▸ Inhoudsopgave

enw | expertisenetwerk waterveiligheid

# Impact zeespiegelstijging op hoogwaterveiligheid

**Expert judgement over de houdbaarheid van de voorkeursstrategieën uit het Nederlandse Deltaprogramma bij versnelde zeespiegelstijging**

Achtergronden bij ENW-Advies

▸ Inhoudsopgave

enw | expertisenetwerk waterveiligheid

**Rapport** | Achtergronden bij ENW-advies

# ‘Houdbaarheid Nederlandse waterveiligheidsstrategieën bij versnelde zeespiegelstijging’

**Auteurs:**

| | |
|---|---|
| Ir. R.J.A. Wilmink | Secretaris ENW Kust / Rijkswaterstaat WVL |
| Ir. B. Strijker | HKV Lijn in Water / Technische Universiteit Delft |

**Coauteurs:**

| | |
|---|---|
| Prof. dr. ir. S.G.J. Aarninkhof | Voorzitter ENW Kust |
| Prof. dr. ir. M. Kok | Voorzitter ENW Veiligheid |
| Prof. dr. ir. S.N. Jonkman | ENW kerngroep lid |


**Datum:**
November 2019

Dit rapport is samengesteld op basis van expert judgement. Er zijn in dit verband nadrukkelijk geen nieuwe analyses en of berekeningen uitgevoerd. Het ENW is zeer erkentelijk voor de bijdragen van diverse specialisten van zowel binnen als buiten het ENW voor de totstandkoming van dit rapport. De bijdragen van betrokken personen staan genoemd in Bijlage 2 van dit rapport.

# Inhoudsopgave


| | | |
|---|---|---|
| **H1** | **Introductie** | **5** |
| | Aanleiding | 5 |
| | Adviesaanvraag | 5 |
| | Scope afbakening | 6 |
| | Werkwijze totstandkoming rapport | 8 |
| | Leeswijzer | 8 |
| **H2** | **Huidig waterveiligheidsbeleid** | **9** |
| | Beleidsdoelen waterveiligheidsbeleid | 9 |
| | Voorkeursstrategieën per deelgebied | 11 |
| | Rijnmond-Drechtsteden | 11 |
| | Zuidwestelijke Delta | 11 |
| | Kustgebied | 12 |
| | Waddengebied en Eems-Dollard | 12 |
| | IJsselmeergebied | 12 |
| | Rivierengebied | 13 |
| | Nieuwe inzichten zeespiegelstijging | 13 |
| **H3** | **Impact zeespiegelstijging vanuit het perspectief van de normering** | **16** |
| | Economisch optimaal beschermingsniveau | 16 |
| | Slachtofferrisico | 19 |
| | Haalbaarheid en mogelijke knelpunten | 19 |
| | Grootste onzekerheden rondom houdbaarheid normering | 22 |
| **H4** | **Impact zeespiegelstijging op huidige voorkeursstrategieën per deelgebied** | **23** |
| | Rijnmond-Drechtsteden | 24 |
| | Invloed zeespiegelstijging op voorkeursstrategie | 24 |
| | Haalbaarheid en mogelijke knelpunten | 26 |
| | Zuidwestelijke Delta | 28 |
| | Invloed zeespiegelstijging op voorkeursstrategie | 28 |
| | Haalbaarheid en mogelijke knelpunten in beleid | 28 |
| | Grootste onzekerheden rondom houdbaarheid voorkeursstrategie | 29 |

# Inhoudsopgave


Kustgebied 32
- Invloed zeespiegelstijging op voorkeursstrategie 32
- Haalbaarheid en mogelijke knelpunten in beleid 33
- Grootste onzekerheden rondom houdbaarheid voorkeursstrategie 35
- Waddengebied en Eems-Dollard 36
- Invloed zeespiegelstijging op voorkeursstrategie 36
- Grootste onzekerheden rondom houdbaarheid voorkeursstrategie 38

IJsselmeergebied 38
- Invloed zeespiegelstijging op voorkeursstrategie 38
- Haalbaarheid en mogelijke knelpunten in beleid 39
- Grootste onzekerheden rondom houdbaarheid voorkeursstrategie 41

Rivierengebied 42
- Invloed zeespiegelstijging op voorkeursstrategie 42
- Haalbaarheid en mogelijke knelpunten in beleid 43
- Grootste onzekerheden rondom houdbaarheid 45

**H5 Discussie en Synthese 46**

Discussie 46
Synthese 47
Handelingsperspectief 49
Beantwoording vragen uit de adviesaanvraag 50

**H6 Invulling langjarig onderzoeksprogramma 57**

**H7 Referenties 59**

**Bijlagen**

Bijlage 1: Groeivoet dijkverhoging en potentiele schade 62
Bijlage 2: Bijdrages van personen 65

# 1 Introductie

## 1.1. Aanleiding

Klimaatverandering en de effecten daarvan op de Nederlandse waterhuishouding staan steeds meer in de maatschappelijke en politieke belangstelling. Nieuwe onderzoeken tonen aan dat de zeespiegelstijging mogelijk hoger uitvalt en een grotere versnelling laat zien dan waar tot nu toe op geanticipeerd wordt in het Deltaprogramma. Versnelde zeespiegelstijging zal veel effect hebben op het watersysteem en daarmee op de inrichting van Nederland en de maatschappelijke waardes die daarmee gemoeid zijn.

Met welke mate van zeespiegelstijging Nederland in de toekomst precies te maken krijgt, wat de impact is op ons watersysteem en wat het Nederlandse watersysteem gegeven de huidige strategie aankan, zijn niet evident te beantwoorden vragen. Immers een waterveilig Nederland is geen op zichzelf staand doel. Waterveiligheid garandeert dat Nederland een economisch aantrekkelijk land is om te wonen, te recreëren en te werken. Dit betekent dat waterveiligheid bepaalde functies mogelijk maakt voor een aantrekkelijke samenleving. De manier waarop deze functies op dit moment gefaciliteerd worden, kan in de toekomst, bij veranderende omstandigheden, leiden tot knelpunten.

## 1.2. Adviesaanvraag

Het directoraat-generaal Water en Bodem (DGWB) - onderdeel van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) - heeft vanwege bovengenoemde aanleiding, per brief met kenmerk IenW/BSK-2019/190375, een adviesaanvraag ingediend bij het ENW over de houdbaarheid van de huidige waterveiligheidsstrategie (voorkeursstrategieën Deltaprogramma – verwoord in het Nationaal Waterplan 2) gebaseerd op onder andere zandsuppleties, duinen, en stormvloedkeringen.

DGWB heeft daarin vijf concrete vragen gesteld:

1. Waar zitten de zogenoemde knikpunten in de huidige regionale strategieën zoals geformuleerd in het kader van het Deltaprogramma?
2. Tot hoeveel meter zeespiegelstijging c.q. welke stijgsnelheid kan het huidige systeem worden opgerekt?
3. Welke (grote) ingrepen vergt dit, en op welke plekken – d.w.z. regionale deelsystemen of specifieke keringen – het eerst?
4. Vanaf welke stijging c.q. stijgsnelheid wordt het in elk geval noodzakelijk om over andere strategieën na te denken?
5. Waar zitten de belangrijkste aandachtspunten en eventuele leemtes in onze kennis die moeten worden meegenomen in de voorgenomen meerjarige systeemverkenningen?

Het ENW onderstreept het belang van het onderzoeken van de impact van klimaatverandering op het Nederlandse watersysteem. Besluitvorming over te volgen strategieën en de gevolgen daarvan dient zorgvuldig te gebeuren op basis van wetenschappelijk onderbouwde informatie over:

a. De te verwachten zeespiegelstijging.
b. De effecten op het Nederlandse watersysteem.
c. De houdbaarheid van de huidige voorkeursstrategieën van het Deltaprogramma.
d. De gewenste inrichting van Nederland.

De komende jaren worden in diverse projecten en programma's kansrijke beschermingsscenario's verkend en zal wetenschappelijk onderzoek worden uitgevoerd om effecten in kaart te brengen en onzekerheden te verkleinen. Doel is om tijdig gesteld te staan en (beleids)knelpunten zoveel mogelijk te voorkomen. Vooruitlopend daarop heeft het ENW bovenliggend advies opgesteld. De vragen zijn beantwoord op basis van expert judgement met inbreng van experts vanuit alle ENW-werkgroepen en daarbuiten.

Centraal in het advies staan twee onderwerpen:

I. Wat is de houdbaarheid van het huidige beleid omtrent hoogwaterveiligheid, uitgaande van versnelde zeespiegelstijging?[1]
I. Waar zitten de grootste onzekerheden rondom deze houdbaarheid en wat adviseert het ENW op te pakken in het beoogde DGWB kennisprogramma zeespiegelstijging?

## 1.3. Scope afbakening

Voor de totstandkoming van deze achtergrondrapportage zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Dit advies is opgesteld op basis van bestaande kennis en expert judgement. Er is in dit kader niet expliciet nieuwe kennis ontwikkeld en er zijn geen nieuwe analyses en berekeningen uitgevoerd.

- Het uit te brengen ENW-advies beperkt zich tot waterveiligheid (waterstaatkundige effecten) in relatie tot de opschaalbaarheid van de huidige strategieën ten behoeve van het aanpassen aan versnelde zeespiegelstijging (spoor 2 beoogde DGWB-onderzoeksprogramma). Dit betreft het nationale waterveiligheidsbeleid van de verschillende deelgebieden, zoals beschreven in het 2e Nationaal Waterplan (NWP2) en het Deltaprogramma 2015.

- Er is alleen gekeken naar de invloed van een zeespiegelstijging op het nationale waterveiligheidsbeleid. Andere toekomstige veranderingen in het klimaat, bijvoorbeeld met betrekking tot rivierafvoeren, stormintensiteiten, regionaal waterbeheer, verdroging van gronden en waterkeringen, worden niet beschouwd. Deze veranderingen hebben ook effect op de waterveiligheid en zijn ook van belang voor integrale afwegingen.

[1] N.B. Het ENW onthoudt zich van uitspraken over de te verwachten zeespiegelstijgings-hoogtes en -snelheden voor een bepaald zichtjaar. De gebruikte zeespiegelstijgingswaarden (hoogtes en snelheden) in dit rapport en in bovenliggend ENW-advies, zijn representatief voor de op dit moment meer extremere scenario's, maar hebben nadrukkelijk geen relatie met een specifiek zichtjaar en de gehanteerde Deltascenario's in het nationale waterveiligheidsbeleid. De gekozen uitgangspunten dienen ter toetsing van de houdbaarheid van de huidige voorkeurstrategieën. Op basis van dit rapport kan daarmee geen uitspraak worden gedaan tot welk jaartal het huidige waterveiligheidsbeleid gehandhaafd kan worden. Wel geeft dit rapport een indicatie en prioritering van urgentie en onzekerheden.

- Overige thema's als zoetwatervoorziening, zoute kwel en toekomstige vergezichten voor de ontwikkeling van Nederland zijn geen onderwerp van dit advies (laatstgenoemde is spoor 4 van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging van het Ministerie van IenW en de Deltacommissaris). Waar mogelijk worden raakvlakken genoemd.

- Voor de verschillende deelgebieden zullen de voorkeursstrategieën en beleidskeuzes beschouwd worden en de houdbaarheid geëvalueerd worden. De voorkeursstrategieën voor waterveiligheid geven algemene richting om te voldoen aan de te handhaven normering en moeten gezien worden als kompas voor het uitvoeren van maatregelen tot 2050. De houdbaarheid van de voorkeursstrategie gaat hand in hand met de te nemen maatregelen, maar kijkt wel breder dan de huidige set maatregelen. Als voorbeeld nemen we de huidige strategie in de Rijnmond-Drechtsteden waar wordt gekozen voor een afsluitbaaropen Nieuwe Waterweg. Deze voorkeursstrategie wordt ingevuld met de Maeslantkering met zijn eigen karakteristieken (faalkans, sluitcriterium etc.). Binnen het handhaven van het huidige beleid valt ook een op termijn nieuwe of verbeterde stormvloedkering waarbij de Nieuwe Waterweg afsluitbaar en open blijft. Handhaven van het huidige beleid betekent niet dat er uitsluitend vastgehouden moet worden aan het huidige sluitcriterium of de huidige faalkans.

- Zeespiegelstijging vertaalt zich direct in verhoging van hoogwaterstanden in diverse watersystemen. Echter dient ook rekening gehouden te worden met veranderende golfcondities (toenemende golfhoogtes), voornamelijk langs de kust. In deze rapportage wordt de directe waterstandstijging beschouwd als indicator voor de effecten van zeespiegelstijging. De effecten door toenemende golfcondities zijn buiten beschouwing gelaten. Dit vanwege de behapbaarheid van deze studie en de onzekerheden rond morfologische ontwikkelingen van het kustfundament, voorlanden en vooroevers. De overstromingskans (het criterium waarop de waterveiligheid beoordeeld wordt) hangt immers zowel af van de hydraulische belastingen (waterstanden en golven) als de sterkte van de kering (hoogte, breedte, materiaalsoort, enzovoort). Verder is de overstromingskans van een waterkering opgebouwd uit verschillende faalmechanismes, waarvan de relevante sterkte eigenschappen en belastingsituaties per mechanisme verschillen. Dit maakt dat de invloed van zeespiegelstijging op het waterveiligheidsbeeld niet evident te bepalen is.

- Relaties tussen deelgebieden zijn vanwege de scope van deze rapportage slechts marginaal benoemd en dienen nader onderzocht te worden alvorens een strategie of maatregelenpakket voor een bepaald deelgebied te implementeren.

- Het opgestelde rapport is gebaseerd op kennis en kunde van ENW-leden en geraadpleegde experts welke voornamelijk afkomstig zijn uit de waterveiligheidshoek. De focus ligt op techniek, waarna andere aspecten rond de houdbaarheid van het waterveiligheidsbeleid (economie, ruimtelijk en ecologisch) ook worden beschouwd. Deze aspecten liggen veelal buiten het expertiseveld van de experts en kunnen hierdoor beperkend zijn. Desondanks is op basis van deze experts en bekende literatuur een beschouwing gegeven.

## 1.4. Werkwijze totstandkoming rapport

Dit rapport is tot stand gekomen op basis van expert judgement en beperkte middelen en tijd. Het ENW heeft in twee brede expertsessies, met de Kerngroep en afvaardigingen van al haar werkgroepen, de contouren geschetst waarvan experts denken wat de bandbreedte van de houdbaarheid van de diverse waterveiligheidsstrategieën is. Dit is gedaan door de experts een inschatting te laten maken van de haalbaarheid en onzekerheid van een bepaalde strategie bij diverse scenario's voor zeespiegelstijging. Het resultaat van deze exercitie geeft een goed kwalitatief beeld dat de basis vormt voor dit rapport.

Op basis van de contouren voortkomend uit de expertsessies zijn interviews gehouden met diverse specialisten, zowel leden van het ENW als daarbuiten. Dit om enerzijds de geschetste contouren te verifiëren en anderzijds nadere invulling te geven aan de geschetste contouren door het duiden van onzekerheden, evidente knelpunten en kennisleemtes. De interviews zijn gefocust op de houdbaarheid van een bepaalde voorkeursstrategie per deelgebied bij een versnelde zeespiegelstijging in relatie tot de functies die de waterveiligheid aldaar vervult. Deze houdbaarheid is daardoor beoordeeld op een technische-, economische-, ruimtelijke- en ecologische houdbaarheid. Deze uiteenzetting van de houdbaarheid per deelgebied levert vervolgens de knelpunten op waarom een bepaalde voorkeursstrategie niet langer houdbaar wordt geacht. Overigens betekent laatstgenoemde niet per definitie dat de voorkeursstrategie van dat deelgebied herzien dient te worden; dit behoeft een bredere afweging. Een bijstelling van de eisen die gesteld worden aan de functies die de waterveiligheid lokaal dient te vervullen, behoort ook tot de mogelijkheden.

Met de resultaten uit de expertsessies en de verdiepende interviews, tezamen met een globale scan van de beschikbare literatuur is gekomen tot de invulling van dit rapport. De bijdragen van betrokken personen staan genoemd in bijlage 2.

## 1.5. Leeswijzer

Dit rapport bevat naast een introductie (hoofdstuk 1) een korte samenvatting van het huidige waterveiligheidsbeleid per beleidsonderdeel (hoofdstuk 2). In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de effecten van zeespiegelstijging op de normering voor waterveiligheid. Daarna wordt in hoofdstuk 4 per deelgebied ingegaan op de effecten van zeespiegelstijging op het vigerende waterveiligheidsbeleid van dat gebied. Hierin wordt nader ingegaan op de haalbaarheid, knelpunten en onzekerheid. Hoofdstuk 5 bevat een synthese van het voorgaande en hoofdstuk 6 sluit af met aanbevelingen voor de invulling van spoor 2 van het Kennisprogramma zeespiegelstijging.

# 2 Huidig waterveiligheidsbeleid

## 2.1. Beleidsdoelen waterveiligheidsbeleid

Het huidige waterveiligheidsbeleid is vastgelegd in het Nationaal Waterplan. Op dit moment wordt het tweede Nationaal Waterplan (NWP2) gehanteerd als beleid dat de hoofdlijnen, principes en richting van het nationale waterbeleid in de periode 2016-2021 beschrijft. Het Deltaprogramma is feitelijk een uitvoeringsprogramma voor het Nationaal Waterplan. In het Deltaprogramma werken nationale en regionale partijen samen aan de uitvoering van de nationale doelen. De uitvoering start met de deltabeslissingen, die gezien kunnen worden als concept-beleidskeuzes die in 2015 beleidsmatig zijn verankerd in het 2e Nationaal Waterplan. De beleidskeuzes en deltabeslissingen geven richting aan de maatregelen die Nederland inzet voor onder andere waterveiligheid op korte en op lange termijn, dient als normerend kader, en geeft concrete richting aan de voorkeursstrategieën per gebied voor het uitvoeren van maatregelen tot 2050.

De kern van het huidige nationale waterveiligheidsbeleid is om een economisch aantrekkelijk Nederland te realiseren waar men prettig kan wonen en werken. Dit is vertaald in normen waaraan de primaire waterkeringen moeten voldoen die zijn vastgesteld op basis van een risicobenadering en uitgedrukt in een overstromingskans of faalkans per dijktraject. De normspecificatie per dijktraject is verankerd in de Waterwet. De normen zijn afgeleid van het overstromingsrisico dat aanvaardbaar wordt gevonden voor gebieden die bescherming genieten van primaire waterkeringen. Het operationele doel dat nagestreefd wordt met het waterveiligheidsbeleid in Nederland en welke elementen fungeren als de leidende principes binnen de normering zijn als volgt:

1. Iedereen moet kunnen rekenen op dezelfde minimale bescherming: het basisbeschermingsniveau, uitgedrukt in Lokaal Individueel Risico (LIR). Dat betekent dat iedereen in Nederland achter dijken, dammen, duinen en stormvloedkeringen ten minste een beschermingsniveau van 10-5 per jaar heeft (kans op overlijden ten gevolge van overstromingen is niet groter dan 1/100.000 per jaar, rekening houdend met evacuatie en mortaliteit (de kans op overlijden gegeven een overstroming)).
2. Waar de gevolgen van een overstroming zeer groot zijn, is een kleinere overstromingskans passend, op basis van het groepsrisico en een Maatschappelijke Kosten Baten Analyse (MKBA). Hier worden de gevolgen van een overstroming afgewogen tegen de kosten om de kans op een overstroming te verkleinen.

De normen voor de primaire waterkeringen zijn op basis van bovenstaande technisch-inhoudelijke principes uitgewerkt, maar zijn uiteindelijk een politiek-bestuurlijk besluit op basis van wat acceptabel geacht wordt. Het basisbeschermingsniveau geldt als een algemene ondergrens voor de veiligheidsnorm, die strenger gekozen kan worden op basis van de MKBA. Het overgrote deel van de primaire waterkeringen heeft een norm gekregen die is gebaseerd op deze technisch-inhoudelijke principes. Voor enkele normtrajecten is hiervan afgeweken door aanvullende afwegingen en argumenten. Zo kan er extra bescherming geboden worden op plekken waar sprake is van ernstige schade door uitval van vitale en kwetsbare infrastructuur van nationaal belang.

Op deze manier geeft het waterveiligheidsbeleid invulling aan duurzame beheersing van overstromingsrisico's op een maatschappelijk aanvaardbaar niveau. In figuur 1 is zichtbaar welk principe van de normering leidend is voor de norm van de dijktrajecten.

Het kabinet streeft er naar dat uiterlijk in 2050 alle keringen aan de gestelde normen of eisen voldoen.
Het overstromingsrisico wordt bepaald door meerdere factoren waarbij verschillende lagen van veiligheid van belang zijn (meerlaagsveiligheid): het voorkomen van een overstroming (preventie) én het beperken van de gevolgen van een overstroming (water robuuste ruimtelijke inrichting en crisisbeheersing). In Nederland is preventie veelal de meest efficiënte manier om overstromingsrisico's te verlagen en worden de andere twee lagen als aanvullend gezien. In bepaalde kwetsbare gebieden kan ruimtelijke inrichting en crisisbeheersing zodanig ingericht worden dat de overstromingsrisico's gereduceerd kunnen worden. Op deze manier kan ook worden voldaan aan de doelen van het waterveiligheidsbeleid. Op basis van onderzoeken zijn beslissingen genomen over strategieën en maatregelen die mogelijk wel of niet kansrijk zijn om voor verschillende deelgebieden het waterveiligheidsbeleid te verwezenlijken. Deze strategieën, voornamelijk gericht op de preventie van overstromingen, hebben in het NWP2 al dan niet een plek gekregen in voorkeursstrategieën.

Figuur 1: leidend principe normering per dijktraject. Het betreft alleen de keringen die rechtstreeks het achterland beschermen (voorliggende en verbindende keringen zijn niet weergegeven). Bron: Ministerie van Infrastructuur & Milieu, 2016.

## 2.2. Voorkeursstrategieën per deelgebied

De voorkeursstrategieën per deelgebied geven een concrete, gebiedsgerichte invulling aan het waterveiligheidsbeleid en de beleidskeuzes door middel van maatregelen op korte en op lange termijn. Voor de volgende gebieden zijn voorkeursstrategieën opgesteld[2] :

- Rijnmond-Drechtsteden
- Zuidwestelijke Delta
- Kustgebied
- Waddengebied en Eems-Dollard
- IJsselmeergebied
- Rivierengebied

De uitwerking van de voorkeursstrategieën staat beschreven in het NWP2 en het Deltaprogramma met bijbehorende synthesedocumenten. Hierin staat de verantwoording van de keuzes die gemaakt zijn, argumenten die daarbij een rol spelen en aannames die zijn gehanteerd. Voorkeursstrategieën zijn voor de deelgebieden het kompas voor de keuze van maatregelen ter bescherming tegen hoogwater. De maatregelen bestaan in veel gevallen uit een innovatieve aanpak van dijkversterkingen en zandsuppleties of uit een combinatie van dijkversterkingen en rivierverruiming of andere ruimtelijke maatregelen. Hieronder worden per deelgebied de belangrijkste aspecten van de voorkeursstrategieën besproken. Voor verdere details wordt verwezen naar het NWP2 en de Tussentijdse wijziging van het Nationaal Waterplan.

### 2.2.1. Rijnmond-Drechtsteden

Het fundament van de waterveiligheid in de Rijn-Maasdelta bestaat uit het zandige kustfundament, dijken en stormvloedkeringen die in samenhang zorg dragen dat het systeem voldoet aan de normen. De beleidsmatig vastgestelde afvoerverdeling, die de waterstanden in dit gebied beïnvloeden, voldoet en wordt in ieder geval tot 2050 gehandhaafd. De Nieuwe Waterweg blijft afsluitbaar open met een stormvloedkering. Hierdoor wordt bescherming geboden door optimale combinatie van primaire waterkeringen, stormvloedkeringen en rivierverruiming, wat ook voor de toekomst de basis voor waterveiligheid zal blijven.

In de delen van de Rijn-Maasdelta waar waterstanden hoofdzakelijk bepaald worden door de waterstand op zee, kiest het kabinet ervoor om de waterveiligheid vooral te borgen door dijkversterking in combinatie met de stormvloedkeringen. In het rivier gedomineerde deel van de Rijn-Maasdelta wordt door middel van rivierverruiming zoveel mogelijk voorkomen dat de waterstanden in de toekomst stijgen en waar nodig worden dijken versterkt. In de overgang tussen het zee gedomineerde gebied en het rivier gedomineerde gebied geldt een combinatie van beide benaderingen. Voor de waterveiligheidsopgave rond het Hollands Diep, Haringvliet en de Merwedes (overgangslocaties) wordt expliciet gekozen voor dijkversterking in plaats van waterberging in de Grevelingen.

### 2.2.2. Zuidwestelijke Delta

Het huidige stelsel van dijken en waterkeringen blijft ook in de toekomst de basis voor waterveiligheid in de Zuidwestelijke Delta. Voor de Oosterschelde en de Westerschelde kiest het Rijk voor het optimaliseren van de huidige veiligheidsstrategie. Daarnaast is de nautische toegang van de Westerschelde een belangrijke randvoorwaarde in de te hanteren strategie. Het kabinet kiest voor het principe ‘zacht waar het kan, hard waar het moet’ voor het op sterkte houden van keringen aan de zeezijde. Waterberging op de Grevelingen is op dit moment niet nodig en niet aan de orde voor de versterking van de waterveiligheid in de Rijn-Maasdelta.

[2] Binnen het NWP2 worden ook de hoge zandgronden beschouwd als gebied, maar deze zullen binnen dit advies niet behandeld worden. Dit deelgebied wordt behandeld bij het thema Zoetwater. Er wordt hier geen nationaal waterveiligheidsbeleid gehandhaafd.

### 2.2.3. Kustgebied

Het kustbeleid richt op het realiseren van een economisch aantrekkelijke kust middels het duurzaam handhaven van veiligheid en het duurzaam behouden van functies en waarden in duingebieden, zoals reeds verwoord in de eerste Kustnota en Nationale Visie Kust. Dit beleid heeft als doel structurele achteruitgang van de kust te voorkomen, areaalbehoud te realiseren en ruimte te scheppen voor natuurlijke bewegingen van de kust. Waterveiligheid is hier een van de belangrijkste te handhaven functies.

Het beleid wordt uitgevoerd middels dynamisch handhaven. Binnen marges mag de kust bewegen. Indien de beweegruimte van de kust voldoende is, kan de kust efficiënt verdedigd worden en draagt deze verdediging bij aan een duurzame ontwikkeling van de samenleving middels de overige functies die de kust vervult. Zand vormt daarbij letterlijk het fundament en is drager van alle functies die het systeem vervult. Door dynamisch handhaven blijven de charme en de kwaliteit van de natuurlijke duinenkust tot in lengte van jaren bestaan. Zandsuppleties zijn daarin als belangrijkste en beste middel van kustverdediging benoemd. Essentieel onderdeel hierin is de lange termijn reservering en planning van zandvoorraden in de Noordzee ten behoeve van kustonderhoud.

Middels zandsuppleties wordt areaal behouden en wordt Nederland niet kleiner. Om dit te bewerkstelligen wordt een basiskustlijn in stand gehouden. De basiskustlijn biedt een stabiel fundament voor de waterveiligheid van kustgebieden. De waterkeringen worden op sterkte gehouden met het principe: ‘Zacht waar het kan, hard waar het moet’. Verder wordt er gestreefd naar een structureel morfologisch evenwicht in het kustfundament, waarbij het volume voor zandsuppleties periodiek wordt aangepast aan de actuele relatieve zeespiegelstijging om ook voor de toekomst het areaalbehoud van de kust te bewerkstelligen (meegroeiprincipe). Er wordt bewust niet gekozen voor grootschalige uitbouw van de kust, hiervoor is geen noodzaak. Het beschikbare, schaarse zand kan beter gebruikt worden voor de instandhouding van de huidige kust.

### 2.2.4. Waddengebied en Eems-Dollard

De voorkeursstrategie van het Waddengebied sluit aan bij de strategie van het kustgebied: ‘Zacht waar het kan, hard waar het moet’. De keringen aan de Noordzeezijde van de Waddeneilanden zijn over het algemeen zandig en vallen onder het kustbeleid. Aan de Waddenzeezijde en in de Eems-Dollard wordt zowel op de eilanden als aan de vastelandkust met de huidige strategie ingezet op combinaties van dijkversterkingen met zandsuppleties en op een innovatieve en integrale werkwijze van versterken van waterkeringen met aandacht voor vegetatie en voorlanden. Elementen zoals flora, fauna, droogvallend areaal en kwelders zijn als belangrijke elementen te beschouwen bij het versterken van waterkeringen in het Waddengebied en de Eems-Dollard. Het behoud van intergetijde areaal speelt geen nadrukkelijke rol in de waterveiligheidsstrategie en is meer gekoppeld aan natuurdoelstellingen.

### 2.2.5. IJsselmeergebied[3]

Hoge waterstanden in dit gebied worden bepaald door de meerpeilen en scheefstand door wind. Deze vormen samen met de golven een bedreiging voor gebieden rond het IJsselmeergebied. Het winterpeil van het IJsselmeer heeft grote invloed op de belastingen in het gehele IJsselmeergebied. Het peil wordt beheerst door spuisluizen en pompen op de Afsluitdijk. Om dit peil ook in de toekomst te beheersen is binnen de voorkeursstrategie gekozen te spuien als het kan en te pompen als het moet.

[3] Het IJsselmeergebied omvat naast het IJsselmeer ook het Markermeer, de zuidelijke Randmeren en de Veluwerandmeren.

Binnen het beleid wordt er verder gekozen om het gemiddeld winterpeil in het IJsselmeer niet mee te laten stijgen met de zeespiegel tot 2050. Waterafvoer naar de Waddenzee wordt veiliggesteld door middel van een combinatie van pompen en spuien. Na 2050 wordt beperkt meestijgen als optie opengehouden, omdat dit mogelijk kosteneffectief is. Concreet houdt dit in dat rekening wordt gehouden met een stijging van het winterpeil na 2050 van maximaal 30 cm. Voor de andere meren in het IJsselmeergebied blijft het gemiddelde winterpeil na 2050 gehandhaafd. Op deze manier worden de belastingen op de omliggende keringen op de lange termijn beheerst.

Om de primaire waterkeringen te laten voldoen aan de normen, wordt in het IJsselmeergebied primair gekozen voor dijkversterkingen. Op Marken en in de IJssel-Vechtdelta zijn mogelijkheden verkend om het gewenste veiligheidsniveau te behalen door toepassing van ruimtelijke oplossingen. In beide gebieden blijkt dat gevolgbeperkende maatregelen onvoldoende efficiënt zijn en zal de norm gehaald moeten worden met dijkversterkingen. Inde door afvoer gedomineerde gebieden is soms een combinatie met rivierverruiming mogelijk (‘laag 1’: preventie). Als er al andere maatregelen in de overige beschermingslagen worden overwogen, dan is dat hoogstens aanvullend aan dijkversterkingsmaatregelen.

### 2.2.6. Rivierengebied

Het waterveiligheidsbeleid in het rivierengebied berust op twee pijlers: rivierverruiming en dijkversterking. Door rivierverruiming kan worden voorkomen dat de waterstanden stijgen bij een toename van de rivierafvoer. Waar de waterstand bepaald wordt door met name de rivierafvoer en niet de zeespiegel(stijging), beperkt rivierverruiming de noodzaak tot dijkverhoging. Dit draagt bij aan de houdbaarheid van dijken en beperkt het overstromingsrisico. Ook creëert rivierverruiming kansen voor ruimtelijke ontwikkelingen, zoals natuur en recreatie. Per traject moet gekeken worden naar mogelijke oplossingen om te voldoen aan de normering door ‘reguliere’ dijkversterkingen ofwel door rivierverruiming. Dijkversterkingen worden ingezet als er een veiligheidsopgave ontstaat wanneer dijken niet sterk genoeg zijn volgens de normen, omdat ze bijvoorbeeld onvoldoende stabiel zijn of piping-gevoelig, of wanneer rivierverruiming onvoldoende oplossing biedt.

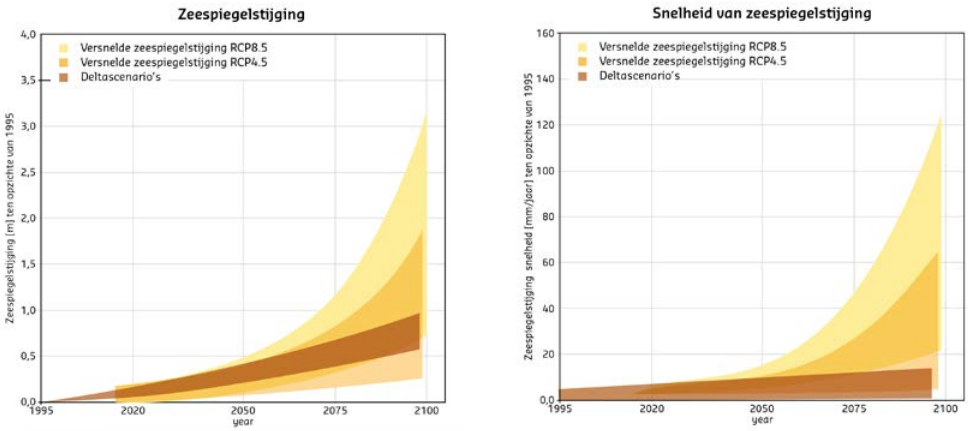
Bij de Rijntakken is in het beleid de afvoerverdeling over de Rijntakken vastgesteld. Dit is van belang voor de veiligheid van het riviersysteem, doordat de hoeveelheid afvoer benedenstrooms van de splitsingspunten bepalend is voor de hoogte van de waterstanden. De huidige beleidsmatig vastgestelde afvoerverdeling over de Rijntakken wordt gehandhaafd tot in ieder geval 2050. Op de lange termijn blijft de mogelijkheid open om deze vastgestelde afvoerverdeling te wijzigen.

## 2.3. Nieuwe inzichten zeespiegelstijging

Wereldwijde zeespiegelstijging vindt plaats als gevolg van thermische expansie en toenemend watervolume in de oceanen. Dit wordt veroorzaakt door veranderingen in de massabalans van ijskappen en gletsjers, grondwateronttrekking en opslag in stuwmeren. Zeespiegelverandering vertoont ruimtelijke variaties, door zwaartekrachteffecten van de ijskappen op de lokale zeespiegel, atmosfeer- en oceaancirculatie en lokale bodemdaling of -stijging (Deltares, 2019). Het IPCC maakt schattingen van de toekomstige gemiddelde mondiale zeespiegelstijging op grond van paleo-reconstructies, analyses van waarnemingen en uitkomsten van klimaatmodellen. Deze schattingen zijn omgeven met de nodige onzekerheid waarvan de veranderende ijsmassabalans van Antarctica hierin een zeer onzekere factor is. Laatstgenoemde is voor de zeespiegelstijging in Nederland een erg belangrijk element.

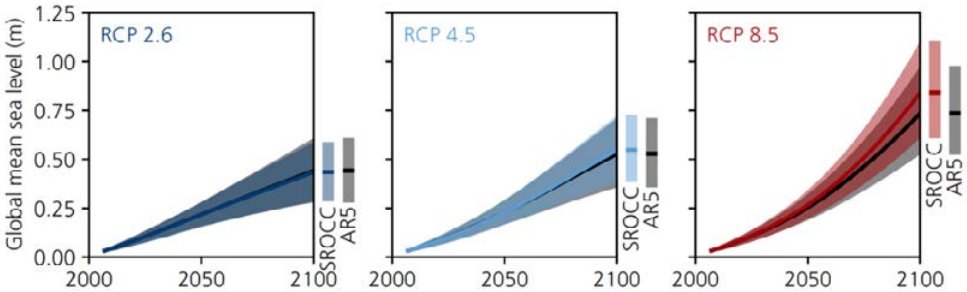
De zeespiegelstijging heeft invloed op de waterveiligheid in Nederland. Zo worden de belastingen op de waterkeringen verhoogd door de toenemende frequentie van hoge waterstanden. Ook zal bij de vaker optredende hoogwaterstanden de beschikbare hersteltijd voor het kustprofiel afnemen, waardoor erosie toeneemt. Variabelen die van belang zijn voor de waterveiligheid zijn a) de grootte van zeespiegelstijging en b) de snelheid van zeespiegelstijging (stijgsnelheid). Deze variabelen zijn nodig voor het ontwerpen van maatregelen om het waterveiligheidsbeleid uit te voeren.

Onderstaande figuur, afkomstig uit Deltares (2018), geeft voor verschillende scenario's verwachtingen van zeespiegelstijgingshoogtes en –snelheden voor de komende eeuw langs de Nederlandse kust. De projecties in figuur 2 zijn afkomstig uit onderzoeken van KNMI (Deltascenario's) en Le bars et al. (2017) (Versnelde zeespiegelstijging). Bij de versnelde zeespiegelstijging wordt uitgegaan van het mogelijk versneld afbreken en smelten van het landijs op Antarctica en is hierdoor extremer dan de projecties van de Deltascenario's.




Figuur 2: mogelijke zeespiegelscenario's, volgens KNMI' 2014 (Deltascenario's met bandbreedte 2 tot 4°C opwarming in 2100) en de projecties van versnelde zeespiegelstijging (RCP4.5 en RCP8.5; die ook een bandbreedte is van 2 tot 4°C opwarming in 2100) ten opzichte van 1995.

Meer recentelijk is door het IPCC het Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (SROCC) uitgebracht (IPCC 2019). Het IPCC heeft geconcludeerd dat de bovenwaarde van de mediane verwachting van zeespiegelstijging in 2100 uitkomt op 1.10 meter bij het RCP8.5 scenario. Dit is één decimeter hoger dan de bovenwaarde in de vorige uitgebrachte editie van dit rapport (AR5 in figuur 3). Het IPCC benadrukt dat deze wereldwijde mediane verwachting is omgeven met een grote onzekerheidsbandbreedte.




Figuur 3: tijdsverloop van wereldwijde mediane zeespiegel voor RCP2.6, RCP4.5 en RCP8.5 zoals gebruikt in het IPCC 2019 SROCC rapport. Ter referentie zijn de AR5 resultaten ook toegevoegd. Figuur uit: IPCC (2019)

Vanwege de grote onzekerheidsbandbreedte en projecties uit diverse onderzoeken constateert het ENW dat er geen consensus is in de wetenschap of een extreme zeespiegelstijging groter dan twee meter zeespiegelstijging en/of 20 millimeter per jaar zeespiegelstijging zal optreden in de komende honderd tot honderdvijftig jaar.

Tot 2050 ontlopen alle voorspelde projecties van zeespiegelstijging elkaar weinig. De mogelijk extra versnelde zeespiegelstijging manifesteert zich naar verwachting op zijn vroegst vanaf 2050. Er zijn op dit moment geen goede signaleringsindicatoren om aan te tonen, middels monitoring, of en wanneer dit op zal treden. Hiermee onderschrijft het ENW het belang van adaptieve strategieën (met implementatie van een goed signaleringssysteem) alsmede de urgentie om deze indicatoren te ontwikkelen.

Dit advies richt zich op de impact van versnelde zeespiegelstijging op het huidige waterveiligheidsbeleid. Hierbij wordt vanuit een praktisch technisch gezichtspunt gekeken naar een toekomstig (tamelijk extreem) klimaatscenario en wordt geanalyseerd of de huidige maatregelen, die binnen het beleid vallen, aanzienlijk worden beïnvloed en of ontwerppraktijken robuust zullen blijven. Hiervoor wordt een toekomstig scenario aangenomen zonder daar een tijdshorizon aan te koppelen:

| | |
|---|---|
| Zeespiegelstijging [m] | 2 |
| Stijgsnelheid [mm/jaar] | 20 |

Qua ordegrootte komt de gekozen stijgsnelheid overeen met een lineaire zeespiegelstijging van twee meter over een periode van 100 jaar. Vermoedelijk zal de stijgsnelheid een exponentieel verloop hebben, waarbij het aan het eind van een periode harder stijgt dan aan het begin. De invloed van dit toekomstig scenario op het huidige waterveiligheidsbeleid en de te hanteren voorkeursstrategieën zullen worden beschouwd in de volgende hoofdstukken.

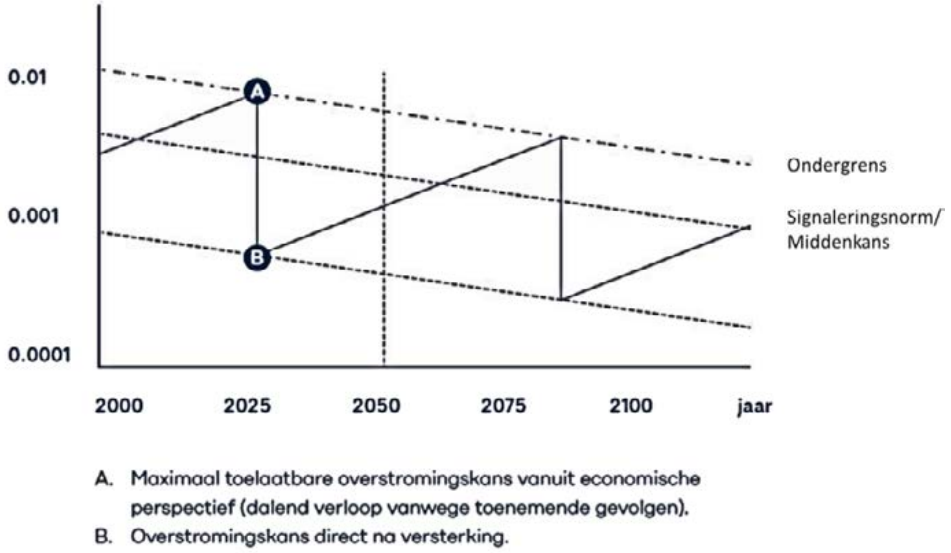
# 3 Impact zeespiegelstijging vanuit het perspectief van de normering

De overstromingskans van dijktrajecten is dusdanig gekozen dat het overstromingsrisico in gebieden die bescherming genieten van primaire keringen aanvaardbaar wordt gevonden. Dit aanvaardbare overstromingsrisico is gebaseerd op verschillende risicomaten: het individueel risico, het economisch risico en het groepsrisico. Voor deze risicomaten zijn voor de normering een Maatschappelijke Kosten-Batenanalyse (MKBA) en een analyse van de slachtofferrisico's (SLA) uitgevoerd. Deze analyses zijn de technische onderbouwing van waterveiligheidsnormen in Nederland. De invloed van zeespiegelstijging op de verschillende risicomaten en bijbehorende normprincipes zal in dit hoofdstuk worden beschouwd.

Om de impact van zeespiegelstijging op de normering goed te kunnen duiden, is het van belang om te weten hoe de normen (overstromingskans of faalkans) zijn vastgelegd in de Waterwet. De normspecificaties in de Waterwet zijn voor de meeste waterkeringen uitgedrukt in een zogenaamde signaleringswaarde alsmede een ondergrens. Hiermee wordt beoogd om vroegtijdig de versterkingsopgave in beeld te brengen (signaleringswaarde) en een eis te stellen aan de primaire waterkering waaraan deze ten minste moet voldoen (ondergrens). Beide type normen krijgen een normhoogte welke zijn toegedeeld aan een bepaalde normklasse. De klassenindeling is een beleidsmatige keuze en een normwijziging zal (gemiddeld) plaats vinden als de berekende overstromingskans een factor 3 verandert. De in eerste instantie afgeleide normhoogte is omgeven door onzekerheden en de klassenindeling zorgt voor een robuustere normering. De MKBA en SLA bepalen de normhoogte die de basis vormt voor de uiteindelijke normklasse van de ondergrens en signaleringswaarde.

## 3.1. Economisch optimaal beschermingsniveau

De overstromingskans van een dijktraject die volgt uit de MKBA is afhankelijk van de schade bij overstromen, de kosten van dijkversterking en de disconteringsvoet. De optimale overstromingskansen veranderen in de loop van de tijd, maar het is niet optimaal om een kering daar continu op aan te passen. Het verhogen van een waterkering gebeurt in sprongen met grote tussenpozen, waardoor het verloop van de overstromingskans de vorm van een zaagtand heeft, zie figuur 4. De overstromingskans wordt bij versterking in één keer snel kleiner, waarna deze weer langzaam toeneemt door bodemdaling, toenemende rivierafvoeren en zeespiegelstijging.




Figuur 4: schematisch verloop van de overstromingskans van een waterkering bij het volgen van een optimale investeringsstrategie (ENW, 2016).

Veranderingen in de optimale overstromingskans komen door allerlei ontwikkelingen die in Nederland plaatsvinden, zoals de toenemende economische schade in overstroombare gebieden door demografische ontwikkelingen en economische groei. Hierdoor vertoont het zaagtandpatroon een dalend verloop. Bij het bepalen van de hoogte van de economisch optimale overstromingskansen is uitgegaan van de resultaten voor het jaar 2050.

Bij de uitwerking van de normhoogtes is gerekend met een vereenvoudigde werkwijze, waarbij gebruik wordt gemaakt van het verhoudingsgetal tussen schades en kosten (Ministerie van Infrastructuur & Milieu, 2016). Deze vereenvoudigde werkwijze is afgeleid in Eijgenraam (2009). De signaleringswaarden zoals deze is opgenomen in de Waterwet (P_midden) op een bepaald tijdstip t kan met de volgende formule benaderd worden:

$$P(t)_{midden} = S(t)^{*}/V(t)$$
$$S(t)^{*} \approx \delta\, I_i(h_{10}) \,/\, ln(10)$$

Waarbij S(t)* het economisch optimale niveau van de verwachte overstromingsschade is, V(t)de schade bij overstromen in dat jaar, δ de discontovoet en I_i (h_10) de kosten zijn voor het verhogen van de dijk met één decimeringshoogte (de dijkverhoging die nodig is om de overstromingskans ten gevolge van overslag met een factor 10 te laten afnemen). S(t)^* is gedefinieerd als het logaritmisch gemiddelde van de verwachte schade direct voor en na de eerstvolgende investering na tijdstip t. Voor de huidige normering zijn de economisch optimale overstromingskansen bepaald voor het jaar 2050. Deze keuze houdt verband met de wens vanuit het beleid dat de nieuwe normen in beginsel worden vastgesteld voor de periode tot 2050.

Het tempo van de structurele verandering van de economische optimale overstromingskansen in de tijd wordt bepaald door de combinatie van de twee onderliggende groeivoeten. De eerste is het structurele tempo van economische groei en de verwante potentiële overstromingsschade. Er wordt aangenomen dat de potentiële schade in een gebied, dan wel de waardering daarvan, even hard stijgt als de groei van het bruto inkomen (BRP dan wel BBP). Groei van de schade (γ) doet op zichzelf de economisch optimale norm in het-

zelfde tempo dalen, dus de veiligheid neemt in de loop der tijd toe. Het veronderstelde tempo van de economische groei voor de normberekening is 1,9% economische groei per jaar, waardoor de overstromingsschade in 2050 toeneemt met bijna een factor twee ten opzichte van de verwachte schade vandaag de dag.
De tegenkracht is de structurele groei van de investeringskosten. Die kostengroei doet op zichzelf de economisch optimale norm even hard stijgen, dus de veiligheid daalt. De groei van de investeringskosten komt doordat de investeringskosten toenemen naarmate de hoogte van de dijk toeneemt. Deze groeivoet van de kosten kan worden geschreven als $\lambda\eta$, waarbij $\eta$ de zeespiegelstijging is in mm per jaar en $\lambda$ de kostenstijging per mm dijkverhoging. Zolang het tempo van economische groei hoger is dan het tempo van de kostenstijging, dus $\gamma \geq \lambda\eta$, dalen de economisch optimale veiligheidsnormen en neemt de veiligheid toe. Deze groeivoeten variëren per dijktraject en zijn sterk afhankelijk van de omgevingssituatie.

De invloed van een absolute zeespiegelstijging van twee meter met een gemiddelde stijgsnelheid van 20 mm/jaar op de economisch optimale overstromingskansen kan met behulp van eerder genoemde benaderingsformule van Eijgenraam (2009) inzichtelijk worden gemaakt. Een aanpassing van de normhoogte betekent niet direct een aanpassing van de normklasse die is vastgelegd in de Waterwet. Dit zal gemiddeld genomen gebeuren als de normhoogte met circa een factor drie verandert.

- In het algemeen geldt dat naarmate de waterstanden en kruinhoogten toenemen er een steeds grotere berm nodig is om te kunnen voldoen aan de gestelde stabiliteitseisen. Hierdoor nemen de kosten om een dijk te verhogen met één decimeringshoogte niet lineair toe bij zeespiegelstijgingen. Uit Jonkman et al. (2013) blijkt dat bij één meter zeespiegelstijging de kosten voor dijkversterking 40% stijgen (t.o.v. een referentiesituatie zonder zeespiegelstijging). Dit leidt doorgaans niet tot een aanpassing van de normklasse (minder strenge normklasse). Bij twee meter zeespiegelstijging zullen de kosten 86% toenemen, wat in veel gevallen wel kan resulteren in een aanpassing van normklasse door een grotere economisch optimale overstromingskans.
- De schade bij overstromingen zal over het algemeen toenemen bij een toenemend verschil tussen de buitenwaterstand en de hoogte van het maaiveld, doordat er meer water in het achterliggende gebied kan stromen (De Bruijn en Van der Doef, 2011). Bij het project Veiligheid Nederland in Kaart 2 (VNK2) zijn de gevolgen van overstromingen bepaald voor buitenwaterstanden die een factor tien verschillen in terugkeertijd (zie ook de LIWO website waar gevolgen van overstromingen voor vele locaties is opgenomen http://professional.basisinformatie-overstromingen.nl/liwo/#basisinfo). In Klijn et al. (2010) is de toename in schade en slachtoffers als gevolg van een hogere buitenwaterstand van 1.3 meter geschat. Op basis van verkennende berekeningen wordt geschat dat de schade zal toenemen met een factor drie tot vijf in gebieden in het benedenrivierengebied en langs de kust waar niet alleen de diepte, maar ook het overstroomd oppervlak kan toenemen. Dit zal over het algemeen leiden tot een aanpassing van normklassen van dijktrajecten. In de schadefuncties wordt aangenomen dat de schadetoename bij elke extra meter waterdiepte afneemt naarmate de waterdiepte groter wordt. Zo zal in gebieden waarbij reeds de overstroming enkele meters waterdieptes betreft, de schadetoename bij een zeespiegelstijging van twee meter gering zijn.

Dit is een indicatieve beschouwing en het daadwerkelijke netto effect op de economisch optimale overstromingskans is lastig in te schatten. De bovengenoemde aspecten wegen allebei een andere kant op. Om het netto effect per dijktraject te kwantificeren zal een uitgebreidere studie uitgevoerd moeten worden.

## 3.2. Slachtofferrisico

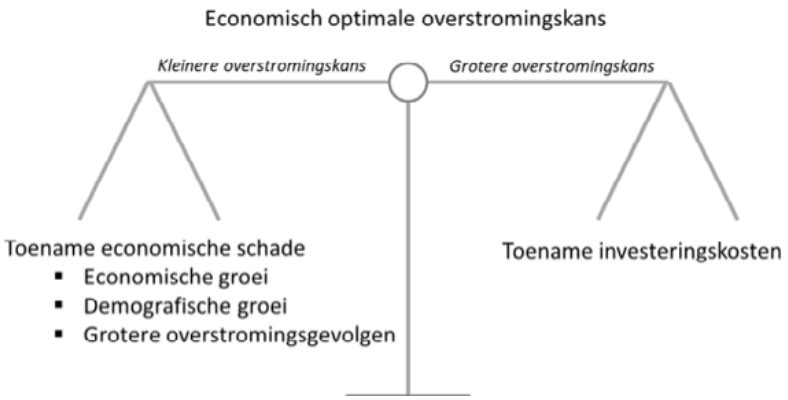
Bij het slachtofferrisico wordt gekeken naar het aantal dodelijke slachtoffers als direct gevolg van een bepaalde gebeurtenis. De analyse van slachtofferrisico richt zich op zowel het individuele (LIR) als het maatschappelijke perspectief (groepsrisico). Voor het bepalen van het slachtofferrisico wordt rekening gehouden met de evacuatiefractie (het gedeelte van de bevolking dat gemiddeld genomen uit het bedreigde gebied is geëvacueerd voordat een overstroming optreedt) en mortaliteit (de kans op overlijden gegeven een overstroming). Er wordt gekeken naar de kans per jaar dat een persoon, aanwezig op een bepaalde locatie, komt te overlijden als gevolg van een overstroming:

$$LIR = P_f \; P_{d\,|\,f}(1 - F_E)$$

Waarbij P_f de overstromingskans van een waterkering is, P(d | f) de mortaliteit gegeven een overstroming en F_E de evacuatiefractie. Het aanvaardbare LIR is op dit moment in het waterveiligheidsbeleid vastgesteld op 10-5 per jaar (basisbeschermingsniveau) ( $P_{f,norm} = 10^{-5} / (P_{d\,|\,f}(1 - F_E))$ ). kunnen de maximaal toelaatbare overstromingskansen afgeleid worden. De zeespiegelstijging resulteert in extremere overstromingen, waardoor de mortaliteit mogelijk kan toenemen. De mortaliteit is een functie van waterdiepte en stijgsnelheid. Een toename van overstromingsdiepte van één of twee meter heeft in gebieden met hoge stijgsnelheden veel effect op mortaliteit (Maaskant et al., 2009) en op de maximaal toelaatbare overstromingskansen. Echter in de meeste gebieden in Nederland is de stijgsnelheid laag en zal er nauwelijks effect zijn op de vereiste normen voor het vastgestelde basisbeschermingsniveau en het groepsrisico.

## 3.3. Haalbaarheid en mogelijke knelpunten

Bij voortzetting van het huidige waterveiligheidsbeleid in Nederland, dus handhaving van de huidige normering, zal het overstromingsrisico in de toekomst toenemen door stijgende economische schade bij overstromingen als gevolg van economische groei. De zeespiegelstijging heeft geringe invloed op het overstromingsrisico zolang de primaire keringen aan de norm voldoen. In het beleid is vastgesteld om iedere twaalf jaar te evalueren of de huidige normen nog voldoen en goed aan blijven sluiten bij voorziene ruimtelijke en economische ontwikkelingen en klimaatverandering. De optimale overstromingskansen zullen in de toekomst mee veranderen met ontwikkelingen in Nederland, waardoor de te bieden beschermingsniveaus (de hoogte van de norm) te zijner tijd geactualiseerd moeten worden. De zeespiegelstijging heeft mogelijk wel invloed op de normklassen die vastgelegd worden in de Waterwet, waar ook in de toekomst rekening mee gehouden moet worden.
Voor trajecten waarbij de MKBA leidend is zal bij een zeespiegelstijging van twee meter de schade bij overstromingen groter worden als gevolg van hogere buitenwaterstanden. Maar daartegenover staat de toename in investeringskosten. Hoe verschillende aspecten doorwerken in een economische optimale overstromingskans is schematisch weergegeven in figuur 5. Hoe deze twee factoren doorwerken in de uiteindelijke normklasse van dijktrajecten is niet op voorhand te zeggen.




Figuur 5: de balans van de economisch optimale overstromingskans zal in de toekomst voornamelijk bepaald worden door de economische schade en investeringskosten.

Naar verwachting wordt de normering op basis van het slachtofferrisico in geringe mate beïnvloed door twee meter zeespiegelstijging. Verder zal zeespiegelstijging vooral leiden tot toename van het structurele tempo van investeren. Doordat er per tijdseenheid, bijvoorbeeld in een eeuw, meerdere keren geïnvesteerd moet worden om de overstromingskansen op een acceptabel peil te houden, stijgen de investeringskosten per tijdseenheid ook versneld.

Voor de economisch optimale overstromingskans geldt dat zolang het tempo van economische groei ($\gamma$) hoger is dan het tempo van de kostenstijging ($\lambda\eta$), de economisch optimale veiligheidsnormen dalen en de veiligheid toeneemt. Als niet wordt voldaan aan deze voorwaarde zullen uitgaven aan waterveiligheid een toenemend aandeel van de inkomens in een gebied innemen, wat op de lange termijn niet houdbaar is. Of aan deze voorwaarde wordt voldaan hangt af van lokale omstandigheden; zowel investeringskosten, economische groei en toenemende waterstanden (door zeespiegelstijging) zijn ruimtelijk variabel. Voor de economische groei is dat eenvoudig, want de regionale economische groei ligt voor de meeste gebieden dicht in de buurt van de macro-economische groei. Bij de investeringskosten zijn de verschillen tussen dijktrajecten veel groter, zowel bij de verslechtering van het watersysteem (bijvoorbeeld door bodemdaling en toenemende rivier-afvoeren) als de waarde van $\lambda$ (uiteenlopend van 0 tot 0,1). Het is mogelijk dat de kostenstijging in sommige gebieden in het benedenrivierengebied, waar $\lambda$ tegen de waarde van 0,1 aankomt, dan structureel 2% per jaar bedraagt. Het is dan mogelijk dat de economisch optimale norm voor de overstromingskans voor deze gebieden niet meer daalt, maar ongeveer gelijk blijft of zelfs iets stijgt. Dit is een keuze voor beleidsmakers hoe daar in de toekomst mee wordt omgegaan.

Er is nog een andere invalshoek om naar de uitgaven aan waterveiligheid te kijken, namelijk de betaalbaarheid van bescherming tegen overstromen. We beschouwen hierin niet ieder dijktraject apart, maar het totaal van alle dijktrajecten. De afgelopen eeuw lag de groeivoet van de economie ver boven die van de kosten voor waterveiligheid, met als gevolg dat de uitgaven aan overstromingsbescherming als percentage van het BBP enorm zijn gedaald. Wie terugkijkt naar de bouw van de Afsluitdijk, ziet dat die alleen al vele procenten van het BBP kostte, terwijl de totale beschermingsuitgaven nu minder zijn dan 0,2% van het BBP. Als de economische groei zal aanhouden en het stijgingstempo van de investeringskosten lager blijft, is de huidige normering macro-economisch gezien houdbaar voor een scenario met een zeespiegelstijging van 20 mm/jaar. Als de stijging van de investeringskosten groter worden dan de economisch groei zullen de uitgaven aan waterveiligheid een steeds groter deel van het BBP en overheidsuitgaven in beslag nemen. Dit kan een dusdanig groot deel worden dat het huidige waterveiligheidsbeleid heroverwegen moet worden en andere strategieën gebruikt moeten worden. Voordat dit bereikt wordt, zullen de problemen gradueel erger worden op een aantal

locaties en zal er niet ineens een groot nationaal probleem optreden. Lokaal zullen er problemen kunnen ontstaan, maar het nationale waterveiligheidsbeleid zal niet plotseling onhoudbaar zijn. Hierdoor zal er naar verwachting nog een lange periode zijn om naar alternatieven te zoeken om de waterveiligheid in Nederland te garanderen.

Het huidige waterveiligheidsbeleid focust voornamelijk op preventie waarbij binnen de normering alleen versterkingen van waterkeringen beschouwd worden. Dit is over het algemeen de goedkoopste manier om overstromingskansen (en daarmee risico's) te verlagen. In 2012 onderstreepte het ENW dat preventie in de meeste gevallen de meest efficiënte risicoreducerende maatregel is. Andere beschermingslagen in de meerlaagsveiligheidsbenadering, bijvoorbeeld gevolg-beperkende maatregelen door ruimtelijke ordening of water robuust bouwen en rampenbeheersing, zijn voor gebieden met een hoog beschermingsniveau niet efficiënt (ENW, 2012). Dit komt onder andere doordat een beperkt deel van de totale schade gereduceerd kan worden, namelijk alleen het voorkomen van slachtoffers en directe schade aan woningen en bedrijven. Uitzonderingen betreffen mogelijk waterkeringen waaraan zeer hoge investeringskosten verbonden zijn en waar ingrepen een grote impact hebben op de omgeving. Het ENW adviseert om te investeren in de ontwikkeling van technische innovaties om het overstromingsrisico te verkleinen, waarbij waarschijnlijk preventie in de toekomst het meest efficiënt blijft. Door hier meer onderzoek naar te doen kan onderzocht worden hoe de financiële en economische haalbaarheid vergroot of verlengd kan worden.

De beschouwingen in dit advies zijn op basis van een eerste versimpelde en indicatieve benadering. Een meer volledige analyse wordt aanbevolen waarin de daadwerkelijke stijging van waterstanden, resulterend in hogere waterkeringen, kosten per gebied en effecten op de optimale overstromingskans worden onderzocht.
De wettelijk vastgelegde normen zullen mogelijk in de toekomst aangepast moeten worden afhankelijk van de ontwikkelingen rond economische schade en investeringskosten. Op basis van versimpelde en indicatieve benaderingen en een deskundigenoordeel is volgens het ENW het nationale waterveiligheidsbeleid vanuit de risicobenadering financieel en economisch haalbaar bij een zeespiegelstijging met stijgsnelheid van 20 mm/jaar en een absolute toename van twee meter. Zolang de economische groei groter is dan de stijging van gemiddelde investeringskosten voor dijkversterking per jaar zal het vanuit een economisch oogpunt voordelig blijven om te blijven investeren in waterveiligheid en zal er geen omslagpunt bereikt worden.

Intermezzo: rekenvoorbeeld investeringskosten t.o.v. overheidsuitgave
De investeringen in waterveiligheid in de periode 2018-2032 conform de rijksbegroting zijn gemiddeld 475 miljoen euro per jaar. Deze uitgaven worden gezamenlijk gefinancierd door het Rijk en de waterschappen. Daarbij komt dat waterschappen zelf ook nog investeren in waterveiligheid door projectgebonden bijdragen en beheer en onderhoud dat voor nu buiten beschouwing wordt gelaten. De volgende uitgaven worden als uitgangssituatie verondersteld op basis van de rijksbegroting:

| | | |
|---|---|---|
| Huidige uitgaven HWBP / Deltafonds | | |
| Totaal begrote uitgaven overheid (Miljoenennota 2019) | 295.000 | [M€] |
| Huidige gemiddelde jaarlijkse uitgaven projecten waterveiligheid | 475 | [M€] |
| Percentage van totale overheidsuitgaven | 0.16% | |

Om een indicatie te geven van de extra uitgaven aan waterveiligheid door een zeespiegelstijging van twee meter nemen we aan dat alle primaire keringen (3600 km) twee meter verhoogd moeten worden en daarmee ook verbreed. De Grave en Baarse (2011) hebben gekeken naar de investeringskosten voor twee meter dijkverhoging. Deze kosten blijven onder de 30M€/km. Om te voldoen aan het veilig-

heidsniveau is een totale investering van 108 miljard euro nodig. Als we aannemen dat dit gerealiseerd moet worden in een periode van 50 jaar (tweede helft 21e eeuw) zou dit betekenen dat de gemiddelde jaarlijkse totale investeringskosten in deze periode zullen stijgen naar 0.89% ten opzichte van de totale overheidsuitgaven (aannemende dat de overheidsuitgaven niet stijgen). Als we echter uitgaan van een realistische economische groei van 1.5% zijn de investeringskosten gemiddeld 0.38% van de totale overheidsuitgaven in die periode. Wanneer bovenstaande schattingen verder verscherpt worden door realistischer te zijn over de totale lengte aan waterkeringen die versterkt moet worden (grofweg 1000 km van de dijken in Nederland ligt langs de rivieren) en gemiddelde kosten voor dijkverhoging (gemiddelde kosten dijkverhoging van twee meter geschat op 12.5 M€/km), zien we dat waterveiligheidsuitgaven ten opzichte van de totale uitgaven gelijk blijven.

## 3.4. Grootste onzekerheden rondom houdbaarheid normering

Wat betreft de houdbaarheid van de huidige normering zijn er twee grote onzekerheden:

- In welke gebieden is er op grond van MKBA, LIR en GR wanneer aanleiding (door zeespiegelstijging) tot aanpassingen van de normen (lokale en regionale ontwikkelingen en risico's kunnen een grote rol spelen)?
- De investeringskosten van een dijktraject om de overstromingskans kleiner te maken hebben grote invloed op de economisch optimale overstromingskansen. Innovatieve dijkversterkingstechnieken kunnen leiden tot lagere investeringskosten, waardoor investeringen in de waterveiligheid voordeliger worden. Het ontwikkelen van deze innovatieve technieken zal mogelijk wel gestimuleerd moeten worden.

# 4 Impact zeespiegelstijging op huidige voorkeursstrategieën per deelgebied

De impact van versnelde zeespiegelstijging op de huidige strategieën van de deelgebieden zal beschouwd worden op basis van vier aspecten: technisch, economisch, ruimtelijk en ecologisch. De voorkeursstrategie vormt het strategische kompas voor de keuze van maatregelen. Deze maatregelen moeten ervoor zorgen dat het vastgelegde beschermingsniveau wordt bereikt. De technische houdbaarheid van de maatregelen behorend bij de voorkeursstrategie met een zeespiegelstijging van twee meter en een stijgsnelheid van 20 mm/jaar wordt beschouwd op basis van beschikbare inzichten (bijvoorbeeld of er voldoende capaciteit is voor zandsuppleties of dat het technisch mogelijk is om betrouwbare waterkeringen te realiseren). Er wordt beschouwd of maatregelen opgeschaald kunnen worden om te voldoen aan de gestelde normen voor dijktrajecten en risico's in beschermde gebieden niet te laten toenemen bij een stijgende zeespiegel. Vanuit economisch perspectief wordt beschouwd of het uitvoeren van deze maatregelen haalbaar is en zullen andere relevante aspecten gerelateerd aan de economische impact benoemd worden. Het te voeren waterveiligheidsbeleid heeft ook een ruimtelijke impact, doordat omwonenden en gebruikers van het watersysteem beïvloed worden. De houdbaarheid kan beperkt worden door beschikbare ruimte rond waterkeringen, maar ook de ruimtelijke ordening en leefbaarheid in het gebied kan beïnvloed worden. Het laatste aspect is gerelateerd aan de ecologie, waarop zeespiegelstijging en de te nemen maatregelen ook invloed zullen hebben. Vele waterkeringen grenzen aan of liggen in beschermde natuurgebieden.

De beoordeling van de houdbaarheid wordt uitgedrukt in drie categorieën, gerelateerd aan de knelpunten die ontstaan om de beoogde doelen van het waterveiligheidsbeleid te behalen.

| Aanduiding categorie houdbaarheid | |
|---|---|
| 👍 | Op basis van beschikbare kennis lijkt de huidige voorkeursstrategie goed aan te sluiten op de beleidsdoelen. Er ontstaan mogelijk geringe knelpunten. |
| ● | In beperkte mate zullen er knelpunten ontstaan. Mogelijk sluit een alternatieve invulling van de voorkeursstrategie beter aan op de gestelde beleidsdoelen. |
| 👎 | Met de huidige voorkeursstrategie ontstaan dusdanige penibele situaties dat het niet houdbaar is en ontstaan er problemen om de beleidsdoelen te behalen. |

## 4.1. Rijnmond-Drechtsteden

Het deelgebied Rijnmond-Drechtsteden (ook wel Benedenrivierengebied of Rijn-Maas-monding genoemd) is een stelsel rivieren van het Noordelijk Deltabekken. De waterkeringen beschermen een dichtbevolkt gebied met grote economische betekenis (onder andere door havenactiviteiten en het Westland). In de regio Rijnmond-Drechtsteden is zowel de binnendijkse als de buitendijkse waterveiligheid van belang. Het gebied kent twee typen bedreigingen: afvoeren en stormvloeden. In het rivierengebied (delen van de bedijkte Maas en Rijntakken) is de invloed van de rivier groot. In de kustzone is de invloed van de zee groot. In het overgangsgebied is zowel de invloed van de rivier als de zee groot.

### 4.1.1. Invloed zeespiegelstijging op voorkeursstrategie

In de Rijn-Maas-monding wordt de waterveiligheid gewaarborgd door dijken in combinatie met afsluitbare, volledig open stormvloedkeringen. De Maeslantkering[4] en de Haringvlietsluizen zijn belangrijke schakels in de bescherming tegen hoge waterstanden vanuit zee. Het primaire doel van deze stormvloedkeringen is het verlagen van de hydraulische belastingen in het gebied door bij hoge zeewaterstanden de riviermondingen en zeearmen af te sluiten. Het beleid handhaaft de bescherming op lange termijn met een afsluitbare, volledig open stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg in combinatie met dijkversterking (zee dominante locaties), rivierverruiming (rivier dominantie locaties) en combinaties van beide benaderingen (overgangsgebied).

Figuur 6: kaart van de Rijnmond-Drechtsteden met daarin met kleuren aangegeven de mogelijke handelingsperspectieven voor dijkversterking uit het Deltaprogramma (Deltaprogramma, 2014a).

De stijgende zeespiegel heeft impact op de belastingen van de (voorliggende) waterkeringen in dit gebied en deze keringen zullen versterkt moeten worden bij een zeespiegelstijging van twee meter om te blijven voldoen aan de norm. Het watersysteem, waarin meerdere kunstwerken gelegen zijn om de zee buiten te houden en de belastingen te beperken, is complex.

[4] Met de benaming Maeslantkering wordt de combinatie Maeslant- en Hartelkering bedoeld.

Het functioneren van een aantal voorliggende keringen[5] speelt een belangrijke rol in de belastingen op de achterliggende waterkeringen bij een stijgende zeespiegel. Het functioneren van de stormvloedkeringen, die bediend worden afhankelijk van hydraulische omstandigheden, zal sterk beïnvloed worden door de zeespiegelstijging. Zo zal het spuien via de Haringvlietsluizen door toenemende zeewaterstanden steeds lastiger worden, waardoor er minder afgevoerd kan worden naar de Noordzee en waterstanden in achterliggend gebied toenemen. De sluitfrequentie van de Maeslantkering zal circa één à tweemaal per dag zijn bij het handhaven van het huidige sluitcriterium en een zeespiegelstijging van twee meter, doordat bij nagenoeg elke getijcyclus (zonder storminvloed) het sluitcriterium van de Maeslantkering bereikt wordt. Bij een zeespiegelstijging van één meter zal de sluitfrequentie gemiddeld drie keer per jaar zijn (Deltares, 2018). De gehele sluit- en openprocedures van de Maeslantkering (versimpeld: dichtvaren, afzinken, opdrijven en openvaren) duurt circa drieënhalf uur en van de Hartelkering (sluiten en openen) circa twee uur. Praktisch gezien leidt het handhaven van het huidige sluitcriterium tot een ondoenlijke situatie en is men continue in de weer voor het openen en sluiten van de kering. En nog belangrijker: daarmee gaat een belangrijk doel, de onbelemmerde bereikbaarheid van de Rotterdamse haven, verloren. Het benodigde beheer en onderhoud zal ook leiden tot een heikel punt bij de huidige Maeslantkering welke slijt bij iedere sluiting. Frequenter sluiten van de Maeslantkering zal slijtage verergeren.

Daarbij komt dat het handhaven van bestaande sluitcriteria bij een zeespiegelstijging niet betekent dat maatgevende waterstanden in de Rijn-Maas-monding gelijk blijven. Het feit dat de Maeslantkering vaker zou moeten sluiten werkt door in de frequentie van waterstanden. De operationele faalkans is immers gegeven in faalkans per sluitvraag, dus als de kering vaker moet sluiten door toenemende zeewaterstanden, wordt het aantal keren dat de kering zal falen ook groter (De Deugd, 2007). Een stormvloedkering leidt tot een verlaging van de belastingen in achterliggende gebied, maar de doorwerking van de zeespiegelstijging in belastingen is nauwelijks op te vangen door frequenter sluiten van de stormvloedkeringen met de huidige faalkans (Passchier et al., 2009).

De stormvloedkeringen zijn niet ontworpen voor een zeespiegelstijging van twee meter en zullen naar verwachting constructief aangepast moeten worden om te voldoen aan de norm. Zo is bij het ontwerp van de Maeslantkering rekening gehouden met een maximale zeespiegelstijging van 50 centimeter. De Maeslantkering heeft op dit moment een kerende hoogte van 5 m + NAP (niveau van de bovenzijde van de sluitdeuren in gesloten toestand). Deze kerende hoogte wordt bij twee meter zeespiegelstijging grofweg gemiddeld eens in de 20 jaar overschreden. Als dit gebeurt zal er overloop ontstaan waardoor er meer water vanuit zee het gebied in zal stromen en ook erosiekuilen van meters diep zullen ontstaan achter de kering. Overslag door golven zal reeds eerder optreden. De maximaal toelaatbare hoeveelheid overslag is afhankelijk van de bergingscapaciteit in het achterliggende gebied. Dit leidt tot toenemende waterstanden aldaar. Verder zijn de constructieve elementen van de stormvloedkering, zoals de fundering, bolscharnier en de deuren, niet gedimensioneerd op de belastingen die optreden bij zeespiegelstijgingen van twee meter.

In de Rijn-Maas-monding bevindt zich daarnaast 12.6 km2 oppervlak aan bebouwing in buitendijks gebied. Hier zijn zowel inwoners (circa 60.000 mensen) als economische waarde (o.a. 31.000 woningen, industrie en andere havenactiviteiten) gevestigd. De buitendijkse gebieden zijn intensief in gebruik en liggen op dit moment relatief hoog. Bij een zeespiegelstijging zijn dit veelal de eerste gebieden die frequenter zullen overstromen en waar de risico's zullen toenemen. Zo zal er met de huidige inrichting van het water- en dijkensysteem het Noordereiland in de Nieuwe Maas bij Rotterdam dagelijks met hoogwater een halve meter extra water staan, evenals in de Waal- en Eemhavens (gebaseerd op hoogwaterkaart Rotterdam[6]).

[5] Er bevinden zich naast de Maeslantkering en Haringvlietsluizen nog twee kunstwerken in de Rijn-Maas-monding; de stormstuw Hollandsche IJssel en de keersluis in het Heusdensche Kanaal. Deze kunstwerken keren hoge buitenwaterstanden die afhankelijk zijn van de werking van de voorliggende Maeslantkering en Haringvlietsluizen. Gezien vanuit het gehele watersysteem Rijn-Maas-monding hebben deze kunstwerken geringe invloed op de waterstanden, maar ze hebben lokaal wel veel invloed., [6] https://rotterdam.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=3ce1ddfc071e4551821400df2b5f10ff

### 4.1.2. Haalbaarheid en mogelijke knelpunten in beleid

De haalbaarheid en mogelijke knelpunten bij een zeespiegelstijging van twee meter en/of een stijgsnelheid van 20 mm/jaar zijn weergegeven in onderstaande tabel. Deze worden hieronder verder toegelicht.

| | Houdbaarheid | Opmerkingen |
|---|---|---|
| **Technisch** | 🟠 | Constructieve aanpassingen aan stormvloedkeringen nodig alsmede complexe dijkversterkingen in dichtbebouwd gebied. Effectiviteit van stormvloedkeringen voor waterstandsreductie in achterliggend gebied bij stijgende zeespiegel is beperkt. |
| **Economisch** | 🟠 | Kostbare dijkversterking in achterliggend stedelijk gebied. Scheepvaart havengebieden achter stormvloedkeringen sterk belemmerd. |
| **Ruimtelijk** | 👎 | Dijkversterking in dichtbevolkt gebied leidt tot overlast. Buitendijkse gebieden zullen frequent overstromen. |
| **Ecologisch** | 👍 | Weinig verandering ecologie door reeds bestaande typen keringen. |

#### Technisch

De huidige waterveiligheidsstrategie, die voorziet in bescherming door dijken, rivierverruiming en stormvloedkeringen, zal bij een zeespiegelstijging van twee meter technisch haalbaar blijven, maar de doelmatigheid van de huidige voorkeursstrategie is beperkt. De voorliggende stormvloedkeringen zullen bij een zeespiegelstijging van twee meter niet meer voldoen aan de norm en zullen vervangen/versterkt moeten worden. Bij een zeespiegelstijging van één meter is de sluitfrequentie van de Maeslantkering dusdanig hoog (gemiddeld drie keer per jaar) dat naar verwachting de kering dit vanuit constructief oogpunt niet aan kan (Deltares, 2018). Een beweegbare stormvloedkering die belastingen op achterliggende dijken reduceert, wat behoort bij de afsluitbaar-open strategie, heeft functionele limieten welke gevoelig zijn voor zeespiegelstijging (De Deugd, 2007 en Passchier et al., 2009). De betrouwbaarheid van sluiten van een beweegbare stormvloedkering is een grote technische belemmering voor het afsluitbaar open houden van de Nieuwe Waterweg. De huidige operationele faalkans van 1:100 per sluitvraag is op dit moment moeilijk te handhaven. Om de toekomstige belastingen in het gebied binnen de perken te houden met een open Nieuwe Waterweg lijkt vanuit technisch perspectief alleen een stormvloedkering doelmatig met een betrouwbaarheid van enkele orden van grootte hoger dan de huidige kering. Deze sluit bovendien zeer frequent (enkele keren per jaar).

Gezien de afnemende effectiviteit van de Maeslantkering op de belastingen zullen er daarnaast grootschalige dijkversterkingen of andere systeemmaatregelen plaats moeten vinden in de Rijn-Maas-monding. In de sterk verstedelijkte gebieden rond de waterkeringen liggen grote technische uitdagingen door de bebouwing in de zone waar de waterkeringen liggen. Het zee gedomineerde gebied zal bij een zeespiegelstijging stroomopwaarts uitbreiden, waardoor het waterstandsverlagende effect van rivierverruimende maatregelen zal afnemen. De afvoerberging van het Volkerak-Zoommeer uit deze strategie wordt toegelicht in de paragraaf Zuidwestelijke Delta.

Technisch gezien lijkt het handhaven van de normen met de huidige voorkeursstrategie haalbaar. Echter is een meer diepgaande systeemanalyse van zowel het watersysteem als dijkversterkingen is nodig om inzicht te krijgen in de technische knelpunten. Mogelijk geven andere strategieën dan wel andere maatregelen een betere en meer kosteneffectieve invulling van de beoogde doelstelling van het waterveiligheidsbeleid. Een alternatief is dan een meer afsluitbare Rijnmond met een dam met sluizen, waarvan Plan Sluizen een verkennend voorbeeld is. Hier is reeds onderzoek naar verricht (Rijkswaterstaat, 2015). Dit voorkomt veel dijkversterkingen in het achterliggend gebied en beschermt buitendijkse gebieden. Effecten op scheepvaart en mogelijk ecologie zijn aanwezig en nader onderzocht in eerder genoemde studie.

## Economisch

In de Rijn-Maas-monding bevinden zich dijktrajecten waarbij er nauwe verwevenheid is tussen de waterkeringen en het stedelijk gebied. Vanuit de uitgangspunten van dijkversterkingen wordt veelal gesteld dat bestaande bebouwing niet gesloopt wordt. Bij deze dijktrajecten zal er gekozen moeten worden voor constructieve maatregelen waarvan de investeringskosten hoog zullen zijn (op basis van bestaande technieken).

Een vrije toegang tot de havens is in het huidige beleid een belangrijke randvoorwaarde voor de economie in Rijnmond-Drechtsteden. Bij het handhaven van een afsluitbaar open Nieuwe Waterweg (en Hartelkanaal) zal de invulling van de constructie en bediening van stormvloedkeringen belangrijk zijn. Hier ligt een spanningsveld tussen havenbelangen (sluitfrequentie) en veiligheid (maatgevende waterstanden) die beide ongemak hebben van een stijgende zeespiegel. Handhaven van het huidige beleid is vanuit economisch perspectief houdbaar, maar hoge investeringskosten in de stormvloedkeringen en dijken en de havenbelangen in dit gebied zijn mogelijke knelpunten.

## Ruimtelijk

De dijkversterkingen zullen plaatsvinden in dichtbebouwde gebieden, waar geringe ruimte beschikbaar is en veelal dure constructieve maatregelen uitgevoerd moeten worden. Hierbij zal er veel overlast zijn voor omwonenden. Dijkversterkingen kunnen leiden tot een aanzienlijk extra ruimtebeslag en kunnen botsen met de feitelijk beschikbare ruimte in de uitbreidingszone van de kering. Complexe constructieve keringen kunnen een oplossing bieden, maar overlast door versterkingen in bebouwde gebieden zullen maatschappelijke discussies teweeg brengen.

Gebruiksfuncties als activiteiten in buitendijkse gebieden in de regio Rijnmond-Drechtsteden worden sterk beïnvloed door een zeespiegelstijging van twee meter. De Waterwet stelt geen eisen aan de bescherming tegen overstromingen in buitendijks gebied. Door het bestaande spanningsveld tussen de eigen verantwoordelijkheid van de bewoners en gebruikers, en de publieke verantwoordelijkheid kan bij een stijgende zeespiegel de roep om overheidsingrijpen doen aanzwellen. Bij toenemende zeespiegelstijging is het afwachten of de gebruikers maatregelen nemen om het overstromingsrisico in deze gebieden te beperken. De overheid moet zich bewust zijn van het feit dat zonder extra maatregelen er een groter wordende kans ontstaat op economische schade, milieuschade (vanwege de aanwezige productieprocessen) en schade aan infrastructuur die van belang is voor het functioneren van het havengebied en het stedelijk gebied. Naar verwachting zal het huidige waterveiligheidsbeleid vanuit een ruimtelijk oogpunt tot een knelpunt leiden. Dit effect is deels op te vangen door frequenter de stormvloedkeringen te sluiten. De beoogde maatregelen en uitgangspunten hebben dusdanig veel ruimtelijke impact dat dit in de toekomst tot een penibele situatie zal leiden.

## Ecologisch

Vóór de afsluiting was het benedenrivierengebied een natuurlijk estuarium, maar door de afsluiting van het Haringvliet is het een zoetwaterbassin geworden. Het Haringvliet is een beschermd Natura2000 gebied en is belangrijk voor vissen om stroomopwaarts van de rivieren te migreren, wat extra wordt bevorderd door het kierbesluit. Het noordelijk deel van het estuarium van de Rijn-Maas-monding bestaat voornamelijk uit het Rotterdams havengebied. Hier zijn op een aantal locaties intergetijdengebieden waar zich natuur heeft ontwikkeld.
De doelen binnen natuurgebieden zijn gericht op het behoud, beschermen en verbeteren van kenmerkende en/of zeldzame natuur, wat tot uitdrukking wordt gebracht door de aanwezigheid van soorten en habitats. Door reeds uitgevoerde menselijke ingrepen is de natuur in dit gebied veranderd en is er kwaliteitsverlies in de afgesloten bekkens als het Haringvliet en Hollands Diep. Met de huidige voorkeursstrategie vindt weinig

herstel van estuariene processen en gradiënten plaats, waarvan de invloed door de zeespiegelstijging mogelijk zelfs positief kan werken in de brede wateren in het benedenrivierengebied door meer indringing van de zee. Vanuit ecologisch perspectief zal een zeespiegelstijging van twee meter en handhaving van het huidige beleid de situatie niet veel verslechteren en zullen er naar verwachting geen knelpunten ontstaan. Wel zullen er mogelijk grote veranderingen optreden, zoals het onder water komen te staan van de Biesbosch.

### 4.1.3. Grootste onzekerheden rondom houdbaarheid voorkeursstrategie

De grootste onzekerheden met betrekking tot de voorkeursstrategie in de Rijn-Maasmonding zijn:

- Wat zijn de limieten van de huidige stormvloedkeringen (Maeslantkering en Haringvlietsluizen) aangaande overslag, betrouwbaarheid sluiten en constructieve betrouwbaarheid.
- Hoe zijn verdere dijkversterkingen mogelijk in het verstedelijkte Rijnmond gebied? En tegen welke kosten kunnen deze uitgevoerd worden?
- Welke type nieuwe stormvloedkeringen bieden (substantieel) meer veiligheid?
- Wat zijn de implicaties van afsluiten van de Rijn-Maas-monding en wanneer wordt dit aantrekkelijk? Hoe kan in dit scenario een economisch aantrekkelijke en goed functionerende haven ingepast worden?
- In welke mate verandert het getij (amplitude en vorm) door de zeespiegelstijging?
- Verplaatsen de amphidromische punten, en wat betekent dit voor de waterstanden in de Rijn-Maas- monding?
- Wat is gegeven de knelpunten en investeringskosten bij de huidige strategie de meest kosteneffectieve en maatschappelijk acceptabele manier om de Rijn-Maas-monding in de verdere toekomst te beschermen?

## 4.2. Zuidwestelijke Delta

### 4.2.1. Invloed zeespiegelstijging op voorkeursstrategie

De invloed van zeespiegelstijging op de Zuidwestelijke Delta verschilt per deelgebied. In figuur zes is een overzicht van de Zuidwestelijke Delta weergegeven. De invloed van zeespiegelstijging op de kustzone (buitenzijde) wordt beschouwd binnen het deelgebied kust. De Ooster- en Westerschelde zijn twee gelijkende zeearmen met zeer verschillende randvoorwaarden die separate uitwerking verdienen. De afgesloten bekkens Veerse Meer, Grevelingenmeer en Volkerak-Zoommeer (met daarachter de Binnenschelde en het Markiezaatsmeer) kunnen met de huidige dammen en dijken veilig gehouden worden. De uitdaging daar is het op orde brengen en houden van de waterkwaliteit en de inrichting voor natuur en medegebruik wanneer de middenpeilen zullen gaan meestijgen met de zeespiegel. Daarnaast is het mogelijk noodzakelijk naast het Volkerak-Zoommeer, ook het Grevelingenmeer in te gaan zetten voor rivierwaterberging bij gelijktijdigheid van hoge zeewaterstanden en hogere rivierafvoeren.

Figuur 7: overzicht van de dijktrajecten in de Zuidwestelijke Delta.
In geel zijn de voorliggende keringen in dit gebied gearceerd.

### Oosterschelde

De Oosterschelde is een intergetijdengebied dat wordt beschermd door een combinatie van zeedijken en een stormvloedkering in een gebied dat vele belangrijke natuurwaarden heeft. Voor de natuurwaarden is van belang dat de Oosterscheldekering zoveel mogelijk open staat. Bij een stijgende zeespiegel is dat steeds minder het geval. De balans tussen stormvloedkering, zeedijken en de natuurwaarden is delicaat, ook vanuit een economisch perspectief. Technisch-constructief bezien is de Oosterscheldekering van degelijke kwaliteit mits voldaan wordt aan het juiste onderhoud en constructieve randvoorwaarden.

De haalbaarheid van de huidige strategie met betrekking tot de waterveiligheid van de Oosterschelde heeft ook impact op het direct gekoppelde Veerse meer. De stijghoogte is voor het Oosterscheldesysteem meer sturend dan de stijgsnelheid. Immers is door de bouw van de Oosterscheldekering het natuurlijk systeem verre van een morfologisch evenwicht; de getijdegeulen zijn te groot ten opzichte van het getijdeprisma, waardoor ze de neiging hebben om aan te zanden. Dit zand wordt aangeleverd door erosie van de ondiepe getijdeplaten, die daardoor afnemen in de tijd. Door het zandtekort (ook genoemd zandhonger) kunnen de getijdeplaten niet meegroeien met een stijgende zeespiegel, waardoor het probleem met de jaren zal verergeren.

### Westerschelde

De Westerschelde is een open estuarium (een van de laatste van Europa, net als de Eems-Dollard) met een economisch zeer hoogwaardige nautische verbinding met de Zeeuwse, Gentse en Antwerpse havens. Deze nautische verbinding zal in de komende jaren nog belangrijker worden door onder andere toenemende scheepvaart en de te realiseren kanaalverbinding tussen Gent en Parijs. De Westerschelde is om die reden volledig bedijkt zonder stormvloedkeringen. De combinatie van dijken en voorlanden (schorren en slikken/kwelders) beschermt het laag liggende achterland van de Zeeuwse eilanden.

Zeespiegelstijging heeft enerzijds een positieve invloed op de bevaarbaarheid van de Westerschelde door verhoogde waterstanden, anderzijds zal op termijn niet aan de normering voldaan gaan worden. Maatregelen kunnen dus niet uitblijven in dit gebied. Er zal goed gekeken moeten worden in welke mate een combinatie van dijken en voorlanden voldoende bescherming kan bieden tegen hoogwater in de toekomst. Met name de stijgsnelheid van de zeespiegel is dominant in de haalbaarheid van de huidige waterveiligheidsstrategie van de Westerschelde. Het is een natuurlijk dynamisch systeem dat geacht wordt ten dele mee te groeien met de zeespiegelstijging (door sediment import en aangroei/ophoging van de voorlanden). Anders dan in de gedeeltelijk afgesloten Oosterschelde is in de Westerschelde de stijgsnelheid de dominante factor of het sedimentimport proces in voldoende mate de zeespiegelstijging kan bijhouden.

## 4.2.2. Haalbaarheid en mogelijke knelpunten in beleid

De haalbaarheid en mogelijke knelpunten bij een zeespiegelstijging van twee meter en/of een stijgsnelheid van 20 mm/jaar zijn weergegeven in onderstaande tabel, allereerst voor de Oosterschelde en in de volgende paragraaf voor de Westerschelde. De indeling wordt onder de tabel per Schelde nader toegelicht.

## Oosterschelde

| | Houdbaarheid | Opmerkingen |
|---|---|---|
| **Technisch** | 🟠 | De dijken en/of de kering moeten aangepast worden aan het verhoogde zeespiegelstijgingsscenario. |
| **Economisch** | 🟠 | De economische efficiëntie van deze maatregelen bij de gekozen uitgangspunten wordt betwijfeld en dient nader uitgezocht te worden. |
| **Ruimtelijk** | 🟠 | Op vele locaties zullen er ruimtelijk geen grote knelpunten ontstaan. Met name in gebieden met buitendijkse bebouwing en of buitendijkse functies zullen lokale knelpunten ontstaan. |
| **Ecologisch** | 👎 | Op het gebied van ecologie en natuurwaarden zijn de gevolgen van twee meter zeespiegelstijging zeer groot. |

### Technisch

De Oosterscheldekering is initieel ontworpen met een levensduur van 200 jaar bij een verwachte zeespiegelstijging van 40 centimeter in die periode. Het beeld bestaat dat de kering constructief is over-gedimensioneerd voor de in het ontwerp meegenomen zeespiegelstijging van 40 centimeter. Om die reden worden tot een zeespiegelstijging van ongeveer 50 centimeter daarom geen grootschalige ingrepen nodig geacht. Wel zal de sluitfrequentie van de kering toenemen tot ongeveer tien keer per jaar.

Tussen een zeespiegelstijging van 50 centimeter tot één meter komt het systeem op een glijdende schaal. De kering zal vaker moeten sluiten (tot wel één keer per week bij één meter zeespiegelstijging) en de constructieve houdbaarheid van de kering zal goed onderzocht moeten worden. In deze periode is het de vraag of het water keren aan alleen de voordeur voldoende is (met de kering) of dat er lokaal ook nog dijkversterkingen nodig zijn, onder andere door het meestijgen van het binnenpeil door zeespiegelstijging. Hierdoor heeft een storm ook impact op de waterkeringen aan de binnenzijde rondom de Oosterschelde en het Veerse meer. Binnen deze range van zeespiegelstijging kan overwogen worden de sluitfrequentie van de kering verder te optimaliseren zodat ook de ruimtelijke en ecologische effecten beperkt zullen blijven. Het vaker sluiten zal overigens de reeds problematische zandhonger sterk laten toenemen door een verdere afname van getijdedynamiek (Witteveen+Bos, 2017).

### Economisch

Vanuit een economisch perspectief zijn de landbouw, visserij (o.a. schelpdierkwekerij), buitendijkse infrastructuur en recreatie belangrijke factoren. Met name boven 50 centimeter zeespiegelstijging wordt verwacht dat er ingrepen nodig zullen zijn om deze functies te kunnen handhaven. Vanuit het economische (optimale) perspectief wordt verwacht dat bij een zeespiegelstijging groter dan één meter grootschalige systeemverkenningen nodig zijn vanwege de te verwachten effecten op het handhaven van de huidige functies en de investeringen die daarvoor nodig zijn.

### Ruimtelijk

Vanwege de geschiedenis leeft waterveiligheid en het leven met water in de Zuidwestelijke Delta sterk.
De huidige strategie voor de Oosterschelde en Veerse meer, afsluitbaar open, wordt als een goed compromis gezien tussen veiligheid en natuurlijke dynamiek met vele kansen voor economische activiteiten. Het estuariene karakter van de Oosterschelde is daarin een belangrijke factor binnen de huidige strategie.

Idealiter ziet men op dit moment de dynamiek van het natuurlijke systeem (en de benodigde ruimte daarvoor) liever toenemen dan afnemen. Het effect van zeespiegelstijging zal daarin een tegenwerkend effect hebben. Vanwege de glijdende schaal kan dit op den duur een knelpunt opleveren waarin niet meer voldaan zal worden aan het huidige compromis. Dit knelpunt zal vanwege de mate van buitendijkse activiteiten eerder optreden in het Veerse meer dan in de Oosterschelde.

### Ecologisch

Zeespiegelstijging in het systeem van de Oosterschelde heeft grote effecten op het wensbeeld van het natuurlijke ecosysteem van dit gebied. Reeds op dit moment is het natuurlijke systeem niet in staat aan het wensbeeld te kunnen voldoen waardoor er ingrepen nodig zijn (zoals het suppleren van droogvallend areaal, bijvoorbeeld de Roggeplaat). Dit is met name nog een effect van de aanleg van de kering die de zandhonger van de Oosterschelde sterk heeft aangewakkerd. Zeespiegelstijging zal dit effect enkel doen versterken. Ook zullen de nu nog droogvallende vooroevers (die gaan verdrinken) en erosie van vooroevers leiden tot een afname van de natuurlijke dynamiek.

## Westerschelde

| | Houdbaarheid | Opmerkingen |
|---|---|---|
| **Technisch** | 👍 | Ruimte voor dijkversterking is aanwezig. Dijkversterkingen zijn mogelijk. |
| **Economisch** | 👍 | Vanwege het grote economische belang van zeehavens en de nucleaire energiecentrale wordt de huidige strategie betaalbaar geacht. |
| **Ruimtelijk** | 👍 | Vanwege het grote belang van goede toegankelijkheid van de haven van Antwerpen en een laag bebouwingspercentage wordt de huidige strategie en bijbehorend ruimtebeslag lang acceptabel geacht. |
| **Ecologisch** | 🟠 | Vragen bij de meegroeicapaciteit van voorlanden door sediment import. Door kennisleemtes over de sediment import is het onbekend of onder andere het droogvallend areaal en voorlanden kunnen meegroeien met de zeespiegelstijging. |

### Technisch

Vanuit een technisch perspectief is de haalbaarheid van de huidige strategie tweeledig. Enerzijds is er voldoende ruimte om dijkversterkingen uit te kunnen voeren. Aan de andere kant bestaan er kennishiaten over de meegroeicapaciteit (sedimentimport) van het natuurlijke systeem van platen en voorlanden en hun effectieve bijdrage aan de waterveiligheid. Op dit moment is de verwachting, op basis van expert judgement, dat bij een stijgsnelheid van de zeespiegel van boven de zes à tien mm per jaar de meegroeicapaciteit onvoldoende is. Dit is echter een uitermate onzekere schatting. Daarnaast zijn er kennisvragen omtrent de toenemende mogelijke invloed van piping bij de zeedijken, een mogelijk te beperkte sedimentimport van het systeem om de voorlanden mee te laten groeien en de ontwikkeling van een grotere getijslag door zeespiegelstijging.

### Economisch en ruimtelijk

Vanwege de grote economische belangen van het gebied staat het buiten kijf dat de huidige strategie betaalbaar is en blijft gegeven de uitgangspunten van dit rapport. Omdat de economische belangen van een goede nautische bereikbaarheid erg groot zijn, is dit ook van grote maatschappelijke waarde. De bereikbaarheid enerzijds en de natuurwaarden van de schorren en slikken anderzijds zullen ook in de toekomst met elkaar in balans moeten zijn om aan de verwachting van de maatschappij te voldoen.

**Ecologisch**

Naast de nautische bereikbaarheid heeft de Westerschelde een belangrijk ecosysteem met schorren, slikken en droogvallende platen. Primair sturend voor de instandhouding van deze systemen is de hoeveelheid sedimentimport. Is de sedimentimport voldoende om het systeem te kunnen laten meegroeien met de zeespiegelstijging of zijn extra maatregelen nodig? Er wordt ingeschat dat extra maatregelen boven een stijgsnelheid van zes à tien mm per jaar nodig zullen zijn. Echter is dit met grote onzekerheid omgeven vanwege de vele kennisvragen op dit gebied.

### 4.2.3. Grootste onzekerheden rondom houdbaarheid voorkeursstrategie

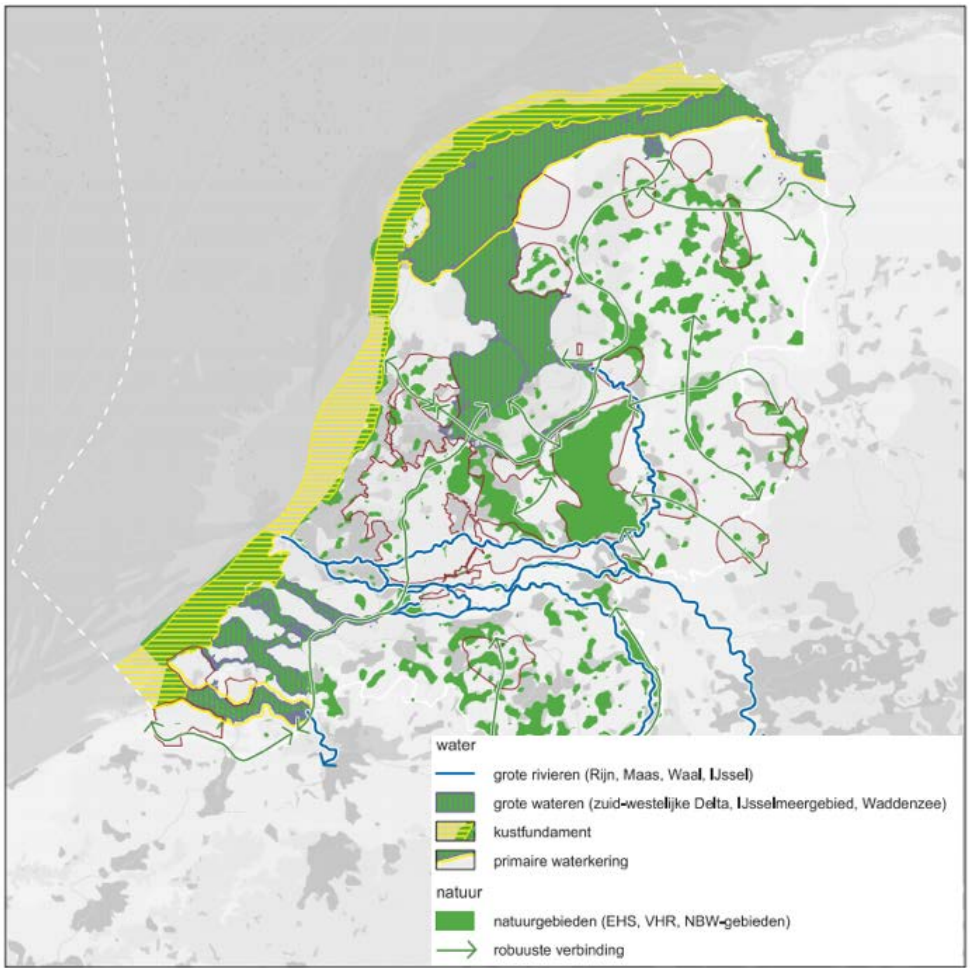
De grootste onzekerheden met betrekking tot de voorkeursstrategie in de Zuidwestelijke Delta zijn:

- Wat is de constructieve houdbaarheid van de Oosterscheldekering?
- Hoe volgt de zandhonger de zeespiegelstijging en moeten hiervoor extra maatregelen worden genomen?
- Wat is economisch de meest efficiënte strategie om de gebieden rondom de Oosterschelde en aanpalende waterlichamen te beschermen tegen hoogwater bij een zeespiegelstijging boven de één meter?
- Wat zijn de effecten van toekomstige maatregelen en strategieën in de Rijn-Maas-monding bij een versnelde zeespiegelstijging op de Zuidwestelijke Delta?
- Wat is een wenselijk ecologisch beeld van de Oosterschelde bij een zeespiegelstijging van twee meter?
- Hoeveel bedraagt de sedimentimport van de Westerschelde nu en in de toekomst?
- Kunnen op basis van sedimentimport de voorlanden, schorren en slikken in de Westerschelde meegroeien met de zeespiegelstijging?

## 4.3. Kustgebied

### 4.3.1. Invloed zeespiegelstijging op voorkeursstrategie

Voor het kustgebied met de tactische doelen van areaalbehoud en het meegroeiprincipe (uitgaande van zacht waar het kan, hard waar het moet) is de haalbaarheid van het huidige beleid hoofdzakelijk afhankelijk van de stijgsnelheid in plaats van de absolute stijghoogte. Alhoewel de absolute stijghoogte wel relevant is voor het eindscenario. De effecten op de kust voltrekken zich heel geleidelijk (gebeurt niet van de een op de andere dag) waardoor meegroeien tot een bepaalde mate mogelijk is. Hierdoor is de stijgsnelheid sturend in plaats van een ‘eindhoogte’. De stijgsnelheid bepaalt of de kust het meegroeitempo met de zeespiegelstijging kan bijhouden. Belangrijke randvoorwaarde aan het meegroeien is de beschikbaarheid van zand als fundament voor de kust en drager van functies. Een afbeelding van het kustfundament is weergegeven in figuur 8.




Figuur 8: geel gearceerd is het kustfundament inclusief de waterkeringszones die vallen binnen het kustgebied. Het betreft voornamelijk duinen met harde zeeweringen rond havens en kustplaatsen (Nota Ruimte, 2004).

Het kustbeleid is op dit moment flexibel en adaptief. In de uitvoering van het beleid, bij voldoende financiën, kan binnen ongeveer vier jaar opgeschaald worden naar een hoger suppletievolume dat ruimtelijk variabel kan worden ingezet. Uitgaande van het huidige reserveringsgebied voor zand in de Noordzee (5200 km2), een ontgrondingsdiepte van twee meter en een goede zand geschiktheid bedraagt de totale zandvoorraad circa 10 miljard kubieke meter. Bij voortzetting van het huidige kustbeleid correspondeert een zeespiegel stijgsnelheid van 20 mm/jaar met een suppletiebehoefte van ongeveer 130 miljoen m3/jaar. Dit betekent dat de zandvoorraad binnen de thans gereserveerde gebieden voor dit specifieke, gemiddeld hoge scenario reeds volstaat voor een periode van ongeveer 80 jaar. Deze periode kan nog ver opgerekt worden door te werken met een grotere ontgrondingsdieptes, door eventuele optimalisaties in het suppletiebeleid en middels het aanwijzen van nieuwe reserveringsgebieden voor zandwinning in nauwe afstemming met de ruimtelijke ordening van de Noordzee.

### 4.3.2. Haalbaarheid en mogelijke knelpunten in beleid

De haalbaarheid en mogelijke knelpunten bij een zeespiegelstijging van twee meter en/of een stijgsnelheid van 20 mm/jaar zijn weergegeven in onderstaande tabel en worden onder de tabel nader toegelicht.

| | Houdbaarheid | Opmerkingen |
|---|---|---|
| **Technisch** | 👍 | Goed mogelijk om suppletievolume te verhogen. |
| **Economisch** | 👍 | Wordt betaalbaar geacht. |
| **Ruimtelijk** | 🟠 | Met name in de kustplaatsen kunnen op ruimtelijk vlak knelpunten ontstaan bij de huidige strategie. |
| **Ecologisch** | 🟠 | Wat is de verhouding tussen de hersteltijd van het ecosysteem en de frequentie van suppleren? |

## Economisch en technisch

De consequenties van het huidige kustbeleid en 20 mm/jaar zeespiegelstijging zijn dat er, uitgaande van een vierjaarlijkse suppletie cyclus, elke cyclus 1500 m3 zand per strekkende meter kust (voor de gehele kust) gesuppleerd moet worden. Technisch vormt dit geen probleem, er is voldoende marktcapaciteit of tijd om capaciteitsuitbreiding te realiseren. De jaarlijkse kosten van dit beleid (uitgaande van huidige kostenkentallen) zijn ongeveer 0.5 miljard euro die betaalbaar worden geacht. Gezegd dient te worden dat deze kosteninschatting afhankelijk is van de beschikbaarheid van zand op een ongeveer gelijke afstand zoals dit hedendaags het geval is. Een vergroting of verkleining van de afstand tot zandwingebieden zal ook de prijs van het kustonderhoud respectievelijk verhogen of verlagen.

Er zal onderzocht moeten worden of ook met kleinere suppletiehoeveelheden aan de beoogde doelen voldaan kan worden. Dit zal de haalbaarheid van de huidige strategie kunnen vergroten/verlengen. Hiervoor is aanvullend onderzoek nodig op de uitgangspunten en onderliggende aannames van het huidige kustbeleid. Daarnaast dient er rekening gehouden te worden met mogelijk veranderend gedrag van getijgeulen in en nabij zeegaten en buitendelta's. Immers zal door de zeespiegelstijging een getijprisma door zeegaten of in en uit een estuarium toenemen waardoor getijdegeulen mobieler kunnen worden. Deze mobilisatie kan grote impact hebben op de actuele ligging van de kustlijn op een specifieke locatie; een getijdegeul kan in de kust gaan snoeren. Dit effect geldt zowel voor de eilandkoppen in de Zuidwestelijke Delta als de Wadden (binnen en buitenzijde) en dient nader onderzocht en gekwantificeerd te worden.

## Ruimtelijk

Een belangrijk knelpunt doet zich mogelijk voor in het ruimtelijk-ordeningsdomein en is tweeledig:

- Om hetzelfde beschermingsniveau tegen overstromingen te behouden moeten duinen voldoende hoog en breed zijn (en/of meegroeien). Met name in plaatsen waarin de ruimtelijke druk op de kust reeds hoog is, en steeds hoger wordt door socio-economische factoren, zal dit knelpunten opleveren. Deze knelpunten zullen zich voordoen bij badplaatsen, havens en plekken met een harde zeewering (zeedijken). Immers zullen deze bebouwde locaties (veelal in, of direct achter de duinen) niet meegroeien met de zeespiegelstijging. Het belang van de voorliggende kustbescherming wordt daarmee groter, alsmede de noodzaak voor het meegroeien met de zeespiegelstijging. Dit zal onder andere leiden tot het verminderen van het uitzicht van de badplaatsen op het strand en de zee en de ruimte voor economisch gewenste activiteiten beperken (zoals ten behoeve van recreatie, strandopgangen, paviljoens, hotels, parkeergarages). Voor plaatsen waarin dit een knelpunt oplevert moet nagedacht worden over wat de meest wenselijke oplossing is, ook in relatie tot wat maatschappelijk geaccepteerd wordt. Hier kan onder andere gedacht worden aan verbreden van reserveringszones voor landwaartse en/of zeewaartse versterkingen van waterkeringen in combinatie met een lange termijn ruimtelijk ordeningsbeleid om geleide overgangen voor waterkeringen te stimuleren. Mogelijk is hier een grote investering te verwachten die nader gekwantificeerd dient te worden.

- Cruciale factor in de houdbaarheid van het huidige kustbeleid is de beschikbaar van zand als fundament van de kust en drager van functies in de kustzone. Ruimtelijke ordening van de Noordzee, waardoor grote delen van de Noordzee (tijdelijk) niet beschikbaar zullen zijn voor zandwinning (door bijvoorbeeld de energietransitie), vormt dan ook een belangrijke randvoorwaarde in de haalbaarheid van de voorkeursstrategie. Zandvoorraden in de tijd reserveren en nietontgonnen gebieden in kaart te brengen voor de geschiktheid van zandwinning, zoals buiten de twaalfmijlszone, dient tijdig te gebeuren. Mogelijk is dat zand in de toekomst nodig voor kustbescherming. Er is op dit moment weinig kennis beschikbaar over de kwaliteit en locaties van zand buiten de twaalfmijlszone, en de bruikbaarheid ervan voor suppleties. Het opbouwen van geologische kennis kost, vanwege de moeilijke bereikbaarheid, veel tijd en moet tijdig opgestart worden.

#### Ecologisch

Het effect van zeespiegelstijging op de ecologie in de kustzone is niet geheel vooraf in te schatten. Er zijn veel belangrijke Natura2000 gebieden in de kustzone aanwezig. De volledige zeebodem in de kustnabije zone en het strand zal elke vier jaar een nieuwe laag zand krijgen bij het beschouwde zeespiegelstijgingsscenario. Onder andere de hersteltijd en meegroeicapaciteit van het ecosysteem is van belang en dient nader onderzocht te worden. De verhouding tussen de hersteltijd van het ecosysteem en de frequentie van suppleren zal bepalen of het natuurlijke dynamische ecosysteem kan meegroeien. Ook zal in het licht van uitstoot van broeikasgassen in deze voorkeursstrategie gestuurd moeten worden op zero emission bij uit te voeren ingrepen (suppleren). Op dit moment is de uitstoot door kustsuppleties met het gebruik van fossiele brandstoffen aanzienlijk door de transportafstanden die per schip afgelegd moeten worden.

Om de impact van de beschreven effecten te minimaliseren kan gedacht worden aan het concentreren van suppleties op bepaalde gebieden zoals buitendelta's die hiervoor in theorie erg effectief lijken. Hierbij zal onderzocht moeten worden in welke mate het kustsysteem in staat is dit zand te verspreiden langs de kust, en of dit voldoende is om ook gebieden die niet gesuppleerd worden voldoende te laten meegroeien en veilig te houden tegen overstromingen. Ook zouden technische innovaties, waarin het zand meer geleidelijk aangebracht kan worden in dagelijkse proporties, ertoe kunnen leiden dat het bodemleven mee kan stijgen met de kustverdediging en het kustonderhoud.

### 4.3.3. Grootste onzekerheden rondom houdbaarheid voorkeursstrategie

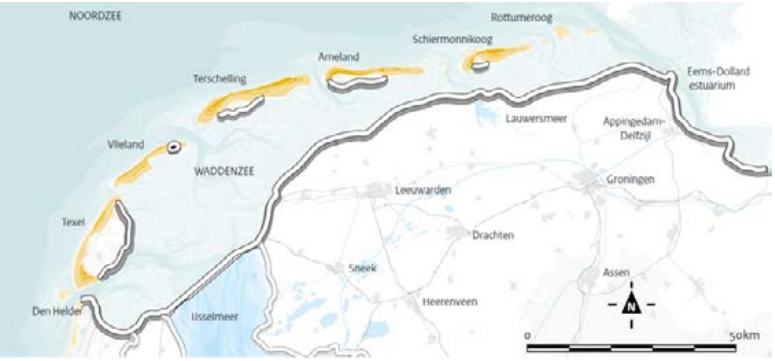
Bovengenoemde knelpunten en onzekerheden gaan uit van de huidige kennis over het kustsysteem en expert judgement. Om de impact en juistheid van bovengenoemde punten te verifiëren is onderzoek nodig naar mogelijke veranderingen in systeemgedrag door de effecten van zeespiegelstijging. Hierbij zijn de volgende kennisleemtes in ieder geval aanwezig:

- Blijft de werking van het morfologische systeem gelijk bij zeespiegelstijging of verandert deze? In het laatste geval zullen ook deze veranderingen moeten worden meegenomen in de te verwachten effecten van de zeespiegelstijging op de kust.
- Tot welke suppletiefrequentie kan het ecologisch systeem zich tijdig herstellen?
- Kan worden volstaan met een kleiner suppletievolume?
- Heeft de kust voldoende transportcapaciteit om middels grootschalige geconcentreerde suppleties de gehele kust van voldoende zand te voorzien?
- Treden er veranderingen op in hydraulische condities (bijvoorbeeld stromingen, golven, wind) door klimaatverandering, zowel op de dagelijkse tijdschaal (met betrekking op kustonderhoud) alsmede in extreme (storm) situaties (veiligheidsbeoordeling)?
- Is er buiten de huidige reserveringsgebieden voor zandwinning ook voldoende geschikt zand aanwezig? Omdat deze kennisontwikkeling een tijdsintensief proces is dient dit onderwerp tijdig geagendeerd te worden.

## 4.4. Waddengebied en Eems-Dollard

### 4.4.1. Invloed zeespiegelstijging op voorkeursstrategie

Net als het kustgebied en de Westerschelde zijn de Wadden en tot zekere mate de Eems-Dollard, een dynamisch systeem met een natuurlijk meegroeiprincipe door sedimentimport. Om die reden is de haalbaarheid van de waterveiligheidsstrategie met de huidige maatregelen mede afhankelijk van de stijgsnelheid in plaats van enkel de stijghoogte. Belangrijk in de strategie voor de Wadden en de Eems-Dollard is de aandacht voor de natuur in relatie tot de waterveiligheid. In welke mate de natuurlijke elementen een waterveiligheidsfunctie hebben en hoe deze elementen zich ontwikkelen bij versnelde zeespiegelstijging, is een belangrijke vraag. In figuur 9 is een overzichtskaart van het Waddengebied en het Nederlandse gedeelte van de Eems-Dollard weergegeven.




Figuur 9: het waddengebied en de Eems-Dollard: de Waddenzee, Waddeneilanden, Eems-Dollard en kustzones van Noord-Holland, Friesland en Groningen (Deltaprogramma Waddengebied, 2013).

### 4.4.2. Haalbaarheid en mogelijke knelpunten in beleid

De haalbaarheid en mogelijke knelpunten bij een zeespiegelstijging van twee meter en/of een stijgsnelheid van 20 mm/jaar zijn weergegeven in onderstaande tabel en worden onder de tabel nader toegelicht.

| | Houdbaarheid | Opmerkingen |
|---|---|---|
| **Technisch** | 👍 | Goed mogelijk om dijken en duinwaterkeringen te versterken. |
| **Economisch** | 👍 | Wordt op nationaal niveau betaalbaar geacht. |
| **Ruimtelijk** | 👍 | Ruimtelijk worden geen grote knelpunten voorzien. |
| **Ecologisch** | 🟠 | Meegroeicapaciteit van droogvallend areaal is onvoldoende. Het verdrinken van de Waddenzee begint langzaam. |

### Technisch en economisch

Vanuit een technisch perspectief is het goed mogelijk het Waddengebied en de Eems-Dollard te blijven beschermen tegen overstromingen. Er is immers voldoende ruimte beschikbaar om dijken te verhogen en te versterken. Ook is er voldoende zand beschikbaar om de zandige waterkeringen op sterkte te houden. Wel zal door zeespiegelstijging de sedimentimport van de Waddenzee toenemen waardoor de buitendelta's van de eilanden sneller eroderen. Om dit te mitigeren zal een hoger suppletievolume aan de buitenzijde van de eilanden nodig zijn om de basiskustlijn en uiteindelijk ook de veiligheid te handhaven.

Naast de directe effecten op de waterveiligheid wordt verwacht dat er een grote impact zal zijn op de afwatering van Noord-Nederland. Op dit moment gebeurt de binnendijkse afwatering van Noord-Nederland onder vrij verval (spuien). Dit zal in de toekomst niet langer mogelijk zijn bij zeespiegelstijging en dient nader uitgezocht te worden.

Vanuit een economisch perspectief is het mogelijk om het Waddengebied en de Eems-Dollard te blijven beschermen. Immers hebben de Waddeneilanden en de Waddenzee, naast de grote natuurlijke waarde ook een belangrijke recreatieve waarde. Vele toeristen bezoeken jaarlijks de eilanden en het Waddengebied vanwege de bijzondere ligging, natuur en mogelijkheden tot recreëren. De Eems-Dollard heeft naast een bijzondere natuurfunctie, ook een belangrijke economische functie voor Noord-Nederland (en Duitsland).

### Ruimtelijk

Ruimtelijk gezien is de aanwezigheid van de natuurlijke dynamiek en de daarop ingestelde recreatie een belangrijke component. Grote wijzigingen hierin (door zeespiegelstijging dan wel menselijk ingrijpen) leiden tot een breed maatschappelijk debat over het gewenste beeld van het gebied.

### Ecologisch

De grootste vraagtekens bij de haalbaarheid van het huidige waterveiligheidsbeleid zit in het raakvlak met de ecologie. De huidige verwachting is dat de sedimentimport onvoldoende kan meegroeien met de zeespiegelstijging (maximale sedimenttransport capaciteit) boven een stijgsnelheid van zes tot tien mm/jaar (Wang et al., 2018). Hierdoor zal het intergetijde gebied en droogvallend areaal afnemen. De Waddenzee zal langzaam gaan verdrinken. Dit proces loopt achter de stijgende zeespiegel aan, waardoor de verdrinking niet acuut plaatsvindt, maar heel geleidelijk. Over de grootte en ruimtelijke verschillen in de maximale sedimenttransportcapaciteit, en daarmee de mogelijke verdrinking van de Waddenzee, is nog veel onzeker. Ook is onbekend hoe de morfodynamiek de Waddenzee zelf zal veranderen door zeespiegelstijging. Beiden dienen nader onderzocht te worden.

Naast de sedimentimport zal zeespiegelstijging ook een (versterkende) invloed hebben op de substraatsamenstelling van de Waddenzee en de Eems-Dollard. Experts denken dat de Waddenzee op dit moment meer slibachtig is dan decennia geleden. Dit komt vanwege haar aangepaste morfologische evenwichtssituatie na de bouw van de Afsluitdijk, waarop de morfologie zich nog steeds moet aanpassen. Na de bouw van de Afsluitdijk heeft de hydrodynamica zich snel aangepast. In een later stadium volgt eerst een snelle slibimport, gevolgd door een langzamer proces van zandimport. Op dit moment is de zandimport nog gaande en het slib grotendeels reeds geïmporteerd. De verwachting is dan ook dat het importproces van zand door zal gaan, en versterkt zal worden door de zeespiegelstijging. Op dit punt zit ook een grote kennisleemte, waardoor deze processen op dit moment niet nader gekwantificeerd kunnen worden. Bij een brede maatschappelijke discussie over de gewenste staat van de Waddenzee dient bovengenoemd evenwicht (of niet evenwicht op dit moment) mede beschouwd te worden.

Door zand te suppleren kan de te beperkte meegroeicapaciteit van de Waddenzee en de wadplaten worden aangepakt. Ook het versterken van zandige waterkeringen kan in principe door zand te suppleren. Hier dient zich de vraag op in hoeverre het aanbrengen van zand gewenst is in een systeem met een grote natuurlijke dynamiek, zowel op de wadplaten als in de duinen. Er zal nagedacht moeten worden over de Natura2000 doelstellingen van het gebied en de mogelijke wijziging van het ecosysteem door klimaatverandering en specifiek daarin de zeespiegelstijging.

### 4.4.3. Grootste onzekerheden rondom houdbaarheid voorkeursstrategie

De grootste onzekerheden met betrekking tot de voorkeursstrategie van de Wadden en Eems-Dollard zijn:

- De mate van toenemende hydraulische belastingen (o.a. golven) door toenemende waterdiepte.
- Grote onzekerheid rondom sedimentimport capaciteit en meegroeien droogvallend areaal.
- Grote onzekerheid slib versus zand evenwicht in de Waddenzee en de invloed van zeespiegelstijging daarop.
- Onzekerheid rondom veranderende morfodynamiek in de Waddenzee door de geleidelijke verdrinking.

## 4.5. IJsselmeergebied

Het IJsselmeergebied omvat het IJsselmeer, het Markermeer, de Veluwerandmeren, de IJssel- en Vechtdelta en het Amsterdam-Rijnkanaal/Noordzeekanaal. De Afsluitdijk vormt de grens met de Waddenzee en zorgt voor veiligheid in het IJsselmeergebied door hoge waterstanden (mede door stormvloeden) op zee buiten te houden. Ook wordt het watersysteem van het IJsselmeergebied begrensd door het sluis- en spuicomplex bij IJmuiden. De primaire keringen die de waterveiligheid garanderen liggen voornamelijk langs het IJsselmeer, Markermeer en IJssel- en Vechtdelta. De andere twee gebieden, de Veluwerandmeren en het Amsterdam-Rijnkanaal/Noordzeekanaal, maken deel uit van het watersysteem maar spelen voor de impact van versnelde zeespiegelstijging op de waterveiligheid een minder belangrijke rol. Wel zal de extra zoutindringing van grote impact zijn op het Amsterdam-Rijnkanaal/Noordzeekanaal.

Op het Amsterdam-Rijnkanaal/Noordzeekanaal (ARK/NZK) moeten de waterstandsafwijkingen sterk beheerst worden vanwege de lage hoogtes van omliggende kades, doorvaarthoogten bij bruggen en de afwatering van de omliggende gebieden op het ARK/NZK. Het peil wordt gecontroleerd met een spuisluis en een gemaal bij IJmuiden. Bij een stijgende zeespiegel verschuift de verhouding van de waterafvoer door middel van spuien naar meer afvoer met behulp van het gemaal. Indien nodig kan dit met extra pompcapaciteit worden opgevangen. Een stijgende zeespiegel vergt mogelijk een versterking van het sluizencomplex in IJmuiden.
Dit wordt haalbaar geacht. De Veluwerandmeren worden gekenmerkt door kleine wateraanvoer uit de omgeving en grote dijklengtes ten opzichte van het wateroppervlakte. De huidige waterstanden in dit gebied kunnen in toekomstige scenario's gehandhaafd blijven met behulp van een gemaal met beperkte capaciteit (grootte orde capaciteit: 20 m3/s), waardoor toenemende belasting op dijken wordt voorkomen. Dit extra water op het Markermeer en/of IJsselmeer heeft geringe invloed op de meerpeilen.

### 4.5.1. Invloed zeespiegelstijging op voorkeursstrategie

Bij het huidige waterveiligheidsbeleid in het IJsselmeergebied blijft preventie voorop staan. Door de vaak snelle en diepe overstromingen bij een dijkdoorbraak zijn investeringen in de tweede en derde laag van meerlaagsveiligheid in grote delen van het gebied niet kosteneffectief en focust het huidige beleid primair op dijkversterkingen. In het IJsselmeergebied vormt de Afsluitdijk de voorliggende kering die in combinatie met de achterliggende dijken de vereiste bescherming biedt.

Bij de stijgende zeespiegel zal de belasting op de Afsluitdijk (de voorliggende kering) worden vergroot, waardoor in de toekomst de faalkans zal toenemen indien er geen maatregelen worden getroffen.
De faalkanseis in de Waterwet (1:10.000 per jaar) is in dit verband een kans op verlies van waterkerend vermogen waardoor de hydraulische belasting op een achterliggend dijktraject substantieel wordt verhoogd. Bij de huidige versterking van de Afsluitdijk is gekozen voor een 'overslagbestendige dijk'. Een zeespiegelstijging van twee meter zal betekenen dat de Afsluitdijk opnieuw versterkt/verhoogd moet worden om te blijven voldoen aan de norm. Afhankelijk van de ontwikkelingen van voorlanden/vooroever rond de Afsluitdijk zal de versterkingsopgave groter worden door toenemende golfbelasting.

Zonder maatregelen zullen de meerpeilen van het IJsselmeer en het Markermeer bij een stijgende zeespiegel verhogen, doordat de mogelijkheden voor waterafvoer naar de Waddenzee verkleind worden. De waterafvoer vindt op dit moment plaats door middel van spuisluizen in de Afsluitdijk. De mogelijkheden voor spuien worden steeds kleiner naarmate de zeespiegel verder stijgt, waardoor zonder maatregelen het gemiddelde meerpeil en de frequentie van meerpeilpieken groter wordt. Er is een nauwe fysische samenhang tussen het IJsselmeerpeil en het Markermeerpeil, omdat de waterafvoer van het Markeermeer via het IJsselmeer plaatsvindt. De maatgevende waterstanden in de Vecht- en IJsseldelta zijn mede afhankelijk van de meerpeilen op het IJsselmeer (wind is een andere en zeer belangrijke invloed). Toename van het gemiddelde winterpeil en de frequentie van meerpeilpieken leidt tot hogere belastingen op de achterliggende dijken in het IJsselmeergebied. De strategie om de veiligheid van achterliggende dijken te waarborgen kan grofweg opgesplitst worden in twee strategieën:

a. Beheersing van de belasting door de waterafvoercapaciteit naar de Waddenzee te behouden door het plaatsen van gemalen en spuisluizen.
b. Dijkversterkingen om bij toenemende belastingen (als gevolg van verminderde waterafvoer) op de achterliggende dijken te voldoen aan de veiligheidsnorm.

Deze strategieën kunnen ook gecombineerd worden tot een hybride strategie, waarbij gebruik gemaakt wordt van verschillende maatregelen. Conform het beleid zullen met het principe 'spuien als het kan, pompen als het moet' de meerpeilen op lange termijn beheerst moeten worden om de belastingen in het gebied te beperken.

### 4.5.2. Haalbaarheid en mogelijke knelpunten in beleid

In het huidige waterveiligheidsbeleid wordt onderscheidt gemaakt in strategieën voor het Markermeer en het IJsselmeer. De strategieën hebben betrekking op de gemiddelde winterpeilen die van belang zijn voor de belastingen op de omliggende waterkeringen. Het beleid houdt de mogelijkheid open om in de toekomst de meerpeilen te laten stijgen, namelijk 30 cm voor het IJsselmeer in de periode 2050-2100. Daarna zal het peil niet meer verder stijgen. Om dit beleid in de toekomst te handhaven moet water afgevoerd worden naar de Waddenzee door middel van spuien en pompen. Eind 2014 heeft DGWB opdracht gegeven aan Rijkswaterstaat-WVL voor de uitvoering van de Integrale Studie Waterveiligheid en Peilbeheer IJsselmeergebied (ISWP). ISWP heeft als doel het inzicht te vergroten in de relaties tussen waterafvoer, waterveiligheid en peilbeheer in het IJsselmeergebied op de lange termijn (de periode ná 2050). In de ISWP studie is gekeken naar het effect van verschillende klimaatscenario's (en dus ook zeespiegelstijgingen) op de benodigde pompcapaciteit voor het handhaven van de verschillende strategieën. ISWP biedt een uitstekende basis om de knelpunten in het huidige beleid in het IJsselmeergebied te beschouwen.

Onlangs heeft ISWP een advies uitgebracht via het eindrapport van Rijkswaterstaat (2019) aan DGWB om voor de lange termijn (na 2050) in te zetten op een strategie waarin (zeer kort samengevat): het gemiddelde peil op IJsselmeer en Markermeer op het huidige niveau wordt gehandhaafd en gestreefd wordt naar een gematigde beheersing van de meerpeilpieken in combinatie met gematigde dijkversterking.

In onderstaande tabel is de evaluatie van de houdbaarheid van de huidige strategie samengevat bij een zeespiegelstijging van twee meter en/of een stijgsnelheid van 20 mm/jaar.

| | Houdbaarheid | Opmerkingen |
|---|---|---|
| **Technisch** | 👍 | Versterking van de Afsluitdijk is technisch haalbaar. Plaatsen van gemalen om meerpeilen te beheersen en/of dijkversterkingen om te voldoen aan normering zijn ook haalbaar. |
| **Economisch** | 👍 | Versterken van de Afsluitdijk zal kosteneffectief blijven. Verder geen economische knelpunten. |
| **Ruimtelijk** | 👍 | Handhaven huidige meerpeilen is ruimtelijk mogelijk en voordeliger dan meestijgen. Meestijgen leidt tot knelpunten in o.a. buitendijkse gebieden. |
| **Ecologisch** | 👍 | Het ecologische systeem verandert nauwelijks t.o.v. de huidige situatie als gevolg van beperkt veranderende waterhuishouding. |

## Technisch

In de Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk is gekozen voor een overslagbestendige dijk die naar verwachting tot halverwege deze eeuw voldoet aan de eis van 1/10.000 voor waterveiligheid. Daarna kunnen verdere vervolgstappen worden genomen, op basis van de dan beschikbare kennis en technische mogelijkheden.
De overslagbestendige dijk biedt technische mogelijkheden voor aanpassingen zoals het opnieuw tot stand brengen van een overslagbestendige dijk, een traditionele dijkverhoging, het aanbrengen van een grondlichaam aan de zijde van de Waddenzee of andere maatregelen. Vanuit een technisch perspectief zijn hier geen belemmeringen.

Uit de ISWP analyses blijkt dat een sterke zeespiegelstijging voor bijna 90% doorwerkt in het gemiddeld winterpeil van het IJsselmeer. Het gemiddeld winterpeil en beheersing van meerpeilpieken kan gelijk gehouden worden door de inzet van pompen en spuisluizen. Bij een versnelde zeespiegelstijging (280 cm zeespiegelstijging) is de benodigde pompcapaciteit 2300 m3/s om het gemiddelde winterpeil te handhaven en de meerpeilpieken gematigd te beheersen. Gematigde beheersing houdt in dat de meerpeilpieken met een overschrijdingsfrequentie van gemiddeld één maal per tien jaar niet in hoogte toenemen. De benodigde pompcapaciteit is significant, maar technisch uitvoerbaar. Het grootste gemaal ter wereld heeft een pompcapaciteit van circa 500 m3/s, waarvan er op de Afsluitdijk meerdere geplaatst zouden moeten worden. Er is hier geen ruimtegebrek en zou niet tot problemen hoeven te leiden. De uiteindelijk benodigde afvoercapaciteit van de pompen in de toekomst zal niet blijven toenemen, aangezien deze nagenoeg niet afhangt van de zeespiegel maar van het wateraanbod. Hiervoor zullen andere klimaateffecten van belang zijn als extremere afvoeren van de IJssel (en daarvoor de afvoerverdeling) en neerslag. In het scenario waar meerpeilen deels meestijgen met de zeespiegel is het technisch nog altijd haalbaar om dijkversterkingen in dit gebied uit te voeren om zo te blijven voldoen aan de norm. De voorliggende kering (Afsluitdijk) zal in de toekomst een cruciale schakel blijven om de belastingen op de achterliggende keringen te reduceren.

## Economisch

Bij de normstelling komt naar voren dat het kosteneffectiever is om de voordeur goed dicht te houden dan de achterliggende waterkeringen intensief te versterken. Daarom wordt een strengere faalkanseis gehanteerd voor de Afsluitdijk dan voor achterliggende keringen. Om te voldoen aan de norm is voor de Afsluitdijk gekozen voor een gefaseerde aanpak, welke als voordeel heeft dat de investeringskosten nu relatief laag blijven en mogelijkheden voor de toekomst open blijven (adaptief waterbouwconcept). Bij een zeespiegelstijging van

twee meter zal zonder meer de Afsluitdijk versterkt moeten worden om te blijven voldoen aan de norm. Blijven versterken van de Afsluitdijk wordt kosteneffectief geacht in het IJsselmeergebied.

De achterliggende keringen in het IJsselmeergebied beschermen omliggend land. Om dit te garanderen bij zeespiegelstijging zullen er dijkversterkingen plaatsvinden (door stijging van de gemiddelde winterpeilen) en/of vergroting van de pompcapaciteit voor handhaving van de peilen. Uit ISWP studies blijkt dat de kosten voor waterafvoer en dijkversterkingen van dezelfde ordegrootte zijn en er geen grote kostenverschillen ontstaan tussen deze strategieën. De netto contante waarde van de investeringskosten bij een zeespiegelstijging van 2,8 meter (en andere klimaateffecten), inclusief gematigde beheersing van de meerpeilpieken met de huidige spuicapaciteit en benodigde dijkversterkingen, wordt geschat op een totaal van 3,6 miljard euro (nominaal 14,5 miljard euro). Deze investering zorgt voor decennialange veiligheid in omliggende gebieden.

#### Ruimtelijk

Een meerpeilstijging brengt meer nadelige effecten met zich mee dan het plaatsen van extra pompcapaciteit op de Afsluitdijk om de meerpeilen (gemiddelden en pieken) te beheersen, blijkt ook uit de ISWP studie. Peilverhoging leidt tot wateroverlast in de buitendijkse gebieden, knelpunten bij waterafvoer uit de regio en is onvoordelig voor andere gebruiksfuncties rond het IJsselmeergebied. Het handhaven van het huidige meerpeil maakt deel uit van de pompstrategie en plaatsen van extra pompcapaciteit zal de genoemde ruimtelijke knelpunten ondervangen. Een stijgende zeespiegel en het handhaven van het huidige peil leidt wel tot toename van de zoutindringing vanuit de Waddenzee, wat de zoetwatervoorraad beïnvloedt. De houdbaarheid van de huidige waterveiligheidsstrategie wordt ruimtelijk haalbaar geacht.

#### Ecologisch

Indien het gemiddelde meerpeil meestijgt zal dit resulteren in meer/volledige inundatie van buitendijkse natuurgebieden. Het plaatsen van extra pompcapaciteit op de Afsluitdijk voorkomt dit, waardoor ook het huidige watersysteem in de meren en Vecht- en IJsseldelta niet wezenlijk verandert.

### 4.5.3. Grootste onzekerheden rondom houdbaarheid voorkeursstrategie

De grootste onzekerheden met betrekking tot de voorkeursstrategie in het IJsselmeergebied zijn:

- Naast de zeespiegelstijging is in dit gebied de ontwikkeling van het windklimaat in de toekomst invloedrijk op de waterstanden en erg onzeker.
- Bij de Vecht- en IJsseldelta heeft het beheer van de Ramspolkering grote invloed op de maatgevende waterstanden. Afhankelijk van de mate waarin het meerpeil zou meestijgen, zouden hier ook knelpunten kunnen ontstaan. Een systeemanalyse zou kunnen uitwijzen wat de knelpunten zijn en wat mogelijke oplossingsrichtingen kunnen zijn.
- De benodigde pompcapaciteit is significant, maar technisch haalbaar. De pompen in het gemaal en het gemaalcomplex moeten dusdanig ontworpen worden dat de faalkans en de gevolgen van falen op de waterhuishouding in het IJsselmeergebied gering is. Een nader onderzoek naar innovatieve pompen en gemaalcomplexen die zowel qua capaciteit als betrouwbaarheid bruikbaar zijn is nodig voor toekomstige ontwerpen.
- Welke invloed heeft meerpeilstijging op de IJssel? Bij hoeveel centimeter meerpeilstijging zijn er effecten te verwachten bij het splitsingspunt van de rivieren?

## 4.6. Rivierengebied

In het rivierengebied worden de belastingen (lokale waterstand en golfcondities) op de keringen op dit moment hoofdzakelijk bepaald door de (piek)afvoeren van de rivieren en de wind. De golfontwikkeling in het rivierengebied is veelal beperkt door beperkte strijklengtes op relatief smalle wateren. In de huidige situatie van het hydrodynamische systeem van de bovendelta van de Rijn en Maas hebben de benedenstroomse randvoorwaarden (IJsselmeer en Noordzee) in geringe mate invloed op de waterstanden in het rivierengebied. Echter, ontwikkelingen en keuzes in het IJsselmeergebied en Rijnmond-Drechtsteden zullen in de toekomst wel invloed hebben op het watersysteem (hydrodynamisch en morfologisch) van het rivierengebied en vice versa. Een stijgende zeespiegel kan invloed hebben op de waterstanden in de bovendelta door middel van stuwkrommes. En een verandering in de afvoerverdeling heeft op zijn beurt weer invloed op de waterstanden in de Rijn-Maasmonding en Vecht- en IJsseldelta. Binnen dit advies wordt uitgegaan van het huidige waterveiligheidsbeleid, waarbij een afsluitbare Maeslantkering en Haringvlietsluizen worden gehanteerd en gematigde stijging van de gemiddelde winterpeilen in het IJsselmeer.

### 4.6.1. Invloed zeespiegelstijging op voorkeursstrategie

In het waterveiligheidsbeleid van het rivierengebied wordt op de langere termijn gekozen voor een samenspel tussen dijkversterking en rivierverruiming, zodat de waterkeringen in het rivierengebied voldoen aan de gestelde overstromingskans. Een belangrijk aspect van de hydraulische belastingen in het rivierengebied zijn de verwachte rivierafvoeren die ons land binnenkomen, die de lokale waterstanden bepalen. In Nederland verdeelt de Rijnafvoer zich verder over verschillende Rijntakken bij een tweetal splitsingspunten, waarvan de verdeling is vastgelegd in de Derde Nota Waterhuishouding. De regulering van de stabiliteit (geen veranderingen van verdeling van water en die van rivierbedsediment) van deze splitsingen en de afvoerverdeling over de benedenstroomse takken is cruciaal voor beheer en veiligheid van het riviersysteem. Bij hoogwater kan deze afvoerverdeling in zeer beperkte mate gereguleerd worden door kunstwerken bij de splitsingspunten.

Door zeespiegelstijging zullen de waterstanden benedenstrooms in het rivierengebied en de zoutindringing toenemen wat over tientallen kilometers bovenstrooms merkbaar zal zijn. Zeespiegelstijging leidt ten gevolge van de afnemende stroomsnelheid ook tot aanzanding. Dit effect verplaatst zich stroomopwaarts. Deze aanzanding begint in de benedenrivieren en breidt zich uit naar het bovenstroomse rivierengebied. Op zeer lange termijn zou het gehele lengteprofiel van de rivier omhoog kunnen schuiven. De lange termijn morfologische ontwikkeling in het rivierengebied is echter erg onzeker en niet alleen afhankelijk van de snelheid van zeespiegelstijging, maar ook van de sedimentaanvoer vanaf het Duitse deel van de Rijn. De aanzanding kan ook een verstorend effect hebben op de afvoerverdeling van de Rijntakken. Die wordt daarnaast beïnvloed door de morfologische ontwikkelingen in de verschillende Rijntakken.

In de bovendelta van de Rijn is er daarnaast sprake van doorgaande bodemdaling door normalisaties uit de periode eind negentiende en begin twintigste eeuw. De bodem erodeert met een snelheid van ongeveer één tot twee cm per jaar. Deze erosie vindt voornamelijk plaats benedenstrooms van het splitsingspunt Pannerdensche Kop (in Waal en Pannerdensch Kanaal) en benedenstrooms van de IJsselkop in de IJssel. De Waal past zich aan richting een nieuwe evenwichtsligging die een kleiner bodemverhang kent dan in de oorspronkelijke situatie (als gevolg van afname in breedte en onveranderde jaarlijkse sedimentvracht). Deze bodemerosie leidt tot een daling van de hoogwaterstanden wat gunstig is voor de waterveiligheid en werkt ook de aanzandingsgolf tegen die ontstaat door zeespiegelstijging. Echter is deze bodemerosie nadelig voor de nautische bevaarbaarheid van de rivieren wat op dit moment wordt beschouwd als een (aankomend) probleem.
Hoe de bodemligging zich ontwikkelt in de toekomst en wanneer de nieuwe evenwichtsligging wordt bereikt is onbekend.

Opgemerkt wordt dat andere aspecten van het veranderende klimaat (lange periodes van droogte, extremere afvoeren) naar verwachting een grotere impact hebben op het te voeren waterveiligheidsbeleid in de bovenrivieren. Ook hier bevinden zich grote kennishiaten, zoals bezwijkmechanismen door lange periodes van droogte, extremere afvoeren en de afvoerverdeling met reeds gaande bodemdaling.

### 4.6.2. Haalbaarheid en mogelijke knelpunten in beleid

In onderstaande tabel is de evaluatie van de houdbaarheid van de huidige voorkeursstrategie samengevat bij een zeespiegelstijging van twee meter en/of een stijgsnelheid van 20 mm/jaar.

| | Houdbaarheid | Opmerkingen |
|---|---|---|
| **Technisch** | 👍 | Dijkversterkingen zijn in benedenstroomse gebieden nodig, waar rivierverruimende maatregelen minder effectief zijn. Structureel baggeren om stroomopwaarts verplaatsende bodemveranderingen en veranderingen in afvoerverdeling tegen te gaan is haalbaar. |
| **Economisch** | 👍 | Dijkversterkingen en kosten voor baggeren worden haalbaar geacht. Integrale studies van toekomstige ontwikkelingen (bodemerosie en aanzanding) zijn nodig om knelpunten rond scheepvaart en waterveiligheid te onderzoeken. |
| **Ruimtelijk** | 🟠 | Benedenstroomse delen met stedelijk gebied rond dijken zijn knelpunten voor dijkversterkingen, evenals ander buitendijks gebied en waterbouwkundige kunstwerken. |
| **Ecologisch** | 🟠 | Uiterwaarden komen frequenter (of constant) onder water, afhankelijk van de morfologische respons. Extra zoutindringing beïnvloedt natuurlijke leefgebieden. |

#### Technisch

In het benedenstroomse deel van het rivierengebied zullen bij een zeespiegelstijging van twee meter de belastingen toenemen en zijn dijkversterkingen nodig om te (blijven) voldoen aan de normen. Rivierverruimende maatregelen zullen in dit gebied minder effect hebben, omdat de zeespiegel de dominante factor is ten aanzien van de waterstand. De dijkversterkingen worden technisch haalbaar geacht. Daarnaast zal beleid gemaakt moeten worden over hoe om te gaan met de stroomopwaarts bewegende (verwachte) aanzandingsgolf. Deze aanzandingsgolf gaat gepaard met waterstandsverhoging. Structureel baggeren van de additionele aanzanding leidt ertoe dat de effecten van zeespiegelstijging mogelijk beperkt blijven tot het originele stuwkromme-gebied (enkele tientallen kilometers vanaf de monding). Dit wordt haalbaar geacht gezien het sedimentaanbod in de rivieren en de beperkte snelheid van verandering in bodemniveau. Binnen het huidige beleid wordt geen concrete richting gegeven aan de voorkeursstrategie voor de mogelijke toekomstige aanzanding. Dit komt mede doordat op dit moment de huidige bodemerosie stroomopwaarts een meer relevante kwestie is en aanzanding door zeespiegelstijging dit probleem mogelijk reduceert.

Conform het beleid wordt de afvoerverdeling over de Rijntakken gehandhaafd tot in ieder geval 2050. Voor de verdere toekomst worden er geen uitspraken gedaan rond de afvoerverdeling in het beleid, maar het lijkt technisch mogelijk om veranderingen in de afvoerverdeling door een stijgende zeespiegel te reguleren. Onderzocht moet worden wat het beleid zal zijn omtrent de resulterende sedimentatiegolf die zich bovenstrooms voortplant en daarmee ook de vastgestelde afvoerverdeling beïnvloedt. Mogelijk kan men gebruik maken van deze processen om de verdeling te reguleren, maar een optie is ook om structureel te baggeren om de aanzanding te vermijden. Hierin is de ontwikkeling van de huidige bodemerosie belangrijk, die op dit moment een orde groter is dan de zeespiegelstijging. De te verwachten morfologische aanpassing zal ook

afhangen van de ingrepen die worden gedaan om de effecten van de zeespiegelstijging op waterstanden (en zoutindringing) te mitigeren in het benedenstroomse gebied (IJsselmeer en Rijnmond-Drechtsteden). Bovengenoemde effecten en tegenmaatregelen voor het rivierengebied zijn omgeven met een hoge mate van onzekerheid. Er is onderzoek nodig om de beschreven ontwikkelingen en de interacties daartussen kwantitatief en vervolgens kwantitatief in kaart te brengen. Daarnaast dient onderzocht te worden hoe constructies (stuwen en sluizen) in de rivieren invloed hebben gegeven de verwachte geschetste (morfologische) ontwikkelingen. Ondanks de grote onzekerheden, lijkt de huidige voorkeursstrategie haalbaar.

### Economisch

Dijkversterkingen lijken economisch haalbaar, maar in gebieden met een verstedelijking rond de dijken zal gekozen moeten worden voor een duurdere constructieve oplossing door beperkt beschikbare ruimte voor reguliere dijkversterkingen. Verder zijn de rivieren belangrijke routes voor de scheepvaart. Hiervoor zijn waterdieptes van belang welke bij stijgende zeespiegel worden beïnvloed, afhankelijk van de ingrepen om aanzanding en de stroomopwaarts verplaatsende aanzandingsgolf tegen te gaan. In de huidige situatie leidt de bodemerosie tot reductie van de diepgang rond moeilijk erodeerbare delen van de rivier, zoals de vaste laag bij Nijmegen. Hierdoor wordt de diepgang van scheepvaart van en naar het Ruhrgebied beperkt, wat economische consequenties heeft. Ingrepen op verschillende ontwikkelingen (zeespiegelstijging en bodemerosie) zullen in de toekomst op elkaar afgestemd moeten worden.

### Ruimtelijk

In de afgelopen eeuwen hebben de rivieren steeds minder ruimte gekregen doordat we steeds meer ruimte nodig hadden voor wonen, werken en recreëren. Gebieden waar uiterwaarden een gebruiksfunctie dienen zullen op bepaalde plekken frequenter of continu onder water staan bij een zeespiegelstijging van twee meter. Dit vindt voornamelijk plaats in de benedenstroomse delen. De overheid moet kiezen of hier beleid op wordt gemaakt of dat de verantwoordelijkheid bij de gebruikers blijft. Verder is het in het rivierengebied voor de veiligheid noodzakelijk om reeds nu ruimte te reserveren voor het (toekomstige) beheer van het watersysteem. Er is in het beleid voor gekozen om uit voorzorg ruimte langs dijken en rivieren te houden om 18.000 $m^3/s$ via de Rijntakken en 4600 $m^3/s$ via de Maas in 2100 af te voeren. Deze strategie is ook verstandig vanuit het oogpunt van zeespiegelstijging die belastingen doet verhogen en voor toekomstige dijkversterkingen extra ruimte nodig heeft.

### Ecologisch

De rivieren zijn essentiële migratieroutes voor planten en dieren en bieden unieke leefgebieden. Op dit moment neemt de kwaliteit en variatie van leefgebieden sterk af en ontbreken goede verbindingen. De dalende rivierbodem van de Rijntakken en onnatuurlijke waterfluctuaties in de Maas leiden al tot verdere ecologische achteruitgang (Rijkswaterstaat, 2017). De kwetsbaarheid van het ecosysteem neemt verder toe door klimaatverandering. Bij een stijgende zeespiegel zullen de uiterwaarden frequenter en bij extremere scenario's zelfs continue onder water staan. Dit kan zowel positieve als negatieve effecten hebben op de ecologie, waarbij ecologische verandering een zekerheid is. Statische natuur zal niet ontstaan en natuurlijke leefgebieden zullen veranderen door de nieuwe waterstanden evenals de zoutindringing die plaatsvindt.

### 4.6.3. Grootste onzekerheden rondom houdbaarheid

De grootste onzekerheden met betrekking tot de voorkeursstrategie in het rivierengebied zijn:

- De aanpassing van het morfologische systeem in de toekomst is zeer onzeker en heeft invloed op de maatgevende waterstanden, door middel van veranderingen in bodemhoogte en afvoerverdeling. Om meer grip te krijgen op dit gedrag en om onzekerheden te reduceren is een langjarig monitoringsplan vereist en zijn alleen modelberekeningen onvoldoende.
- De keuzes die gemaakt worden in de benedenstroomse gebieden van het rivierengebied (IJsselmeergebied en Rijnmond-Drechtsteden) hebben invloed op het hydrodynamische en morfologische gedrag van de rivieren. De samenhang tussen zeespiegelstijging en meerpeilen en het effect op de afvoer- en sedimentverdeling op de lange termijn is onvoldoende bekend.
- Het voortdurend baggeren van het aanzandende sediment gerelateerd aan zeespiegelstijging lijkt technisch haalbaar, maar is afhankelijk van het te voeren beleid. De ontwikkeling van deze stroomopwaarts bewegende aanzandingsgolf en hoe sediment wordt aangevoerd (vanaf bovenstrooms en vanuit kust) is zeer onzeker. De sedimentatiegolf werkt de huidige bodemerosie tegen en mogelijk kunnen deze processen gezamenlijk gebruikt worden om de verdeling te reguleren in de toekomst. Meer inzicht in de integrale en dynamische sedimentbalans van onze rivier-zee-systemen is hiervoor nodig.
- Door klimaatverandering zal met name de Rijn als gemengd riviersysteem langzaam veranderen. De Rijn zal van een gemengde gletsjer/regen gedomineerde rivier veranderen naar een meer regen gedomineerde rivier vanwege het smelten van sneeuw en gletsjers in de Alpen. Dit zal naar verwachting betekenen dat de basisafvoer van de Rijn kleiner wordt en de afvoer meer variabel.

# 5 Discussie en Synthese

## 5.1. Discussie

Zeespiegelstijging is één effect van klimaatverandering waar Nederland beleid op dient te maken om een veilige en goed ingerichte omgeving te behouden die leefbaar en bedrijvig is. Dit advies concentreert zich alleen op de waterveiligheidsaspecten van de primaire keringen. Echter klimaatverandering is meer dan dat. Toekomstige veranderingen in neerslagintensiteiten, windklimaat en afvoeren zijn voor een veilige waterstaat ook van belang.

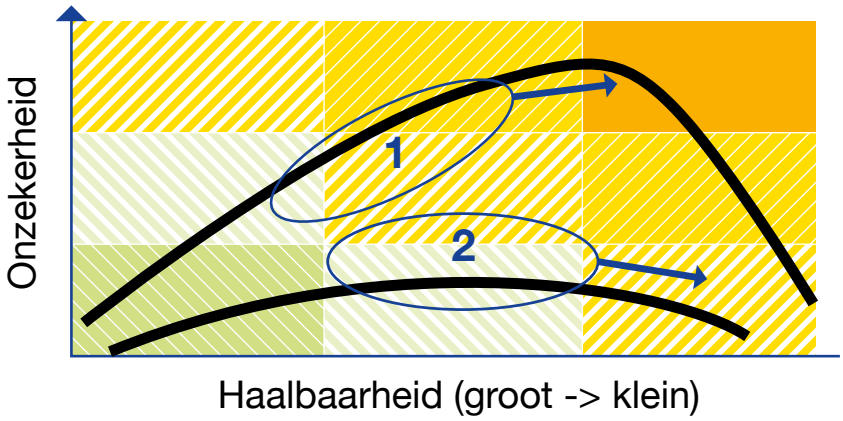
Verder heeft de zeespiegelstijging in Nederland niet alleen impact op primaire watersystemen. Het heeft ook effect op regionale gebieden, bijvoorbeeld op gemalen en stedelijke infrastructuur. Daarnaast heeft klimaatverandering in algemene zin ook effect op andere terreinen zoals bodemdaling, verzilting en droogte. Dit wordt niet beschouwd binnen dit advies. Zoetwatervoorziening draagt bij aan de leefbaarheid van Nederland en is essentieel voor de landbouw, veeteelt en drinkwatervoorziening. Verwacht wordt dat bij andere aspecten de invloed van zeespiegelstijging ook snel merkbaar zal worden. Hier zijn ook maatregelen voor nodig en die zullen integraal met waterveiligheid bekeken moeten worden om tot doelmatige oplossingen te komen die passen binnen het te hanteren beleid. Echter zal een gedeelte van de interacties tussen terreinen en optredende processen ook onverwacht en onbekend zijn. Niet alles kan vooraf geheel worden voorzien en overzien in een toekomstige situatie. Lering van het buitenland kan deze leemte mogelijk ten dele invullen.

In de beschouwing van dit rapport valt een duidelijke tweedeling op te maken in de houdbaarheid van waterveiligheidsstrategieën. Voor deelgebieden die voor de waterveiligheid gebruik maken van natuurlijke processen zoals een balans in sediment in- en export, wordt de houdbaarheid van de waterveiligheidsstrategie primair gestuurd door de stijgsnelheid van de zeespiegel[7]. Aan de andere kant is de houdbaarheid van constructieve en statische oplossingen, zoals dijken en dammen, meer afhankelijk van de absolute stijghoogte van de zeespiegel . De eerst genoemde categorie heeft de voordelen adaptief en flexibel te zijn, maar kent grotere kennisleemtes en onzekerheden in hun opschaalbaarheid. Bij de tweede categorie is meer bekend over de houdbaarheid (minder onzekerheden). Een nadeel is bijvoorbeeld dat er voor een kostenefficiënte oplossing direct voor een langere tijdsperiode geïnvesteerd dient te worden. Dit leidt mogelijk tot over- of onderinvesteringen en daarmee uiteindelijk tot een minder kostenefficiënte strategie. De kans op een minder kostenefficiënte strategie met harde maatregelen ten behoeve van de waterveiligheid wordt hoger naarmate de onzekerheden over de toekomstige situatie van het systeem groter worden.

[7] De absolute stijghoogte is van belang voor de houdbaarheid van de constructieve maatregel om de wa-terveiligheid te garanderen. De stijgsnelheid is uiteraard van belang voor de bepaling van de functionele levensduur van de maatregel en om te beschikken over voldoende tijd voor de uitvoeringstermijn zodat het risico niet een onaanvaardbare hoogte bereikt voorafgaand aan de te nemen maatregel.

In algemene zin valt de houdbaarheid van de huidige waterveiligheidsstrategieën af te bakenen volgens figuur 10. Hierin is de bovengenoemde tweedeling bij het in deze studie gebruikte scenario indicatief geplot, alsmede waar zij naartoe zullen schuiven bij meer extremere scenario's. De clusters één en twee geven de haalbaarheid en omringende onzekerheid rond de huidige voorkeursstrategie en bijbehorende maatregelen tot een zeespiegelstijging van twee meter. De huidige strategie rond statische waterkeringen wordt door de experts haalbaar geacht bij een zeespiegelstijging van één meter met geringe onzekerheid rond de strategie; een stijging van twee meter komt met uitdagingen en flinke investeringen, en een toename van de onzekerheden. Datzelfde geldt voor de dynamische keringen. De strategie van waterkeringen met natuurlijke dynamiek lijkt met de kennis van nu bij een stijgsnelheid van 20 mm/jaar opschaalbaar en haalbaar. Echter zijn hier wel onzekerheden rond de morfologische processen, de meegroeicapaciteiten van voorlanden en vooroevers en de ecologische impact. Als we dan verder kijken naar de toekomst, of equivalent aan extreme scenario's in 2100, indiceren de peilen de richting waarin de huidige strategie zich begeeft in het speelveld van haalbaarheid en onzekerheid. Naarmate het scenario extremer wordt, neemt ook de onzekerheid toe en de haalbaarheid van de huidige voorkeurstrategieën af. Afhankelijk van enerzijds het kennisniveau en anderzijds de keuze tussen - zeker niet haalbaar - en - onzekere haalbaarheid - komt een bepaalde strategie meer boven- of onderin de figuur terecht. Exacte knikpunten van iedere strategie zijn niet aan te geven. Dit rapport maakt duidelijk dat het wel of niet haalbaar zijn van een strategie geen keuze is tussen zwart en wit.

Dikwijls komen knelpunten naar boven in functies die de waterveiligheid op dit moment mogelijk maakt. Het betreft daarom een geleidelijke schaal. De boodschap van het figuur is dat de huidige strategie rond de statische waterkeringen, waarbij in bepaalde gebieden ook gebruik wordt gemaakt van beweegbare stormvloedkeringen, bij extremere zeespiegelscenario's niet haalbaar geacht wordt. De huidige strategie rond waterkeringen welke afhankelijk zijn van de natuurlijke processen, waarbij primair wordt gekozen voor suppleties, omvatten bij extremere zeespiegelscenario's veel onzekerheden.




Figuur 10: algemene typering houdbaarheid waterveiligheidsstrategie. De blokken 1 en 2 corresponderen, globaal, met het scenario voor zeespiegelstijging gebruikt in deze studie. De pijlen geven de verschuiving aan van de clusters bij meer extremere scenario's.

## 5.2. Synthese

### Houdbaarheid voorkeursstrategieën

De houdbaarheid van de huidige voorkeursstrategieën zijn in voorgaande hoofdstukken onafhankelijk van elkaar beschouwd op vier verschillende aspecten. In deze paragraaf zullen we de houdbaarheid van alle deelgebieden integraal op nationaal niveau beschouwen, de hoofdlijnen van de knelpunten evalueren en prioritering opstellen. Onderaan deze paragraaf is een puntsgewijze toelichting in tabelvorm, van elk deelgebied met daarin de hoofdlijnen van de knelpunten en houdbaarheid van de voorkeursstrategieën weergegeven.

De voorkeursstrategieën worden voor bijna alle deelgebieden technisch haalbaar geacht. De technische haalbaarheid van het waterveiligheidsbeleid bij een zeespiegelstijging van twee meter zal naar verwachting in de knel komen bij de Rijnmond-Drechtsteden en de Oosterschelde. Dit komt door de aanwezigheid van voorliggende beweegbare stormvloedkeringen waarvan de beheersituatie en waterstandsreducerende werking gevoelig is voor zeespiegelstijging. De waterveiligheid zou nog steeds geborgd kunnen worden, maar andere strategieën kunnen dan doelmatiger worden. Technisch haalbaar, ook binnen de andere deelgebieden, betekent niet dat er stilgezeten kan worden. Het vraagt vele tientallen miljarden aan investeringen. Echter is de verwachting dat er geen knelpunten ontstaan bij uitvoering van het huidige beleid. Dit kan wel betekenen dat systeemverkenningen en ontwerprichtingen nader onderzocht moeten worden om tot technisch doelmatige maatregelen te komen die het best aansluiten bij gestelde beleidsdoelen. Ook is het huidige beleid haalbaar vanuit een economisch oogpunt. In verschillende deelgebieden zijn belangrijke economische activiteiten gelegen die afhangen van het watersysteem, zoals havenactiviteiten (industrie), scheepvaart, landbouw en visserij. Zeespiegelstijging zal hierop impact hebben, al wordt verwacht dat geleidelijke mitigatie goed uit te voeren is. De ruimtelijke inbedding van maatregelen behorend bij de huidige voorkeursstrategie leiden in meerdere deelgebieden tot knelpunten. Dit komt voort uit veelal beperkte beschikbare ruimte rond waterkeringen door bebouwing, wat tot overlast bij bewoners en dure constructieve oplossingen zou gaan leiden. De grootste knelpunten zullen ontstaan bij de buitendijkse gebieden waarvoor geen eisen aan de bescherming tegen overstromingen worden gesteld in de Waterwet. De overheid moet zich bewust zijn van het feit dat zonder extra maatregelen rond buitendijkse gebieden er een groter wordende kans ontstaat op economische schade, milieuschade (vanwege de aanwezige productieprocessen) en schade aan infrastructuur die van belang is voor het functioneren van het havengebied en het stedelijk gebied. Dit zal maatschappelijke discussies teweeg brengen. Als laatste zullen ook in meerdere deelgebieden ecologisch grote veranderingen ontstaan met het huidige beleid. Het is onbekend of een alternatieve invulling van de voorkeursstrategie deze gevolgen kan verminderen of dat een zeespiegelstijging van twee meter leidt tot onontkoombare ecologische veranderingen. In ieder geval zal klimaatverandering autonome veranderingen in ecologie met zich meebrengen.

Samenvattend lijken de voorkeursstrategieën in het huidige waterveiligheidsbeleid technisch en economisch haalbaar te zijn. Desalniettemin zullen er knelpunten ontstaan bij andere aspecten als ecologische en ruimtelijke inbedding. Om zowel de doelmatigheid van het huidige beleid als de doelmatigheid van alternatieve strategieën bij een versnelde zeespiegelstijging te toetsen zijn voor een aantal gebieden systeemverkenningen nodig die inzicht geven in breedvoerige (alternatieve) technische oplossingsrichtingen die passen binnen de omgevingssituaties. Hierbij dienen de volgende knelpunten nader onderzocht te worden:

- De stormvloedkeringen (Oosterschelde, Maeslantkering, Haringvlietsluizen) hebben constructieve limieten die bereikt zullen worden. Als die limiet is bereikt zal de kering ofwel versterkt/vervangen moeten worden ofwel zal er een alternatief gezocht moeten worden. Er worden vraagtekens gezet bij de houdbaarheid en doelmatigheid van de huidige stormvloedkeringen bij een sterk stijgende zeespiegel.
- Morfologische aanpassingen van het kustfundament en de meegroeicapaciteiten van voorlanden en vooroevers zijn onzeker bij versnelde zeespiegelstijging, maar hebben sterke invloed op de hydraulische belastingen. Ook de integrale dynamische sedimentbalans van onze rivier-zee-systemen zal van belang zijn voor de te manifesteren problemen door aanpassingen in bodemhoogtes en de invloed hiervan op de hydraulische belastingen.
- Om de hogere belasting te kunnen keren zullen de kruinhoogten van dijken toenemen, waar een steeds grotere berm nodig is om te kunnen voldoen aan gestelde stabiliteitseisen. Bij verstedelijkte trajecten zal dit tot knelpunten leiden met de beschikbare ruimte en is onduidelijk of constructieve oplossingen haalbaar zijn (technisch en economisch) bij een zeespiegelstijging van twee meter.

### Houdbaarheid normering

De normering is robuust. Dit blijkt uit de uitgevoerde gevoeligheidsanalyses bij het vormgeven van de normering en de keuze voor de indeling in normklasses. In de toekomst kan nieuwe kennis leiden tot andere inzichten, die bij de twaalfjaarlijkse evaluatie van de normering bezien kunnen worden. Versnelde zeespiegelstijging zal naar verwachting invloed hebben op de normklasses als gevolg van grotere over-stromingsgevolgen en toenemende investeringskosten, welke tegenwerkende krachten zijn. Voor de invloed op de wettelijk vastgelegde normklasse is een uitgebreidere studie nodig.

Het waterveilig houden van Nederland tegen een zeespiegelstijging van twee meter wordt economisch/financieel haalbaar geacht op nationaal niveau. Als de economische groei zal aanhouden en het stijgingstempo van de investeringskosten lager blijft, is de huidige normering macro-economisch gezien houdbaar voor een scenario met een zeespiegelstijging van 20 mm/jaar. Als de stijging van de investeringskosten groter wordt dan de economisch groei zullen de uitgaven aan waterveiligheid een steeds groter deel van het BBP en overheidsuitgaven in beslag nemen. Dit kan een dusdanig groot deel worden dat het huidige waterveiligheidsbeleid heroverwogen moet worden en andere strategieën gebruikt moeten worden. In eerste instantie zal dit plaatsvinden bij bepaalde (lokale) gebieden en zullen deze gebieden gradueel toenemen. Dit zal echter niet ineens tot een nationaal probleem leiden en ook zal het nationale waterveiligheidsbeleid niet plotseling onhoudbaar worden. Er ligt naar verwachting nog een lange periode voor ons waarin de waterveiligheid in Nederland te garanderen is bij zeer extreme scenario's van zeespiegelstijging.

## 5.3. Handelingsperspectief

De beheerders van primaire waterkeringen hebben de taak om de veiligheid tegen overstromingen te borgen door de primaire keringen te laten voldoen aan de veiligheidseisen die volgen uit de Waterwet. Door het continu inzichtelijk houden van de toestand en overstromingskans van de waterkering en rekening te houden met ruimtelijke en economische ontwikkelingen, klimaatverandering, bodemdaling en andere nieuwe inzichten en ontwikkelingen kunnen op tijd maatregelen geprogrammeerd worden om aan de waterveiligheidsdoelen te blijven voldoen. De technische haalbaarheid van het huidige waterveiligheidsbeleid wordt groot geacht vanwege de opschaalbaarheid van de maatregelen behorend bij de huidige voorkeursstrategie. Een essentiële randvoorwaarde voor deze opschaalbaarheid is voldoende tijd om maatregelen uit te voeren.

Een versnelde zeespiegelstijging en daardoor toenemende overstromingskansen hebben invloed op de voorziene levensduur van maatregelen, waardoor de beschikbare tijdsperiode tussen het nemen van maatregelen afneemt. Bij de bepaling van de signaleringsnorm (veelal een normklasse hoger) in de huidige Waterwet is rekening gehouden met een uitvoeringstermijn (ook wel besteltijd) van 15 á 25 jaar. Hier wordt naast zeespiegelstijging ook rekening gehouden met andere effecten die het watersysteem verslechteren. Voor de huidige bepaling van de signaleringswaarde is een zeespiegelstijging van 35 cm tussen 1990 en 2050 gehanteerd, wat overeenkomt met een gemiddelde stijgsnelheid van circa 5 mm/jaar. De beschikbare besteltijd bij een stijgsnelheid van 20 mm/jaar zal een factor vier keer kleiner worden, wat voor sommige maatregelen praktisch gezien te kort zal zijn. Voor geoefende maatregelen als zandsuppleties en dijkversterkingen hoeft de benodigde uitvoeringstermijn niet groot te zijn (afhankelijk van het draagvlak in de omgeving), maar voor grootschalige waterbouwkundige maatregelen is veel voorbereidingstijd nodig. Binnen dit advies wordt uitgegaan van één toekomstig zeespiegelscenario, uitgedrukt in een gemiddelde stijgsnelheid en een absolute zeespiegelverhoging, maar in werkelijkheid wordt het verloop van de versnelde zeespiegelstijging exponentieel verwacht. Dit betekent dat de stijgsnelheid in de eerste jaren lager is en toeneemt naarmate de zeespiegelstijging toeneemt (of naarmate de jaren vorderen) en de beschikbare besteltijd korter wordt. Als de zeespiegel volgens de projecties

versneld begint te stijgen, zal dat plaats vinden in de tweede helft van de 21e eeuw en tot die tijd is het verstandig om te kijken naar oplossingsrichtingen die ook buiten de huidige voorkeursstrategie vallen. Daar wordt nu een aanzet toe gegeven in de vorm van het Kennisprogramma zeespiegelstijging.

Voor het voldoen aan de waterveiligheidsdoelen in Nederland staat preventie voorop, dat geboden wordt door waterkeringen. Er wordt onderscheidt gemaakt in twee typen keringen. Het eerste type wordt gevormd door de dijktrajecten die direct buitenwater keren en zo het achterland rechtstreeks beschermen tegen overstromingen. Het gaat om dijken en duinen. Het merendeel van de dijktrajecten behoort tot deze categorie en het leidt tot een directe risicoreductie in het achterliggende land. Het tweede type dijktrajecten zijn de voorliggende dijktrajecten die de functie hebben achterliggende keringen te beschermen door te voorkomen dat de hydraulische belasting op die keringen substantieel wordt verhoogd. Het gaat hier om dammen en andere constructies, waaronder een aantal iconische waterbouwkundige bouwwerken zoals de Afsluitdijk, de Oosterscheldekering en de Maeslantkering die de stormvloeden vanuit zee buiten houden. Wat betreft het handelingsperspectief bij een versnelde zeespiegelstijging verdienen de voorliggende keringen die beïnvloed worden door de zeewaterstand prioriteit, vanwege twee redenen:

- Deze voorliggende keringen bestaan grotendeels uit kunstwerken, waarvan de kosten vaak groot zijn en de uitvoeringstermijn (ontwerp tot bouw) lang zijn in vergelijking tot andere dijktrajecten;
- Naast de impact van zeespiegelstijging op de constructieve eisen wordt ook het functioneren van de voorliggende keringen aangetast die sterk afhangt van de hydraulische situatie in het gebied. Het ontwerp van de voorliggende keringen kan minder effectief worden voor de verlaging van de belastingen op achterliggende keringen.

Het verleden toont dat de uitvoeringstermijn van grootschalige waterbouwkundige projecten in Nederland enkele tientallen jaren kan duren. Bij de bouw van de Deltawerken ging de eerste schop binnen een jaar na de waterssnoodramp de grond in voor de bouw van de stormvloedkering in de Hollandsche IJssel. De eerste keringen en dammen werden tussen de vijf en de tien jaar na de ramp opgeleverd. In de jaren 50 waren hiervoor al wel uitgebreide studies uitgevoerd. De start van de bouwwerkzaamheden van de Afsluitdijk begonnen in 1920, terwijl de eerste plannen door ingenieur Lely in 1891 werden bedacht. Voor het handhaven van het gewenste veiligheidsniveau met versnelde zeespiegelstijging kunnen maatregelen buiten de huidige voorkeursstrategie doelmatiger zijn en die dienen verkend te worden. Voorkomen moet worden dat een maatregel wordt uitgevoerd, waarvan achteraf blijkt dat een andere maatregel efficiënter is om de risico's te reduceren evenals het vervullen van andere functies.

## 5.4. Beantwoording vragen uit de adviesaanvraag

Als laatste in dit hoofdstuk worden de antwoorden op de gestelde adviesvragen door DGWB van bovenliggend advies weergegeven. De antwoorden worden onderbouwd middels deze achtergrondrapportage. Het ENW heeft de vrijheid genomen vraag één en twee in omgekeerde volgorde te beantwoorden vanwege het opstellen van een logische redeneerlijn.

1. **Tot hoeveel meter zeespiegelstijging dan wel welke stijgsnelheid kan het huidige systeem worden opgerekt?**

   <u>Een zeespiegelstijging van één meter</u>
   Een zeespiegelstijging van één meter kan technisch en financieel worden opgevangen door opschalen van de vigerende waterveiligheidsstrategie. Dit is ook het scenario waarmee in het huidige waterkeringsbeleid al

rekening wordt gehouden bij het uitvoeren van versterkingsopgaven. Wel geldt dat ook dit scenario neveneffecten met zich meebrengt, onder andere:

- De sluitfrequentie van stormvloedkeringen neemt flink toe: tot wekelijks voor de Oosterscheldekering en vijf keer per jaar voor de Maeslantkering.
- De getijdeplaten in de Waddenzee kunnen waarschijnlijk niet volledig meer meegroeien als de stijgsnelheid groter wordt dan zes à tien mm per jaar.

Het beschermen van Nederland tegen één meter zeespiegelstijging zal met de huidige strategieën grote impact hebben op de ruimtelijke inpassing en de ecologische status van diverse watersystemen.

Hoewel beheersbaar, betekent dit nadrukkelijk niet dat er achterover geleund kan worden. Het borgen van de bescherming tegen een zeespiegelstijging van één meter gaat – bij ongewijzigde voorkeurstrategieën – gepaard met een schaalsprong in het onderhoud van de kust (factor drie-vijf in jaarlijks suppletievolume en dus ook in financiën), een sterke toename in de scope van het dijkversterkingsprogramma en de aanpassing of vervanging van een aantal grote stormvloedkeringen (Oosterscheldekering, Maeslantkering). Dit vergt investeringen in de ordegrootte van tientallen miljarden euro's in de komende 25-50 jaar, afhankelijk van de tegen die tijd voorspelde en opgetreden zeespiegelstijging. Dergelijke investeringen zijn groot, maar betaalbaar in het licht van economische groei. Het percentage van het bruto nationaal product dat wordt geïnvesteerd in waterveiligheid blijft in een gelijke orde van grootte als op dit moment.

<u>Een zeespiegelstijging van twee meter</u>
Voor het scenario tot twee meter zeespiegelstijging of 20 mm/jaar stijgsnelheid constateert het ENW dat het huidige waterveiligheidsbeleid technische uitdagingen kent. Concreet adviseert het ENW nadere verkenningen uit te voeren naar de implementeerbaarheid en doelmatigheid van de technische ingrepen die nodig zijn om Nederland te beschermen tegen dit scenario. Hoewel technisch en financieel waarschijnlijk haalbaar, gaan deze ingrepen gepaard met aanzienlijke ruimtelijke, ecologische en maatschappelijke effecten. Dit kan een heroverweging van de voorkeurstrategie noodzakelijk maken.

Het ENW adviseert om deze effecten in kaart te brengen en op basis daarvan een serie systeemverkenningen uit te voeren naar de haalbaarheid van alternatieve strategieën, te beginnen met de gebieden waar de grenzen van het huidige beleid het eerst bereikt worden. Daarbij denkt het ENW in elk geval aan de regio Rijnmond-Drechtsteden en de Oosterschelde.

Het ENW denkt dat de huidige normen vanuit een economisch perspectief nog lange tijd houdbaar zijn, naar verwachting in elk geval tot een scenario met twee meter zeespiegelstijging. De houdbaarheid komt in het geding als de kosten van dijkverbetering veel sneller gaan stijgen dan de economische waarde in het beschermde gebied. Vanuit het perspectief van slachtofferrisico's is er voor het beschouwde bereik van zeespiegelstijging slechts op een beperkt aantal locaties een aanpassing van de normen te verwachten.

**2. Waar zitten de zogenoemde knikpunten in de huidige regionale strategieën zoals geformuleerd in het kader van het Deltaprogramma?**

Tijdens een tweetal expertsessies heeft het ENW zich gebogen over de vraag of de huidige normen en voorkeursstrategieën technisch houdbaar zijn onder aanname van een zeespiegelstijging van twee meter of een stijgsnelheid van 20 mm/jaar. Hierbij is nadrukkelijk onderscheid gemaakt tussen de houdbaarheid van een specifieke veiligheidsstrategie en de maatregelen (technisch, budgettair) die nodig zijn om de strategie te verwezenlijken.

Opschaling van de huidige voorkeursstrategie en normering voor het beschouwde scenario geeft uitdagingen in de uitwerking van technische maatregelen – zoals ook onder punt 1 is beschreven. Het ENW voorziet dat op diverse plaatsen maatregelen moeten worden opgeschaald. Dit kan grote maatschappelijke effecten hebben, bijvoorbeeld ten aanzien van ruimtelijke inpassing en ecologische impact. In termen van knikpunten in de houdbaarheid van waterveiligheidsstrategieën zullen deze maatschappelijke effecten waarschijnlijk als eerste voor knelpunten gaan zorgen. Denk hierbij aan:

- Afname toegankelijkheid Rotterdam en achterland. De verhoging van de sluitfrequentie van de Maeslantkering (tot vrijwel dagelijks) betekent in de praktijk een volledige afsluiting van de haven voor schepen en daarmee een permanente belemmering voor de bereikbaarheid van de havens van Rotterdam.
- Buitendijkse wateroverlast. In geval van een open Rijn-Maas-monding zal een stijgende zeespiegel vaker leiden tot het overstromen van buitendijkse gebieden (met woningen en industrie).
- Verslechterde waterkwaliteit. De verhoging van de sluitfrequentie van de Oosterscheldekering (uiteindelijk permanent dicht) zorgt voor waterkwaliteitsproblemen in de Oosterschelde.
- Verdwijnen ecologisch waardevol habitat in de Wadden en Oosterschelde. Bij het handhaven van het huidige beleid zullen bij een stijgsnelheid van zes mm/jaar de Wadplaten in de westelijke Waddenzee waarschijnlijk beginnen te verdrinken, doordat via de getijdegeulen onvoldoende aanvoer van sediment plaatsvindt. In het oostelijk deel is dat het geval bij tien mm/jaar. In de Oosterschelde wordt de zandhonger in het estuarium vergroot door toename van de sluitfrequentie van de stormvloedkering, waardoor ook daar de intergetijde platen verdwijnen. Beide effecten hebben een relatie met waterveiligheid, maar veel sterker nog zijn ze bepalend voor de ecologische status van de gebieden. Deze status staat onder druk door veranderende klimatologische omstandigheden[8]. Het is zaak om een gedragen visie te ontwikkelen op de na te streven toekomstige ecologische status van dergelijke gebieden, en de ontwikkeling daarvan, onder veranderende klimatologische omstandigheden.
- Verdwijnen ecologisch waardevol habitat kustzone. Een zeespiegelstijging van 20 mm/jaar zorgt voor een suppletiebehoefte van meer dan 100 miljoen m3/jaar. Dit komt overeen met vierjaarlijkse suppleties van 1000 m3/m langs de gehele Nederlandse kust. Effectief betekent dit dat het bodemleven in de suppletiezone bij de gangbare suppletiemethoden bijna permanent begraven wordt.
- Gebrek aan ruimte. Op dit moment is de fysieke ruimte al schaars, waardoor waterveiligheidsopgaven nu reeds gepaard gaan met technisch complexe innovaties om Nederland te beschermen volgens de geldende normen. De verwachting is dat deze uitdaging in de toekomst, bij versnelde zeespiegelstijging, alleen maar groter zal worden, met alle kosteneffecten van dien. Het ENW adviseert om beleid te ontwikkelen in het ruimtelijke domein, dat resulteert in fysieke ruimte (reserveringen) in de toekomst voor het versterken van waterkeringen en om meer kennis en ervaring te ontwikkelingen rondom ruimtebesparende versterkingen.

Voor alle genoemde voorbeelden verdient het aanbeveling om na te gaan of een alternatieve invulling van de voorkeursstrategie voor waterveiligheid (of een innovatie daarin) deze negatieve bijeffecten kan verminderen.

**3. Welke (grote) ingrepen vergt dit, en op welke plekken – d.w.z. regionale deelsystemen of specifieke keringen – het eerst?**

De noodzaak tot een detaillering van (grote) ingrepen dient te worden verkend als onderdeel van genoemde systeemverkenningen. Deze zijn benoemd onder adviezen (1) en (2), alsmede het handelingsperspectief. In onderstaand antwoord worden de adviezen (1) en (2) geconcretiseerd in de tijd.

[8]Bij effecten op ecosystemen is er een onderscheid te maken tussen 'autonome' effecten van zee-spiegelstijging door klimaatverandering (bij open systemen zoals de Westerschelde en Waddenzee) en de neveneffecten van ingrepen om een veilig en leefbaar Nederland te realiseren.

Nederland dient in 2050 gesteld te staan voor een (versnelde) zeespiegelstijging die mogelijk in de verdere toekomst plaatsvindt. Dat betekent dat er in 2026 – bij de herijking van het Deltaprogramma – belangrijke besluiten moeten worden genomen over de mogelijke verandering van de voorkeursstrategie, eerst voor de Rijn-Maas-monding en vervolgens de Oosterschelde. Gezien de onzekerheden rond de hoogte en snelheid van de zeespiegelstijging, moeten bijsturingen of veranderingen van de voorkeurstrategieën adaptief van opzet zijn.

Om in 2026 goed onderbouwde besluiten te kunnen nemen over de herijking van de voorkeurstrategieën voor de Rijn-Maas-monding en de Oosterschelde, is het nodig om voor die tijd de verwachte knelpunten van de huidige strategieën in kaart te brengen, systeemverkenningen voor alternatieve strategieën uit te voeren (inclusief de impact op ruimtelijk, ecologisch en economisch gebied) en ontwerpen op conceptueel niveau (gericht op de vraag: is het ontwerp realiseerbaar?) voor de alternatieve strategieën op te stellen. Het ENW adviseert om hier op korte termijn mee te beginnen. Vervolgens moet, volgend op het besluit van een herijkte voorkeursstrategie, in 2026 worden begonnen met de uitwerking. Deze fase zal naar verwachting één à twee decennia in beslag nemen. Afhankelijk van de tegen die tijd daadwerkelijk optredende zeespiegelstijging en nieuwe wetenschappelijke inzichten in de te verwachten zeespiegelstijging kan worden begonnen met (het voorbereiden van) de concrete planvorming dan wel realisatie. Voorbereid zijn in 2050 voor de diverse scenario's betekent dus vandaag actie.

Ook voor andere regio's zal onderzocht moeten worden in hoeverre aanpassingen van de huidige strategieën nodig zijn voor de langere termijn. Met name de natuurlijk-dynamische systemen zijn relevant in dit verband, omdat deze in belangrijke mate bijdragen aan de waterveiligheid van de kust en de rivieren. Daarom is kennis over deze dynamische systemen nodig om te bepalen wat de opschaalbaarheid van huidige waterveiligheidsstrategieën is. Specifiek betreft dit de opschaalbaarheid van het adaptieve suppletiebeleid en de systeemwerking van de rivieren (onder andere de afvoerverdeling) bij een versneld stijgende zeespiegel. Ook voor deze regio's adviseert het ENW zo snel mogelijk te starten met kennisontwikkeling ten behoeve van verkleining van onzekerheden over de toekomstige haalbaarheid, het in kaart brengen van knelpunten en het aanpakken van negatieve bijeffecten. De onzekerheden in de zeespiegelstijging hebben na 2050 immers mogelijk grote consequenties. Nederland moet zorgen voor die tijd gesteld te staan. De komende decennia moeten benut worden om nieuwe maatregelen te ontwikkelen en te testen in de praktijk. Om deze, indien nodig, na 2050 te kunnen invoeren.

**4. Vanaf welke stijging of stijgsnelheid wordt het in elk geval noodzakelijk om over andere strategieën na te denken?**

Het is duidelijk dat opschaling van de huidige waterveiligheidsstrategieën bij aanhoudende zeespiegelstijging op de hele lange termijn niet realistisch is. Dat dit punt ooit bereikt gaat worden is helder, wanneer precies is met de huidige beschikbare kennis niet aan te geven.

Het ENW benadrukt dat Nederland gesteld moet staan op het moment dat het voor de keuze staat om over te stappen op een andere strategie. Dat betekent dat een tweesporenbeleid met adaptieve benadering gevolgd moet worden. Naast onderzoek naar de opschaalbaarheid van de huidige strategieën en de daaraan gekoppelde systeemverkenningen (zie advies bij vraag 3 en 5) is het nodig om toekomstscenario's te ontwikkelen voor de (technische systeem)inrichting van Nederland onder extreme zeespiegelstijging. Deze bepalen immers het eindbeeld en zijn daarmee richtinggevend voor maatregelen op kortere termijn. Naast de eindbeelden zelf is het zaak om aandacht te schenken aan de manier waarop het fysische, ecologische en maatschappelijke systeem naar de nieuwe situatie toe groeit.

**5. Waar zitten de belangrijkste aandachtspunten en eventuele leemtes in onze kennis die moeten worden meegenomen in de voorgenomen meerjarige systeemverkenningen?**

Een systematische inventarisatie van kennisvragen en kennisleemtes rond de (brede) effecten als gevolg van klimaatverandering is een studie op zich, dit valt buiten de scope van dit advies.

Vanuit de specifieke focus van dit advies kan het ENW wel richting geven aan een aantal belangrijke verkenningen dat in gang gezet moet worden. Op basis van de adviezen (vraag 1) en (2) en het daaraan gerelateerde handelingsperspectief (3), adviseert ENW om aandacht te schenken aan de volgende onderdelen:

- Systeemverkenningen van:
  - De meest doelmatige waterveiligheidsstrategie rond de stormvloedkeringen (Oosterschelde, Europoortkering, Haringvlietsluizen). Een belangrijke vraag is of de huidige stormvloedkeringen bij een sterk stijgende zeespiegel nog effectief en doelmatig zijn, mede gelet op de sterk toenemende sluitfrequentie (door zeespiegelstijging). Het ENW adviseert voor deze gebieden systeemverkenningen van mogelijke (aanpassings)maatregelen en alternatieve strategieën uit te voeren (zoals bijvoorbeeld een gesloten Rijnmond). De verkenningen dienen breed ingestoken te worden, met waterveiligheid als vertrekpunt, maar met inachtneming van de planologische inrichting van deelgebieden, zoetwatervoorziening, bodemdaling, regionaal waterbeheer en raakvlakken met aangrenzende deelgebieden.
  - Op de langere termijn alternatieve of bijgestuurde invullingen van de strategieën voor het rivierengebied (waaronder de effecten op afvoerverdeling in beeld krijgen), IJsselmeergebied, kust en Wadden en Eems-Dollard, afhankelijk van de geobserveerde zeespiegelstijging en de resultaten van de uitgevoerde kennisontwikkeling (zie hieronder).

- Strategische kennisontwikkeling ter onderbouwing van verkenningen naar de langjarige opschaalbaarheid van vigerend waterveiligheidsbeleid binnen natuurlijk-dynamische systemen. Denk hierbij aan:
  - Mogelijke effecten op morfologische aanpassingen van het kustfundament, optimalisatie van grootschalige suppletiestrategieën en de meegroeicapaciteiten van voorlanden en vooroevers in onder andere de Wadden en de Westerschelde.
  - De impact van klimaatverandering op veranderende hydraulische belastingen (waterstanden, golven en windvelden) in het kust-, rivieren- en merensysteem.
  - De integrale, dynamische sedimentbalans van onze rivier-zee-systemen.
  - Innovaties in dijkversterkingen in dichtbebouwde gebieden.

- Strategische kennisontwikkeling ten behoeve van het verkleinen van onzekerheden in voorspellende en statische modellen (wat komt er op ons af?) en het ontwikkelen van bijbehorende early warning indicatoren.
- Het organiseren van het maatschappelijk debat ten behoeve van maatschappelijk draagvlak en bestuurlijke daadkracht om de benodigde besluiten te nemen en bijtijds uit te voeren. Daarbij gaat het niet alleen om aanpassingen van voorkeursstrategieën en te nemen maatregelen, maar ook over bijvoorbeeld onzekerheid in technisch-wetenschappelijke kennis (bijvoorbeeld klimaatverandering en modellen) en de koppeling met andere transities (energie, mobiliteit).

Tot 2050 zullen de diverse zeespiegelstijgingsprojecties elkaar weinig ontlopen, zo laat ook het nieuwe IPCC SROCC-rapport uit 2019 zien. De mogelijk sterk versnelde zeespiegelstijging zal pas in de tweede helft van de 21e eeuw merkbaar worden. Er zijn op dit moment geen goede earlywarning indicatoren op

basis waarvan kan worden aangetoond of en wanneer dit op zal tre-den. Hiermee onderschrijft het ENW het belang van adaptieve strategieën, zoals bijvoorbeeld het huidige kustonderhoud, alsmede de urgentie om earlywarning indicatoren te ontwikkelen die een mogelijke aanstaande versnelling tijdig signaleren.

Bij de interpretatie van dit ENW-advies is het van belang om de volgende punten in acht te nemen:

- De sectorale benadering die is gevolgd in de totstandkoming van dit advies richt zich hoofdzakelijk op de effecten op waterveiligheid. Het ENW constateert dat zeespiegelstijging in Nederland ook effecten heeft op andere terreinen zoals bodemdaling, verzilting, droogte, zoetwatervoorziening en regionaal waterbeheer. Deze zijn alle niet beschouwd, omdat deze buiten het kennisveld van het ENW liggen. De maatregelen die nodig zijn rond andere effecten dan waterveiligheid zullen integraal met waterveiligheid bekeken moeten worden om tot doelmatige oplossingen te komen. Dit vergt nieuwe vormen van samenwerking tussen sectoren, in een context die bovendien gekenmerkt wordt door grote onzekerheden rond de te verwachten effecten. Lering van het buitenland kan deze leemte mogelijk ten dele invullen.
- Bij een versnelde zeespiegelstijging zal de tijd die beschikbaar is om maatregelen te nemen korter worden dan waar we nu vanuit gaan. Daarnaast zal de opgave groter worden en bijvoorbeeld leiden tot meer kilometers te versterken dijk per jaar dan nu. Om die reden moet het opschalen van de huidige systematiek, of het implementeren van andere, snellere en adaptieve maatregelen onderzocht worden. Daarnaast dient vanuit financieel perspectief beseft te worden dat de jaarlijkse investeringen in waterveiligheid verhoudingsgewijs mee moeten groeien met de stijgsnelheid van de zeespiegel. Dit kan problematisch worden op het moment dat de versnelling van de zeespiegelstijging daadwerkelijk zijn intrede doet. Het ENW adviseert daarom om blijvend te investeren in innovatie om opgaves sneller te realiseren en meer schaalbaar te kunnen uitvoeren.

| | Rijnmond-Drechtsteden | Zuidwestelijke Delta Oosterschelde | Zuidwestelijke Delta Westerschelde | Kust | Wadden en Eems-Dollard | Rivieren | IJsselmeer |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Technisch** | Technisch majeure en hoog complexe uitdagingen door beperkt beschikbare ruimte en stormvloedkeringen. | Dijken en/of de stormvloedkering versterken wordt haalbaar geacht. Majeure investeringen | Dijkversterking haalbaar. Vragen bij meegroei capaciteit van voorlanden en sedimentimport. | Goed mogelijk om suppletievolume te verhogen. Majeure investering en onzekerheid bij limiet op langere termijn. | Versterkingen waterkeringen (dijken en duinen) haalbaar | Dijkversterkingen en baggerwerkzaamheden haalbaar voor normering en handhaven afvoerverdeling. | Versterking Afsluitdijk, omliggende dijken en plaatsten gemalen haalbaar. Majeure investeringen te doen. |
| **Economisch** | Belemmeringen van scheepvaart richting haven en dure constructieve oplossingen voor dijkversterkingen. | Twijfel economische efficiëntie van huidige beleid. | Dijkversterkingen betaalbaar en economische belangen zeehavens en nucleaire energiecentrale haalbaar. | Wordt betaalbaar geacht. | Wordt haalbaar geacht. | Kosten dijkversterking en baggeren haalbaar. Scheepvaart mogelijk zelfs voordelig. | Maatregelen binnen voorkeursstrategie zullen kosteneffectief blijven. |
| **Ruimtelijk** | De grootste knelpunten zullen ontstaan door veel buitendijkse gebieden waar bedrijvigheid en woningen zijn gevestigd | Knelpunten buitendijkse gebieden door bebouwing en of andere functies. | Huidige strategie en bijbehorend ruimtebeslag wordt lang acceptabel geacht. | Met name in de kustplaatsen kunnen op ruimtelijk vlak knelpunten ontstaan. | Ruimtelijk worden geen knelpunten voorzien. | Knelpunten verstedelijkte trajecten, buitendijks gebied en waterbouwkundige kunstwerken. | Handhaven huidige meerpeilen is ruimtelijk doelmatigste oplossing. |
| **Ecologisch** | Weinig verandering in ecologie door reeds bestaande typen stormvloedkeringen. | Ecologie en natuurwaarden worden significant beinvloed. | Kennisleemtes sedimentimport en meegroeien droogvallend areaal en voorlanden. | Wat is de verhouding tussen de hersteltijd van het ecosysteem en de frequentie van suppleren? | 'Verdrinken' van de Waddenzee begint en grote veranderingen van het natuurlijke systeem. | Uiterwaarden frequenter onder water en extra zoutindringing beïnvloedt natuurlijke habitats. | Weinig verandering ecologie door verglijkbare waterhuishouding. |
| **Urgent vervolg t.b.v. knelpunten huidig beleid** | Systeemverkenning naar de meest doelmatige strategie.<br><br>Studies naar limieten huidige stormvloedkeringen, dijkversterkingen in verstedelijkte Rijnmond gebied en analyse overstromingsrisco's buitendijkse gebieden. | Systeemverkenning naar meest doelmatige strategie.<br><br>Studies uitvoeren naar de limiet van de stormvloedkering en overstromingsrisco's buitendijkse gebieden. | Kennisbasis vergroten<br><br>Onderzoek naar meegroeicapaciteiten voorlanden en sedimentimport. | Kennisbasis vergroten<br><br>Onderzoek naar gedrag van het morfologische systeem en effect op het kustfundament.<br><br>Onderzoek naar veranderingen hydraulische belastingen. | Kennisbasis vergroten<br><br>Onderzoek sediment-importcapaciteit en meegroeien droogvallend areaal en voorlanden. | Kennisbasis vergroten<br><br>Onderzoek naar aanpassing van het morfologische systeem en integrale en dynamische sedimentbalans van het rivier-zee-systeem.<br><br>Onderzoek naar mogelijke effecten op splitsingspunten | Besluitvorming over uit te voeren strategie<br><br>Studies reeds uitgevoer |

# 6 Invulling langjarig onderzoeksprogramma

Het kennisprogramma zeespiegelstijging dat in 2019 is gestart richt zich primair op de effecten van zeespiegelstijging op de waterveiligheid (kustfundament en waterkeringen) en de zoetwatervoorziening (verziltingsproblematiek). Maar ook de effecten op onze economie (met name havens/scheepvaart), het ruimtegebruik (o.a. wonen en recreatie), landbouw en natuur/ecologie worden in het onderzoek meegenomen. Het doel van dit kennisprogramma is o.a. om een beeld te krijgen van de houdbaarheid van de huidige deltabeslissingen en voorkeurstrategieën. En om inzicht te geven in de oprekbaarheid om ook bij meer extreme zeespiegelstijging het kustfundament, de waterkeringen en de zoetwatervoorziening op orde te houden. Dit moet bijdragen aan de ontwikkeling van verschillende handelingsperspectieven voor zeespiegelstijgingsscenario's die naar waarschijnlijkheid pas na 2100 plaatsvinden.

Dit adviesrapport is een eerste verkennende beschouwing van de houdbaarheid van het huidige nationale waterveiligheidsbeleid bij een toekomstig zeespiegelscenario. Knelpunten in het huidige beleid zijn benoemd voor de vlakken techniek, economie, ruimtelijke inbedding en ecologie. Er zijn allerlei oplossingsrichtingen mogelijk om gebieden bescherming te geven tegen een verhoogde zeespiegel, welke in het beleid ook veelal open gelaten worden. Voor de verschillende deelgebieden wordt aangeraden om uitgebreide systeemanalyses uit te voeren worden om de impact van twee meter zeespiegelstijging en/of een stijgsnelheid van 20 mm/jaar, waar mogelijk te kwantificeren, of kennisvragen die hiertoe een beperking zijn, te adresseren. Er wordt in ieder geval geadviseerd om uit te voeren:

Systeemverkenningen:
- Studies uitvoeren naar de limiet van de huidige stormvloedkering en voorliggende keringen.
- Overstromingsrisco's buitendijkse gebieden in kaart brengen en knelpunten belichten.
- Verkennen of maatregelen en/of strategieën buiten de huidige voorkeursstrategie doelmatiger kunnen zijn en verkend dienen te worden.
- Bij deze systeemverkenningen moet ook de onderlinge samenhang tussen de verschillende gebieden goed worden meegenomen. Tussen de watersystemen van Rijnmond Drechtsteden, Zuidwestelijke Delta en Rivierengebied zijn er duidelijke raakvlakken die van belang zijn voor de waterveiligheid en de beoordeling van verschillende oplossingsrichtingen.

Kennisbasis vergroten:
- Inzicht krijgen in de meegroeicapaciteiten van voorlanden en sedimentimport van estuaria en de Waddenzee bij versnelde zeespiegelstijging.
- Onderzoek naar gedrag van het morfologische kustsysteem en het effect op het kustfundament.
- Onderzoek naar aanpassing van het morfologische systeem in de Delta en de integrale en dynamische sedimentbalans van het rivier-zee-systeem.

- Onderzoek naar veranderende hydraulische belastingen door klimaatverandering, zowel op kust, rivieren als meren. Het gaat om meer dan alleen zeespiegelstijging, waarbij bijvoorbeeld het windklimaat ook een belangrijke rol speelt voor de hydraulische belastingen.

Innovatieve ontwerpstudies:

- Ondersteunen/ontwikkelen van technische innovaties in preventie van overstromingen.
- Een breed scala van verkennende ontwerpen van watersystemen met kunstwerken opstellen om te kijken hoe zeewaterstanden buiten gehouden kunnen worden en belastingen op keringen verlaagd kunnen worden.

# 7 Referenties

De Deugd, 2007. Systeemanalyse Rijn-Maasmonding. Analyse watersysteem: Gevoeligheidsanalyse. RWS WD Rapport: 2007.005. ISBN: 9789036914413.

Deltacommissie, 2008. Samen werken met water: een land dat leeft, bouwt aan zijn toekomst; bevindingen van de Deltacommissie 2008.

Deltaprogramma Kust, 2013. Nationale Visie Kust: Kompas voor de Kust. Deltaprogramma

Deltaprogramma Waddengebied, 2013a. Bijlage A8. Deltaprogramma 2014.

Deltaprogramma 2014a. Advies Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden -Stuurgroep Rijnmond-Drechtsteden. Deltaprogramma | Stuurgroep Rijnmond-Drechtsteden

Deltaprogramma 2014b. Synthese document Deltabeslissing Rijn-Maasdelta. Achtergronddocument bij Deltaprogramma 2015.

Deltares, 2010. Overstromingsrisico's en droogterisico's in een veranderend klimaat. Verkenning van wegen naar een klimaatbestendig Nederland. Deltares rapport 1002565-000.

Deltares, 2019. Zeespiegelmonitor 2018 - De stand van zaken rond de zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust.

Deltares, 2018. Mogelijke gevolgen van versnelde zeespiegelstijging voor het Deltaprogramma - Een verkenning.

Deltares, 2011a. Maatschappelijke kosten-batenanalyse Waterveiligheid 21e eeuw. Deltares rapport 1204144-006-ZWS-0012.

Deltares, 2011b. Analyse van Slachtofferrisico's Waterveiligheid 21e eeuw. Deltares rapport 1204144-005-ZWS-0001.

De Bruijn & van der Doef, 2011. Gevolgen van overstromingen - Informatie ten behoeve van het project Waterveiligheid in de 21e eeuw. Deltares rapport 1204144-004-ZWS-0001.

Eerste Kustnota, Kustverdediging na 1990, beleidskeuze voor de kustlijnzorg (1990). Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat (RWS). Aangeboden aan de Tweede Kamer der Staten-Generaal. Vergaderjaar 1989-1990, 21136, nrs. 5 en 6

Eijgenraam, C.J.J. 2005. Veiligheid tegen overstromen. Kosten-batenanalyse voor Ruimte voor de Rivier, deel I. CPB Document 82, Centraal Planbureau, Den Haag. Ook opgenomen in de box publicaties over de PKB Ruimte voor de Rivier deel 1.

Eijgenraam, 2006. Optimal safety standards for dike-ring areas, CPB Discussion Paper 62.

ENW, 2012. Meerlaagsveiligheid nuchter bekeken, Expertise Netwerk Waterveiligheid.

ENW, 2016. Grondslagen voor hoogwaterbescherming. Expertise Netwerk Waterveiligheid

ENW, 2019. Hoe omgaan met toekomstverwachtingen bij het ontwerpen van waterkeringen?. Expertise Netwerk Waterveiligheid

Grave P. de, en G. Baarse. 2011. Kosten van maatregelen - Informatie ten behoeve van het project Waterveiligheid 21e eeuw. Deltares projectnummer 1204144, Deltares, Delft.

The Intergovernmental Panel on Climate Change (2019). Special report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. Accessible: https://www.ipcc.ch/srocc/download-report/ Jonkman S.N., Hillen M.M., Nicholls R.J., Kanning, W., van Ledden M. (2013) Costs of adapting coastal defences to sea-level rise – new estimates and their implications. Journal of Coastal Research, 29 (5) 1212-1226

Kok M., Jonkman B., Kanning W., Rijcken T. & Stijnen J, 2008. Toekomst voor het Nederlandse polderconcept; Technische en financiële houdbaarheid.

Kwadijk, J., A. Jeuken en H. van Waverne, 2008. De klimaatbestendigheid van Nederland Waterland. Verkenning van knikpunten in beheer en beleid voor het hoofdwatersysteem

Maaskant B., B. Kolen, R. Jongejan, S.N. Jonkman, and M. Kok. Evacuatieschattingen nederland. HKV Lijn in water, 2009.

Manders, T., en C. Kool. 2015. Nederland in 2030 en 2050: twee referentiescenario's; Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving. Planbureau voor de Leefomgeving en Centraal Planbureau, Den Haag.

Ministerie van Infrastructuur & Milieu, 2016. Normering Primaire Waterkeringen, Rapport plus bijlagen en Addendum, Hoofdauteurs N. Slootjes en H. van der Most, April 2016

Passchier, R., F. Klijn en H. Holzhauer, 2009. Beleidsomslagpunten in het zuidwestelijk estuariumgebied? Verkenning van klimaatveranderingsbestendigheid.

Rijkswaterstaat, 2015. Motie Geurts, Deltaprogramma: onderzoek naar de effecten van sluizen in de Nieuwe Maas en Oude Maas op de waterveiligheid en de zoetwatervoorziening. Nader onderzoek variant afsluiting Nieuwe Waterweg. Opdrachtgever; Min. IenM - DGRW.

Rijkswaterstaat, 2017. Grote Rivieren: Maas en Rijntakken. Memo - Factsheet verkenning grote wateren.
Rijkswaterstaat, 2019. Beleidsaanbevelingen voor het langetermijn peilbeheer in het IJsselmeergebied. Eindrapport Integrale Studie Waterveiligheid en Peilbeheer IJsselmeergebied. Albert Remmelzwaal, Arthur Kors, Ilka Tánczos, Jan Helmer & Herbert Berger.

Tweede Kamer der Staten-Generaal, 2004. Nota Ruimte. Vergaderjaar 2003-2004

Voortman, H.G. 2002. Risk-based design of large-scale flood defence systems. Proefschrift, Technische Universiteit Delft. Ook gepubliceerd in de serie Communications on Hydraulic and Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, Report no. 02-3, Delft.

Wang, Z.B., Elias, E.P.L., Van der Spek, A.J.F., Lodder, Q.J, 2018. Sediment budget and morphological development of the Dutch Wadden Sea: impact of accelerated sea-level rise and subsidence until 2100. Netherlands Journal of Geosciences, 97(3), 183-214. doi: 10.1017/njg.2018.8

Witteveen+Bos. 2017. Integrale Veiligheid Oosterschelde: MIRT onderzoek – knikpunten, oplossingsrichtingen en effecten. In opdracht van Rijkswaterstaat Zee en Delta.

# Bijlage

## Bijlage 1: Groeivoet dijkverhoging en potentiele schade

Deze bijlage geeft de wiskundige afleiding van de vergelijking voor het verschil van de groeivoeten van de kosten van dijkverhoging en die van de potentiële schade. Per dijkring bepaalt dit verschil of de middenkans op lange termijn gaat stijgen dan wel blijft dalen, zoals de afgelopen tijd het geval was. De in de Waterwet gebruikte signaleringsnorm is vaak de afgeronde waarde van de middenkans en de wettelijke ondergrens is standaard weer een klasse minder scherp gekozen dan de signaleringsnorm. Macro-economisch bepaalt ditzelfde verschil in groeivoeten of de totale uitgaven voor overstromingsbescherming gaan stijgen als percentage van het BBP dan wel blijven dalen zoals de laatste eeuw het geval is geweest.
Bij de potentiële schade ($V_t$) is de groeivoet duidelijk. Er wordt aangenomen dat de potentiële schade in een dijkringgebied, dan wel de waardering daarvan, even hard stijgen als de groei van het bruto inkomen in die regio (BRP). Verder ligt de regionale economische groei voor de meeste gebieden dicht in de buurt van de macro-economische groei, zodat in berekeningen voor alle dijkringen hetzelfde groeitempo ($\gamma$) per jaar wordt gehanteerd. Bij de kostenstijging ligt dat moeilijker, omdat die afhangt van dijkverhoging en dijkhoogte, en dus niet direct een groeitempo per jaar is. Voorafgaand aan de vergelijking van de groeivoeten moet daarom eerst worden nagegaan hoe ontwikkelingen in jaren en in hoogte aan elkaar kunnen worden gekoppeld.
Dit gebeurt in paragraaf 1. In paragraaf 2 wordt de hoofdkwestie behandeld per dijkring; waarna in paragraaf 3 een korte macro-economische beschouwing volgt.

### 1. Ontwikkeling in tijd versus hoogte

Om op een eenvoudige manier de verbanden tussen diverse grootheden af te leiden wordt gebruik gemaakt van een optimalisatie model voor een homogene dijkring. Voor meer ingewikkelde gevallen zullen de uitkomsten kwantitatief licht kunnen afwijken, maar kwalitatief blijven dezelfde relaties gelden. Het homogene geval heeft als voordeel dat er na verloop van tijd een exacte herhaling optreedt. De optimale dijkverhogingen ($\nu$) en de tijdsintervallen tussen verhogingen ($\varphi$) blijven hetzelfde, mits iedere relatieve verandering in een constant tempo plaatsvindt.

Dit maakt het mogelijk om op twee manieren te kijken naar wat er gebeurt startend direct na een standaard investering tot direct na de volgende. De eerste manier is te kijken naar de groei van de verwachte schade (kans x gevolg) van vlak na de eerste investering tot direct voor de tweede investering. In die periode van $\varphi$ jaren is de verwachte schade een factor $\exp(\beta\varphi)$ groter geworden. De samenstelling van de groeivoet $\beta$ wordt later behandeld. Bij de volgende dijkverhoging met  mm wordt het grootste stuk van deze stijging weer ongedaan gemaakt, waardoor de verwachte schade daalt met een factor $\exp(\theta\nu)$. Ook over $\theta$ later meer. Maar daarmee is het systeem niet geheel terug op het oude niveau. Door de stijging van de kosten van investering wordt een factor $\exp(\lambda\nu)$ niet gecompenseerd. Dit is de sprongsgewijze, structurele stijging van het interval van de verwachte schade.

Combinatie van deze drie groeifactoren geeft:

$$\beta\varphi = (\theta + \lambda)\nu \,,$$

of anders geformuleerd:

(1) $$\frac{\nu}{\varphi} = \frac{\beta}{(\theta + \lambda)}$$

Gewapend met deze omrekeningsfactor kijken we nu naar de ontwikkeling van de middenkans.

## 2. Ontwikkeling van de middenkans

Voor het bestuderen van de groeivoet van de middenkans is het voldoende om de middenkans te schrijven als:

$$P_t^{midden} \equiv \frac{S_t^{midden}}{V_t} = coefficient \frac{I_{t_j > t}}{V_t}, \qquad \text{voor } t \geq 0.$$

Opnieuw kijken we wat er in een standaard periode $\varphi$ tussen twee investeringen gebeurt. De teller is na de tweede investering een factor $\exp(\lambda\nu)$ groter, terwijl de noemer in die periode met een factor $\exp(\gamma\varphi)$ is gegroeid. De groeivoet per jaar van de middenkans is dan (met toelichting na de formules):

$$\begin{aligned}
g^{midden} &= \lambda\frac{\nu}{\varphi} - \gamma \\
&= \lambda\frac{\beta}{(\theta+\lambda)} - \gamma \\
&= \frac{1}{(\theta+\lambda)}\left[\lambda\left((\alpha+\varepsilon)\eta+\gamma\right) - \gamma(\alpha-\zeta+\lambda)\right] \\
&= \frac{\alpha}{(\alpha-\zeta+\lambda)}\left[\lambda\eta - \gamma + \lambda\eta\frac{\varepsilon}{\alpha} + \gamma\frac{\zeta}{\alpha}\right] \\
&\approx \lambda\eta - \gamma.
\end{aligned}$$

De eerste regel geeft het verschil tussen de groeivoeten per jaar van teller en noemer, waarna in de tweede regel omrekeningsfactor (1) wordt gesubstitueerd. In de derde regel worden de samengestelde parameters $\beta$ en $\theta$ uitgeschreven. De groeivoet van de verwachte schade $\beta$ bestaat vooral uit de groeivoet van de overstromingskans $\alpha\eta$, (waarbij $\eta$ de zeespiegelstijging is in mm per jaar en $\alpha$ de bijpassende coëfficiënt is van de exponentiële verdeling van extreme waterstanden), en de groeivoet $\gamma$ van de potentiële schade. Daarnaast is er langs de kust nog een kleine correctie $\varepsilon\eta$ om bij zeespiegelstijging rekening te houden met het schade verhogende effect van dijkverhoging door een hogere, normale buitenwaterstand na een overstroming. De parameter $\theta$ is in wezen gelijk aan $\alpha$ , de verkleining van de overstromingskans door dijkverhoging[9], maar ook hier met een kleine correctie $\zeta$ om bij een overstroming langs de rivieren rekening te houden met het schade verhogende effect van een hogere binnenwaterstand door dijkverhoging. Zowel $\varepsilon$ en $\lambda$ als zijn alle drie klein t.o.v. $\alpha$. Daarom mag in de vierde regel de eerste factor worden afgerond op één, terwijl in de tweede factor de van toepassing zijnde derde dan wel vierde term mag worden verwaarloosd.

9Het structurele, schade verhogende effect van dijkverhoging dat tot uitdrukking komt in de parameters $\varepsilon$ en $\zeta$ , mag niet worden verward met het verschijnsel dat bij een gegeven dijkhoogte een hogere buiten-waterstand leidt tot een grotere overstroming en dus tot meer schade. Overstromingen met een grote kans op voorkomen zijn kleiner en brengen meestal een lagere schade teweeg dan overstromingen met een kleine kans op voorkomen. Voorafgaand aan een optimalisatie wordt eerst de gewogen gemiddelde schade berekend over alle schades die bij alle mogelijke overstromingen kunnen ontstaan. De schadeva-riabele Vt is dus een gewogen gemiddelde van alle mogelijke schades die kunnen optreden bij een gege-ven dijkhoogte.

De groeivoet per jaar van de middenkans is dan afgerond gelijk aan het tempo van de structurele kostenstijging per jaar door relatieve stijging van de zeespiegel, dan wel van de rivierafvoeren, verminderd met de groeivoet van de potentiele schade. Tot nu toe geldt dat de laatste beduidend groter is dan de eerste met als gevolg dat de middenkans dus structureel daalt en het gewenste veiligheidsniveau toeneemt. Het is ook de ontwikkeling die tot 2050 wordt verwacht en dit is een belangrijke reden waarom er tot 2050 nog flink geïnvesteerd moet worden in verbetering van de waterkeringen om aan de normen van de Waterwet 2017 te voldoen.

Wat de toekomst betreft, is de laatste verwachting van het CPB (2015) een economische groei tussen de ! en 2% per jaar op de lange termijn, dus voor $\gamma$ geldt: $0,01 < \gamma < 0,02.$

De zeespiegelstijging $\eta$ wordt in deze notities gemeten in mm per jaar en de toekomstige waarde hangt af van het gebruikte scenario. Al meer dan een eeuw wordt een constant absoluut tempo gemeten van 2 mm per jaar, d.w.z. $\eta = 2.$ Blijft over de waarde van $\lambda$, die evenals die van $\alpha$ ,$\varepsilon$ en $\zeta$ mede afhangt van de maat waarin de hoogtes worden gemeten, in dit geval dus mm. De beste schatting van $\lambda$ voor een dijk langs de kust kan worden afgeleid uit het uitgebreide onderzoek in het proefschrift van H. Voortman (2002), namelijk: $\lambda = 0,0005.$ (Als hoogte wordt gemeten in m, dan geldt dus: $\lambda = 0,5.$ ) De schattingen langs de rivieren zijn ontleend aan de KBA voor Ruimte voor de Rivier (Eijgenraam, 2005). Voor dijkringen in het gebied van de bovenrivieren gelden lagere waarden, namelijk: $0 < \lambda < 0,0005.$ Voor de benedenrivieren gelden juist hogere waarden, namelijk $0,0005 < \lambda < 0,001.$ De schattingen voor de KBA WV21 zijn minder geschikt, omdat die zijn afgekapt.

De hoogste waarde van 0,001 geldt voor dijkringen als 15 Krimpenerwaard en 16 Alblasserwaard en Vijfherenlanden. In beide gevallen is sprake van een zeer slappe ondergrond en dichte bebouwing langs de dijken, waardoor dijkverhoging en -versterking zeer duur is en bovendien sterk toeneemt met de hoogte. Bij een zeespiegelstijging van 20 mm per jaar leidt dat tot $\lambda\eta = 0,02,$ wat dus gelijk is aan de bovenwaarde voor de verwachte economische groei op lange termijn. Zeker vanaf dit stijgingstempo, maar al eerder als de economische groei wat lager uitvalt, zal de middenkans voor deze dijkringen dus niet meer dalen, maar structureel gaan stijgen. Vanzelfsprekend is het een beleidskeuze hoe daar mee om wordt gegaan. Maar er kunnen dan ook reacties van andere partijen worden verwacht, bijvoorbeeld om zich niet meer in zulke dijkringen te vestigen of er uit te breiden.

## 3. Macro-economische gevolgen

Stijgende economisch optimale overstromingskansen in een of meer dijkringen leiden niet direct tot een macro-economisch probleem. Er blijven nog genoeg dijkringen over waar de kosten relatief blijven dalen t.o.v. het BBP. Dat geldt waarschijnlijk ook nog bij een zeespiegelstijging van 20 mm/jaar. Dit kan anders worden als dit tempo nog verder toeneemt tot bijvoorbeeld 30 mm/jaar. Ook de hoogte van de dijken is dan al meters hoger geworden dan nu of in 2050 het geval zal zijn. Onder die omstandigheden zullen ook de totale kosten voor overstromingspreventie harder gaan stijgen dan de economische groei, hetgeen betekent dat deze uitgaven zullen toenemen als percentage van het BBP. Afwegingen zullen dan ongetwijfeld moeilijker gaan worden en er zal dan zeker maatschappelijke discussie ontstaan of de bescherming kan worden voortgezet voor alle primaire dijkringen, dan wel dat besloten zal worden tot (gedeeltelijke) ontpoldering van een of meer dijkringen, net zoals dat tijdens het project Ruimte voor de Rivier het geval is geweest met de Noordwaard.

# Bijlage 2: Bijdrages van personen

Naast de bijdragen van alle leden van de ENW-werkgroepen (Kust, Rivieren, Techniek en Veiligheid) hebben de onderstaande experts van buiten het ENW een bijdrage geleverd middels een interview en/of een review van onderdelen van het voorliggende rapport. Het ENW is hen zeer erkentelijk voor hun bijdrage.

- Ties Rijcken
- Arthur Kors
- Quirijn Lodder
- Leo Adriaanse
- Simon Brasser
- Eric van Zanten
- Ilka Tánczos

### Deelnemers ENW-expertsessie 1

- Stefan Aarninkhof
- Astrid Labrujere
- Bart van den Hurk
- Hans Janssen
- Saskia van Vuren
- Harold van Waveren
- Joost de Ruig
- Marieke Hazelhoff
- Peter van den Berg
- Lars Couvreur
- Astrid Blom
- Carola van Gelder
- Carel Eijgenraam
- Matthijs Kok
- Durk Riedstra
- Patrick Peeters
- Meindert Van
- Govert Geldof
- Ad van der Spek
- Suzanne Hulscher
- Yvo Snoek
- Bas Jonkman
- Leo Smit
- Henk Steetzel
- Petra Goessen

### Deelnemers ENW-expertsessie 1

- Stefan Aarninkhof
- Astrid Labrujere
- Bart van den Hurk
- Hans Janssen
- Saskia van Vuren
- Harold van Waveren
- Joost de Ruig
- Marieke Hazelhoff
- Peter van den Berg
- Lars Couvreur
- Astrid Blom
- Carola van Gelder
- Carel Eijgenraam
- Matthijs Kok
- Durk Riedstra
- Patrick Peeters
- Meindert Van
- Govert Geldof
- Ad van der Spek
- Suzanne Hulscher
- Yvo Snoek
- Bas Jonkman
- Leo Smit
- Henk Steetzel
- Petra Goessen

enw | expertisenetwerk
waterveiligheid