgebieden mee verweven zijn. Maar als het moet, kan het: zolang de Waterwet van kracht blijft en zolang we het kunnen betalen, behoren er wettelijk op de klimaatverandering automatisch in ieder geval dijkversterkingen en soms systeemmaatregelen te volgen.

In een versimpelde benadering gaat het zo: elke dijk onder invloed van de zee wordt op een gegeven moment afgekeurd als de zee blijft stijgen. Na afkeuring wordt de dijk versterkt. De geplande levensduur van een dijkversterking hangt van

tal van factoren af; meestal is het 50 tot 100 jaar. Stel dat, door de stijging van de zee, de waterstand bij de teen van de dijk met 1 centimeter per jaar stijgt, dan is dat voor een periode van 50 jaar in totaal een halve meter. Als de dijk een halve meter hoger wordt gemaakt, dan gaat de dijk dus weer 50 jaar mee (andere levensduurfactoren niet meegerekend). Een systeemmaatregel die zorgt voor een waterstandsaling van 50 centimeter, stelt de dijkversterking dus 50 jaar uit. De [systeemanalyse voor de Rijn-Maasmond uit 2008](#) hanteerde de handige term *restlevensduur* als maat voor de staat der dijken: de berekende periode tot wanneer de dijk weer aan de beurt is gegeven de zeespiegelstijging en, eventueel, geplande systeemmaatregelen (door een systeemmaatregel neemt de restlevensduur toe).

Het gaat bij dijken niet alleen om hoogte, ook om sterkte. Momenteel zijn meer dan de helft van de dijken langs de benedenrivieren hoger dan strikt noodzakelijk, dit wordt *overhoogte* genoemd. Als een dijk wel hoog genoeg is, maar niet sterk genoeg, moet hij meestal nog steeds worden versterkt als de waterstand door een systeemmaatregel een paar decimeter omlaag gaat (maar de systeemmaatregel *verlicht* de dijkversterking wel). Systeemmaatregelen pakken dus minder gunstig uit voor dijken met *te veel hoogte* en *te weinig sterkte*.

Als alle dijken steeds 50 tot 100 jaar vooruit worden versterkt zonder rekening te houden met een waterstandsverlagende systeemmaatregel, zal er altijd overhoogte in het systeem zitten. Hoe meer overhoogte, hoe minder gunstig de *business case* van een systeemmaatregel. Zonder systeemmaatregelen wordt er bij elke dijkversterking weer extra overhoogte in het gebied gebracht: een soort *Catch 22* ten nadele van systeemmaatregelen. (Bij de [Maeslantkering](#) was dit doorbroken doordat er in één klap een dijkenhoogteprobleem was als gevolg van een nieuwe berekeningsmethode.)

Ook het buitendijks gebied langs de benedenrivieren is enorm gefragmenteerd, van laaggelegen historische delen zoals Dordrecht tot hooggelegen industrieel gebied, zoals de Maasvlakte 2; er ligt zo'n 15.000 hectare haven en industrie en het aantal bestaande en geplande bewoners is tussen 75.000 en 150.000.

Nieuwe buitendijkse bouwwerken wordt aangeraden (niet verplicht) om op een minimum *uitgiftepeil* te bouwen, door 100 jaar vooruit rekening te houden met de zeespiegelstijging. Er is er géén wettelijke systematiek die buitendijkse bescherming garandeert en dat betekent dat (zonder maatregelen) bestaande laaggelegen buitendijkse gebieden steeds meer in de problemen zullen komen.

Ook voor het buitendijks gebied geldt dat bij een stijgende zee een enkele bovenlokale systeemmaatregel bij een afsluitbaar open systeem lokale aanpassing niet afstelt maar *uitstelt*, meestal in de orde van enkele decennia per systeemmaatregel. Het is bijvoorbeeld mogelijk om elk decennium een megapomp bij te plaatsen die steeds voor een of twee decennia bepaalde dijkversterkingen en buitendijkse aanpassingen uitstelt (maar pompen zijn nog niet gemodelleerd in de hydraulische modellen).

4) Welke rol spelen megaplannen zoals de inzendingen voor de EO Wijers prijsvraag en de architectuurbiënnale?

Vraagstukken op systeemniveau zijn taai en systeemmaatregelen bouwen we maar zelden: in deze eeuw in het benedenrivierengebied ontpoldering Noordwaard (2015) en Waterberging Volkerak-Zoommeer (2018). Tegelijkertijd worden er bijna jaarlijks *megaplannen* bedacht, met veranderingen op systeemniveau die dikwijls tientallen miljarden kosten en met een complexiteit die de deltawerken en havenuitbreidingen uit het verleden vele malen overtreffen.

In het huidige tijdsgewricht is de kans klein dat een megaplan in één keer gebouwd of gepland wordt. Voor het zeespiegelvraagstuk is de kunst om uit dergelijke megaplannen aspecten en systeemmaatregelen te isoleren die, eventueel in afgezwakte vorm, een plek op de middellange of korte termijn zouden kunnen krijgen. Zo is er een cruciaal verschil tussen hoe de Biennale en EO Wijers inzending [Rotterdam Sponsstad](#) (Urbanisten, Lola, Royal HaskoningDHV e.a., 2022/2023, en [Tweestromenland](#) (H+N+S, Palmbout e.a., 2023) omgaan met Rotterdam: de Urbanisten stellen voor om de Nieuwe Maas in Rotterdam af te sluiten (met een statische systeemmaatregel), H+N+S wil juist de Nieuwe Maas open houden en de buitendijkse gebieden ophogen en lokaal beschermen. De inzendingen prikkelen de verbeelding en openen het gesprek over deze twee uiterste opties, niet alleen onder deskundigen maar ook met de Rotterdammers zelf.

Beide plannen stellen verstrekkende statische en dynamische systeemmaatregelen voor, in combinatie met omvangrijke bestemmingswijzigingen: de Urbanisten grofweg 50.000 hectare en H+N+S zo'n 5.000 hectare. Ter vergelijking: de bestemmingswijzigingen bij de Deltawerken en de havenuitbreidingen (1955 tot 1975) tezamen waren 13.000 hectare. De systeemmaatregelen Hollandkering, Haringvlietgemaal, Calandgemaal, Merwedekering, Volkerakspui-uitbreiding, Spuikering en Dordtse Kilkering zouden in totaal minder dan 100 hectare beslaan.

Na vijftien jaar betrokkenheid bij hydraulische berekeningen, beleidsontwikkelingsprocessen en megaplannen is de kaartenserie hierboven een *expert guess* om met systeemmaatregelen de benedenrivieren te beschermen tegen zeespiegelstijging. Het toont (als hypothese) elke 50 jaar een optimale combinatie van dijkversterkingen en systeemmaatregelen. Ten opzichte van de megaplannen uit de prijsvragen is dit te zien als een soort *minimumpakket* met systeemmaatregelen (gericht op juist *zo min mogelijk bestemmingswijzigingen*). Tegelijk zouden we dan open moeten blijven staan voor ambitieuzere megaplannen (*met juist meer bestemmingswijzigingen*).

5) Wanneer besluiten we om een systeemmaatregel te bouwen?

We kunnen losse systeemmaatregelen en megaplannen (combinaties van systeemmaatregelen en bestemmingswijzigingen) in een integrale langetermijnstudie doorrekenen tot meerdere meters zeespiegelstijging. Als we een combinatie van systeemmaatregelen vinden die bevalt, onder andere vanwege de besparing op dijkversterkingskosten en kosten op aanpassing van het buitendijks gebied, kunnen we de eerste stappen van dat plan implementeren. Later is dat grote plan dan weer te wijzigen, zoals dat gebruikelijk is met ultralangetermijnmegaplannen ("*a plan is nothing, planning is everything*", volgens Dwight Eisenhower).

Misschien gaat in de praktijk de beslissing voor een enkele losse systeemmaatregel als adaptieve stap vooral spelen als er een *bijna-ramp* komt en de buitendijkse gebieden onderlopen, of als een vervelende complexe dijkversterking aan de beurt is in het Hoogwaterbeschermingsprogramma, zoals de dijken langs de Alblasserwaard, de Voorstraat in Dordrecht, en de Boompjes in Rotterdam. Als de maatschappelijke druk oploopt zou het goed zijn om meerdere mogelijkheden aan de democratie voor te leggen. In dat soort beslisprocessen spelen kosten een rol, maar ook heel andere aspecten: ruimtelijke ontwikkeling, bijkomende kosten en baten, veranderende regelgeving, agenda's van bestuurders, lokale weerstand, inspiratie voor vernieuwing, kennisontwikkeling, natuur- en milieuaspecten, beschikbare fondsen, verantwoordelijkheidsverdelingen, samenwerking tussen overheden, en de publieke opinie.

Als alternatief voor een enkele korte dijkversterking of buitendijkse aanpassing zal de systeemmaatregel vaak de duurdere oplossing zijn. Anderzijds beslaat een

gemaal of stormvloedkering maar een paar hectare en vergt het minder vergunningen, afstemming en hinder dan een dijkversterking van meerdere kilometers door een verstedelijkt gebied.

Lokale beslisprocessen zullen moeten worden gekoppeld aan integrale langetermijnstudies, die het hele gebied en in ieder geval 1 à 2 meter zeespiegelstijging omvatten. Immers: elke keer als we lokaal kiezen voor dijkversterking of buitendijkse aanpassing, wordt de business case voor een systeemmaatregel minder gunstig, als een paar jaar later voor een volgend afgekeurd dijktraject de keuze tussen dijkversterking en een systeemmaatregel opnieuw aan bod komt (de *Catch 22* eerder beschreven).

Op dit moment, in 2023, met uitzondering van de Hollandse IJsseldijken, worden systeemmaatregelen niet als opties aan de belanghebbenden langs de benedenrivieren aangeboden als alternatief voor een afgekeurde dijk, laat staan voor het buitendijks gebied. En dit is ook begrijpelijk: enerzijds zijn goede systeemmaatregelen moeilijk te vinden en complex om door te rekenen. Anderzijds zijn er door de overhoogte nog nauwelijks echt problematische dijkversterkingen aan de beurt gekomen.

De Flows productie [Alle opties open](#) gaat in op de relatie tussen mogelijkheden op de lange termijn en beslisvraagstukken in het heden. In een versimpelde benadering is de keuze steeds tussen een dijkversterking of een systeemmaatregel, maar er is ook een tussenvariant te kiezen: een minder zware dijkversterking anticiperend op een systeemmaatregel die pas later gebouwd *zou kunnen gaan worden*. Geen simpele keuze, maar politieke keuzes zijn nou eenmaal complex en vol onzekerheden.

Kortom, de wisselwerking tussen systeemmaatregelen enerzijds en dijkversterking en buitendijkse adaptatie anderzijds duurt bij een veranderend klimaat voort en hoeft niet tot ver in de toekomst te worden vastgelegd. Belangrijk is dat we de wisselwerking doorgronden en dat het duidelijk is dat er wat te kiezen valt – op lange termijn zeker, maar ook al in het heden, zoals bij de geplande werken aan de Volkeraksluizen.

DeltaLinks Oktober 2023. [Zie ook het januari 2023 Samen Sterk paper en het Samen Sterk archief.](#)

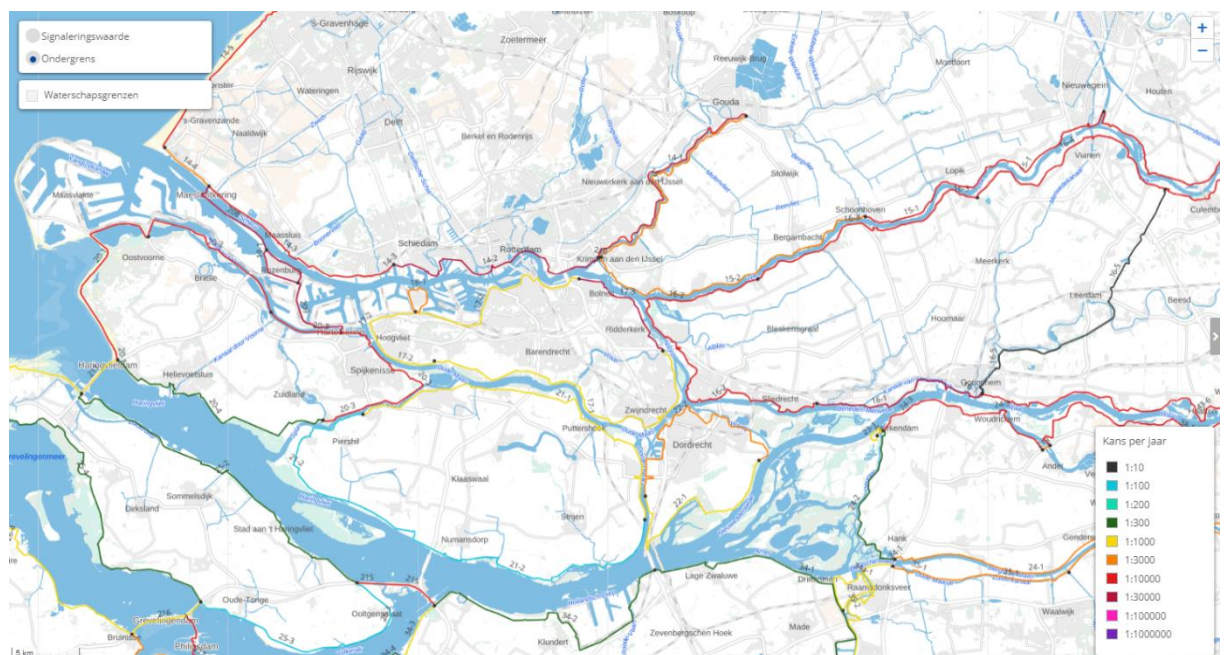
Bijlage 4: Uitgangspunten

De uitgangspunten voor de analyses naar de effectiviteit van de variant met een tweede stormvloedkering staan beschreven in het rapport van HKV LJNINWATER (HKV, 2023). De gehanteerde uitgangspunten en het modelinstrumentarium sluiten zoveel mogelijk aan bij de Systeemanalyse Waterveiligheid binnen Spoor II van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging [RWS, 2023a]. In dit hoofdstuk zijn de belangrijkste uitgangspunten samengevat.

Studiegebied

Binnen de scope van deze studie liggen alle trajecten in het achterland van de huidige Maeslantkering tot aan de IJsselkop en de Pannerdensche Kop. De relevante trajecten betreffen de trajecten waarvoor geldt dat de verbetering van de faalkans van een stormvloedkering ter hoogte van de huidige Maeslantkering invloed heeft op de hydraulische belastingen en daarmee de waterveiligheids- en versterkingsopgave. In figuur 1 zijn deze trajecten met de norm (ondergrens) weergegeven. Uit de gevoeligheidsanalyse naar de invloed van de faalkans van de Maeslantkering [HKV, 2023] blijkt dat het effect van een verbetering van de faalkans op de waterstanden afneemt als een locatie verder van de stormvloedkeringen vandaan ligt. Bij locaties Streefkerk langs de Lek, Werkendam langs de Boven Merwede en Geertruidenberg langs de Amer zijn de effecten van het verkleinen van de faalkans op de waterstanden nagenoeg verdwenen.

De trajecten langs de Hollandsche IJssel (14-1 en 15-3) zijn buiten beschouwing gelaten. In de Systeemanalyse Waterveiligheid van het KP Zeespiegelstijging [RWS, 2023a] is het effect van een verbetering van de faalkans van de huidige Maeslantkering onderzocht. Hieruit is gebleken dat de waterstanden op de Hollandsche IJssel slechts met enkele centimeters worden verlaagd door het verkleinen van de faalkans van de Maeslantkering.



Figuur 1: Ondergrensnorm voor de trajecten binnen de scope (<https://waterveiligheidsportaal.nl/>).

Waterkeringen en bodemdaling

De vermeden dijkversterkingskosten zijn bepaald voor de dijken die onderdeel zijn van de primaire waterkeringen. De vermeden versterkingskosten voor de natte kunstwerken zijn buiten beschouwing gelaten, omdat de vermeden kosten hiervan niet significant zijn ten opzichte van de vermeden kosten van de dijkversterkingen [RWS, 2023a].

Voor de geometrie en de sterkte van de dijken en de bodemdaling is volledig aangesloten bij de analyse uit de Systeemanalyse Waterveiligheid van spoor II uit het Kennisprogramma Zeespiegelstijging, deelrapport Rijnmond-Drechtsteden [RWS, 2023a].

Hydraulische belastingen

Hydraulische databases

De hydraulische belastingen voor de Rijn-Maasmonding en het Rivierengebied zijn berekend met Hydra-NL (v2.8.4 die speciaal geschikt gemaakt is voor het Kennisprogramma). Hiervoor zijn hydraulische databases beschikbaar gesteld uit het Kennisprogramma Zeespiegelstijging [RWS, 2023a]. In deze hydraulische databases zijn de maximale waterstand en de golfcondities opgeslagen die op een willekeurige locatie in de Rijnmaasmonding ontstaan, door een combinatie van een rivierafvoer, een zeewaterstand, een windconditie en een toestand van de stormvloedkeringen (open of dicht). De set combinaties opgenomen in de databases omvat alle relevante mogelijke combinaties van rivierafvoer, zeewaterstand, windconditie en kering toestanden die kunnen optreden. Meer informatie en achtergronden over de hydraulische databases is te vinden in het achtergrondrapport van HKV [HKV, 2023].

Zeespiegelstijging per zichtjaar

Hydra-NL koppelt de lokale waterstand en golfcondities uit de hydraulische databases met de statistiek van (de kans van voorkomen van bepaalde) rivierafvoeren, zeewaterstanden, windcondities en toestanden van de stormvloedkeringen. Zodoende kan de kans worden berekend dat bepaalde hydraulische belastingen (als gevolg van lokale waterstanden en golven) optreden. Met andere woorden, door het koppelen van de hydraulische databases met de statistiek berekent Hydra-NL de frequentielijnen voor de waterstand en het hydraulisch belastingniveau (golfoverslag).

Voor de betreffende combinatie van tijdlijn en zichtjaar is in de Hydra-NL berekeningen steeds, naast de keuze voor de database, ook de statistiek aangepast. Dit betreft de zeewaterstandsstatistiek en de afvoerstatistiek voor de Rijn en de Maas. Voor het gemak zijn de gehanteerde uitgangspunten samengevat in tabel 1. hieronder.

Tabel 1: Overzicht gebruikte hydraulische databases en statistiek [RWS, 2023a] per tijdlijn en zichtjaar.

Zichtjaar	Zeespiegelstijging	Bijbehorende tijdlijn en zichtjaar conform Kennisprogramma Zeespiegelstijging	Hydraulische database			Statistiek	
			Zeespiegelstijging	Aanpassing sluitpeil	Afvoer-verdeling	Zeespiegelstijging	Afvoer-statistiek
2023	5 cm	n.v.t.	5 cm	-	Vast16000	5 cm	Ref2023
2050	25 cm	Extreem, 2050	5 cm	-	Vast16000	25 cm	GL2050
2100	100 cm	n.v.t.	Hydraulische belastingen voor zichtjaren 2100 en 2150 o.b.v. interpolatie van de resultaten uit zichtjaren 2050 en 2200, zodanig dat de zeespiegelstijging in 2100 gelijk is aan 1 m en 1,50 m in 2150.				
2150	150 cm	n.v.t.					
2200	200 cm	Zeer extreem, 2100	200 cm	125 cm	Vast18000	200 cm	WH2100

Bij tabel 1 gelden de volgende kanttekeningen:

- De zeespiegelstijging die in de Hydra-NL berekeningen is gehanteerd voor het aanpassen van de zeewaterstandsstatistiek (één na laatste kolom) komt in alle gevallen overeen met de zeespiegelstijging voor de betreffende tijdlijn en zichtjaar volgens de uitgangspunten van dit project.
- De zeespiegelstijging in de hydraulische database (vierde kolom) komt voor zichtjaar 2050 niet exact overeen met de waarde in kolom twee. Voor 2050 is uitgegaan van de hydraulische database met 5 cm zeespiegelstijging omdat dit de meest representatieve beschikbare database is. Aangezien in de statistiek wél met de juiste zeespiegelstijging is gerekend, is de fout die hierdoor wordt gemaakt naar verwachting klein.
- De database met 200 cm zeespiegelstijging is gebaseerd op berekeningen met een aangepast (verhoogd) sluitpeil. De aangegeven aanpassing geldt zowel voor het sluitpeil van de Maeslantkering als voor dat van de Hollandsche IJsselkering. Ook het peil dat gehanteerd is voor het bepalen van het sluitmoment bij een peilsluiting van beide keringen, is met dezelfde waarde aangepast (dit is dus iets anders dan het sluitpeil). Bij een kenteringsluiting wordt in alle gevallen gesloten bij het omdraaien van de stromingsrichting ter plaatse van beide stormvloedkeringen. Het beheer van de Haringvlietsluizen is niet aangepast, maar het inzetpeil van de waterberging Volkerak-Zoommeer is met dezelfde waarde verhoogd.
- De database met 5 cm zeespiegelstijging ten opzichte van 1995 gaat uit van de afvoerverdeling "Vast16000"⁵ en de database met 200 cm zeespiegelstijging gaat uit van de afvoerverdeling "Vast18000".
- De rivierafvoerstatistiek voor 2023, 2100 en 2200 (GL en WH) was beschikbaar en is overgenomen uit de deelrapportage voor Rijnmond-Drechtsteden uit de Systeemanalyse Waterveiligheid van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging [HKV, 2023].
- De aanpak voor 2100 met 1 m zeespiegelstijging wijkt af van die in het RMM-rapport van Kennisprogramma Zeespiegelstijging [RWS, 2023a]. Doordat wordt

⁵ De waterstandsberekeningen voor de hydraulische databases gaan uit van een bepaalde afvoerverdeling. Dat wil zeggen dat de regelwerken op de splitsingspunten (Pannerdensche Kop en IJsselpop) zo zijn ingesteld dat bij een vastgesteld afvoerniveau de beleidsmatige afvoerverdeling wordt verkregen. Dat heeft als doel dat bij die afvoer de Nederrijn-Lek zoveel mogelijk wordt ontzien. Voor de database met 5 cm zeespiegelstijging is uitgegaan van een vaste afvoerverdeling die ingesteld is op 16.000 m³/s bij Lobith.

geïnterpoleerd tussen 2050 en 2150 is in deze studie een sluitpeiltoename van 54 cm gehanteerd in 2100, waar deze in KP ZSS 0 cm is ten opzichte van ten opzichte van het standaard sluitpeil van NAP+3,0 m te Rotterdam en NAP+2,9 m te Dordrecht.

- In deze quickscan is gebruik gemaakt van de hydraulische databases van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging. In de Systeemanalyse Waterveiligheid KP ZSS uit spoor II van het Kennisprogramma is opgevallen dat in sommige gevallen de stormvloedkeringen niet sluiten, terwijl dit wel zou moeten. Mogelijk ligt de oorzaak hiervan in de toename van de rivierafvoeren, waardoor geen duidelijke getijkentering zichtbaar is, maar dit is verder niet onderzocht. Daarom is de database bij een zeespiegelstijging van 1 m niet gehanteerd binnen deze quickscan. Bij de interpretatie van de resultaten in deze quickscan is gebleken dat deze onregelmatigheden ook voorkomen in databases met andere zeespiegelstijgingen. Op de betekenis hiervan wordt bij het bespreken van de effecten op de hydraulische belastingen (hoofdstuk 5), de kosten en baten (hoofdstuk 6 en 7) en de conclusies en aanbevelingen (hoofdstuk 10) nader ingegaan. Vooruitlopend daarop kan gesteld worden dat deze onregelmatigheden geen significante invloed hebben op de conclusies van deze studie.

Rekeninstellingen

De berekeningen zijn uitgevoerd met Hydra-NL versie 2.8.4 (voor KP ZSS). In principe is gebruik gemaakt van de standaardinstellingen voor WBI2017, waarbij de database, de zeespiegelstijging en de afvoerstatistiek telkens zijn aangepast voor de betreffende tijdlijn en zichtjaar op de manier zoals beschreven in tabel 1.

Aanvullend zijn de volgende instellingen gehanteerd, wederom in overeenstemming met de berekeningen zoals deze zijn uitgevoerd binnen de Systeemanalyse Waterveiligheid van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging voor dit gebied [KP zeespiegelstijging, 2023]:

- Berekeningen zijn exclusief modelonzekerheid op de waterstand en golfparameters.
- Berekeningen zijn inclusief statistische onzekerheid.
- De rivierafvoer is inclusief aftoppen van de Rijnafvoer (Lobith) bij 22.000 m³/s; Aangenomen is dat bij extremere afvoeren (groter dan 22.000 m³/s) in het Rijnstroomgebied delen van Duitsland overstroomd (maar dat de dijken wel worden verhoogd ten opzichte van de huidige situatie waarbij het fysisch maximum rond de 18.500 m³/s ligt). Zowel nu als in 2200 wordt er vanuit gegaan dat ook noodmaatregelen als zandzakken worden getroffen. Hierdoor wordt de afvoer die bij Lobith kan optreden gemaximaliseerd.
- De rivierafvoer zonder aftoppen van de Maasafvoer. De keringen in de Maasvallei zijn als overstroombaar beschouwd en komen overeen met de uitgangspunten van het OI2014. Dit geldt via het gebruik van de statistiek bij Lith alleen voor het Maasgedomineerde deel van de Rijn-Maasmonding (deze is afgeleid op basis van de koppeling tussen Borgharen en Lith waarin deze aanname is verwerkt).
- Voor de faalkansen voor de Maeslantkering geldt:
 - 1/100^e per sluitvraag in de referentiesituatie
 - 1/5.000^e per sluitvraag in de variant met twee stormvloedkeringen.
- Er is gerekend met een faalkans voor de Hollandsche IJsselkering van 1/2.000^e per sluitvraag voor zowel de referentiesituatie als voor de variant met twee stormvloedkeringen.

Voor de berekening van het hydraulisch belastingniveau voor golfoverslag is een kritiek golfoverslagdebiet nodig. Hiervoor is een vaste waarde gehanteerd van 5

l/s/m, onder de aanname dat vanaf 2050 alle dijken op orde zijn en dat de dijken dit kritieke golfoverslagdebiet aan kunnen. Het betreft hier een uniforme, landelijk gemiddelde waarde, die voor de scope van deze studie acceptabel is.

Bergend oppervlak

In de Systeemanalyse Waterveiligheid van Spoor II van het Kennisprogramma zeespiegelstijging is een quickscan uitgevoerd naar de beschikbare ruimte binnen de primaire keringen in de Rijn-Maasmonding om water te bergen tijdens een hoogwater op de rivieren en een stremming of een gelimiteerde afvoer richting de Noordzee [HKV, 2022b]. Uit een geografische analyse blijkt dat in de delta tussen Hoek van Holland en Dordrecht een wateroppervlak van 425 km² aanwezig is (inclusief buitendijks gebied). Op de benedenloop van de riviertakken Lek, Waal en Maas is nog eens een wateroppervlak van 14 km² aanwezig. Uit een rekenexperiment met de schematisatie van de Rijn-Maasmonding blijkt dat het bergend oppervlak in het model tussen 470 en 600 km² ligt. Deze resultaten van het rekenexperiment komen overeen met de geografische gegevens. De waterberging Volkerak-Zoommeer wordt ingezet als achter een gesloten Maeslantkering de waterstand op het Haringvliet te hoog wordt⁶. In dat geval wordt het bergend oppervlak uitgebreid met ongeveer 62 km² (toename van orde 10-15%). Berging op de Grevelingen is in geen van de berekeningen beschouwd, want dit is geen onderdeel van de Voorkeursstrategie van het Deltaprogramma.

Nominale versterkingskosten

De dijkversterkingskosten zijn berekend volgens de uitgangspunten van de Systeemanalyse Waterveiligheid van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging [RWS, 2023a]. Hierbij gelden de volgende definities:

- De waterveiligheidsopgave is het tekort aan afmetingen voor hoogte en sterkte die een bestaande dijk of dam heeft om in een bepaald zichtjaar exact te voldoen aan de (ondergrens)norm.
- De versterkingsopgave slaan op de kosten van te verwachten dijkversterkingen om aan de norm te voldoen in een bepaald zichtjaar, op basis van de waterveiligheidsopgave.

Waterkeringen

De dijkversterkingskosten zijn enkel berekend voor de dijken die onderdeel zijn van de primaire waterkering. De versterkingskosten voor de natte kunstwerken worden buiten beschouwing gelaten, omdat de kosten hiervan niet significant zijn ten opzichte van de kosten van de dijkversterkingen [RWS, 2023a].

Het uitgangspunt voor de dijken is dat de huidige hoogte en sterkte worden beschreven volgens respectievelijk de actuele kruinhoogtes en de fragility curves van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging [Witteveen+Bos en HKV, 2022]. Fragility curves beschrijven de sterkte van de kering aan de hand van de faalkans per waterstandsniveau (conditionele faalkans). Voor de geometrie van de dijken is uitgegaan van de profielen van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging [RWS, 2023a]. Voor de dijken langs de onderzochte trajecten zijn dit de afgeleide profielen die zijn opgesteld binnen het project fragility curves [Witteveen+Bos & HKV, 2022].

De uitgangspunten voor de bodemdaling zijn gelijk aan de Systeemanalyse Waterveiligheid van Spoor II binnen het Kennisprogramma Zeespiegelstijging. Dit betekent dat voor Rijnmond-Drechtsteden is uitgegaan van de bodemsdalingskentallen op basis van een studie van het Deltaprogramma

⁶ Het inzetcriterium is bij het huidige sluitpeil van de Maeslantkering dat als NAP +2,6 m bij Rak Noord wordt overschreden het VZM wordt ingezet. Dit criterium groeit gelijk mee met het sluitpeil van de Maeslantkering.

Rijnmond-Drechtsteden (Van der Kraan, 2011). Voor de dijken in het Rivierengebied is uitgegaan van de bodemdalingskentallen op basis van een studie voor het Rivierengebied van Deltares [Deltares, 2014a].

Als versterkingsstrategie wordt de *traditionele versterking met constructieve inpassing* gehanteerd. Binnen deze versterkingsstrategie 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 Waterveiligheid van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging de basisstrategie [RWS, 2023a], omdat deze het beste aansluit bij de uitvoering van versterkingen in de huidige ontwerppraktijk ("business-as-usual"). Constructieve maatregelen (damwand, kwelscherm, etcetera) worden ontworpen met een levensduur van 100 jaar.

Waterveiligheidsopgave

Om de waterveiligheidsopgave voor de dijken te bepalen, zijn de hydraulische belastingen, zoals in hoofdstuk 5 beschreven, gecombineerd met de hoogte en de sterkte van de dijken. De benodigde hoogte van de dijken is in beeld gebracht met de faalmechanismen overlopen en graserosie kruin binnentalud (GEKB) en de benodigde sterkte van de dijken is in beeld gebracht met de faalmechanismen voor piping en macrostabiliteit. Om de waterveiligheidsopgave te bepalen, is gebruik gemaakt van de software OKADER (v2022.04; zie ook bijlage 5 voor een samenvatting):

- Als invoer van OKADER zijn hydraulische belastingen nodig. Dit betreffen waterstandsfrequentielijnen om de waterveiligheidsopgave voor piping en macrostabiliteit te kunnen bepalen en het hydraulisch belastingniveau om de waterveiligheidsopgave voor hoogte te kunnen bepalen. Deze hydraulische belastingen zijn binnen OKADER per zichtjaar (referentiejaar 2023, 2050, 2100 en 2200) ingevoerd.
- De sterkte van de dijken is binnen OKADER beschreven met zogenaamde fragility curves (voor de sterkteopgave). Het sterktetekort wordt berekend door het combineren van de fragility curves met de waterstandsfrequentielijnen voor piping en macrostabiliteit. Hieruit volgt een faalkans, welke wordt vergeleken met de doorsnede-eis (ofwel faalkanseis) per faalmechanisme van het betreffende traject. Hieruit volgt of de kering wel of niet voldoet (sterkteopgave). Voor het hoogtetekort wordt het hydraulisch belastingniveau uit Hydra-NL (bij een overslagdebiet van 5 l/s/m bepaald op basis van de doorsnede-eis bij de ondergrens van de norm) vergeleken met de werkelijk aanwezige (actuele) kruinhoogte. Hieruit volgt ook of de kering wel of niet voldoet aan de eis (hoogteopgave).

De vergelijking van de berekende faalkans met de faalkans-eis resulteert in het moment (jaar) tussen 2025 en 2200 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 (hoogtetoename en breedte de dijk en de berm). Dit kunnen tussen 2025 en 2200 meerdere versterkingen (rondes) zijn. Voor constructieve oplossingen is een ontwerplevensduur van 100 jaar gebruikt.

Versterkingsopgave

Uit OKADER volgt welke versterking nodig is in het jaar dat een kering versterkt moet worden tussen 2023 en 2200 (deze jaartallen komen niet overeen met de relevante zichtjaren). Voor elke versterking berekent OKADER hoeveel deze kost en wat de nieuwe dimensies van het dijkvak zijn (hoogtetoename, breedte benodigde

berm en de bijbehorende kosten). De kosten van een dijkversterking bepaalt OKADER op basis van een KOSWAT-database met vooraf klaargezette kostenberekeningen bij verschillende combinaties van versterkingsdimensies. Hieruit volgen de kosten die gemaakt moeten worden om de kering te laten voldoen aan de eis voor waterveiligheid.

In deze studie zijn twee verschillende kostenberekeningen gemaakt:

- Nominale (cumulatieve) dijkversterkingskosten tot en met een bepaald zichtjaar;
- Contante waarde berekening van de dijkversterkingskosten.

Voor de nominale (cumulatieve) dijkversterkingskosten tot en met een bepaald zichtjaar worden de kosten bepaald die tot en met een relevant zichtjaar zijn berekend. Hierbinnen vallen de investeringen voor een bepaald zichtjaar die gedaan worden om 50 jaar vooruit te voldoen aan de norm (en 100 jaar voor de constructieve maatregelen). Een voorbeeld van een dergelijke berekening is gegeven in het tekstvak hieronder.

Voorbeeld nominale (cumulatieve) dijkversterkingskosten t/m een bepaald zichtjaar

Er 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 miljoen euro en in 2155 een versterking van 1,2 miljoen euro. De nominale kosten betreffen t/m:

- zichtjaar 2050 1,2 miljoen euro,
- zichtjaar 2100 3,8 miljoen euro,
- zichtjaar 2150 3,8 miljoen euro
- zichtjaar 2200 5,0 miljoen euro.

Voor de contante waarde berekening van de dijkversterkingskosten wordt de contante waarde bepaald van de dijkversterkingskosten in de periode 2025-2200. Als discontovoet wordt conform de standaard van de rijksoverheid een waarde van 1,6% gehanteerd (+gevoeligheidsanalyse met 2,25%; MinFin, 2020). Voor het prijspeil wordt zichtjaar 2022 gebruikt (incl. BTW). In onderstaand tekstvak is ook hiervoor een voorbeeldberekening gegeven.

Voorbeeld contante waarde berekening van de dijkversterkingskosten

Er 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 miljoen euro en in 2155 een versterking van 1,2 miljoen euro. De versterkingskosten van 2045 hebben een waarde van $(1,2/(1+0,016)^{20})=0,87$ miljoen euro in 2025. Zie onderstaand de berekening voor alle zichtjaren:

	Kosten [miljoen euro]	Contante waarde in 2025 [miljoen euro]
2045	1,2	$(1,2/(1+0,016)^{20}) = 0,87$
2095	2,6	$(2,6/(1+0,016)^{70}) = 0,86$
2155	1,2	$(1,2/(1+0,016)^{175}) = 0,15$
Restwaarde in 2200	$(1,2/50*(50-(2200-2155))) = 0,12$	$(0,12/(1+0,016)^{175}) = 0,0075$
		TOTAAL: 1,89

Rekeninstellingen versterkingskosten

Binnen OKADER zijn voor de analyses de volgende rekeninstellingen en uitgangspunten gehanteerd:

- Startjaar voor de analyses is 2025 en eindjaar 2200; met een tijdstap van 5 jaar.

- Uitgangspunt zijn door het KP Zeespiegelstijging toegeleverde kruinhoogtes van de dijken.
- Er wordt rekening gehouden met bodemdaling, met 2023 als referentiejaar met gebruik making van de bodemdalingsdatabase die vanuit het KP-zeespiegelstijging is toegeleverd.
- Voor de faalmechanismen piping en macrostabiliteit worden de database met fragility curves gebruikt zoals toegeleverd door KP Zeespiegelstijging voor de hoogte en sterkte van de dijken.
- De belastingen voor piping en macrostabiliteit worden berekend aan de hand van de waterstandsfrequentielijn uit Hydra-NL. De zeespiegelstijging zit al in de frequentielijnen verwerkt.
- Vertrekpunt is de door het KP Zeespiegelstijging toegeleverde dijkversterkingsplanning tot 2035, die afgeregeld is op de HWBP-planning tot 2035 [KP ZSS 2023].
- Voor de dijkversterkingen is uitgegaan van een ontwerplevensduur van 50 jaar. Voor de constructieve elementen (damwand, kwelscherm, etc.) is ontworpen met een levensduur van 100 jaar.
- De kosten voor de dijkversterkingen zijn berekend op basis van de binnen het KP Zeespiegelstijging gehanteerde KOSWAT-databases voor de dijkversterkingsstrategie traditionele versterking met constructieve inpassing.
- Aanpassing van de bekleding en infrastructuur in de versterkingskosten zijn verdisconteerd.

Contante waarde

Voor de berekening van de contante waarde van de dijkversterkingskosten en de stormvloedkeringen zijn uitgangspunten gehanteerd [De Waterwerkers, 2023]. In deze paragraaf zijn de uitgangspunten uit dit memorandum nog eens samengevat.

Algemene uitgangspunten

De algemene uitgangspunten voor de contante waarde berekening zijn:

- De rekenperiode voor de contante waarde betreft de zichtjaren 2025 tot 2200;
- Voor het prijspeil is zichtjaar 2022 gehanteerd, inclusief BTW;
- De discontovoet voor de basisanalyse is 1,6% per jaar. In een gevoeligheidsanalyse is het resultaat beschouwd met een discontovoet met 2,25% per jaar.

Dijkversterkingen

De dijkversterkingskosten zijn berekend over de periode 2025-2200. Hierbij is uitgegaan van een dijkversterkingsperiode van 50 jaar. Waarbij zoals eerder aangegeven voor constructieve maatregelen een levensduur van 100 jaar wordt gerekend.

Voor dijkversterkingen die in het tijdvak 2155-2200 gedaan worden, is in 2200 een restwaarde berekend op basis van een levensduur van 50 jaar.

Kosten voor beheer en onderhoud zijn meegenomen in de berekening van de contante waarde. Voor de kosten voor beheer en onderhoud is aangenomen dat een dijkversterking leidt tot extra beheer en onderhoudskosten van 0,2% per jaar van de cumulatieve (extra) investeringen in dijkversterking⁷.

⁷ Over het extra beheer en onderhoud door het versterken van bestaande dijken bestaat enige mate van controverse. Zo is in de MKBA WV21 uitgegaan van gemiddeld 0,1 tot 0,6% per jaar van de dijkversterkingskosten [Grave, P. de en G. Baarse (2011)]. In de MKBA voor het IJsselmeergebied is daarentegen geen rekening gehouden met extra beheer en onderhoudskosten als gevolg van

Stormvloedkeringen

Voor de stormvloedkeringen zijn kosten van de aanleg, sloop en vervanging meegenomen in de contante waarde berekening:

- De kosten voor de aanleg van een nieuwe stormvloedkering in de monding van de Nieuwe Waterweg bedragen € 1.345 miljoen exclusief sloop [RWS, 2023c]. De kosten voor sloop zijn aangenomen op € 90 miljoen.
- De levensduur van de stormvloedkeringen betreft 100 jaar na volledige realisatie. Voor stormvloedkeringen die in het tijdvak 2105-2200 gerealiseerd worden, is in 2200 een restwaarde berekend op basis van een levensduur van 100 jaar.
- De bouwperiode voor een stormvloedkering betreft 20 jaar. Gedurende deze 20 jaar bouwen de investeringen zich geleidelijk op (5% per jaar).

Voor de kosten van beheer en onderhoud is uitgegaan van die voor de Maeslantkering van 0,82% per jaar, zoals ingeschat door het Expertise Centrum Kosten – Baten (ECKB) in 2013 ten behoeve van de voorkeurstrategie van Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden [DPRD, 2020]. Vanuit de vervangings- en renovatieopgave (V&R) van Rijkswaterstaat is de meest recente inschatting dat de beheer en onderhoudskosten voor de Maeslantkering over de resterende levensduur zullen fluctueren tussen 2% en 4% per jaar. Net als bij de beheer- en onderhoudskosten voor de dijken, kan de gevoeligheid voor de beheer- en onderhoudskosten eenvoudig worden geduid bij de presentatie van de resultaten, omdat deze apart zijn gerapporteerd.

dijkversterking [CPB (2014)]. In de berekeningen is uitgegaan van 0,2% per jaar als soort van middenweg. Bij de presentatie van de resultaten van de eerste berekening zal ook de gevoeligheid voor dit percentage worden geduid, hetgeen eenvoudig is omdat de beheer- en onderhoudskosten apart worden gerapporteerd.

Bijlage 5: OKADER

Samenvatting methode

Om de waterveiligheidsopgave voor de dijken te bepalen, zijn de hydraulische belastingen, zoals in hoofdstuk 3 beschreven, gecombineerd met de sterkte van de keringen. 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 sterktetekort) van dijken en dammen die niet voldoen aan de (ondergrens)norm in een bepaald zichtjaar. Daarbij zijn kosten en dimensies van te verwachten dijkversterkingen bepaald, om aan de norm te voldoen in een bepaald zichtjaar. Dit wordt de versterkingsopgave genoemd.

Om de waterveiligheidsopgave te bepalen zijn de hydraulische belastingen en de sterkte van de keringen binnen de software OKADER (v2022.04) met elkaar gecombineerd:

- Als invoer van OKADER zijn hydraulische belastingen nodig. Dit betreffen waterstandsfrequentielijnen om de waterveiligheidsopgave voor de sterkte te kunnen bepalen en HBN's om de waterveiligheidsopgave 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 (ofwel faalkanseis) per faalmechanisme 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 (100 jaar voor constructieve maatregelen). Dit betreft dimensies en dijkversterkingskosten. Uit een KOSWAT-database met vooraf klaargezette kostenberekeningen bij verschillende combinaties van versterkingsdimensies 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). De constructieve maatregel (damwand, kwelscherm, etc.) wordt ontworpen met een levensduur van 100 jaar.

2. Versterking met groene kering (strategie 1). Binnen deze versterking wordt, onafhankelijk van de ruimtelijke knelpunten, versterkt met een groene oplossing in grond (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 gebruikt⁸.
3. Versterking met groene kering in combinatie met innovatieve pipingmaatregelen (strategie 2). Binnen deze versterking wordt, onafhankelijk van de ruimtelijke knelpunten, versterkt met een groene oplossing in grond. De benodigde taludverflauwing of bermverbreding wordt gereduceerd in afmeting door het toepassen van een alternatieve pipingmaatregel (bijv. een kwelscherm, verticaal zanddicht geotextiel of grof-zandbarrière). 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, breedte benodigde berm en eventueel aantal gebouwen in de versterkingszone en de 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 tijdelijk of permanent geamoveerd dienen te worden.

Kostenberekening

Zoals in paragraaf 5.2.1 is beschreven, worden de kosten en het tijdstip waarop een versterking moet plaatsvinden berekend. Voor de toepassing binnen de systeemanalyse zijn de volgende kosten van belang:

- (Nominale) (Cumulatieve) 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 worden deze kosten verwerkt naar de kosten per tijdlijn in een relevant zichtjaar (2050, 2100 2150, 2200). Hierin worden twee kostenvarianten onderscheiden, zie bovenstaand.

Voor de *(nominale) (cumulatieve) kosten tot en met een bepaald zichtjaar, per tijdlijn* worden de kosten per tijdlijn bepaald die tot en met een van de relevante zichtjaren zijn berekend. Hierbinnen vallen de investeringen voor een bepaald zichtjaar die gedaan worden om 50 jaar vooruit te voldoen (en 100 jaar voor de constructieve maatregelen).

⁸ 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. Het al dan niet amoveren van bebouwing betreft daarnaast altijd een politieke afweging die binnen deze analyses niet beschouwd is.

Bijlage 6: Technische en maatschappelijke ontwerpcriteria.

Aandachtspunten wat betreft technische en maatschappelijke ontwerpcriteria (uit expert-workshops d.d. 3 juli 2023 en 10 juli 2023)

Technisch ontwerpcriteria:

- Kennis moet goed worden vastgelegd en up-to-date gehouden worden. Momenteel is daar veel aandacht voor. Maar nog steeds blijft het te veel in hoofden van een paar mensen hangen.
- Door aanvullende eisen vanuit veiligheid en arbo is het bedienproces van stormvloedkeringen de afgelopen decennia veel complexer geworden. Voor toekomstige ontwikkelingen op dat gebied is het belangrijk om het originele bedienconcept zo eenvoudig mogelijk te houden.
- Zorg dat een nieuwe kering goed onderhoudbaar is. In het ontwerp van de Hollandkering is bijvoorbeeld een grote boog opgenomen. Is het mogelijk om die boog te onderhouden zonder de scheepvaart te stremmen? Dat is een belangrijke randvoorwaarde, omdat scheepvaart een belangrijke functie in het gebied is.
- Zorg expliciet voor redundantie en robuustheid. De deuren van de Maeslantkering kunnen bijvoorbeeld met een sleepboot worden geopend als ze na een storm niet meer bediend kunnen worden.
- De kans op niet openen zal kleiner moeten zijn dan de faalkans, maar dient ook meegewogen te worden.
- De vraag blijft staan wanneer het belangrijkste moment is om een nieuwe SVK klaar te hebben en op welke wijze de huidige vervangen kan worden > 'haasje over methode'. Tijdelijk zijn er dan twee. De vraag is hoe lang die periode is, en of je daar nog mee kunt spelen. Bij een keuze voor een extra kering (MLK en Holland-), komt er zelfs een moment dat er 3 liggen (bij vervanging MLK).
- Voor de besturing dient één groot team te worden gebruikt. Werken in twee losstaande teams zal zorgen voor een verminderd gevoel in urgentie bij de MLK, waardoor er verlies van kennis kan ontstaan.
- De nieuwe kering kan ontwerpen worden op hogere waterstanden. Los daarvan kan overstroombaarheid bij een verder stijgende zeespiegel een criterium zijn. Wel rekening houden met een maximaal negatief verval.
- Wat zijn de hydraulische effecten tussen de twee keringen in tijdens het sluitproces?
- Er komt waarschijnlijk een moment dat afsluitbaar-open waarschijnlijk niet meer werkt. Vraag is bij hoeveel meter zeespiegelstijging dat is. En wanneer in de tijd. Afhankelijk daarvan kan worden bepaald of, en zo ja: in welk tijdvak een extra stormvloedkering zinvol is.

Maatschappelijke ontwerpcriteria:

Onderscheid moet worden gemaakt in een situatie waarin alleen de Hollandkering wordt toegevoegd, en een situatie waarin ook andere systeemmaatregelen worden aangelegd.

In het algemeen geldt dat alleen een Hollandkering op de meeste criteria weinig tot geen effect heeft:

- Buitendijks gebied: Aanwezigheid van een tweede kering zal weinig toevoegen voor buitendijks gebied bij waterstanden tot 1:1000 jaar of kleiner.
- Risicoperceptie: Wellicht is de risicoperceptie anders bij 1:1000 ten opzichte van 1:100 voor pandeigenaren (bewoners/ondernemers). Maar ook bij 1:100 komt falen nog zo weinig voor, dat dit waarschijnlijk weinig invloed heeft op de risicoperceptie.
- Scheepvaart/haven: Voor de haven is de sluitfrequentie de belangrijkste factor. Een tweede stormvloedkering heeft hierop geen significant effect. Wel moet nog goed gekeken worden naar de kans op niet openen. Bij de Maeslantkering lijkt de redundantie op dit punt groter (kan in noodgevallen ook vrij eenvoudig met een sleepboot. Bij een boog kan dat niet).
- Verziltning/zoetwater: Geen significant effect, tenzij een ontwerp bedacht kan worden waar een drempel kan worden aangelegd (onderste deel, ongeveer 3 meter) die omhoog komt om indringing van de zouttong bij windopzet te verminderen. Wellicht kan de kering helpen om achterwaartse verziltning door wind te voorkomen. Maar ook daarin zijn er waarschijnlijk geen significante verschillen tussen de keringen.
- Natuur/ecologie: Geen significant effect. Twee keringen hebben geen wezenlijk ander effect dan 1 kering. Met name de sluitfrequentie is dominant. Minder dijkversterking kan een voordeel opleveren, hoewel dijkversterking tegenwoordig (als rekening wordt gehouden met natuur) ook een positief effect kunnen hebben. Wellicht dat het dankzij een tweede kering mogelijk wordt volledige afsluiting van de RijnMaasmonding uit te stellen. Maar of volledige afsluiting überhaupt gaat gebeuren en of een tweede kering dat uit kan stellen, is onduidelijk.
- Morfologie: Waarschijnlijk geen significant effect. Wellicht kans op lokale effecten in de buurt van de tweede kering, weinig landinwaarts.
- Maatschappelijke impact/inpasbaarheid: Op zich is een kleinere hoogteopgave winst met het oog op de inpasbaarheid. Ook wat betreft ruimte en bijvoorbeeld taluds in de binnenstad van Rotterdam (zie ook de eisen in het Bouwbesluit op dit punt). Er staan veel huizen langs dijken, waar een verschil in hoogte effect kan hebben. Een paar decimeter dijkverhoging kun je in het dijkontwerp meestal wel wegwerken, bijvoorbeeld door maatregelen te nemen die een groter overslagdebiet toelaten. Vanaf ongeveer 0,5 m dijkverhoging zijn de verschillen wel zichtbaar. Uit de berekeningen in de eerdere hoofdstukken van dit rapport blijkt, dat de hoeveelheid dijkversterkingen die voorkomen kan worden met de aanleg van een tweede kering beperkt is.
- Vitale functies/crisis management: De kans op falen wordt kleiner bij een tweede kering, dus mogelijk is er minder overlast, voornamelijk buitendijks. Het kan zijn dat de crisisorganisatie te laat uitrukt bij falen. Daar staat tegenover dat de veiligheidsregio informatief wordt opgeschaald als verwacht wordt dat het sluitpeil gehaald wordt, dus voordat de kering daadwerkelijk sluit. Het paraat staan van de crisisorganisatie is dus niet afhankelijk van een falende kering. De kans dat er minimaal 1 kering dicht gaat is groter bij 2 keringen.
- Energietransitie/duurzaamheid: waarschijnlijk geen significant effect. Belangrijkste vraag is of de aanleg en het gebruik van de tweede kering duurzaam/groen kan. Er zou nog gekeken kunnen worden naar de milieu-impact van een tweede kering versus de vermeden dijkversterkingen. Bijvoorbeeld: weegt het staalgebruik van damwanden bij dijkenversterkingen op tegen het staalgebruik voor een stormvloedkering? Daarnaast heeft een

tweede stormvloedkering bij het gebruik een hogere energievraag dan dijken.
Maar uiteindelijk is er waarschijnlijk geen significant verschil.

Wat verandert aan bovenstaand antwoord als er systeemmaatregelen worden toegevoegd?

Met pompen/gemalen kan je wellicht een deel van de dominantie van de rivierafvoer wegnemen bij sluiten, maar hier is momenteel weinig kwantitatiefs over te zeggen. Het hangt helemaal af van welke systeemmaatregelen worden doorgevoerd. Die zijn nog niet uitgewerkt in het plan van Samen Sterk. Daarvoor zijn er diverse mogelijkheden. Analyses van dit soort type maatregelen wordt uitgevoerd in spoor 4 van het Kennisprogramma zeespiegelstijging. Volledige afsluiting met sluizen kan wellicht worden uitgesteld.

Bijlage 7: Verantwoording proces

In November 2022 is tijdens het jaarlijkse Wetgevingsoverleg (WGO) de motie Grinwis (Hollandkering) in de Tweede Kamer aangenomen. Deze roept op om de haalbaarheid en de kosten en baten van een tweede stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg te onderzoeken.

Om deze motie te beantwoorden heeft DGWB samen met RWS een quick scan uitgevoerd.

Daarvoor is een projectteam samengesteld met vertegenwoordigers van het ministerie van IenW, Rijkswaterstaat en Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden.

Dit projectteam heeft vervolgens de volgende organisaties betrokken:

- HKV LIJNINWATER voor het uitvoeren van een studie naar de hydraulische effecten en kosten-baten.
- Bureau De Waterwerkers voor de kosten-baten.
- Diverse experts voor het bepalen van de ontwerpisen die gesteld moeten worden aan een nieuwe stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg. Hiervoor is onder andere een workshop georganiseerd.
- Diverse experts voor het kwalitatief bepalen van de effecten op onder andere scheepvaart, buitendijks gebied en natuur. Hiervoor is eveneens een workshop georganiseerd.
- Organisaties betrokken bij het deelprogramma Rijnmond-Drechtsteden van het Deltaprogramma (als klankbord en voor het inbrengen van kennis).
- Deskundigen betrokken bij het Kennisprogramma Zeespiegelstijging.
- De bedenkers van het plan Samen Sterk. Zij hebben geparticipeerd in onder andere de workshops, er zijn diverse gesprekken gevoerd (onder andere over de aanpak en tussenresultaten) en conceptrapporten zijn van commentaar voorzien.
- Diverse experts voor de kwaliteitsborging, waar onder prof.dr.ir. S.N. Jonkman, hoogleraar integrale waterbouwkunde aan de TU Delft, die een review heeft uitgevoerd van het eindrapport.

De nieuwe stormvloedkering ligt in het gebied 'Rijnmond-Drechtsteden', één van de deelgebieden van het Deltaprogramma. Vanwege deze reden is regelmatig overleg gevoerd met de organisaties die participeren in dit deelprogramma.

Het conceptrapport en voorliggende eindversie van het rapport is door het consortium van commentaar voorzien. Dat is zo goed mogelijk verwerkt. De resterende opmerkingen bij deze studie zijn als aparte bijlage (bijlage 2) toegevoegd in dit rapport.

De kennis en het vakmanschap van al deze betrokkenen was onmisbaar bij de totstandkoming van dit rapport.

Eén groep deskundigen verdient nog apart aandacht: enkele gepensioneerde collega's die betrokken waren bij de bouw van de Maeslantkering. Het is alweer ruim 30 jaar geleden dat in Nederland een stormvloedkering van dit formaat gebouwd is. Deze unieke kennis en ervaring kondankzij deze studie deels worden overgedragen op een groep jonge en leergierige collega's die in de toekomst wellicht ooit een nieuwe stormvloedkering mogen bouwen.