



# Nederland en de zeespiegelstijging. De gevolgen voor waterveiligheid en zoetwater.

## SYSTEEMANALYSE

*Kunnen we ons blijven beschermen tegen overstromingen en houden we genoeg zoetwater als we verdergaan met de huidige aanpak?*



#### Colofon

Dit rapport is een product van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging, een initiatief van de minister van Infrastructuur en Waterstaat en de deltacommissaris. Het rapport is opgesteld door Rijkswaterstaat.

#### Tekst

Renske Postma, [dekrachtvantaal.nl](mailto:dekrachtvantaal.nl)

#### Beelden

Rijksbeeldbank

#### Vormgeving en illustraties

Public Cinema

Februari 2026

## In 't kort

De zeespiegel stijgt de komende eeuwen naar alle waarschijnlijkheid met enkele meters en blijft daarna verder stijgen. Hoe snel dat gaat, weten we nog niet. Als we continu blijven werken aan waterveiligheid kan Nederland zich naar verwachting tot 5 meter zeespiegelstijging tegen overstromingen beschermen, met steeds omvangrijkere zandsuppleties, dijkversterkingen, aanpassingen aan stormvloedkeringen en extra pompen. Het zoute zeewater dringt op verschillende plaatsen verder Nederland in. Die verzilting kunnen we deels beperken, maar niet voorkomen.

We kunnen in Nederland blijven wonen en werken, maar dat vraagt permanent grote inzet, ook financieel. Dijken moeten steeds hoger en breder worden. Daar is veel ruimte voor nodig, ook in stedelijk gebied. Verschillende buitendijkse gebieden komen zonder aanpassingen permanent onder water te staan; daar staan soms veel woningen en bedrijven, met name in de omgeving van Rotterdam. Landbouw, natuur en drinkwaterbedrijven moeten het in totaal met minder zoetwater stellen. Delen van de kustprovincies zullen verder verzilten.

Dit is de uitkomst van een stresstest waarbij de zeespiegel in 2200 5 meter hoger staat. Dat scenario is zeer extreem, maar wel mogelijk. In dat scenario stijgt de zeespiegel daarna snel verder. De gevolgen daarvan zijn niet onderzocht. Zeker is dat het een grote uitdaging zal zijn om het laaggelegen Nederland ook dan leefbaar te houden. De beste oplossing is en blijft dan ook om klimaatverandering (en daarmee de zeespiegelstijging) zoveel mogelijk te beperken.

# Inhoud

<b>1. Inleiding</b>	<b>4</b>
1.1 Aanleiding: Kennisprogramma Zeespiegelstijging	5
1.2 Doel: de gevolgen als we verdergaan op de huidige weg	5
1.3 Totstandkoming	6
1.4 Leeswijzer	6
<b>2. Uitgangspunten van de analyses</b>	<b>8</b>
<b>3. Samenvattend beeld: omgaan met waterveiligheid en de verzilting van zoetwater bij zeespiegelstijging</b>	<b>14</b>
3.1 Kunnen we ons blijven beschermen tegen overstromingen en houden we het water zoet?	15
3.2 Wat gaat hoogwaterveiligheid en zoetwater kosten bij zeespiegelstijging?	18
3.3 Zijn de benodigde maatregelen uitvoerbaar?	19
3.4 Welke opgaven ontstaan voor andere functies?	20
<b>4. Verdiepende inzichten: waterveiligheid</b>	<b>22</b>
4.1 De huidige inzet en de opgave door zeespiegelstijging	23
4.2 <b>Vraag 1:</b> Kunnen we de kustlijn bij zee-spiegelstijging met zandsuppleties op zijn plaats houden?	25
4.3 <b>Vraag 2:</b> Kunnen we de dijken bij zeespiegelstijging veilig houden?	28
4.4 <b>Vraag 3:</b> Kunnen we de benodigde dijkversterkingen beperken met andere maatregelen?	31
4.5 Voorwaarden voor de uitvoerbaarheid	36
4.6 Aanvullende opgaven voor wonen en werken in Nederland	37

<b>5. Verdiepende inzichten: zoetwater</b>	<b>38</b>
5.1 De huidige inzet en de opgave door zeespiegelstijging	39
5.2 <b>Vraag 1:</b> Blijven de grote zoete watersystemen bij zeespiegelstijging zoet genoeg met de huidige inzet?	42
5.3 <b>Vraag 2:</b> Kunnen we de polders bij zee-spiegelstijging zoet houden?	45
5.4 <b>Vraag 3:</b> Kunnen we de verzilting van de grote zoete watersystemen beperken met extra maatregelen?	48
5.5 Voorwaarden voor de uitvoerbaarheid	52
5.6 Aanvullende opgaven voor wonen en werken in Nederland	52
<b>6. Verdiepende inzichten: per regio</b>	<b>54</b>
6.1 Waddengebied	57
6.2 IJsselmeergebied	58
6.3 Hollandse kust en Centraal Holland	60
6.4 Rijn-Maasmonding	62
6.5 Zuidwestelijke delta	64
<b>Bijlage 1: Overzicht onderliggende rapporten</b>	<b>66</b>

# 1. Inleiding



De zeespiegel stijgt en daar gaan we in Nederland gevolgen van ondervinden. Met name de waterveiligheid en het zoet houden van onze grote zoete watersystemen vragen aandacht. Hoe groot zijn de gevolgen als we hier op dezelfde manier mee om blijven gaan als nu, of met een tandje erbij? Dit was een van de onderzoeken van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging. Dit rapport geeft de uitkomsten.

## 1.1 Aanleiding: Kennisprogramma Zeespiegelstijging

Wereldwijd stijgt de zeespiegel. Dat proces is al heel lang gaande, maar de afgelopen decennia versneld. Zeespiegelstijging heeft in Nederland grote gevolgen voor de bescherming tegen overstromingen en de hoeveelheid zoetwater: als we niets doen neemt het risico op overstromingen toe en komt er op verschillende plaatsen meer zout in het zoete water dat we voor allerlei doeleinden gebruiken.

In 2019 is het Kennisprogramma Zeespiegelstijging gestart, op initiatief van de minister van Infrastructuur en Waterstaat en de deltacommissaris. Overheden, kennisinstellingen en adviesbureaus hebben in dit programma onderzocht hoe we in Nederland met zeespiegelstijging om kunnen gaan.

Onderdeel van dit onderzoek is een systeemanalyse: onderzoek naar de gevolgen van versnelde zeespiegelstijging op waterveiligheid en zoetwater in Nederland en wat we kunnen bereiken als we verdergaan met de huidige strategieën. Deze analyses zijn uitgevoerd voor de grote wateren van Nederland. In 2023 zijn de tussenresultaten van de systeemanalyse gepubliceerd in de Tussenbalans<sup>1</sup>. Nu zijn de eindresultaten beschikbaar.

## 1.2 Doel: de gevolgen als we verdergaan op de huidige weg

Dit rapport gaat over de gevolgen van zeespiegelstijging in een zeer extreem scenario, waarbij de zeespiegel in 2200 5 meter hoger staat. Het laat zien in hoeverre Nederland deze mate van zeespiegelstijging aankan als we verdergaan met de huidige aanpak voor waterveiligheid en zoetwater, aangevuld met ingrepen die in het verlengde van deze aanpak liggen<sup>2</sup>. Daarmee is dit rapport te zien als een stresstest: kunnen we omgaan met zeespiegelstijging, ook als het heel snel gaat?

Het rapport geeft antwoorden op onder meer deze vragen:

- Kunnen we de kustlijn bij zeespiegelstijging op zijn plaats houden en de dijken veilig genoeg houden?
- Kunnen we de grote zoete watersystemen en de polders bij zeespiegelstijging zoet houden?
- Welke opgaven ontstaan hierbij voor bijvoorbeeld landbouw, wonen, scheepvaart, drinkwater en natuur?

<sup>1</sup> Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en deltacommissaris (2023). *Hoe kan Nederland de zeespiegelstijging aan? Tussenbalans van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging*.

<sup>2</sup> De huidige aanpak voor waterveiligheid en zoetwater staat in de deltabeslissingen en voorkeursstrategieën van het Deltaprogramma (Deltaprogramma 2021) en is beleidsmatig verankerd in het Nationaal Waterprogramma 2022-2027.

Deze informatie is bedoeld voor organisaties die nauw betrokken zijn bij het nationale waterbeheer en -beleid, zoals het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en Rijkswaterstaat (zie met name hoofdstuk 3 t/m 5), en ook voor regionale en lokale bestuurders die op hoofdlijnen willen weten wat er in hun regio speelt (zie met name hoofdstuk 3 en 6). Waterschappen kunnen de kennis die in dit rapport is toegespitst op de grote wateren gebruiken om de gevolgen van zeespiegelstijging verder uit te werken voor de regionale wateren. Vakdeskundigen kunnen daarvoor ook de onderzoeksrapporten raadplegen die aan de basis van dit rapport liggen (zie bijlage 1).

### Overige resultaten Kennisprogramma Zeespiegelstijging

In aanvulling op de resultaten in dit rapport heeft het Kennisprogramma Zeespiegelstijging ook andere inzichten opgeleverd, zoals denkrichtingen om op termijn op heel andere manieren om te gaan met waterveiligheid en zoetwater. Ook is onderzocht welke keuzes we op welke momenten kunnen maken naarmate de zeespiegel verder stijgt. Al deze inzichten komen samen in het Eindrapport van het kennisprogramma. Tweede Kamerleden en andere bestuurders krijgen daarmee een totaalbeeld op hoofdlijnen. Met die kennis kan Nederland keuzes maken: gaan we verder zoals we gewend zijn of moeten we onze aanpak bijstellen om Nederland veilig en leefbaar te houden? En hoe kunnen we nu al rekening houden met wat ons in de toekomst te wachten staat? De antwoorden op dit soort vragen zullen onder meer een rol spelen

bij de zes-jaarlijkse herijking van het Nationaal Deltaprogramma en de actualisatie van het Nationaal Waterprogramma in 2026.

## 1.3 Totstandkoming

Aan de basis van dit rapport liggen enkele tientallen onderzoeksrapporten (zie bijlage 1). Rijkswaterstaat, kennisinstellingen en adviesbureaus hebben hierin de resultaten van analyses beschreven voor een groot aantal deelvragen. Uit die omvangrijke hoeveelheid informatie zijn de belangrijkste inzichten voor dit rapport gedestilleerd.

## 1.4 Leeswijzer

Dit rapport gaat in hoofdstuk 2 verder met de uitgangspunten die ten grondslag liggen aan de onderzoeken. Hoofdstuk 3 geeft vervolgens een samenvattend beeld van de uitkomsten, met als centrale vraag: kunnen we ons bij zeespiegelstijging voldoende blijven beschermen tegen overstromingen en houden we genoeg zoetwater als we doorgaan op de huidige weg? Dat hoofdstuk gaat ook in op de kosten en de uitvoerbaarheid van de benodigde maatregelen en de gevolgen die voor andere functies ontstaan. De hoofdstukken 4 en 5 geven verdiepende informatie over respectievelijk waterveiligheid en zoetwater. In hoofdstuk 6 zijn de belangrijkste resultaten per regio geordend, voor waterveiligheid en zoetwater samen. Bijlage 1 geeft een overzicht van de onderzoeksrapporten waar de inzichten in het voorliggende rapport op gebaseerd zijn.



## 2. Uitgangspunten van de analyses



Wie in de toekomst wil kijken, moet aannames doen. We weten tenslotte niet hoe Nederland er op termijn bij ligt en welke ontwikkelingen er naast zeespiegelstijging aan komen. Ook is het onmogelijk om alle gevolgen van zeespiegelstijging tot in detail te bepalen. Daarom is een aantal uitgangspunten gekozen voor de analyses in dit rapport.

### Zeespiegelstijging centraal

Dit rapport geeft zo zuiver mogelijk het effect van zeespiegelstijging weer: het is een stresstest voor zeespiegelstijging. Daarbij is vooruitgekeken tot het jaar 2200. Andere veranderingen die zich mogelijk ook in die periode zullen voltrekken, zijn zoveel mogelijk buiten beschouwing gelaten. Zo gaan de analyses uit van het huidige landgebruik en de huidige inrichting. Hier zijn een paar uitzonderingen op gemaakt. Zo is er in de analyses vanuit gegaan dat in 2050 alle waterkeringen voldoen aan de vastgestelde normen (omgevingswaarden), omdat het programma met de benodigde dijkversterkingen al in uitvoering is (Hoogwaterbeschermingsprogramma).

Daarnaast is in de berekeningen rekening gehouden met andere effecten van klimaatverandering als die de gevolgen van zeespiegelstijging aanzienlijk kunnen versterken of verzwakken. Zo is onder meer gerekend met veranderingen in rivierafvoeren door klimaatverandering, omdat die veel invloed hebben op de gevolgen van zeespiegelstijging voor waterveiligheid en zoetwater.

In de analyses is ook de verwachte mate van bodemdaling meegenomen. Door verschillende oorzaken daalt de bodem in Nederland. Op de ene plaats gaat dat sneller dan op de andere plaats. Voor sommige gevolgen van zeespiegelstijging is de combinatie van bodemdaling en zeespiegelstijging van belang (de zogenaamde relatieve zeespiegel-

stijging), bijvoorbeeld voor de benodigde dijkversterkingen en de toename van zoute kwel.

### Scenario's voor zeespiegelstijging en klimaatverandering

Het KNMI stelt klimaatscenario's voor Nederland op. Onderdeel daarvan zijn scenario's voor de zeespiegelstijging. Deze scenario's laten zien hoe snel de zeespiegel zou kunnen stijgen en wat de bandbreedte tussen de scenario's is. Bij de start van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging waren de klimaatscenario's van 2014 de meest recente. De nieuwe klimaatscenario's van 2023 waren in voorbereiding. Het was duidelijk dat de zeespiegelstijging in de nieuwe scenario's hoger uit zou komen dan in de scenario's van 2014. In het Kennisprogramma Zeespiegelstijging hebben de onderzoekers de scenario's van 2014 daarom aangepast met de verwachte veranderingen in de nieuwe scenario's; deze aanpassingen bleken achteraf goed overeen te komen met de nieuwe scenario's die het KNMI in 2023 heeft gepubliceerd. De resultaten in dit rapport zijn gebaseerd op de scenario's voor de zeespiegelstijging zoals weergegeven in Figuur 1.

De gevolgen van zeespiegelstijging worden mede bepaald door andere aspecten van klimaatverandering, zoals veranderingen in rivierafvoeren (hoger in de winter en juist

lager in voorjaar en zomer), extremere neerslag, langere perioden van droogte en meer hitte. De onderzoekers hebben hier rekening mee gehouden als deze aspecten de gevolgen van zeespiegelstijging aanzienlijk kunnen versterken of verminderen (zie hierboven). In de modellen is gerekend met vier scenario's voor de rivierafvoeren die aansluiten bij de scenario's van het KNMI. De verschillende scenario's zijn in het kennisprogramma gelijkwaardig onderzocht. In de analyses is dus geen aanname gedaan over de waarschijnlijkheid van scenario's.

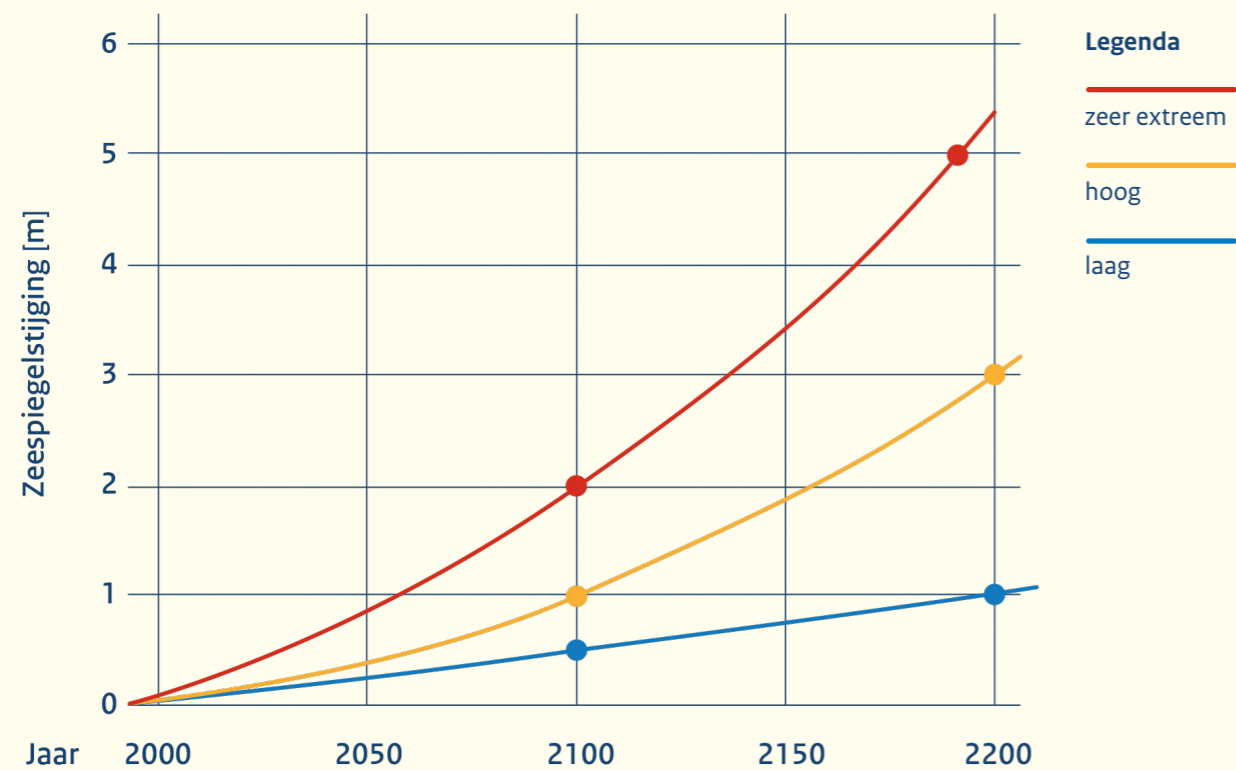
Dit rapport presenteert voornamelijk de resultaten voor de zeer extreme scenario's van klimaatverandering en zeespiegelstijging. Daarmee wordt inzichtelijk of we de zeespiegelstijging ook in zo'n ongunstig geval aankunnen ('stresstest').

### Analyses met modellen

De inzichten in dit rapport zijn niet het resultaat van een gedachte-experiment, maar van onderbouwde berekeningen met modellen. De modelberekeningen

gaan over de verre toekomst, tot het jaar 2200. Daar zitten allerlei haken en ogen aan. We weten bijvoorbeeld niet hoe Nederland er op dat moment bij ligt en daarom zijn verschillende aannames gedaan. Door de modeluitkomsten met kennis van zaken en met aandacht voor deze aannames te interpreteren, was het mogelijk om relatief betrouwbare uitspraken te doen over de gevolgen van zeespiegelstijging in de toekomst.

Bij de keuze van de modellen en de interpretatie van de berekeningen hebben tientallen experts uit verschillende vakgebieden en organisaties meegedacht. Tijdens de onderzoeksperiode hebben onafhankelijke reviewscommissies gereflecteerd op de modellen, aannames en uitkomsten. Er is consensus bij de verschillende geraadpleegde experts dat de berekeningen een betrouwbare weergave zijn van het effect van zeespiegelstijging op de waterveiligheid en zoetwater, al zitten er in uitspraken over de verre toekomst altijd onzekerheden.



**Figuur 1.** Het Kennisprogramma Zeespiegelstijging heeft met verschillende scenario's voor de zeespiegelstijging gewerkt. Dit rapport geeft de resultaten voor het zeer extreme scenario (rode lijn).

### Impact op andere functies

Zeespiegelstijging heeft gevolgen voor de bescherming tegen overstromingen en verzilting. Deze gevolgen en de maatregelen om daarmee om te gaan hebben impact op andere functies. Zo hebben hogere en bredere dijken gevolgen voor de ruimte voor woningen en bedrijven en heeft verzilting impact op de mogelijkheden voor landbouw, drinkwaterwinning en natuur. Het Kennisprogramma Zeespiegelstijging heeft de impact op andere functies systematisch in beeld gebracht met een impactanalyse. Dit rapport geeft daar een samenvatting van (zie 3.4, 4.6 en 5.6).

De impact op andere functies is deels met modellen en deels op basis van expertoordeel ingeschat, deels kwantitatief en deels kwalitatief. Het resultaat is uitgedrukt in een score ten opzichte van de huidige situatie. Dat wil zeggen ten opzichte van de huidige maatregelen voor waterveiligheid en zoetwater, het huidige landgebruik, het huidige niveau van de zeespiegel en de huidige sociaaleconomische omstandigheden. De impact geeft zo een indruk van de opgaven die ontstaan bij zeespiegelstijging.

### Focus op het hoofdwatersysteem en primaire waterkeringen

Het hoofdwatersysteem bestaat uit de grote Nederlandse wateren: Noordzee en Waddenzee, IJsselmeer en Markermeer, grote rivieren en kanalen en de deltawateren in Zuidwest-Nederland. Het onderzoek focust op dit hoofdwatersysteem, omdat de directe gevolgen van zeespiegelstijging daar het grootst zijn als het gaat om waterveiligheid en zoetwater. Zeespiegelstijging zal ook gevolgen hebben in de kleinere, regionale wateren. Die gevolgen zijn voor een groot deel afhankelijk van wat er in het hoofdwatersysteem gebeurt. Met de kennis die nu is opgedaan over het hoofdwatersysteem, is het mogelijk de gevolgen voor de kleinere regionale wateren scherper te onderzoeken.

Rond de grote wateren liggen primaire waterkeringen die bescherming bieden tegen overstromingen. Een deel van de grote wateren heeft zoetwater

en is belangrijk voor de zoetwatervoorziening van Nederland. De onderzoeken hebben zich beperkt tot die delen van het hoofdwatersysteem en de primaire keringen waar zeespiegelstijging invloed kan hebben. Voor zoetwater is ook geanalyseerd in welke mate het polderwater via het grondwater verzilt door zeespiegelstijging, hoewel het polderwater geen onderdeel van het hoofdwatersysteem is. Dit is gedaan om te kunnen analyseren hoeveel extra zoetwater het hoofdwatersysteem zou moeten aanvoeren om het polderwater zoet te houden en of dat mogelijk is.

### De huidige aanpak: deltabeslissingen en voorkeursstrategieën

De analyses die aan dit rapport ten grondslag liggen, gaan over de effecten van de huidige aanpak voor waterveiligheid en zoetwater en over aanvullende maatregelen die in het verlengde van deze aanpak liggen. Het doel van de huidige aanpak staat in de deltabeslissingen Waterveiligheid en Zoetwater en de beslissing Zand:

- **Deltabeslissing Waterveiligheid:** uiterlijk in 2050 heeft iedereen ten minste het basisbeschermingsniveau (de kans op overlijden door een overstroming is dan niet groter dan 1: 100.000 per jaar). Waar de gevolgen heel groot kunnen zijn, is het beschermingsniveau hoger.
- **Beslissing Zand:** waar het kan, houden we de kustlijn op zijn plaats met zandsuppleties.
- **Deltabeslissing Zoetwater:** Nederland is in 2050 weerbaar tegen zoetwatertekort. Dit doel is voor de analyses concreet ingevuld met de voorlopige ambitie dat Nederland niet vaker dan eens in de 20 jaar watertekort heeft<sup>3</sup>.

De kern van de deltabeslissingen is vastgelegd in het Nationaal Waterprogramma 2022-2027. De eisen aan de waterveiligheid staan in de Omgevingswet. In de regionale voorkeursstrategieën van het Deltaprogramma hebben de regio's aangegeven met welke maatregelen ze de deltabeslissingen bij voorkeur invulling geven (Tabel 1).

<sup>3</sup> Deze voorlopige ambitie is afgeleid uit het Oplegmemorandum voor het Bestuurlijk Platform Zoetwater van 5 oktober 2023. Het Deltaprogramma Zoetwater werkt deze ambitie op dit moment concreter uit, rekening houdend met verschillen in de gebiedskenmerken van regio's en de mogelijkheden om verschillende typen watergebruikers te voorzien van zoetwater.

## Waterveiligheid

- jaarlijks gemiddeld 11 miljoen m<sup>3</sup> zand suppleren om de kustlijn op zijn plaats te houden;
- primaire waterkeringen versterken zodat ze (blijven) voldoen aan de waarden uit de wet;
- de bestaande stormvloedkeringen in stand houden en aan het einde van de levensduur vervangen (het open-afsluitbare karakter blijft in stand): Europoortkering, stormvloedkering Hollandsche IJssel, Haringvlietsluizen en Oosterscheldekering;
- hoge waterstanden op het IJsselmeer reguleren door overtollig water naar de Waddenzee te spuien en zo nodig te pompen;
- hoge Rijnafvoeren zoveel mogelijk via de beleidsmatig vastgestelde percentages over de Waal, Nederrijn-Lek en IJssel verdelen;
- bij hoge waterstanden in Rijnmond-Drechtsteden een deel van de rivierafvoer tijdelijk bergen in het Volkerak-Zoommeer.

## Zoetwater

- rivierwater slim verdelen om de grote zoete watersystemen zoet te houden (Klimaatbestendige Zoetwatervoorziening Hoofdwatersysteem);
- bestaande zoet-zoutscheidingen bij zeesluizen in stand houden;
- infrastructuur om het water te verdelen in stand houden (stuwen, kanalen, Klimaatbestendige Wateraanvoer);
- zuinig omgaan met zoetwater;
- het ruimtegebruik aanpassen en verzilting accepteren waar nodig.

Tabel 1. Belangrijke onderdelen van de voorkeursstrategieën voor waterveiligheid en zoetwater, gericht op het realiseren van de deltabeslissingen

### Maatregelen passend bij de huidige strategie

Dit rapport laat zien wat we kunnen bereiken met de huidige aanpak voor waterveiligheid en zoetwater en met aanvullende maatregelen die in het verlengde van de huidige aanpak liggen. Voor de aanvullende maatregelen zijn verschillende maatregelenpakketten samengesteld die passen binnen de deltabeslissingen en aansluiten bij de regionale voorkeursstrategieën. Uit de vele mogelijkheden zijn maatregelen gekozen die het meest realistisch leken en de meest bruikbare inzichten opleveren. De pakketten zijn niet bedoeld om keuzes tussen maatregelen te maken, maar om gevoel te krijgen voor de mogelijkheid om bij zeespiegelstijging door te gaan op de huidige weg.

Omdat deze maatregelenpakketten in het verlengde van de huidige aanpak liggen, zijn ze minder ingrijpend dan de alternatieve lange termijn opties die het Kennisprogramma Zeespiegelstijging ook

heeft onderzocht en die op essentiële punten afwijken van de deltabeslissingen en voorkeursstrategieën. Denk bijvoorbeeld aan de bouw van een grote dam in de Noordzee, het permanent afsluiten van de Nieuwe Waterweg of bouwen op terpen als bescherming tegen overstromingen.

### Strategisch, tactisch of operationeel

De huidige aanpak voor waterveiligheid en zoetwater bestaat uit maatregelen op drie niveaus: strategische maatregelen die het doel op het hoogste niveau weergeven, tactische maatregelen die het doel concreter invullen en operationele maatregelen voor de daadwerkelijke uitvoering.

In de maatregelenpakketten is zoveel mogelijk gekozen voor aanvullingen op operationeel niveau. Als dat onvoldoende mogelijkheden opleverde, zijn maatregelen op tactisch of zelfs strategisch

niveau gekozen. De pakketten voor waterveiligheid bestaan overwegend uit aanvullende maatregelen op operationeel niveau (andere suppletiemethoden, sterkere dijken) en tactisch niveau (meer waterberging,

optimalisatie van stormvloedkeringen), terwijl voor zoetwater ook maatregelen op strategisch niveau zijn onderzocht (vaker of meer verzilting accepteren).



### 3. Samenvattend beeld: omgaan met waterveiligheid en de verzilting van zoetwater bij zeespiegelstijging



Zeespiegelstijging stelt ons vanaf nu voor een grote en continue inspanning voor de bescherming tegen overstromingen en verzilting. Dat vraagt menskracht, geld, ruimte en materialen. De waterveiligheid kunnen we daarmee op het huidige niveau houden, maar het zoete water zal op verschillende plaatsen steeds verder verzilten. We moeten ons voorbereiden op zoutere omstandigheden en minder zoetwater. Als we zo met zeespiegelstijging omgaan, blijven alle regio's van Nederland nog heel lang bewoonbaar. Dat is de uitkomst van het onderzoek.

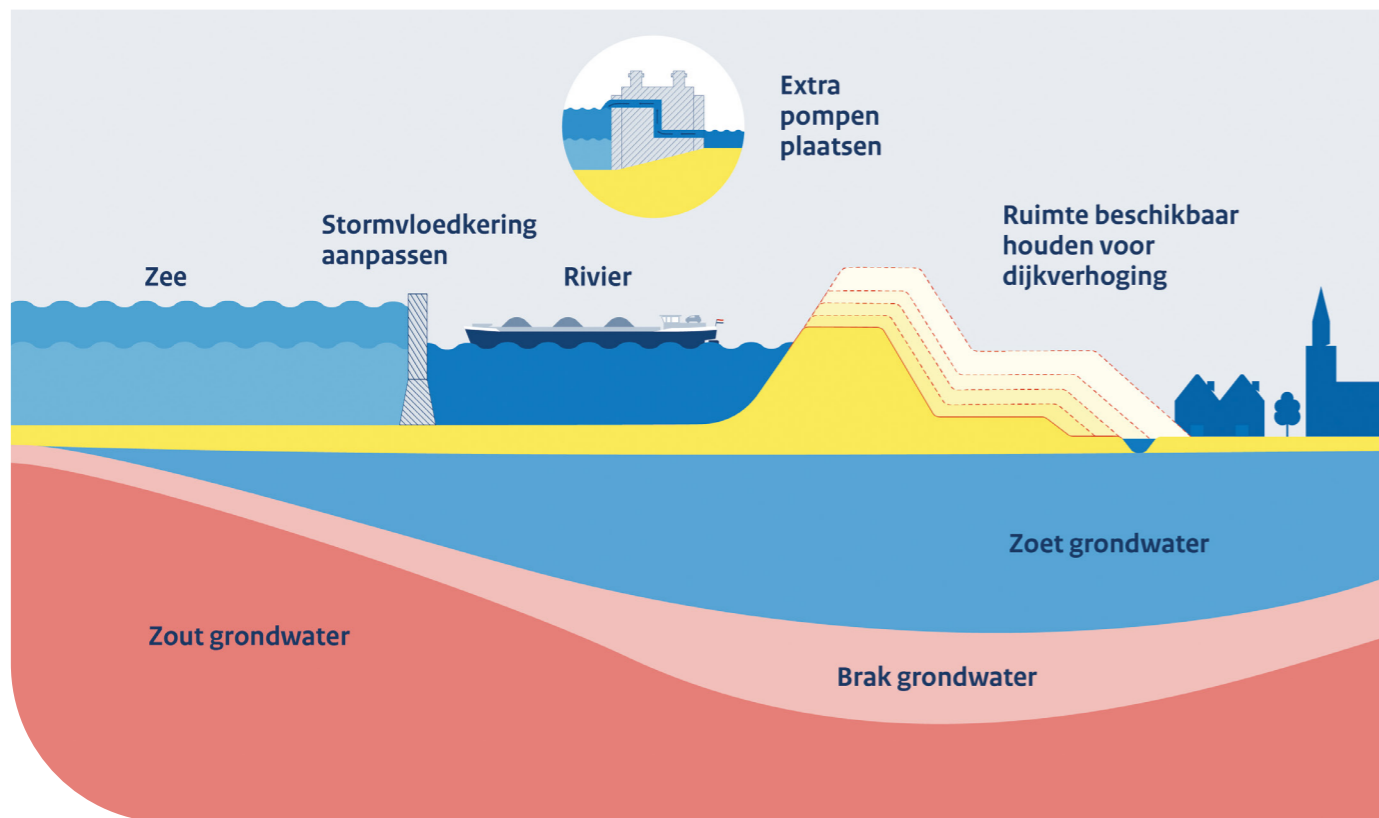
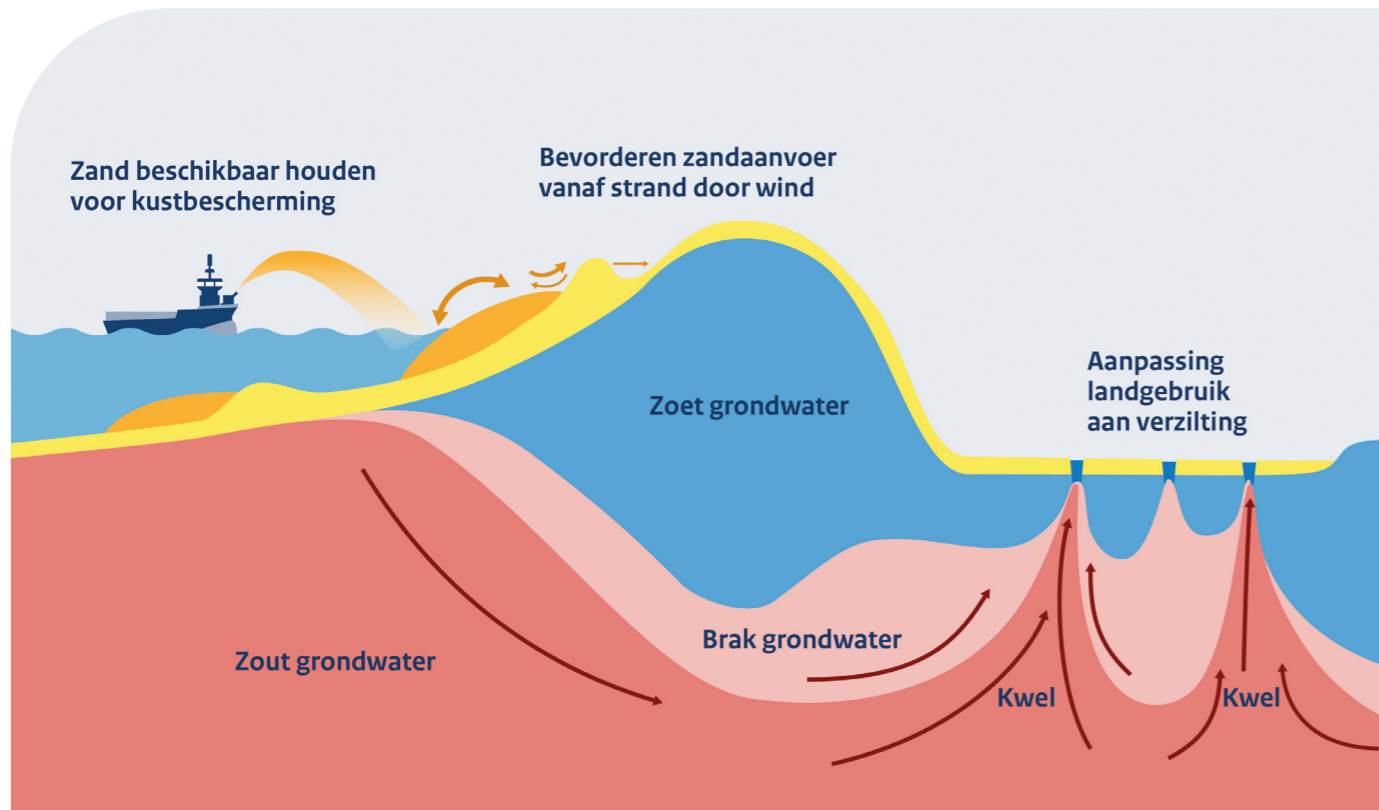
#### 3.1 Kunnen we ons blijven beschermen tegen overstromingen en houden we het water zoet?

##### Totaalbeeld

Zeespiegelstijging gaat ons en toekomstige generaties geld en ruimte kosten en heeft in toenemende mate maatschappelijke impact. We zullen continu moeten investeren in kustonderhoud, dijkversterkingen en de bestrijding van verzilting. Alleen dan kunnen we de bescherming tegen overstromingen op het huidige wettelijk niveau houden. Dat kunnen we tot 3 meter zeespiegelstijging volhouden en in principe ook tot 5 meter, als de stijging niet te snel gaat. Bij een te snelle stijging zou de uitvoerbaarheid in het geding kunnen komen. De verzilting kunnen we beperken, maar niet tegenhouden: het water wordt op verschillende

plaatsen onvermijdelijk zouter dan nu. Dat vraagt aanpassingen bij watergebruikers, onder meer in de land- en tuinbouw, natuurbeheer, industrie en drinkwaterbereiding. Door zeespiegelstijging komt het land steeds verder onder de zeespiegel te liggen. Bodemdaling versterkt dat. Voor de afvoer van overtollig water uit meren, kanalen en boezemstelsels moeten we daardoor steeds vaker pompen inzetten.

Zonder continue investeringen en aanpassingen wordt het risico van overstromingen geleidelijk groter en neemt de verzilting al in de loop van deze eeuw snel verder toe. De kans bestaat dat de zeespiegelstijging na 2050 sterk versnelt. Dan zijn op veel plaatsen tegelijk zeer ingrijpende en kostbare aanpassingen nodig. De uitvoerbaarheid en financiering zijn dan serieuze uitdagingen.



Figuur 2. Hoe kunnen we ons blijven beschermen tegen overstromingen en houden we het water zoet.

### Over waterveiligheid

We moeten in Nederland van oudsher continu inspanning leveren om ons te beschermen tegen overstromingen. In de wet staat hoe groot de kans op een overstroming maximaal mag zijn. Dat bereiken we door de kustlijn op zijn plaats te houden met zandsuppleties en door duinen, dijken en stormvloedkeringen veilig genoeg te houden. Waar stormvloedkeringen staan, staat het binnenwater bijna het hele jaar in open verbinding met de zee. Dat heeft voordelen voor natuur en visserij (Oosterschelde), de afvoer van rivierwater en de vrije doorvaart voor scheepvaart (Nieuwe Waterweg, Hartelkanaal, Hollandsche IJssel). De stormvloedkeringen gaan bij hoge waterstanden dicht voor de bescherming tegen overstromingen.

Als de zeespiegel stijgt zijn steeds meer zandsuppleties nodig om de kustlijn op zijn plaats te houden: op meer plaatsen, vaker en met grotere hoeveelheden zand. Ook moeten de waterkeringen in een groot deel van het land gaandeweg hoger en breder worden om voldoende bescherming te blijven bieden tegen de hogere waterstanden en golven. Langs het IJsselmeer en in de Rijn-Maasmonding zijn de dijkversterkingen enigszins te beperken met maatregelen die extreem hoge waterstanden dempen, zoals de inzet van grote waterbergingen en pompen. Dijken vormen dan nog steeds de spil van de waterveiligheid en het versterken van dijken blijft dan ook een grote continue inspanning. Stormvloedkeringen moeten steeds vaker sluiten. Stormvloedkeringen moeten steeds vaker sluiten. Als we het aantal sluitingen willen beperken, bijvoorbeeld voor de scheepvaart, kunnen we de sluitpeilen geleidelijk verhogen.

Buitendijkse gebieden, die niet beschermd worden door waterkeringen, komen door zeespiegelstijging op veel plaatsen vaker en dieper onder water te staan en op den duur permanent. Dit effect wordt groter als we de sluitpeilen van de stormvloedkeringen verhogen. Dat raakt onder meer buitendijkse gebieden rond Rotterdam en Dordrecht, waar woningen en bedrijven staan of getijdennatuur is.

### Over zoetwater

Voldoende zoetwater is essentieel voor de leefbaarheid. Door de ligging nabij de zee komt er zout in onze zoete wateren. Nederland stuurt op het zoet houden van een aantal grote zoete watersystemen: IJsselmeer, Amsterdam-Rijnkanaal, Volkerak-Zoommeer en verschillende rivierdelen in de Rijn-Maasmonding. Langs deze watersystemen liggen verschillende inlaatpunten waar watergebruikers zoetwater afstappen, onder meer voor peilbeheer en het doorspoelen van polders, natuur, drinkwaterbereiding, beregening van gewassen en koelwater in de industrie. De voorlopige ambitie is dat er landelijk gezien gemiddeld eens in de 20 jaar tekort aan zoetwater mag zijn (zie hoofdstuk 2).

In alle grote zoete watersystemen<sup>4</sup> treedt nu al verzilting op, omdat ze dicht bij zee liggen. We bestrijden de verzilting door het zoute water met zoet rivierwater weg te spoelen naar zee. Die aanpak loopt nu al in droge zomers tegen grenzen aan. Door zeespiegelstijging komt meer zout in de zoete wateren, maar door andere klimaateffecten is er 's zomers juist minder rivierwater om het weg te spoelen. Klimaatverandering leidt bovendien tot langere perioden van droogte en hogere temperaturen. Daardoor is meer zoetwater nodig voor bijvoorbeeld beregening en peilbeheer. Door deze combinatie van factoren hebben we steeds vaker niet genoeg rivierwater om én het zout weg te spoelen én water te onttrekken voor andere functies. Naarmate de zeespiegel verder stijgt wordt de voorlopige ambitie vaker niet gehaald. Dat heeft direct gevolgen voor bijvoorbeeld landbouw, natuur en drinkwaterwinning.

Met extra maatregelen kunnen we verzilting niet overal voorkomen, maar op bepaalde plaatsen wel beperken: bijvoorbeeld door het zout effectiever buiten te houden en het zoete rivierwater slimmer te verdelen. Daar zijn de komende decennia al investeringen voor nodig bij zeesluizen en andere waterinfrastructuur. Ondanks deze maatregelen neemt de verzilting toe. Zuiniger omgaan met zoetwater kan de gevolgen beperken. Ook komen we voor de keuze te staan om in delen van de zoete

<sup>4</sup> De Klimaatbestendige Zoetwatervoorziening Hoofdwatersysteem (KZH) is gericht op het zo veel mogelijk zoet houden van een aantal vastgestelde strategische zoetwaterbuffers en delen van rivieren en kanalen. In dit rapport worden deze buffers en delen van rivieren en kanalen van de KZH aangeduid met 'de grote zoete watersystemen' of 'de grote zoete wateren'.

watersystemen hogere zoutgehalten toe te laten of een aantal polders geheel te laten verzilten, zodat we andere plaatsen langer zoet kunnen houden. Een veel verdergaande maatregel is het tijdelijk afsluiten van riviertakken in de Rijn-Maasmonding in droge perioden. Dat is zeer effectief voor de zoetwaterbeschikbaarheid, maar heeft grote gevolgen voor andere functies.

### **Niet alle effecten zijn onderzocht**

Het onderzoek heeft op hoofdlijnen een beeld gegeven van de gevolgen van zeespiegelstijging voor waterveiligheid en zoetwater. Een aantal belangrijke effecten is nog niet onderzocht, zoals deze:

- de schade in buitendijkse gebieden door hogere waterstanden en eventuele maatregelen om deze schade te beperken en veilig gebruik mogelijk te houden;
- de gevolgen van zeespiegelstijging in de kleinere, regionale watersystemen (in combinatie met de gevolgen van bodemdaling);
- de benodigde maatregelen op plaatsen waar het hoofd- en regionale systeem bij elkaar komen, zoals inlaat- en uitwateringspunten, en de waterverdeling tussen grotere en kleinere watersystemen.

Deze nog niet onderzochte effecten kunnen relevant zijn voor het totaalbeeld, de uitvoerbaarheid van de benodigde maatregelen en de kosten.

## **3.2 Wat gaat hoogwaterveiligheid en zoetwater kosten bij zeespiegelstijging?**

Als we de bescherming tegen overstromingen op het huidige wettelijk niveau willen houden en verzilting zoveel mogelijk willen beperken, vraagt dat een grotere inspanning naarmate de zeespiegel verder stijgt. Daardoor nemen ook de kosten voor waterveiligheid en zoetwater toe. Een precieze inschatting is niet te geven, daar zijn de onzekerheden te groot voor, maar de onderzoeken geven wel een indicatie voor de verandering in de kosten bij 5 meter zeespiegelstijging in 2200:

### **Waterveiligheid:**

- Zandsuppleties voor de kust: de jaarlijkse kosten worden 3-7 keer zo groot als nu, met name vanwege omvangrijke suppleties langs de Noordzeekust van de Waddenzee (vaker, in grotere hoeveelheden en op meer plaatsen). De kosten kunnen hoger of lager uitvallen afhankelijk van bijvoorbeeld de beschikbare winlocaties (vaarafstand), eisen aan duurzaamheid en de ontwikkeling van nieuwe win- en suppletietechnieken.
- Dijkversterkingen: na het voltooiën van de dijkversterkingen in het nu lopende Hoogwaterbeschermingsprogramma (afgerond in 2050) blijven de jaarlijkse kosten van dijkversterkingen en de vervanging van stormvloedkeringen en andere kunstwerken ordegrrootte op het niveau van dat programma: 1,5-2 keer zo hoog.
- Daarbij komen kosten voor het beperken van schade in buitendijkse gebieden en veilige bewoning en bedrijvigheid in buitendijkse gebieden en andere niet onderzochte aspecten.

### **Zoetwater:**

- Welke maatregelen nodig zijn tegen verzilting hangt sterk af van politieke keuzes. Het is niet mogelijk de verzilting volledig tegen te gaan en dezelfde hoeveelheid zoetwater te houden als nu. De vraag is waar we verzilting en watertekort willen accepteren en waar niet. Dat bepaalt de maatregelen en de kosten. Als nieuwe infrastructurele maatregelen nodig zijn (zoals zoet-zoutscheidingsystemen, pompen of nieuwe keringen om waterlopen tijdelijk

af te sluiten) dan kunnen de kosten 1,5-3 keer zo hoog worden als nu.

### **Regionaal watersysteem:**

- Naast de kosten voor waterveiligheid en zoetwater in de grote wateren, zullen er aanzienlijke kosten zijn voor het omgaan met gevolgen van zeespiegelstijging in het omvangrijke stelsel van regionale watersystemen en op de plaatsen waar de grote en kleinere watersystemen op elkaar aansluiten. Deze kosten zijn niet onderzocht en niet meegenomen in de bovenstaande indicaties.

Tegenover de kosten staan de baten van deze maatregelen: leven in een veilige delta met een betrouwbaar systeem van waterveiligheid en zoetwatervoorziening. Hierbij kunnen voor specifieke functies wel aanvullende opgaven ontstaan (zie 3.4).

## **3.3 Zijn de benodigde maatregelen uitvoerbaar?**

De onderzochte maatregelen lijken uitvoerbaar als we steeds voorbereid zijn op nieuwe stappen. Daar past het voorbehoud bij dat alle inschattingen voor de verdere toekomst en zeer extreme scenario's met onzekerheden omgeven zijn. Zo is bijvoorbeeld onzeker welke nieuwe technieken er komen en hoe de beschikbaarheid van grondstoffen als zand zich ontwikkelt.

### **Snelheid van de zeespiegelstijging**

De snelheid waarmee de zeespiegel stijgt, bepaalt op termijn in hoge mate de uitvoerbaarheid van de benodigde maatregelen. Naarmate de zeespiegelstijging sneller gaat, moeten we grotere stappen zetten en meer geld in kortere tijd besteden. We moeten op veel plaatsen tegelijk grote aanpassingen doorvoeren. Dat stelt hoge eisen aan de snelheid van de besluitvorming en de mogelijkheid om genoeg mensen, middelen en materialen in te zetten.

In het zeer extreme scenario waar dit rapport over gaat, is de zeespiegel in 2100 met 2 meter gestegen en in 2200 met 5 meter. De benodigde aanpassingen zullen elkaar snel opvolgen. Dan kan

de uitvoerbaarheid in het geding komen. De tijd dat we profiteren van uitgevoerde aanpassingen is bovendien kort. In dat zeer extreme scenario stijgt de zeespiegel daarna snel door naar 6 en 7 meter. Welke maatregelen dan nodig zijn en wat dat betekent voor de uitvoerbaarheid, is niet onderzocht.

### **Technische aanpassingen**

Het suppleren van grotere hoeveelheid zand voor de kust en de aanvoer van zand vanaf verder weg gelegen winlocaties lijkt technisch mogelijk. Ook is het waarschijnlijk technisch mogelijk de waterkeringen sterk genoeg te maken voor een zeespiegelstijging van 5 meter, al zal de benodigde dijkversterking zeker niet overal gemakkelijk zijn en de versterking van stormvloedkeringen een complexe opgave worden. Het versterken van dijken waarbij in een eerdere fase constructieve elementen zijn toegepast, vraagt nog om innovatieve technische oplossingen.

Voor de bestrijding van verzilting zijn maatregelen nodig om zout water beter tegen te houden (zoals zoet-zoutscheidingsystemen bij sluisen en het plaatsen van pompen) en zoet rivierwater beter over het land te verdelen (zoals een grotere doorvoercapaciteit bij sluisen en stuwen). Dit soort maatregelen lijkt technisch gezien mogelijk. Als er op termijn voor gekozen wordt om riviertakken in de Rijn-Maasmonding bij langdurige droogte tijdelijk af te sluiten, is daar geheel nieuwe infrastructuur voor nodig, bijvoorbeeld nieuwe keringen en schutsluisen. Dat is technisch mogelijk, maar wel complex. Deze technische aanpassingen kunnen niet voorkomen dat het water op verschillende plaatsen zouter wordt: er ontstaat ook een grote opgave voor het aanpassen van het landgebruik (zie 3.4).

### **Beschikbaarheid van zand, klei en ruimte**

Voorwaarde voor de uitvoerbaarheid van zandsuppleties en dijkversterkingen is dat er genoeg zand in de Noordzee gewonnen kan worden en genoeg zand en klei op het land (bijvoorbeeld in het rivierengebied). In theorie zijn deze materialen in voldoende mate aanwezig. De vraag is of ze beschikbaar blijven gedurende de komende eeuwen,

want we zullen deze materialen ook voor andere doeleinden willen benutten, zoals de bouw van woningen en wegen. Vanaf 1 meter zeespiegelstijging zijn er binnen de huidige reserveringszone (NAP-20 meter tot 12 mijl uit de kust) niet genoeg mogelijkheden om Noordzeezand te winnen voor de benodigde suppleties langs de kust: er is wel genoeg zand aanwezig, maar het is op veel plaatsen niet beschikbaar, onder meer door kabels en leidingen en beschermde natuur. In het rivierengebied zullen de kleiwinningen grote impact hebben op het landschap, de cultuurhistorie en de natuur, ook in Natura 2000-gebieden.

Voor veel maatregelen is ruimte nodig. De waterkeringen moeten bijvoorbeeld over ruim 2000 km niet alleen hoger maar ook breder worden. Bij 5 meter zeespiegelstijging is daar een strook van tientallen meters extra voor nodig (10-90 meter) en lokaal nog meer. Vooral in bebouwde gebieden, zoals in de Rijn-Maasmonding en het rivierengebied, is dat complex. Constructies als damwanden kunnen ruimte besparen, maar dit soort oplossingen is over het algemeen duurder en niet altijd eenvoudig aan te passen als de zeespiegel daarna verder stijgt. Ook uitbreiding van de infrastructuur voor verziltingsbestrijding vraagt ruimte. Waar de verzilting toeneemt, kan aanpassing van het ruimtegebruik nodig zijn (zie ook 3.4).

Het borgen van voldoende materialen en ruimte draagt dan ook sterk bij aan de toekomstige uitvoerbaarheid van de benodigde maatregelen.

#### Andere aspecten die de uitvoerbaarheid bepalen

In aanvulling op de voorgaande punten zijn er nog andere onzekerheden die mede bepalen of de maatregelen uitvoerbaar zijn. Denk bijvoorbeeld aan de toekomstige kennis en kunde, de innovaties die tot ontwikkeling komen, de beschikbaarheid van mensen en financiële middelen en de inpasbaarheid in het landschap.

### 3.4 Welke opgaven ontstaan voor andere functies?

De onderzochte maatregelen voor de bescherming tegen overstromingen en de bestrijding van verzilting hebben impact op andere functies. Belangrijke gevolgen ontstaan voor:

- **Land- en tuinbouw:** ondanks de maatregelen zal een deel van laag-Nederland verzilten, met name polders in kustprovincies. Dat heeft consequenties voor de teelt van gewassen die kwetsbaar zijn voor verzilting.
- **Scheepvaart:** stormvloedkeringen moeten vaker sluiten. Dat geeft vaker beperkingen voor de scheepvaart en de haven economie. Deze beperkingen ontstaan ook als we de verzilting op termijn zouden willen bestrijden door een aantal riviertakken in de Rijn-Maasmonding in droge zomers tijdelijk af te sluiten met keringen.
- **Buitendijkse woningen en bedrijven:** buitendijkse gebieden komen vaker of permanent onder water te staan. Met name in de Rijn-Maasmonding veroorzaakt dat schade aan woningen en bedrijven (waaronder ook cultureel erfgoed).
- **Drinkwater:** het water bij een aantal inlaatpunten voor drinkwaterbereiding zal vaker de chloridenorm van 150 mg/l overschrijden. Ook kunnen we steeds minder drinkwater voor voorzuivering opslaan in de duinen. Dat vraagt aanpassingen in de drinkwatersector, zoals het verleggen van inlaatpunten.
- **Energievoorziening:** voor toenemende inzet van pompen/gemalen voor peilbeheer en zoutbestrijding en andere systemen voor zoutbestrijding (bellenschermen, zouthevens en dergelijke) is meer energie nodig.
- **Waterbeheer:** groeiende afhankelijkheid van technische beheersmaatregelen vraagt om meer menskracht, meer beheer en onderhoud en bescherming tegen verstoringen en terrorisme. Wanneer deze gevolgen ontstaan en in welke mate, verschilt per maatregel en is afhankelijk van de daadwerkelijke snelheid van zeespiegelstijging en klimaatverandering. Zeker is dat de impact op deze functies zonder maatregelen voor waterveiligheid en zoetwater veel groter is: de kans op overstromingen wordt groter en de verzilting neemt sterker toe.

De onderzochte maatregelen hebben ook impact op de milieu- en natuurkwaliteit, bijvoorbeeld:

- De winning van Noordzeezand voor zandsuppleties en de winning van zand en klei voor dijkversterkingen hebben aanzienlijke, veelal negatieve impact op natuurwaarden. Winning in het rivierengebied kan bij zorgvuldige inpassing ook kansen bieden natuur (zie Ruimte voor de Rivier).
- De stormvloedkeringen zullen vaker dicht gaan (tot enkele tientallen keren per jaar). Dat heeft negatieve impact op onder meer de biodiversiteit. Dit geldt ook voor het tijdelijk afsluiten van riviertakken in de Rijn-Maasmonding om verzilting in heel droge zomers te beperken.
- De toenemende inzet van pompen in plaats van spuien kan negatief zijn voor de vismigratie.
- In het IJsselmeer en Markermeer kunnen een hoger winterpeil en grotere fluctuaties in het zomerpeil bijdragen aan een betere waterafvoer en grotere zoetwaterbuffer. Deze maatregelen maken het waterstandverloop iets natuurlijker, wat gunstig is voor de natuur langs de oevers. Dit kan er wel

toe leiden dat bestaande broedgebieden verdwijnen of vaker overstromen.

- Het zoutgehalte gaat op verschillende plaatsen sterker fluctueren en de pieken worden hoger. De huidige natuur is daar niet altijd tegen bestand.
- De omvangrijkere zandsuppleties leidt tot extra energieverbruik, wat met de inzet van de huidige schepen tot grotere CO<sub>2</sub>-uitstoot zal leiden. Deze impact is deels met aanvullende maatregelen te verkleinen.

Ook los van de maatregelen heeft zeespiegelstijging gevolgen. Zo stijgen de waterstanden in bijvoorbeeld de Oosterschelde en de Rijn-Maasmonding niet alleen in extreme omstandigheden, maar ook in dagelijkse omstandigheden. Daardoor wordt de doorvaarthoogte onder bruggen kleiner. Intergetijdengebieden in bijvoorbeeld de Westerschelde, Oosterschelde en Waddenzee komen vaker onder water te staan, waardoor natuurwaarden verloren gaan. En waar verzilting niet te voorkomen is, is het huidige natuurdoel mogelijk niet meer haalbaar.



## 4. Verdiepende inzichten: waterveiligheid



Het huidige systeem voor de bescherming tegen overstromingen in Nederland is het resultaat van een eeuwenlange traditie. Kunnen we ons ook bij zeespiegelstijging goed blijven beschermen tegen overstromingen als we verder gaan op deze weg? Dit hoofdstuk geeft antwoorden.

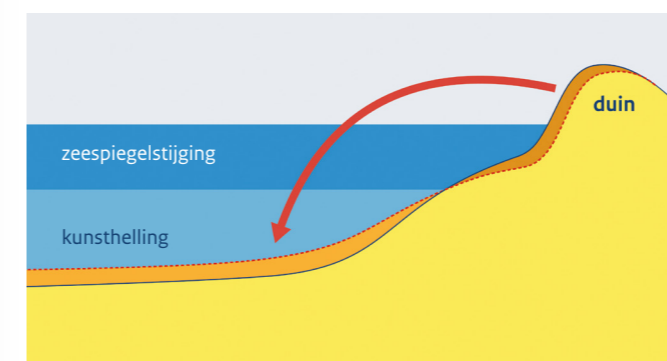
Meer informatie is te vinden in de onderzoeksrapporten (zie Bijlage 1).

### 4.1 De huidige inzet en de opgave door zeespiegelstijging

Nederlanders voeren al eeuwenlang strijd tegen overstromingen. Dat heeft inmiddels een zeer effectieve aanpak opgeleverd voor de waterveiligheid: we houden de kustlijn op zijn plaats met zandsuppleties en we beschermen ons land tegen overstromingen met waterkeringen.

#### 1. Kustlijn op zijn plaats

Als we niets doen, wordt Nederland kleiner: de kustlijn verschuift geleidelijk landwaarts, ook zonder zeespiegelstijging. Dat komt doordat golven en stroming stelselmatig zand weghalen uit de brandingszone, het strand en de voorste duinen (erosie). Met een doorlopend programma van zandsuppleties compenseren we dit zandverlies, zodat de kustlijn op zijn plaats blijft. Door zeespiegelstijging versnelt het erosieproces. Als we niets extra's doen, verliezen we geleidelijk land (zie Figuur 3).



**Figuur 3.** Bij zeespiegelstijging houden we de kustlijn met de huidige omvang van de zandsuppleties niet op zijn plaats.

#### 2. Sterke waterkeringen

Langs de kust, de zeearmen, de grote meren en de grote rivieren liggen 'primaire waterkeringen' die ons beschermen tegen overstromingen: dijken, dammen, duinen en stormvloedkeringen. Deze waterkeringen moeten voldoen aan wettelijke waarden voor de kans op een overstroming. We houden ze op orde met continu onderhoud en versterken de dijken als dat nodig is om aan de waarde uit de wet te blijven voldoen. Door zeespiegelstijging worden waterstanden en golven hoger. Dat leidt tot een grotere belasting van de waterkeringen in een groot deel van het land (zie Figuur 4). Als deze waterkeringen niet hoog en sterk genoeg zijn, kunnen ze bij een extreme hoge waterstand falen.



**Figuur 4.** Zeespiegelstijging leidt tot grotere belasting op de waterkeringen.

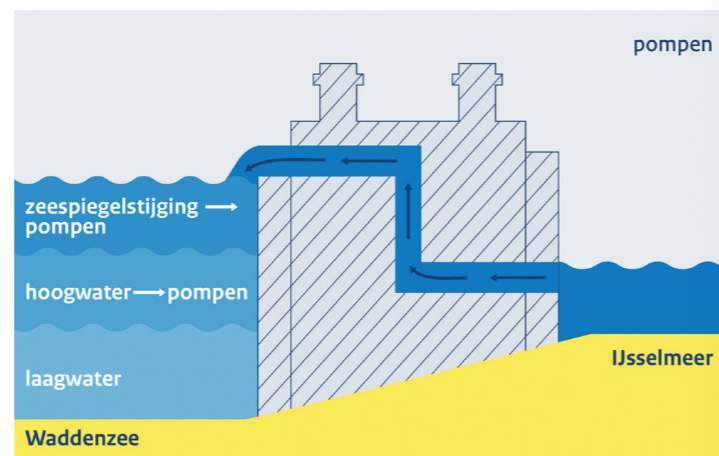
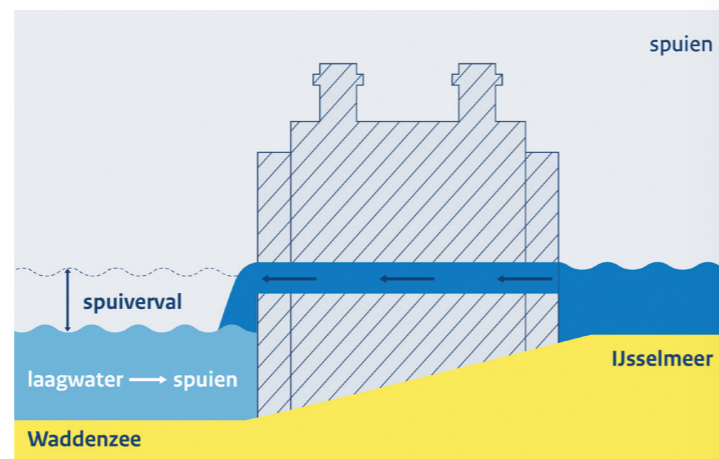
### 3. Waterstanden reguleren

Hoe hoog de waterkeringen moeten zijn, hangt ervan af hoe hoog het water in extreme omstandigheden kan komen te staan. Op een aantal plaatsen kunnen we de waterstanden deels regelen. Daarmee zorgen we ervoor dat het water in extreme omstandigheden minder hoog oploopt, zodat de waterkeringen minder hoog hoeven te zijn. Dat gebeurt nu op drie manieren:

- **Bergingsgebied voor rivierwater (retentie):** als hoge rivierafvoeren samenvallen met een hoge waterstand op zee en de stormvloedkeringen gesloten zijn, bergen we een deel van het rivierwater bijvoorbeeld tijdelijk in het Volkerak-Zoommeer. Daardoor lopen de waterstanden in de Rijn-Maasmonding iets minder hoog op. Door de combinatie van zeespiegelstijging en klimaatverandering (toenemende rivierafvoeren in de winter) wordt het effect van deze berging op de waterstanden relatief kleiner.
- **Stormvloedkeringen:** bij een stormvloed gaan de stormvloedkeringen in Zuid-Holland en Zeeland dicht (Maeslantkering, Hartelkering, Hollandsche IJsselkering, Haringvlietsluizen en Oosterscheldekering). Daardoor lopen de waterstanden achter de stormvloedkeringen minder hoog op. We sluiten de stormvloedkeringen als het zeewater naar verwachting hoger komt dan de afgesproken sluitpeilen. Als de zeespiegel stijgt, treedt het sluitpeil vaker op en moeten de stormvloedkeringen vaker sluiten (zie Figuur 5). Dat vraagt meer onderhoud aan de stormvloedkeringen en heeft gevolgen voor onder meer buitendijkse gebieden, scheepvaart en natuur. Bij zeespiegelstijging zijn op den duur hogere en betrouwbaardere stormvloedkeringen nodig om het zeewater buiten te houden.
- **Spuien en pompen:** bij dammen en zeesluizen spuien we overtollig water naar zee. Dit gebeurt bijvoorbeeld bij de Afsluitdijk, de Haringvlietsluizen, IJmuiden en Bath. Als het water op zee laag genoeg staat, kan het binnenwater via spuisluizen 'onder vrij verval' wegstromen. Naarmate de zeespiegel verder stijgt, worden de mogelijkheden om te spuien bij alle zeesluizen kleiner en zijn meer pompen nodig om het waterpeil te beheersen (zie Figuur 6).



Figuur 5. Bij zeespiegelstijging moeten de stormvloedkeringen vaker sluiten.



Figuur 6. Door zeespiegelstijging wordt het steeds moeilijker om water onder vrij verval naar zee weg te laten stromen.

## Zeespiegelstijging leidt hiermee tot drie vraagstukken voor de waterveiligheid:



1. Kunnen we de kustlijn bij zeespiegelstijging met zandsuppleties op zijn plaats houden?
2. Kunnen we de dijken bij zeespiegelstijging veilig genoeg houden?
3. Kunnen we de benodigde dijkversterkingen beperken met aanvullende maatregelen?

### 4.2 Vraag 1: Kunnen we de kustlijn bij zeespiegelstijging met zandsuppleties op zijn plaats houden?

Bij zeespiegelstijging kunnen we kustlijn niet overal op zijn plaats houden met de huidige suppletie-inspanning van 11 miljoen m<sup>3</sup>/jaar (zie Figuur 7). Daarom zijn aanvullende maatregelen gezocht die passen binnen de Beslissing Zand en de voorkeursstrategie voor de kust van het Deltaprogramma (zie ook hoofdstuk 2 onder Huidige aanpak). Het doel van de strategie is landverlies voorkomen en de duinen hoog en sterk genoeg houden. Hiermee houden we ook andere waarden van de zandige kust in stand, zoals recreatieve waarden en natuur. Belangrijke uitgangspunten zijn:

- de (basis)kustlijn met zandsuppleties op zijn plaats houden;
- het kustfundament laten meegroeien met de zeespiegelstijging (het gebied zeewaarts van de binnenduinrand tot 20 meter waterdiepte);
- waar aanvullende maatregelen nodig zijn kiezen we voor 'zacht waar het kan, hard waar het moet';
- geen zand winnen in het kustfundament.

Onderzocht is of we de kustlijn bij zeespiegelstijging op zijn plaats kunnen houden met de volgende twee maatregelenpakketten die in het verlengde van het huidige suppletieprogramma liggen:

- **pakket 1:** huidige manier van suppleren uitbreiden (meer zand, meer locaties)
- **pakket 2:** pakket 1 + grootschalige suppleties



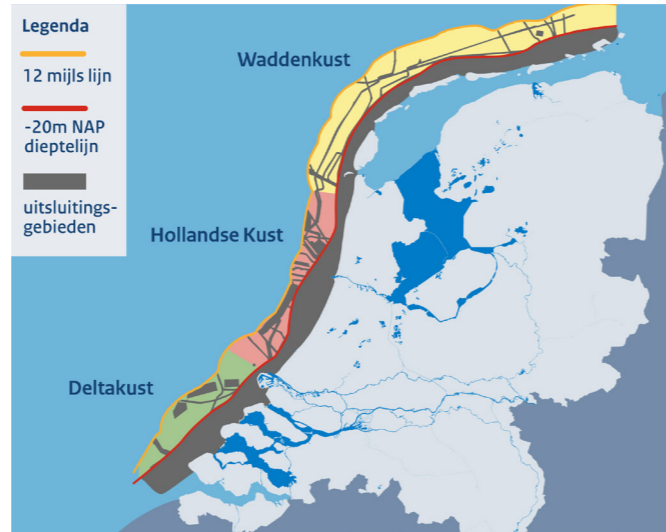
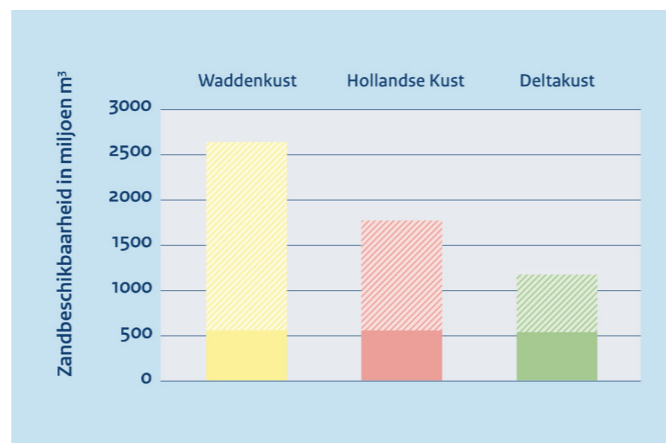
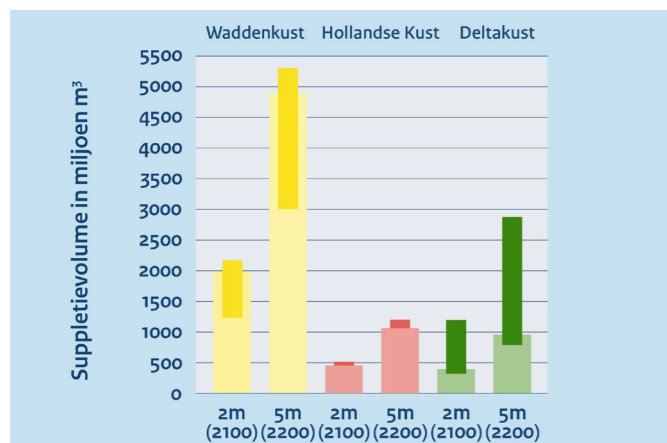
Figuur 7. We suppleren jaarlijks 11 miljoen kubieke meter zand in de kustzone, op de vooroever of op het strand. Het zand komt uit hiervoor aangewezen diepe delen van de Noordzee.

## Op hoofdlijnen: wat is het antwoord op de vraag?

De huidige aanpak om de kustlijn met zandsuppleties op zijn plaats te houden, is heel effectief voor de waterveiligheid. Zonder deze zandsuppleties zou Nederland geleidelijk land verliezen. De dijken en duinen langs de kust zouden we bovendien hoger en sterker moeten maken. We kunnen de kustlijn ook bij zeespiegelstijging met zandsuppleties op zijn plaats houden, zeker tot 3 meter zeespiegelstijging en in principe ook tot 5 meter zeespiegelstijging als er genoeg zand beschikbaar is.

Voor de Hollandse kust blijft de huidige manier van suppleren (pakket 1) toereikend tot 5 meter zeespiegelstijging, maar er is wel steeds meer zand nodig en op meer locaties (zie Figuur 8). Bij 5 meter zeespiegelstijging moeten we hier jaarlijks 2,5 keer zoveel zand suppleren als nu. Voor de kust van

de Zuidwestelijke Delta en de Noordzeekust van de Waddeneilanden is vanaf 3 meter zeespiegelstijging de inzet van pakket 2 nodig: dan zijn zulke omvangrijke hoeveelheden zand nodig dat grootschaliger inzet van relatief nieuwe suppletie methoden nodig is, zoals 'zandmotoren' of suppleties tussen de Waddeneilanden (op de buitendelta's). Voor de Zuidwestelijke Delta is nog onzeker hoe de kustzone zich gaat ontwikkelen; het lijkt erop dat daar uiteindelijk 3,5 keer zoveel zand als nu nodig is. Het meeste extra zand is nodig om de Noordzeekust van de Waddeneilanden op zijn plaats te houden: ongeveer 6 keer zoveel bij 5 meter zeespiegelstijging. Dat komt doordat de zone die moet meegroeien hier groot is en zand uit deze zone deels naar de Waddenzee wegstroomt.



**Figuur 8.** Naarmate de zeespiegel verder stijgt, moeten we meer zand suppleren om de kustlijn op zijn plaats te houden. De staafdiagram laat zien dat het meeste zand nodig blijft voor de Waddenkust. De donkere staafjes geven de bandbreedte weer (onzekerheid).

**Figuur 9.** Het staafdiagram boven laat zien hoeveel zand beschikbaar is voor zandwinning binnen de huidige reserveringszone. Het gekleurde deel is zeker beschikbaar, gearceerd is misschien beschikbaar. Het kaartje geeft de reserveringszone weer.

Het benodigde zand is aanwezig in de Noordzee. Om ook in de toekomst voldoende suppleties te kunnen uitvoeren, moet het wel mogelijk blijven dit zand te winnen. Vanaf 1 meter zeespiegelstijging lukt dat niet meer binnen de huidige reserveringszone (Figuur 9). Door het steeds intensievere ruimtegebruik in de Noordzee wordt het moeilijker om geschikte nieuwe zandwindlocaties te vinden. Windmolens, kabels, explosieven en vaargeulen kunnen de beschikbaarheid van de zandvoorraad beperken. Daarnaast zal Nederland wellicht ook voor andere functies meer Noordzeezand willen gebruiken.

## Verder ingezoomd: wat weten we nog meer?

### Duinen

Langs een groot deel van de kust vormen duinen de bescherming tegen overstromingen. Door de zandsuppleties stuift er op de meeste plaatsen zoveel zand naar de duinen dat ze meegroeien met de zeespiegelstijging. Dat betekent dat ze voldoende hoog en sterk blijven voor de bescherming tegen overstromingen. Als we de kustlijn met de bovengenoemde pakketten op zijn plaats houden, groeit circa 80% van de duinen tot 5 meter zeespiegelstijging mee; dat percentage is vergelijkbaar met de huidige situatie waarin de zeespiegel heel beperkt stijgt. De overige duinen kunnen vrijwel overal voldoende meegroeien door een kerf in de eerste duinenrij te maken, zodat het zand zich gemakkelijker naar de duinen verspreidt. Dit soort kerven passen we in Nederland al langer toe waar de waterveiligheid dat toelaat, bijvoorbeeld op Texel en in de Schoorlse duinen. Ook extra suppleties kunnen waar nodig het meegroeien van duinen stimuleren. Op een enkele plaats kan het op lange termijn nodig zijn zand in het duinengebied zelf te suppleren om de duinen sterk te genoeg te houden.

### Kustplaatsen

Bij kustplaatsen kunnen duinen meestal niet meegroeien met de zeespiegelstijging, omdat er bebouwing staat of een boulevard voor ligt. Dan is meestal een harde waterkering in het duin

aangebracht om voldoende bescherming tegen overstromingen te bieden. Dit is bijvoorbeeld het geval bij Scheveningen, Katwijk, Noordwijk en Vlissingen. Bij verdergaande zeespiegelstijging moeten we deze waterkeringen versterken.

### Actieve zone

Uitgangspunt van de kustlijn zorg is dat het kustfundament meegroeit met de zeespiegelstijging. Het kustfundament loopt van de binnenduintrand tot 20 meter waterdiepte. De zandsuppleties worden nu uitgevoerd in het hogere deel van het kustfundament: tussen de duinvoet en ongeveer 8 meter waterdiepte. Dit wordt de actieve zone genoemd. Uit de analyses voor het Kennisprogramma Zeespiegelstijging blijkt dat het voor de instandhouding van de kustlijn en de duinen geen meerwaarde heeft om zeewaarts van de actieve zone te suppleren. De berekeningen van de extra suppleties die bij zeespiegelstijging nodig zijn, zijn in dit rapport daarom gebaseerd op het laten meegroeien van de actieve zone.

### Groninger Wad

Ten oosten van Schiermonnikoog liggen geen Waddeneilanden die bescherming tegen overstromingen vragen. We voeren daar geen zandsuppleties uit, zodat de natuurlijke dynamiek alle ruimte krijgt. Mede hierdoor groeit het oostelijk deel van de Waddenzee mogelijk niet (volledig) mee met de zeespiegelstijging. Als daardoor intergetijdengebieden 'verdrinken' kan dat nadelig zijn voor de dijken langs de vastelandskust (de golfbelasting neemt toe) en voor de natuur van de Waddenzee (intergetijdengebied is van groot belang voor de natuurwaarde). Als we de actieve zone ten oosten van Schiermonnikoog laten meegroeien met de zeespiegel, kan het oostelijk deel van de Waddenzee mogelijk ook meegroeien. Daar is ten minste 0,1 miljoen m³ per jaar voor nodig bij 0,5 meter zeespiegelstijging tot ten minste 1,6 miljoen m³ per jaar bij 5 meter zeespiegelstijging. Dit kan op lange termijn een keuze zijn.

### 4.3 Vraag 2: Kunnen we de dijken bij zeespiegelstijging veilig houden?

Voor de bescherming tegen overstromingen met waterkeringen zijn maatregelen verkend die passen binnen de voorkeursstrategie voor waterveiligheid van het Deltaprogramma (zie ook hoofdstuk 2). Belangrijke onderdelen van deze voorkeursstrategie zijn:

- altijd voldoen aan het wettelijk vastgelegde beschermingsniveau: dijken, dammen, duinen en kunstwerken waar nodig versterken om aan de norm te blijven voldoen en kunstwerken en stormvloedkeringen vervangen als ze hun functie niet goed meer vervullen (einde van de functionele levensduur);
- de Rijn-Maasmonding en Oosterschelde hebben een open verbinding met de zee en zijn bij storm afsluitbaar met stormvloedkeringen (open-afsluitbaar systeem);
- spuien als het kan, pompen als het moet.

Zo'n 70-75% van de primaire waterkeringen ondervindt invloed van zeespiegelstijging. Voor een groot deel van deze keringen is onderzocht hoe hoog en breed ze moeten zijn bij verdergaande zeespiegelstijging. Niet onderzocht zijn onder meer keringen waarvan de benodigde hoogte en sterkte afhankelijk is van toekomstige keuzes over het peilbeheer (zoals de dijken rond het Volkerak-Zoommeer en de Grevelingen).

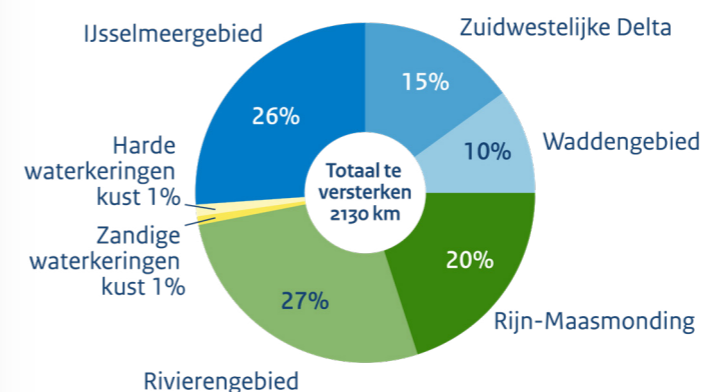
Bij het bepalen van de benodigde dijkversterkingen is als uitgangspunt genomen dat de stormvloedkeringen hooguit enkele keren per jaar sluiten, zodat het 'open-afsluitbare karakter' behouden blijft. Om dat te bereiken, zijn de sluitpeilen van de stormvloedkeringen in de analyses geleidelijk verhoogd bij toenemende zeespiegelstijging.

### Op hoofdlijnen: wat is het antwoord op de vraag?

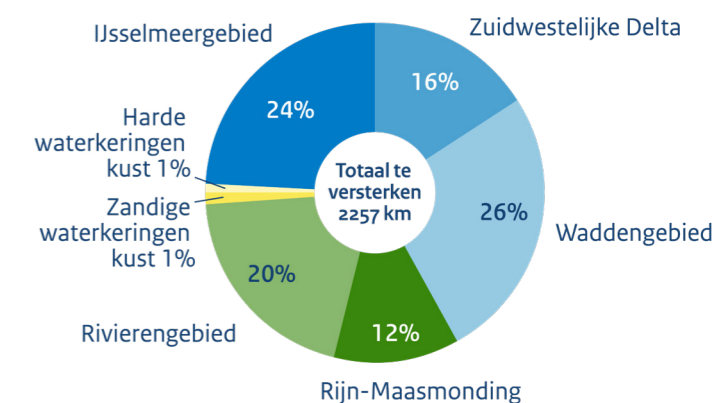
Met dijkversterkingen kunnen we de waterveiligheid tot een zeespiegelstijging van 3 meter op orde houden, al zullen er aanzienlijke uitdagingen zijn. De analyses voor 5 meter zeespiegelstijging zijn met een eenvoudiger aanpak gedaan, maar laten zien dat er vooralsnog geen reden is om te veronderstellen dat we de dijken in die situatie technisch gezien niet veilig genoeg kunnen maken. Het tempo waarmee dijkversterkingen tot stand moeten komen, kan de uitvoerbaarheid in de toekomst wel onder druk zetten.

De zee staat op veel plaatsen in dagelijkse omstandigheden in open verbinding met het hoofdwatersysteem. Een stijgende zeespiegel zorgt daardoor voor een hogere belasting op de waterkeringen, ook als nu maatregelen worden ingezet om waterstanden minder hoog op te laten lopen (berging, stormvloedkeringen of pompen). In de analyses is ervan uitgegaan dat in 2050 alle primaire waterkeringen aan de wettelijke waarden voldoen, zoals bedoeld met het huidige Hoogwaterbeschermingsprogramma. Door zeespiegelstijging zijn daarna op veel plaatsen verdere versterkingen nodig. Bij 1 meter zeespiegelstijging moet 60% van de primaire waterkeringen hoger en breder zijn dan in 2050 (ruim 2100 km). Deze waterkeringen liggen langs alle grote wateren die onder invloed van de zee staan, onder meer in de Rijn-Maasmonding tot ver stroomopwaarts langs de grote rivieren, Oosterschelde en Westerschelde en de vastelandskust van de Waddenzee (Figuur 10). Bij 3 meter zeespiegelstijging moet ruim 2200 km van de primaire waterkeringen (aanzienlijk) hoger en breder zijn. Bij 5 meter zeespiegelstijging moet een vergelijkbare lengte aan waterkeringen nog hoger en breder zijn. Een groot deel van deze waterkeringen ondervindt ook invloed van hogere rivierafvoeren als gevolg van klimaatverandering. Dat is meegenomen in de analyses van de benodigde versterkingen. De primaire waterkeringen die geen invloed van zeespiegelstijging ondervinden (circa 500 km) zullen onder meer door bodemdaling en hogere rivierafvoeren ook versterkt moeten worden.

1 m zeespiegelstijging



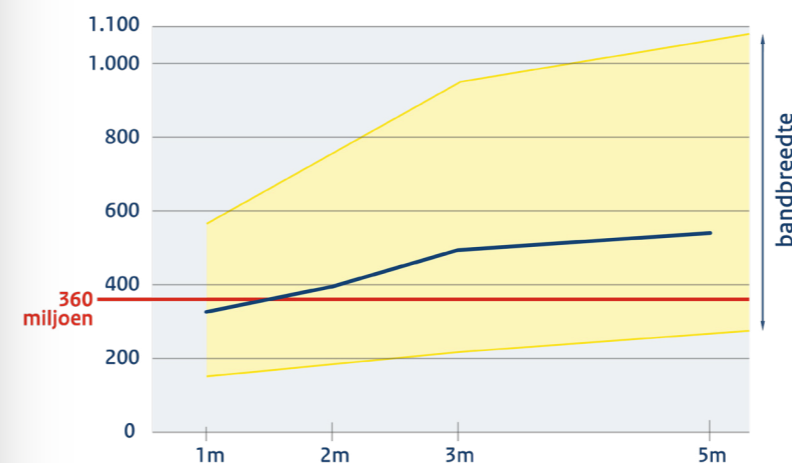
3 m zeespiegelstijging



**Figuur 10.** Bij 1 meter zeespiegelstijging moeten de primaire waterkeringen over meer dan 2100 kilometer sterker zijn dan na de afronding van het Hoogwaterbeschermingsprogramma in 2050 (cirkel boven). Bij 3 meter zeespiegelstijging moeten de primaire waterkeringen over ruim 2200 kilometer nog sterker zijn (cirkel onder). De te versterken keringen liggen langs alle grote wateren die onder invloed staan van zeespiegelstijging.

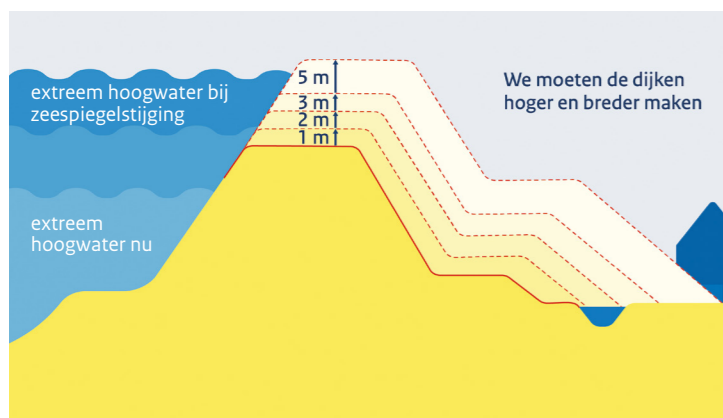
In de praktijk zullen we na de afronding van het nu lopende Hoogwaterbeschermingsprogramma (in 2050) continu met een vergelijkbare inspanning verder moeten werken aan nieuwe rondes dijkversterkingen om de zeespiegelstijging bij te houden en op ieder moment voldoende beschermd te zijn. De jaarlijkse kosten hebben dezelfde orde van grootte als de kosten van het huidige Hoogwaterbeschermingsprogramma (zie Figuur 11). Daarnaast zijn grote inspanningen en kosten gemoeid met het vervangen van de bestaande stormvloedkeringen, zeesluizen en andere kunstwerken als deze het einde van hun levensduur bereikt hebben (na circa 70-100 jaar) of hun functie door zeespiegelstijging niet goed meer kunnen vervullen. De kosten voor vervanging van de stormvloedkeringen bedragen tot 5 meter zeespiegelstijging naar schatting in totaal 15 à 20 miljard euro.

Jaarlijkse kosten (miljoenen euro's)



**Figuur 11.** Door zeespiegelstijging blijven continu investeringen in dijkversterkingen nodig. De kosten daarvan nemen toe, maar houden min of meer dezelfde orde van grootte als de kosten van het nu lopende Hoogwaterbeschermingsprogramma (360 miljoen euro per jaar). In aanvulling daarop zijn kosten gemoeid met het vervangen van stormvloedkeringen, zeesluizen en andere kunstwerken.

We moeten de dijken bij zeespiegelstijging (in combinatie met hogere rivierafvoeren) niet alleen hoger maar ook breder maken (zie Figuur 12). Voor versterking tot 5 meter zeespiegelstijging is rond de dijken een strook van tientallen meters extra nodig (10-90 meter, lokaal meer), veelal aan de landzijde. Vooral in bebouwde gebieden, zoals in de Rijn-Maasmonding en het rivierengebied, is dat een grote uitdaging. Waar niet genoeg ruimte voor zo'n brede dijk is, bieden constructieve maatregelen wellicht een oplossing. Deze zijn vaak duurder dan een reguliere versterking en niet altijd eenvoudig aan te passen als de zeespiegel daarna verder stijgt.



**Figuur 12.** Naarmate de zeespiegel verder stijgt, moeten we de dijken niet alleen hoger, maar ook breder maken. Daar is ruimte voor nodig.

Bij stijgende zeespiegel gaan de stormvloedkeringen vaker dicht. Als we de huidige sluitpeilen handhaven, sluit de Oosterscheldekering ongeveer 50 keer per jaar bij 1 meter zeespiegelstijging (nu gemiddeld eens in de 2 jaar) en de Maeslantkering ongeveer 6 keer per jaar (nu eens in de 10-20 jaar). Dat heeft onder meer gevolgen voor natuur, scheepvaart, de operationele belasting van de stormvloedkeringen en buitendijkse gebieden. We kunnen deze gevolgen deels beperken door de sluitpeilen vanaf circa 1 meter zeespiegelstijging geleidelijk te verhogen zodat het aantal sluitingen beperkt blijft. De gevolgen voor buitendijkse gebieden worden hiermee juist groter: zonder aanvullende maatregelen komen deze vaker en dieper onder water te staan, met consequenties voor de standzekerheid van bebouwing en de veiligheid van mensen die er wonen en werken.

## Verder ingezoomd: wat weten we nog meer?

### Dijkhoogte

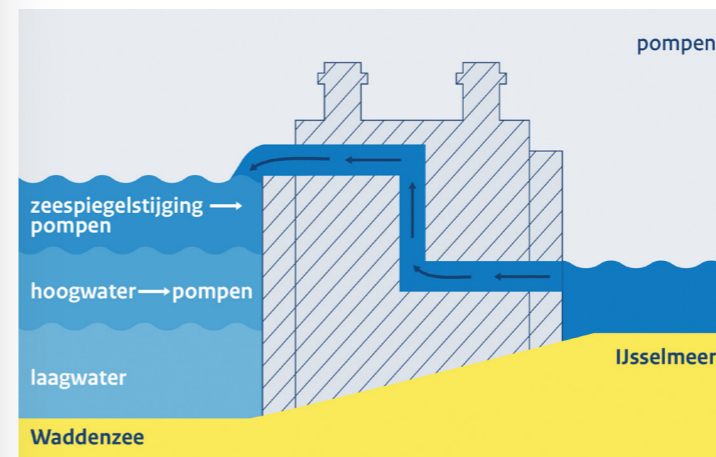
Hoe hoog de dijken moeten worden, verschilt per regio (zie Figuur 12). Langs de vastelandskust van Groningen en Friesland is de opgave relatief groot. De bodem van de Waddenzee groeit naar verwachting slechts gedeeltelijk mee met de zeespiegelstijging. Daardoor worden de golven langs deze kust hoger. Bij iedere meter zeespiegelstijging is hier een dijkverhoging van meer dan een meter nodig, omdat de golven ook hoger worden. Dat geldt in mindere mate ook voor dijkverhoging langs de Westerschelde.

Voor de andere grote wateren zijn de benodigde dijkverhogingen beperkter dan de mate van zeespiegelstijging. Dat geldt vooral voor dijken die achter een stormvloedkering liggen, zoals langs de Oosterschelde. Op de grote rivieren heeft zeespiegelstijging tot ver stroomopwaarts effect bij combinaties van hoge waterstanden op zee en hoge rivierafvoeren. In de buurt van Arnhem (Rijn), Nijmegen (Waal) en Mook (Maas) is dit effect uitgedoofd.

Langs de Noord- en Zuid-Hollandse kust bestaat de waterkering voornamelijk uit duinen. De duinen moeten bij zeespiegelstijging hoger worden, maar daar zijn in de praktijk nauwelijks extra maatregelen voor nodig: zolang we de kustlijn met zandsuppleties op zijn plaats houden, groeien de duinen op de meeste plaatsen vanzelf mee (zie 4.2).

### Minder spuien, vaker pompen

Vanaf ongeveer 0,5 meter zeespiegelstijging wordt het steeds moeilijker om water uit het IJsselmeer en het Noordzeekanaal naar zee te spuien en moeten we vaker pompen inzetten. Het beeld is nu dat we vanaf 1 meter zeespiegelstijging altijd moeten pompen om het huidige peil op het IJsselmeer te handhaven. Ook bij de andere spuisluizen, zoals de Bathse spuisluis, is dan (meer) pompcapaciteit nodig om wateroverlast of overstromingen te voorkomen (zie Figuur 13).



**Figuur 13.** Bij alle zee- en spuisluizen moeten we steeds vaker pompen inzetten om water af te voeren: spuien onder vrij verval wordt steeds moeilijker. Uiteindelijk is de afvoer naar zee bij alle sluisen volledig van pompen afhankelijk.

Peilverhoging kan soms een alternatief zijn om pompcapaciteit uit te sparen. Door het peil te verhogen blijft spuien langer mogelijk en dat is goedkoper dan pompen. Ook het toelaten van tijdelijke peilstijgingen tijdens hoogwater helpt daarbij. Dat kan niet overal. In het Amsterdam-Rijnkanaal zijn de mogelijkheden voor tijdelijke peilstijgingen zeer beperkt: dat leidt al snel tot wateroverlast, ook in stedelijk gebied. In het IJsselmeer kan peilstijging tijdens hoogwater een overweging zijn, maar dat kan wel aanpassingen vragen aan de dijken en kunstwerken.

## 4.4 Vraag 3: Kunnen we de benodigde dijkversterkingen beperken met andere maatregelen?

Onderzocht is of de opgave voor dijkversterkingen kleiner en goedkoper wordt als we de waterstandsverhoging door zeespiegelstijging met andere maatregelen kunnen beperken. Dit is verkend voor de Rijn-Maasmonding: deze kapitaalintensieve regio biedt hier verschillende mogelijkheden voor en het effect van de maatregelen heeft impact op een groot gebied.

Voor de Rijn-Maasmonding zijn drie maatregelenpakketten uitgewerkt die passen binnen de deltabeslissing Waterveiligheid en de voorkeursstrategieën (zie hoofdstuk 2). Het gaat om maat-

regelen op operationeel niveau (zie hoofdstuk 2), gericht op het beperken van de waterstandsverhoging bij gesloten stormvloedkering. Dit zijn de maatregelenpakketten (zie Figuur 14):

- **Pakket 1:** dijkversterkingen + extra berging in het Volkerak-Zoommeer en berging in de Grevelingen
- **Pakket 2:** pakket 1 + verbetering van de stormvloedkeringen in de Rijn-Maasmonding (verkleining van de kans dat Maeslantkering en Hartelkering niet sluiten als dat wel moet en verhoging van Maeslantkering, Hartelkering en Haringvlietluizen)
- **Pakket 3:** pakket 2 + inzet van pompen bij de Maeslantkering (3000 m<sup>3</sup>/s) en de Haringvlietdam (7000 m<sup>3</sup>/s).

## Op hoofdlijnen: wat is het antwoord op de vraag?

We kunnen de opgave voor dijkversterkingen verkleinen als we extra maatregelen treffen om de stijging van waterstanden te beperken. De maatregelen die per pakket worden toegevoegd, hebben een vergelijkbaar effect op het beperken van de waterstandsstijging; hoe groot het effect is, hangt af van de snelheid van de zeespiegelstijging. Het effect van de maatregelen neemt af naarmate de zeespiegel verder stijgt. Met de drie pakketten voor de Rijn-Maasmonding samen is de waterstandsval maximaal: regionaal circa 50 cm bij 1 meter zeespiegelstijging. De toenemende belasting op de waterkeringen door zeespiegelstijging wordt hiermee met 30-40% teruggebracht. Bij 3 meter zeespiegelstijging is het effect in centimeters groter, tot 70 cm regionaal, maar ten opzichte van de zeespiegelstijging is het flink afgenomen (10% van het effect van de zeespiegelstijging). Dit komt ook door hogere sluitpeilen van de stormvloedkeringen. Bij 5 meter zeespiegelstijging is de beperking van de waterstand vergelijkbaar met het effect bij 3 meter zeespiegelstijging, maar het relatieve effect ten opzichte van de zeespiegelstijging is dan verwaarloosbaar. Het effect op de waterstanden is het grootst in de buurt van de maatregel.



**Figuur 14.** In de drie onderzochte pakketten komt er steeds een extra maatregel bij om de waterstandsverhoging in de Rijn-Maasmond te beperken. Dijken versterken is de basis. Met pakket 1 wordt waterberging toegevoegd, met pakket 2 verbetering van de stormvloedkering en met pakket 3 grote pompen bij de Maeslantkering en de Haringvlietluizen.

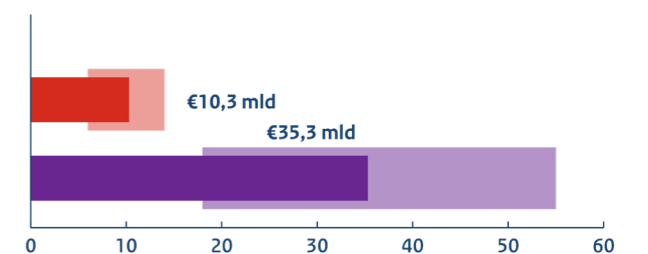
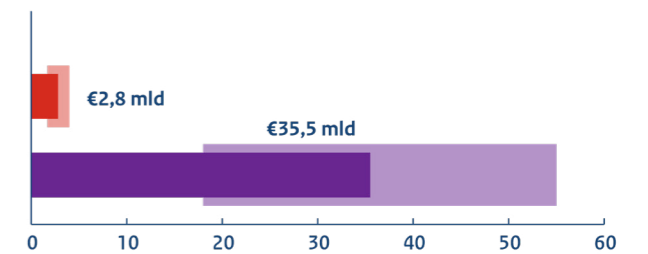
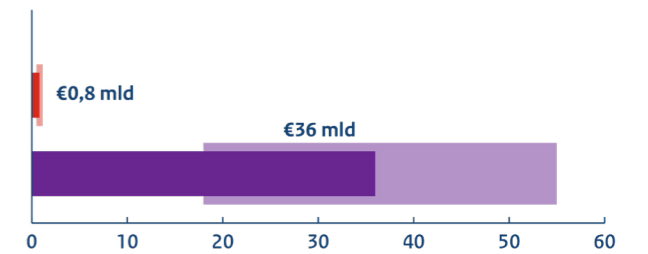
De drie pakketten hebben ieder een ongeveer even groot aandeel in het beperken van de waterstandsstijging in extreme omstandigheden, maar op verschillende locaties.

## Effecten op hydraulische belasting



## Dijkenkosten en pakketkosten

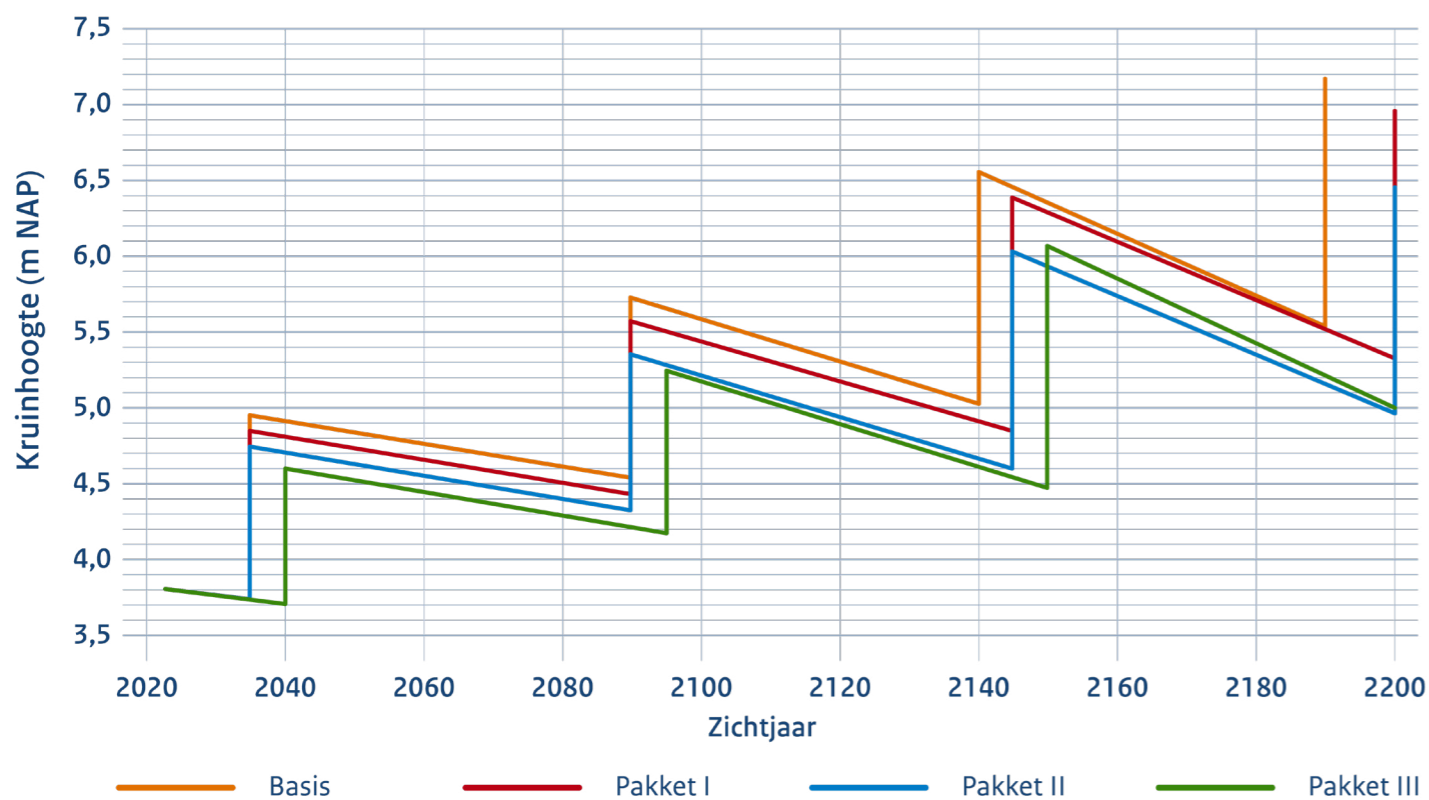
Kosten in miljarden euro's.  
In de basissituatie zijn kosten voor 2200 Ext 36,3 mld euro.



**Figuur 15.** De figuur laat het effect van de drie waterstandsverlagende pakketten zien bij 3 meter zeespiegelstijging. De linker kolom geeft de maatregel weer die per pakket wordt toegevoegd. In de middelste kolom staat het effect op de belasting van de dijken: hoe donkerder de kleur, hoe sterker de toegevoegde maatregel de belasting op de dijken vermindert en daarmee de benodigde dijkversterkingen. Rechts staan de kosten: de gele balk geeft de kosten van de benodigde dijkversterkingen weer, de rode balk de bijkomende kosten van de maatregelen uit de pakketten. Hieruit blijkt dat de kosten van de maatregelen relatief klein zijn ten opzichte van de kosten voor dijkversterkingen en dat de kosten van de dijkversterkingen nauwelijks afnemen.

Ondanks dit positieve effect op de waterstanden (en daarmee op de hoogte en sterkte van de dijken) zijn de besparingen op dijkversterkingen door deze maatregelen gering: de kosten van dijkversterkingen worden maximaal 3% lager (zie Figuur 15). De belangrijkste reden is dat de waterstanden in dagelijkse, niet-extreme omstandigheden ook hoger worden, door zeespiegelstijging en doordat de stormvloedkeringen bij hogere waterstanden sluiten. Dat vraagt hogere en sterkere dijken. En ook als de zeespiegelstijging niet of nauwelijks zou stijgen, is gemiddeld eens in de vijftig jaar

een dijkversterkingsronde nodig (zie Figuur 16): bijvoorbeeld door bodemdaling (hierdoor zakken de dijken geleidelijk naar beneden, met name in veenweidegebied en de jonge zeekleipolders in Flevoland), zettingen (het inklinken van de dijk) of stijgende rivierafvoeren (door klimaatverandering). Dát ergens een dijkversterking in uitvoering gaat, brengt de grootste kosten met zich mee; de omvang van de versterking is minder bepalend. Bij minder extreme scenario's voor de zeespiegelstijging kan het effect van de maatregelen (tijdelijk) gunstig uitpakken.



**Figuur 16.** De waterstandsverlagende pakketten hebben beperkt effect op de benodigde dijkversterkingen in de Rijn-Maasmonding. Dat komt doordat we de dijken ook met deze pakketten na enkele decennia moeten versterken: de dijken voldoen dan niet meer, onder meer door bodemdaling (vooral in veenweidegebied), het inklinken van de dijk (zetting) en hogere rivierwaterstanden (door klimaatverandering). Door de pakketten komt het moment van versterken wel iets later.

Extra maatregelen om de waterstandsstijging te beperken maken de totale opgave, inclusief de dijkversterkingen die dan toch nog nodig zijn, duurder. De meerkosten van de pakketten met extra berging en verbeteringen bij stormvloedkeringen (pakket 1 en 2) zijn gering ten opzichte van de kosten van

alleen dijken versterken, maar het gaat hierbij wel om investeringen ineens (in tegenstelling tot de kosten van de dijkversterkingen die gelijkmatig over de hele periode plaatsvinden). De meerkosten van extra pompen (pakket 3) zijn substantieel.

Tegenover de meerkosten van de maatregelen om waterstandsverhoging te beperken staan voordelen:

- Door de extra maatregelen gaan de dijken langer mee (zie Figuur 15).
- Er is er minder ruimte nodig voor dijken, omdat ze (iets) minder hoog en breed hoeven te zijn.
- Door de maatregelen komt een deel van de buitendijkse gebieden minder vaak en minder diep onder water te staan bij gesloten stormvloedkeringen. Dit effect is beperkt en neemt niet weg dat veel buitendijkse gebieden bij een hogere mate van zeespiegelstijging zonder extra beschermende maatregelen onder water komen te staan.

Deze voordelen zijn niet meegenomen in de inschatting van de meerkosten van de pakketten.

#### Verder ingezoomd: wat weten we nog meer?

##### Maximaal effect

Er is een maximum aan de waterstandsverlaging die in extreme omstandigheden haalbaar is in een 'open-afsluitbare' Rijn-Maasdelta. Voor de Maeslantkering geldt nu een sluitpeil van NAP + 3 meter. Als de verwachte waterstanden laten zien dat het sluitpeil wordt bereikt of overschreden, gaat de stormvloedkering dicht. De sluiting vindt plaats ruim voordat het sluitpeil bereikt wordt (de Maeslantkering sluit bij ongeveer NAP + 2,2 meter). In theorie is de waterstand direct achter de kering gelijk aan het waterpeil op het moment van sluiten. In de praktijk loopt het waterpeil na sluiting op door rivierwater dat niet naar zee kan wegstromen en zich ophoopt. Ook loopt de waterstand hoger op als de kering niet sluit terwijl dat wel zou moeten. De waterstandsverlaging die maximaal te bereiken is, ontstaat als geen ophoping van rivierwater optreedt en de kering altijd sluit als het moet. Het effect van de drie onderzochte pakketten ligt in de buurt van dit maximale effect. Daarmee geven de drie pakketten een goed beeld van de mogelijkheden om de benodigde dijkversterkingen bij zeespiegelstijging te beperken met extra waterstandsverlagende maatregelen. Zelfs bij het maximale effect blijven dijkversterkingen nodig en vormen ze 80% van de kosten voor het handhaven van de voorkeursstrategie in de Rijn-Maasmonding.

##### Extra berging in Oosterschelde

Pakket 1 bestaat uit extra waterberging in het Volkerak-Zoommeer en de Grevelingen om de waterstanden in de Rijn-Maasmonding in extreme omstandigheden te verlagen. Met een gevoeligheidsanalyse is onderzocht of waterberging in de Oosterschelde in aanvulling daarop extra waterstandsverlaging kan opleveren. Hoewel het totale oppervlak van de waterberging hiermee fors toeneemt, blijkt het effect beperkt. Dat komt doordat het water relatief langzaam naar deze berging stroomt, doordat de waterstandsverschillen klein zijn. De waterstanden in de Rijn-Maasmonding dalen bij berging in de Oosterschelde maximaal 10-20 cm extra. Dat levert een besparing van minder dan 1% op de dijkversterkingen in deze regio op. Mogelijk moeten de dijken langs de Oosterschelde bij deze maatregel versterkt worden. De plotselinge toevoer van zoetwater zal impact hebben op de ecologie en mosselvisserij in de Oosterschelde; die effecten zijn niet onderzocht.

##### Pompen

De inzet van pompen om in extreme omstandigheden water af te voeren naar zee klinkt als een gemakkelijke maatregel om de belasting op dijken te beperken, maar in de Rijn-Maasmonding is dit complex en vooral ook zeer kostbaar in vergelijking met (alleen) dijkversterkingen en andere onderzochte maatregelen. De bescherming tegen overstromingen wordt hiermee mede afhankelijk van een technische maatregel die kan falen en dat maakt de bescherming kwetsbaarder. Garanderen dat de pompcapaciteit beschikbaar is op het moment dat pompen nodig is, vraagt dan ook speciale aandacht. Dat geldt ook voor de levering van de benodigde energie. Het gaat hierbij om grote gemalen waar ook genoeg ruimte voor moet zijn. Pompen op de Afsluitdijk zijn bedoeld om vooral in dagelijkse omstandigheden het waterpeil te reguleren. Met dit doel is pompen effectiever en gemakkelijker uitvoerbaar en inzetbaar.

### **Andere maatregelen om verhoging van waterstanden te beperken**

Een aantal andere onderzoeken geeft de volgende aanvullende inzichten in de mogelijkheden om hogere waterstanden door zeespiegelstijging te beperken:

- Voor het IJsselmeer is onderzocht of dijkversterkingen te beperken zijn door meer pompen op de Afsluitdijk te plaatsen, om overtollig water sneller af te voeren. In het huidig beleid is de optie opengelaten om het gemiddelde winterpeil (in dagelijkse omstandigheden) na 2050 mee te laten stijgen met de zeespiegel, met maximaal 30 centimeter. Daarnaast zullen (ook zonder peilverhoging) in de winter grotere pieken in de meerpeilen ontstaan. Het lijkt mogelijk om deze hogere meerpeilen met pompen te handhaven tot een zeespiegelstijging van 5 meter. Dat vraagt een veelvoud van de huidige pompcapaciteit en stelt hogere eisen aan de dijken rond het IJsselmeer (inclusief Afsluitdijk) en Markermeer en de bescherming van de IJssel-Vechtdelta.
- Een onderzoek van Rijkswaterstaat heeft in beeld gebracht welke mate van zeespiegelstijging de stormvloedkering in de Oosterschelde aan kan. Hieruit blijkt dat het voor het operationeel beheer wenselijk is om het aantal sluitingen te beperken tot circa 10 per jaar. Dat kan door het sluitpeil vanaf een zeespiegelstijging van 60 cm te verhogen. Vanaf 70 cm zeespiegelstijging is het nodig de kering en een aantal dijken rond de Oosterschelde te versterken.
- Een gevoeligheidsanalyse laat zien dat de waterstand in de Hollandsche IJssel in extreme omstandigheden vooral gunstig te beïnvloeden is door de Hollandsche IJsselkering betrouwbaarder te maken en er een gemaal bij te plaatsen. Dan zijn nog steeds dijkversterkingen langs de Hollandsche IJssel nodig, maar wel minder. Hoe kosteneffectief dat is, is niet onderzocht.
- In het rivierengebied zijn dijkverhogingen mogelijk te beperken met rivierverruiming. Het programma Ruimte voor de Rivier 2.0 brengt dit in beeld.

## **4.5 Voorwaarden voor de uitvoerbaarheid**

### **Technische uitvoerbaarheid**

Het lijkt technisch mogelijk om de benodigde omvangrijkere zandsuppleties tot 5 meter zeespiegelstijging uit te voeren. Daarbij zullen we op grotere schaal gebruik moeten maken van relatief nieuwe methoden als zandmotoren en buitendeltasuppleties. Ook zijn nieuwe uitvoeringstechnieken nodig om de impact op onder meer natuur, milieu en energieverbruik te beperken. Het is in principe mogelijk om de waterkeringen tot een zeespiegelstijging van 5 meter hoog en sterk genoeg te maken. Er zijn althans geen aanwijzingen dat het niet mogelijk is. De benodigde dijkafmetingen en kosten zijn wel vrij grof ingeschat. Een verfijningsslag kan een ander beeld opleveren. Ook kan het technisch ingewikkeld zijn om een dijk in de benodigde mate te versterken, bijvoorbeeld waar eerder een technische constructie als een damwand is toegepast. Dijkversterkingen zullen een blijvend grote inspanning vragen. Bij de versterking van stormvloedkeringen komen aanzienlijke uitdagingen kijken, zoals complexe analyses van de effecten, de inpassing en de aansluiting op andere infrastructuur.

### **Beschikbaarheid van zand en klei**

Voor zandsuppleties en dijkversterkingen zijn bij zeespiegelstijging grote hoeveelheden zand en klei nodig. Voor zandsuppleties is voldoende zand in de Noordzee te vinden, maar daarvoor moeten we wel de mogelijkheden om zand te winnen uitbreiden: op meer locaties en mogelijk tot grotere diepte. Ook moet het zand beschikbaar blijven voor zandsuppleties. Voor de dijkversterkingen is in theorie voldoende zand en klei aanwezig in de uiterwaarden van de grote rivieren, maar als we uiterwaarden met hoge archeologische waarden, particulier eigendom en natuurwaarden buiten beschouwing laten, is hier slechts een derde van het benodigde materiaal beschikbaar. Dieper onder de uiterwaarden, onder het grondwater, is veel meer sediment beschikbaar; de winning hiervan is complexer en duurder en kan ongewenste effecten hebben op de rivier, het grondwater en natuur. Ook buiten het rivierengebied zijn mogelijk wingebieden voor zand en klei te

vinden. Dat kan wel consequenties hebben voor de transportkosten en de impact van het transport op het milieu.

### **Uitvoerbaarheid bij snellere zeespiegelstijging**

Naarmate de zeespiegel sneller stijgt, moeten we de benodigde maatregelen voor de waterveiligheid sneller uitvoeren. We zullen de zandsuppleties sneller moeten opschalen, de opgave per dijkversterkingsronde wordt groter en we moeten de stormvloedkeringen eerder versterken of vervangen. Dat lijkt haalbaar als we er op tijd voldoende capaciteit en middelen voor inzetten. Als de versterkingsrondes elkaar snel opvolgen, kan het nodig zijn nieuwe uitvoeringsstrategieën te ontwikkelen. In het zeer extreme scenario waar dit rapport over gaat, is de zeespiegel in 2200 met 5 meter gestegen. In dat scenario stijgt de zeespiegel daarna snel door naar 6 en 7 meter. Welke maatregelen dan nodig zijn en wat dat betekent voor de uitvoerbaarheid, is niet onderzocht.

## **4.6 Aanvullende opgaven voor wonen en werken in Nederland**

### **Woningen en bedrijven**

Voor dijkversterkingen is extra ruimte nodig. Dat beperkt de mogelijkheden om die ruimte voor andere doeleinden te gebruiken, bijvoorbeeld voor woningen of bedrijfsruimte. Dat vergroot de toch al hoge druk op de ruimte. Buitendijkse gebieden komen op veel plaatsen vaker onder water te staan en het water komt dan ook hoger te staan. Woningen en bedrijven in deze gebieden krijgen vaker met wateroverlast te maken; sommige gebieden komen ook in de gematigde scenario's permanent onder water te staan. Dat leidt tot schade en veiligheidsrisico's. Om de gebieden droog, veilig en bereikbaar te houden, zijn aanpassingen nodig. Daar zijn ook kosten mee gemoeid.

### **Scheepvaart**

De stormvloedkeringen in Zuid-Holland zullen vaker sluiten. Dat heeft gevolgen voor de scheepvaart en de havenindustrie. Daarnaast zal de doorvaarthoogte onder bruggen kleiner worden door hogere waterstanden op de binnenwateren.

### **Natuur, landschap en cultuurhistorie**

Zandwinning in de Noordzee voor zandsuppleties langs de kust heeft negatieve impact op de natuur: het leven op en in de bodem wordt weggehaald en het duurt enige tijd voordat het terugkeert. Meer zandwinning heeft meer impact. Zand- en kleiwinning in de uiterwaarden voor dijkversterkingen heeft grote impact op het landschap en cultuurhistorische elementen. Ook kan deze winning negatief zijn voor natuur, maar er kunnen ook kansen ontstaan voor de ontwikkeling van nieuwe natuurlijke leefgebieden (zie Ruimte voor de Rivier). Natuur in oeverzones verdwijnt of verliest aan kwaliteit door hogere waterstanden. Dat heeft ook negatieve impact op de bereikbaarheid van andere habitats. Het vaker sluiten van stormvloedkeringen in de Oosterschelde en Zuid-Holland heeft negatieve impact op getijdennatuur. De winning van grotere hoeveelheden zand en klei veroorzaakt daarnaast grotere uitstoot van CO<sub>2</sub> en stikstof.

### **Bouw**

De toenemende omvang van de zandsuppleties en de dijkversterkingen leiden tot een grotere vraag naar Noordzeezand en zand en klei uit het rivierengebied. Dat kan leiden tot concurrentie met andere activiteiten die deze materialen ook nodig hebben. Denk bijvoorbeeld aan de vraag naar zand voor woningbouw en infrastructuur.

## 5. Verdiepende inzichten: zoetwater



Dat er zout water in onze zoete wateren doordringt, is onlosmakelijk verbonden met de ligging aan zee. In de loop van de eeuwen hebben we voor de continue strijd tegen deze verzilting steeds groter technisch vernuft ingezet. Kunnen we ons ook bij zeespiegelstijging goed blijven beschermen tegen verzilting als we verder gaan op deze weg? Dit hoofdstuk geeft antwoorden.

Meer informatie is te vinden in de onderzoeksrapporten (zie Bijlage 1).

### 5.1 De huidige inzet en de opgave door zeespiegelstijging

Nederland beschikt doorgaans over veel zoetwater. Gedurende het jaar regent het relatief veel en de Rijn en de Maas voeren altijd zoetwater aan. Maar door de nabijheid van de zee komt er op verschillende plaatsen zout in het zoete water: via open riviermondingen, zeesluizen, lekkage bij spuisluizen en gemalen en via het grondwater (zie Figuur 17). Hierdoor verzilt het zoete water. De verzilting is het sterkst in de zomer, als er minder rivierwater naar zee stroomt.

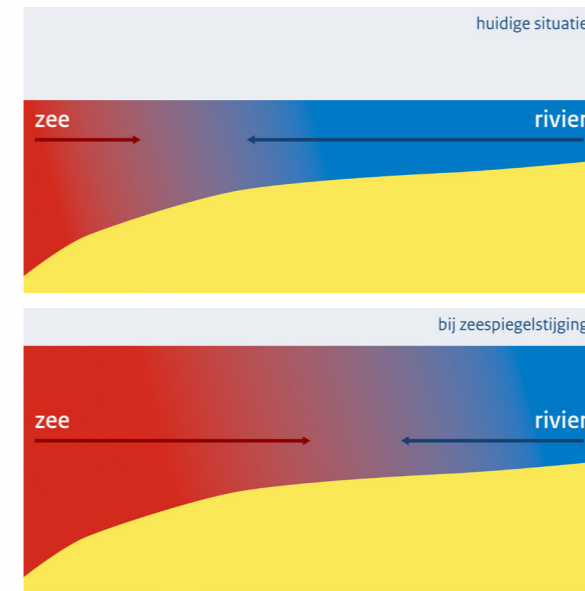
In tijden van droogte verdeelt Nederland het rivierwater zo slim mogelijk, zodat de grote zoete

watersystemen zo lang mogelijk zoet blijven: IJsselmeer, Amsterdam-Rijnkanaal, Volkerak-Zoommeer en verschillende rivierdelen in de Rijn-Maasmonding (zie 3.1). Dit zoete water gebruiken we voor land- en tuinbouw, industrie, natuur en drinkwaterwinning.

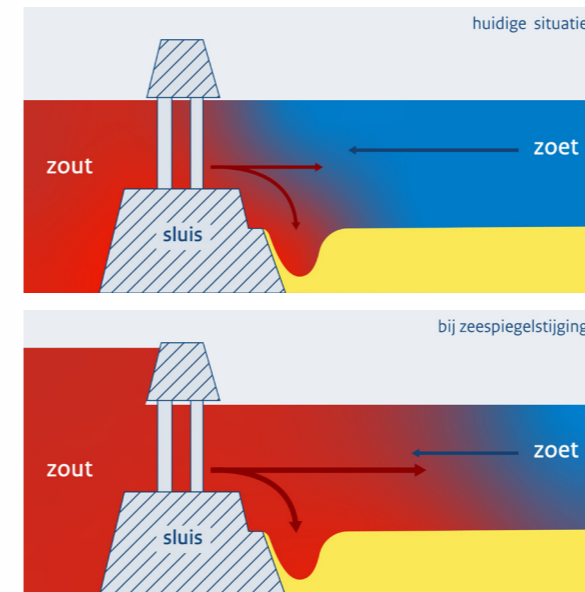
We beschermen de grote zoete watersystemen op twee manieren tegen verzilting: we spoelen deze watersystemen door met zoet rivierwater en voorkomen zoveel mogelijk dat zout water bij de schut- en spuisluizen binnendringt. Daarnaast spoelen we verzilte poldersloten en boezemstelsels door met zoetwater uit de grote zoete watersystemen.



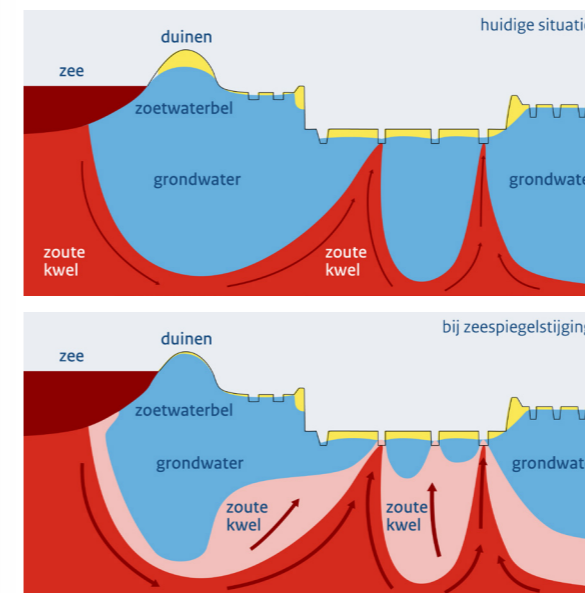
**Figuur 17.** Door de ligging nabij de zee komt er op drie manieren zout in het zoete binnenwater: via open riviermondingen, sluisen en grondwater. Door de afname van rivierwater is het steeds moeilijker om het zeewater weg te spoelen.



**Figuur 18.** Door zeespiegelstijging komt het zoute water via open riviermondingen verder landinwaarts (zie Figuur 18). Ook via de schut- en spuisluizen komt meer zout binnen. Daardoor is meer rivierwater nodig om het zout terug te spoelen. Door klimaatverandering is er 's zomers juist minder rivierwater beschikbaar.



**Figuur 19.** Door zeespiegelstijging komt meer zout water via de zeesluizen en spuisluizen naar binnen, terwijl er minder zoetwater is om het zout weg te spoelen.



**Figuur 20.** Door zeespiegelstijging komt meer zoute kwel in de polders. De zoetwaterbellen in de duinen worden kleiner.

## 1. Grote zoete watersystemen doorspoelen

Bij riviermondingen kruipt zout water over de bodem van de rivier stroomopwaarts. Via de Nieuwe Waterweg kan op deze manier zout water tot in de Lek, de Hollandsche IJssel, het Haringvliet en het Hollandsch Diep komen. Via schut- en spuisluizen komt bovendien zout in het IJsselmeer, het Amsterdam-Rijnkanaal en het Volkerak-Zoommeer. We gebruiken zoet rivierwater om deze verziltig in de grote zoete watersystemen te bestrijden. Daarmee duwen we het zoute water terug en spoelen het weg naar zee. Dat doen we direct via de rivier of met een uitgekiend stelsel van sluisen, stuwen en kanalen. Bij zeespiegelstijging komt het zoute water via open riviermondingen verder landinwaarts (zie Figuur 18). Ook via de schut- en spuisluizen komt meer zout binnen. Daardoor is meer rivierwater nodig om het zout terug te spoelen. Door klimaatverandering is er 's zomers juist minder rivierwater beschikbaar.

## 2. Verziltig via sluisen beperken

Iedere keer dat een schip door een zeesluis vaart, komt er ook zeewater naar binnen. Dit gebeurt bijvoorbeeld bij de sluisen van IJmuiden, de Afsluitdijk en het Volkerak-Zoommeer. We spoelen het verzilt water met gemalen en spuisluizen terug naar zee. Bij sommige sluisen zijn voorzieningen gebouwd die het zout deels tegenhouden (zoet-zoutscheidingen). Bij zeespiegelstijging komt er meer zeewater via de zeesluizen naar binnen en worden de zoet-zoutscheidingen minder effectief (zie Figuur 19). Ook bij spuisluizen en gemalen lekt zout water naar binnen. Door zeespiegelstijging wordt het zoutlek groter.

## 3. Verzilt poldersloten en boezemstelsels doorspoelen

In de kustprovincies welt zout of brak grondwater naar boven. Dit komt meestal uit oud zeewater in de ondergrond. We spoelen verzilt polder- en boezemwater weg met zoetwater uit de grote zoete watersystemen. Door zeespiegelstijging komt meer zoute kwel in de polders (zie Figuur 20). Voor het doorspoelen van de polders is dan meer zoetwater nodig als we ze even zoet willen houden als nu. Door de toename van zoute kwel worden ook de zoetwaterbellen in de duinen en de regenwaterlenzen op landbouwpercelen kleiner.

## Zeespiegelstijging leidt tot deze drie vraagstukken over zoetwater:



4. Blijven de grote zoete watersystemen bij zeespiegelstijging zoet genoeg met de huidige inzet?
5. Kunnen we de polders bij zeespiegelstijging zoet houden?
6. Kunnen we verzilting van de grote zoete watersystemen beperken met extra maatregelen?

### 5.2 Vraag 1: Blijven de grote zoete watersystemen bij zeespiegelstijging zoet genoeg met de huidige inzet?

We hebben verkend of de grote zoete watersystemen voldoende zoet blijven als we doorgaan met wat we nu al doen. Belangrijke uitgangspunten daarbij zijn (zie ook hoofdstuk 2 onder Huidige aanpak):

- We houden de grote zoete watersystemen zoveel mogelijk zoet, onder andere door het rivierwater slim te verdelen.
- De ambitie 'Nederland is weerbaar tegen watertekort' is voorlopig als volgt ingevuld: het wateraanbod en de totale watervraag zijn niet vaker dan eens in de 20 jaar uit balans.

#### Op hoofdlijnen: wat is het antwoord op de vraag?

In een heel droge periode (een droge zomer die eens in de 20 jaar voorkomt) kunnen we de grote zoete watersystemen nu net niet overal zoet houden én water overhouden om aan de zoetwatervraag van gebruiksfuncties te voldoen. Naarmate de zeespiegel verder stijgt en het klimaat verder verandert, lukt dat steeds vaker niet: er komt meer zout binnen, maar we hebben minder rivierwater om het zout weg te spoelen naar zee. Daardoor wordt het water in zo'n droge zomer op verschillende plaatsen zouter. Dat heeft gevolgen voor onder meer land- en tuinbouw, natuur en drinkwaterwinning. De resultaten hieronder gelden allemaal voor het zeer extreme scenario voor

zowel zeespiegelstijging als klimaatverandering (zie ook hoofdstuk 2) en hebben als uitgangspunt dat we water met dezelfde zoutgehalten als nu willen blijven aanbieden aan de watergebruikers.

De combinatie van klimaatverandering en zeespiegelstijging leidt tot aanzienlijke zoetwatertekorten (zie Figuur 21): er is minder zoetwater beschikbaar terwijl de vraag naar zoetwater juist toeneemt, met name voor de verziltingsbestrijding en in mindere mate voor gebruiksfuncties (zoals beregening en peilbeheer). Als de zeespiegel in 2050 een halve meter is gestegen, is het tekort in een heel droge zomer vergelijkbaar met een halve Rijnafvoer. Dit tekort ontstaat dan grotendeels door de afgenomen rivierafvoer (50% van het tekort) en daarnaast door de toegenomen watervraag voor verziltingsbestrijding (25%) en voor beregening en peilbeheer (25%). Als de zeespiegel in 2100 2 meter hoger staat, is het tekort vergelijkbaar met een hele Rijnafvoer. Naarmate de zeespiegel verder stijgt, bepaalt de toenemende watervraag voor de verziltingsbestrijding in steeds grotere mate het watertekort.

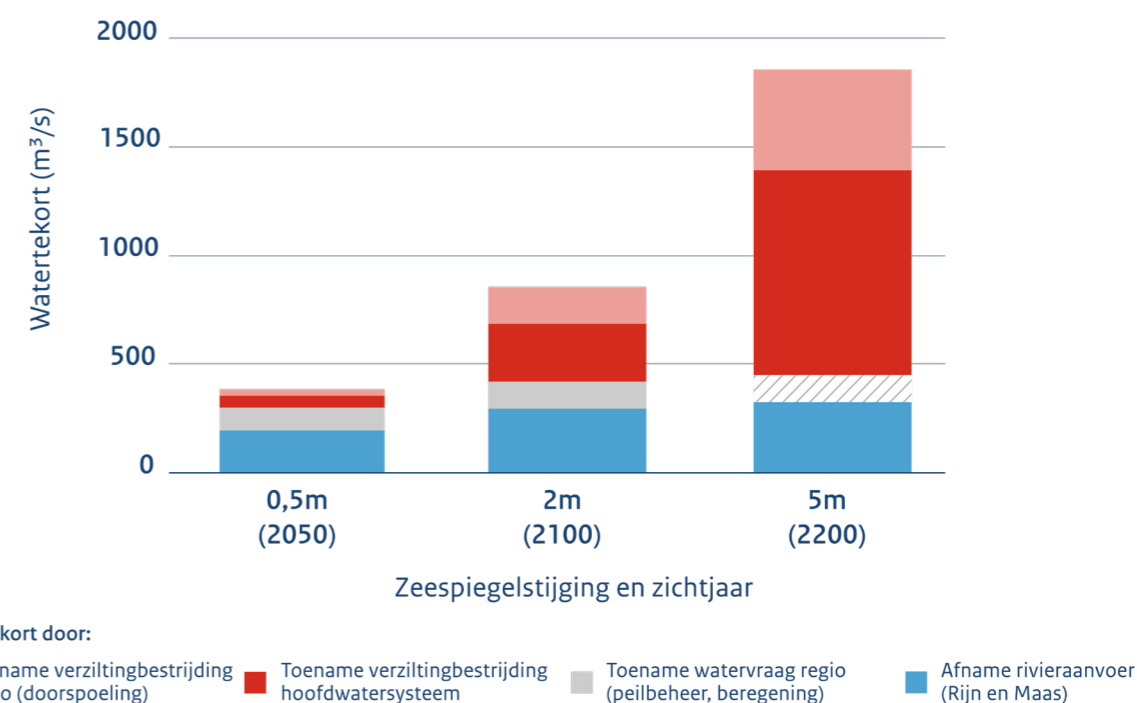
De gevolgen verschillen per regio (zie Figuur 22). Al bij een halve meter zeespiegelstijging is er in een droge zomer in Noord-Nederland slechts de helft van de hoeveelheid zoetwater beschikbaar die nodig is voor de verziltingsbestrijding, beregening en peilbeheer in dat gebied. In West-Nederland is er niet genoeg rivierwater om het zout dat via

de Nieuwe Waterweg binnenkomt terug te duwen naar zee: hiervoor is slechts de helft van de benodigde 550 m<sup>3</sup>/s beschikbaar. Het zoute water komt daardoor ongeveer 11 km verder landinwaarts dan nu. Deze verschuiving is voor het grootste deel toe te schrijven aan klimaatverandering (afname van de rivierafvoer en toenemende vraag voor beregening en peilbeheer in de polders); zeespiegelstijging veroorzaakt 'slechts' enkele kilometers van deze verschuiving.

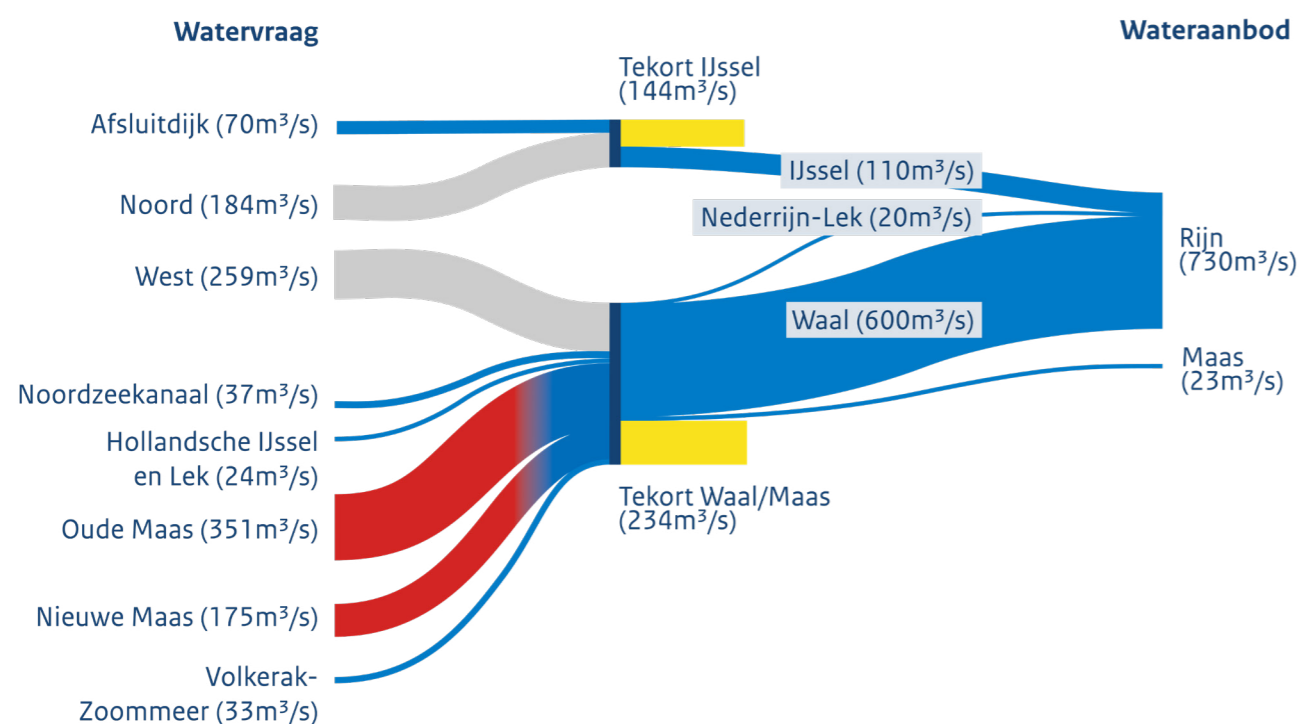
Samenvattend is de conclusie dat het aanbod van zoetwater en de vraag ernaar steeds verder uit balans raken door zeespiegelstijging en andere effecten van klimaatverandering:

- zeespiegelstijging: er is meer zoetwater nodig om verzilting te bestrijden
- andere klimaateffecten: er is minder aanbod van zoetwater (door afnemende rivierafvoer in de zomer) en meer vraag voor onder meer beregening en peilbeheer (door minder neerslag en toenemende verdamping)

Tot een halve meter zeespiegelstijging is het watertekort voornamelijk het gevolg van de andere klimaateffecten. Daarna levert zeespiegelstijging een steeds groter aandeel in het watertekort.



**Figuur 21.** Op dit moment is er in een heel droge zomer (een zomer die gemiddeld eens in de 20 jaar voorkomt) net genoeg water. Door de combinatie van zeespiegelstijging en klimaatverandering ontstaat vanaf 2050 in zo'n droge zomer watertekort dat snel toeneemt bij verdergaande zeespiegelstijging. Het tekort ontstaat enerzijds doordat meer rivierwater nodig is en anderzijds doordat minder rivierwater beschikbaar is. Door zeespiegelstijging komt meer zout in de grote zoete watersystemen en de kleinere regionale wateren; voor het doorspoelen van deze wateren is meer zoet rivierwater nodig (roze en donkerrood). Door klimaatverandering is bovendien meer water nodig om het waterpeil voldoende hoog te houden en voor beregening (grijs). Het is niet bekend hoe deze vraag zich na 2100 ontwikkelt (grijs gearceerd). Het watertekort wordt nog groter doordat de rivierafvoer in de zomer afneemt door klimaatverandering (blauw).



**Figuur 22.** Deze figuur laat zien hoe het aanbod van rivierwater en de vraag naar rivierwater zich op landelijk niveau verhouden in een heel droge zomer in 2050, als de zeespiegel een halve meter gestegen is. De blauwe balken rechts geven het aanbod van de grote rivieren weer. Links staat de vraag naar rivierwater: in grijs de vraag naar zoetwater voor gebruik in het regionale systeem (voor doorspoelen, peilbeheer en beregening) en in blauw de watervraag voor het doorspoelen van de grote zoete watersystemen. Geel geeft het tekort aan zoetwater weer. Rood laat zien dat de Oude Maas en Nieuwe Maas, die in open verbinding met de zee staan, deels zout zijn.

### Verder ingezoomd: wat weten we nog meer?

#### Zoutlast bij sluizen

Bij zeesluizen komt met het schutten van schepen zout zeewater naar binnen. Hoe groter de schutkolk en hoe vaker er geschut wordt, hoe meer zout binnenkomt. Daardoor is de zoutlast bij de zeesluis van IJmuiden vele malen groter dan bij de sluizen in de Afsluitdijk. Bij alle zeesluizen wordt de zoutlast groter door zeespiegelstijging. Maar als het aantal schuttingen toeneemt of als de sluis groter en dieper wordt vanwege groei van de zeescheepvaart, kan dat een minstens zo groot effect op de zoutlast hebben als zeespiegelstijging.

Met een zoet-zoutscheiding kan de zoutlast bij zeesluizen fors verminderen, al vraagt het gebruik van zo'n systeem extra zoetwater. Bij de Krammersluizen is zo'n systeem bijvoorbeeld in werking. Als deze zoet-zoutscheiding bij zeespiegelstijging blijft werken,

door pompen bij te plaatsen, blijft de zoutlast hier tot 5 meter zeespiegelstijging beperkt. Als de zoet-zoutscheiding komt te vervallen, wordt de zoutlast hier bij 2 meter zeespiegelstijging ruim 5 keer zo groot.

Ook bij spuisluizen komt zout binnen en die hoeveelheid neemt eveneens toe met zeespiegelstijging. Dit speelt bijvoorbeeld in het IJsselmeer bij de Afsluitdijk. Het zout blijft hangen in diepe kuilen bij de spuisluizen. Bij laagwater voeren we het af naar zee, tijdens het spuien. Door zeespiegelstijging neemt de mogelijkheid om te spuien echter af, terwijl de kuilen sneller vollopen met zout. De kans dat de kuilen overlopen en het zout in het IJsselmeer komt, wordt groter. Bij 0,5 meter zijn hier pompen nodig om het zout af te voeren.

#### Zout water wegpompen

Bij IJmuiden, de Afsluitdijk en de spuisluis bij Bath spoelen we verzilt water terug naar zee via spuisluizen. Naarmate de zeespiegel verder stijgt, wordt spuien moeilijker. Ook voor het peilbeheer (ten behoeve van de waterveiligheid en het beperken van wateroverlast) gaat dat problemen geven (zie 4.3). Daarom zijn bij deze sluizen op den duur (extra) pompen nodig. Pompen zijn ook te benutten om zout water af te voeren. Dat kan zelfs effectiever zijn dan spuien: met pompen is minder zoetwater nodig om dezelfde hoeveelheid zout weg te spoelen. Voorwaarde is dat de pompen het meest zoute, diepe water oppompen. Dit kan ook met een zouthel of een gemaal dat op beperkte capaciteit draait.

### 5.3 Vraag 2: Kunnen we de polders bij zeespiegelstijging zoet houden?

Het grond- en oppervlaktewater is op sommige plaatsen nu al kwetsbaar voor verzilting. Dit is het geval in polders in kustprovincies waar nog oud zeewater in de ondergrond zit of die dicht bij de kust, de zoute deltawateren of getijdenrivieren liggen. Waar mogelijk spoelen we deze polders door met zoetwater uit de grote zoete watersystemen om het zout weg te spoelen. Er geldt geen formele norm voor het zoutgehalte in deze polders, maar in de praktijk wordt nu gestreefd naar een zoutgehalte dat past bij het meest gevoelige gebruik. Dat kan een gewas of een natuurgebied zijn.

Bij zeespiegelstijging komt via het grondwater meer zout in delen van deze polders. Als we het zoutgehalte op het huidige niveau willen houden, moeten we de polders met steeds meer zoetwater uit de grote zoete watersystemen doorspoelen: twee keer zoveel bij 0,5 meter zeespiegelstijging en tien keer zoveel bij 3 meter zeespiegelstijging (zie Figuur 23). Daar is steeds vaker niet genoeg zoetwater voor (zie ook 5.2). Daardoor worden deze gebieden in droge perioden zouter naarmate de zeespiegelstijging verder stijgt.

Hogere zoutgehalten zijn in deze polders onvermijdelijk, maar we kunnen de verzilting wel

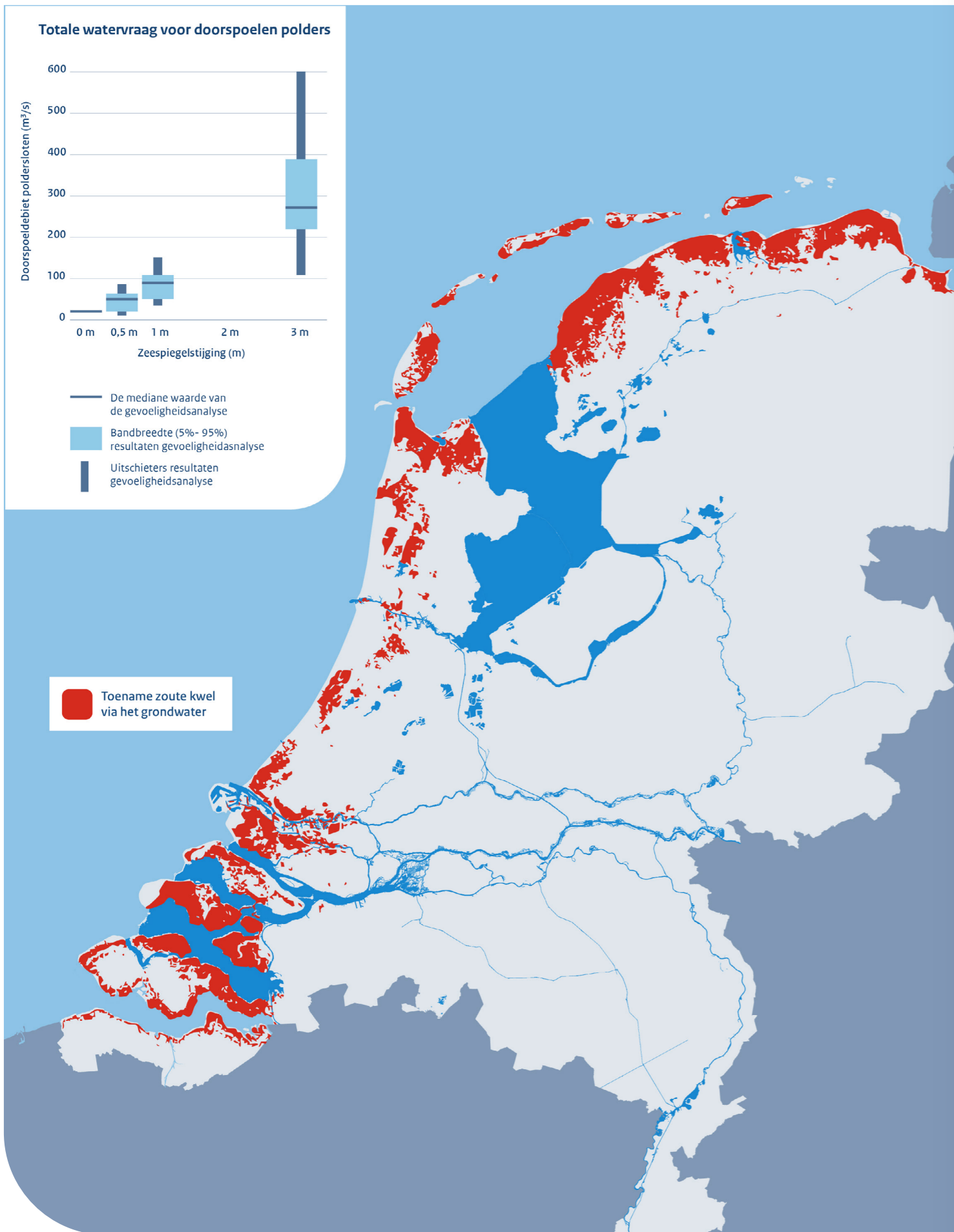
meer gecontroleerd en voorspelbaarder laten verlopen door structureel te sturen op een hogere streefwaarde. Zo weten gebruiksfuncties waar ze aan toe zijn en kunnen ze zich aanpassen aan hogere zoutgehalten en een grotere fluctuaties in de zoutgehalten. Daarom zijn de volgende maatregelen verkend:

- een beperkte verhoging van de streefwaarde voor het zoutgehalte met 50 mg chloride per liter, in alle polders die nu worden doorspoeld om verzilting te bestrijden
- de streefwaarde voor het zoutgehalte baseren op het meest voorkomende landbouwgewas in plaats van het meest gevoelige gewas, in alle polders die nu worden doorspoeld om verzilting te bestrijden
- 10 polders met de grootste (procentuele) toename van de doorspoelvraag niet meer doorspoelen

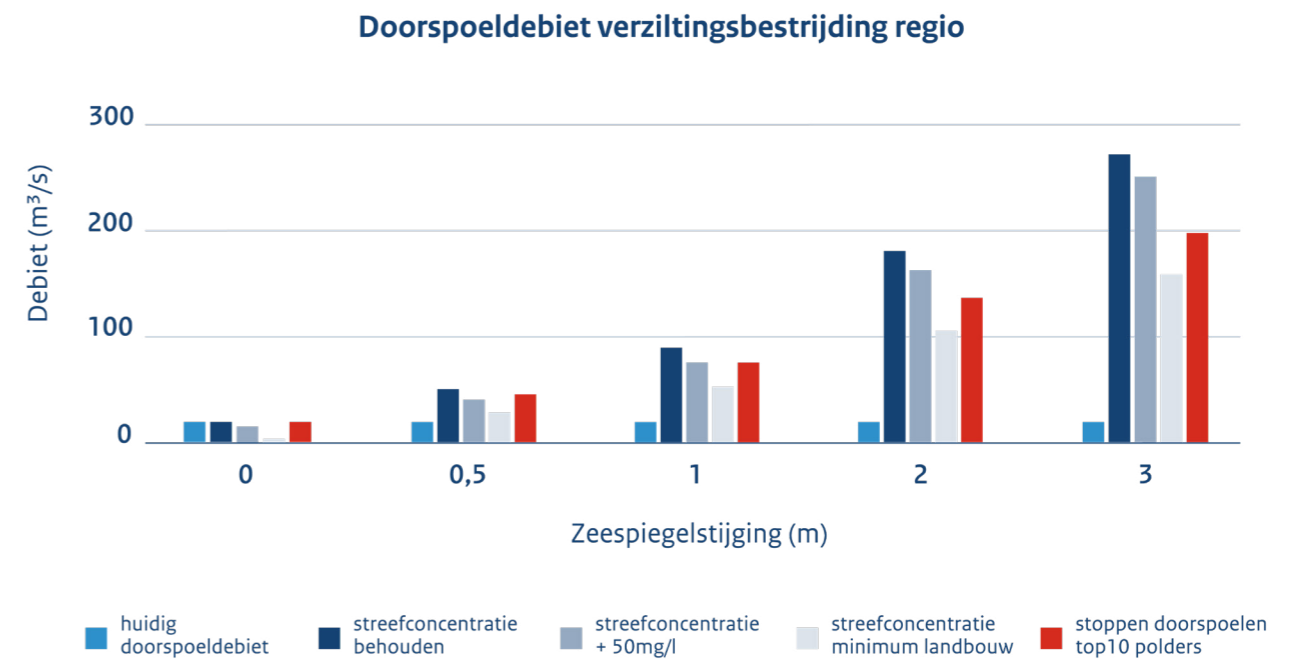
#### Op hoofdlijnen: wat is het antwoord op de vraag?

Als we de streefwaarde voor het zoutgehalte in polders verhogen of loslaten, met de drie maatregelen die hierboven genoemd zijn, is voor het doorspoelen van polders minder water nodig (zie Figuur 24). Ook die kleinere hoeveelheid doorspoelwater is in droge perioden echter niet beschikbaar, omdat we ook water nodig hebben om de grote zoete watersystemen zoet te houden en water willen benutten voor onder meer beregening en peilbeheer. Daarom zullen verschillende gebruiksfuncties zich moeten aanpassen aan hogere zoutgehalten. Mogelijk zijn er ook consequenties voor natuur; dat is niet onderzocht.

Als we de streefwaarde voor het zoutgehalte in al deze polders verhogen met 50 mg/l, neemt in een droge zomer de benodigde extra hoeveelheid doorspoelwater door zeespiegelstijging af met 10%. Als we de streefwaarde verhogen tot het zoutgehalte dat het meest voorkomende gewas kan verdragen, levert dat een besparing van 40% op het doorspoelwater op. In het onderzoek is hiervoor gerekend met 300 mg/l voor hoogwaardige teelten,



**Figuur 23.** Door zeespiegelstijging komt via het grondwater meer zout in de polders in kustprovincies. Het kaartje laat zien waar de verzilting is toegenomen bij 3 meter zeespiegelstijging. Om de polders net zo zoet te houden als nu, is steeds meer zoetwater nodig uit de grote rivieren. De totale doorspoelvraag voor deze polders verdubbelt al bij 0,5 meter zeespiegelstijging en neemt daarna steeds sterker toe. Bij 3 meter is de doorspoelvraag meer dan vertienvoudigd. Het beschikbare doorspoelwater neemt tegelijkertijd juist af door klimaatverandering.



**Figuur 24.** De grafiek laat zien hoe de watervraag voor het doorspoelen van polders waar actief wordt doorgespoeld verandert met de drie onderzochte maatregelen: beperkte verhoging van het nagestreefde zoutgehalte met 50 mg/l, de streefconcentratie afstemmen op het meest voorkomende landbouwgewas en stoppen met doorspoelen in de tien polders met de grootste procentuele toename in de doorspoelvraag. Ondanks deze maatregelen neemt de doorspoelvraag sterk toe ten opzichte van het huidige doorspoeldebiet.

1000 mg/l voor akkerbouw en 2000 mg/l voor weide. Er blijft echter nog steeds extra doorspoelwater nodig, terwijl er minder water beschikbaar is.

De maatregel waarbij 10 polders helemaal niet meer worden doorgespoeld, levert een besparing van ongeveer 30% op het doorspoelwater op. Deze polders liggen geclusterd op drie locaties: langs de Groningse kust ten noorden van Roodeschool, ter hoogte van Noordwijk direct achter de duinen en delen van Tholen en Philipsland. Deze polders omvatten bij elkaar minder dan 1% van het totale oppervlak van Nederland dat onder invloed van verzilting staat. In deze polders zal het zoutgehalte fors oplopen, wat gevolgen heeft voor de gebruiksmogelijkheden. Ook in dit geval is nog steeds extra doorspoelwater nodig, terwijl minder water beschikbaar is.

#### Verder ingezoomd: wat weten we nog meer?

##### Polders zonder aanvoer uit grote zoete watersystemen

In een deel van de verziltende polders is doorspoelen niet mogelijk, omdat ze niet in verbinding staan met de grote zoete watersystemen. Dit zijn met name polders in Zeeland en op de Waddeneilanden. De verzilting is hier enigszins te beperken door zoet regenwater zo lang mogelijk vast te houden. Gebruikers van zoetwater zullen er in deze polders rekening mee moeten houden dat de regenwaterlenzen kleiner worden naarmate de zeespiegel verder stijgt en de zoetwatervoorraad daardoor afneemt.

##### Kwel en afvoercapaciteit

Door zeespiegelstijging neemt de (zoute) kwel naar de poldersloten toe. Er komt dus niet alleen meer zout, maar ook meer water in de poldersloten.

Dat water moet continu door de poldergemalen worden afgevoerd. Uit het onderzoek blijkt dat deze extra afvoer beperkt is (enkele millimeters per dag extra). De toename van kwel zal over het algemeen nauwelijks gevolgen hebben voor de benodigde maalcapaciteit.

#### Zoetwaterbellen in de duinen

In de duinen vormen zich van nature 'bellen' van zoet regenwater. Drinkwaterbedrijven vullen deze bellen aan met rivierwater om het voor te zuiveren voor drinkwaterbereiding. Door zeespiegelstijging worden de zoetwaterbellen omhooggeduwd, waardoor het volume kleiner wordt. Daardoor is er minder ruimte om rivierwater voor te zuiveren. Tot 1 meter zeespiegelstijging is het effect in grotere zoetwaterbellen relatief klein (circa 5% minder ruimte), maar kleine bellen kunnen dan al meer dan 65% van hun capaciteit verliezen. Bij verdere zeespiegelstijging worden ook de grotere bellen aanzienlijk kleiner. Het verlies is beperkter als de duinen meegroeien met de zeespiegelstijging (zie 4.2).

### 5.4 Vraag 3: Kunnen we de verzilting van de grote zoete watersystemen beperken met extra maatregelen?

Door de combinatie van zeespiegelstijging en klimaatverandering raken het aanbod van zoetwater en de vraag naar zoetwater steeds verder uit balans: in droge perioden is er steeds vaker te weinig zoetwater om de zoutgehalten op het huidige niveau te handhaven (zie 5.2). Daarom is onderzocht of we aanbod en vraag beter in balans kunnen brengen door de groeiende vraag naar zoetwater voor verziltingsbestrijding te beperken.

Hiervoor zijn drie maatregelenpakketten onderzocht. Onderdeel van deze pakketten zijn maatregelen waarbij we een bepaalde mate van verzilting in polders accepteren; dit zijn de maatregelen die in 5.3 zijn beschreven. Daarnaast bestaan de pakketten uit maatregelen om de zoutindringing in de grote zoete watersystemen te beperken en zout water efficiënter weg te spoelen. De pakketten zijn gestapeld. Met ieder pakket komen er meer maatregelen bij:

Pakket I	Pakket II	Pakket III
<ul style="list-style-type: none"> <li>Iets hogere zoutgehalten in polders accepteren</li> <li>Efficiëntere zoutbestrijding bij sluizen IJmuiden en Afsluitdijk en zoet-zoutscheiding Krammersluizen in stand houden</li> <li>Iets hogere zoutgehalten in Hollandsche IJssel en Lek (inkorten zoetwatergebied)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zoutgehalte in polders aanpassen aan meest voorkomende teelt</li> <li>Pakket I + zoutbestrijding Afsluitdijk volledig met pompen en spuisluizen leklicht afsluiten</li> <li>Pakket I + Bodem Nieuwe Waterweg groeit mee met zeespiegelstijging door minder baggeren en/of actief suppleren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pakket II + De 10 polders met de grootste doorspoelvraag niet meer doorspoelen</li> <li>Pakket II + Extra watervoorraad in het IJsselmeer voor o.a. doorspoelen (30 cm extra in de zomer)</li> <li>Pakket II + Bij droogte Hollandsche IJssel en Lek tijdelijk afsluiten met keringen zonder schutsluizen en Oude Maas en Hartelkanaal met schutsluizen</li> </ul>

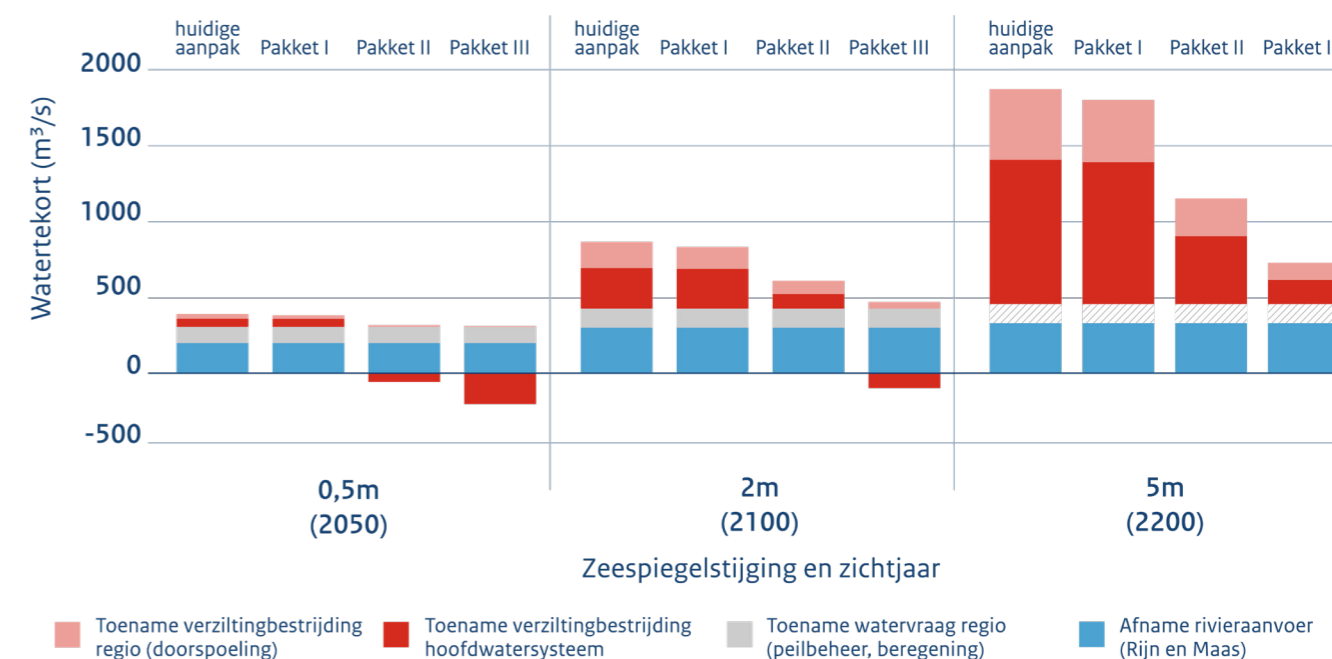
#### Op hoofdlijnen: wat is het antwoord op de vraag?

Met de onderzochte extra maatregelen kunnen we de grote zoete watersystemen bij zeespiegelstijging op verschillende plaatsen langer zoet houden, ook in droge zomers, maar het tekort aan zoetwater blijft landelijk gezien groot (zie Figuur 25). Dat komt vooral doordat de onderzochte maatregelen alleen effect hebben op de vraag naar zoetwater voor het bestrijden van verzilting, maar niet op het afnemende aanbod van zoetwater via de rivieren en de toenemende watervraag voor beregning en peilbeheer.

Het effect van pakket I is landelijk gezien beperkt: het watertekort dat door de combinatie van zeespiegelstijging en klimaatverandering ontstaat, wordt hooguit 10% kleiner. Regionaal kan het effect wel groot zijn. In het Amsterdam-Rijnkanaal compenseert dit pakket bijvoorbeeld de volledige extra watervraag door zeespiegelstijging tot 5 meter zeespiegelstijging en op de Hollandsche IJssel en Lek is de extra watervraag tot 5 meter zeespiegelstijging ruim 30% kleiner. Pakket II heeft tot 2 meter zeespiegelstijging een merkbaar effect op de extra watervraag voor doorspoeling als gevolg van zeespiegelstijging: die wordt hiermee landelijk gezien 40% kleiner.

Het grootste effect heeft pakket III. Met dit pakket komt het zoute water in West-Nederland in een droge zomer zelfs minder ver landinwaarts dan nu. Hierdoor blijven meer innamepunten in deze regio bruikbaar voor drinkwater en land- en tuinbouw. Dat is het resultaat van vergaande en ingrijpende maatregelen: bij (dreigend) watertekort worden in dit pakket verschillende delen van het hoofdwatersysteem in West-Nederland tijdelijk afgesloten met keringen, wat kostbaar is en onder andere consequenties heeft voor de scheepvaart, de waterkwaliteit en de natuur. Met deze maatregel is tot een zeespiegelstijging van 3 meter geen extra water nodig om het zout dat via de Nieuwe Waterweg binnenkomt tegen te houden. Toch ontstaat in West-Nederland ook met dit pakket al vanaf 0,5 meter zeespiegelstijging watertekort in droge zomers, door de afname van de rivierafvoer en de toenemende watervraag voor het doorspoelen van polders.

Met pakket III neemt ook de verzilting van het IJsselmeer minder sterk toe en wordt de watervoorraad in het IJsselmeer groter. De grotere zoetwatervoorraad maakt het mogelijk de verzilting in regionale watersystemen van Noord-Nederland langer te bestrijden. Vanaf 1 meter zeespiegelstijging ontstaat alsnog een watertekort dat groter wordt naarmate de zeespiegel verder stijgt.



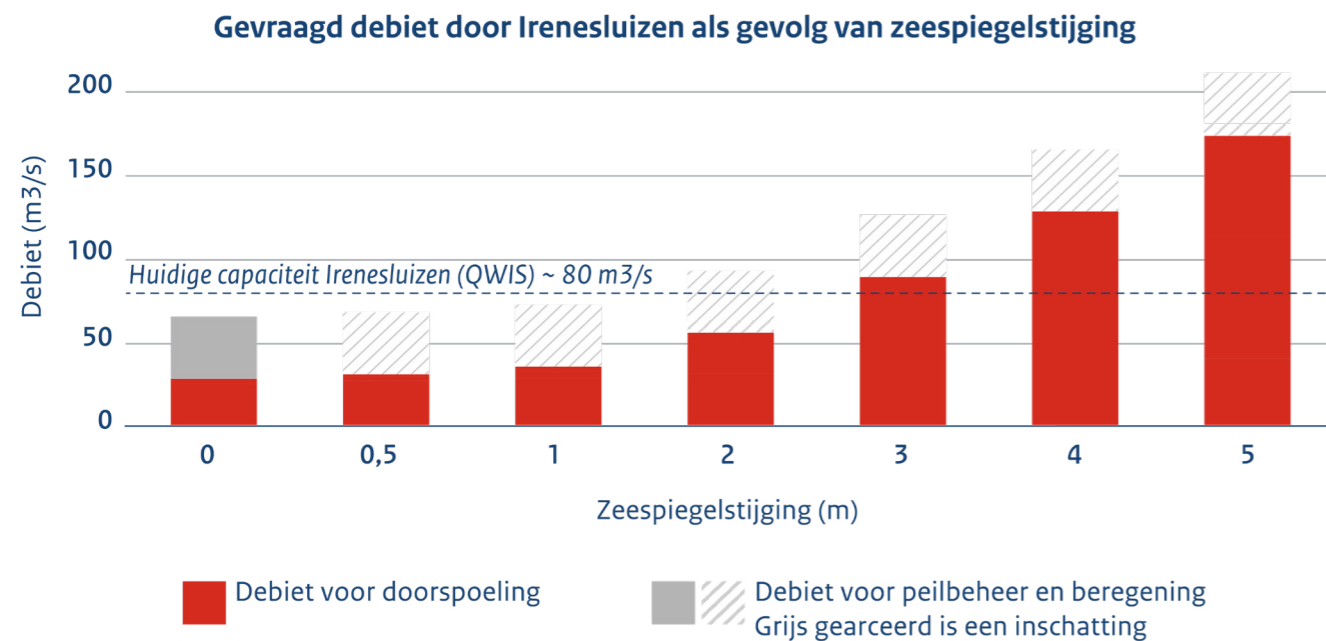
**Figuur 25.** Als we blijven doen wat we doen, neemt het watertekort in droge zomers toe (zie kolom Huidige aanpak). Dat komt door de combinatie van zeespiegelstijging (roze en rood) en klimaatverandering (grijs/grijs gearceerd en blauw). Als we deels zeer ingrijpende extra maatregelen tegen verzilting treffen, wordt het watertekort minder groot, maar het blijft aanzienlijk.

## Verder ingezoomd: wat weten we nog meer?

### Aanpassingen aan de infrastructuur

Als we de grote zoete watersystemen zo lang mogelijk net zo zoet als nu willen houden, moeten we het beschikbare rivierwater effectiever over Nederland kunnen verdelen. Verschillende stuwen en sluisen moeten op bepaalde momenten meer water kunnen doorlaten om zout tegen te houden en weg te spoelen of zoetwatervoorraden aan te vullen. Dat vraagt in de loop van de tijd aanpassingen aan de infrastructuur. Met name de route van de Waal en de Nederrijn

naar het Amsterdam-Rijnkanaal, de Hollandsche IJssel en de Lek is kwetsbaar. In deze route ontstaan knelpunten bij de Bernhardsluizen, Irenesluizen en stuw Hagestein. Ook de doorgaande routes van de regionale Klimaatbestendige Wateraanvoer (KWA) worden te krap. De knelpunten bij de Irenesluizen en de doorgaande routes van de regionale KWA ontstaan tussen 1 en 2 meter zeespiegelstijging (zie Figuur 26).



**Figuur 26.** De Irenesluizen hebben vanaf 2 meter zeespiegelstijging onvoldoende capaciteit om genoeg rivierwater door te laten voor verziltingsbestrijding.



### Spuien onder vrij verval en pompen

Op verschillende plaatsen langs de kust voeren we binnenwater af naar zee, om wateroverlast te voorkomen of om zout weg te spoelen. Tot nu toe kan dat grotendeels door te spuien onder vrij verval: bij lage waterstanden op zee stroomt het water vanzelf weg. Dit gebeurt bijvoorbeeld bij de Afsluitdijk, maar ook bij IJmuiden en de Bathse spuisluis. Door zeespiegelstijging worden de mogelijkheden om te spuien op deze locaties kleiner.

Bij de Afsluitdijk is vlotte waterafvoer een voorwaarde voor de waterveiligheid rond het IJsselmeer en het Markermeer. Verminderde afvoermogelijkheden bij IJmuiden en Bath kunnen tot (ernstige) wateroverlast leiden in extreem natte perioden. Daarom zijn op den duur op alle drie de locaties (meer) pompen nodig óf we moeten het peil van het binnenwater laten meestijgen met de zeespiegelstijging. Bij peilverhoging kan het nodig zijn de waterkeringen langs het binnenwater te verhogen en zal binnendijs meer kwel optreden. Ook kan het nodig zijn bruggen te verhogen. Bij IJmuiden en de Afsluitdijk wordt het water nu al deels weggepompt; door zeespiegelstijging zal het accent steeds meer naar pompen verschuiven. Waterafvoer naar zee is ook nodig om zout weg te spoelen (verziltingsbestrijding). Pompen kan voor de verziltingsbestrijding zelfs effectiever zijn dan

spuien: met pompen kan zoutwater van grotere diepte worden aangetrokken, waardoor minder doorspoelwater nodig is.

Ook bij de Haringvlietsluizen wordt water naar zee gespuid. De huidige strategie is dat de waterstand in het Haringvliet meestijgt met de zeespiegelstijging. In dat geval zijn daar geen pompen nodig.

In deze onderzoeken is het regionale watersysteem buiten beschouwing gebleven. Het is te verwachten dat bij hogere mate van zeespiegelstijging op veel plaatsen extra pompcapaciteit nodig zal zijn om overtollig water af te kunnen voeren naar de grote wateren.

Wat het optimale moment is om over te stappen van spuien op pompen, hangt onder meer hiervan af:

- de mogelijkheden om het waterpeil te laten stijgen, zodat spuien langer mogelijk blijft;
- de toelaatbaarheid van zoutlek bij spuisluisen;
- de kosten en duurzaamheidseffecten van pompen (inclusief beheer en onderhoud) versus de kosten en duurzaamheidseffecten van eventuele alternatieven;
- de schade die ontstaat bij pieken in het waterpeil en de mogelijkheid om die schade te beperken (bijvoorbeeld door water tijdelijk te bergen).

## 5.5 Voorwaarden voor de uitvoerbaarheid

### Infrastructuur

Voor de bestrijding van verzilting zijn infrastructurale aanpassingen nodig: nieuwe infrastructuur of aanpassingen aan bestaande infrastructuur om zout water tegen te houden (zoals zoet-zoutscheidingsystemen bij sluizen en het plaatsen van pompen) en om zoet rivierwater over het land te verdelen (zoals een grotere doorvoercapaciteit bij sluizen en stuwen). Onderdeel van de onderzochte maatregelen is het tijdelijk afsluiten van riviertakken in de regio rond Rotterdam bij droogte, al dan niet met schutsluizen voor de binnenscheepvaart. Dit soort grote infrastructurale maatregelen zijn technisch gezien mogelijk, maar vragen wel tijd, ruimte en geld en hebben gevolgen voor andere functies.

### Waterbeheer

Omgaan met verzilting en toenemende watertekorten stelt nieuwe eisen aan het operationele waterbeheer. Als we ervoor kiezen om sommige polders niet meer door te spoelen of op een ander zoutgehalte te sturen, vraagt dat aanpassingen in de sturingssystemen en de fysieke infrastructuur in de regio. Als delen van de grote zoete watersystemen verzilten (zoals bijvoorbeeld in pakket I: hoger zoutgehalte in de Hollandsche IJssel en Lek), kan het nodig zijn inlaatpunten van zoetwater landinwaarts te verplaatsen.

## 5.6 Aanvullende opgaven voor wonen en werken in Nederland

### Land- en tuinbouw

Op verschillende plaatsen zal het water in droge zomers zouter worden en gedurende het jaar zullen de zoutgehalten sterker variëren. Dat kan schade geven als we dezelfde gewassen blijven telen als nu. Ook zal er in totaal in Nederland minder zoetwater beschikbaar zijn. Om deze redenen wordt het voor bedrijven in de land- en tuinbouw noodzakelijk om de bedrijfsvoering aan te passen.

### Scheepvaart

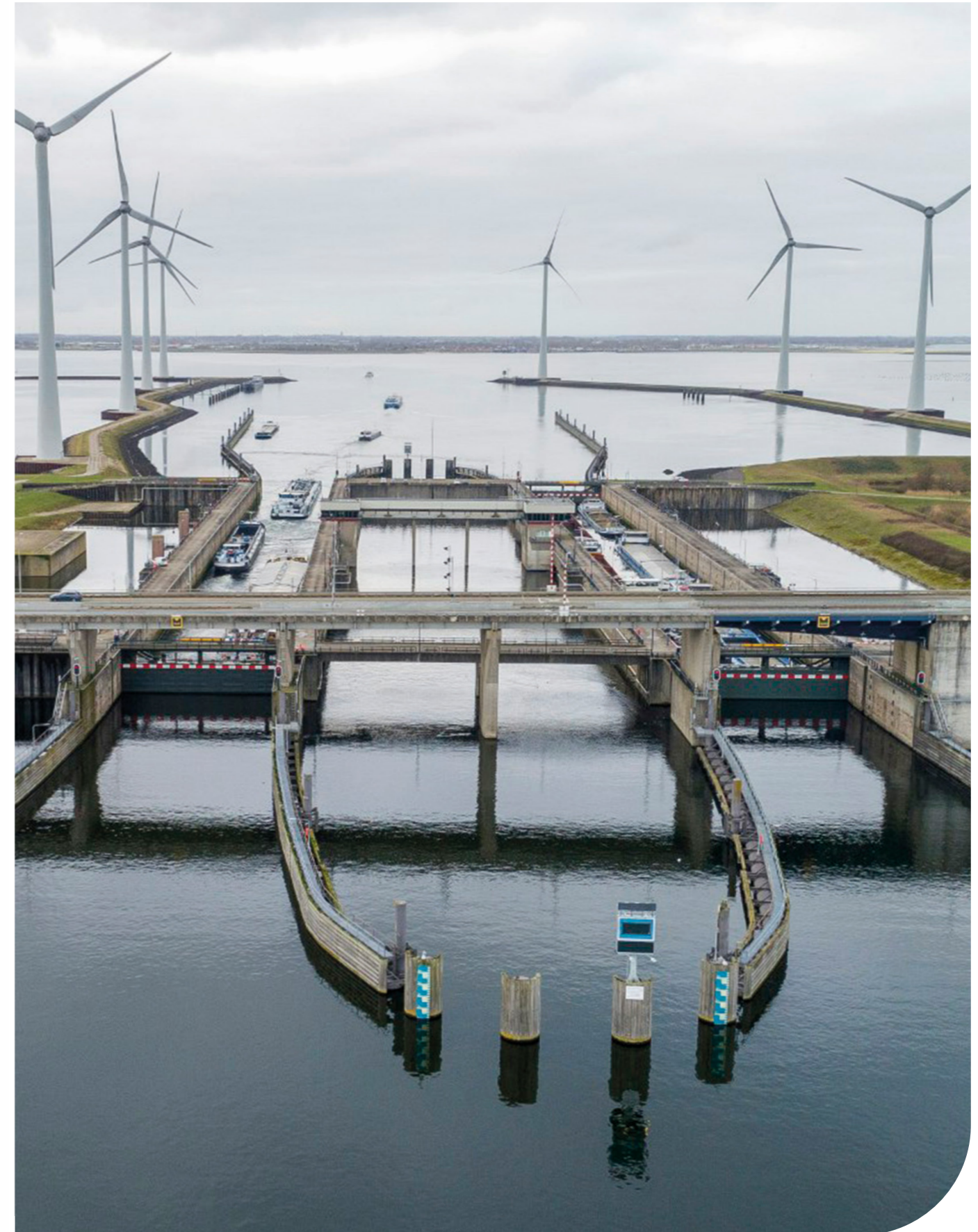
Als we er op termijn voor zouden kiezen een aantal riviertakken in de regio rond Rotterdam tijdelijk af te sluiten bij droogte om verzilting te bestrijden (zie 5.4), heeft dat gevolgen voor de binnenscheepvaart: de doorvaart wordt bij zo'n afsluiting enkele weken tot maanden gestremd of vertraagd.

### Drinkwater en proceswater

Een aantal inlaatpunten voor drinkwaterbereiding en proceswater wordt in de toekomst zouter. Op dit moment streeft de waterbeheerder naar een chloridegehalte van maximaal 150 mg/l bij drinkwaterinlaten en sommige inlaten van proceswater (bijvoorbeeld proceswater voor voedselbereiding). Die waarde zal in droge zomers steeds vaker overschreden worden, onder meer bij Andijk (drinkwater) en het Brielse Meer (proceswater). Wanneer dit begint, hangt af van de maatregelen die we inzetten om verzilting te bestrijden. Drinkwaterbedrijven zullen in de toekomst ook minder water kunnen opslaan en voorzuiveren in de zoetwaterbellen in de duinen die ze daar nu voor gebruiken, omdat deze bellen door zeespiegelstijging kleiner worden; voor opslag en voorzuivering bestaan alternatieven.

### Natuur

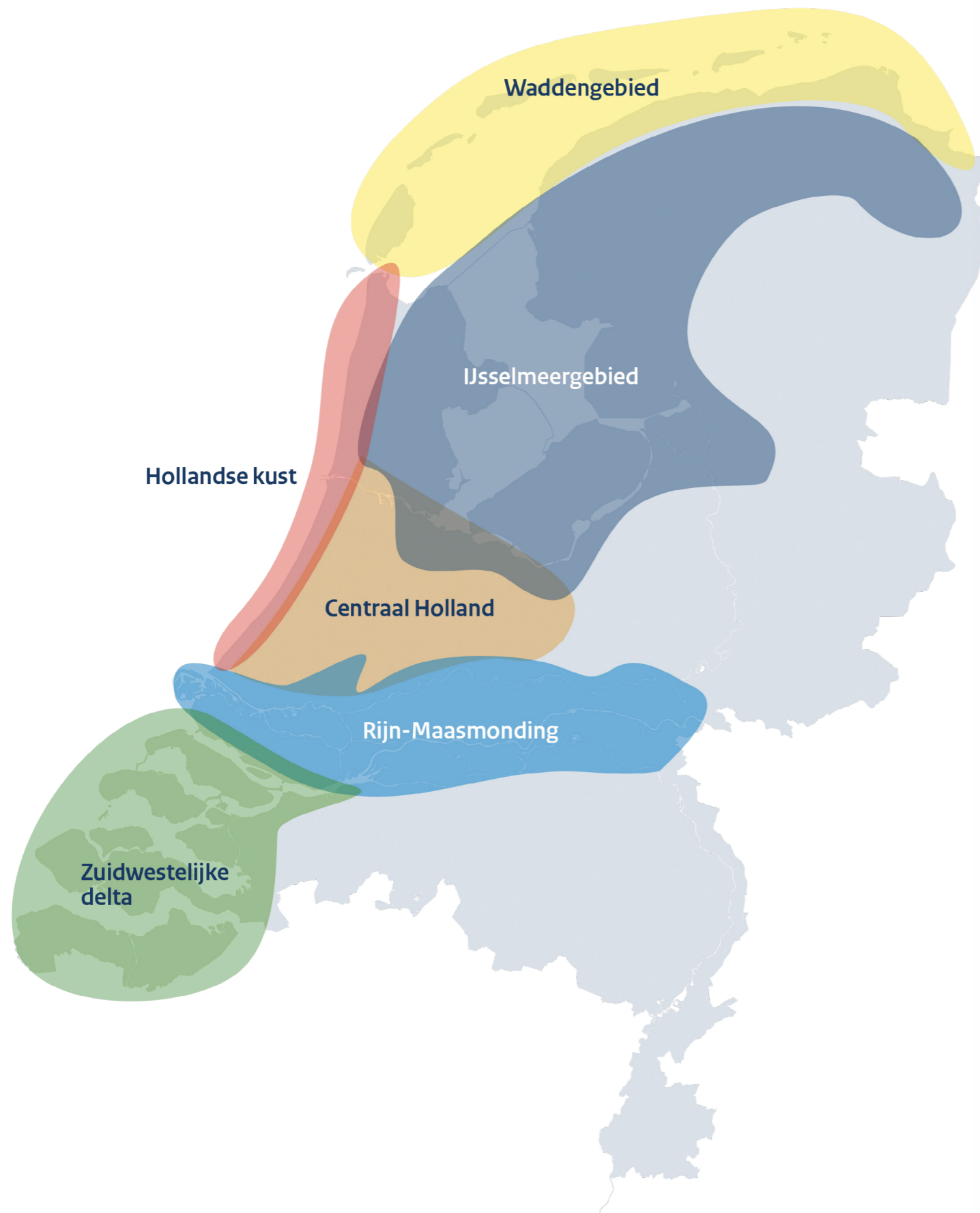
Verzilting door zeespiegelstijging en de maatregelen om verzilting te beperken hebben gevolgen voor de natuur. In zoutere omstandigheden zal de huidige natuur of de natuur die nu beoogd is mogelijk niet houdbaar zijn. Afhankelijk van de manier waarop we verzilting blijven bestrijden, kan het zoutgehalte sterker variëren, wat schade aan het ecosysteem kan geven. Door sommige maatregelen, zoals pompen en het periodiek afsluiten van wateren met keringen, zullen vissen en andere dieren hun verschillende habitats moeilijker kunnen bereiken. Die gevolgen zijn mogelijk ten dele op te vangen met aanvullende maatregelen.



## 6. Verdiepende inzichten: per regio



Zeespiegelstijging heeft tot ver landinwaarts gevolgen voor de waterveiligheid en zoetwater. In alle regio's wordt de bescherming tegen overstromingen een grote continue opgave. In de meeste zoetwatersystemen is steeds meer zoet rivierwater nodig om verzilting te bestrijden, terwijl er in droge tijden juist minder rivierwater beschikbaar zal zijn door klimaatverandering. Dit hoofdstuk brengt de inzichten uit de vorige hoofdstukken per regio samen, deels aangevuld met extra inzichten. Net als in de voorgaande hoofdstukken zijn de gevolgen gebaseerd op een zeer extreem scenario voor zeespiegelstijging: dit onderzoek is te zien als stresstest voor zeespiegelstijging.



Figuur 27. Zeespiegelstijging leidt in verschillende regio's tot grote opgaven.

## 6.1 Waddengebied

Het Waddengebied bestaat uit de kust van Groningen, Friesland en Noord-Holland, de Waddenzee en de Noordzeekust van de Wadden-eilanden (zie Figuur 27). Langs het vasteland en de zuidkant van de eilanden liggen dijken voor de bescherming tegen overstromingen. Aan de noordkant van de eilanden bestaat de waterkering uit duinen. Polders langs de vastelandskust zijn voor de zoetwatervoorziening afhankelijk van het IJsselmeer. De eilanden zijn deels zelfvoorzienend. Bijzonder in dit gebied zijn de grote natuurwaarden.

Op dit moment vinden zandsuppleties plaats voor de Noordzeekust van Texel, Vlieland en Ameland. Bij toenemende zeespiegelstijging zijn naar verwachting bij alle eilanden suppleties nodig. Het is de verwachting dat meer zand van de relatief ondiepe delen tussen de eilanden (de buitendelta's) zal wegstromen naar de Waddenzee. Dat kan ten koste gaan van het natuurlijke zandtransport van eiland naar eiland en dat leidt er weer toe dat de Noordzeekust van de eilanden minder meegroeit met de zeespiegelstijging. Nu wordt het zandverlies uit de buitendelta's deels gecompenseerd met extra suppleties voor de Waddeneilanden. Op korte termijn zullen ook suppleties direct op de buitendelta's plaatsvinden om het verlies te blijven compenseren. Een experiment bij Ameland heeft laten zien dat het kan werken. Vanaf 3 meter zeespiegelstijging zijn buitendeltasuppleties waarschijnlijk noodzakelijk om de benodigde hoeveelheden zand efficiënt te kunnen aanbrengen. Door de suppleties zullen de duinen op de meeste plaatsen meegroeien. Waar dat niet volledig lukt, zal een kerf in de eerste duinenrij het zandtransport naar de duinen over het algemeen voldoende stimuleren. Met dergelijke kerven hebben we in Nederland ruime ervaring.

De waterkeringen langs de Groningse en Friese vastelandskust moeten bij toenemende zeespiegelstijging fors hoger worden. Bij 5 meter

zeespiegelstijging moeten we de Groningse dijken met ongeveer 10 meter verhogen. Ze zijn dan bijna twee keer zo hoog als nu. Dat komt doordat de bodem van de Waddenzee niet volledig meegroeit met de zeespiegelstijging; daardoor stijgt niet alleen de zeespiegel, maar worden ook de golven hoger. De benodigde dijkverhogingen worden mogelijk kleiner als we in aanvulling op het huidige suppletiebeleid ook het kustfundament ten oosten van Schiermonnikoog met suppleties gaan onderhouden, zodat de Waddenzeebodem meer zand krijgt om mee te groeien met de zeespiegelstijging. De jaarlijkse suppletieomvang voor de Wadden zou daarmee bij 5 meter zeespiegelstijging toenemen met ten minste 1,6 miljoen m<sup>3</sup> per jaar.

Op de Waddeneilanden is de zoetwatervoorziening voor landbouw en natuur volledig afhankelijk van lokale regenwaterlenzen. De regenwaterlenzen worden door zeespiegelstijging en klimaatverandering kleiner en het polderwater, dat hier op de meeste plaatsen al brak is, zal bij zeespiegelstijging verder verzilt. Vlieland en Schiermonnikoog zijn voor hun drinkwater bovendien volledig afhankelijk van de zoetwaterbellen in de duinen, die bij zeespiegelstijging fors kleiner worden; dit effect wordt enigszins beperkt als de duinen meegroeien door zandsuppleties.

## 6.2 IJsselmeergebied

Het IJsselmeergebied omvat het IJsselmeer, het Markermeer en de randmeren (zie Figuur 27). Rond al deze meren liggen dijken voor de bescherming tegen overstromingen (inclusief de Afsluitdijk). Het IJsselmeergebied wordt wel de ‘nationale regenton’ genoemd, omdat het IJsselmeer en Markermeer samen ongeveer de helft van Nederland van zoetwater voorzien. Vanuit het IJsselmeer stroomt het zoete water via een groot netwerk van kanalen, boezemwater en sloten naar Groningen, Friesland en delen van Drenthe, Overijssel, Utrecht en Noord-Holland. De regenton wordt gevuld met rivierwater uit de IJssel.

Voor het peilbeheer en de verziltingsbestrijding in het IJsselmeer is het nodig water af te voeren naar de Waddenzee. Dat gebeurt nu nog volledig door water te spuien onder vrij verval. Door zeespiegelstijging staat het water in de Waddenzee in de toekomst steeds vaker te hoog om te kunnen spuien. Daarom zijn recent gemalen in de Afsluitdijk geplaatst (bij Den Oever); deze zijn vanaf 2026 operationeel. De teruglopende spuicapaciteit raakt zowel aan de waterveiligheid als aan de verziltingsbestrijding. De inzet van (meer) pompen en peilopzet kan beide opgaven verlichten.

Als het meerpeil onveranderd blijft, is spuien vanaf 1 meter zeespiegelstijging niet meer mogelijk. Voor het handhaven van het nu afgesproken peil, ten behoeve van de waterveiligheid en het voorkomen van wateroverlast, moet de waterafvoer dan volledig via pompen plaatsvinden. De overgang naar pompen kan ook voor de verziltingsbestrijding effectief zijn. Voorwaarde is dat de spuisluizen op den duur volledig worden afgesloten, zodat er geen zout meer door kan lekken. Verzilting in het IJsselmeer treedt vooral op doordat zeewater via de schut- en spuisluizen in de Afsluitdijk in het IJsselmeer komt. Nu bestrijden we die verzilting door het verzilte water via de spuisluizen naar de Waddenzee weg te laten stromen. Pompen kunnen het zoutere water van grotere diepte aantrekken dan een spui. Dat is efficiënter en bespaart water voor de verziltingsbestrijding. Dat kan nu al

effectief zijn met de pompen die bij Den Oever staan. Vanaf een halve meter zeespiegelstijging is dat zelfs noodzakelijk. Bij Kornwerderzand is dat vanaf 1 meter zeespiegelstijging het geval.

Spuien is goedkoper en effectiever dan pompen. Daarom is in het huidige beleid de optie opengelaten om het gemiddelde winterpeil (in dagelijkse omstandigheden) na 2050 mee te laten stijgen met de zeespiegel, met maximaal 30 centimeter. Daarnaast zullen (ook zonder deze peilverhoging) in de winter grotere pieken in de meerpeilen ontstaan. Het lijkt technisch mogelijk om met pompen het hogere meerpeil te handhaven tot een zeespiegelstijging van 5 meter en de hogere pieken op te vangen. Peilverhoging en de hogere pieken stellen hogere eisen aan de dijken rond het IJsselmeer en het Markermeer en de bescherming van de IJsselVechtdelta en vragen aanpassingen aan de infrastructuur voor de wateruitwisseling met omringende (landelijke en regionale) watersystemen.

Voor de verziltingsbestrijding kan het effectief zijn om de zoetwatervoorraad in de zomer te vergroten, bijvoorbeeld door de bandbreedte waarbinnen het zomerpeil mag variëren met 30 cm te vergroten. Vanaf ongeveer 0,5 meter zeespiegelstijging vraagt de verziltingsbestrijding in het IJsselmeer en de polders in een droge zomer namelijk vrijwel evenveel water als de volledige IJsselafvoer in

die omstandigheden (zeer extreem scenario voor zeespiegelstijging en klimaatverandering). Er blijft dan weinig rivierwater over om onttrekkingen van IJsselmeerwater voor bijvoorbeeld beregning en peilbeheer in de regio weer aan te vullen. Dat betekent dat de zoetwatervoorraad sneller op raakt. Met meer variatie in het zomerpeil wordt de zoetwatervoorraad groter. Daarnaast zal het nodig zijn het gebruik aan te passen aan minder zoetwater.

Bij Andijk ligt een innamepunt voor drinkwater. De onderzoeken laten zien dat het chloridegehalte in droge zomers hier toeneemt. Vanaf 3 meter zeespiegelstijging ligt het zomergemiddelde chloridegehalte boven de 150 mg/l, niet alleen in een zeer extreem scenario, maar ook in een minder extreem scenario. De chlorideconcentratie

ligt dan gedurende een periode van gemiddeld circa 3 maanden tussen de 150 en 200 mg/l. Het waterpeil op het IJsselmeer is dan onder een kritiek punt gezakt, waardoor minder water beschikbaar is voor de verziltingsbestrijding bij de Afsluitdijk. Na elke winterperiode is het innamepunt weer zoet.

De watervraag voor verziltingsbestrijding in de kustprovincies die afhankelijk zijn van zoetwater uit het IJsselmeergebied is bij 0,5 meter zeespiegelstijging meer dan verdubbeld en vertienvoudigd bij 3 meter zeespiegelstijging.



### 6.3 Hollandse kust en Centraal Holland

Centraal Holland is het dichtbevolkte en economisch belangrijke gebied rond het Amsterdam-Rijnkanaal en het Noordzeekanaal (zie Figuur 27). De hoge duinen langs de Noordzee bieden bescherming tegen overstromingen, samen met harde waterkeringen langs het IJsselmeer en een aantal kustplaatsen. Het Amsterdam-Rijnkanaal en Noordzeekanaal vormen de spil van het watersysteem: ze zijn essentieel voor de vlotte afvoer van overtollig water naar zee (om wateroverlast te voorkomen) en de aanvoer van zoetwater. Het gebied maakt gebruik van zoetwater uit het IJsselmeer en de Lek.

Langs de kust van Noord en Zuid-Holland vinden nu regelmatig zandsuppleties plaats. De huidige manier van suppleren blijft toereikend om de kustlijn in ieder geval tot 5 meter zeespiegelstijging op zijn plaats te houden, maar er is wel meer zand nodig en op meer locaties. Uiteindelijk moeten we hier jaarlijks 2,5 keer zoveel zand suppleren (en winnen) als nu. De duinen zullen dan naar verwachting bijna overal volledig meegroeien met de zeespiegelstijging. Op enkele plaatsen waar dat niet lukt, bieden kerven in de eerste duinenrij waarschijnlijk uitkomst. In kustplaatsen staat soms bebouwing op de eerste duinenrij. Daar lukt het niet om de duinen volledig te laten meegroeien met de zeespiegelstijging en is het wel nodig de waterkering te versterken. Ook zijn versterkingen nodig van de zeedijken, zoals bij Den Helder.

De suppleties hebben een positief effect op de zoetwaterbellen die van nature in de duinen voorkomen, vooral omdat de duinen door de suppleties meegroeien met de zeespiegelstijging. Drinkwatermaatschappijen gebruiken deze zoetwaterbellen om water voor de drinkwaterbereiding voor te zuiveren. Als de duinen niet meegroeien, worden de zoetwaterbellen bij zeespiegelstijging kleiner, wat ongunstig is voor de drinkwaterbereiding.

Bij veel neerslag wordt overtollig water uit de regio naar het Amsterdam-Rijnkanaal en Noordzeekanaal

geleid en vervolgens met spuisluisen en pompen bij IJmuiden naar de Noordzee afgevoerd, om wateroverlast te voorkomen. Spuien wordt bij zeespiegelstijging moeilijker. Vanaf 0,4 meter zeespiegelstijging is het peilbeheer vrijwel volledig afhankelijk van (extra) pompen.

Door zeespiegelstijging komt bij schuttingen meer zout water naar binnen en dit zoute water trekt verder het Amsterdam-Rijnkanaal op dan nu. Als het aantal scheepsschuttingen en het doorspoeldebiet gelijk blijven, komt het verzilte water bij 5 meter zeespiegelstijging 2 kilometer verder dan nu. Als we de zoutgrens op dezelfde plaats willen houden als nu, hebben we 15 m<sup>3</sup>/s meer rivierwater nodig om het kanaal door te spoelen dan nu (nu 25 m<sup>3</sup>/s). Door de zoutbestrijding bij de zeeluis nog effectiever te maken, is mogelijk geen extra rivierwater nodig om dit effect van zeespiegelstijging te compenseren. Daarvoor is het nodig het zoute water dat terug naar zee wordt gepompt, van nog grotere diepte aan te trekken.

De grootste opgave voor zoetwater komt door een toename van zoute kwel in de polders die afhankelijk zijn van de Klimaatbestendige Wateraanvoervoorziening (KWA). Deze polders liggen niet alleen in Centraal Holland, maar ook in de regio Rijn-Maasmonding. Als we het zoutgehalte in deze polders gelijk willen houden, is op den duur aanzienlijk meer zoetwater uit het Amsterdam-

Rijnkanaal of de Lek nodig voor het doorspoelen van de polders: bij 1 meter zeespiegelstijging is de watervraag hiervoor verdubbeld en bij 3 meter zeespiegelstijging vertienvoudigd. Daar is al snel niet genoeg zoetwater voor: door klimaatverandering is steeds minder zoet rivierwater beschikbaar en de doorspoelvraag neemt ook in andere gebieden fors toe. Ook zijn forse aanpassingen in de infrastructuur nodig om de benodigde hoeveelheid rivierwater

hier te krijgen, onder meer bij de Irenesluizen, de Bernhardsluizen en in het regionale watersysteem. Het is mogelijk de doorspoelvraag te verkleinen door te sturen op een hogere streefwaarde voor het zoutgehalte. Dat heeft gevolgen voor zoetwatergebruikers, maar ze weten wel waar ze aan toe zijn en kunnen zich aanpassen.



## 6.4 Rijn-Maasmonding

De Rijn-Maasmonding is het gebied waar de Rijn en de Maas via een aantal vertakkingen uitmonden in de Noordzee (zie Figuur 27). Langs deze waterlopen liggen dijken, ook in de uitgestrekte stedelijke gebieden van bijvoorbeeld Rotterdam en Dordrecht. Samen met de stormvloedkeringen bieden de dijken bescherming tegen overstromingen. De stormvloedkeringen gaan alleen bij stormvloed dicht, zodat er bijna altijd een open doorgang naar zee is, wat belangrijk is voor de havenconomie. De Rijn-Maasmonding heeft een groot oppervlak aan buitendijks gebied. Een deel daarvan is intensief in gebruik voor economische activiteiten en woningen. Voor zoetwater is het gebied afhankelijk van de rivieraanvoer via de Rijn en de Maas en de Hollandsche IJssel.

In de Rijn-Maasmonding moeten we de dijken steeds hoger en breder maken. Het lijkt in principe mogelijk om de dijken sterk genoeg te maken tot 5 meter zeespiegelstijging. Daar is wel ruimte voor nodig: een strook van 10-90 meter extra en lokaal veel meer. Vooral in de bebouwde gebieden van de Rijn-Maasmonding is dat een grote opgave. Constructieve maatregelen kunnen hier een ruimtebesparend alternatief zijn; dit type maatregel is echter moeilijker aan te passen als de zeespiegel verder stijgt.

Met aanvullende maatregelen is het mogelijk de omvang van de dijkversterkingen enigszins te beperken, bijvoorbeeld door de stormvloedkeringen nog betrouwbaarder te laten werken, extra rivierwater te bergen in de Zuidwestelijke Delta (Volkerak-Zoommeer en Grevelingen) of pompen te plaatsen bij de Maeslantkering en de Haringvlietssluisen. Door ieder van deze maatregelen daalt de waterstand in extreme omstandigheden met enkele decimeters. Dan zijn alsnog vrijwel overal dijkversterkingen nodig: door de stijgende waterstanden (in zowel extreme als dagelijkse omstandigheden), bodemdaling, zetting van dijken en veroudering. De aanvullende maatregelen leveren daarom slechts geringe besparingen op de dijkversterkingen op (maximaal 3%). Daar staan aanzienlijk grotere

kosten voor de aanvullende maatregelen tegenover. Wel zijn er andere voordelen in het gebied waar de waterstands daling optreedt: de levensduur van de dijken neemt toe, er is minder ruimte nodig voor dijkversterkingen en buitendijkse gebieden hebben met minder hoge waterstanden te maken.

De Europoortkering (de combinatie van Maeslantkering, Hartelkering en Hollandse IJsselkering) sluit nu heel zelden: ongeveer eens in de 10-20 jaar. Als de sluitpeilen gelijk blijven, neemt het aantal sluitingen bij zeespiegelstijging snel toe. Bij een zeespiegelstijging van 2 meter zijn de stormvloedkeringen ongeveer wekelijks gesloten. Dat heeft grote gevolgen voor de scheepvaart en maakt beheer en onderhoud aan de keringen moeilijk uitvoerbaar. Als we het open-afsluitbare karakter van het gebied willen behouden, moeten de sluitpeilen vanaf ongeveer 1 meter zeespiegelstijging omhoog. De stormvloedkeringen gaan dan minder vaak dicht, maar de wateroverlast in de uitgestrekte buitendijkse gebieden neemt daardoor toe. Dat kan grote gevolgen hebben voor de woningen en economische activiteiten in die gebieden. Er zijn verschillende maatregelen denkbaar om deze gevolgen te verminderen (denk aan maaiveldverhoging

of het aanbrengen van kademuren); deze zijn niet meegenomen in dit onderzoek.

Via de Nieuwe Waterweg stroomt zout water landinwaarts. Het zware zoute water ligt als een zogenaamde 'tong' op de bodem, onder het zoete rivierwater. Bij lage rivierafvoeren komt de zoutwatertong verder landinwaarts. Zeespiegelstijging en klimaatverandering versterken dit effect. In een zeer extreem scenario komt het zout bij 0,5 meter zeespiegelstijging ongeveer 11 km verder landinwaarts dan nu, tot bij Moerdijk in het Hollandsch Diep. Veruit het grootste deel van deze landinwaartse verschuiving is het gevolg van de afnemende rivierafvoer door klimaatverandering. Als we deze verschuiving willen voorkomen, moet circa 10% meer rivierwater naar de Nieuwe Waterweg stromen, terwijl in dit scenario door klimaatverandering juist circa 20% minder rivierwater beschikbaar is.

Verzilting van de Hollandsche IJssel en de Lek bij lage rivierafvoeren heeft gevolgen voor meerdere zoetwaterinnamepunten. Om deze innamepunten zo lang mogelijk zoet te houden, moet meer rivierafvoer stromen naar de Hollandsche IJssel en de Lek om voldoende tegendruk te blijven bieden aan het zoute water. In het zeer extreme scenario vraagt dit bij 1 meter zeespiegelstijging vrijwel nog dezelfde hoeveelheid rivierwater voor de Hollandsche IJssel en 2 keer zoveel voor de Lek. Als we in dit scenario de streefwaarden voor het zoutgehalte in de Hollandsche IJssel en Lek in droge tijden verhogen en de bodem van de Nieuwe Waterweg laten meegroeien met

de zeespiegelstijging, vermindert de verzilting door zeespiegelstijging met 10-40%. De effectiviteit neemt af bij verdergaande zeespiegelstijging. Een veel ingrijpender maar ook zeer effectieve maatregel voor het beperken van de verzilting is het in droge tijden periodiek afsluiten van een aantal riviertakken (bijvoorbeeld Hollandsche IJssel, Oude Maas en Hartelkanaal). Deze maatregel blijft bovendien ook bij verdere zeespiegelstijging werken. Daar staat tegenover dat het een kostbare maatregel is met grote consequenties voor de scheepvaart, de waterkwaliteit en de natuur. Deze gevolgen komen boven op de gevolgen van het vaker sluiten van de stormvloedkeringen bij extreem hoog water.

In droge tijden stroomt rivierwater naar de Hollandsche IJssel via het Amsterdam-Rijnkanaal en de regionale Klimaatbestendige Wateraanvoorziening (KWA). De KWA is bedoeld als calamiteitenmaatregel, maar wordt vanaf 1 meter zeespiegelstijging een reguliere maatregel. Vanaf 2 meter zeespiegelstijging zijn ingrijpende aanpassingen van de KWA nodig om genoeg water aan te kunnen voeren.

Het Haringvliet en de inlaten van het Brielse Meer kunnen verzilten als de zee fors opgestuwd wordt door storm. Bij zeespiegelstijging gaat dat vaker gebeuren. Verzilting van deze wateren kan weken tot maanden aanhouden. De belangrijkste inlaat van het Brielse Meer is vanaf 1 meter zeespiegelstijging vaker dan eens in de 20 jaar gedurende meerdere maanden niet beschikbaar door verzilting.

## 6.5 Zuidwestelijke delta

De Zuidwestelijke Delta (zie Figuur 27) is met de uitvoering van de deltawerken in de vorige eeuw veranderd in een complex stelsel van verschillende watersystemen: een zout meer (Grevelingen), zoet meer (Volkerak-Zoommeer), een zeearm met een stormvloedkering (Oosterschelde) en een zeearm die altijd in open verbinding met de zee staat (Westerschelde). Langs al deze watersystemen liggen dijken voor de bescherming tegen overstromingen. Op de 'koppen' van de voormalige eilanden vormen duinen de waterkering. Een deel van het gebied ontvangt zoetwater uit het Volkerak-Zoommeer, dat gevuld wordt met rivierwater. Andere delen zijn voor zoetwater afhankelijk van zoetwaterbellen in de duinen en lokale regenwaterlenzen.

Voor de (voormalige) zeearmen hebben zich in de loop van eeuwen brede relatief ondiepe buitendelta's opgebouwd (de Voordelta). Deze zijn nog sterk in verandering door de deltawerken. Het huidige beleid voorziet in het laten meegroeien van deze buitendelta's met de zeespiegelstijging. Omdat niet bekend is hoe de buitendelta's zich gaan ontwikkelen, is het onzeker hoeveel zand hiervoor nodig is. In aanvulling op de zandsuppleties zijn versterkingen nodig van de zeedijken langs de koppen van de eilanden en de dijken rond de Westerschelde. Vlak langs de koppen van de eilanden liggen diepe getijdengeulen die de mogelijkheden voor suppleren beperken.

De stormvloedkering in de Oosterschelde moet op termijn aangepast worden aan een hogere zeespiegel. Waarschijnlijk is dit pas nodig vanaf een zeespiegelstijging van 70 cm. Een lopend onderzoek brengt in kaart welke opties er dan zijn. Bij toenemende zeespiegelstijging gaat de stormvloedkering vaker dicht, uitgaande van het huidige sluitpeil, en de stormvloedkering zal ook langer dicht blijven. Die sluitingen zullen dan ook buiten het stormseizoen plaatsvinden, in de periode waarin onderhoud aan de kering plaatsvindt. Voor het operationeel beheer is het wenselijk dat de kering niet vaker dan circa 10 keer per jaar sluit (nu sluit de kering

eens in de 2 jaar). Dat aantal wordt bereikt bij een zeespiegelstijging van 60 cm. Het aantal sluitingen is te beperken door de kering bij hoger sluitpeil te sluiten (hoger dan NAP + 3 meter).

Verziltiging van het zoete VolkerakZoommeer ontstaat vooral bij de Krammersluizen. Het bestaande zoet-zoutscheidingsstelsel bij deze sluisen wordt nu vervangen. Als de zeespiegel 1,25 meter is gestegen (en het waterpeil van het Volkerak-Zoommeer stijgt niet mee met de zeespiegel), zijn hier pompen nodig om het binnenkomen van zout te beperken. Voor die tijd neemt de werking van het systeem al af en zijn ook al pompen nodig. Ook via andere sluisen, zoute kwel uit de bodem en de afvoer van polderwater komt zout in het VolkerakZoommeer. Het inkomende zout wordt weggespoeld met zoet rivierwater uit het Hollandsch Diep. Bij zeespiegelstijging komt meer zout in het meer. Daardoor neemt het benodigde doorspoeldebiet toe van circa 30 m<sup>3</sup>/s nu tot circa 70 m<sup>3</sup>/s bij 3 meter zeespiegelstijging. Bij 3 meter zeespiegelstijging neemt de watervraag voor de verziltingsbestrijding in de polders sterk toe, van 1 naar ruim 50 m<sup>3</sup>/s. Voor de doorspoeling van het meer en de polders samen is dan een debiet van ongeveer 100 m<sup>3</sup>/s uit het Hollandsch Diep nodig. Daar komt het benodigde water voor beregening, peilbeheer en ander gebruik nog bij. Deze inname

heeft een significant effect op de verziltiging in de Rijn-Maasmonding. Vanaf 2 tot 3 meter zeespiegelstijging verzilt het Hollandsch Diep in een droge zomer permanent. Het is in die zomers niet mogelijk het Volkerak-Zoommeer van zoet water te voorzien.

Op dit moment dient het Volkerak-Zoommeer als waterberging om de waterstanden in de Rijn-Maasmonding in extreme omstandigheden te verminderen. Onderzocht is of de waterstanden in de Rijn-Maasmonding nog verder te reduceren zijn door extra rivierwater te bergen in het Volkerak-

Zoommeer en de Grevelingen (zie ook 6.4). Dit levert daar een extra waterstandsval van circa 20 cm op bij 1 meter zeespiegelstijging; bij verdere zeespiegelstijging wordt het effect kleiner. Als ook de Oosterschelde wordt ingezet als waterberging (een zeer grote uitbreiding van de waterberging), dalen de waterstanden in het zuidelijk deel van de Rijn-Maasmonding met maximaal 10-20 cm extra. Dit effect is beperkt, omdat het water relatief langzaam naar deze berging stroomt, doordat de waterstandsverschillen klein zijn. Daar staat tegenover dat langs de Oosterschelde dijkversterkingen nodig kunnen zijn.



# Bijlage 1: Overzicht onderliggende rapporten

## Zandige Kust

Systeemanalyse Zandige Kust - Zeespiegelstijging en de voorkeurstrategie voor de zandige kust. Sedimentbehoefte, suppletievolumes en houdbaarheid strategie bij versnelde zeespiegelstijging, Rijkswaterstaat, 2026

Systeemanalyse Zandige Kust - Sedimentbehoefte Nederlands kuststelsel bij toegenomen zeespiegelstijging, Deltares, maart 2023. Rapportnr. 11207897-002-ZKS-0004

Systeemanalyse Zandige Kust - Zand en Zee in Balans op lange termijn. Technisch eindrapport Zandige Kust voor Kennisprogramma Zeespiegelstijging, Deltares, april 2025. Rapportnr. 11207897-002-ZKS-0009

Systeemanalyse Zandige Kust - Effect van zandsuppleties op functies in de kustzone bij toenemende zeespiegelstijging, Arcadis, november 2024. Rapportnr. YNAZZ7T4N37D-1129855941-175:1

Systeemanalyse Zandige Kust - Duindynamiek en Zeespiegelstijging, beschouwing van het duingebied bij toenemende zeespiegelstijging, HKV, september 2024. Rapportnr. PR5239.10

Beschouwing beschikbaarheid zand, Rijkswaterstaat, oktober 2022

Accommodatieruimte per kustvak op basis van gangbare suppletie methoden, Rijkswaterstaat, maart 2025

Netto zandtransporten op de laterale grenzen van het Kustfundament, Deltares, december 2022. Rapportnr. 11207897-002-ZKS-0003

Inventarisatie sedimenttransport op de overgang tussen de ondiepe en diepe kustzone, Deltares, april 2023. Rapportnr. 11207897-000-ZKS-0010

Sedimentbalans Nederlandse Kust, Deltares, September 2024. Rapportnr. 11207897-002-ZKS-0007

Transporten in de ondiepe Nederlandse kustzone, Deltares, maart 2024. Rapportnr. 11207897-002-ZKS-0005

Modelling effect of relative sea level rise using hybrid D3D-ASMITA model, Deltares, februari 2025. Rapportnr. 11207897-002-ZKS-0010

Accommodatieruimte voor toekomstige suppleties, Deltares, april 2025. Rapportnr. 11207897-002-ZKS-0011

Ontwikkeling diepe vooroever Nederlandse kust, Deltares, maart 2025. Rapportnr. 11207897-002-ZKS-0012

## Waterveiligheid

Eindrapport Integrale Studie Waterveiligheid en Peilbeheer IJsselmeergebied, Rijkswaterstaat, juni 2019

Systeemanalyses Waterveiligheid Deelrapport Zandige waterkeringen kust, Rijkswaterstaat, maart 2023

Systeemanalyse waterveiligheid Deelrapport Harde waterkeringen Kust, HKV, Witteveen+Bos, mei 2023

Systeemanalyse waterveiligheid Deelrapport Rijn-Maasmonding en Rivierengebied, HKV, Witteveen+Bos, mei 2023

Systeemanalyse waterveiligheid Deelrapport Waddenzee en Eems-Dollard, HKV, Witteveen+Bos, mei 2023

Systeemanalyse waterveiligheid Deelrapport Zuidwestelijke delta, HKV, Witteveen+Bos, mei 2023

Systeemanalyse Waterveiligheid Bovenregionaal syntheserapport, HKV, juli 2023

Systeemanalyse waterveiligheid zandige waterkeringen kust 3-5m, Rijkswaterstaat, februari 2024

Geotechnische sterkte in KP-ZSS systeemanalyses waterveiligheid, Deltares, oktober 2024

Materiaalbeschikbaarheid dijkversterkingen onder zeespiegelstijging, HAN, februari 2025

Constructieve houdbaarheid en oprekbaarheid van de Oosterscheldekering, HKV, maart 2025

Strategieverlengende maatregelen KP-ZSS voor de Rijn-Maasmonding, HKV, maart 2025

Memo effectiviteit pompen, Deltares, oktober 2025

Syntheserapport Waterveiligheid fase 2 incl oprekmaatregelen, HKV, december 2025

## Zoetwater

Vraagarticulatie en aanzet modelinstrumentarium voor KP-ZSS Spoor 2 Zoetwater, Deltares, maart 2021

Grondwaterverziltiging en watervraag bij een stijgende zeespiegel, Deltares, mei 2022

Systeemanalyses zoetwater regio Volkerak-Zoommeer, Arcadis / HydroLogic, januari 2023

Systeemanalyses zoetwater regio Amsterdam Rijnkanaal-Noordzeekanaal, Arcadis / HydroLogic, januari 2023

Systeemanalyses zoetwater regio Rijn-Maasmonding, Arcadis / HydroLogic, maart 2023

Systeemanalyses zoetwater regio IJsselmeer – Markermeer, Arcadis / HydroLogic, januari 2023

Systeemanalyses zoetwater Bovenregionale waterverdeling, Arcadis / HydroLogic, januari 2023

Verkenning handelingsruimte in doorspoelen polders bij zeespiegelstijging, Deltares, november 2024

Nadere analyse zoetwater Rijn-Maasmonding onder extreme zeespiegelstijging, HKV, december 2024

Effecten zeespiegelstijging op zoetwater in de Nederlandse duinen, Deltares, december 2024

Oprekmogelijkheden door maatregelen op spui- en schutsluizen, Deltares, april 2025

Nadere analyse effecten zeespiegelstijging Regio IJsselmeer & Markermeer, Arcadis / HydroLogic, juli 2025

Synthese bevindingen KP ZSS Systeemanalyses Zoetwater, Rijkswaterstaat, december 2025

### Impactanalyse

Impactanalyse Kennisprogramma Zeespiegelstijging: deelrapport Huidige Strategie, Royal HaskoningDHV, 10 juni 2025

Impactanalyse Kennisprogramma Zeespiegelstijging: Deelrapport Lange Termijn Denkrichtingen: Zeewaarts, Meebewegen, Beschermen Gesloten A1, Beschermen Gesloten A2, Beschermen Open B2, Royal HaskoningDHV, 10 juni 2024

Impactanalyse Kennisprogramma Zeespiegelstijging Deelrapport Oprekmogelijkheden: Zoetwaterbeschikbaarheid, Waterveiligheid, Zandige Kust, RoyalHaskoningDHV, 10 juni 2025

Impactanalyse Kennisprogramma Zeespiegelstijging Deelrapport Nature Based Solutions: Alternatief 1 & 2, Haskoning, 6 november 2025

Impactanalyse Kennisprogramma Zeespiegelstijging: deelrapport Kostenraming strategieën zeespiegelstijging, Royal Haskoning DHV, 2 mei 2025

