



Hoe kan Nederland de stijging van de zeespiegel aan?

Tussenbalans van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging

Coverfoto: Stormvloedkering, Oosterschelde





Tussenbalans van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging

November 2023

De zeespiegel stijgt door klimaatverandering. Dat gaan we allemaal merken. We zijn nu al hard aan slag met dijkversterkingen, zandsuppleties bij de kust en het vasthouden van zoetwater. We moeten alles op alles zetten om ons ook op termijn te blijven beschermen tegen overstromingen en leren leven met minder zoetwater. Hoe minder broeikasgassen de wereld uitstoot, hoe langer en beter we Nederland veilig en leefbaar kunnen houden.





Inhoudsopgave

1. Inleiding	6
2. Samenvattend: hoe houden we Nederland veilig en leefbaar bij zeespiegelstijging?	9
2.1 Grote inspanning nodig	9
2.2 Snel of minder snel: omgaan met onzekerheden	12
2.3 Nederland leefbaar houden: ruimte vrijhouden en toekomstbestendig investeren	13
3. Hoe snel stijgt de zeespiegel?	17
3.1 Uitgangspunten	17
3.2 Resultaten van het onderzoek naar zeespiegelstijging	18
3.3 Wat zijn de nieuwe scenario's voor zeespiegelstijging voor de Nederlandse kust?	20
4. Hoeveel zeespiegelstijging kunnen we aan met de huidige aanpak?	22
4.1 Uitgangspunten	23
4.2 De gevolgen van zeespiegelstijging op waterveiligheid: eerste inzichten	25
4.3 De gevolgen van zeespiegelstijging voor zoetwater: eerste inzichten	34
4.4 Voorlopige conclusies	41
5. Welke andere oplossingen zijn denkbaar?	43
5.1 Uitgangspunten	43
5.2 Oplossingsrichtingen voor de lange termijn	44
5.3 Regio-overstijgende keuzes	47
6. Hoe kan de samenleving tijdig en weloverwogen keuzes maken?	49
7. Wat zijn de volgende stappen in het Kennisprogramma Zeespiegelstijging?	52
7.1 Wat weten we in 2026?	52
7.2 Hoe kunnen we resultaten gebruiken?	53
Colofon	55





1. Inleiding

De zeespiegel stijgt. Dat heeft in Nederland gevolgen voor de waterveiligheid en de beschikbaarheid van zoetwater. Waar moeten we aan denken: hoe groot zijn deze gevolgen? Welke onzekerheden zijn er? Kunnen we ermee omgaan? Het Kennisprogramma Zeespiegelstijging verkent dit. Dit document geeft de tussenbalans van de resultaten in de eerste fase van het programma.

Kennis om Nederland veilig en leefbaar te houden

Het Kennisprogramma Zeespiegelstijging is gestart in 2019, op initiatief van de minister van Infrastructuur en Waterstaat en de deltacommissaris. In dit programma onderzoeken overheden, kennisinstellingen en bedrijven welke gevolgen zeespiegelstijging voor de waterveiligheid en zoetwaterbeschikbaarheid in Nederland heeft en hoe we daarmee om kunnen gaan. Die kennis is nodig om keuzes te 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?

Het Kennisprogramma Zeespiegelstijging zoekt antwoorden op deze kennisvragen:

1. Welke mate van zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust kunnen we verwachten?
2. Hoeveel zeespiegelstijging kunnen we aan met de huidige strategieën en maatregelen?
3. Wat zijn mogelijke oplossingen bij zeespiegelstijging in de verre toekomst?
4. Wat is er nodig op het gebied van communicatie, participatie en organisatie?
5. Hoe kunnen we zeespiegelstijging beter monitoren, zodat we weten wanneer we moeten handelen?

Eindresultaat in 2026

De eindresultaten van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging komen in 2026 beschikbaar. Dat jaar vindt ook de zesjaarlijkse herijking van het Nationaal Deltaprogramma plaats. Overheden en kennisinstellingen beoordelen dan welke aanpassingen in de huidige aanpak nodig zijn om Nederland nu en in de toekomst te beschermen tegen overstromingen, te zorgen voor voldoende zoetwater en de inrichting van het land klimaatbestendig te maken¹.

Tussenbalans in 2023

Ook vóór 2026 willen belanghebbenden weten hoe ze kunnen inspelen op de mogelijke gevolgen van zeespiegelstijging, bijvoorbeeld in plannen voor nieuwe woonwijken, infrastructuur en waterwerken. Dit soort investeringen zullen tenslotte voor tientallen of zelfs honderden jaren de inrichting van Nederland bepalen. Daarom brengt het Kennisprogramma Zeespiegelstijging deze tussenbalans uit met daarin de eerste resultaten. Een digitale folder² geeft een overzicht in vijf minuten. Het voorliggende document geeft verdiepende inzichten.

Basis van de tussenbalans

Deze tussenbalans is het resultaat van een groot aantal onderzoeken en rapporten, onder meer over de versnelling van zeespiegelstijging, de mogelijke gevolgen van zeespiegelstijging op waterveiligheid en op zoetwater en de mogelijke oplossingsrichtingen per regio. Alle publicaties

¹ Het Kennisprogramma Zeespiegelstijging focust op Europees Nederland. Voor Caribisch Nederland – de eilanden Bonaire, Sint-Eustatius en Saba – wordt per eiland gewerkt aan een klimaatplan. Deze plannen, die naar verwachting eind 2024 worden opgeleverd, zullen de gevolgen van klimaatverandering zo goed mogelijk in beeld brengen en een aanpak formuleren die aansluit op de lokale context.

² www.kennisprogrammazespiegelstijging.nl



zijn te vinden op de website van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging³.

De onderzoeken zijn een eerste verkenning naar de technische gevolgen en mogelijkheden bij zeespiegelstijging. De haalbaarheid van de technische mogelijkheden is afhankelijk van veel extra factoren, zoals de ruimtelijke inpasbaarheid en het maatschappelijk draagvlak. De volgende fase biedt hier meer inzicht in.

Wie doen mee?

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) en de Staf van de deltacommissaris (Staf DC) zijn samen opdrachtgever voor het Kennisprogramma Zeespiegelstijging.

De onderzoeken worden uitgevoerd in samenwerking met het KNMI, Rijkswaterstaat, kennisinstellingen en ingenieursbureaus. Ook de regio's van het Deltaprogramma zijn er nauw bij betrokken. Het Expertise Netwerk Waterveiligheid⁴ en het Expertise Netwerk Zoetwater en Droogte toetsen de uitgangspunten van het kennisprogramma en de herkenbaarheid van de onderzoeksresultaten.

Betrokkenheid van bedrijven en maatschappelijke organisaties vindt plaats via een maatschappelijke klankbordgroep, de topsector Water & Maritiem⁵ en deels ook via de regio's van het Deltaprogramma.

Leeswijzer

Hoofdstuk 2 geeft een samenvattend overzicht van de tussenresultaten van het kennisprogramma en eerste handreikingen voor toekomstbestendig investeringen in de ruimtelijke inrichting. In de hoofdstukken 3 t/m 6 komen steeds één of twee kennisvragen aan bod. Soms uitgebreid (hoofdstuk 4), omdat er al veel onderzoek naar is gedaan. Soms wat minder uitgebreid (hoofdstuk 6), omdat deze kennisvraag vooral in de tweede fase aan bod komt. In hoofdstuk 7 staat wat het kennisprogramma in 2026 oplevert en hoe de inzichten uit deze tussenbalans en de eindresultaten gebruikt worden.

³ www.kennisprogrammazeespiegelstijging.nl

⁴ www.enwinfo.nl

⁵ <https://watermaritime.nl/>







2. Samenvattend: hoe houden we Nederland veilig en leefbaar bij zeespiegelstijging?

De zeespiegel stijgt door klimaatverandering. Dat gaan we allemaal merken. We zijn nu al hard aan slag, met dijkversterkingen, zand-suppleties bij de kust en het vasthouden van zoetwater. We moeten alles op alles zetten om ons ook op termijn te blijven beschermen tegen overstromingen en leren leven met minder zoetwater. Hoe minder broeikasgassen de wereld uitstoot, hoe langer en beter we Nederland veilig en leefbaar kunnen houden.

De tussentijdse uitkomsten van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging laten zien dat niets doen in Nederland geen optie is. Maar ook welke mogelijkheden we hebben om de gevolgen van enkele meters zeespiegelstijging voor het merendeel op te vangen: door verder te werken met de huidige aanpak voor waterveiligheid en zoetwaterbeschikbaarheid of door op termijn andere oplossingsrichtingen te volgen. De maatregelen die we daarvoor kunnen treffen, zijn grotendeels in beeld.

Wanneer die maatregelen noodzakelijk zijn, is met aanzienlijke onzekerheid omgeven. Dat hangt voornamelijk af van de snelheid waarmee de wereldwijde uitstoot van broeikasgassen vermindert en hoe dat doorwerkt in de zeespiegelstijging. We kunnen met deze onzekerheid omgaan door nu ruimte vrij te houden voor maatregelen die op den duur mogelijk nodig zijn. En door nu toekomstbestendig te investeren in de ruimtelijke inrichting: denk aan herinrichting van wijken, nieuwe woningbouw, aanleg van (haven)infrastructuur, landbouw, natuur en duurzame energie. Zo geven we volgende generaties ook de kans om Nederland leefbaar te houden.

2.1 Grote inspanning nodig

Zeespiegelstijging heeft in Nederland directe gevolgen voor de waterveiligheid en de zoetwaterbeschikbaarheid (zie hoofdstuk 4). Nederland spant zich nu al continu in om de waterveiligheid en zoetwaterbeschikbaarheid op orde te houden; de aanpak is vastgelegd in wetten en beleid. We kunnen de gevolgen van zeespiegelstijging nog enige tijd opvangen door verder te gaan met deze aanpak; op termijn komen ook heel andere oplossingsrichtingen in beeld.

De zeespiegelstijging versnelt

Het was al bekend dat de wereldwijde zeespiegelstijging versnelt. Recente onderzoeken tonen aan dat de versneling ook zichtbaar is in waarnemingen voor de Nederlandse kust. In de nieuwe KNMI'23-scenario's bedraagt de zeespiegelstijging voor de Nederlandse kust tot 2100 waarschijnlijk maximaal 1,2 meter. Na 2100 gaat het tempo van de zeespiegelstijging steeds meer afhangen van de mate van opwarming en het al dan niet instabiel worden van delen van de Antarctische ijskap. Als de ijskap van Antarctica instabieler is dan in de standaardmodellen



is opgenomen, dan is voor de Nederlandse kust een zeespiegelstijging van 2,5 meter in 2100 en 17,5 meter in 2300 niet uitgesloten (kleine kans, maar grote gevolgen).

Huidige aanpak waterveiligheid: technisch mogelijk tot enkele meters zeespiegelstijging

Met de huidige waterveiligheidsaanpak houden we de kustlijn op zijn plaats met een jaarlijks programma van zandsuppleties. Sinds 2017 zijn er nieuwe wettelijke normen voor primaire waterkeringen; in het Hoogwaterbeschermingsprogramma voeren we dijkversterkingen uit, zodat uiterlijk in 2050 alle waterkeringen aan deze nieuwe wettelijke normen voldoen. Op sommige plaatsen combineren we dijkversterkingen met rivierverruiming. Daarnaast hebben we stormvloedkeringen die bij een bepaalde waterstand sluiten; deze stormvloedkeringen vervangen we als ze aan het einde van hun levensduur zijn.

Als we verder gaan met deze aanpak, is het waarschijnlijk technisch mogelijk om Nederland tot 3 meter zeespiegelstijging tegen overstromingen te blijven beschermen (zie 4.4). Dat vraagt blijvend een grote inspanning en aanpassingen in het ruimtegebruik. Bij doorgaande zeespiegelstijging zijn steeds omvangrijkere zandsuppleties en steeds verdergaande versterkingen van waterkeringen nodig. Daarnaast moeten de stormvloedkeringen veel vaker sluiten, mogelijk bij een hogere waterstand, en uiteindelijk worden vervangen. Bij een hogere waterstand sluiten leidt ertoe dat buitendijkse woon- en havengebieden frequenter, dieper en op sommige locaties permanent onder water zullen staan. De stijgende zeespiegel verkleint de mogelijkheden om overtollig water onder vrij verval naar zee te spuien en maakt steeds grotere pompcapaciteit noodzakelijk, onder meer in de Afsluitdijk en bij IJmuiden.

Met *technisch mogelijk* bedoelen we dat het mogelijk is om waterkeringen en zandsuppleties zo te ontwerpen dat ze de onderzochte zeespiegelstijging kunnen weerstaan. Deze tussenbalans van het kennisprogramma geeft een eerste kwantitatieve inschatting van de benodigde maatregelen. De inpasbaarheid en maatschappelijke impact van de benodigde maatregelen zijn nog niet onderzocht. Die zijn uiteindelijk wel belangrijk voor de houdbaarheid van de huidige aanpak. Voorwaarde voor de houdbaarheid is bovendien dat er voldoende klei en zand beschikbaar is voor de benodigde zandsuppleties en dijkversterkingen. Ook moet ruimte vrij blijven voor dijkversterkingen, want de dijken worden niet alleen hoger maar ook breder. De logistieke uitvoerbaarheid is nog niet onderzocht; die kan vooral een uitdaging worden als de zeespiegelstijging veel sneller gaat verlopen dan nu: dan is op veel plaatsen tegelijk actie nodig. Tot slot lag de focus van de onderzoeken nu op de grote wateren (het hoofdwatersysteem). Om de huidige aanpak te laten slagen zijn

ook in de regionale wateren aanpassingen nodig, bijvoorbeeld om voldoende waterafvoer en -berging te borgen. De daadwerkelijke opgave is dus groter dan hier weergegeven en al deze zaken bij elkaar bepalen uiteindelijk hoe lang de huidige aanpak houdbaar is bij zeespiegelstijging.

Huidige strategie zoetwater: nu al onder druk

Met de huidige strategie voor zoetwater gebruiken we het zoete rivierwater om grote zoetwatersystemen te vullen en verzilting te bestrijden. Dit doen we met een uitgebreid stelsel van sluizen, stuwen en kanalen. Zeesluizen krijgen steeds vaker voorzieningen om te voorkomen dat er met het schutten van schepen zout water binnenkomt.

De zoetwaterbeschikbaarheid staat in droge zomers nu al onder druk en loopt op korte termijn tegen grenzen aan. Dat komt niet alleen door zeespiegelstijging, maar vooral ook door andere klimaateffecten, zoals toenemende droogte, hitte en lagere rivierafvoeren. In alle regio's is steeds meer zoetwater nodig om verzilting te bestrijden, terwijl er in droge zomers minder rivierwater naar Nederland komt. Al (ruim) voordat de zeespiegel met 2 meter is gestegen, is er steeds vaker niet genoeg rivierwater om alle zoetwatersystemen zoet te houden. Dan moeten we het gebruik van zoetwater verminderen en op sommige plaatsen het landgebruik en/of de bedrijfsvoering aanpassen aan de verzilting. Bij doorgaande verzilting moeten we op termijn kiezen hoe we het zoete water over Nederland verdelen.

Hoe groot het probleem van toenemende verzilting en verminderde waterbeschikbaarheid is, hangt af van het lokale water- en landgebruik. De gevolgen voor de zoetwatergebruikers komen in de volgende fase van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging in beeld. Ook voor zoetwater geldt dat naast de onderzochte aanpassingen in het hoofdwatersysteem ook aanpassingen nodig zullen zijn in de regionale wateren.

Andere oplossingsrichtingen: er zijn geen makkelijke oplossingen

Op langere termijn kunnen andere oplossingsrichtingen effectiever zijn om Nederland veilig en leefbaar te houden, dan verdergaan met de huidige aanpak. Denk bijvoorbeeld aan het afsluiten van de Nieuwe Waterweg met een sluizencomplex om de zee buiten de deur te houden. Daar zullen grote pompen moeten komen om rivierwater af te voeren naar zee. We kunnen de oplossing ook verder zeewaarts zoeken, met de aanleg van een groot meer voor de kust van Nederland. Dat meer kan dienen om grote rivierafvoeren op te vangen en verzilting op het land te beperken, maar dat heeft vermoedelijk een forse impact op het natuurlijk systeem. Een heel andere oplossingsrichting is meebewegen met de zeespiegelstijging: wonen



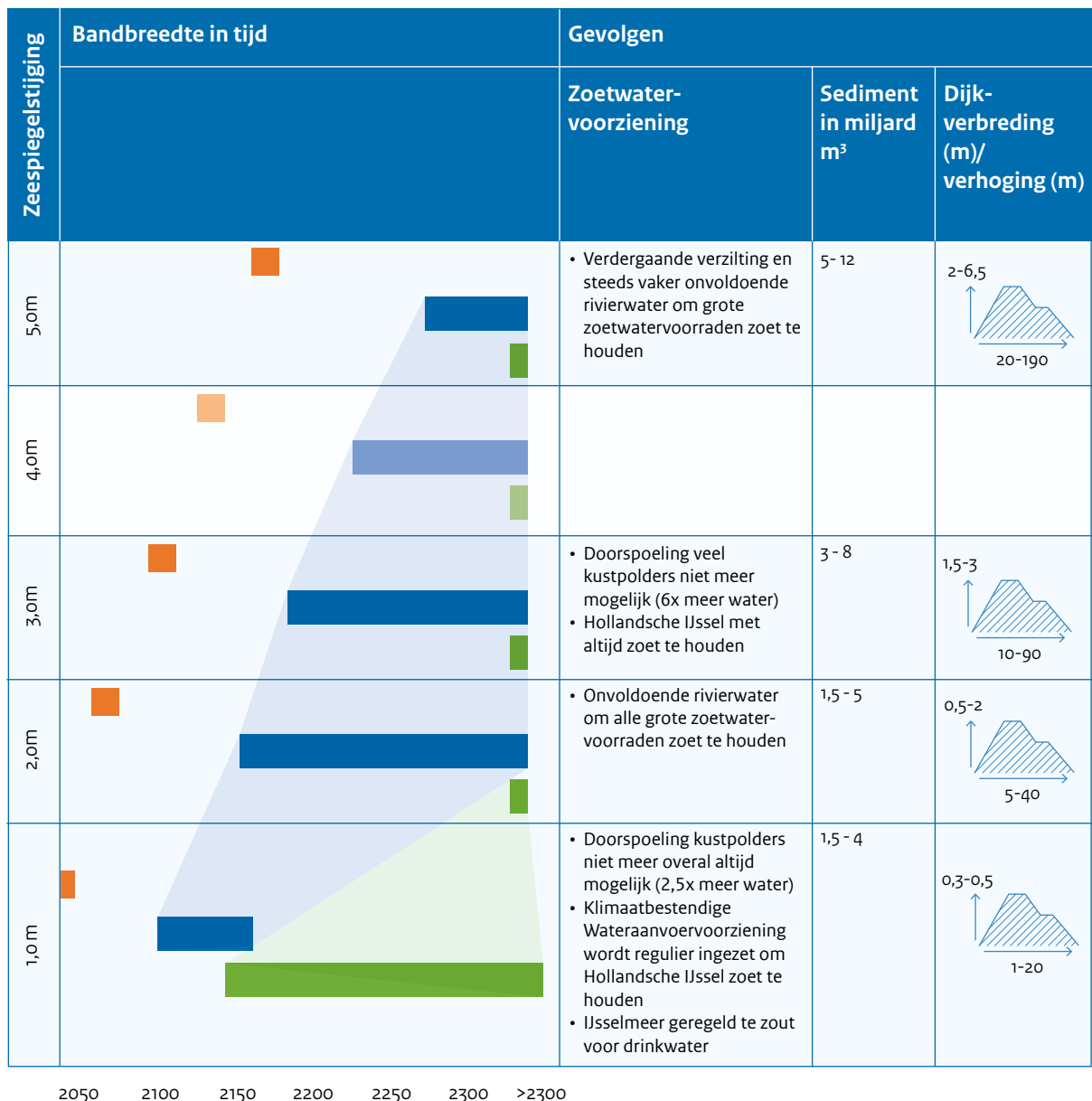
op grote terpen en het landgebruik aanpassen aan verzilting en stijgende waterstanden.

Deze oplossingsrichtingen zijn voor verschillende delen van Nederland met maatwerk in te vullen, passend bij de regionale omstandigheden. Uit een eerste inventarisatie blijkt dat er in alle regio's verschillende mogelijkheden zijn die aansluiten bij andere ontwikkelingen, zoals het Nationale Programma Landelijk Gebied en de energietransitie. De regio's kunnen niet helemaal onafhankelijk van elkaar te werk gaan: er zijn verschillende regio-overstijgende vraagstukken. Zo heeft een andere verdeling van het Rijnwater over de Waal, Nederrijn-Lek en IJssel gevolgen voor het IJsselmeer en de Rijnmond en werkt het

afsluiten van de Nieuwe Waterweg door in het rivierengebied en de Zuidwestelijke Delta.

Drie consortia werken de verschillende oplossingsrichtingen uit in concrete inrichtingsvarianten. Kiezen tussen deze oplossingsrichtingen is op korte termijn nog niet noodzakelijk, daarvoor zijn de onzekerheden op dit moment nog te groot, maar lijkt in de verre toekomst wel mogelijk.

De andere oplossingsrichtingen hebben, net als verdergaan met de huidige aanpak, grote impact en vragen een enorme inspanning en aanpassing. Deze worden verder in beeld gebracht. Makkelijke oplossingen zijn er niet.



Legenda: ■ kleine kans, grote gevolgen ■ SSP 5-8,5 ■ SSP 1-2,5

Figuur 1: De scenario's van zeespiegelstijging uitgezet in tijd (links) met de indicatieve gevolgen van zeespiegelstijging voor zoetwater, zandige kust en waterveiligheid per meter zeespiegelstijging (rechts).



2.2 Snel of minder snel: omgaan met onzekerheden

Verschillende scenario's, grote bandbreedte

Uit de systeemverkenning blijkt welke ingrepen in grote lijnen nodig zijn bij een zeespiegelstijging van 0,5, 1, 2, 3 en, waar mogelijk, 5 meter (zie hoofdstuk 4). Op welk moment we extra maatregelen moeten treffen, hangt af van de snelheid waarmee de zeespiegel stijgt. Daar geven de nieuwe zeespiegelstijgingsscenario's van het KNMI inzicht in: de KNMI'23-scenario's (zie hoofdstuk 3). De scenario's verschillen sterk van elkaar en ook binnen een scenario is er een flinke bandbreedte.

Als de uitstoot van broeikasgassen onverminderd doorgaat (scenario SSP5-8,5) kan een zeespiegelstijging van 1 meter optreden in 2090, maar ook pas in 2150. Dat is een verschil van 60 jaar. In een heel ongunstig (maar niet uit te sluiten) situatie gaat Antarctica versneld afsmelten en kan in 2060 al sprake zijn van 1 meter zeespiegelstijging. In heel gunstige omstandigheden (de wereld houdt zich aan de afspraken die op de Klimaattop in Parijs zijn gemaakt) kan het wel tot 2300 duren voordat de zeespiegel 1 meter hoger staat. Ook voor grotere zeespiegelstijgingen moeten we met dergelijke grote bandbreedten rekening houden.

Onzekerheid leidt tot dilemma's voor de uitvoering van maatregelen

Welk scenario zich daadwerkelijk gaat voltrekken, bepaalt in hoge mate de uitvoerbaarheid van de benodigde maatregelen voor waterveiligheid en zoetwater. Neem bijvoorbeeld de zandsuppleties. Nu suppleren we 11 miljoen m³ zand per jaar om de kustlijn op zijn plaats te houden. Bij 2 meter zeespiegelstijging in 2200 wordt dat gemiddeld 23 miljoen m³ per jaar, maar als 2 meter zeespiegelstijging zich al in 2100 voordoet, is de komende 70 jaar gemiddeld 37 miljoen m³ per jaar nodig en daarna nog meer. In het eerste geval is er ruim tijd om voorbereidingen te treffen, in het tweede geval moeten we in korte tijd fors opschalen, zowel financieel als logistiek. Het voordeel van zandsuppleties is dat we ze van jaar tot jaar flexibel kunnen aanpassen aan veranderende omstandigheden: meer als het nodig is, minder als het kan. In fase 2 van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging wordt onderzocht of we de suppleties verder kunnen optimaliseren.

Ook voor dijkversterkingen is een vraagstuk hoe we omgaan met de onzekerheid. Er loopt nu een omvangrijk dijkversterkingsprogramma, het Hoogwaterbeschermingsprogramma, waarin we rekening houden met een bepaalde mate van zeespiegelstijging. Het einddoel is dat in 2050 alle primaire waterkeringen aan de wettelijke

normen voldoen. Ook daarna zijn dijkversterkingen nodig om de dijken op orde te houden. Door zeespiegelstijging wordt deze opgave groter. Bij een zeespiegelstijging van 1 meter moeten de keringen gemiddeld 0,3-0,5 meter hoger en circa 1-20 meter breder zijn dan nodig voor het Hoogwaterbeschermingsprogramma (dit varieert per regio). Als deze mate van zeespiegelstijging zich al in 2090 zou voltrekken, lijkt het effectief om de geplande dijkversterkingen in het Hoogwaterbeschermingsprogramma robuuster uit te voeren: dat is goedkoper dan snel na 2050 een nieuwe ronde dijkversterkingen te starten en het bespaart een extra ronde met ruimtelijk gepuzzel en overlast. Maar als deze extra versterkingen pas over 200 jaar nodig blijken te zijn, dan is het financieel ongunstig om er nu al in te investeren.

Ook grootschalige kunstwerken (zoals sluisen, stuwen en stormvloedkeringen) kunnen bij versnelde zeespiegelstijging eerder aan vervanging toe zijn. Kunstwerken hebben vaak een geplande levensduur van 100 jaar. In het ontwerp wordt rekening gehouden met een bepaalde mate van zeespiegelstijging binnen de levensduur. Als de zeespiegelstijging sneller verloopt, is het object sneller aan vervanging toe. Als de versnelling sterker doorzet, kan hierdoor al voor 2050 een extra opgave ontstaan. Als de zeespiegelstijging na 2050 verder versnelt, wordt de opgave nog groter. Samen met de opgave voor kustonderhoud en dijkversterkingen zal dit extra beslag leggen op de financiële middelen en de uitvoeringscapaciteit van zowel overheid als markt.

Gebruikers van water moeten zich aanpassen aan de nieuwe omstandigheden. Zo zijn bepaalde vormen van landgebruik in kustgebieden in de toekomst niet op dezelfde manier te continueren als de zoetwaterbeschikbaarheid afneemt. Dit heeft vooral gevolgen voor landbouw, industrie en natuur. De gebruikers staan voor de vraag hoe ze zich bij veranderende omstandigheden kunnen aanpassen.

Monitoren en voorbereid zijn

Door de zeespiegelstijging goed te monitoren, kunnen we eventuele verdere versnellingen van de zeespiegelstijging snel signaleren. Een nieuwe methode om de trend in de zeespiegelstijging te bepalen, is daarvoor van groot belang (zie 3.2). Samen met de wereldwijde inzichten en trends waar het Intergovernmental panel on climate change (IPCC) over rapporteert, houden we hiermee zo goed mogelijk de vinger aan de pols.

We gaan door met de programma's voor zandsuppleties, dijkversterkingen en maatregelen tegen verzilting. In deze programma's nemen we de nieuwe klimaatscenario's mee. Tegelijkertijd moeten we voorbereid zijn om te versnellen en keuzes te maken als het nodig is. Dat



Figuur 2: Nieuwe activiteiten in relatie tot zeespiegelstijging en ruimte voor toekomstige oplossingen.

betekent onder meer: helder hebben hoe we kunnen handelen bij verschillende scenario's. Daarbij moeten we ons realiseren dat de wereld er in een toekomst met zeespiegelstijging heel anders uit zal zien dan vandaag, zowel de omgeving als de maatschappij.

Het Kennisprogramma Zeespiegelstijging draagt met deze tussenbalans bij aan tijdige voorbereiding en levert de komende jaren aanvullende inzichten op. Daarnaast moeten we ervoor zorgen dat we genoeg ruimte houden om te kunnen handelen; de volgende paragraaf gaat daarop in.

2.3 Nederland leefbaar houden: ruimte vrijhouden en toekomstbestendig investeren

Leefbaar, ook voor toekomstige generaties

We weten nog niet wat de beste manier is om de gevolgen van zeespiegelstijging op te vangen: de huidige strategie, een oplossingsrichting met heel andere maatregelen of een combinatie van beide. Ook is er nog grote onzekerheid over de snelheid van de zeespiegelstijging en dus over het moment waarop ingrijpen noodzakelijk is. Maar niet alles is onzeker: we weten zeker dat de zeespiegel blijft stijgen en dat op enig moment nieuwe maatregelen nodig zijn om Nederland veilig en leefbaar te houden. Dat betekent dat onze generatie en zeker ook generaties na ons de mogelijkheid moeten hebben om te handelen en te veranderen zodra dat nodig is.

Wij kunnen daar nu de basis voor leggen. Door ruimte vrij te houden voor de waterinfrastructuur die straks nodig is voor de waterveiligheid en de zoetwaterbeschikbaarheid én door de toekomstige gevolgen in ogenschouw te nemen bij investeringen die het landgebruik voor lange tijd vastleggen.

Ruimte vrijhouden voor waterinfrastructuur

Om de waterveiligheid en de zoetwaterbeschikbaarheid bij verdergaande zeespiegelstijging op orde te houden, is

ruimte nodig. Het vrijhouden van voldoende ruimte voor toekomstige maatregelen is primair een taak van overheden.

Als we volgens de huidige strategie dijken blijven versterken, moeten we ze bij 3 meter zeespiegelstijging circa 10-90 meter breder maken; lokaal kan dit oplopen tot meer dan 150 meter. Die strook moet beschikbaar blijven en dat gaat zeker niet vanzelf. Ook voor woningen, industrie, landbouw en natuur is tenslotte meer ruimte nodig. Het is niet wenselijk om de ruimte die in de toekomst nodig is voor dijkversterkingen nu in te zetten voor permanente functies als woningbouw; tijdelijk gebruik zou wel kunnen. Waterschappen hebben de mogelijkheid om extra ruimte voor toekomstige dijkversterkingen te reserveren door een 'profiel van vrije ruimte' aan te wijzen. De resultaten van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging helpen om nieuwe profielen uit te werken. Het vasthouden van deze ruimte kan tot discussie en spanning leiden, maar is voor de toekomstige waterveiligheid van groot belang.

Als we de kustlijn met zandsuppleties op zijn plaats willen houden, is daar tot 5 meter zeespiegelstijging 35-65 miljoen m³ zand per jaar voor nodig (gemiddeld over de hele periode vanaf nu). In totaal komt dat neer op maximaal 11,7 miljard kuub zand in 2200. In de Noordzee is veel zand aanwezig, maar het moet ook beschikbaar zijn voor het kustonderhoud op lange termijn. Uitgaande van de huidige manier van zandwinnen is ongeveer 2-6 miljard kuub zand beschikbaar binnen de aangewezen gebieden. Nieuwe ontwikkelingen in de Noordzee kunnen de winning van het zand verder onder druk zetten, denk bijvoorbeeld aan windmolens en kabels op de bodem van de Noordzee. Ook kan de vraag naar zand voor andere doeleinden toenemen, zoals voor woningbouw en infrastructuur. In het Kennisprogramma Zeespiegelstijging wordt daarom onderzocht hoe meer zand te winnen is in de huidige zandwingebieden. Het is van belang om meer gebieden aan te wijzen als zandwingebied. Daarnaast is het te overwegen om een bepaalde hoeveelheid zand te reserveren voor toekomstig kustonderhoud. Daarnaast



brengt het Kennisprogramma Zeespiegelstijging de komende jaren in beeld of het mogelijk is de zandsuppleties te optimaliseren, zodat minder zand nodig is om de kustlijn op zijn plaats te houden conform de huidige strategie.

Wanneer we in de toekomst overstappen op andere oplossingsrichtingen voor waterveiligheid en zoetwater, kunnen ook andere vormen van ruimte nodig zijn, bijvoorbeeld ruimte om waterpeilen te laten meestijgen met de zeespiegelstijging, ruimte om vaker wateroverlast toe te laten in buitendijkse gebieden achter stormvloedkeringen en ruimte om landgebruik aan te passen aan verzilting van het grond- en polderwater.

Toekomstbestendig investeren

Niet alleen in het waterbeheer, maar ook in andere domeinen zijn maatregelen nodig om de gevolgen van zeespiegelstijging op te vangen. Voor de komende jaren staan in Nederland transities en omvangrijke investeringen op stapel: meer woningen, duurzame energie, nieuwe infrastructuur, transitie in de landbouw, versterking van de natuur en klimaatadaptatie. Deze investeringen kunnen gevolgen ondervinden van zeespiegelstijging en zelfs hun functie verliezen. Ook kunnen ze ruimte innemen die volgende generaties nodig hebben om zich aan zeespiegelstijging aan te passen. Daarom is het belangrijk toekomstbestendig te investeren: voldoende ver vooruitkijken, de consequenties bij zeespiegelstijging expliciet

maken en daar rekening mee houden. Toekomstbestendig investeren is een verantwoordelijkheid van zowel de markt als de overheid.

650 miljard aan investeringen tot 2050

Voor het deel van Nederland waar zeespiegelstijging in de toekomst invloed kan hebben, is een groot aantal investeringen in voorbereiding of al gepland. Bij elkaar omvatten ze ten minste 650 miljard euro tot 2050. Het Zwaartepunt ligt in de regio's Centraal Holland en Rijnmond-Drechtsteden⁶, maar ook elders zijn investeringen te verwachten:

- nieuwe woonwijken, met name in de regio's Amsterdam, Rotterdam, Utrecht, Almere en Zwolle (dit is een groot deel van de totale investeringen);
- droge en natte infrastructuur in haven- en industrieterreinen, zoals het maritiem cluster Den Helder en de havens in de Rijnmond, langs de Waddenkust en de Westerschelde;
- energie-infrastructuur, bijvoorbeeld de aanleg van windparken op zee met de bijbehorende kabels en aanlandingsvoorzieningen, infrastructuur voor de energietransitie op het land (kabels, transformatorcomplexen), eventuele waterstofproductie bij Den Helder, Eemshaven/Delfzijl, IJmuiden, de Maasvlakte en Vlissingen. Er zijn ideeën voor een tweede kernenergiecentrale in Borssele en de onderzoeksreactor in Petten wordt vernieuwd.

⁶ Sweco, 2021. De investeringsopgave in de Deltaprogramma regio's, adaptief en flexibel investeren, voorbereid op de toekomst met zeespiegelstijging. Rapport NL21-648800269-7615.





Toekomstbestendig investeren is vooral relevant bij investeringen die voor lange tijd de ruimtelijke inrichting of het landgebruik bepalen. Dat is vaak veel langer dan de levensduur van de objecten die in eerste instantie worden gebouwd. Nieuwe woningen worden bijvoorbeeld vaak gebouwd met een verwachte levensduur van vijftig jaar, maar waar eenmaal een woonwijk ligt, blijven in de praktijk vaak eeuwenlang woningen staan. Ook kabels en leidingen van energienetwerken blijven vaak zeer lang op dezelfde plek liggen. Deze trekken bovendien allerlei vervolginvesteringen aan. Investeringen in bedrijvigheid (waaronder landbouwkundige bedrijvigheid) en natuur hebben eveneens langdurig effect op het landgebruik.

Gedurende de levensduur van dergelijke investeringen (en daarna) zal de zeespiegel stijgen. Dat kan gevolgen hebben voor de houdbaarheid van de investering. Zo kan het risico op overstromingen, wateroverlast of verzilting toenemen bij verdergaande zeespiegelstijging. Ook kunnen investeringen het moeilijker maken toekomstige aanpassingen in het waterbeheer uit te voeren, zoals een peilverhoging of de aanleg van een waterbergingsgebied. Voor de meeste investeringen lijkt het verstandig om bij de locatiekeuze en in het ontwerp rekening te houden met het scenario waarin de zeespiegel relatief sterk stijgt (scenario, SSP5-8,5)⁷:

- in 2050: 0,4 meter zeespiegelstijging;
- in 2100: 1,2 meter zeespiegelstijging;
- in 2150: 2 meter zeespiegelstijging.

Voor sommige locaties en type investeringen kan een ander uitgangspunt zinvol zijn. Voor infrastructuur die kwetsbaar en/of van vitaal belang is, is het bijvoorbeeld te overwegen extra zekerheid te creëren door een andere locatie te kiezen of een aangepast ontwerp. Zo voorkomen we dat deze infrastructuur snel kwetsbaarder wordt voor bijvoorbeeld wateroverlast.

De scenario's kunnen in de toekomst veranderen, op basis van nieuwe inzichten en meetwaarden. De zeespiegelstijging kan sneller verlopen, maar ook langzamer. Absolute zekerheid over de investeringen is dan ook niet te bieden.

Vier manieren om een investering toekomstbestendig te maken:

1. Robuust ontwerp: waterbestendig bij mogelijke peilstijging (met als gevolg grotere kans op wateroverlast of overstroming) en/of zoutbestendig (bij verzilting). Het kan ook een keuze zijn om binnen een ontwerp alleen moeilijk aanpasbare onderdelen extra robuust uit te voeren, zoals de fundering.
2. Korte levensduur: zo mogelijk voor een korte levensduur bouwen totdat meer duidelijkheid ontstaat over de toekomstige zeespiegelstijging, bijvoorbeeld met *nature based solutions* (zoals natuurlijke opslibbing).
3. Aanpasbaar ontwerp: een object zo ontwerpen dat het op termijn hoger, breder en sterker te maken is als de omstandigheden dat vereisen, of dat het kan blijven functioneren als het aanbod van zoetwater kleiner wordt.
4. Demonteerbaar ontwerp: een object zo ontwerpen dat het te verplaatsen is naar een andere locatie als de omstandigheden dat vereisen, bijvoorbeeld modulair en prefab gebouwde woningen.

⁷ Shared Socioeconomic Pathways (SSP). Stijgingen zijn ten opzichte van de zeespiegel aan het begin van deze eeuw, zie ook hoofdstuk 3.



Smeltende ijsboog, Antarctica, 2018



3. Hoe snel stijgt de zeespiegel?

Wereldwijd en ook in Nederland vindt veel onderzoek plaats naar zeespiegelstijging. Het Kennisprogramma Zeespiegelstijging bouwt hierop voort met aanvullende kennisontwikkeling. Dit heeft de afgelopen jaren onder meer nieuwe kennis opgeleverd over het smelten van de ijskap van Antarctica en een nieuwe methode om de zeespiegelstijging in de Noordzee beter te bepalen. Het KNMI heeft nieuwe klimaatscenario's voor Nederland opgesteld, waar zeespiegelstijging onderdeel van is. Uit deze KNMI'23-scenario's blijkt dat de zeespiegel in 2100 waarschijnlijk maximaal 1,2 meter is gestegen. In een worst-case-situatie kan dit oplopen tot 2,5 meter. Extreme scenario's zijn nog te voorkomen als we de wereldwijde CO₂-uitstoot verminderen.

Het Kennisprogramma Zeespiegelstijging zoekt antwoorden op deze kennisvragen:

1. Welke mate van zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust kunnen we verwachten?
2. Hoeveel zeespiegelstijging kunnen we aan met de huidige strategieën en maatregelen?
3. Wat zijn mogelijke oplossingen voor zeespiegelstijging in de verre toekomst?
4. Wat is er nodig op het gebied van communicatie, participatie en organisatie?
5. Hoe kunnen we zeespiegelstijging beter monitoren, zodat we weten wanneer we moeten handelen?

Dit hoofdstuk gaat over de kennisvragen 1 en 5.

processen van klimaatverandering als uitgangspunt voor de scenario's voor zeespiegelstijging voor Nederland en vult die aan met recente ontwikkelingen in het vakgebied en specifieke kennis over de zeespiegelstijging in de Noordzee.

Verbeterde modellen voor zeespiegelstijging in de Noordzee

De KNMI-klimaatscenario's bestaan onder meer uit verwachtingen voor de toekomstige zeespiegelstijging voor de Nederlandse kust. Deze verwachtingen worden berekend met computermodellen. De verwachte toekomstige trends in de KNMI'14-klimaatscenario's sloten niet goed aan bij waarnemingen in de afgelopen decennia, doordat de methode niet geschikt was voor het maken van verwachtingen voor de korte termijn. Het KNMI heeft in het Kennisprogramma Zeespiegelstijging nieuwe methodes ontwikkeld om betere gegevens te verkrijgen uit zowel de modellen als de waarnemingen. Als test is hiermee de zeespiegelstijging in de afgelopen 50 jaar 'voorspeld'. De resultaten bleken goed overeen te komen met de waarnemingen in deze periode. Het KNMI heeft de methode toegepast in de KNMI'23-klimaatscenario's, zodat waarnemingen nu vrijwel naadloos overgaan in de verwachtingen voor de toekomst.

3.1 Uitgangspunten

Klimaatscenario's IPCC

Het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) brengt iedere zes tot acht jaar de inzichten uit wereldwijd onderzoek naar klimaatverandering samen in een aantal rapporten. Het KNMI neemt de IPCC-inzichten in de



Nieuwe methoden van het KNMI

De zeespiegel in de Noordzee stijgt op dit moment vooral doordat de nabijgelegen Atlantische Oceaan opwarmt als gevolg van klimaatverandering. Het warmere oceaانwater zet uit, waardoor de zeespiegel stijgt. Het meten van de zeespiegelstijging is complex. Waarnemingen van het wateroppervlak, bijvoorbeeld met satellieten, geven een gecombineerd effect van de zeespiegelstand met onder meer opstuwung door wind. Dit effect kan uit de waarnemingen gefilterd worden. Het KNMI heeft daarvoor een nieuwe methode ontwikkeld. Daarnaast heeft het KNMI een methode ontwikkeld om klimaatmodellen te selecteren die goed aansluiten bij de waargenomen trend. Bij elkaar levert dit een aanzienlijke verbetering van de kennis over de te verwachten zeespiegelstijging in Nederland op. Ook wereldwijd is er grote interesse in de nieuwe methoden⁸.

3.2 Resultaten van het onderzoek naar zeespiegelstijging

De resultaten hieronder gaan in op de toenemende bijdrage van Antarctica aan de zeespiegelstijging, de snelheid van de zeespiegelstijging tot nu toe en de nieuwe scenario's voor zeespiegelstijging voor de kust van Nederland.

Wat is de bijdrage van Antarctica aan zeespiegelstijging?

De opwarming van de aarde heeft verschillende effecten

die bijdragen aan de wereldwijde zeespiegelstijging: het opwarmende oceaانwater zet uit, ijskappen smelten, gletsjers smelten en er komt water vrij dat nu is opgeslagen op het land. Op dit moment levert het smelten van landijs (ijskappen en gletsjers) de grootste bijdrage aan de wereldwijde zeespiegelstijging.

De bijdrage van de smeltende ijskappen van Groenland en Antarctica is nog groter aan het worden. In de periode 2009-2018 verloor de Groenlandse ijskap 7 keer zo veel ijs als in de periode 1992-2001; de Antarctische ijskap verloor 4 keer zo veel ijs als daarvoor. Omdat de Antarctische ijskap zoveel groter is dan de Groenlandse, kan de hoeveelheid smeltwater van Antarctica in de (nabije) toekomst sterker toenemen dan de hoeveelheid smeltwater van Groenland, zeker als de Antarctische ijskap instabiel wordt. Het afsmelten van de Antarctische ijskap werkt bovendien sterker door in de zeespiegelstijging bij Nederland dan het afsmelten van de Groenlandse ijskap.

Daarom heeft het Kennisprogramma Zeespiegelstijging bijgedragen aan onderzoek naar de mechanismen die tot het sneller afsmelten van Antarctica kunnen leiden.

Uit het onderzoek blijkt dat smelt op Antarctica vooral toeneemt door opwarming van het zeewater. Door het warmere water smelt het ijs aan de onderkant af. Daardoor treedt ook meer afkalving van ijs op (ijsbergvorming). De afkalving wordt bovendien minder afgeremd door de ijsplaten die voor de ijskap drijven, omdat deze dunner worden en sneller breken in het warmere water.

⁸ Keizer, I., Le Bars, D., de Valk, C., Jüling, A., van de Wal, R., and Drijfhout, S.: The acceleration of sea-level rise along the coast of the Netherlands started in the 1960s, *Ocean Sci.*, 19, 991–1007.



Afsmeltend landijs Alaska, zomer 2019



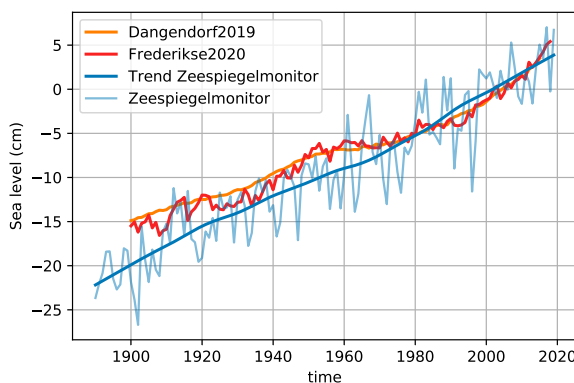
Waar de ijsplaten verdwijnen, ontstaan ijskliffen die onder hun eigen gewicht kunnen bezwijken.

KNMI-onderzoek Antarctica

Het KNMI heeft met een reeks van klimaat- en ijskapmodellen berekend hoe de ijskap van Antarctica reageert op de opwarming van de omringende oceaan. De modellenreeks is gekalibreerd met satellietwaarnemingen van het massaverlies van de Antarctische ijskap. Zo is de opwarming van de oceaan, zoals verwacht in verschillende klimaatmodellen, vertaald in smelt van Antarctica. Deze gegevens vormen de basis voor de bijdrage van Antarctica aan de zeespiegelstijging in de KNMI'23-klimaatscenario's. Het smeltwater heeft op zijn beurt weer impact op de opwarming van de oceaan. Het KNMI voegt deze terugkoppeling op dit moment toe aan het mondiale klimaatmodel EC-Earth en zal daar vervolgens mee berekenen hoe groot de impact is. Dit is een belangrijke stap naar het koppelen van een volledig ijskapmodel aan EC-Earth⁹.

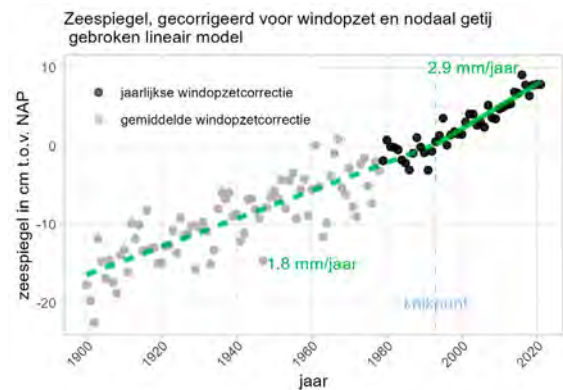
Hoe snel gaat de zeespiegelstijging tot nu toe?

Tussen het begin van de jaartelling en 1800 was er nagenoeg geen sprake van zeespiegelstijging: het wereldgemiddelde schommelde tussen de jaren 0 en 1800 rond de 0 mm per jaar. In de loop van de negentiende eeuw begon de zeespiegel te stijgen. In de afgelopen eeuw steeg de zeespiegel gemiddeld met 1,7 mm per jaar (tussen 1901 en 2018), maar sinds eind jaren zestig van de vorige eeuw laten de metingen een steeds sterkere versnelling zien: ongeveer 2,3 mm/jaar in de periode 1971–2018 en 3,7 mm per jaar in de periode 2006–2018.



Figuur 3: Reconstructie van zeespiegelstijging volgens verschillende studies (bron: KNMI).

De zeespiegel voor de Nederlandse kust is sinds 1890 in totaal bijna 25 centimeter gestegen. Dat komt neer op gemiddeld ongeveer 1,8 millimeter per jaar, dat dicht bij het mondiale gemiddelde ligt. Of ook bij Nederland een versnelling is opgetreden, is lastig te bepalen uit waarnemingen, omdat getij en windopzet het lokale zeeniveau beïnvloeden en de windopzet van jaar tot jaar sterk varieert. De waarnemingen laten dan ook een grillige puntenwolk zien (zie figuur 5). Na correctie voor de gecombineerde invloed van wind en getij op de gemiddelde waterstand kon Deltares echter een trendbreuk identificeren.



Figuur 4: De jaargemiddelde waterstanden voor de Nederlandse kust laten een stijgende trend zien en een snellere stijging in de laatste jaren. Bron: Zeespiegelmonitor Deltares (2022).

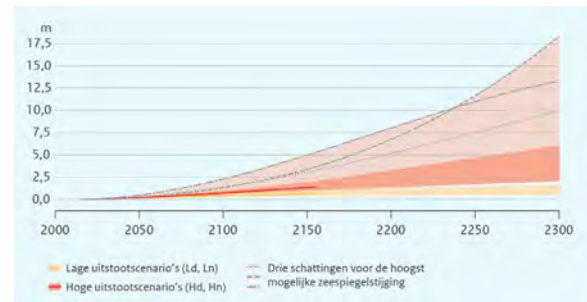
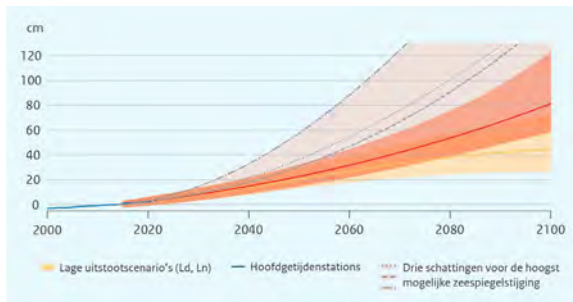
Daaruit blijkt dat de zeespiegel voor de Nederlandse kust de afgelopen 30 jaar met gemiddeld 2,9 mm per jaar is gestegen; dat is sneller dan in de periode daarvoor. De versnelling in de wereldwijde zeespiegelstijging doet zich dus ook bij Nederland voor.

Deltares onderhoudt in afstemming met het KNMI de Zeespiegelmonitor, de jaarlijkse rapportage over de zeespiegelstijging voor de Nederlandse kust. De gegevens worden onder meer door Rijkswaterstaat gebruikt ter ondersteuning van het kustbeheer.

Een team van de TU Delft is onafhankelijk van Deltares en het KNMI tot dezelfde conclusie gekomen¹⁰: de zeespiegelstijging voor de Nederlandse kust versnelt. De berekende snelheden wijken bovendien niet veel af van de getallen van Deltares en het KNMI: 1,7 mm per jaar voor 1993 en 2,7 mm per jaar na 1993.

⁹ van der Linden, E. C., Le Bars, D., Lambert, E., and Drijfhout, S.: Antarctic contribution to future sea level from ice shelf basal melt as constrained by ice discharge observations, *The Cryosphere*, 17, 79–103.

¹⁰ Evidence of regional sea-level rise acceleration for the North Sea. David B Steffelbauer, Riccardo E M Riva, Jos S Timmermans, Jan H Kwakkel and Mark Bakker. (TU Delft)



Figuur 5: Scenario's tot 2100 en 2300 van het zeeniveau bij Nederland t.o.v. het huidige niveau (mediaan en 90%-band), inclusief drie schattingen van de hoogst mogelijke zeespiegelstijging (stippellijnen in lichtroze band)¹¹.

3.3 Wat zijn de nieuwe scenario's voor zeespiegelstijging voor de Nederlandse kust?

Zeespiegelstijging is afhankelijk van de uitstoot van CO₂. Er zijn veel plannen om de uitstoot te beperken, maar het is niet zeker in welke mate de uitstoot daadwerkelijk zal verminderen. Het IPCC werkt daarom met verschillende scenario's waarin de uitstoot in meer of mindere mate af- of toeneemt. In de KNMI'23-scenario's vormen twee uitstootscenario's de bandbreedte voor de verwachte zeespiegelstijging bij Nederland:

- De minste zeespiegelstijging treedt op in het scenario waarin de uitstoot van broeikasgassen sterk afneemt (scenario SSP1-2.6). In dit scenario is de wereldgemiddelde temperatuur circa 1,8 graden gestegen in 2100.
- De sterkste zeespiegelstijging ontstaat in het scenario waarbij geen maatregelen worden genomen om de uitstoot van broeikasgassen te beperken (scenario SSP5-8.5). In dit scenario is de wereldgemiddelde temperatuur in 2100 circa 4,4 graden gestegen.

In de nieuwe KNMI'23-scenario's bedraagt de zeespiegelstijging voor de Nederlandse kust tot 2100 waarschijnlijk maximaal 1,2 meter. Na 2100 gaat het tempo van de zeespiegelstijging steeds meer afhangen van de mate van opwarming en het al dan niet instabiel worden van delen van de Antarctische ijskap.

Het KNMI heeft ook analyses meegenomen voor situaties met een kleine kans van optreden, maar met grote gevolgen. In deze analyses zijn processen meegenomen die nog niet in de standaardmodellen zitten, met name processen waardoor de Antarctische ijskap sneller kan gaan afsmelten. Hieruit blijkt dat als de ijskap van Antarctica instabieler is dan in de standaardmodellen is opgenomen, voor de Nederlandse kust een zeespiegelstijging van 2,5 meter in 2100 en 17,5 meter in 2300 niet uitgesloten is (kleine kans, grote gevolgen). Het mogelijk instabiel worden van de ijskap en de mate van opwarming zijn de grootste onzekerheden bij het bepalen van de toekomstige zeespiegelstijging.

Het IPCC geeft aan dat de oceanen en vooral ook de ijskappen heel traag reageren op veranderingen in het klimaat¹². Het duurt honderden tot duizenden jaren voordat de ijskappen een nieuw evenwicht bereiken. Tot die tijd blijven ze krimpen en gaat de zeespiegelstijging door. De snelheid waarmee dit gebeurt, is sterk afhankelijk van de mate van temperatuurstijging. Hoe groter de temperatuurstijging, hoe sneller de zeespiegelstijging en hoe omvangrijker en kostbaarder de benodigde adaptatiemaatregelen. Daarom is het urgent dat we een *worst-case-scenario* voorkomen en de wereldwijde opwarming beperken tot 2,0 graden Celsius of minder.

¹¹ KNMI'23 scenario's voor Nederland. Van Dorland, R., et al.: KNMI National Climate Scenarios 2023 for the Netherlands. KNMI-Scientific Report WR-23-02.

¹² <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>





4. Hoeveel zeespiegelstijging kunnen we aan met de huidige aanpak?

In Nederland zal zeespiegelstijging vooral gevolgen hebben voor de waterveiligheid en de beschikbaarheid van zoetwater. In het Kennisprogramma Zeespiegelstijging is onderzocht wat deze gevolgen zijn en hoe ze toenemen naarmate de zeespiegel verder stijgt. De centrale vraag van het onderzoek was: kunnen we er op dezelfde manier mee omgaan als nu, met een tandje erbij? Het onderzoek laat zien of dat *technisch* mogelijk is; de maatschappelijke haalbaarheid en verschillende uitvoeringsaspecten zijn nog niet onderzocht.

Uit deze systeemverkenning blijkt dat Nederland zich met de huidige aanpak voor waterveiligheid technisch gezien waarschijnlijk tot 3 meter zeespiegelstijging tegen overstromingen kan blijven beschermen. Dat vraagt blijvend een grote inspanning. De zoetwaterbeschikbaarheid loopt (veel) eerder tegen technische grenzen aan, door zeespiegelstijging, maar vooral ook door andere klimaateffecten.



Het Kennisprogramma Zeespiegelstijging zoekt antwoorden op deze kennisvragen:

1. Welke mate van zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust kunnen we verwachten?
2. **Hoeveel zeespiegelstijging kunnen we aan met de huidige strategieën en maatregelen?**
3. Wat zijn mogelijke oplossingen voor zeespiegelstijging in de verre toekomst?
4. Wat is er nodig op het gebied van communicatie, participatie en organisatie?
5. Hoe kunnen we zeespiegelstijging beter monitoren, zodat we weten wanneer we moeten handelen?

Dit hoofdstuk gaat over kennisvraag 2.

Aan de basis van dit hoofdstuk liggen 14 onderzoeksrapporten. Rijkswaterstaat, kennisinstellingen en adviesbureaus hebben eerst per regio de gevolgen voor waterveiligheid en zoetwater beschreven en die kennis samengebracht in landelijke beelden. Uit die omvangrijke hoeveelheid informatie hebben deskundigen de belangrijkste inzichten voor dit hoofdstuk gedestilleerd¹³.

4.1 Uitgangspunten

Wie in de toekomst kijkt, moet aannames doen. We weten tenslotte niet hoe Nederland er op termijn bij ligt en welke andere ontwikkelingen eraan komen. Ook is het onmogelijk om alle gevolgen van zeespiegelstijging tot in detail te bepalen. Daarom zijn voor de systeemverkenning uitgangspunten gekozen.

Modelberekeningen

De systeemverkenning bestaat uit onderzoeken naar de gevolgen van zeespiegelstijging voor de waterveiligheid (de zandige kust en de waterkeringen) en de zoetwaterbeschikbaarheid. De onderzoeken zijn grotendeels gebaseerd op modelberekeningen. Gedetailleerde informatie over de aanpak van de modelberekeningen is te vinden in de achterliggende regiorapporten.

Landelijk beeld op basis van onderzoek per regio

De onderzoeken die aan de basis van dit hoofdstuk liggen, hebben als doel om op hoofdlijnen een beeld te krijgen van de landelijke gevolgen van zeespiegelstijging. Hoe zeespiegelstijging uitpakt, kan per regio sterk verschillen, bijvoorbeeld door verschillen in het watersysteem, de ondergrond, de inrichting, het gebruik en de infrastructuur. Daarom zijn eerst de gevolgen per regio onderzocht, steeds met dezelfde aanpak. Die zijn vervolgens vertaald in een landelijk beeld.

Focus op het hoofdwatersysteem en primaire waterkeringen

Het hoofdwatersysteem bestaat uit de grote Nederlandse wateren: Noordzee en Waddenzee, de grote meren, rivieren en kanalen en de deltawateren. Rond veel van deze grote wateren liggen primaire waterkeringen die bescherming bieden tegen overstromingen. Het onderzoek focust op het hoofdwatersysteem en de primaire waterkeringen, omdat de potentiële risico's op het gebied van waterveiligheid en zoetwater daar het grootst zijn. Bovendien zijn de gevolgen in het regionale systeem grotendeels afhankelijk van wat er in het hoofdwatersysteem gebeurt.

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 in de kuststreek via het grondwater verzilt door zeespiegelstijging, hoewel het polderwater geen onderdeel van het hoofdwatersysteem is. Dit is gedaan om in te kunnen schatten hoeveel extra zoetwater het hoofdwatersysteem zou moeten aanvoeren om het polderwater zoet te houden.

Zeespiegelstijging van 0,5-5 meter, zonder jaartal

De systeemverkenning laat zien wat de gevolgen zijn als de zeespiegel met 0,5 meter, 1 meter, 2 meter, 3 meter of 5 meter stijgt. Deze range is over het algemeen nog met bestaande modellen te onderzoeken. Voor sommige gebieden is de opgave voor de waterkeringen bij 5 meter zeespiegelstijging ingeschat door de berekende opgave tot en met 3 meter zeespiegelstijging te extrapoleren. Voor enkele andere gebieden is 5 meter zeespiegelstijging nog niet onderzocht, bijvoorbeeld voor de Oosterschelde en de duinen, omdat de modellen daar niet geschikt voor zijn; dit onderzoek vindt plaats in de tweede fase van het kennisprogramma. Ook de onzekerheid rond de opgave voor 5 meter zeespiegelstijging wordt nader bekeken. Deze opgave komt terug in de eindrapportage.

De onderzoekers hebben in de systeemverkenning de gevolgen voor bepaalde meters zeespiegelstijging berekend onafhankelijk van de snelheid van de zeespiegelstijging. Voor sommige onderdelen was het toch nodig om een aanname te doen over het jaartal waarin een bepaalde mate van zeespiegelstijging zich voordoet, bijvoorbeeld om de jaarlijkse kosten van dijkversterkingen te kunnen schatten. Met de nieuwe KNMI-scenario's (zie figuur 5, hoofdstuk 3) is het mogelijk de resultaten van de systeemverkenning te plaatsen in de tijd.

¹³ <https://www.deltaprogramma.nl/deltaprogramma/kennisontwikkeling-en-signalering/zeespiegelstijging/onderzoeksresultaten-2023>



Overige effecten van klimaatverandering en bodemdaling waar nodig ook meegenomen

Zeespiegelstijging is een van de gevolgen van klimaatverandering, naast bijvoorbeeld veranderingen in extreme rivierafvoeren (hoger in de winter en juist lager in voorjaar, zomer en najaar), extremere neerslag, langere perioden van droogte en meer hitte. Deze andere klimaateffecten kunnen de gevolgen van zeespiegelstijging voor waterveiligheid en zoetwater versterken of verzwakken. In de onderzoeken is het effect van zeespiegelstijging zo zuiver mogelijk in beeld gebracht. Andere klimaateffecten zijn meegenomen als dat nodig was voor een realistische uitkomst. Zo is onder meer gerekend met verschillende scenario's voor rivierafvoeren, omdat die veel invloed hebben op de gevolgen van zeespiegelstijging voor waterveiligheid en zoetwater.

Door verschillende oorzaken daalt de bodem in Nederland op de ene plaats meer dan op de andere. Voor sommige gevolgen van zeespiegelstijging is de combinatie van bodemdaling en zeespiegelstijging van belang (de zogenaamde relatieve zeespiegelstijging), bijvoorbeeld voor de benodigde dijkversterkingen. Daarom is in berekeningen de verwachte mate van bodemdaling meegenomen.

Huidige aanpak als uitgangspunt

De systeemverkenning geeft antwoord op de vraag wat de toekomstige opgave wordt als we verder gaan met de huidige aanpak voor waterveiligheid en zoetwater. Het uitgangspunt van de berekeningen is daarom dat we de huidige aanpak zo lang mogelijk voortzetten. Dat betekent

bijvoorbeeld dat het huidige beleid voor de kustlijn­zorg, de verdeling van zoetwater in droge tijden, peilbesluiten, de inzet van stormvloedkeringen en de wettelijke normen voor primaire waterkeringen van kracht blijven. Voor stormvloedkeringen is nog niet onderzocht hoe deze eruitzien bij zeespiegelstijging. Uitgangspunt voor het onderzoek is dat er stormvloedkeringen zijn met dezelfde werking als nu. Voor de huidige aanpak is uitgegaan van de voorkeursstrategieën van het Deltaprogramma. Een beknopte omschrijving staat in de paragrafen 4.2.1 en 4.3.1 onder de kopjes 'Huidige aanpak: hoe gaan we nu om met ...'.

De onderzoeken gaan er ook vanuit dat maatregelen die al zijn vastgelegd, volgens planning worden uitgevoerd, zoals het Hoogwaterbeschermingsprogramma. Aangenomen is dat alle primaire waterkeringen in 2050 aan de normen uit de Waterwet voldoen. Er zijn ook andere manieren om met de gevolgen van zeespiegelstijging om te gaan dan verdergaan met de huidige aanpak. Hoofdstuk 5 belicht een aantal andere oplossingsrichtingen.

Nieuwe rekenregel voor zandsuppleties

Nederland houdt de kustlijn op zijn plaats met zandsuppleties. Het uitgangspunt van de kustlijn­zorg is dat het 'kustfundament' meegroeit met de zeespiegelstijging. Daarbij is het kustfundament de zone vanaf de binnenduinrand zeewaarts, tot een diepte van 15 tot 20 meter. De zandsuppleties vinden nu plaats in het hogere deel van het kustfundament. Uit analyses van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging blijkt dat het gesuppleerde zand daar blijft en zich niet of nauwelijks zeewaarts verspreidt.



Zoetwaterinlaat, Gouda



Daarom is opnieuw bepaald welke zone moet meegroeien met behulp van zandsuppleties om de kustlijn duurzaam op zijn plaats te houden. Deze 'actieve zone' is aanzienlijk kleiner dan het hele kustfundament. De gevolgen voor de kustlijn, zoals gepresenteerd in deze tussenbalans, zijn gebaseerd op het laten meegroeien van deze kleinere zone.

4.2 De gevolgen van zeespiegelstijging op waterveiligheid: eerste inzichten

De ligging aan zee biedt Nederland grote voordelen, maar het is ook een bron van zorg. In de loop van de geschiedenis is ons land door talloze overstromingen geteisterd. Daar hebben we ons steeds beter tegen beschermd. De waterveiligheid heeft nu een zeer hoog niveau, door continue inspanning van waterschappen en Rijkswaterstaat.

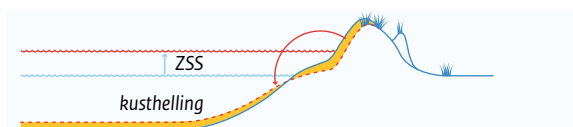
Zeespiegelstijging heeft gevolgen voor het behoud van de waterveiligheid in een groot deel van het land: langs de Noordzeekust, de vastelandskust van Groningen en Friesland, het IJsselmeer, Westerschelde en Oosterschelde, de Nieuwe Waterweg en de andere getijdenwateren rond Rotterdam en Dordrecht en de grote rivieren tot ver stroomopwaarts langs de Waal, de Lek en de Maas. Het lijkt erop dat we de waterveiligheid met de huidige aanpak technisch gezien op het vereiste niveau kunnen houden, als we steeds meer zand suppleren langs de kust en continu blijven investeren in dijkversterkingen, sluisen en pompen, stormvloedkeringen en andere waterkeringen. Uitvoeringsaspecten en de maatschappelijk haalbaarheid zijn nog niet onderzocht.

4.2.1 Wat gebeurt er met de waterveiligheid als de zeespiegel stijgt?

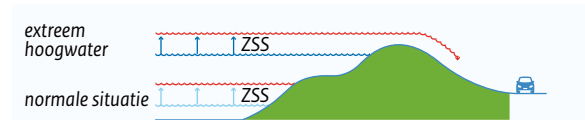
Hoe werkt zeespiegelstijging in op de waterveiligheid?

De zee grijpt op verschillende manieren in op de waterveiligheid:

Erosie rond de kustlijn: als we niets doen, wordt Nederland steeds kleiner. De kustlijn verschuift geleidelijk landinwaarts. Dat komt doordat golven en stroming stelselmatig zand weghalen uit de brandingszone, het strand en de voorste duinen. Dit gebeurt nu al; zeespiegelstijging versnelt dit proces.



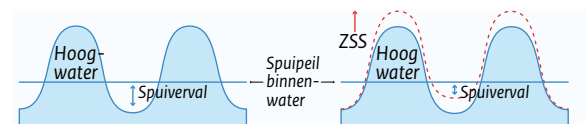
Grotere belasting op de waterkeringen: Grotere belasting op de waterkeringen: hogere waterstanden en golven vormen een grotere belasting op de duinen, dijken, dammen en stormvloedkeringen in een groot deel van het land. Als deze waterkeringen niet hoog en sterk genoeg zijn, kunnen ze bij een extreme stormvloed falen.



Stormvloedkeringen vaker dicht: als de vastgestelde 'sluitpeilen' gelijk blijven, gaan de stormvloedkeringen steeds vaker dicht.



Minder spuien: overtollig water in grote meren en kanalen moet kunnen wegstromen naar zee, anders wordt de waterstand te hoog. Als het water op zee laag genoeg staat, kan het binnenwater via spuisluizen wegstromen. Naarmate de zeespiegel verder stijgt, worden de mogelijkheden om te spuien steeds kleiner.



Huidige aanpak: hoe gaan we nu om met waterveiligheid?

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

Waar de zee zand weghaalt rond de kustlijn, vullen we dat aan met een doorlopend programma van zandsuppleties. De wind blaast een deel van het zand naar de duinen, die daardoor hoog en sterk blijven. Daarmee houden we ook andere waarden van de zandige kust in stand, zoals recreatieve waarden en natuur. We suppleren jaarlijks 11 miljoen kubieke meter zand in de kustzone. Dat zand komt uit diepere delen van de Noordzee die hiervoor speciaal zijn aangewezen.

De primaire waterkeringen zijn de waterkeringen langs de kust, zeearmen, meren en rivieren. Ze bestaan uit duinen, dijken, dammen en stormvloedkeringen. Deze waterkeringen



Zeespiegelstijging heeft gevolgen voor het kustlijnonderhoud, waterkeringen, stormvloedkeringen en de afvoer van overtollig water naar zee.



Figuur 6: Overzicht van de uitgevoerde onderzoeken voor waterveiligheid.

moeten voldoen aan wettelijke normen voor de waterveiligheid. We houden ze op orde met continu onderhoud en zo nodig voeren we dijkversterkingen uit in het Hoogwaterbeschermingsprogramma. De stormvloedkeringen gaan dicht als het water naar verwachting hoger komt dan het afgesproken sluitpeil. Op de Afsluitdijk komen binnenkort pompen te staan, als aanvulling op de spuisluisen, om het IJsselmeerpeil te beheersen en zo de waterveiligheid te borgen.

Welke gevolgen heeft zeespiegelstijging voor waterveiligheid?

Kustlijn

We kunnen de kustlijn met zandsuppleties op zijn plaats houden, ook bij zeespiegelstijging. Dure versterkingen van waterkeringen langs de kust zijn hierdoor op minder plaatsen en minder snel nodig. Zandsuppleties sluiten aan bij de natuurlijke processen en we kunnen ze flexibel aanpassen als de zeespiegel sneller of minder snel stijgt.

Bij toenemende zeespiegelstijging is steeds meer zand nodig om de kustlijn op zijn plaats te houden. Bij 1 meter zeespiegelstijging gaat het om 1,5-3 keer zoveel zand als nu (gemiddeld 16-35 miljoen m³/jaar), bij 5 meter zeespiegelstijging om 3-6 keer zoveel zand (gemiddeld 35-65 miljoen m³/jaar). Tot 5 meter zeespiegelstijging is het in theorie mogelijk om genoeg zand uit de Noordzee

winnen voor kustlijnonderhoud, maar dat gaat niet vanzelf. We moeten op meer plaatsen en tot grotere diepte zand winnen dan nu is toegestaan en de suppleties optimaliseren. En vooral ook: borgen dat toekomstige generaties het zand kunnen inzetten voor kustonderhoud. Als het benodigde zand van verder op zee moet komen, nemen de kosten per kuub zand met 20-25% toe.

Waterkeringen

Als we de kustlijn volgens het huidige beleid op zijn plaats houden met suppleties, kunnen de duinen op de meeste plaatsen op natuurlijke wijze meegroeien met de zeespiegelstijging. We hoeven ze voorlopig niet te versterken: tot 3 meter zeespiegelstijging blijven ze in ieder geval sterk genoeg. Bij kustplaatsen zijn wel versterkingen nodig, omdat de duinen daar minder goed kunnen meegroeien. Voor andere waterkeringen ontstaan aanzienlijke opgaven: bij 1 meter zeespiegelstijging moeten we 60% van alle primaire waterkeringen versterken om aan de normen te blijven voldoen. Deze waterkeringen liggen overal waar de zeespiegelstijging merkbaar is: langs de wateren in de Rijn-Maasmonding, de grote rivieren, Oosterschelde en Westerschelde, Waddenzee en Eems-Dollard.

Dijkversterkingen lijken tot 3 meter zeespiegelstijging technisch mogelijk. Hiermee bedoelen we dat het op basis van de huidige kennis mogelijk lijkt om keringen en



Uitbreiding spuisluizen Afsluitdijk, Den Oever, 2022

suppleties te ontwerpen voor deze mate van zeespiegelstijging. Voorwaarde is dat er genoeg ruimte beschikbaar is: de waterkeringen worden niet alleen hoger, maar ook breder (gemiddeld circa 10-90 meter). Vooral in bebouwd gebied, zoals in de Rijn-Maasmonding maar ook in het rivierengebied, is dat een grote uitdaging. Daarnaast moet er voldoende materiaal zijn om de dijken te versterken (voornamelijk zand en klei). De jaarlijkse kosten hebben op basis van deze eerste analyse dezelfde orde van grootte als de kosten van het Hoogwaterbeschermingsprogramma (1-1,5 keer zoveel).

Stormvloedkeringen

In het onderzoek is ervan uitgegaan dat stormvloedkeringen een rol blijven spelen in de waterveiligheid, conform de huidige aanpak, en dat we ze vervangen als ze niet meer voldoen door veroudering of zeespiegelstijging. Deze vervanging is een complexe opgave, maar in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten. Bij stijgende zeespiegel sluiten de stormvloedkeringen steeds vaker. Als we de huidige sluitpeilen handhaven, sluit de Oosterscheldekering ongeveer 45 keer per jaar bij 1 meter zeespiegelstijging (nu eens in de 2 jaar) en de Maeslantkering 6 keer per jaar (nu eens in de 10-20 jaar). Dat heeft onder meer gevolgen voor natuur en scheepvaart. Als we het open karakter van de Oosterschelde en de Nieuwe Waterweg willen behouden, moeten we de sluitpeilen uiteindelijk verhogen. De stormvloedkeringen gaan dan minder vaak dicht, maar er ontstaat wel meer en vaker wateroverlast in buitendijkse gebieden. Zonder aanpassing heeft dat grote gevolgen voor de woningen en economische activiteiten in die gebieden.

Pompen

Vanaf 0,5 meter zeespiegelstijging wordt het steeds moeilijker om het IJsselmeerwater naar de Waddenzee te spuien en moeten we steeds vaker pompen inzetten.

Vanaf 1 meter zeespiegelstijging moeten we altijd pompen. Ook bij IJmuiden en de Bathse spuisluis is dan veel (meer) pompcapaciteit nodig om wateroverlast te voorkomen.

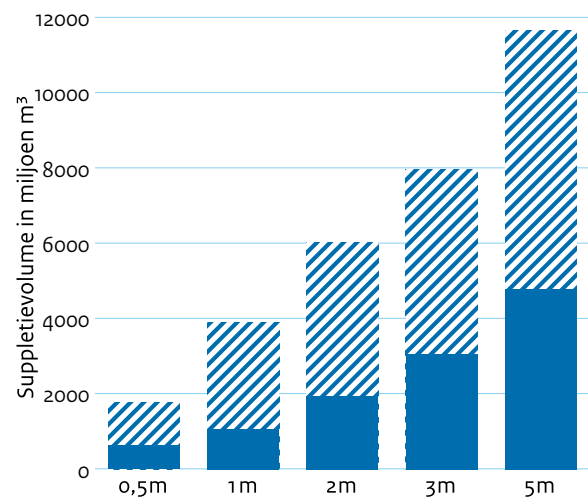
4.2.2 Verdiepende inzichten

Door zeespiegelstijging moeten we meer inspanning leveren om de waterveiligheid op orde te houden. Hieronder volgen aanvullende inzichten over de gevolgen zoals beschreven in 4.2.1.

Hoeveel zand is nodig bij verschillende scenario's voor zeespiegelstijging?

De zandbehoefte hangt af van de snelheid van de zeespiegelstijging: hoe sneller de zeespiegel stijgt, hoe meer zand er nodig is.

Suppletievolumes

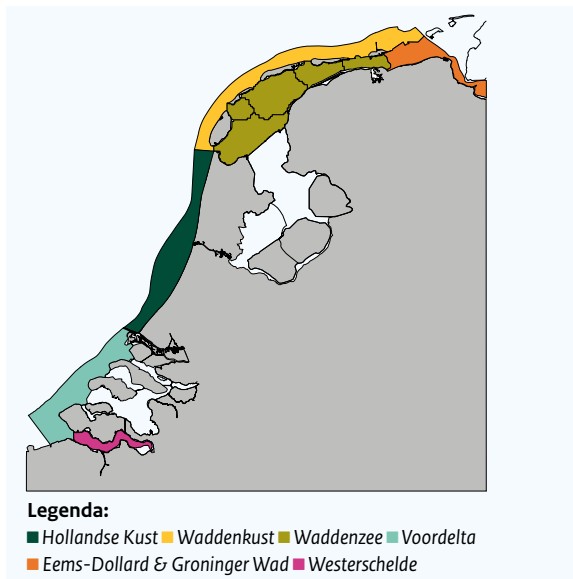


Figuur 7: Als de zeespiegel stijgt is steeds meer zand nodig voor kustsuppleties. Hoeveel precies is onzeker. Het blauwe deel is in ieder geval nodig, maar mogelijk ook het gearceerde deel.

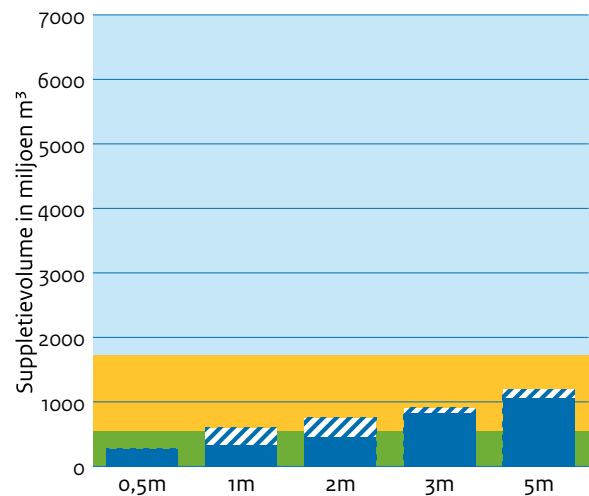


De zandbehoefte verschilt per kustregio. We onderscheiden de Waddenkust (Noordzeekust van de Waddenzee), de Hollandse kust (doorgaande kust van Noord- en Zuid-Holland) en de Deltakust. In alle scenario's is de zandbehoefte van de Waddenkust het grootst; dat is nu ook al zo. Dat komt vooral omdat de zone die moet

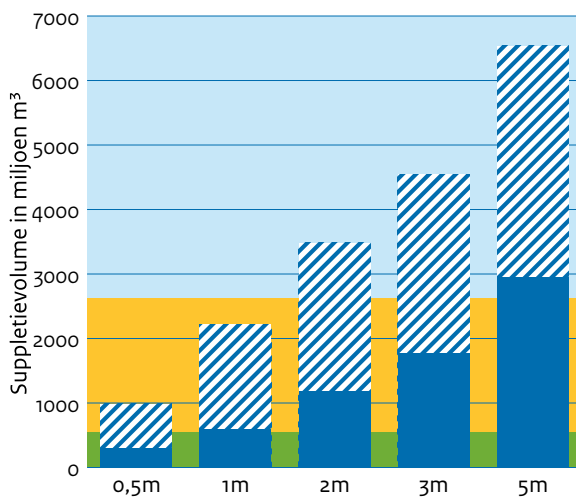
meegroeien om de kustlijn op zijn plaats te houden daar het grootst is. Bovendien voorziet het huidige suppletiebeleid in extra suppleties voor de Waddeneilanden om het natuurlijke zandverlies naar de Waddenzee deels (voor 50%) te compenseren. Bij wijziging van dit beleid kan de suppletieomvang sterk toe- of afnemen.



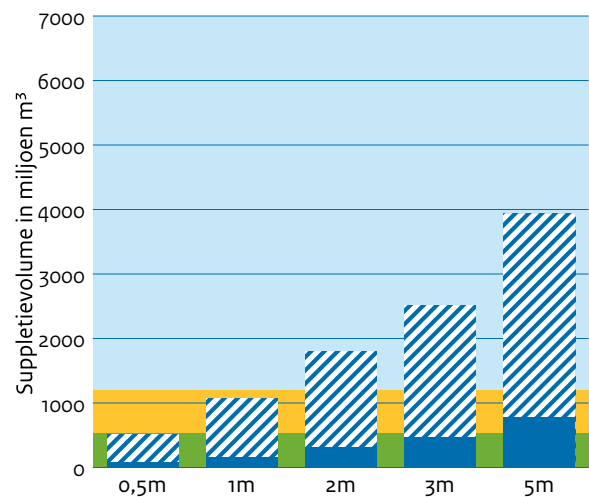
Hollandse Kust



Waddenkust



Deltakust



Figuur 8: De benodigde zandsuppleties in de regio's Waddenkust, Hollandse Kust en Deltakust bij verschillende mate van zeepijl stijging. Blauw is minimaal nodig, het gearceerd deel kan erbovenop komen (onzekerheid). De kleuren achter de staafjes geven aan hoeveel zand aanwezig is de betreffende regio: groen = zeker, geel = misschien, lichtblauw = niet beschikbaar bij huidige werkwijze.



Hebben we genoeg zand voor kustonderhoud?

Het zand voor kustsuppleties wordt gewonnen in de Noordzee. Omdat varen met zand duur is, wordt het zand dicht bij de suppletie locaties gewonnen. De winning mag tot maximaal 6 meter diepte plaatsvinden op vastgestelde winlocaties. Waar ontplofbare oorlogsresten kunnen liggen, gelden beperkingen. Binnen dit beleid kunnen we tot 0,5 meter zeespiegelstijging genoeg zand winnen. Daarna ontstaan voor de suppleties in de Waddenkust en de Deltakust steeds grotere zandtekorten. Voor de kust van Centraal Holland blijft ten minste tot 3 meter zeespiegelstijging genoeg zand beschikbaar.

In de Noordzee is voldoende zand om de kust te onderhouden tot 5 meter zeespiegelstijging. Dit zand moet dan wel beschikbaar zijn en blijven voor kustonderhoud, ook in de verre toekomst. De zandwinning voor kustonderhoud zal namelijk moeten concurreren met andere functies. Bijvoorbeeld met zandwinning voor wegenbouw en andere infrastructurele projecten en met de aanleg van windmolenparken en de bijbehorende energie-infrastructuur.

Hoe zeker zijn we van de toekomstige zandbehoefte?

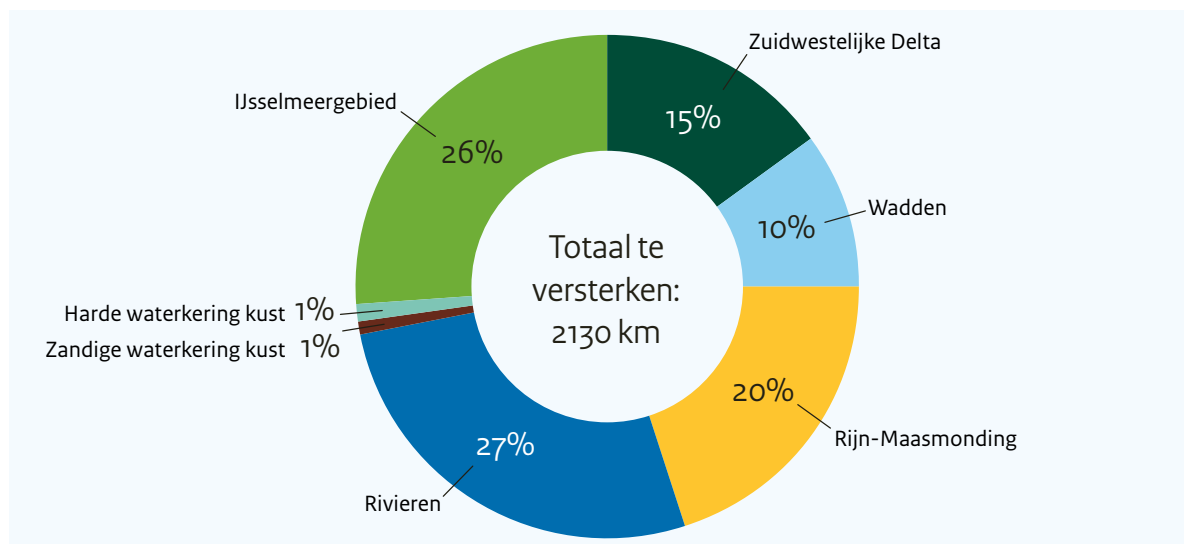
De bandbreedte in de verwachte zandbehoefte is groot. Hoeveel zand precies nodig is, hangt deels af van de snelheid waarmee de zeespiegel stijgt en die is nog niet met zekerheid in te schatten. Daarnaast is de zandbehoefte afhankelijk van natuurlijke zandverplaatsingen in de kustzone en die veranderen door zeespiegelstijging. Hoe ze veranderen, is nog deels onbekend. De grootste onzekerheid is er over de zandbehoefte langs de Noordzeekust van de Waddeneilanden (hoeveel zand gaat zich via natuurlijke weg verplaatsen van de Noordzee naar de Waddenzee?) en de kust van de zuidwestelijke delta

(hoe gaat het zand in de brede ondiepe 'buitendelta' zich herverdelen?).

Hoeveel waterkeringen moeten we versterken bij verschillende scenario's voor zeespiegelstijging?

Als de zeespiegel stijgt, zijn versterkingen van dijken en duinen nodig om aan de norm te blijven voldoen. Als we ervan uitgaan dat in 2050 alle primaire waterkeringen aan de norm voldoen, zijn bij 1 meter zeespiegelstijging versterkingen nodig over een lengte van ruim 2000 kilometer. Deze waterkeringen liggen langs alle grote wateren die onder invloed van de zee staan. Alleen langs de Noord- en Zuid-Hollandse kust zijn nauwelijks versterkingen nodig, ervan uitgaande dat de duinen blijven meegroeien met de zeespiegelstijging als we de zand-suppleties volgens de huidige aanpak voortzetten. Ook zonder zeespiegelstijging zijn overigens dijkversterkingen nodig, onder meer vanwege bodemdaling en toenemende hoogwaterafvoeren in rivieren door klimaatverandering.

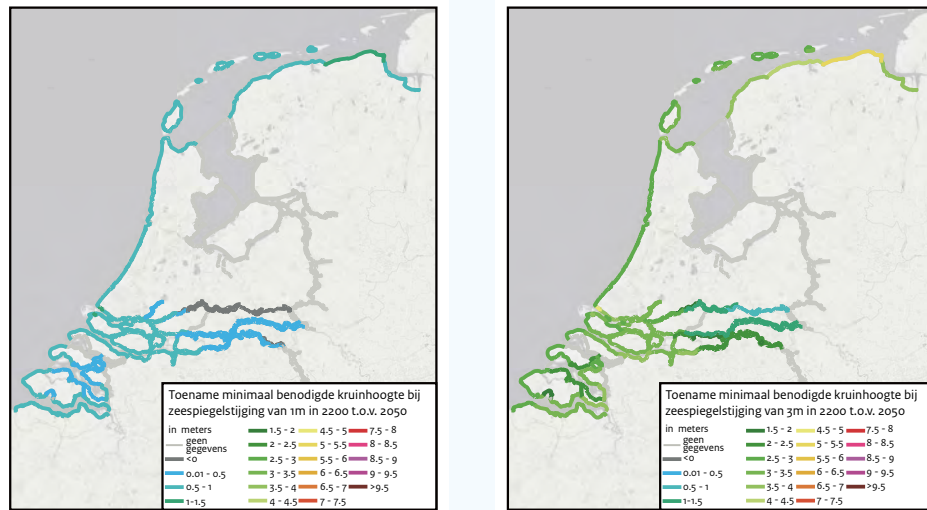
Langs de vastelandskust van Groningen en Friesland is de opgave relatief groot. De bodem van de Waddenzee groeit naar verwachting niet (volledig) mee met de zeespiegelstijging. Daardoor worden de waterstanden en golven hoger. Bij iedere meter zeespiegelstijging is hier een dijkverhoging van meer dan een meter nodig. Dat geldt in minder mate ook voor dijkverhogingen langs de Westerschelde. Voor de andere grote wateren vallen de benodigde dijkverhogingen per meter zeespiegelstijging lager uit. 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 extreme condities op zee en hoge rivierafvoeren. In de buurt van Arnhem en Nijmegen is dit effect uitgedoofd.



Figuur 9: Bij een zeespiegelstijging van 1 meter moeten we de waterkeringen over een lengte van ruim 2100 kilometer versterken.



Kaart toename benodigde hoogte van dijken



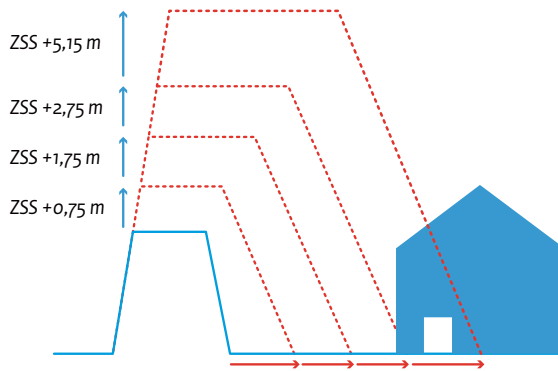
Figuur 10: Deze kaarten laten zien hoeveel hoger de dijken en duinen moeten worden bij 1 en 3 meter zeespiegelstijging, rekening houdend met bodemdaling en hogere rivierafvoeren door klimaatverandering. IJsselmeergebied niet meegenomen in deze kaart.





Hebben we genoeg ruimte voor toekomstige waterkeringen?

We moeten de waterkeringen vanwege zeespiegelstijging niet alleen verhogen, maar ook verbreden. Dat is nodig om ze stabiel te houden en om grotere belastingen op te vangen. Voor de versterking van een waterkering tot 3 meter zeespiegelstijging is een strook van tientallen meters nodig (circa 10-90 meter). Als die ruimte niet beschikbaar is, bieden constructieve maatregelen wellicht een oplossing. Deze zijn vaak duurder dan een reguliere versterking en niet altijd eenvoudig aan te passen als de zeespiegelstijging daarna verder stijgt.



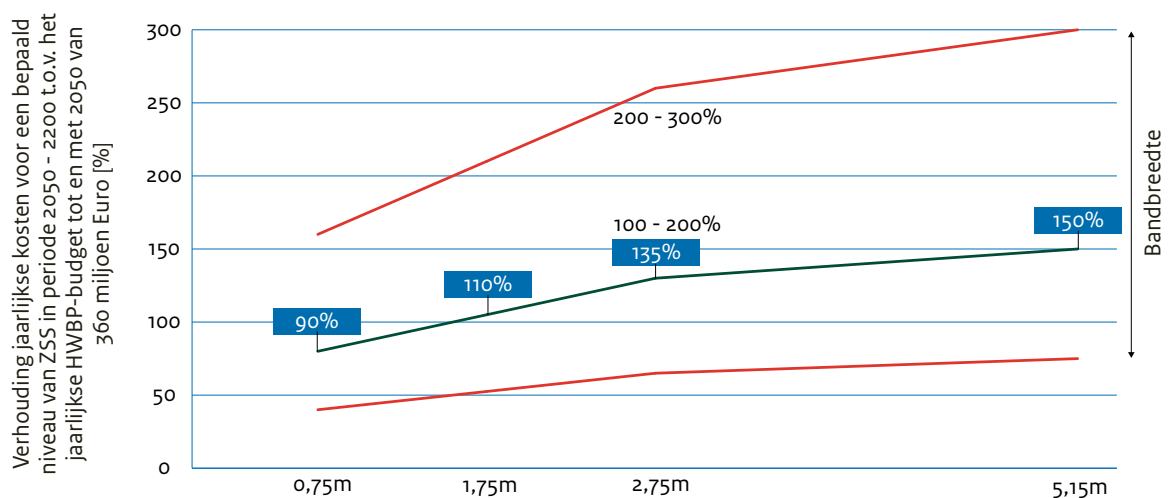
Figuur 11: We moeten de dijken hoger én breder maken.

Wat kosten onze waterkeringen bij zeespiegelstijging?

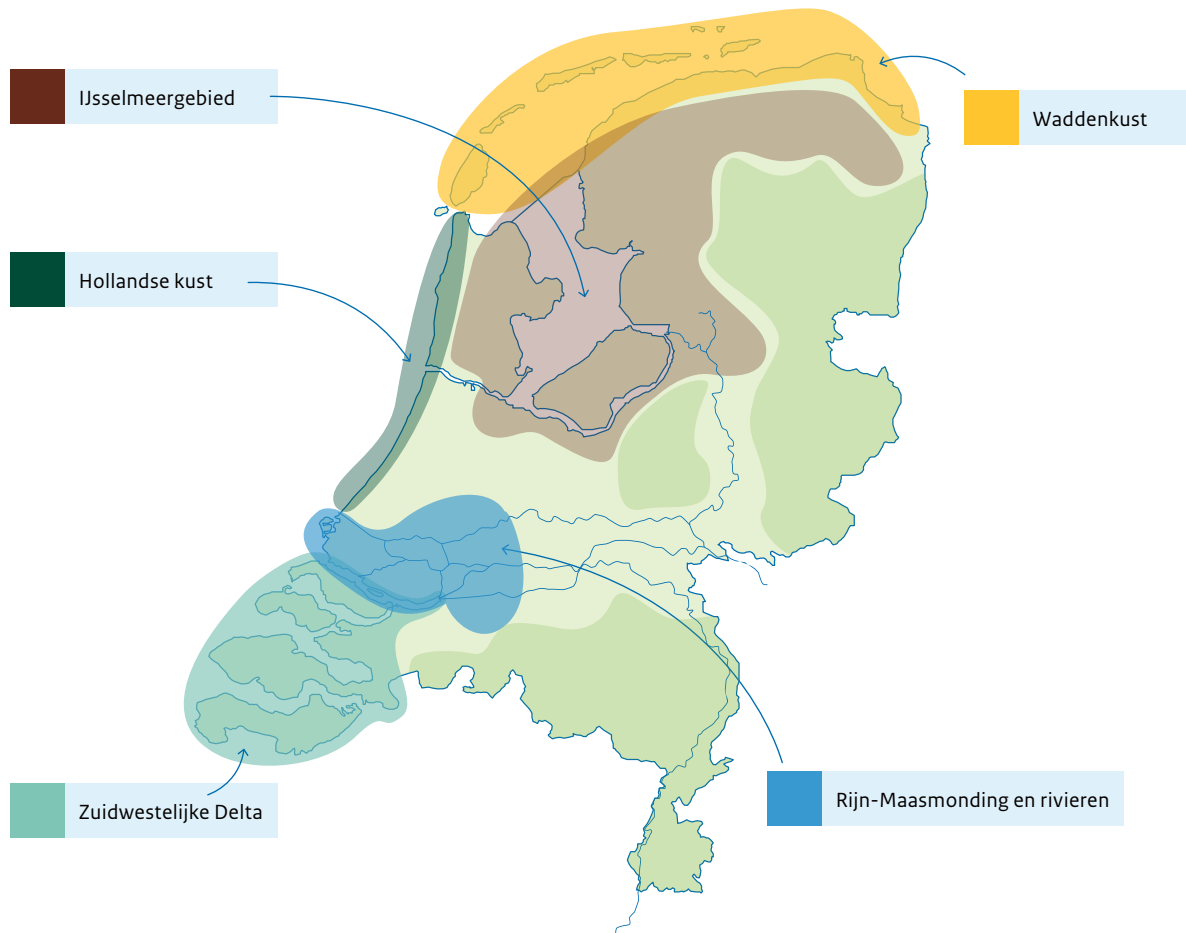
We kunnen de benodigde investeringen in waterkeringen niet precies berekenen: die hangen van veel toekomstige beleidskeuzes en onzekerheden af. We kunnen wel gevoel krijgen voor de orde van grootte. Uitgangspunt is dat alle waterkeringen in 2050 aan de normen uit de Waterwet voldoen, door de versterkingen die we tot die tijd uitvoeren in het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP). De onderzoekers hebben berekend wat het kost om daarna de waterkeringen verder te versterken zodat ze bij 5 meter zeespiegelstijging nog steeds aan de normen voldoen. Aangenomen is dat die 5 meter zeespiegelstijging in 2200 is bereikt. Met die aanname zijn de benodigde jaarlijkse investeringen in de periode 2050-2200 berekend. Die jaarlijkse kosten kunnen we vergelijken met de jaarlijkse kosten van het nu lopende Hoogwaterbeschermingsprogramma. Dat levert een eerste schatting op van de benodigde jaarlijkse investeringen in primaire waterkeringen tot 5 meter zeespiegelstijging: 1 tot 1,5 keer de huidige jaarlijkse investeringen in het Hoogwaterbeschermingsprogramma.

De geschatte toekomstige kosten hebben alleen betrekking op primaire waterkeringen die invloed ondervinden van zeespiegelstijging. Dat betreft ongeveer 70-75% van de totale lengte van primaire waterkeringen. Op termijn moeten we daarnaast ook primaire waterkeringen versterken waar zeespiegelstijging geen rol speelt, zoals langs de bovenlopen van de Rijn, de IJssel en de Maas. Ook zijn versterkingen van regionale keringen nodig.

Jaarlijkse nominale kosten



Figuur 12: Bij verdergaande zeespiegelstijging moeten we blijven investeren in de versterking van primaire waterkeringen. De grafiek laat zien hoe de jaarlijkse (nominale) kosten bij toenemende zeespiegelstijging zich verhouden tot de jaarlijkse kosten van het nu lopende Hoogwaterbeschermingsprogramma (100%).



4.2.3 Regionale verschillen

Zeespiegelstijging heeft tot ver landinwaarts gevolgen voor de waterveiligheid. De aard en omvang van de gevolgen verschilt per gebied. In alle gebieden is de bescherming tegen overstromingen een grote opgave. Meer informatie is te vinden in de onderzoeksrapporten per regio¹⁴.

IJsselmeergebied

De waterafvoer naar de Waddenzee vindt nu nog volledig plaats door spuien onder vrij verval. Door zeespiegelstijging staat het water in de Waddenzee in de toekomst steeds vaker te hoog om te kunnen spuien. Daarom komen er binnenkort al pompen in de Afsluitdijk te staan. Vanaf 1 meter zeespiegelstijging is spuien zo goed als niet meer mogelijk en is de afvoer volledig afhankelijk van pompen. Het huidige beleid biedt de mogelijkheid om het meerpeil na 2050 met 30 centimeter te laten stijgen. Het lijkt mogelijk om dit meerpeil met pompen te handhaven tot een zeespiegelstijging van 5 meter. Een hoger meerpeil stelt hogere eisen aan de dijken rond het IJsselmeer en de bescherming van de IJssel-Vechtdelta.

Waddenkust

Op dit moment vinden zandsuppleties plaats voor de Noordzeekust van Texel, Vlieland en Ameland. Bij toenemende zeespiegelstijging zijn naar verwachting ook zandsuppleties nodig bij Terschelling en Schiermonnikoog. Het is de verwachting dat zich meer zand zal verplaatsen van de relatief ondiepe delen tussen de eilanden (de buitendelta's) 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 zandverlies uit de buitendelta's deels gecompenseerd met extra suppleties voor de Waddeneilanden. Het kan een overweging zijn het zandverlies te compenseren met suppleties direct op de buitendelta's zelf. Een experiment bij Ameland heeft laten zien dat dit kan werken. Ook zal het nodig zijn delen van de duinen te versterken.

De waterkeringen langs de Groningse en Friese vastelandskust moeten bij toenemende zeespiegelstijging fors hoger worden. Bij 5 meter zeespiegelstijging moeten de Groningse dijken ongeveer 10 meter hoger worden, bijna

¹⁴<https://www.deltaprogramma.nl/deltaprogramma/kennisontwikkeling-en-signalering/zeespiegelstijging/onderzoeksresultaten-2023>



2 keer zo hoog als nu. Dat komt doordat de Waddenzee deels, maar niet volledig meegroeit met de zeespiegelstijging: daardoor stijgt niet alleen de zeespiegel, maar worden ook de golven hoger. De waterveiligheidsopgave wordt waarschijnlijk kleiner als we in aanvulling op het huidige suppletiebeleid ook de kust ten oosten van Schiermonnikoog zouden laten meegroeien met de zeespiegelstijging. De totale suppletieomvang voor de Wadden zou daarmee tot 5 meter zeespiegelstijging met 15-30% toenemen (circa 1,4 miljard kubieke meter extra).

Hollandse kust

Langs de kust van Noord- en Zuid-Holland vinden nu regelmatig zandsuppleties plaats. Door te blijven suppleren volgens het huidige beleid, zijn tot 3 meter zeespiegelstijging waarschijnlijk nauwelijks versterkingen nodig van de waterkeringen (veelal duinen). Hierbij is aangenomen dat de kustzone en de duinen door de suppleties volledig meegroeien met de zeespiegelstijging. In kustplaatsen staat soms bebouwing op de eerste duinenrij. Daar lukt het waarschijnlijk 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.

Zuidwestelijke delta

Voor de (voormalige) zeearmen hebben zich in de loop van eeuwen brede relatief ondiepe buitendelta's opgebouwd. Deze zijn nog sterk in verandering door de deltawerken: met het (gedeeltelijk) afsluiten van de zeearmen is het natuurlijke zandtransport van en naar de zeearmen (grotendeels) stilgevallen. 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 zal op termijn aangepast of vervangen moeten worden. Daar wordt in een aparte studie naar gekeken. Bij toenemende zeespiegelstijging gaat de (vervanging) stormvloedkering steeds vaker dicht, uitgaande van de huidige sluitpeilen. De stormvloedkering zal ook langer dicht blijven. Bij een zeespiegelstijging van 1 à 2 meter zal de Oosterscheldekering bijna continu gesloten zijn. Hogere sluitpeilen zijn dan noodzakelijk om het karakter van een open zeearm te behouden. Dit heeft gevolgen voor de achterliggende waterkeringen en de buitendijkse gebieden.

Rijn-Maasmonding en rivieren

Bij een stormvloed sluiten de Europoortkering (Maeslantkering en Hartelkering) en de Hollandse IJsselkering om het achterliggende gebied te beschermen tegen een stormvloed uit zee. Als de sluitpeilen gelijk blijven, moeten ook deze stormvloedkeringen vaker sluiten bij toenemende zeespiegelstijging. Ook bodemdaling en toenemende rivierafvoeren door klimaatverandering leiden tot opgaven voor deze waterkeringen.

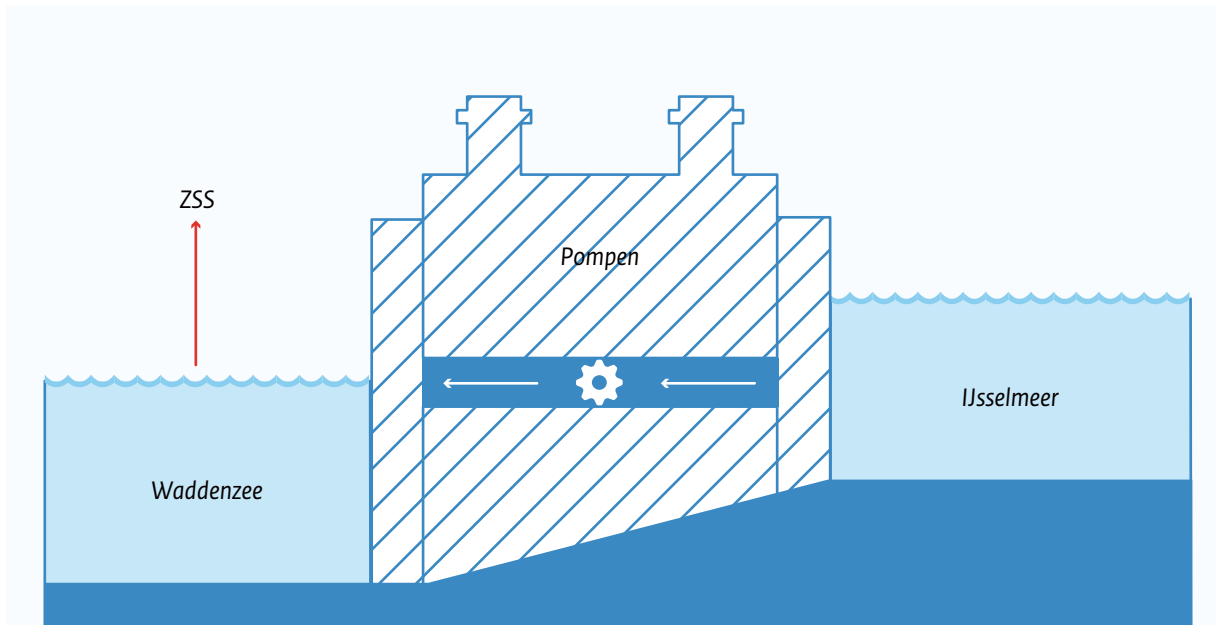
Bij een zeespiegelstijging van 2 meter zijn de stormvloedkeringen ongeveer wekelijks gesloten. Dan zijn hogere sluitpeilen nodig om het open karakter van de Nieuwe Waterweg te behouden. Daardoor neemt de wateroverlast in de uitgestrekte buitendijkse gebieden toe. Zonder aanpassingen heeft dat grote gevolgen voor de woningen en economische activiteiten in die gebieden.

Spuien onder vrij verval

Op verschillende plaatsen langs de kust voeren we overtollig binnenwater af naar zee. 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 het spui- en maalcomplex van IJmuiden en de Bathse spuisluis. Door zeespiegelstijging worden de mogelijkheden om te spuien op deze locaties steeds kleiner. Bij de Afsluitdijk is vlotte waterafvoer een voorwaarde voor de waterveiligheid rond het IJsselmeer. Verminderde afvoermogelijkheden bij IJmuiden en Bath kunnen tot (ernstige) wateroverlast leiden in extreem natte perioden. Bij IJmuiden wordt het water nu al grotendeels weggepompt; de afgelopen jaren is dat aandeel toegenomen door zeespiegelstijging.

Daarom zijn op den duur op alle drie de locaties (meer) pompen nodig. Andere opties zijn bijvoorbeeld het peil van het binnenwater verhogen of meer water vasthouden in het gebied. Bij peilverhoging kan het nodig zijn de waterkeringen langs het binnenwater te verhogen. Waterafvoer naar zee is ook nodig om zout terug te spoelen naar zee (verziltingsbestrijding).

Ook bij de Haringvlietsluizen wordt water naar zee gespuid. De huidige aanpak is dat het waterpeil in het Haringvliet meestijgt met de zeespiegelstijging. Daarom zijn daar geen pompen nodig. Wel zal het nodig zijn de dijken rond het Haringvliet te verhogen en te versterken.



Figuur 13: Naarmate de zeespiegel hoger staat, is het moeilijker om overtollig water naar zee af te voeren. Op den duur moeten we water daarvoor omhoog pompen.

4.3 De gevolgen van zeespiegelstijging voor zoetwater: eerste inzichten

We hebben in Nederland doorgaans veel zoetwater. Denk aan de grote rivieren, meren, kanalen en poldersloten. Dat water gebruiken we intensief, voor de land- en tuinbouw, industrie, natuur en drinkwaterbereiding. Door de ligging aan zee dringt op verschillende plaatsen zout water binnen, via het grondwater en het oppervlaktewater. Hierdoor ‘verzilt’ het zoete water en wordt het minder bruikbaar. Verzilting veroorzaakt nu al af en toe problemen en die nemen toe naarmate de zeespiegel verder stijgt.

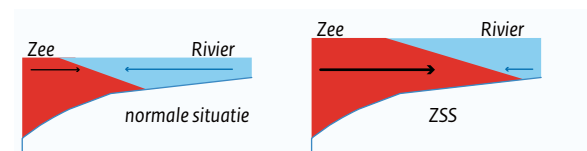
Andere effecten van klimaatverandering leiden al eerder tot meer verzilting en een afnemend zoetwateraanbod. Zo neemt de kans op langdurige droogte en lage rivierafvoeren toe, waardoor het binnendringende zoute water minder tegendruk krijgt. De combinatie van zeespiegelstijging en andere klimaateffecten zet de zoetwatersystemen in Nederland onder druk.

4.3.1 Wat gebeurt er met de zoetwaterbeschikbaarheid als de zeespiegel stijgt?

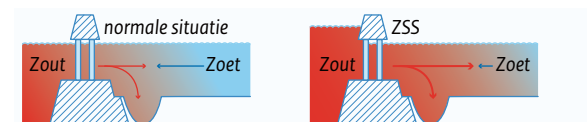
Hoe grijpt zeespiegelstijging in op de zoetwaterbeschikbaarheid?

Zout zeewater komt op verschillende manieren in onze zoetwatersystemen:

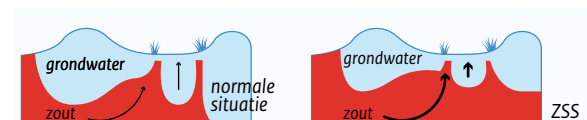
Via riviermondingen: het zoute water kruipt over de bodem van de rivier stroomopwaarts. Via de Nieuwe Waterweg kan het zo tot in de Lek en de Hollandsche IJssel komen.



Via sluizen: iedere keer dat een schip door een zeesluis vaart, komt er ook zeewater naar binnen. Dit gebeurt bijvoorbeeld bij de sluizen bij IJmuiden, in de Afsluitdijk en het Volkerak-Zoommeer.

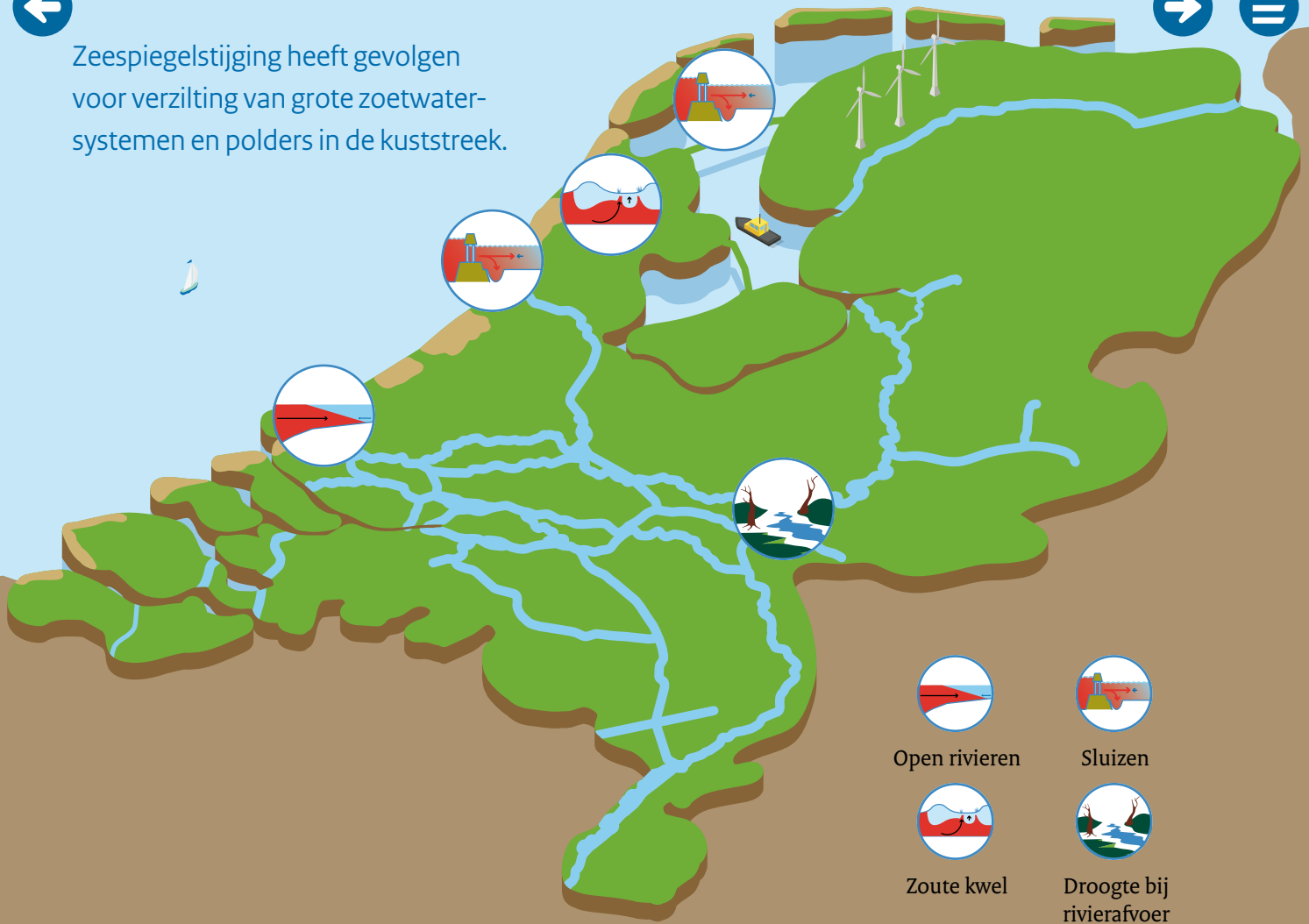


Via het grondwater: in de kuststreek is het grondwater zout. Het gewicht van de zee drukt het zoute grondwater omhoog. Net als een luchtbed: als je er één kant op duwt, bolt het aan de andere kant op. Zo komt het zoute of brakke grondwater in de polders en poldersloten (zoute kwel).





Zeespiegelstijging heeft gevolgen voor verzilting van grote zoetwatersystemen en polders in de kuststreek.



Figuur 14: Overzicht van de uitgevoerde onderzoeken voor zoetwater.

Het zoute water vermengt zich met het zoete binnenwater. Dit noemen we verzilting. Waar het binnenwater sterk verzilt, is het niet of minder goed bruikbaar voor drinkwaterbereiding, land- en tuinbouw en industrieën en kan schade aan natuur ontstaan. De beschikbaarheid van zoetwater neemt dan af. Als de zeespiegel stijgt, komt via alle drie de routes meer zout binnen.

Huidige aanpak: hoe gaan we nu om met verzilting?

Continue strijd tegen zout water is onlosmakelijk verbonden met een laaggelegen land aan zee. Dat geldt ook voor Nederland, hoewel de situatie hier tot nu toe relatief gunstig is dankzij een nat klimaat en rivieren die altijd zoetwater aanvoeren. Het rivierwater gebruiken we om grote zoetwatersystemen te vullen. Daarnaast is het rivierwater het belangrijkste middel om de verzilting te bestrijden: in de rivieren zelf biedt de rivierafvoer tegendruk aan het binnendringende zeewater en op andere plaatsen, zoals in de polders langs de kust, spoelen we het zoute water weg met grote hoeveelheden zoet rivierwater. Het zoete water dat we wegspoelen is niet beschikbaar voor andere doeleinden. Daardoor heeft verzilting – direct of indirect – gevolgen voor een groot deel van Nederland, met name in droge tijden.

De waterbeheerders werken dagelijks aan verziltingsbestrijding. Met een uitgekiend stelsel van sluizen, stuwen

en kanalen sturen ze het rivierwater naar verzilte wateren en zoetwatersystemen. Zeesluizen krijgen steeds vaker vernuftige oplossingen om zoveel mogelijk te voorkomen dat zout water binnenkomt.

Welke gevolgen heeft zeespiegelstijging voor de zoetwaterbeschikbaarheid?

Verzilting

De verzilting is aan het toenemen door klimaatverandering: door langere perioden van droogte, meer hitte en lage rivierafvoeren. Dat geeft nu al problemen. In de droge jaren 2018 en 2022 is de waterinname uit het IJsselmeer bijvoorbeeld tijdelijk (preventief) stilgelegd en in Zeeland veroorzaakte verzilting lagere landbouwopbrengsten. Deze problemen worden groter en gaan zich vaker voordoen door zeespiegelstijging.

Grote zoetwatersystemen

Verschillende grote zoetwatersystemen in Nederland zijn kwetsbaar voor verzilting door zeespiegelstijging en andere klimaateffecten, met name het IJsselmeer, de grote rivieren en kanalen en de zoete deltawateren. Als we alleen naar zeespiegelstijging kijken, zijn met name het IJsselmeer (onze grootste zoetwaterbuffer) en de Hollandsche IJssel kwetsbaar: bij 1 meter zeespiegelstijging zal het IJsselmeerwater vaker en langduriger te zout zijn voor drinkwaterbereiding en is er meer water nodig om verzilting in de Hollandsche IJssel tegen te gaan. Deze



situaties doen zich voor bij langdurige droogte en lage rivierafvoer en die omstandigheden gaan zich vaker voordoen door klimaatverandering. Ook andere zoetwatersystemen worden vervolgens kwetsbaarder.

Alle grote zoetwatersystemen langs de kust hebben meer rivierwater nodig om zoet te blijven naarmate de zeespiegel verder stijgt. In eerste instantie is daar landelijk gezien genoeg rivierwater voor, maar het is niet altijd mogelijk om het water naar de goede plaats te brengen. Om in alle zoetwatersystemen genoeg zoetwater te houden, zijn fysieke aanpassingen in het watersysteem én het watergebruik nodig. In theorie (als we alleen rekening houden met zeespiegelstijging) is er vanaf 2 tot 3 meter zeespiegelstijging steeds vaker niet genoeg rivierwater om alle grote zoetwatersystemen zoet te houden. In de praktijk loopt de zoetwatervoorziening (veel) eerder tegen grenzen aan, door andere klimaateffecten (zoals vaker lagere rivierafvoeren) en sociaaleconomische ontwikkelingen (grotere watervraag).

Polders in de kuststreek

De poldersloten in de kuststreek verzilten steeds sterker doordat meer zout grondwater opwelt. Voor het zoet houden van deze sloten is bij 1 meter zeespiegelstijging 4,5 keer zoveel doorspoelwater nodig als nu. Voor de

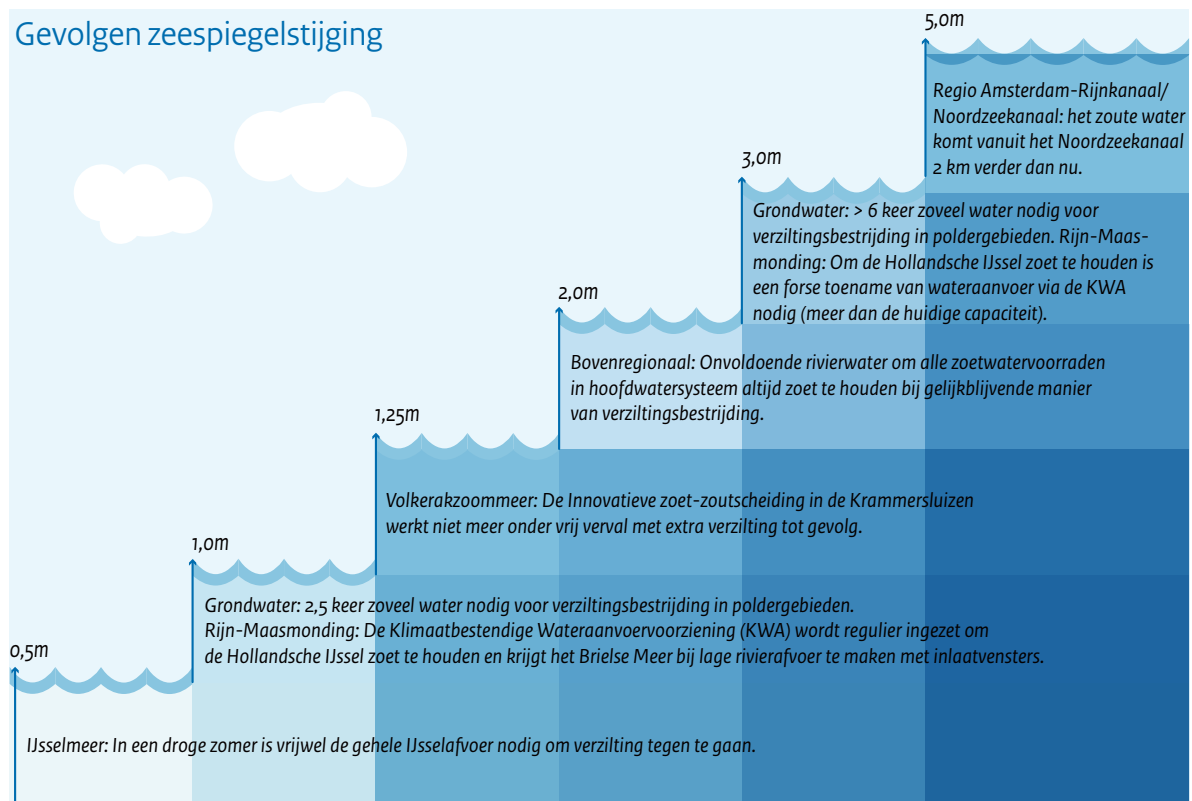
polders als geheel, inclusief de boezems, is 2,5 keer zoveel doorspoelwater nodig. Die hoeveelheid neemt bij verdere zeespiegelstijging snel toe. Bij lage rivierafvoeren is er dan niet genoeg zoetwater om alle polders zoet te houden. De kwetsbare polders liggen in een strook van 10 tot 20 kilometer langs de kust, van Groningen tot Zeeland.

4.3.2 Verdiepende inzichten

Door zeespiegelstijging komt de beschikbaarheid van zoetwater verder onder druk te staan. Hieronder volgen aanvullende inzichten over de gevolgen zoals beschreven in 4.3.1.

Wanneer kunnen we de gevolgen van zeespiegelstijging verwachten?

Naarmate de zeespiegel verder stijgt, ontstaan steeds meer beperkingen voor de zoetwaterbeschikbaarheid: er is meer rivierwater nodig om op allerlei plaatsen verzilting te bestrijden, de infrastructuur om het water de goede kant op te leiden wordt te krap of verliest zijn werking, water wordt vaker te zout voor drinkwaterbereiding, zoetwatersystemen raken eerder uitgeput en zijn niet altijd meer zoet te houden. De schets hieronder laat zien wanneer een aantal belangrijke veranderingen te verwachten is.



Figuur 15: Naarmate de zeespiegel verder stijgt, wordt het bestrijden van verzilting steeds moeilijker. Door andere klimaateffecten kunnen deze effecten al eerder optreden.

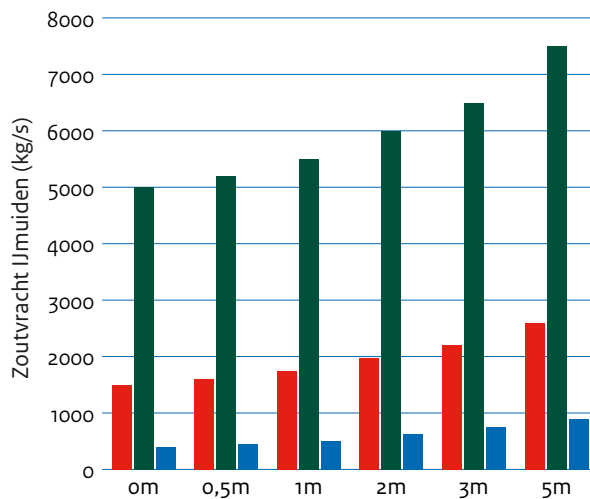


Hoeveel zout komt via de zeesluizen binnen?

Bij de 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 IJmuiden vele malen groter dan bij Den Oever, Kornwerderzand en de Krammersluizen. Bij alle zeesluizen wordt de zoutlast groter door zeespiegelstijging. Maar als het aantal schuttingen toeneemt of als de sluis en de vaargeul groter en dieper worden vanwege groei van de zeescheepvaart, kan dat een nog groter effect op de zoutlast hebben dan zeespiegelstijging.

Een zoet-zoutscheidingsysteem kan de zoutlast bij sluisen fors verminderen. Bij de Krammersluizen is nu al zo'n systeem in werking. Zonder zoet-zoutscheiding wordt de zoutlast hier bij 5 meter zeespiegelstijging vijf keer zo groot. Als de zoet-zoutscheiding goed blijft werken, kan de zoutlast op het huidige niveau blijven. Op den duur zijn wel pompen of andere aanpassingen nodig om het opgevangen zoute water af te voeren.

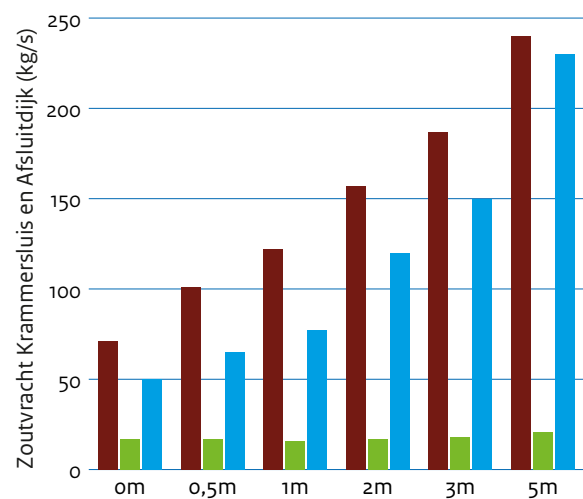
Zoutlast bij IJmuiden



Legenda:

- Sluizencomplex IJmuiden bij gelijkblijvend aantal schuttingen
- Sluizencomplex IJmuiden ZSS + sterke groei aantal schuttingen
- Sluizencomplex IJmuiden Krimp aantal schuttingen

Zoutlast bij Krammersluis en Afsluitdijk

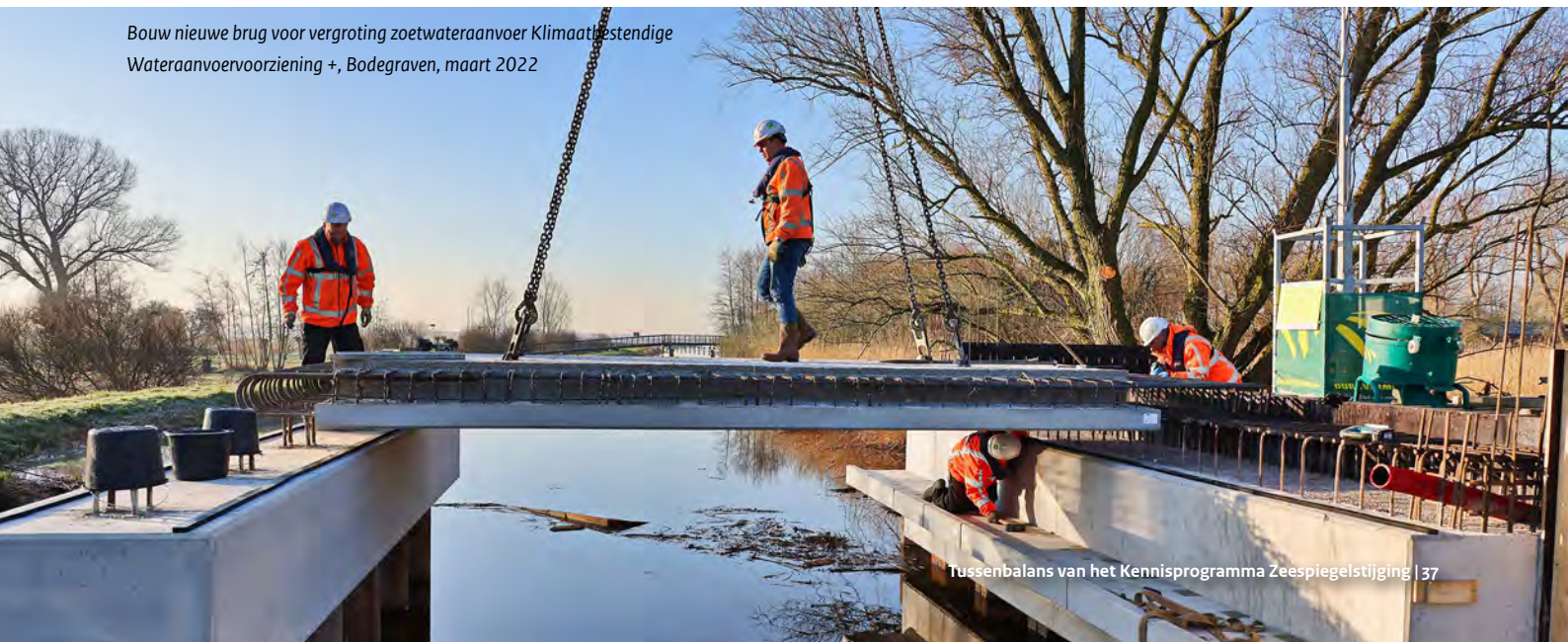


Legenda:

- Afsluitdijk
- Krammersluis zomer met zoet-zoutscheiding (IZSS)
- Krammersluis geen zoet-zoutscheiding

Figuur 16: De zoutlast bij grote zeesluizen neemt toe bij verdergaande zeespiegelstijging. Let op de getallen bij de assen: IJmuiden heeft een veel grotere zoutlast dan Krammersluizen en Afsluitdijk.

Bouw nieuwe brug voor vergroting zoetwateraanvoer Klimaatbestendige Wateraanvoervoorziening +, Bodegraven, maart 2022

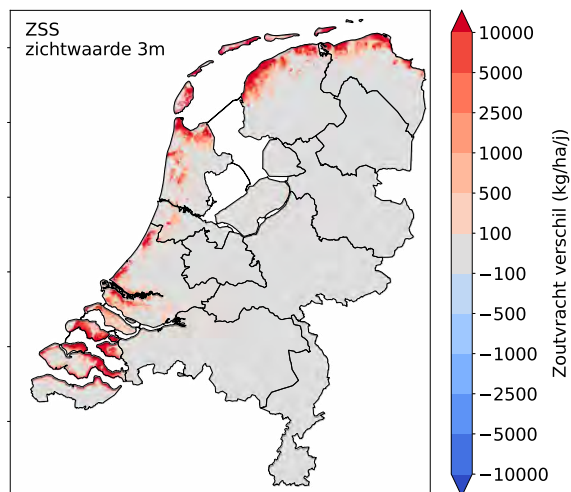




Wat gebeurt er met polderwater langs de kust?

In de toekomst zal het sloot- en grondwater in polders langs de kust sterker verzilten. Door de stijgende zeespiegel wordt het zoute grondwater omhoog gedrukt. Zo komt meer zout kwelwater in de poldersloten en het grondwater. Waar brede duingebieden zijn, zoals langs de Hollandse kust, komt de zoute kwel op grotere afstand van de kust naar boven. Waar (relatief) smalle dijken liggen, zoals langs de Waddenzee en in de Zuidwestelijke delta, komt de zoute kwel al dicht bij de kust omhoog.

Ook door bodemdaling en de natuurlijke ontwikkeling van kwelstromen komt er steeds meer zout in het polderwater. Tot ongeveer 0,5 meter zeespiegelstijging is de extra zoutvrucht via deze processen ongeveer even groot als de extra zoutvrucht door zeespiegelstijging. Daarna krijgt in de meeste polders de invloed van de zeespiegelstijging de overhand.



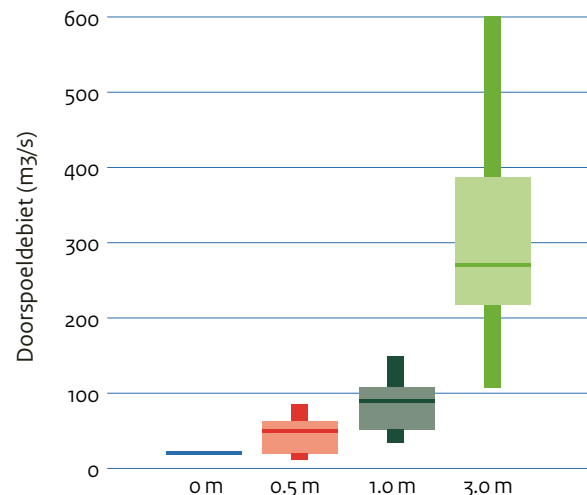
Figuur 17: Als de zeespiegel stijgt, komt er via het grondwater meer zout in het polderwater in de kuststreek. De kaart laat zien hoe de zoutvrucht (kg/ha/jaar) toeneemt bij een zeespiegelstijging van 3 meter.

In een deel van de polders kunnen we de verzilting nu bestrijden door de sloten door te spoelen met zoetwater. In de toekomst is daar steeds meer zoet doorspoelwater voor nodig: ongeveer 4,5 keer zoveel bij 1 meter zeespiegelstijging (circa 90 m³/s) en 14 keer zoveel bij 3 meter zeespiegelstijging (circa 270 m³/s). Daarnaast is water nodig om de boezemsystemen door te spoelen. De totale watervraag in polders is daardoor 2,5 keer zo groot als bij 1 meter zeespiegelstijging (circa 140 m³/s) en 6 keer zo

groot bij 3 meter zeespiegelstijging (circa 350 m³/s). In combinatie met andere watervragers en de toenemende verdamping door klimaatverandering zal zoveel doorspoelwater in droge zomers steeds vaker niet beschikbaar zijn of niet aan te voeren. In polders in Zeeland en op de Waddeneilanden is doorspoelen nu al niet mogelijk, omdat er geen zoetwateraanvoer van elders is.

Zeespiegelstijging kan ook leiden tot zoute kwel naar de zoetwaterlenzen in de duinen. Dat kan gevolgen hebben voor de drinkwaterwinning in de duinen. Dit effect wordt in de volgende fase van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging onderzocht.

Totale polder-doorspoelvraag Nederland

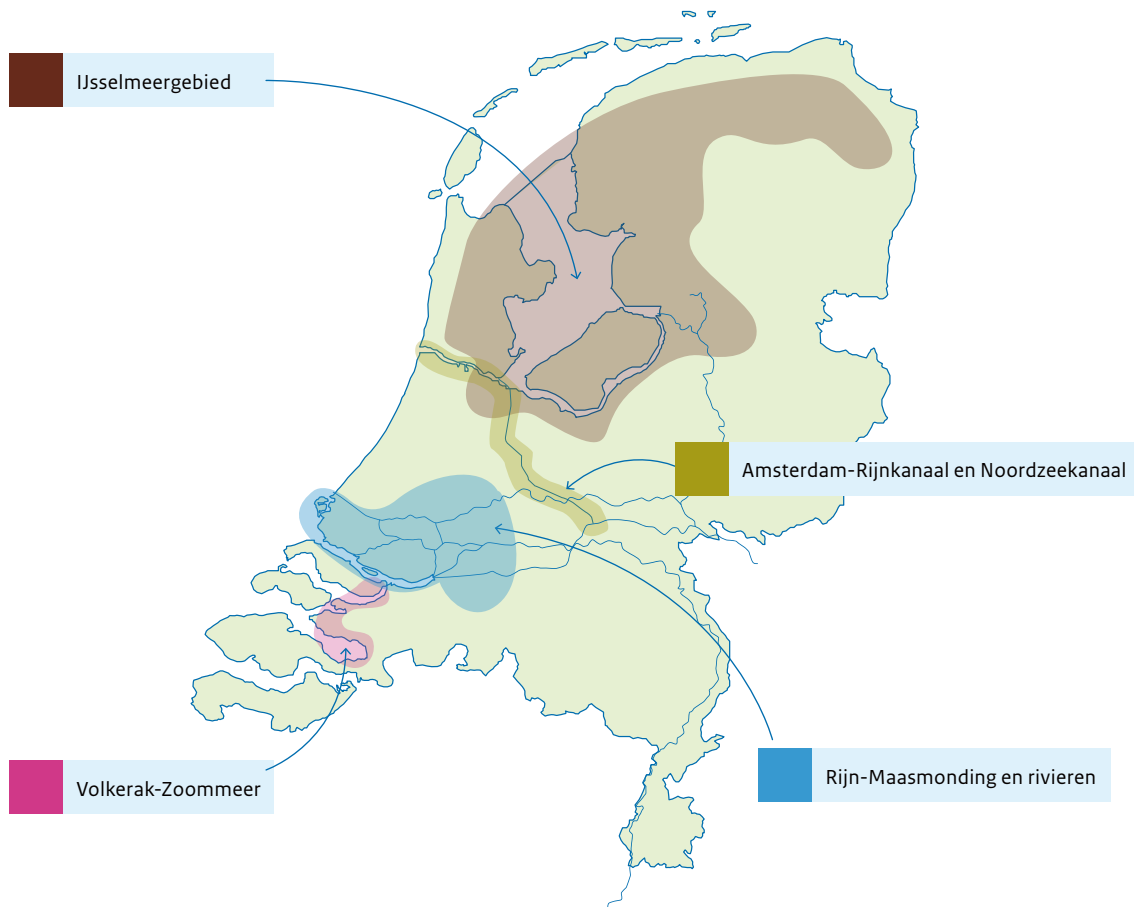


Figuur 18: Als we de poldersloten in de kuststreek zoet willen houden, is steeds meer rivierwater nodig de sloten door te spoelen.

4.3.3 Regionale verschillen

Nederland heeft grote zoetwatersystemen die een groot deel van het land in droge tijden van zoetwater voorzien. In de meeste gebieden neemt de verzilting toe door zeespiegelstijging. Hoe de verzilting ontstaat en wat de gevolgen zijn voor het zoetwatergebruik, verschilt per gebied. In alle gebieden is steeds meer zoet rivierwater nodig om verzilting te bestrijden, terwijl er in droge tijden juist minder rivierwater beschikbaar zal zijn door klimaatverandering. Meer informatie is te vinden in de onderzoeksrapporten per regio¹⁵.

¹⁵ <https://www.deltaprogramma.nl/deltaprogramma/kennisonwikkeling-en-signalering/zeespiegelstijging/onderzoeksresultaten-2023>



IJsselmeergebied

Verzilting in het IJsselmeer treedt vooral op doordat zeewater via de sluisen in de Afsluitdijk in het IJsselmeer komt. Nu bestrijden we die verzilting door het IJsselmeer met zoet rivierwater door te spoelen. Als de zeespiegel verder stijgt, is daar steeds meer water voor nodig. Vanaf ongeveer 0,5 meter zeespiegelstijging is voor de verziltingsbestrijding in een droge zomer met lage rivierafvoer vrijwel de hele IJsselafvoer nodig. Dan blijft weinig rivierwater over om aan de vraag naar water uit het IJsselmeer te voldoen en wordt de voorraad steeds vaker aangesproken. De zoetwatervoorraad raakt dan sneller op en het innamepunt voor drinkwater bij Andijk is steeds vaker niet zoet genoeg te houden.

Ook in het Markermeer treedt verzilting op. Dit zout komt vooral uit de Flevopolder, waar nog Zuiderzeezout in de bodem zit. Het zout komt in het polderwater en vervolgens in het Markermeer. Zeespiegelstijging heeft daar geen effect op. Bij toenemende zeespiegelstijging kan ook verzilting van het Noordzeekanaal doorwerken in het Markermeer.

Amsterdam-Rijnkanaal en Noordzeekanaal

Het Amsterdam-Rijnkanaal vervult een belangrijke rol voor de zoetwatervoorziening in de regio tussen

Amsterdam en Utrecht en via de Klimaatbestendige Wateraanvoervoorziening (KWA) voor West-Nederland. Nu al moeten de waterbeheerders in droge zomers maatregelen treffen om de zoetwatervoorziening op peil te houden.

Via de grote zeesluisen bij IJmuiden en het Noordzeekanaal komt zout zeewater in het Amsterdam-Rijnkanaal. Verzilting van het kanaal wordt nu bestreden door zoet rivierwater uit de Lek door het kanaal te sturen (15-30 m³/s in een droge zomer, tot maximaal 80 m³/s bij extreem aanhoudende droogte). Bij zeespiegelstijging komt meer zout bij IJmuiden binnen en kan het verzilte water verder in het Amsterdam-Rijnkanaal komen. Als het aantal schuttingen en de regionale watervraag gelijk blijven, komt het verzilte water bij 5 meter zeespiegelstijging 2 kilometer verder dan nu. Om de zoutgrens op dezelfde plaats te houden, moeten we meer rivierwater inlaten: 20 m³/s extra.

Het benodigde inlaatwater kan verder toenemen door andere ontwikkelingen: meer schuttingen bij de zeesluis van IJmuiden, meer watergebruik in de regio en vergroting van de KWA om de Hollandsche IJssel zoet te houden. De zeesluis bij IJmuiden is net vergroot, waardoor de zoutlast door schutten is toegenomen;



Rijkswaterstaat bouwt een voorziening om deze extra zoutlast te compenseren.

Rijn-Maasmonding

In de Rijn-Maasmonding komt zeewater binnen via de Nieuwe Waterweg. Het zware zoute water ligt als een 'tong' op de bodem, onder het zoete rivierwater. Bij lage rivierafvoeren komt de zoutwatertong verder landinwaarts. Zeespiegelstijging versterkt dat en door klimaatverandering treden vaker extreem lage rivierafvoeren op in voorjaar en zomer. Daardoor zullen de Hollandsche IJssel en de Lek bij lage rivierafvoeren vaker verzilten. Dat heeft gevolgen voor meerdere zoetwaterinnamepunten. Om verzilting te voorkomen, moet meer rivierafvoer naar de Hollandsche IJssel kunnen stromen, via het Amsterdam-Rijnkanaal en de Klimaatbestendige Wateraanvoervoorziening (KWA). De KWA is bedoeld als calamiteitenmaatregel, maar is de afgelopen vijf jaar al verschillende keren ingezet; vanaf 1 meter zeespiegelstijging wordt dit een reguliere maatregel. Vanaf 3 meter zeespiegelstijging is een ingrijpende aanpassing van de KWA nodig om genoeg water aan te kunnen voeren om de Hollandsche IJssel zoet te houden. Bij 1 meter zeespiegelstijging wordt de Lek bij lage rivierafvoer zouter tot aan het drinkwaterinnamepunt bij Bergambacht.

Het Haringvliet en de inlaten van het Brielse Meer kunnen verzilten als de zee fors opgestuwd wordt door

storm. Bij zeespiegelstijging kan een minder hoge opstuwing al tot verzilting leiden. De kans dat dit gebeurt, neemt dan toe. Verzilting van deze wateren kan weken tot maanden aanhouden. In perioden zonder windopzet verzilt de belangrijkste inlaat van het Brielse Meer vanaf 1 meter zeespiegelstijging bij lage rivierafvoer; inlaat van zoetwater is dan wel mogelijk tijdens laagwater.

Volkerak-Zoommeer

Verzilting van het Volkerak-Zoommeer ontstaat vooral bij de Krammersluizen, als schepen van de Oosterschelde naar het Volkerak varen. Het bestaande zoet-zoutscheidingsstelsel in de sluis is verouderd, de komende jaren komt er een nieuw systeem. Het zoute water wordt met dit systeem afgevangen en stroomt dan deels onder vrij verval terug naar de Oosterschelde. Als de zeespiegel 1,25 meter is gestegen, is lozen onder vrij verval niet meer mogelijk. Dan zijn aanvullende maatregelen nodig om het zoete water af te voeren, bijvoorbeeld pompen. Ook via andere sluisen en zoute kwel komt zout in het Volkerak-Zoommeer. Het inkomende zout wordt weggespoeld met zoet rivierwater uit het Hollands Diep. Nu is daar 25-30 m³/s voor nodig (tot ongeveer 40 m³/s bij extremere droogte). Door zeespiegelstijging neemt de watervraag voor het wegspoelen van zout toe: bij 1 meter zeespiegelstijging is circa 50% meer water nodig.



Stormvloedkering, Oosterschelde



4.4 Voorlopige conclusies

Hoeveel zeespiegelstijging kunnen we aan als we de huidige aanpak en maatregelen voor waterveiligheid en zoetwater voortzetten? We kunnen nu voorlopige conclusies trekken over wat *technisch mogelijk* is.

Het lijkt erop dat het technisch mogelijk is om met de huidige aanpak voor waterveiligheid een zeespiegelstijging tot 3 meter op te vangen, maar alleen met grote en ingrijpende inspanning. Met technisch mogelijk bedoelen we dat het mogelijk is om de keringen en suppleties te ontwerpen die deze mate van zeespiegelstijging kunnen weerstaan. De aanname hierbij is dat er ook in de toekomst genoeg uitvoeringscapaciteit is en dat er voldoende materialen zijn (voornamelijk zand en klei). En dat we erin slagen om stormvloedkeringen sterk en betrouwbaar te houden bij deze waterstanden. De maatschappelijke consequenties worden nog onderzocht.

- Er is veel zand uit de Noordzee nodig voor zandsuppleties langs de kust; het is een opgave voldoende zand voor de toekomstige kustlijn zorg beschikbaar te maken én te houden.
- De geschatte jaarlijkse kosten lijken in eerste instantie dezelfde orde van grootte te hebben als de kosten van het nu lopende Hoogwaterbeschermingsprogramma, alleen al voor de primaire waterkeringen die onder invloed staan van zeespiegelstijging, maar deze schatting is nog met aanzienlijke onzekerheid omgeven.
- Voor deze dijkversterkingen is ruimte nodig. De benodigde ruimte verschilt per locatie; over het algemeen gaat het om een strook van circa 10-90 meter. Dit maakt de ruimtelijke inpassing van dijkversterkingen in bebouwd gebied complex.
- Zonder extra maatregelen ontstaat meer wateroverlast in de buitendijkse gebieden in de Rijn-Maasmonding en de Oosterschelde. Dat komt doordat we de stormvloedkeringen bij steeds hogere zeewaterstanden moeten sluiten als we willen dat de Nieuwe Waterweg en de Oosterschelde een groot deel van de tijd in open verbinding met de zee staan (conform de huidige strategie).
- Op de Afsluitdijk is meer pompcapaciteit nodig om genoeg water af te kunnen voeren om het IJsselmeerpeil te beheersen. De benodigde pompcapaciteit is te beperken door het meerpeil te verhogen. In dat geval zijn dijkversterkingen nodig en wellicht aanvullende maatregelen om de IJsseldelta te beschermen.

De zoetwaterbeschikbaarheid staat nu al onder druk en loopt (veel) eerder tegen technische grenzen aan dan de waterveiligheid. Dat komt door zeespiegelstijging, maar vooral door andere klimaateffecten, zoals toenemende droogte en hitte en lagere rivierafvoeren. Er is al (ruim) voor 2 meter zeespiegelstijging steeds vaker niet genoeg rivierwater om alle zoetwatersystemen zoet te houden. De maatschappelijke consequenties worden nog onderzocht.

- In de zoetwatersystemen treedt nu al verzilting op door klimaatverandering. Zeespiegelstijging versterkt dat.
- Als we de grote watersystemen zo lang mogelijk zoet willen houden, vraagt dat een grote inspanning voor efficiëntere verziltingsbestrijding, peilbeheer en watersturing én moeten we zuiniger omgaan met zoetwater.
- In theorie (als we alleen rekening houden met zeespiegelstijging) kunnen we de grote watersystemen dan tot 2-3 meter zeespiegelstijging meestal zoet houden. In de praktijk loopt de zoetwatervoorziening (veel) eerder tegen grenzen aan, door andere klimaateffecten (zoals vaker lagere rivierafvoeren) en sociaaleconomische ontwikkelingen (grotere watervraag).
- Een deel van het polderwater in de kuststreek is al eerder niet meer zoet te houden. Dit gaat om polders zonder zoetwateraanvoer in Zeeland en de Waddeneilanden, maar ook om polders waar we nu de verzilting bestrijden door ze met zoetwater door te spoelen (langs Hollandse kust en de vastelandskust van Groningen en Friesland).

In 2026 kunnen we deze voorlopige conclusies verder aanscherpen met de eindresultaten van de systeemverkenning en de andere onderzoeken van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging.





5. Welke andere oplossingen zijn denkbaar?

Het vorige hoofdstuk laat zien voor welke opgave Nederland staat als we doorgaan met de huidige aanpak voor waterveiligheid en zoetwater. Kunnen op de lange termijn ook andere oplossingsrichtingen effectief zijn? In het Kennisprogramma Zeespiegelstijging zijn verschillende mogelijkheden verkend. Die geven een eerste beeld van de voor- en nadelen.

Het Kennisprogramma Zeespiegelstijging zoekt antwoorden op deze kennisvragen:

1. Welke mate van zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust kunnen we verwachten?
2. Hoeveel zeespiegelstijging kunnen we aan met de huidige strategieën en maatregelen?
3. **Wat zijn mogelijke oplossingen voor zeespiegelstijging in de verre toekomst?**
4. Wat is er nodig op het gebied van communicatie, participatie en organisatie?
5. Hoe kunnen we zeespiegelstijging beter monitoren, zodat we weten wanneer we moeten handelen?

Dit hoofdstuk gaat over kennisvraag 3.

5.1 Uitgangspunten

Het tempo en verloop van de toekomstige zeespiegelstijging is onzeker, vooral op een termijn van 100 jaar en meer. Hoewel uit hoofdstuk 4 blijkt dat de huidige aanpak technisch gezien stand kan houden tot een zeespiegelstijging van enkele meters, is het zinvol om te verkennen of andere oplossingen op termijn mogelijk zijn en welke voor- en nadelen we van die oplossingen verwachten. De onderzoekers hebben een aantal uitgangspunten gehanteerd bij het verkennen van oplossingsrichtingen.

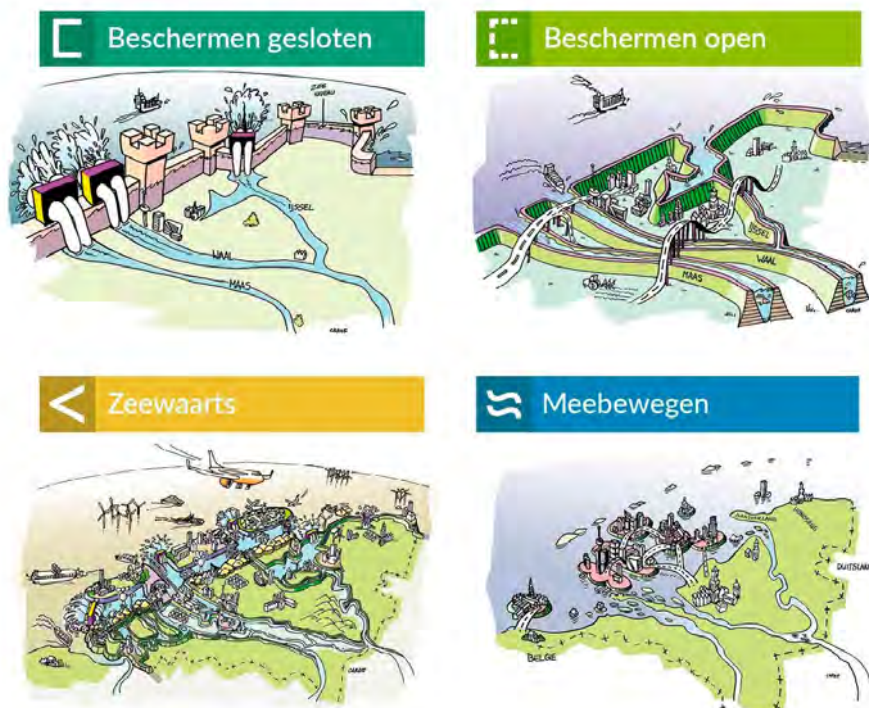
Gebruikmaken van bestaande onderzoeken en plannen

Al eerder is onderzocht wat een sterke zeespiegelstijging op de lange termijn voor de Nederlandse delta zou kunnen betekenen¹⁶ en welke oplossingsrichtingen er zijn¹⁷. In aanvulling hierop en ter inspiratie zijn bestaande plannen geïnventariseerd en besproken met een deel van de onderzoekers¹⁸.

¹⁶ Haasnoot, M, L. Bouwer, F. Diermanse H, J, Kwadijk, A. van der Spek, G. Oude Essink, J. Delsman, O. Weller, M. Mens, J. ter Maat, Y. Huismans, K. Sloff en E. Mosselman (2018): Mogelijke gevolgen van versnelde zeespiegelstijging voor het Deltaprogramma, een verkenning. Deltares rapport 11202230-005-002, later gevolgd door de onderzoeken waarvan de resultaten beschreven zijn in Hoofdstuk 4.

¹⁷ Haasnoot, M. F. Diermanse, J, Kwadijk, R, de Winter, G, Winter (2019): Strategieën voor adaptatie aan een hoge en versnelde zeespiegelstijging, een verkenning. Deltares rapport 11203724-004.

¹⁸ <https://www.deltaprogramma.nl/deltaprogramma/kennisonwikkeling-en-signalering/zeespiegelstijging/oplossingen-voor-zeespiegelstijging>



Figuur 19: Vier mogelijke oplossingsrichtingen voor Nederland bij een sterke zeespiegelstijging. Bron: Carof beeldleveranciers, in opdracht van Deltares.

Iedere regio is anders

Zeespiegelstijging manifesteert zich in elke regio op een andere manier, bijvoorbeeld door kusterosie, verlies van intergetijdengebieden, verzilting of problemen met de afvoer van overtollig water¹⁹. Tijdens gebiedsbijeenkomsten is met regionale water- en ruimte-experts verkend hoe de oplossingsrichtingen voor de lange termijn voor elk gebied ingevuld zouden kunnen worden. Ook is besproken wat de interactie kan zijn met de huidige transitie en investeringsagenda's²⁰ en wat gebiedsoverstijgende aandachtspunten zijn²¹. Hierbij is gekeken naar Nederland, (nog) niet naar gebiedsoverstijgende aandachtspunten met betrekking tot het buitenland.

Zeespiegelstijging van 2 tot 5 meter

Voor de uitwerking van de oplossingsrichtingen voor de lange termijn is in alle gevallen uitgegaan van een extreme (maar niet uit te sluiten) situatie: een zeespiegelstijging van 2 meter vanaf ongeveer 2100 en 5 meter in 2200, ten opzichte van het begin van deze eeuw.

5.2 Oplossingsrichtingen voor de lange termijn

Vier typen oplossingsrichtingen

Uit onderzoeken van het International Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) en Deltares blijkt dat er voor Nederland meerdere oplossingsrichtingen denkbaar zijn als de zeespiegel stijgt (zie figuur 19):

Beschermen open: vasthouden van de huidige kustlijn, waarbij overtollig rivierwater vrij naar zee kan stromen. Bij een stijgende zeespiegel leidt dat tot hogere waterstanden in de benedenloop van de rivieren, het vaker en dieper overstromen van buitendijkse gebieden, opdringende verzilting en steeds nieuwe dijkverhogingen. Stormvloedkeringen blijven tegen stormvloedbeschermen en de ligging van de kustlijn wordt gehandhaafd. Feitelijk is dit een voortzetting van de huidige aanpak.

Beschermen gesloten: vasthouden van de huidige kustlijn, waarbij de riviermondingen permanent zijn afgesloten. Grootschalige dijkversterkingen langs de

¹⁹ J. Schra, M. Kleinhans, K. Cohen, M. Haasnoot en H. Middelkoop (2022): Wat wil de delta? Universiteit Utrecht, rapport 31171979.

²⁰ <https://www.deltaprogramma.nl/deltaprogramma/kennisonwikkeling-en-signalering/zeespiegelstijging/oplossingen-voor-zeespiegelstijging>

²¹ <https://www.deltaprogramma.nl/deltaprogramma/kennisonwikkeling-en-signalering/zeespiegelstijging/oplossingen-voor-zeespiegelstijging>



rivieren kunnen in eerste instantie worden voorkomen en verzilting kan deels worden tegengegaan. Water uit de rivieren en polders moet dan worden gespuid of uitgedempt en eventueel bij piekafvoeren tijdelijk worden geborgen. Ook deze aanpak vindt feitelijk nu al plaats, zoals bij de gesloten zeearmen in de Zeeuwse Delta en bij de Afsluitdijk.

Zeewaarts: zeewaarts uitbouwen van de huidige kustlijn. Het kan hierbij gaan om verbreding van de bestaande kustlijn om deze robuuster te maken tegen toenemende erosie als gevolg van zeespiegelstijging. Een andere variant is de aanleg van een nieuwe gesloten kustlijn op enkele kilometers voor de bestaande kust, om zo een zeewaartse berging voor overtollig rivierwater te creëren. Hiermee kan de pompcapaciteit die bij 'Beschermen gesloten' nodig is, verminderd worden. Het nieuwe (brakke) kustmeer kan ook de verzilting van de kuststrook verminderen.

Meebewegen²²: dit is het geleidelijk aanpassen van het ruimtegebruik aan de gevolgen van de stijgende zeespiegel, zonder nieuwe dijken, dammen en gemalen, door rekening te houden met hogere grondwaterstanden, vaker wateroverlast of overstromingen en verzilting. Het gaat hierbij om het leefbaar en woonbaar houden van laag-Nederland door het aanpassen van landgebruik, bouwwijzen en infrastructuur en om het economisch vitaal houden van hoog-Nederland.

Maatregelen

De hierboven genoemde oplossingsrichtingen vormen het speelveld van nieuwe strategieën. Ze bestaan uit combinaties van maatregelen, afkomstig uit bestaande plannen²³. Voor waterveiligheid zijn voorbeelden van maatregelen: waterkeringen, aanpassingen in landgebruik en 'vermijden en verplaatsen'. Voor zoetwater zijn voorbeelden: waterkraag verminderen, verzilting beperken en zoetwater opslaan. Het verkennen van de verschillende oplossingsrichtingen voor de lange termijn heeft tot doel het palet aan mogelijke maatregelen te vergroten. Uiteindelijk zal mogelijk een mix van verschillende oplossingsrichtingen en maatregelen nodig zijn.

Mogelijke oplossingsrichtingen voor de lange termijn

Alle oplossingsrichtingen voor de lange termijn brengen forse investeringen met zich mee, ze leggen beslag op de

ruimte en hebben effect op andere vormen van landgebruik, zoals landbouw en natuur. Maar ze bieden ook kansen. Gebiedsbijeenkomsten hebben per oplossingsrichting bevindingen opgeleverd. Deze worden in de volgende fase zoveel mogelijk kwantitatief doorgerekend.

Beschermen open

De oplossingsrichting 'Beschermen open' is in feite een voortzetting van de huidige aanpak²⁴. In hoofdstuk 4 staat wat voortgaande zeespiegelstijging voor de huidige aanpak betekent. Het veilig afvoeren van overtollig water vereist dijkversterkingen en meer pompcapaciteit. Gronden en oppervlaktewater verzilten op sommige plaatsen, omdat er niet genoeg zoetwater is om dit tegen te houden. Het op zijn plaats houden van de kustlijnligging vraagt meer zand. Daarnaast komen buitendijkse gebieden vaker, uitgebreider en dieper onder water. Met grote inspanning lijkt het technisch mogelijk om de waterveiligheid met deze strategie op orde te houden tot een zeespiegelstijging van 3 meter; de beschikbaarheid van zoetwater loopt eerder tegen grenzen aan (zie hoofdstuk 4).

Bevindingen uit gebiedsbijeenkomsten:

- Buitendijkse gebieden zullen steeds vaker te maken krijgen met overstromingen. Dit geldt voor buitendijkse woongebieden en havens langs de kust, langs de benedenloop van de Rijn (Rijnmond-Drechtsteden, IJssel-Vechtdelta) en langs de open estuaria (Eems, Schelde).
- De verzilting van de benedenloop van de hierboven genoemde rivieren kan steeds minder goed bestreden worden en de verzilting zal zich stroomopwaarts uitbreiden.

Beschermen gesloten

Het permanent afsluiten van de riviermondingen van Rijn, Maas en Schelde beperkt de verzilting van laag-Nederland, de benodigde dijkversterkingen langs de riviermondingen en het overstromen van buitendijkse gebieden. Het betekent ook dat het rivierwater niet meer vrij kan afstromen. Voor de Rijn-Maasmonding zijn dan grote pompcomplexen nodig met een capaciteit van meer dan 10.000 m³/s om het rivierwater veilig af te voeren²⁵. De benodigde pompcapaciteit kan verminderd worden door piekafvoeren tijdelijk en gedeeltelijk op te vangen in de bestaande watersystemen in de Zuidwestelijke Delta, zoals

²² Deze oplossingsrichting is breder ingevuld dan de IPCC-oplossingsrichting 'retreat'.

²³ <https://www.deltaprogramma.nl/deltaprogramma/kennisonwikkeling-en-signalering/zeespiegelstijging/oplossingen-voor-zeespiegelstijging>

²⁴ Voor het IJsselmeer is met de aanleg van de Afsluitdijk (met spuilsuizen en pompen) destijds al gekozen voor de strategie 'Beschermen gesloten'.

²⁵ De gecombineerde piekafvoer van Rijn en Maas kan oplopen tot meer dan 20.000 m³/s, zie spoor 2 rapport. Zie rapport waterveiligheid voor de regio Rijnmond-Drechtsteden en rivieren.



de Grevelingen en Oosterschelde (als uitbreiding op de bestaande mogelijkheid voor berging in Volkerak-Zoommeer). Een alternatief is het veranderen van de waterverdeling over de Rijntakken, zodat bij piekafvoeren minder water naar de Rijn-Maasmonding stroomt en meer via de IJssel naar het IJsselmeer²⁶. Dit vereist wel aanpassingsmaatregelen in de IJssel, de IJssel-Vechtdelta en het IJsselmeergebied.

Bevindingen uit gebiedsbijeenkomsten:

- Deze oplossingsrichting is vooral gunstig voor de verdere ontwikkeling van buitendijkse gebieden.
- De toename van de zoetwatervoorraad is positief voor de land- en tuinbouw.
- Het gesloten karakter leidt tot verlies van getijdedynamiek en is dus slecht voor de getijdenatuur.
- Voor de zeescheepvaart naar de bestaande havens in Rijnmond-Drechtsteden en de Schelde-regio zijn nieuwe sluiscomplexen nodig, die weer voor extra zoutvracht zorgen (zie hoofdstuk 4).

Zeewaarts

Tijdelijke berging van rivierwater vermindert de benodigde pompcapaciteit bij hoge rivierafvoeren. Het huidige bergingsgebied van het noordelijke deltabekken omvat ongeveer 450 km². Het toevoegen van de Grevelingen en Oosterschelde betekent dat het bergingsgebied groeit tot in totaal 1000 km². De benodigde pompcapaciteit kan nog verder verminderd worden door de aanleg van een bergingsgebied zeewaarts van de riviermonding van Rijn en Maas in de Noordzee. Het peil daarvan kan gereguleerd worden met pompcomplexen in de nieuwe, zeewaarts gelegen kustlijn. Tijdens de gebiedsbijeenkomsten is uitgegaan van een langgerekt kustmeer tussen Walcheren en Den Helder, waarbij de kustlijn 5 tot 20 km uit de bestaande kust komt te liggen.

Een vergelijkbare maatregel kan overwogen worden in het westelijk deel van de Waddenzee. Als door versnelde zeespiegelstijging de ecologisch waardevolle intergetijdengebieden geleidelijk verdwijnen, kan de kustlijn tussen Den Helder, Texel, Vlieland en Terschelling gesloten worden en met Friesland worden verbonden. Zo ontstaat een brak Waddenmeer, waarvan het peil beheerst kan worden met pompen. Overtollig water kan vanuit het IJsselmeer vrij afstromen naar de Waddenzee (onder vrij verval) en er is minder pompcapaciteit nodig op de Afsluitdijk.

Bevindingen uit gebiedsbijeenkomsten:

- De bestaande kustplaatsen liggen niet meer aan zee, maar aan een kustmeer. Dat beïnvloedt de beleving van de kust.

- Het kustmeer is gevuld met rivierwater. Het is weliswaar brak door ondergrondse kwel en het schutten van scheepvaart, maar heeft een lager zoutgehalte en een lagere waterstand dan de Noordzee. Daardoor kan het de verzilting van grond- en oppervlaktewater in laag-Nederland verminderen.
- Voor het behoud van de bereikbaarheid van de zeehavens voor zeescheepvaart zijn nieuwe sluiscomplexen nodig.
- Bij IJmuiden kan overtollig water langer gespuid worden.
- Nader onderzoek is nodig naar de toekomstige waterkwaliteit en ecologische effecten, en naar de optimale ligging, het ontwerp en de benodigde materialen voor de aanleg en het onderhoud van de nieuwe kustlijn.

Meebewegen

De oplossingsrichtingen 'Beschermen open', 'Beschermen gesloten' en 'Zeewaarts' zijn vooral gericht op het behoud van leefbaarheid van Nederland door het nemen van technische maatregelen. In de oplossingsrichting 'Meebewegen' is het water leidend en passen we het toekomstige ruimtegebruik geleidelijk aan naar een meer waterbestendige inrichting. Dat wil zeggen: veel meer dan in de andere oplossingsrichtingen verbetert in laag-Nederland de weerbaarheid tegen watertekort, verzilting, wateroverlast en vaker optredende overstromingen. De transities die de komende tijd moeten plaatsvinden in de landbouw, woningbouw en duurzame energie kunnen we daarvoor al benutten. Bijvoorbeeld door de economieën van hoog-Nederland in het oosten en zuiden te versterken en daarmee de kwetsbaarheid van Nederland voor de gevolgen van zeespiegelstijging te verminderen. Veel meer dan de andere oplossingsrichtingen impliceert 'Meebewegen' een transitie naar een compleet andere inrichting van Nederland.

Bevindingen uit gebiedsbijeenkomsten:

- In laag-Nederland zal deze oplossingsrichting leiden tot een toename van wateroverlast en verzilting en een grotere kans op overstromingen.
- Wateroverlast en verzilting komen nu al steeds vaker voor. De huidige woningbouwopgave in stedelijk gebied en de aanwezigheid van land- en tuinbouw in verziltende gebieden bieden de mogelijkheid om al op kleine schaal ervaring op te doen met deze oplossingsrichting en alvast te anticiperen op de verre toekomst.
- Naast functie-aanpassing of functiewijzigingen in laag-Nederland kan bij verdere stijging van de zeespiegel ook voor sommige activiteiten functieverplaatsing naar hoog-Nederland aan de orde komen.
- Deze transitie kan op termijn ook gevolgen hebben voor

²⁶ Haasnoot, M. en F. Diermanse (ed.) (2022). Analyse van bouwstenen en adaptatiepaden voor aanpassen aan zeespiegelstijging in Nederland. Deltares rapport 11208062-005-BGS-001.



de belangrijke culturele en historische waarden en de sociaaleconomische aantrekkingskracht van de Randstad. Er is dan ook een goed georganiseerd maatschappelijk proces nodig.

- het waterpeil in het IJsselmeer op het huidige niveau houden of laten meestijgen met de zeespiegel;
- extra berging van rivierafvoeren creëren, in delta-wateren of in een nieuw kustmeer.

5.3 Regio-overstijgende keuzes

De oplossingsrichtingen voor de lange termijn kunnen per regio op andere manieren ingevuld worden. In de gebiedsbijeenkomsten is voor het hoofdwatersysteem een aantal keuzes naar voren gekomen die een regio-overstijgend effect hebben (zie figuur 20):

- de verdeling van het Rijnwater over Waal, Nederrijn-Lek en IJssel, bij hoge en lage afvoeren;
- de Nieuwe Waterweg openhouden (bij storm afsluitbaar met stormvloedkering) of afsluiten;

De invulling en effecten van deze regio-overstijgende vraagstukken worden door drie consortia concreter in beeld gebracht. De oplossingsrichtingen 'Beschermen open' en 'Beschermen gesloten' liggen beide in het verlengde van de huidige strategie. Daarom worden ze in het vervolg als één oplossingsrichting uitgewerkt. De resultaten zijn naar verwachting begin 2024 beschikbaar. Ze zijn dermate concreet dat ze een goede basis bieden voor het verder doorrekenen en het ontwikkelen van adaptatiepaden in de tweede fase van het kennisprogramma.



Figuur 20: Belangrijke systeemkeuzes met regio-overstijgende consequenties.





6. Hoe kan de samenleving tijdig en weloverwogen keuzes maken?

Iedereen in Nederland gaat de gevolgen van zeespiegelstijging merken. Daarom is het van groot belang om de samenleving goed te betrekken bij de kennis over zeespiegelstijging en de manieren om ermee om te gaan. Het Kennisprogramma Zeespiegelstijging ontwikkelt kennis over communicatie en uitvoeringsaspecten en organiseert de participatie van verschillende partijen bij de kennisontwikkeling.

Het Kennisprogramma Zeespiegelstijging zoekt antwoorden op deze kennisvragen:

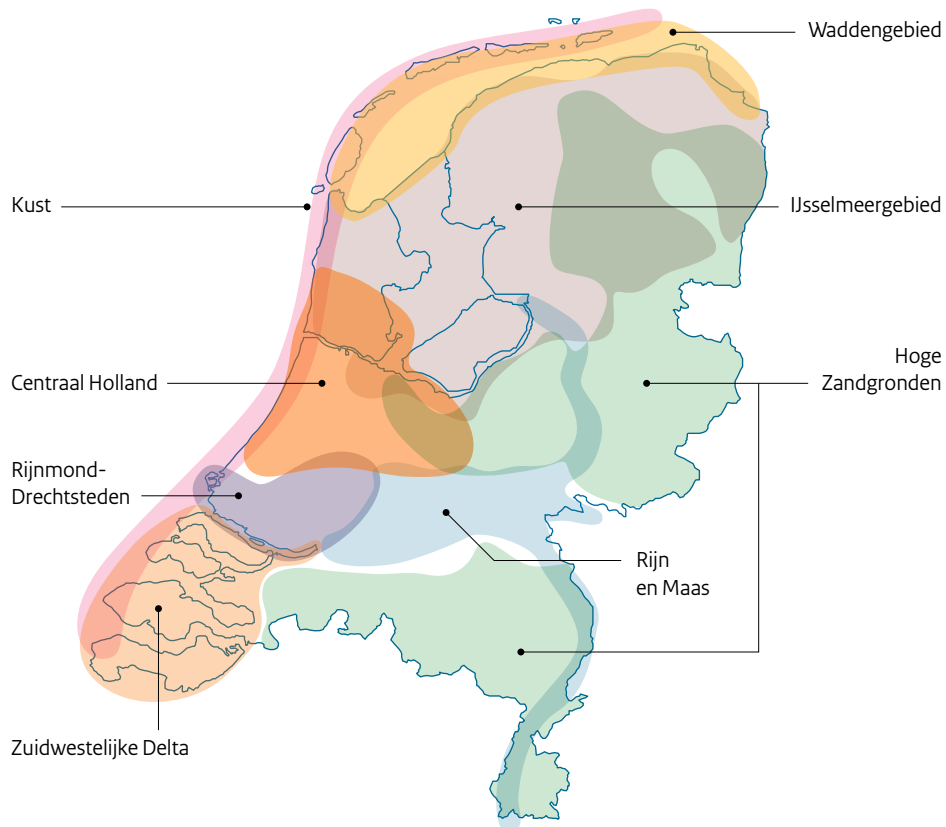
1. Welke mate van zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust kunnen we verwachten?
2. Hoeveel zeespiegelstijging kunnen we aan met de huidige strategieën en maatregelen?
3. Wat zijn mogelijke oplossingen voor zeespiegelstijging in de verre toekomst?
4. **Wat is er nodig op het gebied van communicatie, participatie en organisatie?**
5. Hoe kunnen we zeespiegelstijging beter monitoren, zodat we weten wanneer we moeten handelen?

Dit hoofdstuk gaat over kennisvraag 4.

In de eerste fase van het kennisprogramma lag de nadruk op technische kennis over de gevolgen van zeespiegelstijging voor de waterveiligheid en de zoetwaterbeschikbaarheid en het samenstellen van mogelijke oplossingen voor de lange termijn. Het kennisprogramma heeft in deze fase een communicatiestrategie opgesteld en ingezet op participatie bij de kennisontwikkeling.

Communicatiestrategie

De inzet van de communicatiestrategie is het informeren van bestuurders, overheden, bedrijven, maatschappelijke organisaties, onderzoekers en geïnteresseerde burgers over de opzet en de (tussentijdse) resultaten van het kennisprogramma. De kennis uit het programma is in de eerste fase gedeeld via Landelijke Zeespiegelstijgingsdagen, sessies op het Deltacongres, presentaties voor professionals, bestuurders en de verschillende onderdelen van het Deltaprogramma en via nieuwsbrieven en rapporten op de website van het kennisprogramma. Dit gaat de komende jaren door.



Figuur 21: De regio's van het Deltaprogramma.

Participatie

Het onderzoek van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging vindt plaats in intensief overleg met de regionale en thematische samenwerkingsverbanden van het Deltaprogramma. In deze samenwerkingsverbanden werken het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (beleidskern en Rijkswaterstaat), waterschappen, provincies en gemeenten samen aan waterveiligheid en zoetwater, deels op landelijk en deels op regionaal niveau. Deze afstemming is van belang omdat de samenwerkingsverbanden de uitkomsten van het kennisprogramma benutten voor de zesjaarlijkse herijking van hun regionale strategieën in 2026.

Ook de inbreng van bedrijven en maatschappelijke organisaties is van belang om tot goede, volledige en gedragen kennis te komen. De participatie van deze organisaties is in 2022 gestart. Dat gebeurt via de topsector Water & Maritiem²⁷ en via de regio's van het Deltaprogramma. De participatie van bedrijven en maatschappelijke organisaties vindt ook plaats via de Maatschappelijke Klankbordgroep (MKBG). Hieraan nemen vertegenwoordigers deel van maatschappelijke en vertegenwoordigende organisaties op het gebied van onder andere natuur en milieu, drinkwater, financiële

dienstverlening, waterbouw, havens en energie. De MKBG heeft drie doelen: wederzijdse kennisuitwisseling, een breed proces op gang brengen waarbij organisaties handelingsperspectieven ontwikkelen en tot slot feedback geven aan de Rijksoverheid.

Bestuurskundige reflectie: proces, besluitvorming en uitvoering

Het Kennisprogramma Zeespiegelstijging levert ook inzichten op over de manier waarop Nederland op tijd de juiste maatregelen kan treffen. In de eerste fase is de kennisvraag hierover geformuleerd: hoe kunnen we het proces, de besluitvorming en de uitvoering organiseren, zodat we alle maatregelen die op de korte en de lange termijn nodig zijn voor zeespiegelstijging voor elkaar krijgen, rekening houdend met de grote mate van onzekerheid en het benodigde draagvlak in de samenleving?

Het onderzoek gaat enerzijds over de besluitvorming bij verschillende overheden en het daarbij behorende draagvlak in de samenleving. Anderzijds gaat het over de uitdagingen die ontstaan bij de uitvoering van deze besluiten, gelet op de lange voorbereidingstijd, wettelijk eisen, onzekerheden en de noodzaak van tijdigheid.

²⁷ <https://watermaritime.nl/>





7. Wat zijn de volgende stappen in het Kennisprogramma Zeespiegelstijging?

Het Kennisprogramma Zeespiegelstijging loopt door tot 2026. De komende jaren gaan we verder met onderzoek en komt nieuwe kennis beschikbaar over de manier waarop we in Nederland om kunnen gaan met zeespiegelstijging. Wat zijn bijvoorbeeld de consequenties voor andere functies en gebruikers als we de huidige aanpak verder doortrekken bij zeespiegelstijging? Hoe kan Nederland stap voor stap toegroeien van de huidige aanpak naar eventuele andere oplossingen? En hoe organiseren we dat Nederland op tijd goede maatregelen treft? Met de eindresultaten van het kennisprogramma kunnen we betere keuzes maken over de toekomst van Nederland.

7.1 Wat weten we in 2026?

Het onderzoek in het Kennisprogramma Zeespiegelstijging loopt tot 2026. De eerste fase is afgesloten met het verschijnen van deze tussenbalans. In de volgende fase, van najaar 2023 tot 2026, levert het programma kennis op over de volgende onderwerpen:

Huidige aanpak

De resultaten tot nu toe laten zien welke mate van zeespiegelstijging we kunnen opvangen door verder te gaan met de huidige aanpak. De maatregelen en keuzes

die daarbij horen, hebben consequenties voor andere functies en (zoetwater)gebruikers. Denk bijvoorbeeld aan wonen, landbouw, natuur, industrie en scheepvaart. De komende jaren brengt het Kennisprogramma Zeespiegelstijging deze consequenties in beeld met een vastgestelde set criteria (impactanalyse²⁸). Die informatie is essentieel om te beoordelen hoe lang de huidige aanpak houdbaar is en wat daarvoor nodig is. Daarbij wordt gekeken tot maximaal 5 meter zeespiegelstijging.

In de tweede fase van het kennisprogramma wordt ook verkend welke mogelijkheden er zijn om langer door te

²⁸ <https://www.deltaprogramma.nl/deltaprogramma/kennisonwikkeling-en-signalering/zeespiegelstijging/onderzoeksresultaten-2023>



gaan met de huidige aanpak voor waterveiligheid en zoetwater. Hiervoor worden verschillende aanpakverlengende maatregelen onderzocht, zoals extra water bergen in de Zuidwestelijke Delta, zandsuppleties optimaliseren en zoutindringing efficiënter bestrijden.

Andere oplossingsrichtingen

In de eerste fase zijn vier andere oplossingsrichtingen verkend in regionale gebiedsbijeenkomsten (zie hoofdstuk 5). Drie consortia zetten de resultaten om in concrete uitwerkingen per oplossingsrichting. Ze schetsen een beeld van hoe de uitwerking eruit kan zien en wat daarvoor nodig is (technisch, fysisch en ruimtelijk).

Adaptatiepaden

De kennis over de huidige aanpak, mogelijke aanpakverlengende maatregelen en andere oplossingen wordt samengebracht in zogenoemde adaptatiepaden. Deze adaptatiepaden maken inzichtelijk welke mogelijke maatregelen bij een bepaalde mate van zeespiegelstijging in beeld komen en welke niet meer realistisch zijn. Het onderzoek in de tweede fase borduurt voort op eerste verkenningen naar adaptatiepaden²⁹.

Communicatie, participatie en organisatie

Ook in de tweede fase deelt het Kennisprogramma Zeespiegelstijging de kennis met verschillende communicatiemiddelen, zoals de website en de nieuwsbrief. Maatschappelijke organisaties zijn al sinds 2022 betrokken bij de kennisuitwisseling en kennisontwikkeling en die betrokkenheid wordt de komende jaren sterker. Daarnaast verkent het Kennisprogramma hoe burgerparticipatie bij de kennisontwikkeling mogelijk is.

Daarnaast komt nieuwe kennis beschikbaar over de bestuurskundige aspecten van zeespiegelstijging. Om zeespiegelstijging het hoofd te kunnen bieden, zijn maatregelen van heel verschillende aard nodig: niet alleen de aanleg en het versterken van infrastructuur en maatregelen in de waterhuishouding, maar ook bijvoorbeeld wetgeving en budgetwijzigingen. De kennisontwikkeling richt zich op de vraag hoe we dergelijke maatregelen op tijd en weloverwogen tot uitvoering kunnen brengen.

7.2 Hoe kunnen we resultaten gebruiken?

Hoe gebruiken we de kennis uit de tussenbalans?

In 2023 heeft het kabinet besloten dat water en bodem

sturend moeten zijn voor de inrichting en het landgebruik. Zeespiegelstijging werkt door in de toestand van water en bodem en wordt daarmee medesturend. Andersom is het laten aansluiten van de inrichting en het landgebruik bij het water- en bodemsysteem essentieel om de gevolgen van zeespiegelstijging op te kunnen vangen. Dit vraagt wel een concrete uitwerking van wat 'water en bodem sturend' precies betekent op het gebied van zeespiegelstijging. Het Rijk gaat die concreetheid bieden door samen met waterschappen, provincies en gemeenten structurende keuzes te maken over verschillende onderwerpen. Zeespiegelstijging speelt met name een rol in de keuzes over 'ruimte voor water' en 'verziltende kustgebieden'.

Daarnaast gebruikt het Rijk de inzichten uit deze tussenbalans in nieuw beleid, met name in de Nota Ruimte, het Nationaal Waterprogramma en het Nationaal Programma Landelijk Gebied.

Hoe gebruiken we de eindresultaten van het kennisprogramma?

De kennis uit het Kennisprogramma Zeespiegelstijging wordt gebruikt voor de herijking van het Deltaprogramma in 2026: de aanpassing van deltabeslissingen en regionale voorkeursstrategieën op basis van nieuwe inzichten. Het Kennisprogramma Zeespiegelstijging wordt in 2026 afgerond, zodat de kennis uit dit programma beschikbaar is voor de besluitvorming over de herijking. Omdat het proces van de herijking in 2024 start, vormt de kennis die is opgedaan in de eerste fase al een belangrijke basis.

Kennisvragen na 2026

Het Kennisprogramma Zeespiegelstijging biedt eerste inzichten in de mogelijkheden om Nederland leefbaar te houden bij zeespiegelstijging, maar het programma lost niet alle kennisvragen op. In 2026 staan er zeker nog vragen open die om verdiepend onderzoek vragen. Bijvoorbeeld vragen over de maatschappelijke impact van maatregelen en ook meer fundamentele vragen over de gevolgen van zeespiegelstijging (zoals: hoe zal de onderwaterbodem van de zee en de rivieren veranderen onder invloed van zeespiegelstijging en wat betekent dat voor de waterveiligheid?). Daarnaast zal het nodig zijn de werking van maatregelen in de praktijk te beproeven, waaronder ook nature based solutions, en zullen innovaties tot stand moeten komen, bijvoorbeeld om veel grotere hoeveelheden water naar zee te kunnen pompen.

²⁹ Haasnoot, M. en F. Diermanse (ed.) (2022). Analyse van bouwstenen en adaptatiepaden voor aanpassen aan zeespiegelstijging in Nederland. Deltares rapport 11208062-005-BGS-001.





Colofon

Deze tussenbalans is een product van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging, een initiatief van de minister van Infrastructuur en Waterstaat en de deltacommissaris.

Begeleiding:

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Staf deltacommissaris
Rijkswaterstaat

Tekst en redactie:

Renske Postma, www.dekrachtvantaal.nl
Ria de Wit, www.helder-en-duidelijk.nl

Vormgeving:

Delta3

Fotografie:

Stormvloedkering, Oosterschelde: ANP
Maeslantkering: Theo Bos
Kustbescherming bij Zoutelande, Zuidwestelijke Delta: Dimitri Louwet
De Zandmotor tussen Ter Heijde en Kijkduin: Tineke Dijkstra
Dijkversterking Kinderdijk-Schoonhovense Veer: Cees van der Wal
Westergouwe, Gouda: Jos van Alphen
Smeltende ijsboog, Antarctica: Arnoud Apituley/KNMI
Afsmeltend landijs Alaska: Jos van Alphen
Stormvloedkering, Oosterschelde: Thomas Fasting
Zoetwaterinlaat, Gouda: Jos van Alphen
Uitbreiding spuisluisen Afsluitdijk: Jos van Alphen
Terpwooning, polder Mastenbroek: Jos van Alphen
Bouw nieuwe brug voor vergroting zoetwateraanvoer KWA+, Bodegraven: Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden
Stormvloedkering, Oosterschelde: Jos van Alphen
Klimaatadaptieve woonwijk Westergouwe, Gouda: Jos van Alphen
Waterbergingsysteem Grotestraat, Nijverdal: Thomas Klomp
Groene Hart: Jos van Alphen
Starthandeling dijkversterking Heel-Beesel: Ger Peeters

November 2023



Deze brochure is een product van het Kennisprogramma
Zeespiegelstijging, een initiatief van de minister van
Infrastructuur en Waterstaat en de deltacommissaris.

www.rijksoverheid.nl/minienw
www.deltaprogramma.nl