

Technisch-fysische uitwerking oplossingsrichting Zeewaarts

Kennisprogramma Zeespiegelstijging





Deltacommissaris



Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat



Rijkswaterstaat



Onderwerp

Oplappingsrichting Zeewaarts

Projectnummer

SwecoNL - 51013204

Opdrachtgever

Jos van Alphen (Staf Deltacommissaris),
Ingrid Roos (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat),
Rob Koster (TKI Deltatechnologie)

Begeleidingscommissie

Kernteam

Alex Hekman (Sweco), Nikéh Booister (Sweco),
Thijs Vrinds (Sweco), Guus Kruitwagen (Sweco),
Rob Steijn (Arcadis), Daan Rijks (Boskalis), Bas
Huisman (Deltares), Arjen Luijendijk (Deltares),
Ferdinand Diermanse (Deltares), Jarda van
Spengen (RoyalHaskoningDHV), Patrick van
Broekhoven (Van Oord), Mark van der Werf
(Witteveen+Bos), Kristian Koreman (Zones
Urbaines Sensibles), Jos Hartman (Zones
Urbaines Sensibles), Quirijn Lodder
(Rijkswaterstaat), Ingrid Roos (Ministerie van
Infrastructuur en Water) en Jos van Alphen (Staf
Deltacommissaris)

Datum

16 februari 2024

Document referentie

Rapport D2.0



Deltacommissaris



Voorwoord

Context – Kennisprogramma Zeespiegelstijging

De zeespiegel stijgt en door klimaatverandering en wereldwijde opwarming versnelt deze stijging de laatste decennia. Nog onzeker is hoe deze versnelde stijging in de toekomst gaat verlopen. Dit kan op termijn grote gevolgen hebben voor de leefbaarheid en bewoonbaarheid van ons land. In opdracht van de minister van Infrastructuur en Waterstaat en de Deltacommissaris bundelen overheden, bedrijven, kennisinstellingen en maatschappelijke organisaties hun krachten in het Kennisprogramma Zeespiegelstijging. Ze onderzoeken wat de mogelijke gevolgen van de zeespiegelstijging zijn voor ons land en wat de houdbaarheid is van de bestaande strategieën voor waterafvoer, bescherming tegen overstromingen, kustonderhoud en zoetwatervoorziening. In gebiedsbijeenkomsten zijn verschillende oplossingsrichtingen voor de lange termijn verkend voor het geval de zeespiegel rond de eeuwwisseling versneld zal stijgen. Daarbij is uitgegaan van een stijging van 2 m in 2100 en 5 m in 2200. Deze oplossingsrichtingen zijn door drie consortia (Beschermen, Zeewaarts en Meebewegen) tussen april en november 2023 nader uitgedacht tot technisch, fysisch en ruimtelijk realistische uitwerkingen. De uitwerkingen geven een beeld van mogelijkheden en onmogelijkheden van de drie oplossingsrichtingen.

De onzekerheid over de toekomstige zeespiegelstijging is nog groot, en dat bemoeilijkt nu het maken van een goede keuze voor één specifieke lange termijn oplossing. Doel van deze uitwerkingen is daarom niet om nu een keuze te maken voor één oplossingsrichting, als start voor nadere planuitwerking en uitvoering, maar om zo goed mogelijk te kunnen bepalen wat we moeten doen en laten om toekomstige keuzes voorlopig nog open te houden. Dat is vooral relevant in verband met de grote investeringsagenda's van de komende decennia met betrekking tot woningbouw, duurzame energie, infrastructuur en landbouw, die de toekomstige ruimtelijke inrichting (en ook de ruimte voor aanpassing aan klimaatverandering) gaan bepalen. Kennisleemtes zijn daarbij opgenomen in een kennisagenda.

De drie consortia bestonden uit deelnemers van overheden, kennisinstellingen, ingenieurs- en ontwerpbureaus en waterbouwers. In aanvulling op grote en enthousiaste 'in kind' inzet van deze partijen is financieel bijgedragen door Staf Deltacommissaris, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, de Topsector Water en Maritiem en het programma Redesigning Delta's. Met de kennis en inzichten uit het Kennisprogramma Zeespiegelstijging en deze consortia voeden we de herijking van het Deltaprogramma in 2026 en kunnen we op tijd keuzes maken voor de bescherming en inrichting van Nederland, zowel voor de huidige als toekomstige generaties.

Jos van Alphen

Inhoudsopgave

Samenvatting	5
Disclaimer	9
1. Inleiding	10
1.1 Uitdaging zeespiegelstijging	11
1.2 Doel en doelbereik	11
1.3 Proces zeewaartse uitwerking	11
1.4 Leeswijzer	13
2. Ontwerpogave en afbakening	14
2.1 Aannames	15
2.1.1 Zeespiegel	15
2.1.2 Rivierafvoeren	15
2.1.3 Extreme waterstanden en golfcondities	16
2.2 Ontwerpogave	16
2.2.1 Rivierveiligheid	16
2.2.2 Kustveiligheid	17
2.3 Gebiedsafbakening	18
2.4 Scope afbakening	18
3. Uitwerking oplossingsrichting	19
3.1 Hollandse kust	20
3.2 Kustbassin	22
3.2.1 Ruimtelijke uitwerking	22
3.2.2 Werking	24
3.2.3 Maakbaarheid	25
3.2.4 Fasering	26
3.2.5 Kostenschatting	27
3.2.6 Adaptiviteit	28
3.3 Meekoppelkansen	29
4. Impact van het bassin op functies	30
4.1 Ruimtegebruik	31
4.2 (Zoet)waterbeschikbaarheid	31
4.3 Waterkwaliteit en ecologie	32
4.4 Maritieme infrastructuur	35
4.5 Gebruiksfuncties	36
5. Stappen naar de toekomst	37
5.1 Conclusie zeewaarts	38
5.2 Gevolgen en betekenis voor de transitieopgaven voor Nederland	38
5.3 Kennis- en onderzoeksagenda	39
Referenties	41
Bijlagen	42
Bijlage 1: Betrokkenheid van bedrijven en organisaties	42
Bijlage 2: Lijst met op te vragen notities	43
Bijlage 3: Onderzoeksagenda	44

Samenvatting

Om Nederland te beschermen tegen de mogelijke gevolgen van zeespiegelstijging zijn in opdracht van de minister van Infrastructuur en Waterstaat en de Staf Deltacommissaris verschillende oplossingsrichtingen uitgewerkt en in gebiedsbijeenkomsten verkend. Deze oplossingsrichtingen zijn door drie consortia verder uitgewerkt op technisch-fysisch en ruimtelijk niveau. In dit rapport is de oplossingsrichting zeewaarts uitgewerkt. Aan de hand van drie hackathons voor de brede sector en nauwe samenwerking in een kernteam is onderliggende uitwerking tot stand gekomen.

Uitgangspunten

De oplossingsrichting richt zich op drie hoofddoelstellingen, het beschermen tegen overstromingen vanuit rivieren (rivierveiligheid), vanuit de zee (kustveiligheid) en de beschikbaarheid van zoetwater naar de toekomst op orde houden. Voor alle drie de consortia zijn dezelfde uitgangspunten gehanteerd, de belangrijkste zijn de volgende:

- Er is uitgegaan van een zeespiegelstijging van 2 meter in 2100 en 5,4 meter in 2200;
- De rivierafvoer schaalt mee met de verwachte stijging in temperatuur voor het RCP8.5 scenario. Hiermee komt de afvoer bij Lobith in 2100 uit op 18.000m³/s en in 2200 op 20.000m³/s. Op de maas is dit respectievelijk 4.800m³/s en 5.300m³/s.
- Verondersteld wordt dat de stormopzet en het getij niet zullen veranderen in de toekomst. Hierdoor kan zeespiegelstijging opgeteld worden bij het huidige toetspeil.

Ontwerpopgave

Bescherming tegen overstromingen is het belangrijkste doel voor de voorgestelde uitwerking. Hierbij is de ontwerpopgave opgebouwd uit twee onderdelen, rivierveiligheid en kustveiligheid waarbij voor de zeewaartse oplossingsrichting een uitwerking zeewaarts is uitgewerkt:

- Rivierveiligheid: Als gevolg van zeespiegelstijging zullen rivierwaterstanden meestijgen met de zeespiegel, hierdoor zullen waterkeringen niet meer voldoen.
- Kustveiligheid: bij een hogere zeespiegel neemt het stormvloedpeil toe. Er zijn aanvullende maatregelen nodig om de kustzone van voldoende sediment te voorzien om te voorkomen dat het strand en duinen samen uiteindelijk onvoldoende sterk zijn. Een ondiepe vooroever en hogere duinen zijn hierbij van belang.

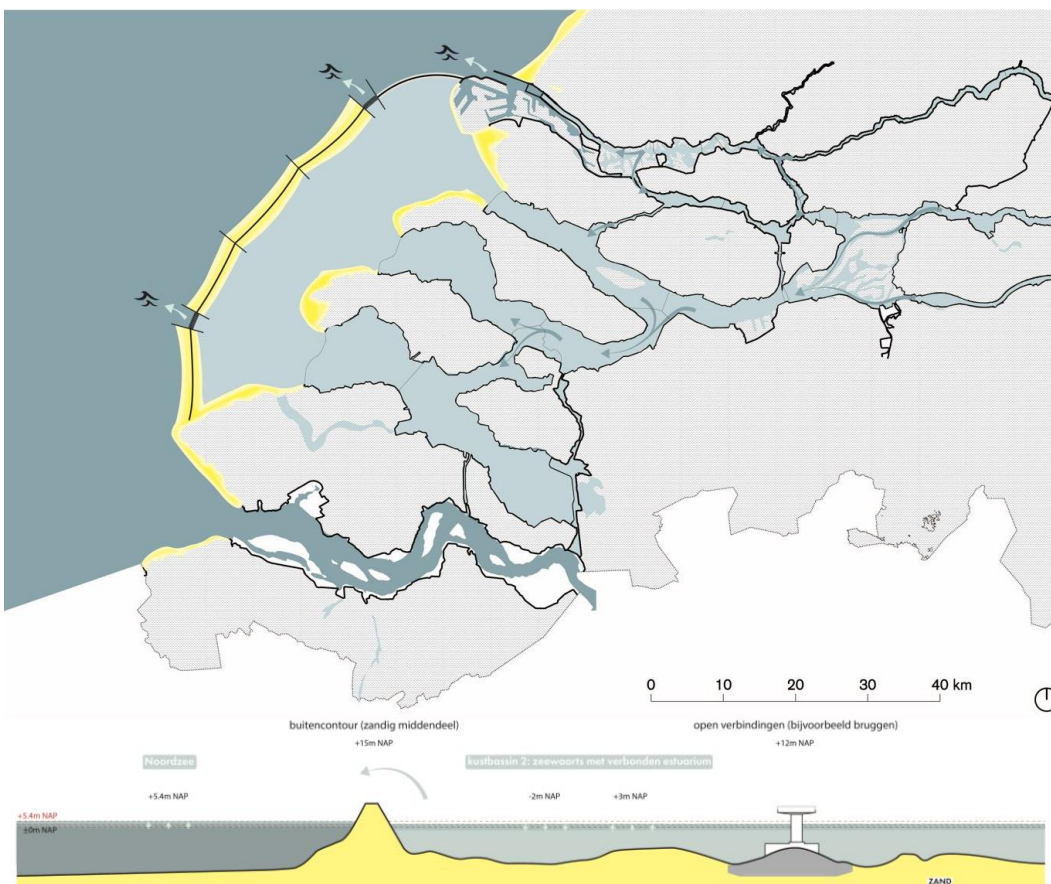
De zeewaartse oplossingsrichting richt zich op het gebied van West-Kapelle (Walcheren) tot Callantsoog (Noord-Holland). Er is vastgesteld dat de grootste ontwerpopgave zich voordoet in het Rijn-Maasmond gebied. Om de gewenste verdieping te maken is de problematiek van de Waddenzee en de Westerschelde niet meegenomen.

Uitwerking oplossingsrichting

Uit verkennende berekeningen van het kernteam blijkt dat kustveiligheid tot een zeespiegelstijging van enkele meters voor de gesloten kust van Holland op te lossen is door extra zand aan het kust- en duinprofiel toe te voegen. Het aangezicht van de zandige duinenkust zal grotendeels hetzelfde blijven. Uitzonderingen zijn de kustplaatsen die op de lange termijn geheel achter een hoog duin komen te liggen. Daar waar mogelijk kunnen golfdempende structuren worden overwogen. De benodigde hoeveelheid zand wordt geschat

op enkele duizenden tot tienduizenden m³ per strekkende meter kust, uitgaande van een zeespiegelstijging van ruim 5 meter tot aan 2200. Voorwaarde is dat er voldoende winbare zandvoorraden beschikbaar blijven. Het realiseren van een volledig gesloten kering voor de kust met daarachter een randmeer is vooral effectief als de lengte van het te onderhouden kustdeel afneemt. Voor de Hollandse kust levert een zachte zeewaartse kering geen reductie van de te onderhouden kustlijn af en is daarom niet effectief.

Het realiseren van een zeewaarts kustbassin rondom de Rijn-Maas estuarium biedt wel mogelijkheden voor zeewaartse kustbescherming. De uitwerking is vormgegeven zoals te zien is in Figuur 0. Dit komt neer op een kustbassin van Walcheren tot de buitencontour van de 2^e Maasvlakte, waarbij de Nieuwe Maas niet uitwatert op het zeewaartse kustbassin maar rechtsreeks in zee. Zo blijft de Rotterdamse haven en de 2^e Maasvlakte beschikbaar voor grotere zeeschepen.



Figuur 0 schetsontwerp van de technisch-fysische uitwerking van de oplossingsrichting Zeewaarts

Met pompen in het kustbassin wordt het waterpeil in het bassin verlaagd en uitgedempt richting zee. Hierdoor kunnen rivierwaterstanden kunstmatig laag gehouden worden. De combinatie van rivierafvoeren, de kans op extreme afvoeren en de fluctuatie van het meerpeil samen bepalen de afmetingen van het bassin. Samenvattend is de uitwerking als volgt vormgegeven:

- Tot ca. 2 meter zeespiegelstijging kan doorgedaan worden met het huidige veiligheidsbeleid.
- Om de waterberging voor rivierwater te vergroten zullen estuaria zoals het Haringvliet, de Grevelingen en de Oosterschelde verbonden worden. Hiermee ontstaat ca. 1.000km² ruimte om rivierafvoer op te kunnen vangen.

- Vanaf een zeespiegelstijging van 2 meter wordt een zeewaarts kustbassin aangelegd van ca. 900km² met een pompcapaciteit van ca. 3.800m³/s. Dit kustbassin zal bij verdere stijging van de zeespiegel niet hoeven te worden uitgebreid.
- Door de locatie van het zeewaartse kustbassin zullen zowel de Waal als de Maas afwateren op het kustmeer via het Hollands Diep en het Haringvliet.
- Tegen de tijd dat de zeespiegelstijging is toegenomen tot 5,4m, zal de pompcapaciteit uitgebreid moeten zijn tot 8.700m³/s. Het peil in het meer kan 2 meter verlaagd worden zonder spuien om extremen op te vangen met voorpompen. Dit doet zich voor zodra spuien geen mogelijkheid meer is.

Voor de aanleg van een kustbassin gemaakt uit zachte zandige kustsecties en harde (caissons) elementen is een zeewaartse kering met de beschikbare constructiemethoden in enkele decennia te realiseren. De aanlegkosten voor de nieuwe kustlijn zijn globaal ingeschat op 30-35 miljard euro (prijspeil 2023). Dit is exclusief de benodigde kosten om het gebied in te richten en de aansluiting met Grevelingen en Oosterschelde en het verder uitweken van landinwaartse maatregelen. Ook zijn de kosten voor de bescherming van de Hollandse kust niet meegenomen. De jaarlijkse onderhoudskosten worden geschat op 250-350 miljoen euro per jaar.

De meeste bouwstenen van de voorgestelde zeewaartse oplossing zijn schaalbaar of aanpasbaar aan verdere zeespiegelstijging. Onderdelen zoals grote infrastructurele werken zoals beweegbare keringen/stuwen of sluisen zijn minder goed aanpasbaar, maar deze worden in het huidige ontwerp beperkt voorzien.

De oplossing richt zich op technisch-fysische haalbaarheid, wel is een viertal meest kansrijke meekoppelkansen geselecteerd die aansluiten op het voorgestelde concept en grote maatschappelijke meerwaarde bieden. Dit zijn, 1) een brede duinenrij realiseren waarmee kansen ontstaan voor nieuwe functies en nieuwe natuur, vergelijkbaar met de huidige kustlijn; 2) getijdenatuur realiseren in een zout deel van het bassin met kunstmatige getijdenslag; 3) een valmeer realiseren waardoor energie opgeslagen kan worden door waterstandsverschillen; en 4) het realiseren van extra landoppervlak voor andere functies zoals recreatie, woningbouw of industrie.

Impact op andere functies en ontwerpoptimalisaties

Het realiseren van een zeewaarts bassin heeft invloed op verschillende functies. Omdat de autonome situatie ten tijde van de realisatie van het kustbassin moeilijk is in te schatten is geen uitwerking gegeven van de referentiesituatie.

- Er zijn *diverse functies* op de Noordzee ter plaatse van het toekomstig geschetste kustbassin. De aanleg van het kustgebied zal invloed hebben op aanwezige flora en fauna, het grote N2000 gebied zal hierdoor geraakt worden. Echter, is het onzeker hoe de regelgeving functioneert in de toekomst. Zandwingebieden zullen beschermd moeten worden, voor andere functies zoals aanlandingsplaatsen en kabels en leidingen zal rekening gehouden moeten worden met een zeewaartse oplossingsrichting, afhankelijk van de levensduur.
- *Zoetwaterbeschikbaarheid*: De aanleg van een zeewaarts kustbassin met een verlaagd peil kan zorgen dat zoute kwel naar achterliggende polders verminderd. In geval van extreem lage afvoer is er met het huidige ontwerp te weinig zoetwater beschikbaar om het meer zoet te houden, dit heeft gevolgen voor de waterkwaliteit en de ecologie. Mogelijke ontwerpoptimalisaties zijn het compartimenteren van het randmeer met zoete, zoute en brakke zones, het aanleggen van voorzieningen om zoutindringing te beperken, het invoeren van seizoen- en afvoerafhankelijk peilbeheer, het beheer van

duinwatergebieden optimaliseren of het landgebruik aanpassen waardoor er minder zoetwaterafhankelijkheid is.

- *Waterkwaliteit, ecologie en natuur:* klimaatverandering zal autonoom sterke invloed hebben op de ecologische kwaliteit van de zuidwestelijke delta. Soorten en habitats zullen verplaatsen en waarschijnlijk veranderen. De aanleg van een kustbassin zal de fysisch-chemische condities in de zuidwestelijke delta ingrijpend veranderen en daardoor een sterke uitwerking hebben op de ecologie en waterkwaliteit langs de Nederlandse kust. Verlies aan getijdendynamiek, verminderde zoutindringing, afname in ecologische connectiviteit met zee, verzoeting van brakke en zoute delen van de delta, verlies aan winddynamiek zullen tot verlies aan biodiversiteit leiden. De aanleg van het bassin zal een uitstralingseffect hebben op de Hollandse kust en Waddenzee door verandering in stromingspatronen, transport van zand, nutriënten en organismen door verstoring van natuurlijke migratieroutes. Mogelijke ontwerpoptimalisaties zijn het compartimenteren van het kustbassin door een deel zoet te maken of door zoute kwel te verminderen, een andere maatregel is het zoutspoelen van het kustbassin.
- Een zeewaartse oplossing kan negatieve en positieve effecten hebben op haven en *scheepvaartactiviteiten*. Met het ontwerp zoals omschreven in dit rapport zal een sluis nodig zijn in de Nieuwe Waterweg. De aansluiting op het achterland wordt daarmee beperkt, wat de capaciteit van overslag vermindert. Ontwerpsuggesties voor het behouden van vrije toegang tot de haven kunnen zijn het verder verplaatsen van de haven zeewaarts (bijv. derde Maasvlakte) of een uitgebreid sluisencomplex met voldoende gegarandeerde capaciteit.
- *Gebruiksfuncties* omvatten een breed scala aan onderwerpen. Van een aantal functies is een korte omschrijving van het effect gegeven. Voor land- en tuinbouw kan het effect van een kustbassin positief zijn, verzilting kan afnemen. Echter kan een bassin zorgen voor verdwijnen van visserij uit de regio. De huidige delta en zee bieden veel ruimte voor toerisme. Bestaande functies kunnen negatief beïnvloed worden, maar een kustbassin biedt ook kansen voor nieuwe recreatiemogelijkheden.

Stappen naar de toekomst

De komende jaren wordt verder onderzoek gedaan naar de verschillende oplossingsrichtingen Beschermen, Zeewaarts en Meebewegen. Dat betekent dat voorlopig nog geen definitieve keuzes worden gemaakt en onzekerheden blijven bestaan. Het is van belang dat ruimtelijke keuzes en investeringen in transities de toekomstige aanleg van een zeewaartse oplossingsrichting niet in de weg staat. Hiervoor zijn een aantal maatregelen belangrijk in beleid en ruimtelijke reserveringen. Zo zal bij alle grote investeringsopgaven in de bredere kustzone rekening gehouden moeten worden met de oplossingsrichting zeewaarts, zijn ruimtereserveringen noodzakelijk om zeewaarts mogelijk te houden, zal er voldoende beschikbaarheid van nabijgelegen bouwmaterialen moeten zijn, beperkt of geen zandwinning toe te staan in het beoogde gebied van het kustbassin, in beleid en toekomstvisies zal er rekening gehouden moeten worden met de oplossingsrichting, zal er lange termijn financiële zekerheid moeten worden gerealiseerd en zullen er gesprekken gevoerd moeten worden met gelijksoortige instanties in België. Zeewaarts, maar ook de andere oplossingsrichtingen, hebben grote gevolgen voor alle functies en bewoners in het invloedsgebied. Naast beleidsmaatregelen en ruimtelijke reserveringen is het belangrijk om gebiedsbeheerders, gebruikers en bewoners mee te nemen in de plannen.

Kennis en onderzoeksagenda

Er zijn nog veel onzekerheden en onderzoeksvragen die beantwoord moeten worden om Zeewaarts mogelijk te maken. De hoofdpoging is om de komende jaren te komen tot een optimale regiospecifieke oplossing vanuit de oplossingsrichtingen Beschermen, Zeewaarts en Meebewegen.

Disclaimer

Dit rapport beschrijft het resultaat van een technisch-fysische uitwerking van de oplossingsrichting Zeewaarts voor de Hollandse kust. De verkenning is een gezamenlijk initiatief van de Staf Deltacommissaris, het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en de Topsector Water & Maritiem. Parallel aan de uitwerking Zeewaarts zijn uitwerkingen gemaakt voor de oplossingsrichtingen Beschermen (open/gesloten) en Meebewegen. Het rapport is het resultaat van een (ontwerp)proces van ca. 6 maanden en geeft een eerste beeld van een mogelijke locatie en de dimensies van een zeewaartse oplossingsrichting voor. Het resultaat kan als startpunt dienen voor vervolgonderzoek binnen het Kennisprogramma Zeespiegelstijging. Resultaten afkomstig uit deze notitie kunnen afwijken ten opzichte van conclusies in het hoofdrapport als gevolg van gemaakte keuzes en relaties met andere onderwerpen.

De resultaten van deze verkenning zijn tot stand gekomen door vijf georganiseerde hackathons en studies, berekeningen en uitwerkingen op basis van bestaande kennis en expert judgement door het kernteam. Er is dankbaar gebruik gemaakt van bestaande uitwerkingen en plannen die de afgelopen jaren zijn ontwikkeld. Gedurende deze hackathons hebben experts met verschillende thematische achtergronden meegedacht over oplossingsrichtingen en verdiepende analyses en discussies gevoerd. De resultaten van de hackathons zijn door het kernteam verder uitgewerkt en uiteindelijk gebundeld in dit rapport.

1. Inleiding



1.1 Uitdaging zeespiegelstijging

De zeespiegel stijgt, de snelheid is echter onzeker. Om ook in de toekomst ons waterbeheer en waterveiligheid op orde te hebben is het van belang dat we vooruit kijken.

In het Kennisprogramma Zeespiegelstijging wordt onderzocht wat de mogelijke gevolgen van zeespiegelstijging zijn op Nederland. Op basis van verschillende klimaatscenario's worden oplossingsrichtingen en maatregelen voor de lange termijn onderzocht om ons voor te bereiden op de gevolgen van een hogere zeewaterstand. Het programma levert kennis om op tijd keuzes te maken en opties open te houden voor de lange termijn inrichting en bescherming van Nederland.

Om de oplossingsrichtingen uit te werken tot technisch-fysisch realistische varianten zijn in 2023 drie consortia aan de slag gegaan; Beschermen (open + gesloten), Zeewaarts en Meebewegen. Deze consortia bestaan uit overheid, kennisinstellingen, ingenieurs- en ontwerp bureaus en waterbouwers. In totaal werkten 20 partijen mee aan de drie opgaven. De consortia zijn gevormd in het kader van een samenwerking tussen de Staf Deltacommissaris, het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) en de Topsector Water & Maritiem.

In dit rapport wordt de uitwerking gepresenteerd voor de Zeewaartse oplossingsrichting.

1.2 Doel en doelbereik

De afgelopen jaren zijn er verschillende plannen en ontwerpen gemaakt voor zeewaartse oplossingen voor de bescherming van Nederland. Dit zijn over het algemeen brede en integrale plannen. De hoofdvraag vanuit het Kennisprogramma Zeespiegelstijging is te komen tot een technisch-fysisch realistische variant voor de oplossingsrichting zeewaarts. Een minimale variant als input voor rekenmodellen en als technische bouwsteen voor vervolgonderzoek. De eerder ontwikkelde plannen zijn aan het begin van het proces beschouwd en waar relevant zijn bouwstenen gebruikt of meegenomen in deze verkenning.

Voor het Kennisprogramma Zeespiegelstijging zijn doelstellingen afgeleid waar de oplossingsrichtingen aan moeten voldoen:

- Rivierveiligheid: bescherming tegen overstromingen vanuit de rivieren, conform het huidig waterveiligheidsbeleid.
- Kustveiligheid: bescherming tegen overstromingen vanuit de zee, conform het huidig waterveiligheidsbeleid en behoud van het kustfundament voor functies.
- Zoetwatervoorziening: beschikbaarheid van zoetwater naar de toekomst toe op orde houden. Omdat een zeewaartse oplossing maar beperkt kan bijdragen aan de zoetwaterbeschikbaarheid was deze doelstelling volgend op de waterveiligheidsdoelstellingen. Wel is de impact op de zoetwaterbeschikbaarheid als een belangrijk ontwerpcriterium voor de waterveiligheidsmaatregelen gehanteerd.

1.3 Proces zeewaartse uitwerking

Het consortium Zeewaarts werd getrokken door Sweco. Het kernteam bestond daarnaast uit de Staf Deltacommissaris, het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Deltares, Arcadis, RHDHV, Witteveen+Bos, Van Oord, Boskalis en ZUS.

Het kernteam heeft een uitwerking gemaakt van een technisch-fysische uitwerking voor een zeewaartse oplossingsrichting op basis van een ontwerpproces met hackathons. Er zijn vijf hackathons georganiseerd, waarvan twee met alleen het kernteam en drie met een brede groep experts uit de sector. In deze brede hackathons is input geleverd voor het ontwerp, zijn schetsen en berekeningen gemaakt en is een analyse gemaakt van de impact van de oplossingsrichtingen en van mogelijke meekoppelkansen. Hiermee is waardevolle inbreng

verkregen van verschillende expertises in de sector. Een lijst met partijen die een bijdrage hebben geleverd in de hackathons is opgenomen in Bijlage 1. Aanvullend heeft de TU Delft met een aantal onderzoeken een bijdrage geleverd. Een lijst met op te vragen deelnotities is te vinden in Bijlage 2.

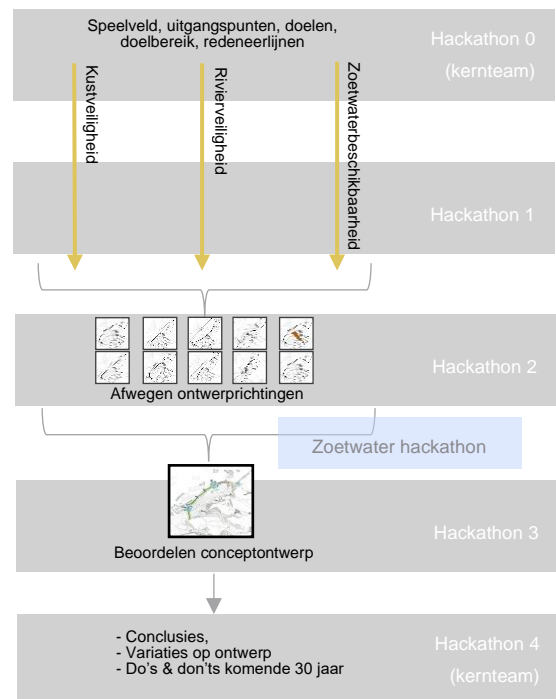


Figuur 1 Opening van de eerste brede hackathon in het landhuis van Sweco

Van redeneerlijnen naar ontwerprichtingen naar ontwerp

Het proces met de hackatons is gevisualiseerd in Figuur 2.

- In hackathon 0 heeft het kernteam het speelveld verkend, uitgangspunten opgesteld en aan de hand van doelen en het doelbereik redeneerlijnen uitgewerkt voor kustveiligheid, rivierveiligheid en zoetwaterbeschikbaarheid.
- De redeneerlijnen dienden als input voor hackathon 1. Per redeneerlijn zijn in groepen mogelijke ontwerpen uitgewerkt voor een zeewaartse oplossingsrichting.
- In hackathon 2 zijn de ontwerprichtingen globaal beoordeeld op doelbereik en het effect op verschillende functies. Om effecten op functies te bepalen is het uitgewerkte duidingskader van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging gehanteerd (RoyalHaskoningDHV, 2023a). De afwegingen zijn meegenomen in het uitwerken van een eerste samenhangend conceptontwerp voor de drie doelstellingen.
- Dit conceptontwerp is in hackathon 3 opnieuw en in meer detail beoordeeld op effecten, kosten en adaptiviteit. Aanvullend zijn variaties op het ontwerp onderzocht en do's en don'ts uitgewerkt voor actuele ruimtelijke planningsvraagstukken. Ook zijn kansrijke meekoppelkansen beoordeeld.
- In hackathon 4 heeft het kernteam de belangrijkste conclusies en bespreekpunten opgepakt. Dit heeft geleid tot de uitwerking in dit rapport, do's en don'ts voor ruimtelijke vraagstukken voor de komende 30 jaar, en een onderzoeks- en kennisagenda.



Figuur 2 Doorlopen proces Zeewaarts

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 omschrijft de aannames, een samenvatting van de redeneerlijnen, de ontwerpogave en de afbakening van deze technische fysische verkenning. In Hoofdstuk 3 wordt vervolgens de uitwerking van de Zeewaartse oplossingsrichting gepresenteerd. Hierna beschrijft Hoofdstuk 4 de effecten en gevolgen van de oplossingsrichting voor de bestaande kustlijn, evenals economische en maatschappelijke aspecten. Tot slot komen in Hoofdstuk 5 de overkoepelende conclusies, gevolgen voor Nederland en openstaande kennis -en onderzoeksvragen van de verkenning aan bod.



2. Ontwerpopgave en afbakening

2.1 Aannames

Ten behoeve van consistentie in de beoordeling ten opzichte van de andere consortia worden dezelfde randvoorwaarden en aannames toegepast (Deltares, 2023d). In deze paragraaf worden de belangrijkste besproken.

2.1.1 Zeespiegel

Voor de toekomstige zeespiegelstijging wordt uitgegaan van het 'zeer extreme' scenario uit de memo "Tijdslijnen voor Spoor 2 Kennisprogramma Zeespiegelstijging" (RWS, 2021). In dit scenario zou de zeespiegel in 2100 met 2 meter zijn gestegen en bedraagt de stijging in 2200 5,4 meter. Dit scenario gaat uit van een hoog uitstootscenario RCP8.5 in combinatie met versnelde afsmelting door instabiliteit van de ijskappen van Antarctica. Vanaf 2050 dient er in dit 'zeer extreme' scenario rekening te worden gehouden met een stijgsnelheid van 28 tot 42 mm/jaar respectievelijk voor de jaren 2100 en 2200.

2.1.2 Rivierafvoeren

De afvoerscenario's van de rivieren voor 2100 en 2200 zijn vastgesteld in (RWS, 2021) en sluiten aan op (KNMI, 2015), (Deltares, 2015) en (Deltares, 2020). Uitgangspunt is een toekomstige rivierafvoer die meeschaalt met de verwachte stijging in temperatuur voor het RCP8.5 scenario, waarbij de neerslag met 7% toeneemt per graad opwarming (het 'W_H' scenario). Voor de beoordeling van de strategieën worden de rivierafvoeren beschreven door een combinatie van statistieken van piekafvoeren en gestandaardiseerde golfvormen. De methodiek is beschreven in het achtergrond document "Reservoirmodel voor beschermen gesloten en zeewaarts" (Deltares, 2023c). De afvoeren voor de 1:1.250 jaar condities worden gegeven in Tabel 1. Voor de toekomstige scenario's wordt verondersteld dat de meest extreme afvoergolf lineair opgeschaald kan worden met de piek van de maatgevende afvoer.

Tabel 1 Overzicht van de huidige maatgevende piekafvoeren en de verwachting voor 2100 en 2200 voor een terugkeerfrequentie van 1:1250 jaar (Deltares, 2023c).

Locatie	Huidig WBI* (2017)	W _H 2100	W _H 2200
Rijnafvoer Lobith (m ³ /s)**	16.000	~ 18.000	~ 20.000
Maasafvoer Eijsden (m ³ /s)	3.900	4.800	5.300

* WBI is een afkorting voor Wettelijk Beoordelings Instrumentarium. De huidige systematiek is in 2017 vastgesteld.

** verondersteld wordt dat de afvoercapaciteit van de bovenstroomse takken van de Rijn minder limiterend zal zijn

Voor het de afvoerscenario's van de Rijn wordt er vanuit gegaan dat de bovenstroomse afvoercapaciteit in de Duitse Rijntakken wordt vergroot in de toekomst, waardoor de maatgevende piekafvoeren van de Rijn en de Maas toenemen. De extreme afvoer van de Rijn wordt herverdeeld naar de Waal (64%), de Nederrijn (21%) en de IJssel (15%).

De gemiddelde en lage afvoer van de Rijn en Maas zijn van belang voor een inschatting van effecten voor dagelijkse omstandigheden, bijvoorbeeld op de zoutindringing. Voor de Rijn bij Lobith wordt van een gemiddelde afvoer van 2.200 m³/s uitgegaan, en een laag daggemiddelde afvoer van 600 m³/s. Voor de Maas wordt uitgegaan van een gemiddelde afvoer van 250 m³/s, en een lage daggemiddelde afvoer van 10 m³/s. Voor de jaargemiddelde condities verdeelt de afvoer van de Rijn zich hoofdzakelijk naar de Waal (71%), en in mindere mate naar Nederrijn (13%) en IJssel (16%). De jaargemiddelde afvoer is bij de Nieuwe Waterweg ongeveer 2 keer zo groot als bij het Haringvliet.

2.1.3 Extreme waterstanden en golfcondities

Voor de beoordeling van de waterkeringen langs de Nederlandse kust wordt gebruik gemaakt van een 'toetspeil' dat is opgebouwd uit de combinatie van stormopzet, springtij en enkele andere factoren (o.a. scheefstand door windopzet en de kans op falen van het sluiten van waterkeringen). Voor de kustzone wordt uitgegaan van de condities bij Scheveningen uit WBI/2017, waar een waterstand van NAP +5,7m op kan treden in combinatie met een extreme golfconditie met een significante golfhoogte van 8,3 m en een periode van 13,5 s (Deltares, 2017). Verondersteld wordt dat de stormopzet en het getij niet zullen veranderen in de toekomst, waardoor het toekomstige toetspeil geschat kan worden door zeespiegelstijging op te tellen bij het huidige toetspeil.

Voor het benedenrivierengebied wordt een eerste orde schatting gebruikt van een maximum peil van NAP +3m, omdat de kades van het Noordereiland in Rotterdam in de binnenstad van Dordrecht en enkele lokale waterkeringen op dit peil liggen. Aangezien een zeewaartse oplossing is gericht op het voorkomen van grootschalige of complexe maatregelen in het binnenland, is aangenomen dat ook na zeespiegelstijging het waterniveau tijdens extreme condities tot dit peil mag stijgen zonder dat er een grote impact is op de veiligheid van de waterkeringen.

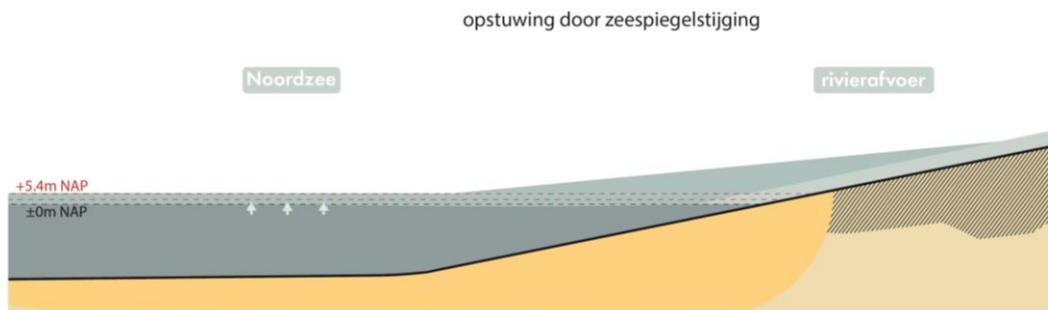
2.2 Ontwerpopgave

Bescherming tegen overstromingen is het belangrijkste doel van het voorgestelde concept voor een zeewaartse oplossingsrichting. Dit wordt in deze studie opgeknipt in een analyse van de 1) veiligheid tegen overstroming tijdens extreme rivierafvoeren en 2) de veiligheid tegen overstroming vanuit zee.

2.2.1 Rivierveiligheid

Rivierwater stroomt onder vrij verval naar zee. Dat zal ook zo zijn bij een hogere zeespiegelstand, maar dan zullen de waterstanden in de benedenrivieren navenant meestijgen (Figuur 3). Als gevolg van klimaatverandering zullen naast de zeespiegel ook de rivierafvoeren toenemen. Hierdoor zullen de waterkeringen niet meer voldoen en zijn aanvullende maatregelen nodig.

In het rivierengebied kunnen verschillende oplossingsrichtingen worden overwogen om bescherming te bieden tegen de hogere rivierafvoeren en zeewaterstanden. De meest voor de hand liggende optie is om de dijken te verhogen. Echter, de kosten en maatschappelijke impact daarvan zijn hoog, en de ruimtelijke inpasbaarheid in het verstedelijkte benedenrivierengebied complex. Dit geldt zeker voor extreme stijgingen van de zeespiegel van 2 tot 5 meter.



Figuur 3 Illustratie van de bovenstroomse opstuwing van de rivieren door zeespiegelstijging.

Het uitgangspunt bij het zoeken van een zeewaartse oplossingsrichting is dat vanwege de complexiteit en kosten van maatregelen in het binnenland de maatregelen zeewaarts van de riviermonding worden genomen. Een 'gesloten' zeewaarts gelegen kering is daarvoor effectief. Een 'open' oplossing met eilanden kan in combinatie met stormvloedkeringen zorgen voor een verlaging van de waterstandsopzet tijdens stormen, maar zorgt niet voor een reductie van de invloed van zeespiegelstijging op de waterstanden in het benedenriviereengebied, en is daarom niet voldoende effectief om maatregelen in het benedenriviereengebied te voorkomen.

2.2.2 Kustveiligheid

Behoud van de veiligheid van de duinen tegen doorbreken is een grote opgave als de zeespiegel snel stijgt. De duinen moeten de afslag tijdens extreme condities aankunnen zonder door te breken. Aanvullend daaraan moet de kustzone van voldoende sediment worden voorzien om te voorkomen dat er een langzame teruggang is van het strand, wat anders uiteindelijk ook zal leiden tot tekorten in de duinen.

De twee belangrijkste belastingen die zorgen voor duinerosie zijn de waterstand (zeespiegelstand, getij en stormopzet) en de golfhoogte, waarbij voor het bepalen van de waterveiligheid van een duinenkust de waterstand belangrijker is dan de golfhoogte. De sterkte van een duinwaterkering wordt met name bepaald door het volume zand dat boven het stormvloedpeil ligt en de steilheid van het strand. Bij een hogere zeespiegelstand neemt het stormvloedpeil toe, waardoor effectief een kleiner deel van het beschikbare duinvolume (i.e. het deel dat boven het stormvloedpeil ligt) bijdraagt aan het keren van het water. Bij een hogere zeewaterstand dient er daarom extra sediment toegevoegd te worden hoger in het duin.

Daarnaast is het van belang te zorgen dat het strand en de ondiepe vooroever over voldoende sediment beschikken. Anders zal er netto sediment van de duinen naar deze gebieden transporteren. Om een stabiel kustprofiel te waarborgen dient de ondiepe vooroever (tot een diepte van circa 8 meter) daarom door middel van suppleties geleidelijk mee te groeien met de zeespiegel. Duinafslag is geen probleem zolang de duinenrij maar niet doorbreekt, aangezien herstel van het duin kan optreden door windaanvoer van sediment onder kalme condities. De consequentie van het niet mee laten groeien van de ondiepe vooroever zal zijn dat het van het duin afgeslagen sediment op de ondiepe vooroever blijft liggen en dus niet meer door windtransport terug getransporteerd wordt naar het duin.

2.3 Gebiedsafbakening

Deze uitwerking van de zeewaartse oplossing richt zich op het realiseren van riviergeveiligheid, kustveiligheid en zoetwaterbeschikbaarheid voor de kustzone tussen West-Kapelle (Walcheren) en Callantsoog (Noord-Holland); zie Figuur 4. In dit gebied doet zich de grootste waterveiligheidsopgave voor wanneer in de toekomst extreme rivierafvoeren worden bemoeilijkt door een hogere zeespiegel. De problematiek van de Waddenzee en de Westerschelde kent specifieke uitdagingen en zijn door het consortium niet beschouwd. Dat is gedaan om binnen het gestelde projectkader de gewenste verdiepingsslag mogelijk te maken voor de problematiek van het Rijn-Maasmond gebied.



Figuur 4 Focusgebied van de Zeewaartse ontwerpogave

2.4 Scope afbakening

Dit rapport presenteert een technisch-fysisch realistische zeewaartse oplossingsrichting die onderbouwd is met expert-beoordelingen. De oplossing richt zich primair op de waterveiligheid en zoetwaterbeschikbaarheid en is daarom geen integrale ontwerpogave waarbij een breed palet aan maatschappelijke functies zijn meegenomen (zoals ecologie, waterkwaliteit, scheepvaart etc.). De effecten op deze andere functies zijn wel geëvalueerd, maar niet sturend geweest voor het ontwerp.

3. Uitwerking oplossingsrichting



Visualisatie van een dam in de zee door ZUS

3.1 Hollandse kust

De zandige kust tussen West-Kapelle en Den Helder is cruciaal voor de veiligheid van de daarachter liggende dijkkringgebieden. Zowel het strand, de vooroever en de duinen dienen bestendig gemaakt te worden tegen zeespiegelstijging. Dat betekent dat de duinen bestand gemaakt moeten worden tegen de afslag tijdens extreme condities. En daarnaast ook dat de kustzone van voldoende sediment voorzien moet zijn om een langzame teruggang van het strand en duin te voorkomen.



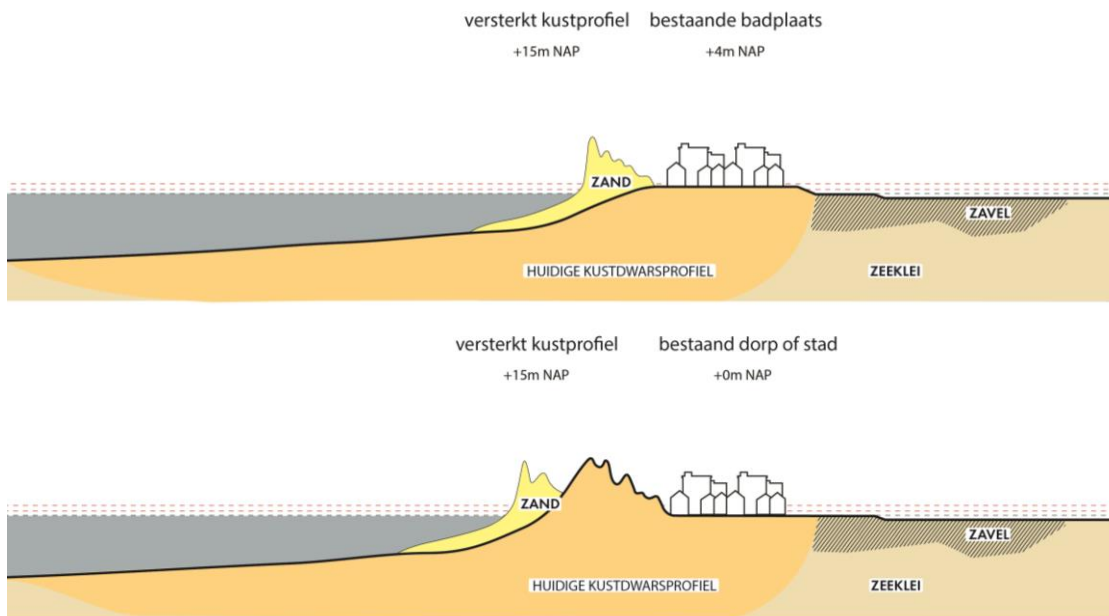
Figuur 5 Verbeelding van de toekomstige kust van Scheveningen achter een duin

Uit verkennende berekeningen van het kernteam blijkt dat kustveiligheid tot een zeespiegelstijging van enkele meters voor de gesloten kust van Holland op te lossen is door extra zand aan het kust- en duinprofiel toe te voegen. Zodra de stijgsnelheid van de zeespiegelstijging toeneemt zal er telkens meer zand op het strand en in de duinen zelf moeten worden geplaatst, maar dit is qua zandbeschikbaarheid en uitvoering niet onoverkomelijk. Wel dient er rekening mee te worden gehouden dat bij zeer hoge zeespiegelstijgsnelheden (i.e. een aantal cm's per jaar) niet alleen op de vooroever maar ook in de duinen zal moeten worden gesuppleerd. Het totaal in het kustprofiel extra benodigde zand (ten opzichte van de huidige situatie) om een zeespiegelstijging van ruim 5 meter tot aan het jaar 2200 te kunnen volgen wordt voor de Hollandse kust ingeschat op zesduizend tot tienduizend m³ per strekkende meter kust. In het jaar 2200 zal alleen voor de Hollandse kust orde 10 miljoen m³ per jaar aan onderhoud met suppletiezand nodig zijn. Omdat het een gesloten kust betreft is het onderhoud redelijk effectief. Voor andere delen van de Nederlandse kust is aanzienlijk meer sediment nodig om meegroeien mogelijk te maken.

Het aanzicht van de zandige duinenkust verandert door deze strategie nauwelijks, met uitzondering van de kustplaatsen die op lange termijn geheel achter een hoog duin (denk aan NAP +15 m of hoger) komen te liggen (zie Figuur 5). Daar waar dit ruimtelijk gezien onwenselijk is kunnen golfdempende structuren voor die kustlocaties worden overwogen (i.e. lokale offshore golfbrekers die golven tegenhouden (TU Delft, 2023b)). Andere opties, zoals verhoging van de bodemruwheid met harde elementen en/of onderwatervegetatie zullen nauwelijks effectief zijn.

Suppleties zullen overigens zelfs voor deze specifieke locaties met offshore golfbrekers nodig zijn om de kust te beschermen.

Aanvullend aan het verticaal laten meegroeien van de kustzone, kan ook gekozen worden voor een zeewaartse verbreding van de duinen (op het huidige strand en de vooroever); zie Figuur 6. Dit vereist echter meer sediment (om het uiteindelijke duinmassief boven stormvloedpeil te krijgen) dan een verhoging van de kustzone (inclusief duin) met enkel een compensatie voor de stijging van de zeespiegel. Voor kustverbreding dient het hele profiel van de ondiepe kustzone (tot een diepte van tenminste NAP -8 m) zeewaarts opgeschoven te worden. Ook het realiseren van een heel nieuw duin zeewaarts van het bestaande vergt veel sediment, maar kan vanuit veiligheidsoverwegingen of voor de drinkwaterbeschikbaarheid worden overwogen.



Figuur 6 Verbeelding van de toekomstige ligging van badplaatsen achter een nieuwe duin (boven) en dorpen achter een verbrede duin (onder).

De kust wordt door een zeewaartse verbreding van de duinen ook robuuster, wat betekent dat er minder vaak hoeft te worden gesuppleerd. Dit wordt niet gezien als de meest kritische opgave voor de zeewaartse variant, en daarom niet verder uitgewerkt, maar kan deel zijn van een ontwerp oplossing voor kusten die naast veiligheid ook andere functies zoals recreatie, natuur en drinkwatervoorziening dienen. Een randvoorwaarde voor kustonderhoud is echter wel dat er voldoende winbare zandvoorraden beschikbaar blijven, en de wingebieden in de tussentijd dus niet voor andere functies kunnen worden ingezet.

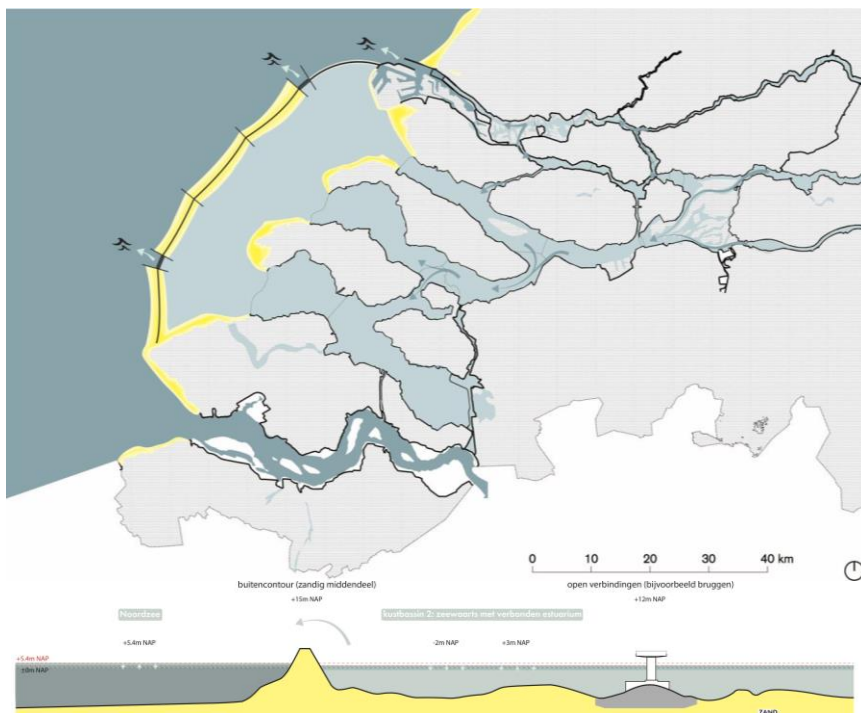
Een heel ander alternatief voor een meegroeïende duinenkust, is het realiseren van een volledig gesloten kering voor de kust, met daarachter een randmeer waarin de waterstand kunstmatig kan worden gereguleerd. Een dergelijk gesloten bekken kan worden gemaakt met dammen, zandlichamen of door het plaatsen van stormvloedkeringen in de gaten van een eilandenreeks voor de kust. Dit is vooral effectief als de lengte van het te onderhouden kustdeel afneemt (d.w.z. lengte kering is korter dan de beschermde duinenkust). Voor de Hollandse kust levert een zeewaartse zachte kering echter geen reductie van de te onderhouden lengte van de kust, en is daarom niet effectief. Voor een eilandenkust of voor estuaria kan de lengte van de kust wel worden ingekort, waardoor een dergelijke maatregel met een zeewaartse kering ook voor kustveiligheid interessanter wordt.

3.2 Kustbassin

Als gevolg van een hogere zeespiegelstand stijgen de extreme waterstanden in de benedenrivieren. Binnen het consortium is gezocht naar zeewaartse maatregelen die dat voorkomen, zodat er in het binnenland geen drastische ingrepen hoeven te worden genomen als de zeespiegel stijgt. Een effectieve oplossingsrichting is het maken van een zeewaarts gelegen kustbassin met pompen. Met behulp van die pompen kan het peil in dat bassin (het meerpeil) kunstmatig laag worden gehouden, zodat ook bij een meters hogere zeespiegelstand er geen stroomopwaarts effect van een hogere zeespiegel is. Als de zeespiegel zo ver is gestegen dat het rivierwater niet meer onder vrij verval kan afstromen zonder dat dit invloed heeft op de waterveiligheid, dan zal al het rivierwater moeten worden uitgepompt. Helemaal vreemd is ons dat overigens niet: we pompen al eeuwenlang het kwelwater en de neerslag uit onze polders naar zee. Het uitpompen van water uit het Rijn- en maas stroomgebied is echter wel een substantieel grotere opgave dan het uitpompen van water uit de Nederlandse polders.

3.2.1 Ruimtelijke uitwerking

In het voorgestelde ontwerp voor een zeewaartse kering is een keuze gemaakt voor de Zuidwestelijke delta. Een eerste overweging daarbij is dat de kustlijn in de Zuid-Westelijke delta sterk wordt verkort door het aanleggen van een kering. Dit betekent dat er een grote vermindering is van het aantal dijk- en kustsecties dat aangepast moet worden aan de zeespiegelstijging. Ook zijn hierdoor geen kostbare aanpassingen nodig aan de bestaande keringen van het Haringvliet, Grevelingen en Oosterschelde. Een tweede reden is dat het toevoegen van de Grevelingen, Het Volkerak-Zoommeer en de Oosterschelde aan een kustbassin zorgt voor een aanzienlijke toename van het bergend oppervlak. Waardoor volstaan kan worden met een kleiner kustbassin aan de zeezijde dan als gekozen zou worden voor een kustbassin langs de Hollandse kust. Als derde reden kan genoemd worden dat de toegang vanaf zee tot de Maasvlakte en Europoort in deze variant open gehouden kan worden voor zeeschepen, waar dat voor een noordelijker gelegen kustbassin niet zonder ingrijpende aanvullende maatregelen mogelijk is.



Figuur 7 Eindsituatie van de zeewaartse oplossingsrichting inclusief een indicatieve doorsnede.

De buitencontouren van het hierboven beschreven kustbassin volgen bij voorkeur een zo natuurlijk mogelijke kustvorm (boog) vanaf Walcheren tot aan een aansluiting met de buitencontour van de huidige 2^e Maasvlakte.

Figuur 7 toont het ruimtelijk ontwerp van het kustbassin. In dit ontwerp is een afweging gemaakt tussen enerzijds een maximaal oppervlak van het binnenmeer én anderzijds een zo vloeiend mogelijke vormgeving die de impact op de omliggende kust beperkt. Ook wordt de lengte van de kering beperkt door deze een vloeiende bolle vorm te geven. Dit heeft geleid tot het geschetste kustbassin met een oppervlak van 900km² zeewaarts van de bestaande kustwaterkeringen. In de volgende paragraaf wordt de werking hiervan verder toegelicht.

De Nieuwe Waterweg watert in deze uitwerking niet op het zeewaarts kustbassin uit, maar rechtstreeks in zee¹. Zo blijven de tweede Maasvlakte en Europoort bereikbaar voor grotere zeeschepen. Uitgangspunt is dat het binnenmeer geen grote sluis krijgt om verzilting in het bassin te voorkomen. Er zal hoogstens een recreatiesluis worden gerealiseerd om verzilting te voorkomen. In algemene zin zal het schutten van een grote sluis ook zeer gecompliceerd zijn als de zeespiegel buiten 2 tot 5 meter hoger ligt dan binnen. De Rotterdamse havens zullen in de toekomst moeten toegroeien naar de nieuwe situatie. Wat betekent dat 1) de kades van deze havengebieden op termijn opgehoogd moeten worden, 2) er aan de zeewaartse zijde uitgebreid moeten worden om de capaciteit van de binnenhavens te vervangen en 3) herinrichting zal plaats vinden om overslag mogelijk te maken tussen gescheiden zee- en binnenhavens met een eigen peil.



Figuur 8 Verbeelding van de toekomstige zeedijk

¹ Opgemerkt wordt dat het wel of niet meenemen van de Nieuwe Waterweg als onderdeel van het zeewaarts kustbassin in een latere ontwerpfase alsnog kan worden beoordeeld.

3.2.2 Werking

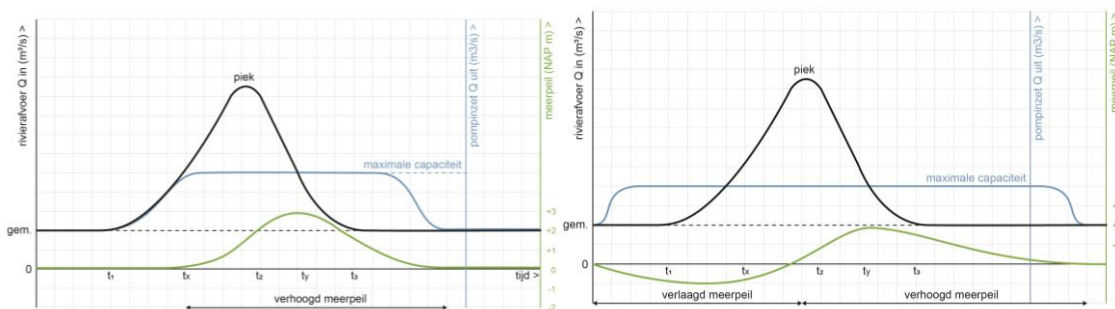
Voor het werkingsprincipe van deze oplossing (kustbassin met pompen) is een aantal factoren van belang, waaronder de (kans op) extreme rivierafvoeren, de maximaal toegestane fluctuatie van het meerpeil tijdens perioden van extreme afvoeren, de beschikbare pompcapaciteit en de natuurlijke afvoercapaciteit ofwel de spuicapaciteit. Er zijn verschillende combinaties mogelijk van begrensd oppervlak, pompcapaciteit en stijghoogte van het water in het bassin. Merk op dat bij een nog relatief beperkte zeespiegelstand (bijv. +2m) nog gebruik gemaakt kan worden van spuien van water tijdens hoogwaterafvoergolven. Het is wenselijk dat zo lang mogelijk gebruik gemaakt blijft worden van spui mogelijkheden om rivierwater naar zee te laten uitstromen. Het volume water dat zo afstroomt hoeft niet te worden uitgedompt, waardoor het aantrekkelijk is om zo lang mogelijk gebruik te maken van dit natuurlijke "spuivenster".

Het eerste uitgangspunt bij het ontwerp van het bassin is dat het oppervlak vastligt, aangezien het oppervlak van het randmeer is voortgekomen uit de beschouwing van de ruimtelijke vormgeving van de zeewaartse kering. Het totale oppervlak van het bassin bedraagt daarom 1.900 km². Dit is het oppervlak van het randmeer, de benedenrivieren, Haringvliet, Oosterschelde, Grevelingen en Volkerak-Zoommeer.

Een tweede uitgangspunt is dat maximale stijghoogte van het binnenmeer is vastgelegd op NAP+3m, aangezien er anders op de benedenrivieren ingrijpende maatregelen moeten worden genomen. De binnenstad van Dordrecht en het Noordereiland van Rotterdam zijn twee locaties waarvoor NAP+3m een kritische hoogte is.

Rekening houdend met de genoemde uitgangspunten betekent dit dat er een bepaalde pompcapaciteit vastgesteld dient te worden die de waterstanden van het bassin binnen de gestelde grenzen kan houden gedurende hoogwaterafvoergolven. Ook het streefpeil dat onder normale omstandigheden wordt gehandhaafd in het bassin is een belangrijke parameter, omdat deze het startpunt bepaald vanaf waar de waterstand tijdens een afvoergolf kan stijgen. Voor situaties waarin de zeespiegel nog beperkt is gestegen kan er nog gespuid worden.

Het volume water dat meekomt met de extreme rivierafvoergolf bepaalt hoeveel de waterstand gaat stijgen. Dit wordt niet alleen bepaald door de maximale afvoer maar ook de vorm van de afvoergolf (Deltares, 2023d). Een groot aantal mogelijke afvoergolven is doorgerekend met een reservoirmodel (Deltares, 2023c), waaruit gevalideerd kon worden welke combinaties van bergend oppervlak en pompcapaciteit leiden tot een waterstand die tijdens extreme afvoer het eerder benoemde maximale peil van NAP+3m niet overschrijdt.



Figuur 9 Schetsen van het verloop van de rivierafvoer, pompinzet en meerpeil tijdens een hoogwatergolf. Links zonder vóorpompen en rechts mét vóorpompen.

Een aanvullende strategie is daarbij om het meerpeil al voor aanvang van de afvoergolf te verlagen. In feite gaan de pompen al vol werken als er een extreme afvoergolf wordt voorzien. Door het voorpompen wordt de waterstand in eerste instantie verlaagd tot aan NAP-2m, zoals in Figuur 9 geïllustreerd. Hierdoor is meer bergingsruimte beschikbaar voor de afvoergolf, en is minder pompcapaciteit nodig. Doormiddel van voorpompen kan het kustbassin effectiever worden ingezet.

Voor de uiteindelijke berekening is uitgegaan van een gemiddeld waterpeil (streefpeil) van het bassin op NAP en een maximale waterstand in het bassin van NAP+3m, waarbij er bij de start van de afvoergolf (i.e. zodra een hoge afvoer wordt voorzien) ook wordt voorgepompt tot een waterpeil van NAP-2m. De zeespiegelstand wordt daarbij aangenomen op NAP+5,4m, wat betekent dat er niet gespuid kan worden. Voor deze situatie is berekend dat een kustbassin van 900 km² met een pompcapaciteit van 8.700 m³/s benodigd is om de extreme afvoergolven te kunnen bergen (zie Tabel 1). Dit bassinoppervlak bestaat uit het oppervlak van het randmeer achter de zeewaartse kering (900 km²) en het gecombineerde oppervlak van de benedenrivieren en bassins van de zuidwestelijke delta (1000 km²).

Bij een zeespiegelstand van +2m en een bergingsoppervlak van 1.900 km² is een lagere pompcapaciteit van 3.800 m³/s benodigd (Deltares, 2023c). Mogelijk is ook om in een tussenfase uit te gaan van alleen het bergende oppervlak van het benedenrivierengebied en de bassins van de zuidwestelijke delta (1000 km²) zonder de zeewaartse berging, waarvoor een pompcapaciteit van 7.900 m³/s benodigd is.

Tabel 1 Mogelijke combinaties van bergingsoppervlak en pompcapaciteit waarvoor het 1/10.000 jaar (Deltares, 2023c, p. 17)

ZSS [m]	Startpeil [m NAP]	Bergingsoppervlak [km ²]	Pompcapaciteit [m ³ /s]
2	0	450	11.900
2	0	1.000	7.900
2	0	1.900	3.800
5,4	0	450	18.700
5,4	0	1.000	15.700
5,4	0	1.900	12.200
5,4	0	3.450	8.000
5,4	-1	450	17.700
5,4	-1	1.000	14.200
5,4	-1	1.900	10.300
5,4	-2	450	16.900
5,4	-2	1.000	13.000
5,4	-2	1.900	8.700

3.2.3 Maakbaarheid

De grootschaligheid van de omvang en meerjarig, getrapte duur van de werkzaamheden betekent dat de maakbaarheid en uitvoering op een integrale, grote schaal moet worden bekeken, gebruikmakend van project specifieke (innovatieve) oplossingen. De verschillende bouwstenen van het ontwerp zijn op zichzelf bekende maritieme concepten. Echter ten behoeve van een economisch en dus efficiënte uitvoering, zal is het noodzakelijk slimme combinaties te zoeken in de faseringen (oplijnen van de componenten in een planning), keuzes voor materialen en opschaling van bestaande vaartuigen en installaties die matchen met de schaal van het project.

Het volume materiaal, de complexiteit van de uitvoering en de uitdagende omstandigheden van de gekozen zeewaartse locatie zorgen ervoor dat het materieel voor de aanleg van de contour zorgvuldig gekozen en ontworpen moet worden. De buitencontour bestaat uit een zandig middendeel met aan weerszijde caissons met ingebouwde pompgemalen om het rivierwater de zee in te pompen. De verbindingen tussen de pompgemalen en het land zijn zandig (zuiden) en steen (noorden). Met harde (caisson) elementen en zachte zandige kustsecties is de zeewaartse kering met beschikbare constructiemethodes in enkele decennia te realiseren.

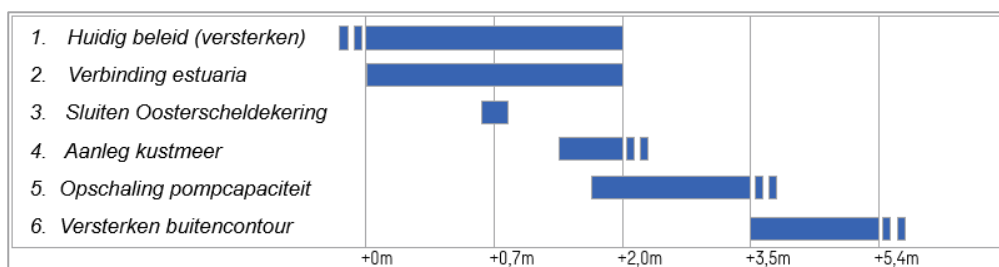
De pompen moeten continu in bedrijf zijn om te voorkomen dat de waterstand in het binnenmeer stijgt. Dergelijke pompsystemen (of turbines) zijn buiten Nederland in kleinere aantallen al toegepast. Ook in Nederland is ervaring met grote pompcomplexen, zo is er het spui- en gemaal complex in IJmuiden met een pompcapaciteit van 260m³/s. De meervoud aan benodigde pompcapaciteit voor het randmeer is aanzienlijk groter (8.700 m³/s). De

energievraag is met een reguliere energiecentrale op te vangen. De betrouwbaarheid van de systemen is echter van groot belang (TU Delft, 2023a). Het randmeer heeft een buffercapaciteit waarmee uitval van pompen, onder normale rivierafvoeren, enkele weken opgevangen kan worden.

3.2.4 Fasering

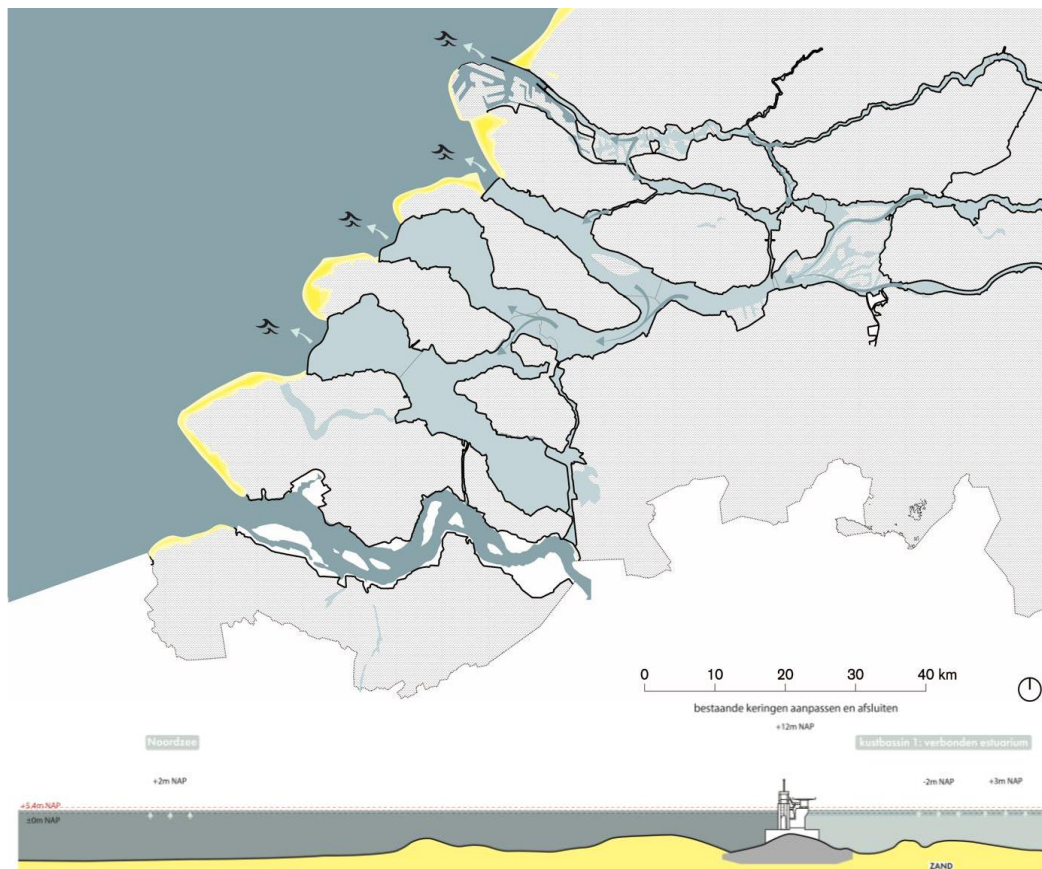
Fasering in termen van jaartallen is niet te geven, omdat de verschillende ‘fasen’ primair afhangen van de werkelijke zeespiegelstijging. De onzekerheid daaromtrent is nog dermate groot dat het noemen van jaartallen een schijnwerkelijkheid creëert. Wel is er een aantal logische fasen te onderscheiden (zie Figuur 10):

1. Doorgaan met het huidige veiligheidsbeleid tot een zeespiegelstijging van maximaal 2 m.
2. Verbinden van de Haringvliet met de Grevelingen en de Oosterschelde om de waterberging voor rivierwater te vergroten, waardoor zo lang mogelijk en optimaal gebruik kan worden gemaakt van het aanwezige systeem (zie ook Figuur 11).
3. Steeds vaker en op termijn permanent afsluiten van de stormvloedkering van de Oosterschelde om de veiligheid in het Oosterschelde bassin te kunnen handhaven. Ingeschat wordt dat bij een zeespiegelstand van orde NAP +0,7m de kering permanent moet worden gesloten. Aanpassing van de stormvloedkering ligt voor Zeewaarts niet voor de hand, aangezien dit na aanleg van een kustmeer geen meerwaarde meer heeft.
4. Realiseren van een zeewaarts kustbassin met een oppervlakte van circa 900 km² (totaal bergingsoppervlak 1.900 km²) tegen de tijd dat de zeespiegel 2 m is gestegen met een pompcapaciteit van 3.800 m³/s (Deltares, 2023c).
5. Opschaling van het pompvermogen tot ca. 8.700 m³/s naarmate de zeespiegel verder doorstijgt (Deltares, 2023c). Boven een zeespiegelstijging van 3m tot 4m is spuien onder gemiddelde condities niet meer mogelijk en dient de maximale pompcapaciteit van 8.700 m³/s te zijn geïnstalleerd.
6. Bij verder stijgende zeespiegelstanden verder dienen de buitencontouren steeds verder te worden versterkt. De contouren van het kustbassin hoeven dan echter niet meer te wijzigen.



Figuur 10 Overzicht van fasering gerelateerd aan zeespiegelstijging.

De fasering van de oplossing kent 2 knikpunten waarop de waterveiligheidsstrategie moet worden aangepast. De eerste betreft de afsluiting van de bestaande keringen in de zuidwestelijke delta en de Nieuwe Waterweg. Het tweede knikpunt betreft de sluiting en ingebruikname van de zeewaartse kering. Voor meer informatie wordt verwezen naar de notitie “Maakbaarheid van een zeewaartse oplossing” (Boskalis, 2023).



Figuur 11 Schets van een tussenfase (einde Fase 2) inclusief indicatieve doorsnede

3.2.5 Kostenschatting

De aanlegkosten (materialen en bouw) voor de nieuwe kustlijn zijn globaal berekend op 30-35 miljard euro, exclusief de benodigde kosten om het gebied in te richten en de aansluiting met Grevelingen en Oosterschelde en het verder uitweken van landinwaartse maatregelen. Ook zijn de kosten voor de bescherming van de Hollandse kust niet meegenomen. De onderhoudskosten voor de nieuwe kustlijn worden geschat op 250-350 miljoen euro per jaar. De kostenopbouw is globaal als volgt:

- Noordelijk stenig talud: 12 km lengte met 10.000 m³/m
 - Noordelijk pompemaal: 2 km caissons
 - Pompen en installaties noordelijk deel (capaciteit 4.000 m³/s)
 - Centraal zandige nieuwe kust: 35 km à 50.000 m³/m
 - Geleidingsdammen en strandhoofden: ongeveer 30 km
 - Zuidelijk pompemaal ~ noordelijk pompemaal 2km
 - Pompen en installaties zuidelijk deel (capaciteit 4.000 m³/s)
 - Zuidelijk zandig aansluitstuk: 12 km à 35.000 m³/m (ondieper dan centrale deel).
- Overigens is het onduidelijk of dit wel kan i.v.m. sluiting; dat zal te zijner tijd nader uitgewerkt moeten worden.

De kosten zijn gebaseerd op kentallen die uitgaan van het volgende:

- Prijspeil 2023, gebaseerd op vergelijkbare werken uitgevoerd in afgelopen jaren.
- Prijs gebaseerd op functionele eisen zonder aanvullende architectonische/ esthetische eisen.
- Sluizen en pompen Nieuwe Waterweg alsook aanpassingen aan andere harde keringen en bovenstroomse constructies om rivierafvoeren te controleren of de waterberging in de zuidwestelijke delta aaneen te sluiten worden al rond +2m zeespiegelstijging uitgevoerd en liggen buiten de scope van Zeewaarts.
- Werken aan Maasvlakte-2/ Maasvlakte-3 zijn niet meegenomen.
- Verliezen tijdens aanlegwerkzaamheden (zand/stenen) zijn afhankelijk van ontwerp en modelleringen en daarom op dit moment nog niet meegenomen.
- De investeringen voor meekoppelkansen zijn niet meegenomen.

Ten overvloede wordt hierbij opgemerkt dat het een eerste inschatting betreft. De nauwkeurigheid is desalniettemin eerder een factor 2 dan tientallen procenten. Pas na uitwerking van het basisontwerp kunnen betere kostenschattingen worden gegeven.

Voor de huidige fase van de verkenning is de hier gevolgde methodiek echter toereikend gevonden om een eerste beeld te krijgen van de kosten. De conclusie kan namelijk worden getrokken dat ook bij een twee keer zo hoge kostenpost de investeringen opwegen tegen het geïnvesteerd vermogen van laag Nederland en bovendien – hoewel fors – te dragen zijn.

3.2.6 Adaptiviteit

De meeste bouwstenen van de voorgestelde zeewaartse oplossing zijn schaalbaar of aanpasbaar aan verdere zeespiegelstijging. Dit geldt zowel voor de zandige oplossingen die voorgesteld worden voor de Hollandse kust als voor elementen van de voorgestelde zeewaartse kering. De pompcapaciteit is bijvoorbeeld uit te breiden, en de keringen kunnen worden verhoogd. Ook de zeehavens zijn aanpasbaar aan verdere zeespiegelstijging door kades te verhogen. Minder goed aanpasbare elementen zijn grote infrastructurele werken zoals beweegbare keringen/stuwen of sluizen, maar deze worden heel beperkt voorzien.

De mogelijkheden die er overblijven om later een ander beschermingsstrategie te kiezen (i.e. adaptatiepaden) zijn na aanleg van de zeewaartse kering beperkt tot het (gedeeltelijk) afleiden van de rivierafvoeren naar het IJsselmeer of naar een gecompartmenteerd deel van de zuidwestelijke delta. Wel zijn er sub-strategieën voor het verder doorgroeien met het bassin (o.a. door doorgroeien van pompcapaciteit of het verhogen van de toelaatbare stijghoogte). Voor meer informatie wordt verwezen naar de notitie “Adaptiviteit van een zeewaartse kustversterking” (Deltares, 2023a).

3.3 Meekoppelkansen

Er is een viertal kansrijke meekoppelkansen geselecteerd die direct aansluiten op het voorgestelde concept en grote maatschappelijke meerwaarde bieden (Van Oord, 2023). Twee van deze meekoppelkansen zijn alleen mogelijk bij een compartimentering van het kustbassin.

Bredere duinenrij

De nieuwe kustlijn biedt mogelijkheden voor nieuwe functies. Indien de kustlijn wordt uitgevoerd als duinenrij is deze interessant voor de ontwikkeling van nieuwe natuur, vergelijkbaar met de huidige kustlijn. Algemeen kan worden gesteld dat een bredere duinenrij voor een gevarieerdere omgeving zorgt en daarmee aantrekkelijker wordt voor natuurontwikkeling. Dit geldt met name als er dynamische habitats worden gecreëerd met lokale duingroei (of erosie) en overstuiving van zout en zand. Een gevarieerde omgeving is ook interessant voor nieuwe recreatiegebieden.

Getijde natuur (zout)

In delen van het bassin zou een artificieel getij gecreëerd kunnen worden waardoor lokaal getijde natuur ontstaat (zout/brak) en daarmee een bijdrage wordt geleverd aan de biodiversiteit in het gebied. Belangrijke voorwaarde is dat dit deel van het bassin zout is. Een voldoende (kunstmatig) getijdeslag is alleen te realiseren wanneer er compartimenten worden aangebracht in het bassin. Een alternatief in geval van een zoet meer, is het aanbrengen van overstroombare natuur met aansluitend een habitat van ondergedoken waterplanten.

Getijde natuur is in het huidige stadium geïdentificeerd als meekoppelkans. In een opvolgend ontwerpproces zou een dergelijke maatregel als compenserende maatregel voor de Natura2000 bestempeld kunnen worden.

Valmeer: energieopslag door waterstandsverschillen

Met een valmeer kan de waterstand in een gedeelte van het bassin verlaagd worden met pompen/turbines. Het doel is om energie op te slaan in periodes met een overcapaciteit aan (duurzame) energie. Deze energie kan teruggewonnen worden als er een grote energievraag is. Binnen de zeewaartse oplossing wordt een grote hoeveelheid pompcapaciteit geplaatst voor het afpompen van de rivierafvoer die onder normale weersomstandigheden hiervoor ingezet wordt. Het valmeer dient een apart compartiment te zijn in het grotere bassin met versterkte wanden, omdat het niet haalbaar is in het hele bassin de waterstand sterk te verlagen (circa 15 m), wat nodig is voor een efficiënte energieopwekking. Er dient rekening te worden gehouden met een aanvullende overlaat-/doorlaatconstructie vanuit het grote bassin om de pompcapaciteit van het valmeer ook in te kunnen zetten voor het leegpompen van het gehele bassin. De pompinstallaties en aansluitingen dienen geschikt te zijn voor energieopwekking. Mogelijk kan er in het valmeer getijde natuur worden gecreëerd, dit gaat dan wel ten koste van het werkzame oppervlak.

Extra landoppervlak

Landaanwinning kan een bijdrage leveren aan andere functies zoals recreatie, woningbouw of industrie. Een beperkt deel (bijv. maximaal 5%) van de totale kosten kan geïnvesteerd worden in extra land waarop verschillende objecten/functies een plek krijgen. In het bijzonder kan gedacht worden aan functies die men liever niet in dicht bewoonde gebieden wil aanbrengen.

4. Impact van het bassin op functies



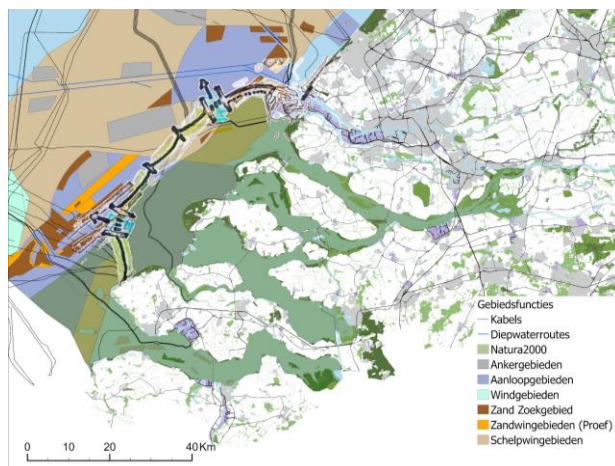
Visualisatie van kustplaats achter duinen
door ZUS

Het realiseren van een zeewaarts bassin heeft invloed op verschillende functies. In dit hoofdstuk wordt deze invloed van een kustbassin beschouwd. Omdat de autonome situatie ten tijde van de realisatie van het kustbassin moeilijk is in te schatten, is geen uitwerking gegeven van de referentiesituatie (huidige situatie + autonome ontwikkeling). Er wordt een korte omschrijving gegeven van de te verwachten effecten aan de hand van beschikbare informatie. Onderstaande geeft geen totaalbeeld maar geeft eerste inzichten.

4.1 Ruimtegebruik

Hoe de Noordzee gebruikt wordt ten tijde van 2 tot 5,4 meter zeespiegelstijging is onduidelijk. Bij een vergelijkbaar ruimtegebruik als in de huidige situatie zal het schetsontwerp overlap hebben met een aantal functies:

- Natura2000: een groot deel van de gekozen locatie is op dit moment Natura2000 gebied. De aanleg van een kustbassin zal invloed hebben op de aanwezige flora en fauna. Het is onzeker hoe de Natura2000 regelgeving functioneert bij een klimaat dat hoort bij 2 tot 5,4 meter zeespiegelstijging.
- Zandwinning: er liggen zandwin-, schelpenwin- en zandwinzoekgebieden op de plek waar het schetsontwerp van het kustbassin is getekend. Zand winnen in gebieden waar later een zeewaartse oplossing komt te liggen is onwenselijk, om het materiaal te behouden voor toekomstige realisatie.
- Aanlandingsplaatsen: er lopen enkele kabels door het gebied. Bij de aanleg van een zeewaartse oplossing zal rekening moeten worden gehouden met ondergrondse kabels. Ook lopen er andere leidingen over de zeebodem, hier geldt hetzelfde voor.
- Andere functies: bij variatie in het ontwerp of ontwikkelingen in het ruimtegebruik op de Noordzee kan het zijn dat het ruimtebeslag overlapt met bijvoorbeeld windparkgebieden of diepwaterroutes.



Figuur 12 Overlap van huidige gebruiksfuncties en zeewaarts kustbassin.

Het ontwerp van het kustbassin kan worden aangepast aan de locaties van functies. Echter, er zijn, mede door de aanwezigheid van het Natura2000 gebied, in het gebied voor de Zuidwestelijke delta relatief weinig functies aanwezig. Het reserveren van ruimte in het gebied waar het kustbassin de komende jaren mogelijk wordt voorzien heeft daarmee relatief weinig gevolgen voor andere functies.

4.2 (Zoet)waterbeschikbaarheid

Een belangrijk doel van een zeewaartse oplossing is om een zo positief mogelijke impact te hebben op de beschikbaarheid van zoetwater in de toekomst. De zoetwaterbeschikbaarheid in Nederland zal de komende jaren verder onder druk komen te staan als gevolg van zeespiegelstijging, de toenemende watervraag en verandering in het debietregime van de Maas en de Rijn. Als gevolg van zeespiegelstijging zal verzilting in poldergebieden verder toenemen via kwel. Ook kunnen drinkwaterinnamepunten bedreigd worden door de zoutwatertong in de rivieren en zoetwaterlenzen in duinen door de vergrootte druk van kwel uit de ondergrond. Zoetwaterbeschikbaarheid is van belang voor het doorspoelen van polder- en boezemwater en

voor waterwinning ten behoeve van drinkwaterproductie, proceswater voor bedrijven, land- en tuinbouw. Voor meer informatie wordt verwezen naar de notitie “Impact zeewaarts op zoetwater” (Deltares, 2023b), de belangrijkste afwegingen voor de zeewaartse oplossingsrichting staan hieronder omschreven, en aanvullend de notitie “Effecten van een zeewaartse oplossing en samenhang met waterkwaliteit” (Sweco, 2023a).

Effecten

In het ontwerp voor de zeewaartse oplossingsrichting is nog geen expliciete keuze gemaakt voor een zoet- of zoutwater bassin. De volgende effecten zijn benoemd:

- De aanleg van een zeewaarts randmeer met verlaagd peil zal er voor zorgen dat zoute kwel naar achterliggende poldergebieden verminderd wordt (i.e. niet of verminderd toeneemt met de zeespiegel). Dit heeft een positief effecten op de waterbehoefte met name in de zuidwestelijke delta. Waar de zuidwestelijke delta als gevolg van zeespiegelstijging zonder aanleg van het kustbassin rekening moet houden met autonome verzilting, kan de aanleg van een bassin er toe leiden dat de beschikbaarheid van zoetwater voor bijvoorbeeld landbouw en drinkwater op peil blijft.
- Met het huidige ontwerp zal er in geval van extreem lage rivierafvoeren onvoldoende zoetwater beschikbaar zijn om het meer zoet te houden. Dit heeft gevolgen voor de waterkwaliteit en ecologie (zie volgende paragraaf).

Mogelijke ontwerpoptimalisaties

Er zijn diverse ontwerpoptimalisaties mogelijk om zoetwaterbeschikbaarheid te verbeteren.

Deze optimalisaties zijn nog niet meegenomen in het ontwerp:

- Compartimentering van het waterbergingsgebied met keuzes voor zoete, brakke en zoute zones kan helpen om delen van de waterberging en de zuidwestelijke delta zoet te houden, waardoor het water kan worden gebruikt door landbouw, industrie en drinkwater.
- Door de aanleg van voorzieningen bij kunstwerken kan de zoutindringing worden beperkt. Op kwetsbare locaties kunnen onder de kustlijn putten worden geslagen waaruit onttrekking van zout grondwater plaatsvindt dat onder de dijken en duinen door richting de polders stroomt. Dit verlaagt de (zoute) kweldruk, en daarmee de kwelvolumes in de polders.

4.3 Waterkwaliteit en ecologie

Klimaatverandering zal autonoom sterke invloed hebben op de ecologische kwaliteit van de zuidwestelijke delta. Klimaatverandering zal leiden tot extremer weer, hogere temperaturen en zeespiegelstijging. Gezamenlijk zullen deze ontwikkelingen ertoe leiden dat er in sterke mate aanspraak wordt gemaakt op het aanpassingsvermogen van de aanwezige flora en fauna. De klimaatverandering zal ertoe leiden dat de milieumomstandigheden veranderen ten opzichte van de huidige situatie met onder meer grotere waterdiepte in de bestaande delta en toenemende verzilting tot gevolg. Hiermee zal de habitatgeschiktheid binnen de contouren van de nu beschermde natuurgebieden voor veel soorten veranderen en in veel gevallen verslechteren. De meeste habitattypen zullen wel aanwezig blijven, maar de ruimtelijke verdeling en het aanwezig oppervlak per habitatype zal wijzigen ten opzichte van de huidige situatie. De geschikte leefgebieden zullen voor veel soorten landinwaarts verschuiven met het stijgen van de zeespiegel. Andere habitats zullen wellicht ontstaan waardoor andere soorten zich zullen vestigen. Hieronder volgen de belangrijkste conclusies, verdere informatie kan terug gevonden worden in de notities “Effecten van een zeewaartse oplossing en samenhang met waterkwaliteit” (Sweco, 2023a) en “Effecten van een zeewaartse oplossing op natuur” (Sweco, 2023b).

Effecten

De aanleg van een kustbassin zal de fysisch-chemische condities in de zuidwestelijke delta ingrijpend veranderen en daardoor een sterke uitwerking hebben op de ecologie en waterkwaliteit langs de Nederlandse kust:

- De aanleg van het kustbassin zal zich zonder aanvullende maatregelen binnen het bassin vertalen in verlies aan getijdendynamiek, verminderde zoutindringing, afname in ecologische connectiviteit met zee, verzoeting van brakke en zoute delen van de delta en verlies aan winddynamiek in de bestaande duinen. Deze veranderingen zullen zich vertalen in een verlies aan biodiversiteit binnen de delta.
- De aanleg van het bassin zal daarnaast ook een sterk uitstralings-effect hebben op de Hollandse kust en de Waddenzee door verandering in stromingspatronen, transport van zand, nutriënten en organismen en door verstoring van natuurlijke migratieroutes.

De veranderingen in sturende milieufactoren binnen het kustbassin hebben directe uitwerking op de waterkwaliteit en ecologie binnen het bassin. De waterkwaliteit wordt bepaald door de totale voedselrijkdom van het watersysteem en door de fysisch-chemische condities. De voedselrijkdom bepaalt hoeveel biologische productie er kan plaatsvinden, terwijl de fysisch-chemische condities sturend zijn voor de selectie aan flora en fauna soorten die de productie voor hun rekening kunnen nemen. Waterdiepte en zoutgehalte zijn hierbij dominante limiterende factoren en zijn sterk sturend in de habitatgeschiktheid.

De verwachting is dat het kustbassin, zonder aanvullende maatregelen, brak tot zoet zal worden met zout water in de diepe delen van het bassin. Voor de meeste soorten geldt dat het aanpassingsvermogen aan veranderingen in zoutgehalte beperkt is. Bij zowel zoete als zoute condities kan zich een stabiele ecologische gemeenschap vormen die de waterkwaliteit kan stabiliseren. In de praktijk is er slechts een beperkt aantal soorten dat zich onder brakke condities kan handhaven, waardoor de soortendiversiteit in brakke wateren veel kleiner is dan in zoet of brak water. Wanneer het kustbassin grotendeels brak wordt zal het systeem relatief soortenarm zijn, waardoor slechts een kleine selectie aan soorten kan bijdragen aan het stabiliseren van de waterkwaliteit. De kans op een slechte waterkwaliteit is daardoor groot.

Een aanvullend punt van zorg is het ontstaan van gelaagdheid waarbij zoute onderlagen ontstaan binnen het kustbassin. Naast zout zal er ook organisch materiaal in de diepe onderlagen ophopen. De afbraak van organisch materiaal in de zoute onderlaag vraagt veel zuurstof, waardoor zuurstofloosheid ontstaat. Deze zuurstofloosheid maakt de diepere delen van het water voor de meeste plant- en diersoorten tot ongeschikt leefgebied. Daar komt bij dat de zuurstofloosheid leidt tot nalevering van voedingsstoffen vanuit de waterbodem. Beide effecten leiden tot grote kans op slechte waterkwaliteit. De situatie zal daarbij lijken op de huidige situatie in het Grevelingenmeer.

Grevelingenmeer

Het Grevelingenmeer, een voormalige zeearm, is na de afsluiting verzoet met een verarming van de ecologie tot gevolg. Vervolgens is zeewater ingelaten op het inmiddels brakke meer. Door stratificatie leidde dit tot zuurstofloosheid aan de waterbodem in de diepste delen van het meer. Deze zuurstofproblematiek werkt tot op de dag van vandaag door in de ontwikkeling van de flora en fauna in het meer. Het voornaamste probleem in de Grevelingen is het ontbreken van de natuurlijke dynamiek die doorgaans wel in zoutwatergebieden aanwezig is.

Mogelijke ontwerpoptimalisaties

Om nadelige effecten van de zeewaarts op de ecologie en waterkwaliteit te beperken zou het kustbassin gecompartmenteerd moeten worden. Hiervoor zijn verschillende denkrichtingen

mogelijk (zie ook Figuur 13). In alle denkrichtingen is het belangrijk om verzilting via 'de achterdeur' via de Nieuwe Waterweg en het Haringvliet te voorkomen door het (deels) afsluiten van de Nieuwe Waterweg.

De eerste optie (1) is erop gericht om bestaande waardevolle mariene ecologie in Oosterschelde, Grevelingen en voordelta te behouden. Dit kan door een compartimentering aan te brengen waarbij de Haringvliet en het noordelijk deel van het kustbassin worden gebruikt voor de afvoer van rivierwater. De Oosterschelde en zuidelijk deel van het kustbassin (en eventueel Grevelingen) blijven zout waarbij de getijdendynamiek kan worden gesimuleerd door middel van een aangepast pompregime. Alleen in geval van zeer extreme rivierafvoeren is de waterberging van het 'zoute deel' nodig. In die situaties (die bijvoorbeeld minder dan eens per 100 jaar optreden) vindt schoksgewijze verzoeting plaats.

Een andere denkrichting (2A) is om in te zetten op een zoet milieu in de bestaande zeearmen. Hiermee wordt een kostbare compartimentering in het kustbassin voorkomen. De bestaande keringen in de Haringvliet, Grevelingen en Oosterschelde kunnen worden aangepast en gebruikt om scheiding aan te brengen tussen de waterkwaliteit in het kustbassin en de bestaande zeearmen. Met name in droge zomers zal de rivierafvoer echter te laag zijn om ook het gehele kustbassin zoet te houden. Zonder compartimentering zal het bassin brak worden door de zoute kwaliteit vanuit zee en moet rekening gehouden worden met grootschalige waterkwaliteitsproblemen. Een belangrijk voordeel van deze optie is dat in de zeearmen geen schoksgewijze veranderingen van de waterkwaliteit optreden en de zoetwaterbeschikbaarheid voor de Zeeuwse delta beter blijft dan in de autonome situatie.

Een variant hierop (2B) is de aanleg van een dam parallel aan de nieuw kustlijn. Hierdoor wordt de zoute kwel afgevangen en geconcentreerd in een zout deel van het bassin. Dit deel is tevens als valmeer inzetbaar. Het gedeelte van het bassin aan de landzijde blijft zoet, evenals de bestaande zeearmen. Ter voorkoming van verzilting is het van belang dat het peil in het valmeer altijd lager is dan het peil in het zoete deel van het kustbassin. Aandachtspunt is dat de dam (eventueel vorm te geven als overlaat) geen beperkingen oplevert voor de afvoer van rivierwater naar zee



Figuur 13 Mogelijke ontwerpoptimalisaties voor het kustbassin

4.4 Maritieme infrastructuur

De Noordzee is een van de drukst bevaren zeeën ter wereld, bijna alle toepassingen die je kunt doen op zee worden in Nederland uitgevoerd: visserij, kabels en leidingen, zandwinning, olie- en gaswinning, windenergie op zee, militair gebruik, nieuwe initiatieven zoals zeewierkweek, (plannen voor) CO₂-opslag, recreatie en toerisme, plus dat alle grote West-Europese havens aan het Nederlands deel van de Noordzee liggen.

Een zeewaartse oplossing kan negatieve en positieve effecten hebben op haven en scheepvaartactiviteiten. Dit is afhankelijk van de uitvoering van het bassin. Het bassin zoals omschreven in H3.2 sluit aan op de Tweede Maasvlakte waarmee vrije toegang wordt behouden tot het merendeel van de grote zeehavens.

Ter vervanging van de Maeslantkering, wordt een sluis voorgesteld in de Maasmonding. De aansluiting van havens op het achterland wordt daarmee beperkt, immers, door overslag over land of via sluisen vermindert de capaciteit. Dit leidt tot een tragere afwikkeling van goederen en kan gevolgen hebben voor het achterland. Ook kan (gedeeltelijke) afsluiting van de Nieuwe Waterweg invloed hebben op de concurrentiepositie van de havens van Rotterdam (en Amsterdam) ten opzichte van Antwerpen en Hamburg. Echter, de relatieve impact kan beperkt blijven aangezien deze havens ook te maken met zeespiegelstijging. Afsluiting van de Nieuwe Waterweg heeft mogelijk ook een positief effect op de rivierwaterstanden, waardoor de bevaarbaarheid tijdens extreem droge zomers verbetert.

Bij het plaatsen van een sluisencomplex in de Maasmonding zal ook een gemalencomplex nodig zijn. Het plaatsen van een gemalencomplex in de buurt van de Eurogeul of Maasgeul om rivierwaterstanden weg te pompen kan zorgen voor onacceptabele dwarsstroming voor schepen.

Ontwerpsuggesties voor het behouden van vrije toegang tot de haven kunnen zijn het verder verplaatsen van de haven zeewaarts (derde Maasvlakte) of een uitgebreid sluisencomplex met voldoende gegarandeerde capaciteit om just-in-time management te garanderen. Voor binnenvaart kan door het sturen (verhogen) van het waterpeil in het kustbassin gezorgd worden voor hogere rivierwaterstanden tijdens lagere afvoeren.

Twee verdiepende analyses zijn terug te vinden in de notities “Gevolgen voor scheepvaart en infrastructuur” (RoyalHaskoningDHV, 2023b) en “Moving Seawards, Variant 2: Implications for Maritime Transport in The Netherlands” (TU Delft, 2023c).

4.5 Gebruiksfuncties

De economische en maatschappelijke impact omvat een breed scala aan onderwerpen. In dit hoofdstuk is van een aantal belangrijke thema's een korte omschrijving van het effect van een zeewaarts kustbassin gegeven.

De Zuidwestelijke Delta is een dunbevolkte regio maar is populair voor recreatie en toerisme. Als gevolg van verzilting staat landbouw onder druk. Hoe dit zich naar de toekomst ontwikkelt is onduidelijk. De zeewaartse oplossingsrichting kan een positief en een negatief effect hebben op de economie en maatschappij in het gebied. Of een effect optreedt en in welke mate, hangt af van keuzes en beleid in de komende decennia en de uitwerking van de zeewaartse oplossing.

Een zeewaartse oplossing kan zorgen voor een veilige en toekomstbestendige zuidwestelijke delta met nieuwe kansen voor ontwikkeling. Tegelijkertijd kan de ontwikkeling er voor zorgen dat bestaande functies zoals recreatie en toerisme op en rond het water minder worden.

- **Land, tuinbouw en visserij:** als gevolg van een kustbassin kan verzilting afnemen en de zoetwatervoorziening toenemen. Dit biedt kansen voor land- en tuinbouw die op dit moment op de lange termijn nog rekening houdt met verzilting. Een bassin kan echter zorgen voor afname of verdwijnen van visserij uit de regio doordat de toegang tot de zee wordt bemoeilijkt (voor boten maar ook voor migrerende vissen met een negatief effect op de visstand).
- **Recreatie en toerisme:** de huidige delta en zee bieden veel ruimte voor toerisme. De nieuwe kustlijn kan kansen bieden voor nieuwe recreatiemogelijkheden en toerisme: een nieuw deltawerk, nieuwe stranden of andere recreatieve meekoppelkansen. Tegelijkertijd kan het zo zijn dat de bestaande vormen van recreatie bij 2 tot 5,4 meter zeespiegelstijging niet meer realistisch is. De zeewaartse oplossing kan dan juist een bedreiging zijn voor recreatie en toerisme door het veranderen van kustdynamiek en natuurgebieden. Bestaande buitendijkse recreatievoorzieningen en havens worden direct beïnvloed wanneer waterstandsfluctuaties veranderen.
- **Wonen en werken:** afhankelijk van ontwikkelingen in werkgelegenheid (door de aanleg van het kustbassin en de effecten daarvan op de primaire sector, recreatie en toerisme) en door veranderingen qua bereikbaarheid kan het zijn dat mensen naar de regio toetrekken of juist wegtrekken.
- **Infrastructuur:** als gevolg van het kustbassin kunnen bestaande infrastructurele werken zoals kabels en leidingen, windmolenparken, havens, wegen en de deltawerken worden verwijderd of aangepast. Nieuwe kunstwerken kunnen worden toegevoegd. De deltawerken hebben naast bescherming tegen de zee ook een belangrijke functie in verbinding van eilanden doordat er wegen op de werken aanwezig zijn. Dit vraagt in de toekomst mogelijk om andere kustwerken en infrastructuur om de delta bereikbaar te houden.

Het is van belang dat bij het openhouden van opties en later het maken van een keuze voor een zeewaartse oplossingsrichting goed gekeken wordt naar functies in de omgeving. Een zeewaartse oplossingsrichting heeft veel invloed op de economie en maatschappelijke functies in het gebied.

5. Stappen naar de toekomst



Zeesluis IJmuiden ter illustratie
foto: Ossip van Duivenbode

5.1 Conclusie zeewaarts

Een consortium van de overheid, marktpartijen en kennisinstituten heeft onderzocht of een zeewaartse oplossing effectief is voor het behouden van kust- en rivierveiligheid voor extreme zeespiegelstijging tot 5,4 meter in het jaar 2200, waarbij ook de zoetwaterbeschikbaarheid wordt gewaarborgd. Uit het ontwerpproces is een oplossingsrichting naar voren gekomen die deze doelen kan realiseren voor de Rijn-Maasmonding. De Schelde en het Waddengebied zijn buiten beschouwing gebleven.

De technisch-fysische oplossingsrichting bestaat uit een kustbassin voor de zuidwestelijke delta, dat het rivierwater opvangt tijdens hoge afvoeren. Met behulp van pompen kan het peil in dat bassin kunstmatig laag worden gehouden, zodat ook bij een meters hogere zeespiegelstand er geen stroomopwaarts effect van een hogere zeespiegel is. Het realiseren van een binnenmeer dat (deels) zoet is, zorgt voor een grotere beschikbaarheid van zoetwater voor doorspoelen van polders en drinkwater in deze regio. Ook beperkt peilbeheer van het binnenmeer de kweldruk naar de polders. De Maasvlakte en Europoort behouden hierin een open toegang naar zee, en overige havens met een sluis. Door het (gedeeltelijk) afsluiten van de Nieuwe Waterweg is significant minder zoet water nodig voor bestrijding van verzilting, wat met name in droge zomers ten goede kan komen aan andere delen van het land. Ook heeft afsluiting een positieve impact op de rivierpeilen, wat in droge zomers een positieve impact heeft op de bevaarbaarheid voor de binnenvaart.

De Hollandse kust zal ook bij extreme stijging van de zeespiegel nog onderhouden worden door zandsuppleties, eventueel aangevuld met lokale constructies. Effect zou wel zijn dat kustplaatsen op lange termijn geheel achter een hoog of breed duin komen te liggen.

Deze oplossingsrichting is niet geoptimaliseerd en vraagt nadere uitwerking, maar moet gezien worden als een principe-oplossing die de mogelijkheden van het concept illustreert.

5.2 Gevolgen en betekenis voor de transitieopgaven voor Nederland

De komende jaren wordt verder onderzoek gedaan naar de verschillende oplossingsrichtingen Beschermen, Zeewaarts en Meebewegen. Dat betekent dat voorlopig nog geen definitieve keuzes worden gemaakt en onzekerheden blijven bestaan. Tegelijk staat Nederland voor een ruimtelijke transitie met grote investeringen in de woningbouwopgave, landelijk gebied, energietransitie en infrastructuur. Het is belangrijk dat deze investeringen de mogelijk toekomstige aanleg van Zeewaarts niet in de weg staan. Daarvoor zijn de onderstaande maatregelen belangrijk in beleid en ruimtelijke reserveringen.

- Bij alle grote investeringsopgaven in de bredere kustzone rekening houden met de oplossingsrichting Zeewaarts. Voorbeelden hiervan zijn:
 - Vervangings- en renovatieopgave (V&R): bij kunstwerken of netwerken van kunstwerken met een lange levensduur rekening houden met een zeewaartse oplossing en waar mogelijk kiezen voor levensduren die aansluiten bij de fasering en investeringsbeslissingen van Zeewaarts. Bij de vervanging of renovatie van sluisen extra aandacht geven aan het voorkomen van de indringing van zoutlast;
 - Transitie landelijk gebied Zeeland en natuur: rekening houden met autonome verdroging en verzilting tot 2050 en mogelijk 2100. Voor investeringen met een doorlooptijd na 2050 rekening houden met de mogelijkheid dat Zeewaarts de waterbeschikbaarheid op termijn weer vergroot.

- Havens en vaarwegen: houdt er bij havenontwikkeling rekening mee dat de Nieuwe Waterweg op lange termijn mogelijk wordt afgesloten waarmee de Maasvlakte een overslaghaven wordt.
- Kabels en leidingen richting de kust dieper ingraven zodat aanleg van een eventuele tweede kustlijn mogelijk blijft.
- Woningbouwopgave: geen permanente bebouwing (of vakantiehuisjes die in de praktijk permanent zijn) op het strand om peilstijgingen mogelijk te houden.
- Ruimtereserveringen om noodzakelijk maatregelen ten behoeve van Zeewaarts mogelijk te houden:
 - Ruimte reserveren voor het kustbassin, de nieuwe kustlijn en de benodigde zandwinning. Geen nieuwe permanente functies op deze locaties toestaan.
 - Ruimte reserveren voor toekomstige zeewaartse uitbreidingen van de Rotterdamse haven inclusief aanvaar -en transportroutes.
 - De bestaande ruimte in de zuidwestelijke delta niet inzetten voor natuurcompensatie van andere projecten.
 - Ruimtereserveringen rondom de verschillende aan te passen afsluitingen en doorlaten om maatregelen niet onnodig complex te maken.
 - Buitendijkse ontwikkeling niet toestaan onder NAP +3m om de bergingsfunctie van de binnenwateren niet te beperken. Het gaat in ieder geval om de Grevelingen, Oosterschelde, Haringvliet, Oosterschelde, Volkerak Zoommeer en het rivierensysteem benedenstrooms van de Biesbosch.
- Reserveren van voldoende beschikbaarheid van nabijgelegen bouwmaterialen door geen zandwinning toe te staan in het beoogde gebied van het kustbassin. Daarnaast op de Noordzee ca. 2.000 miljoen m³ zand reserveren voor aanleg en 2 miljoen m³/jaar voor onderhoud.
- Rekening houden met Zeewaarts in beleid en toekomstvisies:
 - Bij de toekomstvisies voor kustplaatsen rekening houden met een scenario dat waterveiligheidsmaatregelen nodig zijn, zoals duinvorming of golfbrekers.
 - Bij het vaststellen van een nieuwe Natura2000 doelstelling dient rekening gehouden te worden met het toekomstige kustbassin. Daarnaast dient verkent te worden welke ecologische habitats er mogelijk zijn in het kustbassin.
- Lange termijn financiële zekerheid te realiseren, bijvoorbeeld door een langere termijn planning van het Deltafonds.
- Gelijktijdig gesprekken voeren met de gelijksoortige instantie in België over de mogelijkheid om (waterveiligheids)oplossingsrichtingen te combineren, mogelijke ruimtereserveringen en de functie van de Westerschelde af te stemmen.

Zeewaarts, maar ook de andere oplossingsrichtingen, hebben grote gevolgen voor alle functies en bewoners in het invloedsgebied. Naast beleidsmaatregelen en ruimtelijke reserveringen is het belangrijk om gebiedsbeheerders, gebruikers en bewoners mee te nemen in de plannen.

5.3 Kennis- en onderzoeksagenda

Er zijn nog veel onzekerheden en onderzoeksvragen die beantwoord moeten worden om Zeewaarts mogelijk te maken. De hoofdpoging is om de komende jaren te komen tot een optimale regiospecifieke oplossing vanuit de oplossingsrichtingen Beschermen, Zeewaarts en Meebewegen.

Om in die context de haalbaarheid van de Zeewaartse oplossing goed af te kunnen wegen is een selectie gemaakt van de belangrijkste kennis- en innovatievragen die in de volgende stap moeten worden uitgewerkt. Het gaat veelal om onderzoeksvragen met de grootste impact op het ontwerp en kosten. Daarnaast is een longlist van onderzoeksvragen, gecategoriseerd per onderwerp, opgenomen in Bijlage 3.

1. Hoe kan het ontwerp verder worden geoptimaliseerd vanuit een integraal perspectief om de ecologische waarde van het gebied en de zoetwaterbeschikbaarheid te versterken (ten behoeve van landbouw, natuur, industrie, drinkwater)?

Toelichting: afsluiting van de zeearmen en aanleg van een kustbassin kan een enorme impact hebben op de huidige natuurwaarden. Er is een risico op verlies van huidige natuurwaarden, grote fluctuaties van het zoutgehalte en (te) grote peildynamiek. Ook het scenario 'niets doen' heeft grote negatieve effecten op de waterkwaliteit en ecologische kwaliteit van het gebied. Door slim te compartimenteren kunnen deze effecten wellicht worden beperkt of kunnen natuurwaarden zelfs worden versterkt. Dit heeft echter grote impact op het ontwerp en de kosten. Verder onderzoek op dit onderwerp is nodig.

2. Wat zijn de belangrijkste onderdelen van de business case en wie zijn de meest belangrijke stakeholders die het ontwerp, de besluitvorming en de fasering gaan bepalen? Onderdelen van dit onderzoek:
 - a. Positieve impact van Zeewaarts op de bevaarbaarheid van de rivieren en de economische impacts op de mainport;
 - b. Positieve impact van Zeewaarts op de waterbeschikbaarheid (of verminderde negatieve impact van het autonome scenario) van Nederland en economische impacts van functies die hier baat bij hebben;
 - c. Ontwikkelingsperspectief van de mainport als overslaghaven;
 - d. Overige functies die gekoppeld kunnen worden aan de Zeewaartse uitbreiding en een relevantie financiële drager kunnen zijn.

Daarbij is belangrijk om de relatie in beeld te brengen tussen een zeewaartse uitbreiding en eventuele voordelen voor de huidige opgave op gebied van waterveiligheid en zoetwater. Mogelijk biedt een zeewaartse uitbreiding grote synergievoordelen voor de huidige transitieopgaven, of kunnen groten investeringen op gebied van scheepvaart, zoetwater of waterveiligheid worden voorkomen. Dit is van belang voor het bepalen van het optimale investeringsmoment.

3. Wat is de optimale verhouding tussen de omvang van het bassin, de benodigde pompcapaciteit en het peilbeheer van het bassin?
4. Welke factoren bepalen de faalkans van de zeewaartse uitbreiding? Wat is nodig om de leveringszekerheid van energie te garanderen? Wat is nodig om een doorbraakvrije eerste kustlijn te kunnen garanderen of wat zijn mogelijkheden voor een meerlaagse bescherming bij hoge zeespiegelstanden?
5. Wat is de beschikbaarheid van materialen en technieken en kunnen deze met voldoende snelheid beschikbaar worden gemaakt?
6. Wat zijn mogelijke juridische beperkingen (o.a. N2000), wat is de verwachte ontwikkeling van deze beperkingen bij een stijgende zeespiegel en hoe kunnen eventuele beperkingen tijdig uit de weg worden geruimd?
7. Hoe verhoudt Zeewaarts zich ten opzichte van de andere oplossingsrichtingen Beschermen en Meebewegen op gebied van duurzaamheid, waaronder de emissies van broeikasgassen, impact op biodiversiteit of hergebruik van materiaal.

Referenties

- Boskalis. (2023). *Zeewaarts: Maakbaarheid - notitie als onderdeel van het proces van de technisch-fysische uitwerking Zeewaarts.*
- Deltares. (2015). *The plausibility of extreme high discharges in the river Rhine.* Deltares project 1220042. Prepared for Rijkswaterstaat (Water, Verkeer en Leefomgeving).
- Deltares. (2019). *Strategieën voor adaptatie aan hoge en versnelde zeespiegelstijging, een verkenning.* Delft: Deltares, in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur & Water - staf Deltacommissaris en Rijkswaterstaat - Water Verkeer en Leefomgeving.
- Deltares. (2020). *Statistiek extreme hoogwaters Rijn en Maas op basis van geschaalde KNMI'14 scenario's.* Deltares rapport 11205237-003-ZWS-0014, 4 december 2020. 31p.
- Deltares. (2023a). *Adaptiviteit van een zeewaartse kustversterking - notitie als onderdeel van het proces van de technisch-fysische uitwerking Zeewaarts.*
- Deltares. (2023b). *Impact zeewaarts op zoetwater - notitie als onderdeel van het proces van de technisch-fysische uitwerking Zeewaarts.*
- Deltares. (2023c). *Reservoirmodel voor beschermen gesloten en Zeewaarts - notitie als onderdeel van het proces van de technisch-fysische uitwerking Zeewaarts.* Deltares Notitie Zeewaarts.
- Deltares. (2023d). *Zeewaarts: Fysische randvoorwaarden - notitie als onderdeel van het proces van de technisch-fysische uitwerking Zeewaarts.*
- KNMI. (2015). *KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland.* Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie, KNMI, De Bilt, 34 pp .
- RoyalHaskoningDHV. (2023a). *Duidingskader strategieën zeespiegelstijging.* Den Haag: Rijkswaterstaat WVL, Kennisprogramma Zeespiegelstijging.
- RoyalHaskoningDHV. (2023b). *Gevolgen voor scheepvaart en infrastructuur - notitie als onderdeel van het proces van de technisch-fysische uitwerking Zeewaarts.*
- RWS. (2021). *Tijdlijnen voor Spoor 2 Kennisprogramma Zeespiegelstijging.* . Rijkswaterstaat, Water Verkeer en Leefomgeving. .
- Sweco. (2023a). *Effecten van een zeewaartse oplossing en samenhang met waterkwaliteit - notitie als onderdeel van het proces van de technisch-fysische uitwerking Zeewaarts.*
- Sweco. (2023b). *Effecten van een Zeewaartse oplossing op natuur - notitie als onderdeel van het proces van de technisch-fysische uitwerking Zeewaarts.*
- TU Delft. (2023a). *Betrouwbaarheid grote pompcomplexen - notitie als onderdeel van het proces van de technisch-fysische uitwerking Zeewaarts.*
- TU Delft. (2023b). *Harde elementen voor kustplaatsen - notitie als onderdeel van het proces van de technisch-fysische uitwerking Zeewaarts.*
- TU Delft. (2023c). *Implications for maritime transport in the Netherlands - notitie als onderdeel van het proces van de technisch-fysische uitwerking Zeewaarts.*
- Van Oord. (2023). *Zeewaarts: Meekoppelkansen - notitie als onderdeel van het proces van de technisch-fysische uitwerking Zeewaarts.*

Bijlagen

Bijlage 1: Betrokkenheid van bedrijven en organisaties

Bedrijven

Advies groep Borm & Huijgens

Arcadis

Koninklijke BAM Groep

Boskalis

De Vries & van de Wiel B.V.

Deltares

Havenbedrijf Rotterdam

IV-Infra B.V.

RoyalHaskoningDHV

Sweco Nederland

Van Aalsburg B.V.

Van Oord B.V.

Witteveen+Bos

WSP

Zones Urbaines Sensibles

Overheden en Instituten

Gemeente Den Haag

Hoogheemraadschap van Delfland

Haakse Zeedijk

Delta21

Rijkswaterstaat

Deltacommissie

STOWA

Technische Universiteit Delft

PM DP Kust

PM DP Zuidwestelijke Delta

Provincie Zuid-Holland

Kennis Community Oosterschelde

Ministerie van Infrastructuur en Water

Bijlage 2: Lijst met op te vragen notities

Notities in Tabel 2 zijn op te vragen bij de Staf Deltacommissie.

Tabel 2 Op te vragen notities.

Notitie	Auteur(s)
Notitie (fysische) randvoorwaarden en uitgangspunten	Deltares
Notitie effecten en samenhang met waterkwaliteit	Sweco
Notitie gevolgen voor scheepvaart en infra	RoyalHaskoningDHV
Notitie impact zeewaarts op zoetwater	Deltares
Notitie implications for maritime transport in the Netherlands	TU Delft
Notitie Effecten van een zeevaartse oplossing op natuur	Sweco
Notitie adaptiviteit van een zeevaartse kustversterking	Deltares
Notitie reservoirmodel voor beschermen Gesloten en Zeewaarts	Deltares
Notitie harde elementen voor kustplaatsen	TU Delft
Notitie betrouwbaarheid grote pompcomplexen	TU Delft
Notitie meekoppelkansen	Van Oord/Boskalis
Notitie maakbaarheid	Boskalis/Van Oord

Bijlage 3: Onderzoeksagenda

De volgende onderzoeksvragen zijn voortgekomen gedurende het proces en technische analyses:

- **Effectiviteit hoogwaterbescherming**
 - Wat zijn de maatgevende hydrodynamische condities voor de primaire waterkeringen? (golven, waterstanden en stroming)
 - Hoe wordt de hoogwater veiligheid van het rivierengebied gewaarborgd? (probabilistische analyses nodig, en analyse knelpunten)
 - Hoe wordt de hoogwaterveiligheid van de kustzone gehandhaafd? (middels natuurlijk strand/duinen, zachte stukken kering en caissons)
 - Mogelijkheden voor oprekken maximale stijghoogte randmeer? (nu NAP+3m)
 - Welke versterkingsopgave is er binnen het benedenrivierengebied? en kust?
 - Wat is de optimale kosten-baten verhouding van pompen, berging of dijkverhoging?
 - Hoe wordt de kust- en rivierveiligheid gewaarborgd in de tussensituaties? (Met eerst de frequentere sluiting bestaande keringen, en later volledig sluiten)
 - Draagt een valmeer bij aan veiligheid van de rivieren?
 - Wanneer moeten de bestaande keringen aangepakt worden?

- **Stabiliteit van de kustlijn**
 - Wat zijn de dagelijkse hydrodynamische condities op de kust? (golven en stromingen)
 - Wat is het benodigd onderhoud van de te construeren nieuwe kustlijn?
 - Welk onderhoud is er voor de bestaande kustlijn van Holland en ZW-delta?
 - Wat is het benodigde ontwerpprofiel van zachte kustsecties?
 - Welke evenwichtskustlijn moet worden aangelegd? Zijn er harde steunpunten nodig voor de zandige kustsecties?
 - Welke monitoring dient plaats te vinden van de kustlijn en van de keringen?
 - Wat is het effect van de kering op vooroevererosie en bodemsamenstelling?

- **Zoetwater beschikbaarheid**
 - Wat zijn de toekomstige scenario's (lage) rivierafvoeren?
 - In welke mate vindt er verzoeting of verbraking plaats van het randmeer? En is er variatie in zoutgehalte in de ruimte en in de tijd?
 - Wat zijn de effecten van constructies op de zoutvracht? (o.a. sluisen)
 - Wat zijn de benodigde doorspoeldebieten van polders met zoetwater?
 - In hoeverre wordt de zoetwaterbeschikbaarheid bij inlaatpunten verbeterd?
 - In welke mate is er een impact op duinwatervoorraden? En drinkwater?
 - Wat is de invloed op de zoetwaterbeschikbaarheid op landbouwgebieden?
 - Welke technische maatregelen kunnen zoute kwel beperken? (Hollandse kust)
 - Wat is het effect van de afsluiting op de kustrivier langs Hollandse kust? (ROFI)

- **Waterkwaliteit & Ecologie**
 - Hoe verandert het getij op zee? Wat betekent dat ecologisch?
 - Hoe veranderen rivierdebieten? Wat betekent dat ecologisch?
 - Hoe verandert slibhuishouding? (rivieren, estuaria en op zee)
 - Hoe is de waterkwaliteit van het randmeer? (zoet-brak-zout en stratificatie)
 - Wat is de impact van slib uit de rivieren op het randmeer en de estuaria?
 - Wat is de ecologische impact van de aanvoer van nutriënten uit de rivieren?

- Wat zijn te verwachten effecten op de ecologie en habitats van een randmeer? En wat zijn effecten op de bestaande getijdebasins en de zee?
- Is compartimentering van een randmeer gunstig voor de waterkwaliteit en ecologie?
- Welke verversing van het randmeer is mogelijk? Is getij mogelijk te creëren? \
- **Effecten op scheepvaart en infra**
 - In hoeverre zijn kades van havens aanpasbaar aan de zeespiegel?
 - Afweging tussen sluisen en een overslagmodel voor de haven van Rotterdam
 - Wat is de invloed op vissershavens in de ZW-delta?
 - Wat is de invloed op scheepvaart op de rivieren? En voor de zeescheepvaart?
 - Welke impact is er op de kabels, leidingen en andere infrastructuur van kust?
- **Technische maakbaarheid kering**
 - Voor welke kritische belastingen dient er ontworpen te worden?
 - Hoe ziet het ontwerp van de caissons van de kering eruit?
 - Welke pompen dienen gebruikt te worden? Hoe worden deze ingepast?
 - Wat voor stromingen treden er op in de sluitfase van de kering? En bij de pompen? En welke condities bij de op te spuiten zandige kustsecties?
 - Hoe kunnen de sluitstukken van de zeewaartse kering worden aangebracht?
 - Wat is benodigd qua bodembescherming? (o.a. bij pompen en zeewaarts van kering)
 - In hoeverre kan kering vanaf de bestaande kust worden uitgebouwd? Of kan dit beter eerst vanaf zee?
 - Hoe dienen zandige kustsecties opgespoten te worden? Zijn harde elementen (bijv. caissons) nodig om het zand vast te houden?
 - Wat is de beschikbaarheid van zand in wingebieden? Kan het randmeer worden gebruikt voor zandwinning?
 - Wat zijn de benodigde volumes beton en staal?
 - Hoe kunnen kades van havens aangepast worden aan de zeespiegelstijging?
- **Operationele werking kering en beheer randmeer**
 - Hoe veranderen waterstanden in het randmeer in de tijd? En hoe de waterkwaliteit?
 - Hoe ziet de operatie van de pompen eruit? (i.r.t. variatie over seizoenen)
 - Wat is de kritisch grens waarop voorpompen dient plaats te vinden?
 - Welke redundantie van de pompen is nodig? Wat is het protocol in geval van uitval? Hoe wordt de operatie van de pompen gegarandeerd?
 - Bij welke debieten en waterstanden worden keringen gesloten?
 - Welk onderhoud is nodig voor de harde constructies?
- **Fasering van oplossingsrichtingen in de tijd**
 - Hoe zien de maatgevende en dagelijkse condities eruit in de tussenfases?
 - Wat zijn de mogelijkheden tot het oprekken van het gebruik van de bestaande keringen van de ZW-delta en Nieuwe Waterweg bij toenemende zeespiegelstijging?
 - Is er een mogelijkheid tot spuien in de tussenfases? (met name bij Haringvliet)
 - Zijn pompen nodig voor de bestaande keringen in de tussensituatie?
 - Wanneer dient overgegaan te worden tot het afsluiten van de Nieuwe waterweg? En wanneer voor de Oosterschelde?

- **Socio-Economische ontwikkeling & regelgeving**
 - Wat zijn de prognoses voor de bevolkingsgroei?
 - Welke maatschappelijke ontwikkeling worden verwacht in Nederland?
 - Wat zijn de scenario's van economische ontwikkeling per sector? (industrie, landbouw, woningbouw, recreatie etc)
 - Hoe wordt het plan ingepast in lopende transities? (o.a. energie en landbouw)
 - Hoe wordt het ingepast in natuurwetgeving? Is natuurcompensatie mogelijk?
 - Wat zijn de juridische consequenties? (o.a. Natura2000, 12-mijlszone en EEZ)

- **Kosten & Baten**
 - Wat zijn de aanlegkosten? (o.a. zeewaartse kering, aanleg/onderhoud van zandige kustsecties, pompen, energiesystemen en herinrichting havens).
 - Wat zijn de operationele kosten? (o.a. energie, kustonderhoud en pompen)
 - Welke meekoppelkansen vergroten de acceptatie of haalbaarheid?

Together with our clients and the collective knowledge of our 18,500 architects, engineers and other specialists, we co-create solutions that address urbanisation, capture the power of digitalisation, and make our societies more sustainable.

Sweco – Transforming society together