

Meegroeien met zeespiegelstijging

Kennisprogramma Zeespiegelstijging

Hoofdrapport



Meegroeien met zeespiegelstijging

Onderzoek naar nature-based strategieën om Nederland te beschermen tegen de effecten van zeespiegelstijging

Eindrapport

Auteurs:	Martijn Steenstra (Sweco), Bregje van Wesenbeeck, Bas van Maren (Deltares), Bas Kolen (HKV), Lodewijk van Nieuwenhuijze, Pieter Schengenga (H+N+S)
Controle:	Alex Hekman (Sweco, NL2120)
Datum:	10-10-2025
Versie:	Eindrapport
In opdracht van	Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat en Staf Deltacommissaris, TKI Deltatechnologie en WNF
Financiering	Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat en Staf Deltacommissaris, TKI Deltatechnologie, WWF-NL, NL2120, Stichting EcoShape, Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur en in kind bijdragen van de partijen in het kernteam.
Kernteam	Alex Hekman (Sweco), Martijn Steenstra (Sweco), Thijs Vrinds (Sweco), Bas Kolen (HKV), Bregje van Wesenbeeck (Deltares), Bas van Maren (Deltares), Jacobiene Ritsema (Witteveen+Bos), Dennis Kamperman (Witteveen+Bos), Petra Dankers (Haskoning), Pieter Schengenga (H+N+S), Lodewijk van Nieuwenhuijze (H+N+S), Alphons van Winden (Bureau Strooming), Jim van Belzen (Wageningen Marine Research / Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee), Ton Hoitink (Wageningen University & Research), Harmen Toes (Boskalis), Govert Jan de Bruin (Van Oord), Margot Moen (EcoShape), Gijs Hendrickx (EcoShape), Esmée te Velde (EcoShape), Paula Lambregts (EcoShape), Bas Roels (Wereld Natuur Fonds), Quirijn Lodder (Rijkswaterstaat), Annemiek Roeling (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat), Ingrid Roos (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat) en Saskia van Vuren (Staf Deltacommissaris)

Colofon:

Dit rapport is gebaseerd op onderliggende rapportages. We verwijzen hier naar deze onderliggende rapportages voor nadere onderbouwing van getallen en referenties (zie Bijlage A).



Inhoud

Inhoud	2
Begrippenlijst	3
1 Inleiding	4
1.1 Meegroeien met Zeespiegelstijging	4
1.2 Ontwerpend onderzoek met de Consortiumaanpak	5
1.3 Leeswijzer	6
2 Uitgangspunten	7
3 Huidig systeem en opgave	10
3.1 Naar een balans tussen ambities.....	10
3.2 Huidige staat en autonome ontwikkeling	11
3.3 Opgaven.....	15
4 Verkenning systeemmaatregelen en ecologische oplossingsruimte	16
4.1 Ontwerpen met nature-based systeemmaatregelen.....	16
4.2 De mogelijkheden van nature-based oplossingen onderzocht	17
5 Systeemmaatregelen nader onderzocht in twee alternatieven	21
5.1 Onderzoeksalternatieven	21
5.2 Doelbereik onderzoeksalternatieven.....	23
5.2.1 Doelbereik waterveiligheid	23
5.2.2 Doelbereik zoetwaterbeschikbaarheid.....	25
5.2.3 Doelbereik natuurlijke processen en ecosystemen	26
5.3 Kosten	26
5.3.1 Onderzoeksalternatief 1.....	27
5.3.2 Onderzoeksalternatief 2.....	28
5.4 Effecten	28
5.4.1 Onderzoeksalternatief 1.....	28
5.4.2 Onderzoeksalternatief 2.....	30
6 Discussie, aanbevelingen en conclusies.....	33
6.1 Factoren voor succes	33
6.2 Veilig én natuurlijk met open zeearmen en estuaria	34
6.3 Het belang van herstel schorren en kwelders.....	34
6.4 Potentie van meegroei landschappen.....	35
6.5 Do's en don'ts.....	35
6.6 Conclusie.....	36
7 Kennis- en experimentenagenda	37
7.1 Kennisagenda	37
7.2 Experimentenagenda	38
Bijlage A Onderliggende rapporten	39

Begrippenlijst

Begrip	Definitie
Abiotische condities	Abiotische factoren zijn de niet-levende onderdelen van een ecosysteem die van invloed zijn op organismen, zoals temperatuur, licht, water, bodem, pH en zoutgehalte. Deze factoren bepalen mede welke planten en dieren in een bepaald gebied kunnen leven en hoe ze zich ontwikkelen.
Backcasting	Een methode waarbij je begint met het einddoel en vervolgens terugwerkt om te bepalen welke stappen nodig zijn om dat doel te bereiken.
Biogeomorfologie	De wisselwerking tussen levende organismen en de vorming van landschappen, bijvoorbeeld hoe plantenwortels bijdragen aan bodemvorming.
Connectiviteit	Definieert de mate waarin verschillende delen van een ecosysteem of landschap met elkaar verbonden zijn, wat belangrijk is voor de beweging van organismen en het transport van materie.
Ecosysteemdiensten	Voordelen die mensen ontvangen van ecosystemen, zoals voedsel, schoon water, en recreatiemogelijkheden.
Estuarien gebied	Overgangszone tussen een rivier en de zee, waar zoet rivierwater mengt met zout zeewater. We rekenen hier bijvoorbeeld de hele Oosterschelde, Westerschelde of het Haringvliet toe.
Fysiotoop	Eenheden die worden gekenmerkt door vergelijkbare fysische omstandigheden, zoals bodemtype, waterdiepte en dynamiek. Binnen een fysiotoop kunnen meerdere ecotopen voorkomen. Ecotopen worden gekenmerkt door een vergelijkbare ecologische toestand en soortensamenstelling. De combinatie van een fysiotoop en ecotoop vormt een ecosysteem of habitat.
Hydrodynamiek	De bewegingen en krachten van water, zoals stromingen en golven.
Intergetijdengebied	Alle gebieden die onder invloed van het getij bij eb droog staan en bij (spring-) vloed onder water. Schorren en kwelders, platen en strand zijn samen het intergetijdengebieden
Schorren en kwelders	Schorren en kwelders zijn gebieden aan de kust die zijn begroeid met zoutminnende planten en die regelmatig overspoeld worden door zeewater, maar tussen de getijden door droogvallen.
Lokaal Individueel Risico (LIR)	Het Lokaal Individueel Risico is een maat voor het risico op overlijden door een overstroming op een plek, rekening houdend met de mogelijkheid van evacuatie.
Morfodynamiek	De veranderingen in vorm en structuur van landschappen door natuurlijke processen zoals stromingen, erosie en sedimentatie.
Overgangswateren	Wateren die liggen tussen zoetwater- en marine-ecosystemen, waaronder estuaria en brakke wateren.
Sediment	Sediment is materiaal zoals zand en slib dat door water wordt verplaatst en afgezet. Zand is grof materiaal en slib zijn kleinere deeltjes. Zand verplaatst zich over het algemeen met hoge stroomsnelheden over de bodem en wordt door golven naar de kust getransporteerd. Slib is fijn materiaal dat zich in de waterkolom bevindt en zich kan verplaatsen bij kleinere stroomsnelheden.
Sedimentatieprocessen	Processen waarbij materiaal zoals zand en slib wordt afgezet door water.
Sequestratie	Het proces waarbij koolstof wordt vastgelegd in planten en bodem, waardoor het niet in de atmosfeer terechtkomt en klimaatverandering helpt mitigeren.
Vloedkommen	Laaggelegen gebieden die tijdelijk onder water kunnen komen te staan bij hoogtij of overstromingen.
Platen	Platen zijn de niet begroeide gebieden aan de kust die regelmatig overspoeld worden door zeewater, maar tussen de getijden door droogvallen.

1 Inleiding

1.1 Meegroeien met Zeespiegelstijging

Omgaan met de gevolgen van versnelde zeespiegelstijging is één van de grote uitdagingen van de komende eeuw. Vanuit het kennisprogramma zeespiegelstijging zijn in 2023 door drie consortia denkrichtingen uitgewerkt over hoe Nederland de effecten van zeespiegelstijging kan opvangen, namelijk de denkrichtingen Beschermen (open en gesloten), Zeewaarts en Meebewegen. De denkrichtingen hebben twee hoofddoelen, namelijk het lange termijn behoud van (1) waterveiligheid en (2) zoetwaterbeschikbaarheid bij een zeespiegelstijging van 2,0 en ruim 5,4 meter, welke in een extreem scenario kunnen optreden in de jaren 2100 en 2200. De studies maken inzichtelijk hoe deze denkrichtingen er uit kunnen zien en wat er nodig is om ze te realiseren.

In alle drie de denkrichtingen gaat het om grote aanpassingen van het watersysteem met grote gevolgen voor het landgebruik en de inrichting van Nederland. Ze vragen om veel ruimte, grondstoffen, financiën en aanpassingen van functies en hebben daarmee een groot effect op de maatschappij. De uitwerkingen hebben ook duidelijk gemaakt dat de gevolgen van deze denkrichtingen voor het natuurlijk functioneren van de kust- en overgangswateren groot zijn, zeker bij snelle zeespiegelstijging. In de denkrichtingen waarbij deltawateren in open verbinding blijven met de zee (Beschermen open, Meebewegen) zullen bij snelle zeespiegelstijging van een centimeter of meer per jaar op den duur veruit de meeste intergetijdengebieden in de Waddenzee en in de Zuidwestelijke Delta verdrinken. Ook getijdenatuur langs de riviermondingen zal hoogstwaarschijnlijk onder water verdwijnen. De huidige inrichting met keringen en dijken verhindert dat het intergetijdengebied en het land daarachter zich kan aanpassen door mee te groeien of landinwaarts te bewegen. In de denkrichtingen waarbij deltawateren worden afgesloten met harde waterbouwkundige infrastructuur (Beschermen gesloten, Zeewaarts) verliest het intergetijdengebied haar dynamiek en aanpassingsvermogen en zal ook verloren gaan.

Het verlies aan intergetijdengebied bemoeilijkt het vasthouden van onze huidige waterveiligheidsnorm, vergroot verzilting van landbouwgrond en heeft doorwerking op meerdere economische sectoren, zoals visserij en toerisme. Behoud, herstel en versterking van natuurlijke sedimentatieprocessen bieden intergetijdengebieden langs kusten en in estuaria, de mogelijkheid om mee te groeien met zeespiegelstijging. Daarmee wordt het achterland beter beschermd tegen risico's en gevolgen van overstromingen. Daarnaast is het belang van deze gebieden groot voor gezonde en productieve ecosystemen in de kustzone, zowel voor de natuur zelf, als voor de hiervan direct afhankelijke economische sectoren als recreatie, toerisme en visserij. De gebieden zijn een onmisbare schakel in migratieroutes van vissen en vogels en de kraamkamer voor vele vissoorten in de Noordzee. Ingrepen in het systemen, zoals bijvoorbeeld het afsluiten van waterlichamen, leiden tot afname van waterkwaliteit door gebrek aan doorspoeling en stoppen het meegroeivermogen met zeespiegelstijging van het morfologische systeem. Zelfs in systemen die deels nog open zijn, zoals de Oosterschelde en de Veerse meer, loopt de ecologische kwaliteit van het gebied terug en daarmee neemt ook de economische potentie, door toerisme, recreatie en schelpdierkweek, van de gebieden af. Tot slot heeft Nederland een wettelijke plicht om de ecosystemen in de kustzone en estuaria in stand te houden, vanwege het nationale en internationale belang van deze onvervangbare natuur.

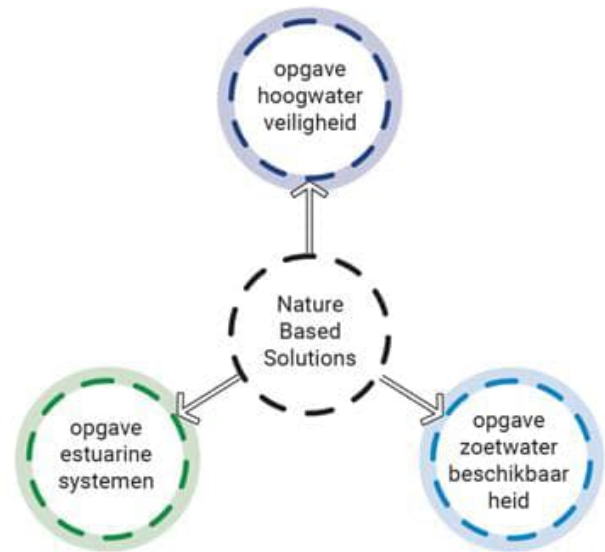
Om deze redenen is een vierde consortium aan de slag gegaan waarbij aan de twee doelstellingen waterveiligheid en zoetwaterbeschikbaarheid een derde doelstelling is toegevoegd, namelijk het behoud (en waar mogelijk herstel) van de natuurlijke processen en ecosystemen in de kustzone. Onderzocht is in hoeverre het mogelijk is om met een (nature-based) strategie de waterveiligheid en zoetwaterbeschikbaarheid op orde te houden en te versterken. Het onderzoek is uitgevoerd met een consortium aan partijen met relevante kennis voor het onderwerp. Er is ingezet op interdisciplinair werken met een consortium dat bestaat uit civiel ingenieurs, morfologen, ecologen en landschapsarchitecten. Het kernteam bestond uit experts van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, de staf Deltacommissaris, WWF-NL, Rijkswaterstaat, Deltares, HKV, H+N+S, EcoShape en Young EcoShape, Wageningen Marine Research/NIOZ, Wageningen University, Bureau Strooming, Witteveen + Bos en Haskoning. Het voorzitterschap en projectmanagement is uitgevoerd door Sweco. Het consortium is ondersteund vanuit de Topsector Water & Maritiem en NL2120.

1.2 Ontwerpend onderzoek met de Consortiumaanpak

Het consortium heeft een ontwerpende aanpak gehanteerd waarbij met het natuurlijk systeem als onderlegger is onderzocht hoe het nature-based solutions (NBS) concept kan bijdragen aan waterveiligheid, zoetwaterbeschikbaarheid en behoud van de ecosystemen van de kustzone en estuariene gebieden (zie Figuur 0-1). Deze benadering benut de krachten en kwaliteiten van natuur door zoveel mogelijk gebruik te maken van de dynamische processen in het water- en bodemsysteem.

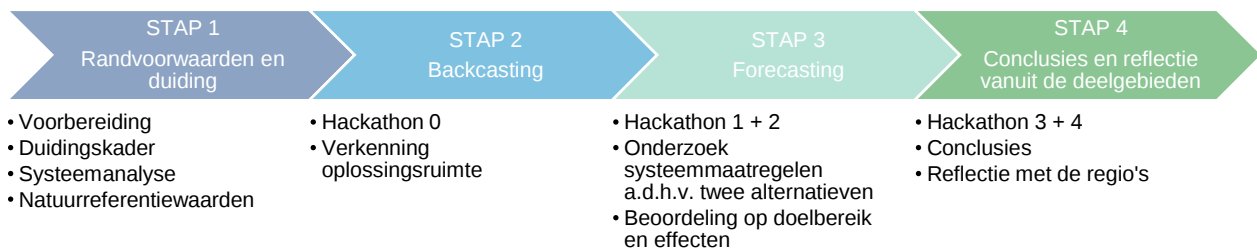
In de uitwerking is in beeld gebracht welke maatregelen nodig zijn, wat kosten en effecten van een dergelijke aanpak zijn, en wat de maatschappelijke meerwaarde is. De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd:

- Zo veel mogelijk aansluiten bij de natuurlijke werking van het kustsysteem door optimaal ruimte te geven aan en het benutten van natuurlijke processen en ecosystemendiensten, zoals opslippen, sediment invangen en opslag van zoet water;
- Koppeling leggen tussen natuurlijke processen en ruimtelijke maatregelen inclusief dijkversterkingen en waterbouwkundige kunstwerken;
- Naast de opgaven voor waterveiligheid en zoetwaterbeschikbaarheid ook invulling geven aan de opgave van behoud, herstel en ontwikkeling van ecosystemen met focus op intergetijdengebieden, duinen en overgangswateren.



Figuur 1-1 Integrale oplossingen voor de drie hoofddoelstellingen, gebruikmakend van de natuurlijke systeemwerking

Het proces bestond uit vier stappen zoals weergegeven in Figuur 1-2. In de **eerste stap** werkte het kernteam het onderzoekskader en duidingskader uit, stelde de opgave vast en voerde een systeemanalyse uit van de natuurlijke werking en processen van het kustsysteem. In de **tweede stap** verkende het kernteam in een eerste hackathon de mogelijke systeemmaatregelen waarmee de doelen kunnen worden bereikt en de oplossingsruimte. Dit is gedaan door aan de hand van ontwerpend onderzoek en backcasting de maximale oplossingsruimte voor het herstel van natuurlijke processen en ecosystemen in kaart te brengen. In de **derde stap** zijn in twee hackathons, waarbij ook experts buiten het kernteam werden uitgenodigd, de systeemmaatregelen nader geanalyseerd en beoordeeld op doelbereik en effecten. Dit is gedaan door deze uit te werken in twee onderzoeksalternatieven met samenhangende sets van maatregelen waarmee het doelbereik kan worden behaald. In **stap vier** zijn de resultaten door de werkgroepen uitgewerkt, zijn voorlopige conclusies getrokken en is gerapporteerd. Vervolgens is hier in twee werksessies met overwegend ambtelijke vertegenwoordigers uit de regio's op gereflecteerd en zijn resultaten aangescherpt.



Figuur 1-2 Doorlopen proces

1.3 Leeswijzer

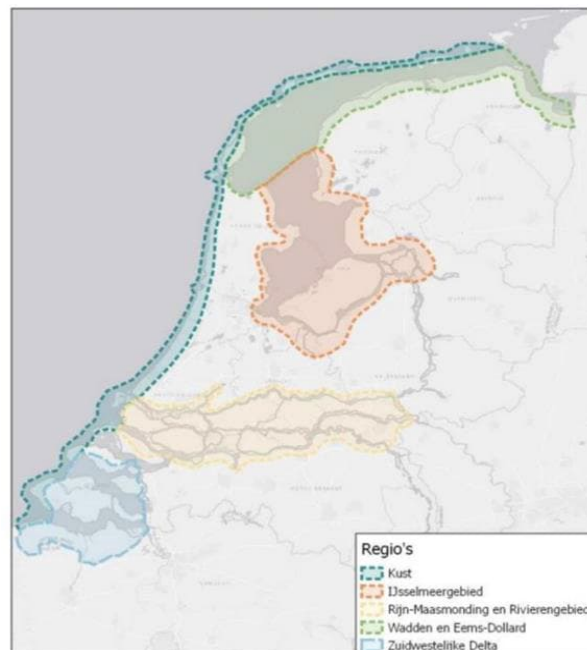
Hoofdstuk 2 beschrijft de belangrijkste uitgangspunten voor deze studie. In hoofdstuk3 worden de systeemanalyse, autonome ontwikkeling en de opgaven beschreven. Hoofdstuk 4 presenteert zowel de systeemmaatregelen als de ecologische oplossingsruimte. In hoofdstuk 5 worden de systeemmaatregelen onderzocht aan de hand van twee onderzoeksalternatieven. Vervolgens worden de conclusies van deze studie gepresenteerd in hoofdstuk 6. In hoofdstuk 7 is een kennis- en experimenteeragenda opgenomen.

2 Uitgangspunten

De uitwerking van het consortium Meegroeien met zeespiegelstijging is op vergelijkbare manier opgezet als de eerdere consortia voor Meebewegen, Beschermen en Zeewaarts. Er is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van dezelfde uitgangspunten, zodat resultaten vergelijkbaar zijn. Het belangrijkste verschil is dat voor dit consortium het behoud en herstel van het natuurlijk functioneren van het kust(eco)systeem is meegenomen in het doelbereik om te onderzoeken of dit leidt tot andere, integrale oplossingsstrategieën. In dit hoofdstuk zijn de belangrijkste uitgangspunten opgenomen.

Studiegebied

Het studiegebied is het deel van Nederland dat wordt beïnvloed door de zeespiegelstijging. Dat betekent dat de focus ligt op het hoofdwatersysteem. Daarbij is onderscheid gemaakt in vijf deelgebieden, namelijk de Zuidwestelijke Delta, Rijnmond-Drechtsteden en het deel van de rivieren waar zeespiegelstijging effect op heeft, de Wadden en Eems-Dollard, de Zandige kust aan de Noordzee, en het IJsselmeergebied (zie Figuur 1-1).



Figuur 2-1 Indicatieve afbakening deelgebieden

Tijdshorizon in relatie tot andere transitie

We werken denkrichtingen uit voor extreme zeespiegelstijging richting 2200, een toekomst die moeilijk te voorspellen is en hetzelfde geldt ook voor andere ontwikkelingen die op deze tijdshorizon plaatsvinden. Hoe zal de energietransitie verlopen en welke ruimte vraag zal er zijn voor windmolens? Welke transitie zal de landbouw doorlopen en welke impact heeft dit op de watervraag die nu sterk vraag gedreven is? Hoe wordt in de verre toekomst voldaan aan de mobiliteitsvraag? De oplossingsrichtingen voor de lange termijn krijgen dus vorm in een sterk veranderde wereld. Gezien deze onzekerheden worden veel van de huidige randvoorwaarden die menselijk gebruik stellen binnen deze studie niet als harde randvoorwaarden gezien, wel worden de effecten op de verschillende functies beschreven.

Zeespiegelstijging en rivierafvoer

De snelheid van klimaatverandering is onzeker. Bij de uitwerking van de lange termijn denkrichtingen is uitgegaan van een zeer extreem scenario zeespiegelstijging, dat wil zeggen 2,0 meter stijging in 2100 en 5,4 meter in 2200. Ook is ervan uitgegaan dat de rivierafvoeren toenemen maar in een droog jaar juist ook lager zijn. In deze extreme scenario's is een belangrijke vraag of natuurlijke processen de snelheid van zeespiegelstijging kunnen bijhouden. In de uitwerking is daarom expliciet gekeken naar de snelheid van natuurlijke processen, waar knippunten liggen wanneer natuurlijke processen de zeespiegelstijging niet langer kunnen bijhouden, en wat nodig is aan aanvullende extra ingrepen. De uitgangspunten voor zeespiegelstijging en rivierafvoeren zijn opgenomen in Tabel 2-1.

Tabel 2-1 Kentallen bij 2,0 en 5,4 m zeespiegelstijging.

	Bij 2m zeespiegelstijging + verandering rivierafvoer (2100 obv tijdlijn zeer extreem)	Bij 5,4m zeespiegelstijging + verandering rivierafvoer (2200 obv tijdlijn zeer extreem)
Zeespiegelstijging t.o.v. 1995 (m)	2,0	5,4
Uiteindelijke stijgsnelheid zeespiegel (huidig 2,9 mm per jaar ³)	19 mm per jaar	34 mm per jaar
Rijnaafvoer Lobith (m ³ /s) +/- bij 1/1.000 per jaar event	18.000	20.000
Maasafvoer Eijsden (m ³ /s) +/- bij 1/1.000 per jaar event	4.800	5.300
Totale rivierafvoer bij hoogwater +/- bij 1/1.000 per jaar event	23.000	25.000
90-daagse gemiddelde rivierafvoer (m ³ /s) bij een 1/30-50 droog jaar (deze is in het heden 1050 m ³ /s)	750	600

Zoetwater

De zoetwaterproblematiek in Nederland wordt grotendeels bepaald door de vraag naar zoetwater om verzilting tegen te gaan. Voor de toekomst is het blijven doorspoelen van polders niet haalbaar, omdat het aanbod van zoetwater in de toekomst hoogstwaarschijnlijk niet voldoende is. We zullen dus onvermijdelijk moeten omschakelen naar een aanbod gedreven verbruik van zoetwater. NBS kunnen een positieve bijdrage leveren aan het tegengaan van verzilting en aan het vasthouden van extra zoetwater. Echter, de hoeveelheden staan niet in relatie tot de huidige vraag. Daar zal dus eerst aan gewerkt moeten worden.

We gaan in deze studie uit van de zoetwaterbalans voor het hoofdsysteem voor de huidige situatie en voor de VoorkeurStrategie (VKS) bij 2,0 en 5,4 m zeespiegelstijging zoals die is opgesteld voor de denkrichting Beschermen. Deze zoetwaterbalans is opgesteld over een periode van 90 dagen voor een zeer droge periode (een eens in de 20 jaar gebeurtenis, vergelijkbaar met de droge periode van 1976). Waterbuffers als het IJsselmeer spelen in deze perioden een rol om functies van water te voorzien. De gemiddelde afvoer in 2100 op de rivieren is voor die situatie (90 dagen, eens in de 20 jaar) geschat op 750 m³/s. Deze schatting is gebaseerd op het Stoom-scenario uit de Deltascenario's. In de huidige situatie is deze afvoer 1.050 m³/s. Voor de wateropslag in het IJsselmeer gaan we voor de huidige situatie uit van een buffer van 20 cm over het IJsselmeer en Markermeer (samen 2.000 km²).

Sediment

Voor deze nature-based strategie is de beschikbaarheid van sediment essentieel. Hier dient een onderscheid tussen zand en slib te worden gemaakt. Zand is grof materiaal en slib zijn kleinere deeltjes. Zand verplaatst zich over het algemeen met hoge stroomsnelheden over de bodem en wordt door golven naar de kust getransporteerd. Slib is fijn materiaal dat zich in de waterkolom bevindt en zich kan verplaatsen bij kleinere stroomsnelheden. Voor slib om te bezinken zijn zeer kalme condities of luwe plaatsen nodig. Hierdoor bezinkt slib meestal in begroeide intergetijdengebieden, vanaf hier schorren en kwelders genoemd. De hoeveelheid sediment die door natuurlijke processen aangevoerd wordt naar de Nederlandse kustzone, verschilt sterk voor zand en voor slib. De hoeveelheid zand aanwezig in de bodem van de Nederlandse kustzone en nabijgelegen Noordzee is groot, maar niet oneindig en sterk afhankelijk van andere factoren, zoals ruimtegebruik (denk aan de relatie met kabels, windparken, scheepvaart en ecologie).

De hoeveelheid zand die jaarlijks netto door golven en stroming wordt aangevoerd is veel kleiner. De hoeveelheid die langs de Hollandse kust wordt getransporteerd is 0,1 – 0,5 miljoen m³ per jaar, langs de oostelijke Waddeneilanden oplopend tot 1 miljoen m³ per jaar. De hoeveelheid slib, die jaarlijks netto wordt getransporteerd langs de Hollandse kust wordt ingeschat op 10-14 miljoen ton/jaar. De bron van dit slib is vooral het nauw van Calais / Straat van Dover. De Rijn voert slechts 1-2 miljoen ton slib per jaar aan. De Zuidwestelijke Delta en de Waddenzee delen dezelfde sedimentbron en dit betekent dat grootschalig gebruik van slib in de ZW-delta de slibbeschikbaarheid in de Waddenzee op termijn beperkt. Op dit moment wordt ongeveer 1,5 miljoen ton slib afgezet in Westerschelde en Oosterschelde. In de Nederlandse Waddenzee wordt 1,9 miljoen ton per jaar afgezet.

Momenteel wordt voldoende sediment afgezet in de Westerschelde en Waddenzee om mee te groeien met de huidige zeespiegelstijging. Wanneer de zeespiegelstijging toeneemt is de verwachting dat meer zand en

slib afgezet zal worden in beide systemen, maar dat bij een kritieke zeespiegelstijging van meerdere centimeters per jaar minder sedimentimport optreedt dan de sedimentvraag door zeespiegelstijging. Als dan het gehele intergetijdengebied behouden dient te worden zal extra sediment moeten worden toegevoegd. Dat kan zand en slib zijn, afhankelijk van de precieze plek en het precieze doel. Voor de zandige kust geldt dat onder huidige condities zandsuppleties worden gebruikt om de zeespiegelstijging bij te houden. Een versnelling van de zeespiegelstijging vereist een toename in suppleties/suppletiehoeveelheden voor de zandige kust.

Ecologie

De insteek van het consortium richt zich op grootschalig herstel van de natuurlijke processen in de kustzone en overgangswateren als voorwaarde voor gezonde ecosystemen. We identificeren drie kernindicatoren die van belang zijn voor het natuurlijk functioneren van ecosystemen in de kustzone en overgangswateren: ruimte (in arealen per fysiotoop), dynamiek en connectiviteit. Ook PAGW kijkt naar ruimte, dynamiek en connectiviteit maar heeft een korte tijdshorizon (tot 2050). Wij analyseren wat er nodig is om een duurzaam en toekomstbestendig systeem te waarborgen op de lange termijn (tot 2200) en verkennen daarbij mogelijke systeemmaatregelen op grotere schaal.

- **Ruimte:** we maken op basis van historische analyses en vergelijking met andere systemen een grove inschatting van de arealen per fysiotoop die nodig zijn voor een duurzaam functionerend ecosysteem.
- **Dynamiek:** we identificeren de abiotische en fysische condities die noodzakelijk zijn voor het functioneren van kust en estuariene processen. Hieronder vallen onder andere getijwerking (essentieel voor sedimenttransport en nutriëntenhuishouding), rivierafvoer en natuurlijke verstoringen die bijdragen aan ecosysteemherstel en biodiversiteit.
- **Connectiviteit:** we analyseren hoe verschillende habitats en ecologische functies met elkaar verbonden zijn. Denk aan het herstel van natuurlijke estuariene zoet-zoutgradiënten en migratieroutes voor organismen die essentieel zijn voor de natuurlijke processen maar ook om klimaatverandering en de verschuiving van klimaatzones op te vangen.

Ecologische waarden kunnen gekwantificeerd worden op niveau van habitats, ecotopen en fysiotoopen. Fysiotoopen zijn eenheden die worden gekenmerkt door vergelijkbare fysische omstandigheden, zoals bodemtype, waterdiepte en dynamiek. Binnen een fysiotoop kunnen meerdere ecotopen voorkomen. Ecotopen worden gekenmerkt door een vergelijkbare ecologische toestand en soortensamenstelling. De combinatie van een fysiotoop en ecotoop vormt een ecosysteem of habitat.

Grote delen van de kustzone en estuariene gebieden zijn als Natura 2000-gebied aangewezen en kennen een onderverdeling in specifieke habitats die onder de Habitatrichtlijn of Vogelrichtlijn vallen. Voor deze habitats zijn doelsoorten gedefinieerd. Dit detailniveau is niet werkbaar en doelmatig voor deze studie omdat naast zeespiegelstijging ook andere (klimaat)factoren invloed op specifieke habitats en soorten hebben, zeker op de termijn waar deze studie zich op richt. Uit andere analyses moet blijken wat klimaatverandering op het niveau van habitattypen en soorten vraagt aan aanvullende maatregelen en eventueel doelwijziging. Het consortium kijkt op een hoger abstractieniveau naar natuur: gebieden met gelijke fysische omstandigheden (fysiotoopen). De huidige wettelijke doelen zijn in dit rapport geen doel voor 2200, maar een hulpmiddel om de arealen fysiotoopen te bepalen. Er is voor het niveau van fysiotoopen gekozen omdat op dit niveau de fysische veranderingen redelijkerwijs zijn in te schatten en dit aansluit op de lange-termijn analyses en ontwikkelingen en bijbehorende onzekerheden. Daarnaast zijn hiermee de belangrijkste randvoorwaarden voor het voorkomen van ecotopen eveneens in beeld.

Voor het ontwerpproces is gewerkt met een kaart met een basislaag waarin fysiotoopen per deelgebied zijn weergegeven. Op basis van systeembegrip en analyse van historisch en huidig areaal, zijn arealen voor elk fysiotoop in elke deelgebied bepaald die noodzakelijk zijn voor robuuste natuur, zowel nu als bij klimaatverandering. Ook bij klimaatverandering blijven de Nederlandse grote wateren de plek waar drie stroomgebieden in zee komen. Dat maakt de Nederlandse waternatuur ook in de toekomst waardevol, mits de juiste arealen fysiotoopen aanwezig zijn.

3 Huidig systeem en opgave

3.1 Naar een balans tussen ambities

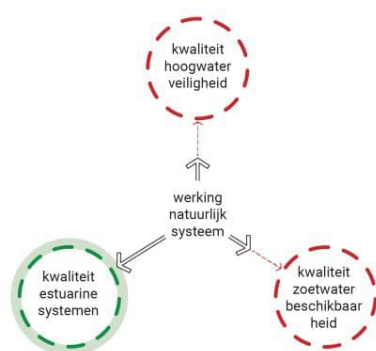
Kijkend naar de drie hoofddoelstellingen (waterveiligheid, zoet waterbeschikbaarheid, het behoud, herstel en ontwikkelen van de natuurlijke processen en ecosystemen van de kustzone) zien we dat de balans tussen deze drie over de tijd behoorlijk is verschoven. Vanaf het eind van de Middeleeuwen (ca 1400 AD) kreeg de mens als sturende factor een steeds dominantere invloed op het natuurlijk systeem van de delta. Bedijkingen en inpolderingen zorgden tussen 1400 en 1600 AD voor een toename van waterveiligheid en een eerste grote afname van het areaal intergetijdengebied. Ook verminderde de connectiviteit doordat binnen- en buitendijs van elkaar werden gescheiden. Vanaf het moment dat steeds meer land werd ingepolderd kwamen deze polders ten opzichte van omringende estuaria steeds lager te liggen doordat aanslibbing niet langer mogelijk was.

Een verschil tussen de Zuidwestelijke Delta en de Waddenzee is dat Zuidwestelijke Delta uit langwerpige estuaria bestaat en de Waddenzee uit kortere getijdebekkens. Inpoldering van de hoger gelegen gebieden heeft er in de Zuidwestelijke Delta toe geleid dat er relatief veel diep water en weinig platen over zijn. In de Waddenzee zijn er juist wel veel platen over. Schorren en kwelders zijn er in beide gebieden weinig tot zeer weinig: zodra ze hoog genoeg waren werden deze steeds ingedijkt.

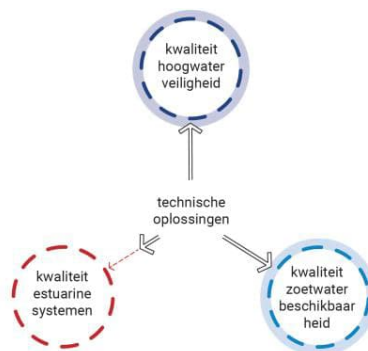
Vanaf de 18e eeuw werd het watersysteem zelf ook steeds meer aangepast aan menselijke behoeften. Door middel van baggerwerk wist men op den duur de rivieren en vaargeulen steeds beter op diepte te houden, waardoor de morfodynamiek langzaam veranderde. De industrialisatie en mechanisatie gaf deze ontwikkeling in de 19e en vooral de 20e eeuw een verdere vlucht. Dit had gevolgen voor de dynamiek en de connectiviteit van het estuariene systeem, die erdoor veranderde, maar niet direct afnam. Rond 1950 waren dynamiek en connectiviteit dan ook nog steeds redelijk goed op orde.

Vanaf de jaren dertig van de vorige eeuw volgde tenslotte het afsluiten van de grotere zeearmen, Zuiderzee, Brielse Maas, Haringvliet, Veerse Meer, Grevelingen en Lauwersmeer en het aanleggen van grote havencomplexen overal langs de kust, die door een stelsel van op diepte gehouden vaargeulen met elkaar, de Noordzee en het achterland verbonden zijn. De waterveiligheid nam door deze werken enorm toe, de beschikbaarheid van zoetwater voor de landbouw werd in deze periode fors groter en de verbondenheid door infraverbindingen over keringen en dammen nam fors toe met grote economische ontwikkelingen tot gevolg. Hiermee veranderde echter wel het estuariene systeem ingrijpend: in een groot gebied namen zowel de dynamiek als de connectiviteit sterk af. Het moment in de tijd dat we als referentie voor een estuariene systeem dat nog relatief goed functioneerde kunnen gebruiken is de periode tussen 1950 en 1960.

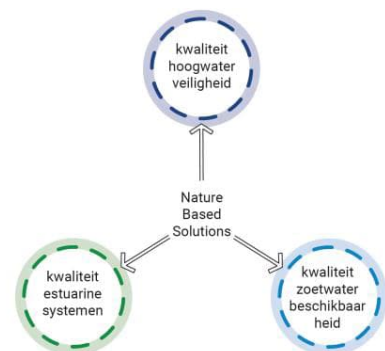
De drie ambities 1800-1850



De drie ambities in 2024



De drie ambities in balans



Figuur 3-1 Ontwikkeling van doelbereik op de drie ambities

Zoetwaterbeschikbaarheid hangt in dit technische systeem af van zowel de kwantiteit als de kwaliteit van het water. Zolang er voldoende wateraanbod is bovenstrooms kan deze met technische middelen worden verdeeld. Nu dit steeds vaker niet het geval is, wordt het steeds problematischer om benedenstrooms een voldoende kwaliteit in stand te houden.

De afgelopen eeuwen heeft het Nederlandse kustsysteem veel veranderingen en ingrepen ondergaan. Oorspronkelijk was er een natuurlijk systeem aanwezig met een hoge ecologische kwaliteit, maar met een lage waterveiligheid en waterbeschikbaarheid. Dit systeem heeft zich ontwikkeld tot een systeem waarin technische oplossingen domineren. Veiligheid en zoetwaterbeschikbaarheid staan hierin voorop ten koste van de kwaliteit van de kustnatuur. De uitdaging is om de drie opgaven weer meer met elkaar in balans te brengen en te zoeken naar synergie (zie Figuur 2-1).

3.2 Huidige staat en autonome ontwikkeling

Waterveiligheid

De waterveiligheid in een groot deel van Nederland wordt geborgd met een stelsel van waterkeringen. Deze moeten voldoen aan de huidige normen zoals vastgelegd in de Waterwet. Binnen deze normen is de eis van het Lokaal Individueel Risico leidend. Hiermee is overal in Nederland de basisveiligheid, de maximale kans is op overlijden door een overstroming, gegarandeerd.

Met het Hoogwaterbeschermingsprogramma wordt invulling gegeven aan deze eisen via een systeem van periodiek toetsen en het uitvoeren van dijkversterkingen. In 2050 moeten alle dijken in Nederland voldoen aan de norm. Er staan daarom veel dijkversterkingen gepland in de komende decennia, onder andere langs de Waddenkust en aan de noordzijde van de Westerschelde. Bij een stijgende zeespiegel ontstaat met dit systeem van normen en periodiek toetsen automatisch de noodzaak tot nieuwe dijkversterkingen. Ook bodemdaling speelt hierbij een rol. In de voorkeurstrategieën van het deltaprogramma worden daarom keringen versterkt en stormvloedkeringen vervangen als dat nodig is doordat omstandigheden veranderen.

De benodigde dijkhoogte wordt in de Zuidwestelijke Delta, het IJsselmeer en langs de rivieren aanzienlijk beperkt door deltawerken als de Afsluitdijk, Oosterscheldekering, de Brouwersdam, de Haringvlietdam en de Maeslantkering. Deze deltawerken zijn in de periode 1954 -1997 aangelegd. Veel van de kunstwerken van de deltawerken zijn constructief voor 100 tot 200 jaar gebouwd. Door zeespiegelstijging komt de vraag of vervanging eerder aan de orde is. Al in de tweede helft van deze eeuw zullen veel kunstwerken aan vervanging toe zijn. Bij 5 meter zeespiegelstijging, en uitgaande van voortzetting van de huidige waterveiligheidsstrategie, zullen de totale kosten voor bescherming naar schatting ongeveer 200 miljard bedragen (<0,5% van het BNP).

Zoetwaterbeschikbaarheid

De ambitie voor zoetwater is dat de zoetwaterbeschikbaarheid op orde blijft. Uitgangspunt is dat in een droog jaar (als 1976, wat ongeveer eens in de 20 jaar voorkomt) de waterbeschikbaarheid (dus het evenwicht tussen vraag en aanbod) in het hoofdwatersysteem vergelijkbaar blijft met zoals dat nu het geval is. In Tabel 3-1 is de watervraag van verschillende functies in de huidige situatie weergegeven en ook de watervraag van deze functies in 2100 en 2200. In de huidige situatie is de benodigde afvoer voor het doospoelen van de Rijn-Maasmonding de grootste watervrager tijdens een droge periode. Dit wordt gevolgd door de watervraag voor regionaal peilbeheer. Ook nu is er in droge perioden al met regelmaat een tekort aan water en moeten keuzes worden gemaakt.

Tabel 3-1 Verandering watervraag in 2100 en 2200 gebaseerd op het Stoom-scenario uit de Deltascenario's.

	Huidig	2100	2200
Doorspoeling zoute kwel in regionale polders [m³/s]	20	150	1.000
Doorspoeling boezemsystemen [m³/s]	54	60	100
Benodigde afvoer Rijn- Maasmonding voor doorspoeling [m³/s]	500	1.000	1.850
Benodigde afvoer overige systemen (als ARK/NZK, IJsselmeer, VZM, Brielse Meer) [m³/s]	95	240	385
Overige functies:			
- watergebruik industrie en drinkwater [m³/s]	18	24	33
- beregening landbouw [m³/s]	53	101	149
- regionaal peilbeheer [m³/s]	133	1.157	143
Totaal [m³/s]	873	1.732	3.698

Natuurlijk systeemfunctioneren

De **getijdendynamiek** in de Waddenzee en de Westerschelde is nog aanwezig, hoewel die in de Westerschelde sinds de jaren '70 sterk is beïnvloed door de verdiepingen van de hoofdgeul. In de Oosterschelde en de Rijn-Maasmonding is deze nog deels aanwezig maar beïnvloed door systeemingenrepen. In andere voormalige estuaria zoals het Haringvliet, de Grevelingen en de Veerse meer, is de getijdendynamiek grotendeels verdwenen. De rivierdynamiek is in een aantal deelgebieden nog op orde, maar de morfodynamiek is bijna overal sterk veranderd.

Tabel 3-2 Indicatie van de toestand van het estuariene systeem aan de hand van de areaalomvang, dynamiek en connectiviteit in vergelijking met een natuurlijke toestand (gebieden die tot het estuariene systeem en de zandige kustzone behoren en recent behoorden)

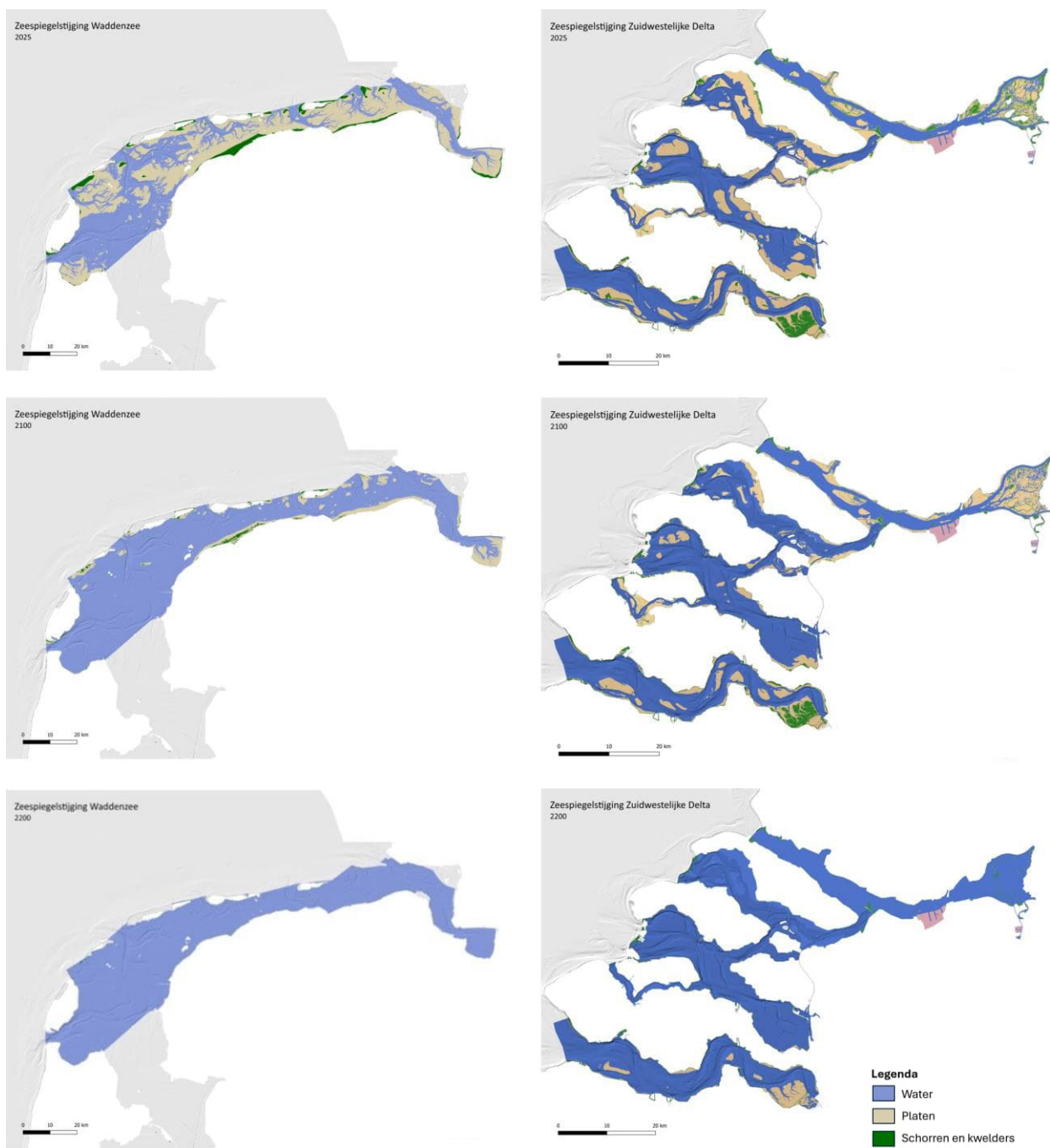
12/40

Wat betreft **arealen** valt op dat het diepe water overal is oververtegenwoordigd. Aan de andere kant van het spectrum zien we dat de buitendijks gelegen onbegroeide en begroeide intergetijdengebieden zwaar onder druk staan en nog maar relatief weinig voorkomen vanwege alle inpolderingen uit het verleden. Een aantal zaken valt op:

- In het Waddengebied is door de afsluiting van de Lauwerszee (1969) ca 10.000 ha estuarien gebied verloren gegaan. Veertig jaar daarvoor is 3.600 km² aan areaal intergetijdengebied verloren door de afsluiting van de Zuiderzee met de Afsluitdijk. In tegenstelling tot het Waddengebied ging het in de Zuiderzee vooral om areaal water van verschillende dieptes en nauwelijks om intergetijdengebied.
- Er zijn relatief grote verschillen tussen de komgebieden van de Waddenzee. De westelijke Waddenzee, die via het Marsdiep met de Noordzee in verbinding staat, heeft een relatief klein areaal platen (20% en juist veel ondiep water (60%) terwijl in alle andere gebieden het areaal platen juist hoog tot zeer hoog is (50 – 70%). Het Eems estuarium valt op door het relatief grote areaal diep water (30%), wat waarschijnlijk net als bij de Westerschelde deels het gevolg is van de aanwezigheid van en het onderhoud aan de scheepvaartgeul. Daardoor is er relatief weinig ondiep water en veel diep water. Kwelders zijn er in de westelijke Waddenzee nauwelijks. In de centrale Waddenzee zijn er juist relatief veel kwelders en in de oostelijke Waddenzee zijn er weer weinig.
- Als gevolg van de deltawerken is ca. 60% van het totale intergetijdenareaal verdwenen. Daarnaast is het areaal door de aanleg van havens en industrieterreinen ook nog 8% kleiner geworden. De grootste afname was er in het areaal kwelders en platen.

Figuur 2-2 geeft inzicht in het verdrinken van de platen en kwelders in een aantal tijdstappen wanneer de bodem niet meegroeit. Zodra de snelheid van de zeespiegelstijging sneller verloopt dan de opslibsnelheid neemt areaal intergetijdengebied af. Rond 2100 is het grootste deel van de huidige platen in dit scenario al permanent onder water verdwenen en in 2150 is alleen op de plaatsen van de huidige schorren en kwelders nog een klein areaal platen over. In 2200 is vrijwel alles onder water verdwenen.

Wat duidelijk blijkt uit Figuur 2-2 is dat bij extreme zeespiegelstijging een groot deel van de huidige platen en kwelders in zowel Waddenzee als Zuidwestelijke Delta zal verdrinken wanneer de bodem niet meegroeit met zeespiegelstijging. Deze systemen kunnen niet landinwaarts bewegen, zoals in een natuurlijke situatie, omdat de waterkeringen dit belemmeren. Gebieden die minder snel opslibben dan dat de zeespiegel stijgt zullen verdrinken, waardoor het areaal afneemt. Kwelders veranderden eerst in slikken, vervolgens in platen en tenslotte in ondiep water.



Figuur 3-2 Het verdrinken van de Waddenzee en de Zuidwestelijke Delta bij extreme zeespiegelstijging (2,0meter in 2100 en 5,4 meter in 2200). NB. Deze kaarten gaan uit van het huidige sedimentaanbod, zonder suppletie. Ook is uitgegaan van een situatie waarin de Zuidwestelijke Delta een open systeem is.

3.3 Opgaven

De opgaven en het gewenste doelbereik voor deze studie kunnen als volgt worden samengevat:

Waterveiligheid

We gaan in deze studie uit van de huidige waterveiligheidsnormen. De vorm of locatie van de Nature-based Solutions en waterkeringen die daarvoor nodig zijn staan daarbij niet vast. De eis aan het Lokaal Individueel Risico (LIR) is medebepalend voor de huidige norm. De LIR is een eis voor basisveiligheid. Als hieraan is voldaan is overal in Nederland een maximale kans op overlijden door een overstroming van 1:100.000 (10^{-5}) per jaar.

Zoetwaterbeschikbaarheid

De doelstelling is dat de beschikbaarheid van zoetwater naar de toekomst toe op orde blijft. Hierbij zijn er geen harde eisen wat 'op orde' is. De ambitie is dat in een droog jaar (zoals 1976) de waterbeschikbaarheid (het evenwicht tussen vraag en aanbod) in het hoofdwatersysteem vergelijkbaar blijft met zoals die nu is. De waterbalans van het hoofdwatersysteem staat hierbij centraal.

In veel gevallen zal het echter niet mogelijk zijn om aan het doelbereik te voldoen gezien de afname van aanvoer en de toename vraag ook in het autonome scenario (zie paragraaf 3.2). In dat geval is het doel van dit onderzoek om te laten zien in welke mate NBS-oplossingen bijdragen aan de waterbeschikbaarheid in het hoofdwatersysteem. NBS-oplossingen kunnen zowel de watervraag als het wateraanbod beïnvloeden.

Natuur

De doelstelling die in dit project is gedefinieerd gaat in op behoud, herstel en ontwikkeling van natuurlijke processen en ecosystemen van de kustzone. De nadruk bij de uitwerking ligt op de zoete, zoute en brakke intergetijdengebieden, moerassen, duinen en overgangswateren waar zee en rivier verbonden zijn. Het gaat niet om de precieze habitattypen en soorten (die zullen wijzigen), maar om de randvoorwaarden op een hoger abstractieniveau. Door middel van ruimte, dynamiek en connectiviteit wordt gestreefd naar het halen van randvoorwaarden die nodig zijn voor een robuust ecosysteem, dat kan functioneren met minimaal beheer, nu en in de toekomst. De opgave op het gebied van arealen voor bepaalde fysiotopen is opgebouwd uit de historische referentie, de in 2024 aanwezige arealen per fysiotop per deelgebied, de streefbeelden van PAGW, plus de wettelijk vastgestelde herstelopgave, ook onder de natuurherstelverordening. Als gevolg van zeespiegelstijging zal voor robuuste natuur meer areaal nodig zijn dan de opgave. Er raakt immers ook intergetijdengebied verloren. We leggen de hoofdfocus op het Waddengebied en de Zuidwestelijke Delta en werken hier doelbereik kwantitatief uit. Voor het IJsselmeer, de zandige kust en het rivierengebied benaderen we de opgave voor natuur in deze studie alleen kwalitatief.

4 Verkenning systeemmaatregelen en ecologische oplossingsruimte

4.1 Ontwerpen met nature-based systeemmaatregelen

De kern van onze aanpak is het herstellen van een veerkrachtig en robuust natuurlijk functionerend kustsysteem door middel van systeeminterventies. De systeemmaatregelen focussen op het genereren van ruimte (areaal), dynamiek en connectiviteit. Zo kan het land meegroeien met zeespiegelstijging door herstel van sedimentatieprocessen en ontstaan weer hoogwaardige ecosystemen die zich aanpassen aan veranderende omstandigheden en geen voortdurend beheer nodig hebben. De systeemmaatregelen richten zich op:

- **Vergroting en laten meegroeien van natuurarealen (ruimte):** herstel van intergetijdengebieden en onderwaterlandschappen die voldoende ruimte bieden aan natuurlijke processen en soorten om schokken op te kunnen vangen en zich op natuurlijke wijze te kunnen herstellen.
- **Versterking van dynamiek:** meer ruimte voor natuurlijke processen zoals getijdenwerking en sedimenttransport, dit zorgt voor een levend landschap met natuurlijke zoet-zoutovergangen dat zichzelf voortdurend kan vernieuwen.
- **Bevordering van connectiviteit:** door barrières op te heffen en geleidelijke overgangen te creëren, verbeteren we de ecologisch samenhang én versterken we biogeomorfologische processen en waterkwaliteit.

De systeemmaatregelen zijn gebaseerd op het herstel en de benutting van natuurlijke processen. De belangrijkste processen die bijdragen aan de werking van systeemmaatregelen op waterveiligheid zijn:

- **Golfdemping:** landaangroei en herstel van schorren en kwelders en platen vermindert de golfaanval op waterkeringen, waardoor de belasting op dijken afneemt.
- **Erosiereductie en kustbescherming:** vegetatie en biogene structuren, zoals oesterriffen, stabiliseren de kust en beperken erosie en bresgroei en zijn daarmee belangrijk voor de reductie van schade bij een overstroming.
- **Afremmen van stormvloed:** een groter areaal aan intergetijdengebieden helpt bij de dissipatie van stormenergie op estuariene schaal, waardoor de impact van stormvloed vooral stroomopwaarts in estuaria afneemt.

De volgende systeemmaatregelen spelen een rol in het herstel van ruimte, dynamiek en connectiviteit en daarmee bij de robuuste inrichting van kust- en estuariene systemen:

- **Verwijderen of aanpassen van dammen:** door het openen van dammen wordt de natuurlijke dynamiek en connectiviteit hersteld. Denk aan het herstel van getij en morfologische processen waarmee de bodem natuurlijk kan meegroeien in nu afgesloten deltawateren. Hierdoor ontstaat een meer verbonden systeem met natuurlijke overgangen tussen zoet en zout water. Argumenten vanuit zoetwaterbeschikbaarheid, tegengaan van verzilting en hoogwaterveiligheid kunnen echter leiden tot keuzes voor het behoud van dammen aangezien verwijderen leidt tot een aanzienlijke dijkversterkingsopgave.
- **Geheel open stormvloedkeringen:** een stormvloedkering kan de hoogste waterstanden afvlakken, terwijl het estuarium onder normale omstandigheden zo open en dynamisch mogelijk blijft. Voorwaarde is dat nieuwe stormvloedkeringen de hydrodynamiek en sedimentuitwisseling niet zodanig verstoren dat de ecologie negatief beïnvloedt wordt, ecologisch herstel onmogelijk is of dat het estuarium niet kan meegroeien met zeespiegelstijging. Dit betekent dat een stormvloedkering moet worden gerealiseerd zonder bodembescherming die dynamiek en connectiviteit maximaal behoudt. Deze stormvloedkeringen moeten nog ontworpen worden en zullen door de extra eisen duurder zijn dan de bestaande keringen.
- **Meegroeilandschappen:** Meegroeilandschappen geven ruimte aan meer natuurlijke land-waterovergangen door de ontwikkeling van schorren en kwelders en mogelijkheden voor invanging van slib op locaties waar nu dijken liggen. Waterkeringen veranderen in bredere waterkerende zones. Dijkterugleggingen en wisselpolders kunnen hier een rol in spelen. De oude dijk kan eventueel dienstdoen als lage kade om invang van sediment te verbeteren of golfaanval te verminderen. Of dit beter werkt dan een geheel open gebied dient te worden onderzocht. Meegroeilandschappen zijn robuuster want hebben een reststerkte. Dat betekent dat ook bij het falen van de kering het

meegroeilandschap bescherming blijft bieden in tegenstelling tot traditionele keringen waarbij falen volledig is. Dit geeft een beperking van gevolgschade bij falen door beperkingen bresgroei en instroom en wateruitwisseling nadat de stormvloed voorbij is.

- **Vloedkommen:** dit zijn laaggelegen binnendijkse gebieden (bijvoorbeeld ingedijkte zee-armen) die een nieuwe primaire waterkering krijgen en aan de zeezijde weer worden geopend. Ze vergroten het ecosysteemareaal, verhogen het sedimentinvangvermogen en verbeteren de connectiviteit, omdat ze estuariene dynamiek verder landinwaarts brengen. Vloedkommen kunnen mogelijk het getijdenprisma (hoeveelheid water die bij eb het bekken verlaat) beïnvloeden en de sedimentvraag vergroten. De gevolgen voor zoutindringing zijn zeer locatiespecifiek en conditiespecifiek (bijvoorbeeld in relatie met rivierafvoeren). Grotere schaafeffecten van deze maatregel moeten eerst grondig worden onderzocht. Een combinatie met een maatregel die het getijdenprisma weer verkleint, zoals buitendijkse voorlanden, kan mogelijk een oplossing bieden om het systeem niet al te veel uit evenwicht te brengen.
- **Buitendijkse begroeide voorlanden:** deze maatregel creëert schorren en kwelders buitendijks om het vermogen om sediment in te vangen te verhogen en golfbelasting op de dijk te verlagen. Deze maatregel kan alleen maar onder specifieke condities worden toegepast, waaronder: voldoende ruimte in systeem, mede aangezien voorlanden het getijdenprisma verkleinen, voldoende areaal intergetijdengebied in estuarium en voldoende sediment. Waar niet op natuurlijke wijze schorren en kwelders ontstaan maar aanleg wel gewenst is, is een analyse van de beperkende factoren voor voorlandontwikkeling noodzakelijk en zullen ook ingrepen moeten worden gedaan om de condities geschikt te maken voor de aangroei van een schor of kwelder.
- **Zandmotoren, duinverbreding, kerven en verwijderen van dwarsdammen:** voor de zandige kust worden verschillende maatregelen overwogen. Naast voortzetting van de huidige suppleties uit het Kustlijnprogramma kunnen grootschalige zandmotoren, bredere duingebieden en meer dynamiek in duingebieden bijdragen aan een robuuster kustsysteem op de langere termijn. Dit draagt bij aan waterveiligheid maar ook, afhankelijk van de omvang, bij aan het opslaan en zuiveren van regen- en rivierwater.
- **Suppleties:** Het meegroeivermogen van schoorren, kwelders en platen in de Zuidwestelijke Delta en de Waddenzee is afhankelijk van de senlheid van zeespiegelstijging. Bij extreme stijging kan dit tempo onvoldoende zijn, waardoor suppleties noodzakelijk worden om verdrinking van platen te voorkomen.
- **Natuurlijk peilbeheer IJsselmeer:** De ecologische kwaliteit van het IJsselmeer staat zwaar onder druk, onder andere door een tegennatuurlijk peilbeheer. Dit betekent dat het water in de zomer hoog staat, als zoetwaterbuffer, en in de winter laag, vanuit waterveiligheidsoverwegingen. Een natuurlijker peilbeheer (met een hoog peil in de winter en laag peil in de zomer) en de aanleg van graduele oeverzones en voorlanden kunnen het meer robuuster maken tegen effecten van klimaatverandering, verdamping en ecologische verarming. Dit in combinatie met een grotere peilfluctuatie van 1,5 meter geeft een grotere zoetwaterbuffer ten behoeve van waterbeschikbaarheid. Hiervoor zijn wel grotere gemalen aan de afsluitdijk nodig om het peil in de winter te handhaven. Deze maatregel heeft weinig invloed op de waterveiligheid rond het IJsselmeer.

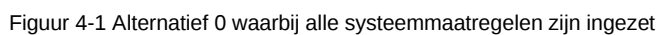
Naast deze grootschalige systeemmaatregelen voor waterveiligheid, waar deze studie de nadruk op legt, kunnen kleinere NbS-maatregelen, zoals schelpdierriffen en vele andere maatregelen, een aanvullende rol spelen. Ze dragen lokaal bij aan onder andere biodiversiteit, golfdemping, erosiereductie en waterkwaliteit. Bovendien faciliteren deze kleinere maatregelen interacties tussen habitats. Daar is in deze studie niet specifiek naar gekeken.

Door systeemmaatregelen strategisch in te zetten, en aan te vullen met kleinschalige maatregelen, kunnen we het kust- en estuariene systeem veerkrachtiger maken door dit systeem mee te laten groeien en tegelijkertijd de waterveiligheid, zoetwaterbeschikbaarheid en biodiversiteit versterken. In veel gevallen zullen combinaties moeten worden gezocht tussen natuurlijke en waterbouwkundige ingrepen zoals dammen en dijken en regelwerken voor de afvoerverdeling om de gewenste waterveiligheid te realiseren. Onderzocht is hoe beiden elkaar kunnen versterken.

4.2 De mogelijkheden van nature-based oplossingen onderzocht

Als eerste stap in het onderzoeksproces is verkend wat de potentie is om in Nederland natuurlijke processen en intergetijdennatuur te behouden en te herstellen en deze zo in te zetten dat ze bijdragen aan waterveiligheid en waterbeschikbaarheid. In onderzoeksalternatief 0 zijn alle systeemmaatregelen maximaal ingezet als referentie voor een veel natuurlijker systeem.

In dit theoretische alternatief 0 zijn daarom de Afsluitdijk en de dammen en keringen in de Zuidwestelijke Delta opengemaakt. Daarnaast zijn meegroei landschappen en vloedkommen ingezet om extra ruimte te creëren voor intergetijdenareaal en luwe zones waar sediment kan bezinken. Vloedkommen zijn bijvoorbeeld de Braakman in Zeeland en de Lauwerszee langs de Waddenzee. Voor de kustversterking is ingezet op een brede zandige kustlijn door middel van zandsuppleties, zandmotoren en kerven in de kustreep om zand landinwaarts te transporteren.



Het ontwerpend onderzoek aan alternatief 0 heeft zowel inzichten als onderzoeksvragen opgeleverd:

Sedimentstrategie (meegroeien en suppleren)

Er zijn grote hoeveelheden zand en slib aanwezig in het natuurlijk systeem die in een continue stroom van zuid naar noord langs de Nederlandse kust worden getransporteerd. Door deze in te vangen kan het land meegroeien met zeespiegelstijging, waardoor een robuuste bescherming tegen zeespiegelstijging ontstaat en de natuur tegelijk de kans krijgt om mee te groeien. Vragen die hieruit voortkomen zijn in hoeverre systemen natuurlijk meegroeien, hoe het invangen van sediment kan worden bevorderd en of en waar aanvullende suppleties nodig zijn om de natuurlijke processen te ondersteunen.

Belangrijk bij het plannen van meegroeien met de stijgende zeespiegels is dat de hoeveelheid beschikbaar sediment maar ook de transportcapaciteit niet oneindig is. Bij een kritieke stijgingssnelheid van de zeespiegel zal de transportcapaciteit van zand onvoldoende zijn om mee te groeien. Daarnaast is het aanbod van slib onvoldoende om alle slibrijke gebieden mee te laten groeien. Dit vereist keuzes (welke gebieden laten we wel meegroeien, en welke niet) maar motiveert ook om zo snel mogelijk te beginnen met het invangen van sediment.

Terugbrengen van de dynamiek en verbinding

Een belangrijke vraag is op welke plekken het terugbrengen van de dynamiek en verbinding tussen zoet en zout in het natuurlijk systeem het meeste oplevert. De dynamiek zorgt voor het transport van sediment in het systeem en vergroot daarmee de capaciteit van gebieden om mee te groeien met zeespiegelstijging. Bij het verkennen van alternatief 0 bleek dat vooral in de Zuidwestelijke Delta veel intergetijdengebied kan worden teruggebracht door dammen open te maken of te verwijderen. Het verwijderen van voorliggende dammen en keringen leidt echter wel tot een extra dijkversterkingsopgave (en ook tot een opgave voor herstel van de infrastructuur die er nu ligt en die over deze dammen gaat). Dijken langs de eerder gesloten bekkens zullen namelijk moeten worden opgehoogd om aan de normen voor waterveiligheid te kunnen voldoen. Een vraag die hierbij speelt is hoe deze waterveiligheidsoplossing zich qua kosten en effecten verhoudt tot de bestaande oplossing.

Daarbij komt op termijn ook de vervangingsopgave van de Oosterscheldekering in beeld. Onderzoeksvraag hier is of inzetten op een meer natuurvriendelijk ontwerp van deze kering, waarbij de dynamiek en het daarmee samenhangende sedimenttransport wordt hersteld, meerwaarde heeft. Met andere woorden: biedt een meer natuurvriendelijk ontwerp van de stormvloedkering een optie in de Oosterschelde of in andere zeearmen om het sedimenttransport door de kering te herstellen?

Het verwijderen van de Afsluitdijk levert vanuit ecologie gezien een interessante zoet-zout gradiënt op. Het verwijderen van de Afsluitdijk en Markermeerdijk levert echter maar weinig extra intergetijdengebied op: en juist daar is in de huidige situatie een groot tekort aan. Dit komt door de opbouw van het IJsselmeer dat relatief veel diep water kent. Daar komt bij dat verwijderen van de Afsluitdijk een flinke invloed heeft op de zoetwaterbeschikbaarheid en de daarmee samenhangende economische functies in West en Noord-Nederland, maar ook dat verwijdering van de Afsluitdijk tot grote veranderingen in de Waddenzee zal leiden welke mogelijk kusterosie tot gevolg hebben. Om deze redenen wordt verwijderen van deze dam in de onderzoeksalternatieven verder niet in beschouwing genomen.

Realisatie van areaal intergetijdengebied

Alternatief 0 verkent waar potentieel extra areaal intergetijdennatuur kan worden gerealiseerd door herstel van historische vloedkommen en door het vervangen van dijken door meegroei landschappen. De conclusie uit deze verkenning is dat er potentieel 156.500 ha nieuw intergetijdengebied kan worden gerealiseerd waarvan 100.000 ha in de Zuidwestelijke Delta en 56.500 ha in het Waddenzee. De potentie is daarmee ruim groter dan de in deze studie gedefinieerde doelen voor de Zuidwestelijke delta en Waddenzee (30.000 ha en 10.000 ha).

Zoetwaterverdeling

Naar de toekomst toe zijn doorspoeling van diepe polders en boezemsystemen en het zoet houden van de Rijn-Maasmonding de grootste watervragers op nationale schaal. In droge jaren zal er een flink tekort optreden. Denkrichtingen die in alternatief 0 naar voren zijn gekomen zijn het veranderen van de afvoerverdeling vanaf het splitsingspuntengebied. Een mogelijkheid is maatregelen te treffen zodat bij lage afvoer vooral water richting IJssel en Lek wordt gestuurd voor de zoetwatervoorziening, terwijl bij hoge afvoer het water vooral richting de Waal stroomt om dijkversterkingen elders te voorkomen. Daarbij zorgt deze extra stroom via het open Haringvliet ook voor meer dynamiek in de delta bij hoge afvoer.

Daarbij kan ook overwogen worden om de verandering in waterverdeling en realisatie van meer dynamiek in het Haringvliet te combineren met het afsluiten van de Nieuwe Waterweg en het gebied van de Nieuwe en Oude Maas en hier een zogenaamde Deltapolder te realiseren. Voordeel hiervan is dat de watervraag voor doorspoeling drastisch wordt verminderd en dat het aantal kilometer te verhogen dijk veel kleiner wordt. Een nadeel is dat er een barrière ontstaat voor de scheepvaart.

Ook kunnen een meer natuurlijk peilverloop op het IJsselmeer, met daarbij een grotere fluctuatie, bijdragen aan het tegengaan van watertekorten in droge perioden. Binnendijks kunnen gebieden worden ingezet als waterbufferend landschap. Dit zijn zoetwaterwetlands die de lokale opslag van zoetwater kunnen vergroten en tegendruk kunnen bieden tegen interne verzilting van polders. Dit staat echter los van zeespiegelstijging en is daarom niet verder onderzocht.

Onderzoeksvragen

De inzichten uit alternatief 0 zijn gebruikt om twee nieuwe onderzoeksalternatieven te verkennen, elk met verschillende combinaties van systeemmaatregelen. Daarbij stonden de volgende hoofdvragen centraal:

- In hoeverre is het mogelijk om voldoende intergetijdenareaal te herstellen en in stand te houden met behoud van (een aantal van de) huidige dammen en stormvloedkeringen in de Zuidwestelijk delta?
- Wat zijn de belangrijkste voor- en nadelen van dijkversterkingen rond estuaria en langs rivieren, vergeleken met het handhaven of aanleggen van stormvloedkeringen of dammen?
- Wat zijn de voor- en nadelen van het werken met vloedkommen ten opzichte van meegroei landschappen en de huidige situatie?

5 Systeemmaatregelen nader onderzocht in twee alternatieven

De systeemmaatregelen zijn nader onderzocht aan de hand van twee onderzoeksalternatieven. Elk van deze alternatieven vormt een logisch geheel van systeemmaatregelen die hiermee worden onderzocht op doelbereik, haalbaarheid en effecten. Tabel 5-1 geeft weer welke systeemmaatregelen er in beide alternatieven worden onderzocht.

Tabel 5-1 Systeemmaatregelen per alternatief

	Alternatief 1	Alternatief 2
Verwijderen of aanpassen van dammen en stormvloedkeringen	✓	✓
Geheel open stormvloedkeringen		✓
Meegroeï landschappen	✓	
Vloedkommen		✓
Buitendijkse begroeide voorlanden		✓
Zandmotoren, duinverbreding, kerven en verwijderen van dwarsdammen	✓	✓
Suppleties	✓	✓
Natuurlijk peilbeheer IJsselmeer + deltapolder	✓	

5.1 Onderzoeksalternatieven

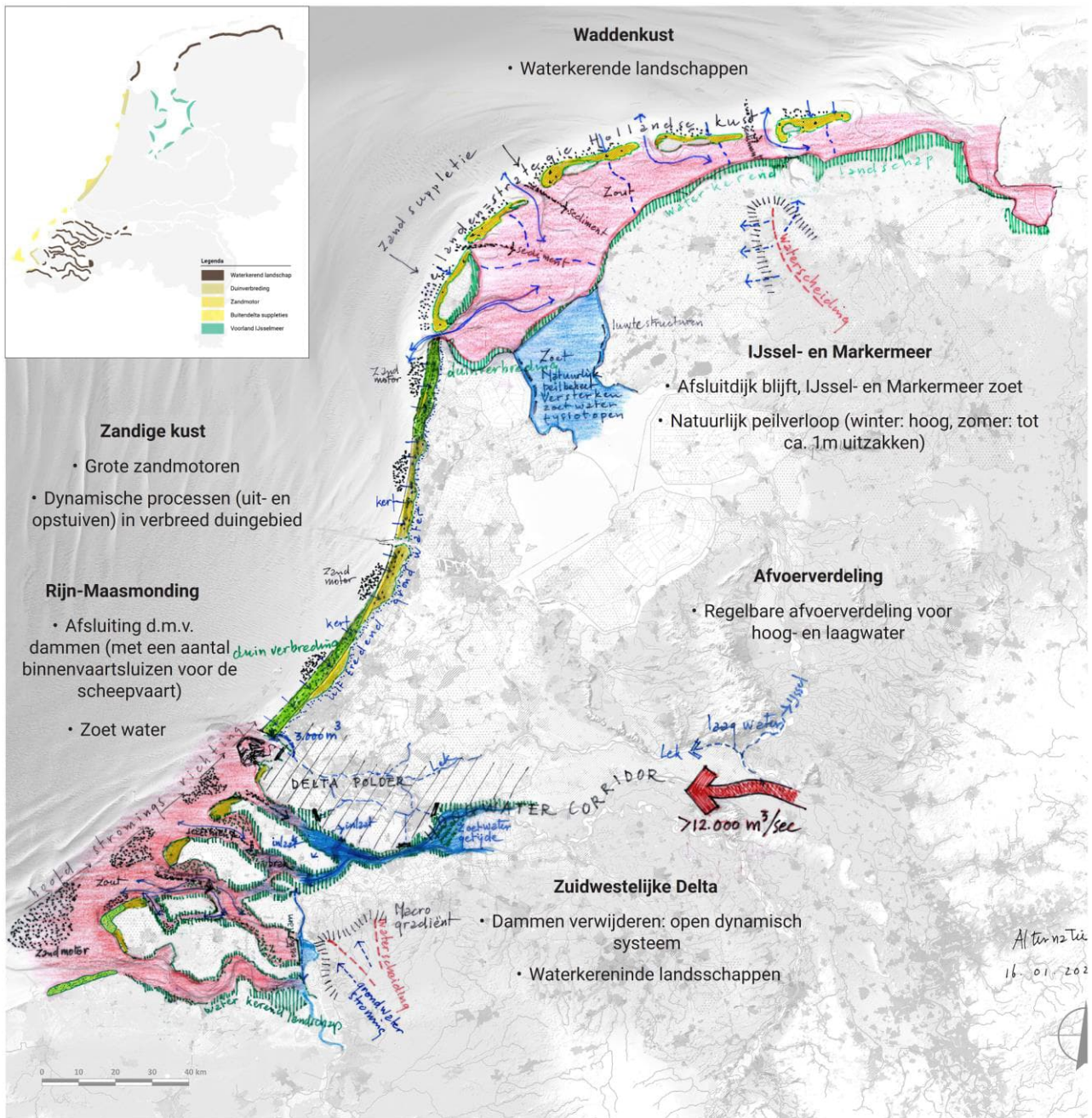
Onderzoeksalternatief 1

Onderzoeksalternatief 1, zoals verbeeld in Figuur 5-1, legt het accent op een zo compleet mogelijke systeemontwikkeling binnen de estuariene systemen zonder dammen en stormvloedkeringen maar met behoud van de infraverbindingen. Ook worden compartimenteringsdammen tussen deze wateren open gemaakt zodat de open verbinding tussen wateren met bijbehorende dynamiek wordt hersteld.

Er wordt ingezet op een grotere dynamiek in de Zuidwestelijke Delta, met ook een hogere rivierafvoer via de Waal naar deze regio bij hoogwater, in combinatie met een afgesloten Rijnmaasmonding waar minder kansen voor areaaluitbreiding zijn en waar met een Deltapolder juist wel een bijdrage aan de zoetwateropgave kan worden geleverd. Dit aangevuld met een natuurlijker peilbeheer op het IJsselmeer.

Areaaluitbreiding wordt in Noord-Nederland en in de Zuidwestelijke Delta voornamelijk gerealiseerd door realisatie van meegroeï landschappen. Voor de zandige kust wordt ingezet op het vergroten van de rol van natuurlijke processen via zandmotoren en kerven in combinatie met duinverbreding. Tegenover extra dynamiek en ruimte in de Zuidwestelijk Delta, waar de grootste kansen liggen voor realisatie van de natuuropgave, staat dat in andere regio's de grote wateren juist gesloten blijven of zelfs afgesloten worden omdat dit grote voordelen biedt voor de zoetwater-beschikbaarheid en/of waterveiligheidsopgave.

De Rijn-Maasmonding wordt in dit alternatief een afgesloten systeem (de 'Deltapolder') met zoet water. Dijkverhoging kan binnen dit sterk verstedelijkte gebied (met ca. 50.000 woningen op of aan de waterkeringen) op deze manier beperkt blijven. De 15.500 ha natuur die hierdoor van karakter verandert / verloren gaat, wordt toegevoegd aan de areaalopgave in de dynamische gebieden. De Afsluitdijk behoudt zijn functie. In het zoete IJsselmeer komt mede als gevolg van de afgesloten Rijn-Maasmonding meer water beschikbaar voor een natuurlijk peilverloop door de seizoenen.



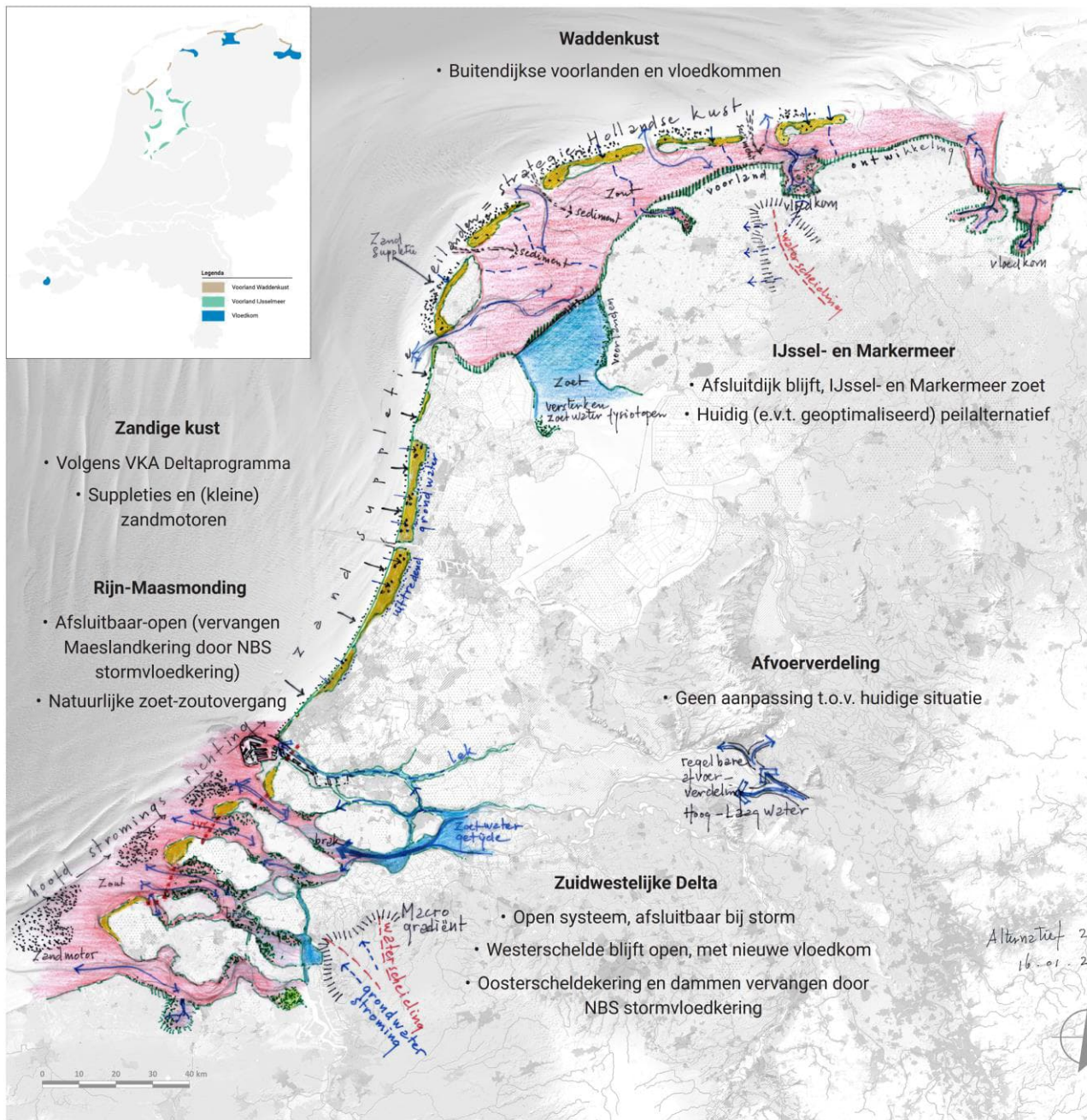
Figuur 5-1 Overzicht systeemmaatregelen alternatief 1

Onderzoeksalternatief 2

Onderzoeksalternatief 2, zoals verbeeld in Figuur 5-2, legt het accent op herstel van de connectie tussen zee en rivier maar wel met inzet van geheel open stormvloedkeringen om de hoogste waterstanden af te toppen. Met de inzet van stormvloedkeringen heeft onderzoeksalternatief 2 een technisch karakter dan alternatief 1. In dit onderzoeksalternatief wordt daarnaast ingezet op meer dynamiek door de realisatie van vloedkommen, aangevuld met extra voorlanden. Vloedkommen en voorlanden worden hier gecombineerd om vergroting of verkleining van de kombergingsgebieden te beperken en morfologische effecten te voorkomen.

De grote wateren in de Zuidwestelijke Delta én de Rijn-Maasmonding blijven open of worden geopend aan de zeezijde. Ook worden compartimenteringsdammen tussen deze wateren open gemaakt zodat de open verbinding tussen wateren met bijbehorende dynamiek wordt hersteld, maar wel met behoud van de weginfrastructuur. Voor Noord-Nederland en de Wadden(kust) wordt de versterking van de buitendijkse voorlanden (kwelderontwikkeling) gekoppeld aan het toevoegen van een aantal vloedkommen in het huidige binnendijkse gebied (in balans met het getijdeprisma). Voor het beheer en onderhoud van zandige kust

wordt voortgebouwd op de huidige voorkeursstrategie uit het Deltaprogramma. Het toekomstig peilbeheer van het IJsselmeer volgt uit de (eventueel geoptimaliseerde) huidige situatie.



Figuur 5-2 Overzicht systeemmaatregelen alternatief 2

5.2 Doelbereik onderzoeksalternatieven

5.2.1 Doelbereik waterveiligheid

Benodigde maatregelen voor halen norm

Uitgangspunt bij beide onderzoeksalternatieven is dat de norm voor waterveiligheid wordt gehaald. Een aantal onderscheidende aspecten hierbij zijn:

- Wanneer **dammen en stormvloedkeringen worden verwijderd of aangepast**, is naast de extra dijkversterking die nodig is vanwege zeespiegelstijging aanvullende versterking nodig vanwege stormvloed die anders (deels) werd tegengehouden door de dam of stormvloedkering. Voor de

stormvloedkeringen geldt dat deze in de gewenste vorm nog ontworpen moeten worden om daadwerkelijk de gewenste resultaten te realiseren. In beide gevallen moet de transportverbinding over de bestaande dammen en stormvloedkeringen worden gehandhaafd.

- Voor de aanleg van de **Deltapolder** in onderzoeksalternatief 1 is een binnenvaartsluis noodzakelijk in de Maasmonding bij Rotterdam. Deze kan verder bovenstrooms liggen dan de huidige Maeslantkering voor de bereikbaarheid van havens voor zeevaart. Daarnaast zijn er drie sluizen voorzien, namelijk bij het Spui, de Dordtse Kil en de Beneden Merwede. Ook is een gemaal van grofweg 2.500 m³/s voorzien bij de binnenvaartsluis om bij extreme rivierafvoer van uit de Lek water weg te pompen. Hierdoor blijft het streefpeil rond NAP, en kan dit peil beheerst worden tot zeer extreme situaties (als 1:10.000 jaar). Dit gemaal kan ook worden ingezet om voldoende doorstroming te houden en voor verziltingsbestrijding. De afvoerverdeling bij hoog- en laagwater wordt aangepast. Bij hoogwater door meer water over de Waal te sturen en bij laag water over de IJssel en Lek (en wellicht nog nieuwe infrastructuur)¹.
- Als ingezet wordt op **meegroei landschappen** (onderzoeksalternatief 1) of **vloedkommen** (onderzoeksalternatief 2) als aanpassing op bestaande dijken moet verder landinwaarts een nieuwe waterkering wordt aangelegd waarvoor gronden moeten worden aangekocht. Ook moeten er maatregelen worden genomen zodat water door de oude dijk kan stromen om het tussenliggende land te laten overstromen en sediment kan bezinken. Hierbij geldt dat:
 - Het en voordeel is dat er maar één keer grondaankoop nodig is, ook als verdere versterkingsrondes van de binnenste dijk nodig zijn. Bij de volgende versterkingen (na een cyclus van 50 jaar) kan dan buitendijks versterkt worden waardoor er geen overlast binnendijk.
 - Het meegroeilandchap en de vloedkommen gaan fungeren als een voorland, de golfhoogte wordt gereduceerd waardoor de golfaanval op de kering minder is. Bij een gelijke eis aan het minimale overslagdebiet mag de kering dus iets lager zijn. Reguliere versterkingen vanwege zeespiegelstijging zijn uiteraard wel nodig.
- **Vloedkommen (onderzoeksalternatief 2) leiden tot een significante toename van de lengte van primaire waterkeringen** rondom deze vloedkommen.
- **Voorlanden (onderzoeksalternatief 2) kunnen leiden tot een lager hydraulisch belastingenniveau.** Dit kan leiden tot een lagere eis voor de hoogte en overslag en minder hoge eisen voor de bekleding.
- De **bodemhoogte** buitendijks nabij de waterkeringen heeft een beperkt effect op de kosten van dijkversterkingen zoals blijkt uit spoor II. Dit wordt verklaard doordat tot aan 2100 of 2200 vanwege voortschrijdende zeespiegelstijging er hoe dan ook meerdere dijkversterkingsrondes, met de daaraan verbonden projectkosten, nodig zijn (om de 50 jaar). De projectkosten zijn zeer bepalend voor de totale kosten.

Omvang overstromingen

Meegroeiende meegroei landschappen en voorlanden hebben een positief effect op de omvang van een overstroming en verkleinen de effecten van zeespiegelstijging. Door zeespiegelstijging neemt het verschil tussen de (piek)waterstand in het estuarium en achterliggend land toe. Hierdoor kan in geval van een dijkdoorbraak meer water naar binnen stromen waardoor de overstromingsrisico's toenemen. Bij een hoger voorland / meegroeilandchap zal de omvang van een bres, en met name de ontgrondingskuil, kleiner blijven. Hierdoor wordt de duur van de instroom verkort (immers in een dagelijks situatie is het meegroeilandchap niet overstroomd en zal het nu ook water keren). Het volume water dat naar binnen stroomt neemt af omdat de doorstroombopening kleiner is. Een kleinere omvang van een overstroming leidt tot minder schade en minder slachtoffers.

Een kleinere omvang kan ook leiden tot een lagere norm binnen de huidige normeringssystematiek. Als de schade een factor drie daalt zal dat volgens dit systeem ook leiden tot een lagere normklasse. Ook het Lokaal Individueel Risico (de kans per jaar om op een bepaalde locatie te overlijden door een overstroming, in Nederland is dit vastgesteld op maximaal 1/100.000 per jaar) kan veranderen met een lagere norm tot gevolg. Het effect op de normen is in deze studie niet verder uitgewerkt. Het effect op de norm kan leiden tot besparingen op investeringen in waterkeringen. Het risico blijft dan min of meer vergelijkbaar (in plaats van kleine kans op een grote overstroming een iets grotere kans op een kleinere overstroming).

¹ We sluiten aan bij de uitwerking in spoor IV beschermen. Bij >12.000m³/s afvoer bij Lobith gaat alle extra afvoer over de Waal. Bij lagere afvoer wordt het water meer richting de IJssel en Lek gestuurd van waaruit het verder gedistribueerd kan worden waarbij er ook aandacht is voor scheepvaart op de Waal. Bij extreem laagwater kan andere functies via de Lek en IJssel echter voor.

5.2.2 Doelbereik zoetwaterbeschikbaarheid

In de huidige situatie kent de waterbalans van het hoofdwatersysteem nog een wateroverschot. Echter, in 2100 en 2200 is dit bij voortzetting van het huidig beleid (de voorkeursstrategie) een flink tekort geworden. In onderzoeksalternatief 1 wordt ingezet op grotere dynamiek in de Zuidwestelijke Delta, waar de kansen voor realisatie van intergetijdenareaal groter zijn, in combinatie met afsluiting van de Rijn-Maasmonding waardoor een Deltapolder ontstaat. De vraag naar water voor doorspoeling van de Rijn-Maasmonding en de doorspoeling van polders in Zuid-Holland flink is afgenomen. Een substantieel grotere aanvoer richting het IJsselmeer mogelijk wordt gemaakt. Daarnaast is de buffercapaciteit van het IJsselmeer vergroot en kan ook in de Deltapolder water worden gebufferd.

Op de Waal is voldoende afvoer wenselijk voor scheepvaart en het zoet houden van de Biesbosch en omgeving. Om de Biesbosch inclusief drinkwaterinnamepunten ook bij 5,4 meter zeespiegelstijging in een extreem droge zomer zoet te houden, bestaat naar schatting een doorspoelbehoefte van 200m³/s. De zoutindringingslengte in een open estuarium is niet erg gevoelig voor zeespiegelstijging als de bodem (op natuurlijke wijze of met suppleties) meegroeit met zeespiegelstijging zoals in een open Haringvliet in alternatief 1.

Om zoet water naar Zeeland te brengen, zonder hier de watervraag te vergroten, zijn infrastructurele werken nodig. Met deze set aan maatregelen wordt het moment dat het tekort ontstaat uitgesteld: in 2100 is er bij snelle realisatie van de deltapolder, nog een klein overschot maar ook in 2200 zal er toch een tekort ontstaan. Dit tekort is wel minder groot dan bij de voorkeursstrategie. Ook de maatregelen in dit alternatief kunnen niet voorkomen dat het grondgebruik aangepast moet worden. Dit vraagt acceptatie en aanpassing aan watertekorten en verzilting door bijvoorbeeld een grotere zelfvoorzienendheid en doorontwikkeling van zilte teelten.

Tabel 5-2 Watertekort of overschot bij een 90-daagse periode in een droog jaar (T=20) exclusief extra watervraag voor de Biesbosch en extra watervraag voor peilopzet regionale watersystemen. Voor getalsmatige onderbouwing zie deelrapport Onderbouwing doelbereik. In deze indeling is groot < 1000 m³/s, zeer groot is tussen 1000-2000 m³/s en extreem is >2000 m³/s. Voor cijfermatige onderbouwing zie rapportage onderbouwing doelbereik.

	Huidige situatie	2100	2200
VKS	klein overschot	groot tekort	extreem tekort
Alt 1	klein overschot	klein overschot	zeer groot tekort
Alt 2	klein overschot	groot tekort	extreem tekort

In onderzoeksalternatief 2 is de zoutindringing sterker dan in de voorkeursstrategie doordat de stormvloedkeringen het zoute water tijdens dagelijkse omstandigheden niet buiten houden. Het is voornamelijk de grotere buffercapaciteit op het IJsselmeer die zorgt voor een (kleine) netto verbetering in onderzoeksalternatief 2 ten opzichte van de VKS voor de waterbeschikbaarheid. Deze verbetering is echter miniem ten opzichte van de tekorten die er al zijn en de grotere doorspoelbehoefte die in dit alternatief ontstaat. Ook bij dit alternatief is er dus geen andere keuze dan (gedeeltelijke) verzilting of een tekort aan water te accepteren en hierop aan te passen.

Ook nu al kan in droge periode niet geheel worden voldaan aan de watervraag. De ambitie voor zoetwater is om in een droog jaar (zoals 1976) de waterbeschikbaarheid in het hoofdwatersysteem vergelijkbaar te houden met zoals die nu is. Deze ambitie zal in beide alternatieven al lang voor de 5,4 m zeespiegelstijging is bereikt niet worden gehaald. Dat komt voornamelijk doordat de watervraag voor doorspoeling van polders, en daarmee ook de toevoerende kanalen en het hoofdwatersysteem, groter wordt. Het aanpassen van een deel van het grondgebruik is onontkoombaar. Bij voldoende aanpassing kan verder worden verkend in hoeverre de zoetwaterverdeling kan worden geoptimaliseerd.

5.2.3 Doelbereik natuurlijke processen en ecosystemen

Met de systeemmaatregelen die zijn voorgesteld in de onderzoeksalternatieven 1 en 2 kan grotendeels worden voldaan aan het doelbereik voor het behoud en herstel van natuurlijke processen en ecosystemen. Een aantal zaken dat daarbij opvalt is:

- In onderzoeksalternatief 1 komt het totaal aantal hectares extra begroeid intergetijdengebied lager uit dan in alternatief 2. Dit komt doordat in onderzoeksalternatief 1 ook 3.400 ha kwelder verloren gaat door realisatie van de deltapolder.
- De opgave voor de Waddenzee is geformuleerd als extra hectares kwelder. In beide alternatieven wordt dit niet gehaald, maar wordt wel extra areaal slik gerealiseerd. De meegroei landschappen in onderzoeksalternatief 1 leveren in totaal meer hectares kwelder op dan de vloedkommen in combinatie met de voorlanden. Om wel voldoende areaal te halen zou aan een combinatie van herstelmaatregelen kunnen worden gedacht.

De maatregelen zijn zo gekozen dat aan de randvoorwaarden van dynamiek en connectiviteit wordt voldaan zodat het natuurlijk meegroeien vermogen van de intergetijdengebieden is gemaximaliseerd. In de toekomst, vooral bij erg snelle zeespiegelstijging, kan het noodzakelijk zijn om aanvullend te suppleren op plekken waar de aanzanding en opslibbing niet snel genoeg gaat. Het voordeel van meegroei landschappen boven vloedkommen is dat er meer gestuurd kan worden op verschillende factoren. Bij meegroei landschappen is bijvoorbeeld de uitgangshoogte niet voor elk gebied hetzelfde en dit levert mogelijk extra variatie en ecologische waarde op. Het voordeel van vloedkommen is dat het grotere aaneengesloten arealen zijn van een range aan fysiotopen, maar het levert minder hoog begroeid intergetijdengebied op en juist daar is vanuit natuurspectief veel behoefte aan.

Tabel 5-3 Gerealiseerde hectares natuur per alternatief ten opzichte van doel

Extra areaal		Huidig areaal	Herstel opgave (extra arealen)	Alternatief 1 (extra areaal)	Alternatief 2 (extra areaal)
ZWD	Ondiep	21.200	13.000	8.900	13.000
	Platen	18.000	15.500	49.700	19.600
	Schorren en kwelders	7.500	7.500	7.800	8.600
Waddenzee	Ondiep	91.500	-	500	5.200
	Platen	128.500	-	17.000	23.500
	Schorren en kwelders	9.500	10.000	9.200	4.400

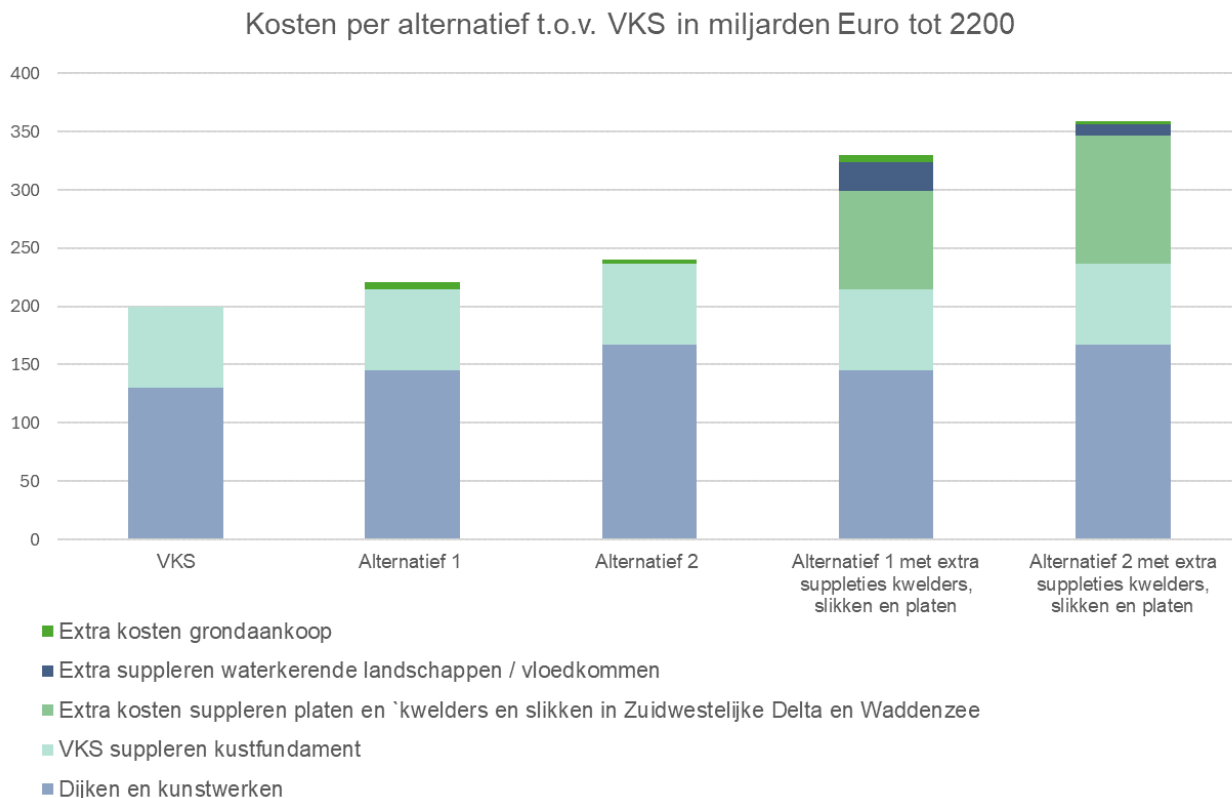
5.3 Kosten

In Figuur 5-4 zijn de kosten van de Voorkeursstrategie (VKS) en de twee onderzoeksalternatieven vergeleken. Gezien de zeer lange uitvoeringstermijn moet dit gezien worden als een indicatie. In de VKS wordt uitgegaan van dijkversterking wanneer dit volgens de norm noodzakelijk is, vervanging van kunstwerken wanneer deze niet meer voldoen en van versterking van de zandige kust met suppleties. De kosten van de VKS zijn binnen de oplossingsrichting beschermen (spoor 4 kennisprogramma) geraamd op 200 miljard euro. Dit is inclusief 70 miljard euro voor suppleties voor behoud van het kustfundament. Een belangrijk verschil tussen het VKS en de onderzoeksalternatieven is dat in de VKS geen kosten voor het suppleren van platen ten behoeve van de ecosysteemopgave zijn meegenomen. Het ecologisch doel wordt in het VKS dan ook niet gehaald.

Voor de onderzoeksalternatieven 1 en 2 is gekeken naar zowel meer- als minderkosten ten opzichte van de VKS op de posten suppleties, kunstwerken en dijkversterkingen en grondaankoop. In Figuur 5-4 zijn de totalen op deze posten weergegeven. Daarnaast zijn apart de kosten opgenomen voor suppleren ten behoeve van waterveiligheid ('VKS suppleren kustfundament') en suppletiekosten voor het mee laten groeien van zowel de bestaande geulen en platen als de nieuwe nature-based maatregelen op het moment dat de zeespiegelstijging sneller verloopt dan de natuurlijke aangroei. Dit zijn extra kosten om het doelbereik voor behoud en herstel van natuurlijke processen en ecosystemen te halen. Deze laatste suppletiebehoefte is onzeker door de onzekerheid over de hoeveelheid slib die zal bezinken. De verwachting is dat de kosten

voor het behalen van de ecosysteemopgave in de andere denkrichtingen (Beschermen, Zeewaarts, Meebewegen) substantieel hoger zal liggen dan wel in het geheel niet mogelijk zal zijn.

In de volgende paragrafen wordt een verdere toelichting op de kosten gegeven. Hierbij is uitgegaan van de nominale kosten tot 2200 en zijn de beheerskosten niet meegenomen.



Figuur 5-4 Kosten per alternatief t.o.v. Voorkeursstrategie in miljarden Euro. De twee rechter varianten geven de maximale totale kosten weer bij grootschalige suppletie van alle huidige en nieuwe kwelders, slikken en platen indien deze niet voldoende meegroeien.

5.3.1 Onderzoeksalternatief 1

De totale kosten van realisatie van onderzoeksalternatief 1 liggen in dezelfde orde grootte als die van het VKS maar zijn licht hoger. Mogelijke besparingen op ecologisch beheer, zoals de huidige plaatsuppleties in de Oosterschelde, zijn nog niet meegenomen. De raming correspondeert met de gerealiseerde arealen zoals weergegeven in Tabel 5-3.

In onderzoeksalternatief 1 zijn er extra kosten voor hogere waterkeringen, voor verplaatsing van waterkeringen en voor aankoop van grond. De waterkeringen moeten worden verhoogd in verband met zeespiegelstijging, hogere rivierafvoeren en door de open verbindingen met de zee. Er zijn minder kosten door het vervallen van stormvloedkeringen. De Deltapolder en de veranderingen in de afvoerdeling leiden ook tot minder dijkversterkingen in het gebied van de Rijn-Maasmonding, wat een positieve impact heeft op de versterkingsopgave in het rivierengebied. Opgemerkt wordt dat deze opgave voor waterkeringen los van zeespiegelstijging ook beïnvloed wordt door bodemdaling en toename van de rivierafvoer.

De geraamde totale kosten voor waterveiligheid en zoetwaterbeschikbaarheid zijn voor onderzoeksalternatief 1 ca. 21 MLD euro hoger dan de VKS (waarvoor voor waterveiligheid tot 2200 ongeveer 200 MLD was geraamd in de eerdere studies), ofwel ca. 10%. Als het Veerse Meer ook open wordt gemaakt dan zijn de kosten 4 MLD hoger. De meegroei landschappen, mits grootschalig toegepast, leiden ook tot baten door de kleinere omvang van overstromingen. Hierdoor is de schade na een overstroming kleiner ten opzichte van de situatie zonder deze landschappen. Hierdoor kunnen in theorie ook de normen worden verlaagd of kan aanscherping van normen bij een stijgende zeespiegel worden voorkomen. Deze baten zijn niet in kaart gebracht maar kunnen substantieel zijn.

Als de zeespiegelstijging in een extreem scenario op termijn sneller verloopt dan het meegroeien van de bodem in de Waddenzee en de Zuidwestelijke Delta kan gekozen worden voor aanvullende suppletie van de platen en meegroei landschappen. Als uitgegaan wordt van de ecosysteemopgave (meegroeien al het bestaand areaal en de herstelopgave) bedragen de maximale kosten voor suppletie van meegroei landschappen rond de 25 miljard, en voor suppletie van de platen rond de 84 miljard euro.

Onderdeel van alternatief is het openen van verschillende keringen en dammen. Uitgangspunt is dat verkeersroutes op deze plekken wel intact blijven. Voor aanpassingen ten behoeve van deze verkeersroutes zijn geen meer of minderkosten opgenomen en deze zouden moeten worden afgezet tegen de kosten van bestaande infra. Ook voor waterinfrastructuur voor het transport van zoetwater naar de Zuidwestelijke Delta zoetwater en voor de aanpassing van weginfrastructuur zijn nog geen kosten geraamd.

5.3.2 Onderzoeksalternatief 2

De totale kosten van realisatie van onderzoeksalternatief 2 zijn hoger dan die van onderzoeksalternatief 1 en het VKS. Ook in dit onderzoeksalternatief wordt de natuuropgave gerealiseerd in tegenstelling tot het VKS.

In onderzoeksalternatief 2 zijn er extra kosten door hogere waterkeringen, de realisatie van geheel open stormvloedkeringen, de verlenging van de primaire keringen rondom vloedkommen, aankoop van grond en realisatie van voorlanden. Waterkeringen moeten worden verhoogd vanwege zeespiegelstijging en hogere rivierafvoer, de faalkans van stormvloedkeringen en de effecten hiervan op waterstanden. Er zijn minder kosten bij voorlanden omdat waterkeringen langer meegaan.

In dit alternatief zijn stormvloedkeringen opgenomen in de Oosterschelde, Grevelingen het Haringvliet en de Rijn-Maasmonding. Uitgangspunt is dat deze leiden tot 1,5m waterstandsreductie bij een 1:3.000 per jaar gebeurtenis (vergelijkbaar met de Maeslantkering) en 50% duurder zijn dan de stormvloedkeringen zoals geraamd in de VKS. In totaal is een post van 16,7 miljard voor stormvloedkeringen opgenomen. De totale geraamde kosten van onderzoeksalternatief 2 zijn ca. 40 MLD euro hoger dan de kosten van de VKS. 17 miljard is hiervoor voorzien voor de aanleg van vloedkommen en extra waterkeringen rondom deze vloedkommen. Als de faalkans van de stormvloedkeringen (in ZWD en Haringvliet) zodanig klein is dat deze niet meer relevant is dan kunnen de kosten nog met 4 MLD dalen doordat minder dijkversterking nodig is. Als het Veerse Meer ook open wordt gemaakt dan zijn de kosten 4 MLD hoger.

De vloedkommen leiden in tegenstelling tot de meegroei landschappen niet tot lagere overstromingsgevolgen omdat deze alleen lokaal aanwezig zijn. De meegroeilandschappen doen dat wel, mits grootschalig aanwezig.

Als de zeespiegelstijging in een extreem scenario op termijn sneller verloopt dan het meegroeien van de bodem in de Waddenzee en de Zuidwestelijke Delta kan gekozen worden voor aanvullende suppletie van de platen en meegroei landschappen. Als uitgegaan wordt van de ecosysteemopgave (meegroeien al het bestaand areaal en de herstelopgave) bedragen de maximale kosten voor suppletie van vloedkommen rond de 9 miljard, en voor suppletie van de platen rond de 110 miljard euro.

Ook in deze ramingen zijn extra kosten als kosten voor weginfrastructuur, havens en zoetwaterinfrastructuur niet geraamd.

5.4 Effecten

De twee onderzoeksalternatieven zijn beoordeeld op hun belangrijkste effecten op gebruiksfuncties en op de leefomgeving om deze zo te kunnen vergelijken met de VKS. De alternatieven zijn niet geoptimaliseerd om de geconstateerde effecten te compenseren of voorkomen.

De inschatting van effecten is gemaakt op basis van kwalitatieve of kwantitatieve data of, indien niet voldoende voorhanden, op basis van expert judgement. We beschrijven hier de effecten met betrekking tot een achttal effecten per alternatief.

5.4.1 Onderzoeksalternatief 1

Bewoning: om dit alternatief te kunnen realiseren moeten diverse maatregelen worden getroffen langs de bestaande dijken. Hoewel al rekening is gehouden met de locatie van de grootste woonkernen, vraagt realisatie van zowel dijkversterkingen als meegroei landschappen om ruimte waar nu gebouwen staan en

mensen wonen. Tabel 5-4 geeft een inschatting van het aantal inwoners en gebouwen in de dijkzones zoals die nu zijn ingetekend. Hier zijn verdere optimalisatie van het ontwerp of het op termijn amoveren van woningen mogelijke opties. Aangetekend moet worden dat dit een schatting is waarbij mogelijk enige dubbeltelling optreedt.

Tabel 5-4 Aantal inwoners en gebouwen in het gebied waar dijkversterkingen en meegroei landschappen zijn ingetekend in alternatief 1 t.o.v. VKS (bij 5,4m ZSS in 2200)

	Inwoners	Woningen & gebouwen
VKS	kan oplopen tot 20.000	Kan oplopen tot 67.000
- Dijkversterkingen		
Onderzoeksalternatief 1	kan oplopen tot 25.000	Kan oplopen tot 84.000 als alle gebieden worden gerealiseerd
- Dijkversterkingen		
- Meegroei landschappen		

Een positief effect van de aanleg van de Deltapolder in dit alternatief is dat de dijkversterkingsopgave in de Rijn-Maasmonding wordt verkleind. Los van de getallen in Figuur 5-4 blijven buitendijkse woningen in dit gebied beter beschermd. Een aanzienlijk deel van deze 50.000 buitendijkse woningen wordt daarmee niet blootgesteld aan zeespiegelstijging.

Infrastructuur: de afsluiting van de Rijn-Maasmonding leidt tot effecten op de scheepvaart en een potentieel verlies van concurrentiepositie voor de Rotterdamse haven, maar biedt ook een stabiel zoetwaterbekken dat gunstig is voor industrieën zoals de chemische sector in Moerdijk. De Zuidwestelijke Delta wordt volledig open gemaakt, wat de natuurlijke dynamiek herstelt. Om grote negatieve effecten op mobiliteit en regionale economieën te vermijden zal dit moeten worden gedaan met behoud van infraverbindingen.

Landbouw: Voor beoordeling van de effecten op landbouw zijn zoetwaterbeschikbaarheid en areaal de belangrijkste factoren. De mate waarin zoetwaterbeheer en adaptieve maatregelen de verziltingsdruk kunnen opvangen zijn het meest bepalend voor het uiteindelijke effect op landbouw.

De beschikbaarheid van zoetwater en toenemende verzilting zijn de meest urgente bedreiging voor de landbouwsector. Op termijn zal landbouwgrond door invloed van zoute kwel ongeschikt worden voor traditionele landbouw, juist ook in de zones direct achter de dijken.

Door de aanleg van de Deltapolder in alternatief 1 wordt de zoetwaterbalans Nederland breed sterk verbeterd met een positieve impact op de landbouw in onder andere Zuid-Holland. Zoutindringing via de Rijn-Maasmonding wordt verminderd, wat leidt tot een beter uitgangspunt dan in de VKS, waar verzilting een groeiend probleem vormt. Toch blijft ook hier verzilting in diepe polders en gebieden tot 20 km landinwaarts op langere termijn een uitdaging. In de Zuidwestelijke Delta blijft een groot deel van de landbouw afhankelijk van de lokale zoetwaterbel en maatregelen voor verdere zelfvoorzienendheid zoals ook nu het geval is. Hogere buitenwaterstanden leiden hier tot meer zoute kwel, zoals dat ook bij het VKS het geval is. Het natuurlijke peilverloop in het IJsselmeer zorgt voor een grotere buffer en dus een grotere waterbeschikbaarheid voor de landbouw in de gebieden rond het IJsselmeer. Het Volkerak Zoommeer komt als zoetwaterbuffer te vervallen.

Onderzoeksalternatief 1 resulteert in een verlies van circa 49.000 hectare landbouwgrond (ongeveer 10.000 hectare meer dan in het VKS) voor dijkversterking en de aanleg van meegroei landschappen wat melkveehouderijen en akkerbouwers direct raakt. Per saldo wordt het effect van alternatief 1 op de landbouw positief ingeschat ten opzichte van het VKS.

Ecologie: in paragraaf 5.2.3 is het doelbereik en daarmee de positieve impacts op ecologie beschreven. In dit alternatief wordt een groot aantal nieuwe natuurgebieden gecreëerd waaronder platen, schorren en kwelders, duinen en oeverzones. Dit draagt bij aan biodiversiteit en gezondheidsbaten. Echter, eventuele zandsuppleties om het meegroeivermogen van intergetijdengebieden te verhogen hebben impact op de mariene ecosystemen op de winlocaties op de Noordzee.

Recreatie en toerisme: in onderzoeksalternatief 1 neemt het natuurareaal bij aanleg aanzienlijk toe ten opzichte van de VKS en blijft dit areaal dankzij sedimentatie en suppletie op lange termijn beter behouden waar deze in het VKS verdwijnen. Verschillende typen recreatie en toerisme, gerelateerd aan activiteiten zoals wandelen, fietsen, watersport en recreatie rondom water zijn deels afhankelijk van deze natuur. Waar

recreatie en toerisme in het VKS te lijden heeft van achteruitgang van de natuur zal deze regionaal juist profiteren van een toegenomen areaal natuur, vooral als deze beleefbaar en toegankelijk wordt gemaakt.

Milieu: realisatie van kwelders en schorren heeft een directe impact op het vastleggen van koolstof, aan nitraatzuivering en de fosfaat-afvang:

- Kust- en estuariene gebieden spelen een belangrijke rol in de koolstofcyclus, vooral door de vastlegging van organische koolstof in kwelders, schorren en mariene sedimenten. De mate van koolstofvastlegging hangt af van factoren zoals vegetatieontwikkeling, sedimentatieprocessen en menselijke ingrepen.
- Bepaalde typen vegetatie kunnen fosfaat afvangen en nitraat zuiveren. Met name schorren, kwelders en platen en riet/ruigte dragen hier veel aan bij. Het begraven van koolstof en stikstof is een cruciaal proces voor de sequestratie (langdurige opslag of vastlegging) van deze elementen. Bij onbegroeide platen vindt denitrificatie (omzetten van nitraat NO_3 naar stikstofgas N_2 ²) voornamelijk plaats op de grenslaag tussen het droogvallende sediment en de atmosfeer. Dit betekent dat de mate van denitrificatie sterk afhankelijk is van de aanwezigheid van droogvallende platen, en dus van een functionerende getijdendynamiek.

Baten hangen direct samen met het gerealiseerde areaal en zijn dus substantieel vergeleken met het VKS. De grootste baten worden direct na aanleg verwacht en nemen vervolgens iets af door natuurlijke dynamiek (afname hectares per fysiotop) en zeespiegelstijging.

Scheepvaart en economische impact: afsluiting van de Rijn-Maasmonding vormt een belemmering door extra overslag en eventueel gebruik van binnenvaartsluis, wat leidt tot hogere transportkosten. Dit kan een verschuiving van goederenstromen veroorzaken naar alternatieve routes zoals de havens van Antwerpen, Vlissingen of Eemshaven. Hierdoor ontstaat economische onzekerheid voor de Rotterdamse haven. Wel is twijfelachtig in hoeverre andere zeehavens meer of minder aantrekkelijk zijn in toekomstige situaties dan Rotterdam uitgaande van 5,4 meter zeespiegelstijging aangezien zij voor dezelfde uitdagingen gesteld staan.

Visserij: het open maken van dammen en dus herstellen van een open, zoute delta's, creëert kansen voor nieuwe visgronden voor schaal- en schelpdierkweek, zoals mosselen en oesters. De leefomgeving voor vissen verbetert dankzij het open karakter van de Zuidwestelijke Delta, wat de visserijsector ten goede komt. Wel wordt de bestaande visserij tijdelijk verstoord door de aanleg van zandmotoren en nieuwe zandbanken kunnen het vissers moeilijker maken om traditionele visgronden te bereiken. Het effect van de maatregelen is voor dit alternatief voor de visserij dus per saldo positief ten opzichte van de VKS.

5.4.2 Onderzoeksalternatief 2

Bewoning: in onderzoeksalternatief 2 worden dijkversterkingen, vloedkommen en voorlandverbredingen gebruikt om de waterveiligheid te verbeteren. Ter plaatse van de dijkversterkingen en vloedkommen vraagt dit binnendijs ruimte waardoor. Tabel 5-5 geeft een eerste inschatting van het aantal bewoners en gebouwen ter plaatse van de ingetekende maatregelen in alternatief 2 en het VKS.

Dit aantal ligt lager dan in onderzoeksalternatief 1, omdat hier geen extra dijkversterkingen nodig zijn voor een Deltapolder. Dit alternatief biedt echter ook geen oplossing voor kwetsbare buitendijkse woningen (circa 50.000 woningen in Zuid-Holland). Dit betekent dat hier extra maatregelen nodig kunnen zijn naarmate de zeespiegelstijging doorzet.

Tabel 5-5 Aantal inwoners en gebouwen in het gebied waar dijkversterkingen en vloedkommen zijn ingetekend alternatief 2 t.o.v. VKS (bij 5,4m ZSS in 2200)

	Inwoners	Woningen & gebouwen
VKS	kan oplopen tot 20.000	Kan oplopen tot 67.000
- Dijkversterkingen		
Alternatief 2	kan oplopen tot 23.000	Kan oplopen tot 72.000
- Dijkversterkingen		
- Vloedkommen		

Infrastructuur: in de Zuidwestelijke Delta blijven bestaande verkeersroutes intact via de stormvloedkeringen.

² Dit proces verwijdert stikstof uit het ecosysteem en helpt bij het verbeteren van de waterkwaliteit.

Landbouw en zoetwaterbeschikbaarheid: de zoetwaterbalans van dit alternatief is vergelijkbaar met die van de voorkeursstrategie. Hoewel verziltingsdruk lokaal iets wordt beperkt door hydrologische aanpassingen, zijn de voorgestelde maatregelen onvoldoende om de landbouw structureel te ondersteunen. Dit betekent dat de agrarische sector in kwetsbare regio's grotendeels afhankelijk blijft van de lokale zoetwaterbel, maatregelen om meer zelfvoorzienend te zijn, externe zoetwateraanvoer en innovatieve technieken zoals zilte landbouw. Aanpassingen van het type landbouw zoals omvorming naar zilte teelten en aanpassing van landgebruik zijn vanwege het gebrek aan zoetwater op termijn onontkoombaar.

Dit alternatief leidt tot een verlies van circa 45.000 hectare landbouwgrond (6.000 meer dan het VKS) voor de realisatie van de maatregelen ten opzichte van de huidige situatie. Dit is iets minder dan in alternatief 1. De ruimte is vooral nodig voor de realisatie van vloedkommen, voorlandverbredingen vragen minder ruimte van de landbouw. Het IJsselmeer kent in dit alternatief het huidige of eventueel een geoptimaliseerd peil. Het Volkerak Zoommeer komt als zoetwaterbuffer te vervallen. Per saldo wordt het effect van alternatief 2 op de landbouw vergelijkbaar ingeschat als het effect van de VKS.

Ecologie: in paragraaf 5.2.3 is het doelbereik en daarmee de positieve impacts op ecologie als één van de doelen beschreven. Onderzoeksalternatief 2 vraagt mogelijk om veel zandsuppleties om alle intergetijdengebieden te laten meegroeien met zeespiegelstijging. Om alle intergetijdengebieden te laten meegroeien wordt de behoefte aan zand en slib geschat op 42 tot 47 miljoen m³ per jaar. Dit komt boven op de suppletiebehoefte voor de zandige kust in de VKS. Echter, suppleren van al het intergetijdengebied zodra het niet meer vanzelf meegroeit is wellicht niet nodig. Ook omdat de winning van suppletiezand leidt tot negatieve gevolgen voor het bodemleven en de visstand op de winlocatie.

Recreatie en toerisme: net als onderzoeksalternatief 1 wordt in dit alternatief het huidige areaal natuur behouden en uitgebreid en is het daaraan gekoppelde effect voor recreatie en toerisme zeer positief ten opzichte van het VKS. Met name langs de vloedkomen ontstaan nieuwe kansen voor natuur gerelateerde recreatie. Ook hier geldt dat beleefbaarheid en toegankelijk belangrijke voorwaarden zijn. In vergelijking met alternatief 1 zijn de potentiële baten echter wat lager omdat er minder land wordt ingericht dat mede gebruikt kan worden voor recreatie, toerisme en visserij.

Milieu: net als in onderzoeksalternatief 1 kent dit alternatief flinke baten in de zin van het vastleggen van koolstof, aan nitraatzuivering en de fosfaat-afvang. De omvang hiervan hangt direct samen met het gerealiseerde areaal.

Scheepvaart en economische impact: de Rijn-Maasmonding blijft in onderzoeksalternatief 2 open, wat positief is voor de scheepvaart en haventoegeankelijkheid. De Maeslantkering blijft operationeel en wordt op termijn vervangen door een stormvloedkering. De havens van Rotterdam blijven goed toegankelijk, met minimale verstoring voor goederenstromen.

Toch brengt dit alternatief ook uitdagingen met zich mee:

- De toename van sedimentatieprocessen door verhoogde dynamiek in het watersysteem kan leiden tot frequentere baggerwerkzaamheden in havengebieden.
- De grotere zoutindringing vraagt om aanpassingen in industriële processen, wat extra kosten kan betekenen voor bedrijven die afhankelijk zijn van stabiele zoetwaterbronnen.

Visserij: de visserijsector profiteert deels van de aanleg van nieuwe voorlanden en intergetijdengebieden, die als kweekgebieden voor schaal- en schelpdieren kunnen dienen. De Oosterschelde biedt bijvoorbeeld potentie voor de uitbreiding van mossel- en oesterkwekerijen. De visstand kan verbeteren door de openheid van de systemen, maar de verhoogde sedimentdynamiek en extra suppleties kunnen tijdelijke verstoringen van visgronden veroorzaken. Het effect van de maatregelen is voor dit alternatief voor de visserij dus per saldo positief ten opzichte van de VKS.

Casestudie Haringvliet – Young Ecoshape

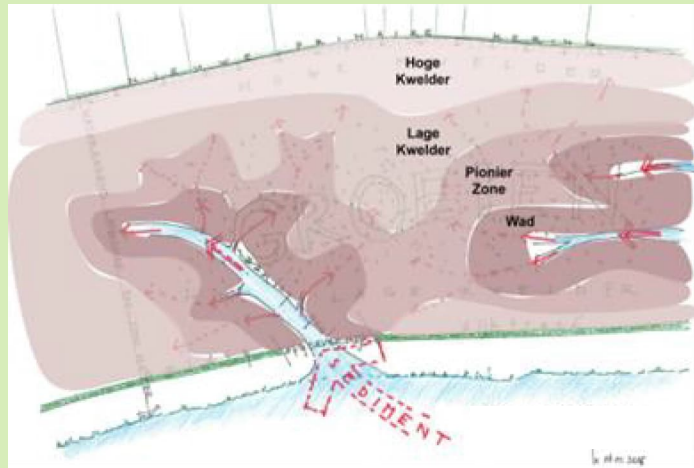
Young Ecoshape voerde als onderdeel van het consortium een verdiepende casestudie uit naar het Haringvliet. Deze studie verkent hoe een (gedeeltelijk) open Haringvliet kan bijdragen aan de drie centrale doelstellingen: waterveiligheid, zoetwaterbeschikbaarheid en natuur. Lessen hieruit zijn meegenomen in de uitwerking van de alternatieven.

Uitgangspunt is het herstel van natuurlijke systeemprocessen. Een open Haringvliet maakt getijdendynamiek, sedimentaanvoer en een geleidelijke zout-zoetovergang opnieuw mogelijk. Deze elementen vormen de basis voor een gezond en veerkrachtig ecosysteem op de lange termijn. Tegelijkertijd leidt deze verandering tot hogere waterstanden en golfhoogtes, met gevolgen voor de benodigde dijkversterkingen en bermhoogtes.

Meegroeilandschappen kunnen daarom een belangrijke rol spelen in het waarborgen van de waterveiligheid, en dragen tegelijk bij aan de natuurdoelstellingen. Mogelijkheden voor deze meegroeilandschappen zijn nader onderzocht.

Het meegroeilandschap zal bestaan uit twee dijken met daartussen 500 tot 2000 meter ruimte voor natuurlijke kwelderontwikkeling. Hiervoor wordt een nieuwe dijk meer landinwaarts geplaatst en wordt de bestaande 'oude' dijk lokaal doorgestoken, zodat het gebied in open verbinding komt te staan met het Haringvliet en natuurlijk kan meegroeien met de zeespiegel.

Om de kweldervorming op gang te brengen, zijn op sommige locaties een startsuppletie én een goed ontwikkeld geulen- en krekensysteem van belang. De suppletie stimuleert de opbouw van sediment en daarmee de ontwikkeling van vegetatie, die sterk samenhangt met de lokale overstromingsduur en -frequentie. Het geulen- en krekensysteem brengt dynamiek in het systeem en zorgt ervoor dat sediment verder landinwaarts wordt getransporteerd. Een schematische weergave van de vegetatiezonering en het geulen- en krekensysteem is in de figuur hiernaast opgenomen.



In de beginfase vervult de oude dijk nog de golf reducerende functie, maar na verloop van tijd neemt de kwelder deze rol over. In vergelijking met een ontwerp zonder meegroeilandschap kan de benodigde hoogte van de primaire dijk hierdoor met circa de helft van de golfvoerslag worden verlaagd. Zo ontstaat een systeem dat veiligheid koppelt aan natuur: de kwelder dempt golven, biedt ruimte voor biodiversiteit en groeit mee met de zeespiegel.

De hier geschetste aanpak laat zien hoe natuur en waterveiligheid hand in hand kunnen gaan in een toekomstbestendig Haringvliet. In het deelrapport 'Openen van het Haringvliet' zijn de ontwerpkeuzes, onderbouwing en beoordeling op doelbereik uitgewerkt.

6 Discussie, aanbevelingen en conclusies

Deze studie toont aan dat borging van waterveiligheid bij extreme zeespiegelstijging samen kan gaan (en zelfs verbeterd kan worden) met het behoud en herstel van de natuurlijke processen en het kust(eco)systeem. Door het slim invangen van zand en slib kunnen brede dijkzones meegroeien met de zeespiegel en ontstaat een robuust meegroeilandschap rond de laaggelegen polders waardoor overstromingsrisico's afnemen en extra ruimte ontstaat voor toekomstige dijkversterkingen. Het verwachte zoetwatertekort kan worden verminderd door zoutintrusie te beperken door opslibbing toe te staan rondom dijken en in riviermondingen en door op land hogere waterstanden toe te staan, minder afwateringskanalen aan te leggen, en door veengroei te stimuleren. De kosten voor waterveiligheid en zoetwaterbeschikbaarheid zijn vergelijkbaar met de huidige voorkeursstrategie. Bovendien kan met deze strategie het kustecosysteem worden behouden en hersteld, waardoor makkelijker voldaan kan worden aan natuurdoelen. Voor de effectiviteit van deze strategie is vooral bepalend wanneer we beginnen met slib invangen en hoe snel de intergetijdengebieden daadwerkelijk gaan meegroeien, wat de snelheid van zeespiegelstijging is en hoeveel intergetijdengebied we actief willen bij suppleren.

Grotere intergetijdengebieden resulteren in brede baten voor economie en maatschappij. Ze beperken niet alleen overstromingsgevolgen, maar verbeteren ook waterbeschikbaarheid en -kwaliteit, zorgen voor koolstofopslag en stikstofreductie en zijn essentieel voor gezonde populaties van vis, schaal- en schelpdieren. Door zeearmen open te houden of opnieuw te openen worden de waterkwaliteitsproblemen in afgesloten wateren en de daarmee samenhangende inspanningen en kosten voorkomen. Hoewel de intergetijdennatuur die in deze denkrichting wordt hersteld naar verwachting minder beheer nodig heeft dan het te verwachten beheer in de voorkeursstrategie, hangt de hoeveelheid beheer door suppleties sterk af van stijgsnelheden van de zeespiegel, van keuzes over wat wel en niet te suppleren en van hoe snel begonnen wordt met het invangen van sediment en het creëren van extra arealen. Sediment dat nu wordt ingevangen hoeft immers in de toekomst niet gesuppleerd te worden. Daarnaast wordt verwacht dat er bij de hoogste stijgsnelheden van de zeespiegel slibtekorten ontstaan, waardoor ook hoge intergetijdengebieden niet meer goed kunnen meegroeien. De nature-based denkrichting vraagt meer ruimte in de zones rondom de waterkeringen, maar in de voorkeursstrategie dient deze ruimte grotendeels ook te worden gereserveerd voor toekomstige dijkversterkingen.

6.1 Factoren voor succes

Om tot optimale interventie strategieën en systeeminterventies te komen, die zowel waterveiligheid realiseren als de ecologische systeemopgave bedienen en rekening houden met zoetwaterbeschikbaarheid is een aantal elementen in het proces cruciaal. In de eerste plaats hebben we geleerd dat door doelen integraal en gelijkwaardig naast elkaar te plaatsen de oplossingsruimte wordt vergroot en innovatie wordt aangewakkerd. Daarnaast is het samenbrengen van brede systeembegrip, zowel technisch, ecologisch en morfologisch, essentieel om systeembegrip en techniek te combineren tot de optimale mix van interventiestrategieën. Hierbij is het behulpzaam om in en uit te zoomen en de problematiek op verschillende schalen te benaderen. Tot slot, is voor uitvoerbaarheid een visie op het gehele gebied en samenhang tussen maatregelen en fasering in de tijd onontbeerlijk. Dit proces levert onderbouwing voor de consequenties van maatschappelijke en politieke keuzes met betrekking tot de verschillende opgaven, maar maakt deze keuzes niet.

Het meenemen van het natuurlijk systeem functioneren in het doelbereik en het specifiek streven naar het realiseren van significante arealen getijdennatuur in de toekomst, ook bij extreme zeespiegelstijging, leiden tot nieuwe inzichten over de manier waarop we de meer slibrijke kustgebieden en estuaria kunnen beheren en benadrukken het belang van intergetijdengebieden voor de waterveiligheidsopgave. Natuurlijke processen en robuuste arealen natuur helpen bij het realiseren van de waterveiligheidsopgave en maken het aanpassen van waterkeringen in de toekomst makkelijker. Immers, bij aanleg van waterkerende zones en het terugplaatsen van de dijk op strategische plekken, ontstaat ruimte voor natuur en opslibbing. In het meest gunstige geval kan dit een volgende versterkingsronde uitstellen. In andere gevallen, bijvoorbeeld waar het gebied buiten de dijk een beschermde status geniet, biedt dit in ieder geval nieuwe ruimte om de versterkingsronde in de toekomst buitendijks op te lossen, mede doordat het toevoegen van arealen natuur bovenop de huidige en toekomstige opgave, ruimte in wet- en regelgeving kan creëren om weer buitendijks te mogen versterken.

6.2 Veilig én natuurlijk met open zeearmen en estuaria

We hebben in Nederland ruime ervaring met het afsluiten van zeearmen en estuaria. Dit heeft veiligheid en zoetwaterbeschikbaarheid opgeleverd, maar heeft ook negatieve gevolgen gehad voor waterkwaliteit en ecologie. In de Zuidwestelijke Delta is bijna 60% van het areaal aan intergetijdengebied verloren gegaan als gevolg van de Deltawerken. Daarnaast is de kwaliteit van de resterende systemen niet goed door een groot scala aan andere stressfactoren, zoals baggerwerkzaamheden, stortstenen dammen, visserij en aquacultuur en vervuiling met nutriënten en chemicaliën. Tot slot, ontstaat er in de (gedeeltelijk) afgesloten gebieden een morfologische achterstand ten opzichte van de stijgende zeespiegel door limitering van sediment input en transport. Als gevolg hiervan, vragen de afgesloten systemen om een constante stroom van uitgaven voor het op orde houden van ecosystemen onder de vogel- en habitatrichtlijn en voor het inzetten van maatregelen om de waterkwaliteit te verbeteren.

De Deltawerken zorgen voor waterveiligheid, maar als we willen meegroeien met zeespiegelstijging door natuurlijke processen te herstellen en tegelijk natuur- en waterkwaliteitsdoelen willen halen, zijn we meer gebaat bij een open systeem. Door zeespiegelstijging is extra urgentie ontstaan om te verkennen of we in Nederland door willen met een open of een gesloten delta. De morfologische achterstand in de afgesloten systemen wordt immers elk jaar groter. De vraag is of we hetzelfde veiligheidsniveau kunnen bereiken in een open systeem en tegen welke kosten. Uit de hier gepresenteerde verkenning en eerdere studies blijkt dat het open maken van dammen en het openen van de Haringvliet, de Grevelingen, Veerse Meer en de Oosterschelde de meest effectieve maatregel is om voor de toekomst voldoende intergetijdengebied te herstellen. Verbindingen worden hersteld, zodat sediment transport weer mogelijk is, en zoetwatereilandjes en oeverzones worden weer intergetijdengebieden. In combinatie met het ophogen van de aanwezige binnendijken, leidt dit tot dezelfde waterveiligheid als een alternatief met stormvloedkeringen.

Het openen van afgesloten zeearmen om estuaria mee te kunnen laten groeien met zeespiegelstijging en intergetijdennatuur terug te brengen kan niet oneindig lang worden uitgesteld. Om het estuarium de kans te geven nog mee te groeien met zeespiegelstijging, is zelfs enige haast geboden, zeker als rekening wordt gehouden met de tijd die dergelijke complexe besluitvormingsprocessen en grote infrastructuur werken vragen. Bovendien, zonder het herstellen van verbindingen die het water- en sediment systeem weer op orde moet brengen, kunnen ook andere NBS-maatregelen, zoals waterkerende zones of voorlanden, niet effectief worden ingezet.

In de loop der jaren zijn meerdere plannen gelanceerd om de verschillende systemen geheel of gedeeltelijk weer open te maken, zoals voor de Haringvliet, de Grevelingen en de Veerse Meer. Kleine onderdelen van deze plannen zijn gerealiseerd. Echter, de problematiek en systeemcomplexiteit is regio-overstijgend en vraagt een landelijke visie waarin de richtinggevende keuzes voor het gehele watersysteem van de Rijnmaasmonding en Zuidwestelijke Delta worden bepaald met behoud van leefbaarheid en bereikbaarheid van de regio.

6.3 Het belang van herstel schorren en kwelders

Om mee te groeien met de zeespiegelstijging is sediment nodig, zowel slib als zand. Slib wordt voornamelijk vastgelegd in de hogere, begroeide intergetijdengebieden zoals schorren en kwelders. Waarschijnlijk passeert jaarlijks ongeveer 10-14 miljoen ton slib de Nederlandse kust. Een beperkt deel hiervan wordt vastgelegd in Nederlandse intergetijdengebieden, voornamelijk in schorren en kwelders. Het grootste deel wordt oostwaarts getransporteerd. Bij hoge stijgsnelheden van de zeespiegel zullen er echter slibtekorten ontstaan: niet alle slibrijke intergetijdengebieden kunnen dan meegroeien. Met het oog deze versnelling is het daarom verstandig om op korte termijn actief sediment in te vangen. Hiervoor zijn luwe zones en hoge, begroeide intergetijdengebieden nodig. Deze gebieden zijn effectiever in het invangen van sediment dan onbegroeide intergetijdengebieden, waardoor ze beter kunnen meegroeien met de zeespiegelstijging. Bovendien zijn deze gebieden cruciaal voor het behoud van intergetijdengebieden wanneer de zeespiegel sneller stijgt dan het meegroeivermogen. Hoge, begroeide gebieden zullen veranderen in onbegroeide intergetijdengebieden, terwijl lagere intergetijdengebieden ondiep water worden. Het op korte termijn behouden van voldoende hoog intergetijdengebied is daarom essentieel om intergetijdengebieden zo lang mogelijk te behouden bij versnelde zeespiegelstijging. Historische analyses tonen echter aan dat juist deze hogere intergetijdengebieden in Nederland grotendeels zijn verdwenen door afsluitingen en inpolderingen. Dynamische schorren en kwelders zijn zowel in de Waddenzee als in de Zuidwestelijke Delta steeds zeldzamer geworden. Een uitzondering is te vinden op de eilandstaarten van de Waddeneilanden, maar ook daar is de dynamiek grotendeels verdwenen.

Om luwe gebieden en intergetijdenareaal te creëren dient extra ruimte te worden gemaakt. Vooral in de Westerschelde is, in verband met de verdiepingen van de vaargeul, extra ruimte nodig voor het estuarium en voor intergetijdengebied. Binnen de denkrichting Meegroeien met zeespiegelstijging is verkend hoe we extra intergetijdengebied kunnen herstellen dat ook meerwaarde oplevert voor waterveiligheid met de maatregelen meegroei landschappen en vloedkommen. Voor beide maatregelen moet een estuarium wel geheel open zijn, anders komt er niet voldoende sedimenttransport op gang. Het herstellen van vloedkommen kan voordelen leveren voor het snel invangen van slib en het herstellen van intergetijdengebied van verschillende hoogtes. Een ander voordeel van vloedkommen herstellen is dat ze de mogelijkheid bieden om veel areaal te herstellen zonder veel impact op inwoners. Deze gebieden zijn vaak nog natuurgebied of water. Daar liggen tegelijk ook de nadelen van vloedkommen. Ze herstellen vooral laag intergetijdengebied en zijn relatief duur om te realiseren met het oog op het behouden van waterveiligheid, doordat de dijklengete significant wordt verlengd. Tot slot, is het herstel van de vloedkommen niet voldoende om de natuuropgave geheel te halen voor de Westerschelde of voor de Waddenzee. Het heropenen van een vloedkom kan mogelijk leiden tot ongewenste neveneffecten, zoals een additionele sedimentvraag en effecten op het getijdenprisma. Dit dient goed onderzocht te worden.

6.4 Potentie van meegroei landschappen

Intergetijdengebied kan ook worden hersteld door aanleg van meegroei landschappen. Deze maatregel biedt goede mogelijkheden om gefaseerd hoog, begroeid intergetijdenareaal te herstellen. De kosten zijn initieel hoger dan een standaard dijkversterking, omdat de dijk naar achter verplaatst wordt en vaak dus geheel opnieuw moet worden aangelegd. Bij aanwezigheid van een oude waterkering of slaperdijk kunnen deze kosten mogelijk lager uitpakken. Op de lange termijn ontstaan er voordelen van deze ingreep, zoals het ontstaan van ruimte om in de toekomst, bij sterke zeespiegelstijging, de dijkversterking richting het estuarium op te lossen. Daarnaast stelt het mogelijk toekomstige dijkversterking uit. Het voorland kan immers relatief goed meegroeien en dempt golven. Voor begroeide voorlanden is aangetoond dat ze stabiel en erosiebestendiger zijn dan onbegroeid voorland en daardoor de gevolgen bij een dijkdoorbraak verminderen. Meegroei landschappen kunnen worden ingezet waar het land achter de dijk niet dichtbevolkt is en rond gemiddeld zeeniveau ligt. Dit is de juiste hoogte voor herstel van begroeide voorlanden.

We leggen in Nederland al veel nieuwe projecten aan die lijken op meegroei landschappen, maar die niet precies dezelfde baten leveren. Denk aan de Waterdunen, de dubbele dijk bij Delfzijl en polder Breebaert. In deze projecten wordt getij gedeeltelijk binnengelaten door een duiker of ander doorlaatmiddel in de dijk. Dit zijn relatief dure oplossingen die een nogal artificiële situatie met gedempt getij opleveren, vaak resulterend in veel kosten voor beheer en met zeespiegelstijging niet toekomstbestendig omdat er niet genoeg sediment naar binnenkomt om mee te groeien. Daarnaast levert het gedempt getij niet dezelfde natuurwaarde doordat de verschillen tussen hoog en laagwater klein zijn. Dit leidt tot relatief kleinere arealen intergetijdengebied, beperkt sediment transport en resulteert opnieuw in grote uitdagingen voor beheer. Koppelen van wetenschappelijke kennis aan uitvoeringsprojecten en het meer systemisch op grote schaal toepassen van meegroei landschappen kan ons lerend vermogen verhogen en zowel de waterkeringen als de natuur robuuster maken richting de toekomst.

Bij het ontwerpen van maatregelen die slib invangen, zoals vloedkommen, meegroei landschappen en voorlanden, moet de beschikbaarheid van slib als cruciale ontwerpfactor worden meegenomen. Op termijn wordt slib een beperkende factor, aangezien er jaarlijks ongeveer 10-14 miljoen ton beschikbaar is voor de Zeeuwse delta, de Nederlandse, Duitse en Deense Wadden gezamenlijk. Dit betekent dat grootschalige slibvragende oplossingen in de Zeeuwse delta mogelijk beperkingen opleggen aan de oplossingsruimte in de Waddenzee. Bovendien kan grootschalig gebruik van slib in de Nederlandse kustwateren invloed hebben op de Duitse en mogelijk Deense kustwateren.

6.5 Do's en don'ts

Er is al veel kennis van NbS op pilotschaal. Om oplossingen die werken met de natuur kansrijker te maken is het belangrijk om bestaande kennis uit pilots op grotere schaal toe te passen en te leren in de praktijk. Dit kan bijvoorbeeld door hiervoor ruimte te maken binnen lopende uitvoeringsprogramma's. Om in projecten NbS-alternatieven goed te kunnen vergelijken met meer traditionele oplossingen is het belangrijk dat in de afwegingskaders ook rekening wordt gehouden met baten en effecten voor waterveiligheid en natuur op de lange termijn. Daarnaast is het nodig om in de projecten ruimte te creëren om te experimenteren en te leren.

Om een NbS-strategie mogelijk te maken en te houden is het tot slot belangrijk dat in de huidige uitvoeringsprojecten geen onomkeerbare maatregelen worden genomen die nature-based oplossingen in de toekomst in de weg staan. Dat betekent bijvoorbeeld dat bebouwing in een brede zone langs de dijken, of constructieve oplossingen voor dijkversterking in de vorm van damwanden en asfalt bekledingen zo veel mogelijk moeten worden voorkomen.

6.6 Conclusie

De hier gebruikte ontwerp- en onderzoeksmethodiek laat zien dat behoud en herstel van natuurlijke processen bij kan dragen aan de kosteneffectieve bescherming van Nederland tegen de effecten van zeespiegelstijging, waarbij het behoud van het natuurlijk systeem functioneren ook belangrijke voordelen heeft voor de waterkwaliteit, toerisme en visserij, biodiversiteit en invang van CO₂ en stikstof. Ook laat het onderzoek zien dat we zonder plan mogelijk al onze intergetijdennatuur kwijtraken, en ook dat dit niet nodig is. Net zoals bij waterkeringen, dienen we ook bij onze arealen natuur verder naar de toekomst te kijken en overwaarde te genereren om verlies van gebieden door externe factoren beter te kunnen opvangen. We kunnen ruimte maken voor economische ontwikkelingen door ook ademruimte voor de natuur toe te voegen. Dit kan, zonder op grote schaal op te geven waar we wonen en hoe we wonen en dat tegen vergelijkbare kosten voor waterveiligheid en waterbeschikbaarheid als in de eerder uitgewerkte denkrichtingen. Natuurlijke processen kunnen de sleutel bieden en zorgen dat we Nederland ook in de toekomst veilig en welvarend houden. Hiervoor is nodig Nederland weer in te richten als een meegroeiden delta door natuurlijke processen niet langer in te dammen en beteugelen, maar de ruimte durven te geven om te floreren en zichzelf in stand te houden.

7 Kennis- en experimentenagenda

In de voorliggende ontwerpende aanpak is onderzocht hoe nature-based solutions kunnen bijdragen aan waterveiligheid, zoetwaterbeschikbaarheid en behoud van de ecosystemen. In het kader van dit traject zijn verschillende onderzoeken uitgezet om verdiepende systeemkennis op te halen. Ook is de werking van systeemmaatregelen en narratieven op technisch, morfologisch en ecologisch vlak onderzocht en zijn effecten op verschillende functies in kaart gebracht.

In de onderzoeken en tijdens de verschillende bijeenkomsten zijn verschillende kennisleemten geïdentificeerd. Ook is de noodzaak naar voren gekomen om enkele experimenten met NBS-maatregelen op te zetten om zo de werking en effectiviteit van deze systeemmaatregelen in kaart te kunnen brengen. In onderstaande paragrafen is een samenvatting van de belangrijkste kennisvragen en experimenten opgenomen.

7.1 Kennisagenda

In onderstaande opsomming zijn de belangrijkste kennisvragen opgenomen. Door invulling te geven aan deze kennisvragen kunnen de mogelijkheden en effecten van NBS-toepassingen verder in kaart gebracht worden. Deze vragen kunnen opgesplitst worden naar het abiotisch systeem, de interactie tussen het fysisch en ecologisch systeem, en het handelingsperspectief.

Abiotisch systeem:

- Hoe past de groeisnelheid van intergetijdengebieden zich aan bij een versnellende zeespiegelstijging? Is er een verschil in groeisnelheid van fysiotopten en levert dit een offset of discrepanties op in het systeem door bijvoorbeeld het steiler worden van het kustprofiel?
- Wat betekent het invangen van sediment op een locatie voor de beschikbaarheid elders langs de kust en is er voldoende zand en slib aanwezig om estuaria mee te laten groeien met zeespiegelstijging? Veranderd het sediment importerend vermogen van estuaria bij zeespiegelstijging?
- In hoeverre neemt sedimentimport richting getijbekkens af wanneer de platen worden gesuppleerd? Moet sediment op de platen worden gesuppleerd of kan een deel ook in de geulen of op de buitendelta worden gesuppleerd? Welke bagger strategieën zijn het effectiefst en leiden tot een reductie in negatieve effecten?
- In welke gebieden is sedimentatie gelimiteerd door aanbod (zand en slib), in welke gebieden door de transportcapaciteit (vooral zand) en in welke door sedimentatiemogelijkheden (vooral slib)? In hoeverre kunnen platen gevoed worden met slib wat initieel langs de Noordzeekust naar de Wadden stroomt op zowel bekken- als kleinere schaal?
- Hoe kunnen NBS bijdragen aan het tegengaan van verzilting en hoe kan Nederland minder kwetsbaar gemaakt worden voor verzilting en (zoet)watertekorten? Hoe kan een overgangperiode in het landgebruik of verminderd zoetwatergebruik ingericht worden?
- Wat is het omslagpunt waarop verzilting of zoetwatertekorten in de kustregio's leiden tot functiewijzigingen van agrarische gebieden en industrieën?

Interactie tussen het abiotisch systeem en de ecologie:

- Kwantificatie van ecologische effecten van voorgestelde maatregelen op niveau van soorten en soortgroepen
- Hoeveel 'surplus' aan natuurarealen is nodig om onzekerheden door klimaatverandering, bij verschillende scenario's voor zeespiegelstijging en in meegroeicapaciteit d.m.v. sedimentatie op te vangen?
- Hoe beïnvloedt het beheer en extra voeden van sedimentstromen de kwaliteit van de estuariene ecosystemen, welke volumes, frequenties en sedimentcomposities zijn optimaal voor de verschillende ecologische functies om negatieve effecten op ecosystemen te mitigeren?
- Hoe werkt de samenhang tussen biologische en geomorfologische processen en hoe beïnvloedt dit de stabiliteit en ontwikkeling van NBS-ecosystemen? Hoe kunnen deze processen gecombineerd worden in de ontwerprichtlijnen voor klimaat adaptieve kustbescherming?
- Wat is de relatie tussen (a)biotische ontwikkeling, de magnitude van ecosysteemdiensten van fysiotopten (golfdemping, koolstofvastlegging, erosiebestendigheid, etc.) en de monetaire waarde van deze ecosysteemdiensten?

Infrastructuur:

- Hoe kunnen het ontwerp, de aanleg en de kostenramingen van waterkeringen in combinatie met NBS-oplossingen geoptimaliseerd worden? Kan het optimaliseren van de levensduur van de waterkeringen met NBS-inpassing en het verbinden met ruimtelijke ontwikkelingen leiden tot kostenbesparingen?
- Hoe kunnen de NBS gefaseerd uitgevoerd worden met minimale maatschappelijke gevolgen? Wat is de gevoeligheid van onzekerheden in meegroeisnelheden voor de bodem van estuaria, de voorlanden en meegroeilandenschappen voor de uitvoering? Met name in Rijnmond-Drechtsteden en de Zuidwestelijke Delta vergt dat een grote inspanning en aanlooptijd.

7.2 Experimentenagenda

Verdere optimalisatie in de inpassing, het ontwerp en selectie van de systeemmaatregelen is mogelijk. Het gaat hierbij altijd om een samenspel tussen techniek, ruimte en natuur. Bij stijgende zeespiegel zal er altijd groot en klein onderhoud nodig blijven. Het wordt aanbevolen om middels pilots, experimenten en metingen en monitoring ervaring op te doen met NBS. Deze pilots en experimenten dienen ook gericht te zijn op het bieden van perspectief voor de betrokken stakeholders.

- Het ontwikkelen van en experimenteren met overstromingsgebieden met verschillende variërende karakteristieken om de werking te optimaliseren en de effectiviteit te bestuderen:
 - Er liggen kansen voor het toepassen van meegroeilandenschappen in de Westerschelde in de huidige HWBP-opgaven waarbij geleerd kan worden van de invang van slib en meegroeien van land en voor het onderzoeken van fysisch-ecologische, sociaal-economische en institutionele barrières.
 - Ontwikkelen van parallelle overstromingsgebieden; een gebied waar elk getij water, vrij in- en uitstroomt en een gebied waarin het getij beheerd kan worden door inlaatwerken.
Hierdoor kunnen de sedimentatie- en consolidatieprocessen en ontwikkeling van natuurlijke patronen geoptimaliseerd worden.
 - Meten en monitoren van het meegroeïend vermogen van de wadplaten in de Waddenzee door suppleties.
Bestuderen van het meegroeïend vermogen kan belangrijke kennis opleveren over de effectiviteit van suppleties (beter direct op de wadplaten of in de geulen suppleren).
 - Het onderzoeken en monitoren van de hoeveelheid slibinvang en veranderingen in het suspensie transport bij toepassing van meegroeilandenschappen.
Hierdoor kunnen mogelijke limieten van sedimentinvang bepaald worden.
 - Pilots met het storten van zand in slibrijke gebieden zodat een verbeterde ontwatering en sterkte opbouw gerealiseerd kan worden.
Hiermee kan de ontwikkeling van de ecologische meerwaarde bestudeerd worden.
- Het bepalen van systeem overstijgende slibgehalten en beschikbaarheid van slib:
 - Ontwikkelen van een nieuw type vaste meetopstelling waarbij automatisch en regelmatig een verticaal (bodem)profiel wordt gemeten.
 - Bepalen van de slibflux langs de Nederlandse kust door de toepassingen van, bijvoorbeeld, autonome voertuigen.
 - Toevoegen van meetpalen om het slibgehalte in de Waddenzee te meten en het verkleinen van het interval tussen metingen (huidig: 1 meting per 2 weken)
 - Gebruiken en kalibreren van satellietbeelden om de opgeloste sedimentconcentraties in oppervlaktewateren in kaart te brengen.
 - Morfologische monitoring verbinden aan ecologische monitoring, zowel lokaal als tussen fysiotopen (connectiviteit), om mogelijke kantelpunten te bepalen en signaleren om tijdig te kunnen acteren.

Bijlage A Onderliggende rapporten

Het voorliggende rapport is op basis van onderliggende deelrapporten en notities geschreven. In onderstaande tabel zijn de onderliggende bronnen opgesomd. Deze bronnen kunnen opgevraagd worden ter inzage.

Tabel A- 1 Overzicht onderliggende deelrapporten en notities.

Notities en (deel)rapporten	
1.	Notitie Duidingskader & Uitgangspunten
2.	Notitie Ontwerpopgave en aanzet NBS-alternatieven
3.	Factsheets deelgebieden
4.	Notitie Nature based bouwstenen
5.	Detailstudie: Openen van het Haringvliet
6.	Deelrapport Werken met natuurlijke oplossingen bij zeespiegelstijging: Ecologische onderbouwing en werkwijze
7.	Deelrapport Werken met natuurlijke oplossingen bij zeespiegelstijging: Systeembeschrijvingen deelgebieden
8.	Deelrapport Werken met natuurlijke oplossingen bij zeespiegelstijging: Opstellen van en rekenen met natuurwaarden
9.	Deelrapport Morfologische aspecten: meegroeien, suppleties en slibinvang
10.	Deelrapport Onderbouwing doelbereik
11.	Notitie Effectbeoordeling Meegroeien met zeespiegelstijging
12.	Ontwerprapport Nature-Based toekomstbeelden zeespiegelstijging



Ministerie van Infrastructuur
en Waterstaat

NATIONAAL
DELTAPROGRAMMA



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat



Deltares



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

