

Strategieën voor adaptatie aan hoge en versnelde zeespiegelstijging

Een verkenning



Inhoud

Colofon	2		
Samenvatting	4		
1 Inleiding	12		
1.1 Aanleiding van de verkenning	13		
1.2 Doel	13		
1.3 Aanpak	14		
2 Analyse kader	16		
2.1 Zoekrichtingen en kenmerken	17		
2.2.1 Zoekrichtingen internationaal	17		
2.2.2 Kenmerken	17		
2.2 Indicatoren	18		
3 Oplossingsrichtingen voor Nederland	20		
3.1 Overzicht	21		
3.2 Ideeën en maatregelen binnen de oplossingsrichtingen	22		
3.2.1 Beschermen	22		
3.2.2 Meebewegen	24		
3.2.3 Zeewaarts	24		
4 Analyse van de oplossingsrichtingen aan de hand van de indicatoren	26		
4.1 Doelbereik	27		
4.1.1 Mate van zeespiegelstijging	27		
4.1.2 Gevolgen voor waterveiligheid, zoetwatervoorziening en natuur	29		
4.2 Technische haalbaarheid	30		
4.2.1 Kustbescherming middels keringen, zand, eilanden en vooroevers	31		
4.2.2 Waterveiligheid benedenrivieren middels dijken, pompen, spuien en bergen	32		
4.2.3 Waterhuishouding polders - gemalen	34		
4.2.4 Zoetwatervoorziening	34		
4.2.5 Landspiegelstijging	36		
4.2.6 Benodigde tijd voor implementatie	36		
		4.3 Bestuurlijke en maatschappelijke haalbaarheid	38
		4.3.1 Transities	38
		4.3.2 Bestuurlijk systeem	39
		4.3.3 Draagvlak	39
		4.3.4 Kosten	40
		4.3.5 Gevolgen voor de vier oplossingsrichtingen	40
		4.4 Adaptiviteit en adaptatiepaden	42
		4.4.1 Adaptiviteit	42
		4.4.2 Adaptatiepaden	42
		4.4.3 Triggers die niet gerelateerd zijn aan waterbeheer	48
		5 Strategische keuzes	50
		5.1 Strategische keuzes en gevolgen voor de komende 20 jaar	51
		5.2 'Low-regret' en 'high-regret' maatregelen	52
		6 Conclusies en kennisvragen	54
		6.1 Conclusies	55
		6.2 Kennisvragen fase 2 (en verder)	60
		7 Referenties	62
		Bijlage A - Kernteamleden	65
		Bijlage B - Analogieën	65

Colofon

Uitgave	Deltares, in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur & Water - staf Deltacommissaris en Rijkswaterstaat - Water Verkeer en Leefomgeving
Datum	September 2019, Delft
Auteurs	Marjolijn Haasnoot, Ferdinand Diermanse, Jaap Kwadijk, Renske de Winter, Gundula Winter (Deltares)
Kernteam	Prof. Jeroen Aerts (IVM-VU/Deltares), Prof. Bas Jonkman, Prof. Stefan Aarninkhof (TU Delft), Prof. Hans Middelkoop, Prof. Maarten Kleinhans (Universiteit Utrecht), Assoc. Prof. Marjolijn Haasnoot (Universiteit Utrecht/Deltares), Prof. Jaap Kwadijk (Universiteit Twente/Deltares), Prof. Katrien Termeer, Prof. Bram Bregman (Wageningen Universiteit)
Reviewer	Bart van den Hurk (Deltares)
Begeleidingscommissie	Myrthe Leijstra (Rijkswaterstaat-WaterVeiligheid en Leefomgeving), Jos van Alphen (Staf Deltacommissaris), Ingrid Roos (Directoraat-Generaal Water en Bodem)
Studentenhackathon	Anouk Timmerman, Bart Strijker, Charlotte Verburg, David W. Carson, Eray Bilgili, Floris van Rees, Freek van Riet, Guido Remmerswaal, Ilse Nederlof, Ingrid Lambert, Isabella Gerritsma, Ligaya Wopereis, Lonneke Roelofs, Marc Meijer, Nafisa Chirmoti, Noor ten Harmsen van der Beek, Paul Veldhuijzen, Richard Marijnissen, Sjoukje de Lange, Sophia Bats, Bramka Jafino, Kees van Ginkel. Begeleiders Deltares: Sadie McEvoy, Otto Weiler, Jaap Kwadijk, Renske de Winter, Marjolijn Haasnoot, Ferdinand Diermanse, Raymond van der Meij, Karin de Bruijn.
Workshops experts	Bas Jonkman, Jan van Overeem (TUD), Maarten Kleinhans, Hans Middelkoop (UU), Jaap Kwadijk (UT/Deltares), Jeroen Aerts (IVM-VU/Deltares), Katrien Termeer, Jantsje van Loon, Bram Bregman (WUR), Paul van Hemert (BZK), Myrthe Leystra, Meinte Blaas (WVL), Jos van Alphen (Staf Deltacommissaris), Ingrid Roos (DGWB), Joost Knoop, Willem Ligvoet (PBL), Anouk Timmermans (UU), Joost Delsman, Huub de Bruin, Karin de Bruijn, Renske de Winter, Sadie McEvoy, Ferdinand Diermanse, Marjolijn Haasnoot (Deltares).
Referentie	Haasnoot, M, F. Diermanse, J. Kwadijk, R. de Winter, G. Winter, 2019, Strategieën voor adaptatie aan hoge en versnelde zeespiegelstijging. Een verkenning. Deltares rapport 11203724-004
Contactpersonen	Dr. Marjolijn Haasnoot (marjolijn.haasnoot@deltares.nl), Dr. Ferdinand Diermanse (ferdinand.diermanse@deltares.nl)
Foto's	Adobe Stock: Cover, p12, p19, p26, p62 Guus Schoonewille: p16, p20, p23, p48, p52 Van Beek Images: p26, p41, p51
Figuren	Ilse van den Broek: p7, p9, p21, p43, p45, p46, p47

Samenvatting



Aanleiding

De zeespiegel stijgt en zal blijven stijgen, maar de mate waarin en het tempo waarmee is onzeker. Recente metingen en studies laten zien dat afbrekend en afsmeltend landijs van Antarctica in de loop van deze eeuw tot een aanmerkelijke versnelling van de stijging kan gaan leiden. Het Deltaprogramma heeft in 2018 gerapporteerd over de mogelijke consequenties van een versnelling van de zeespiegelstijging door een versneld afbreken en smelten van de West Antarctica ijskap voor het Nederlands waterbeheer (Haasnoot et al. 2018). In vervolg op deze rapportage heeft de Minister van Infrastructuur en Waterstaat in juni 2019 aan de Tweede Kamer toegezegd een Kennisprogramma Zeespiegelstijging te starten. Dit Kennisprogramma is gericht op het verkleinen van de onzekerheden over deze dreiging (spoor 1), het zicht krijgen op de houdbaarheid en 'oprekbaarheid' van de huidige strategieën (spoor 2), het tijdig en betrouwbaar signaleren van een versnelling in de zeespiegelstijging (spoor 3), het verkennen van de acties die nodig zijn om lange termijn opties open te houden (spoor 4) en het voorbereiden op een mogelijke transitie met de bijbehorende communicatie en gedragsverandering (spoor 5).

In het kader van spoor 4 heeft de staf van de Deltacommissaris aan Deltares gevraagd een verkenning uit te voeren naar oplossingsrichtingen voor het (hoog)waterbeheer van Nederland bij zeer grote stijgingen van de zeespiegel (+2 tot +4 m). De verkenning vormt een eerste inventarisatie van bestaande ideeën over en aandachtspunten voor mogelijke oplossingsrichtingen, en een eerste aanzet voor acties die op korte termijn nodig kunnen zijn om deze oplossingsrichtingen voor de toekomst open te kunnen houden. Daarmee vormt het ook een eerste basis voor vervolgbijeenkomsten waarin in de vorm van ateliers de ruimtelijke consequenties en de samenhang met andere transities (energie, woningbouw, landbouw) ook gebiedsgericht verkend gaan worden.

Doel

Het doel van deze verkenning is het inventariseren, verkennen, en duiden van de consequenties van verschillende adaptatiestrategieën voor een snelle en hoge zeespiegelstijging. Met de resultaten kunnen we een eerste inschatting maken van welke maatregelen op korte termijn nodig kunnen zijn om op lange termijn opties open te houden. Met korte termijn bedoelen we de periode van de komende 20 jaar, met lange termijn bedoelen we de periode na 2080. In de studie staat de vraag centraal hoe de Nederlandse delta en het waterbeheer eruit zou kunnen zien bij een hoge zeespiegelstand (+2 tot +4 m). Daarnaast is verkend welke adaptatiepaden (sequenties van maatregelen) en strategische keuzes er zijn om het waterbeheer aan een hoge zeespiegelstijging aan te passen.

Aanpak

Deltares heeft deze verkenning uitgevoerd met hulp van verschillende experts van de TU Delft, Vrije Universiteit, Universiteit Utrecht, Universiteit Twente, Wageningen Universiteit, en het Planbureau van de Leefomgeving. Verder is de verkenning begeleid door een commissie met vertegenwoordigers uit staf Deltacommissaris, Rijkswaterstaat-Water Verkeer en Leefomgeving en het Directoraat-Generaal Water en Bodem.

De verkenning moet gezien worden als een eerste studie, een gedachtenexperiment, door een groep experts op het gebied van deltatechnologie en -beheer naar de opties die er zijn om het hoofd te bieden aan zeer grote, snelle zeespiegelstijgingen in de komende 100 tot 200 jaar. Hierbij is, waar mogelijk, een kwantitatieve schatting gemaakt van wat een aantal maatregelen of strategieën zou kunnen betekenen in termen van o.m. benodigde hoeveelheden zand, noodzakelijke (water) infrastructuur, ruimte en inrichting van de delta. De kwantificering bestaat uit eerste orde berekeningen en analyses. Voor de technische

haalbaarheid kon worden voortgebouwd op eerdere rapportages. Voor de maatschappelijke consequenties en haalbaarheid van zeer grote transitie worden aandachtspunten genoemd.

Uitgaande van een door het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) voorgestelde indeling van adaptatie van kustgebieden zijn in deze studie vier oplossingsrichtingen geïndiceerd die in grote lijnen de gehele oplossingsruimte omspannen voor de Nederlandse delta bij een grote mate van zeespiegelstijging.

De mogelijkheid van zeer grote zeespiegelstijging op een termijn van enkele generaties heeft de afgelopen jaren een grote groep mensen geïnspireerd om oplossingen te bedenken voor de inrichting van Nederland onder condities van hogere zeespiegels. Een inventarisatie van ideeën leverde zo'n 180 (oude en nieuwe) plannen op, zie <http://nladapt.deltares.nl>. Deze plannen zijn gecategoriseerd aan de hand van de vier oplossingsrichtingen. In dit stadium hebben we geen van de plannen individueel geanalyseerd op hun effectiviteit, efficiëntie of haalbaarheid. Het opnemen van de plannen in het overzicht betekent niet dat Deltares en leden van het kernteam ze als kansrijk of gewenst beoordeelt.

Analyse van oplossingsrichtingen

In deze studie zijn vier oplossingsrichtingen geïdentificeerd en uitgewerkt, die in grote lijnen de oplossingsruimte voor de Nederlandse delta beschrijven:

- **Beschermen-gesloten:** beschermen van de kust tegen overstromingen en erosie middels harde of zachte maatregelen, zoals keringen, zandsuppletie of wetlands. Rivierarmen worden afgesloten (met dammen of stormvloedkeringen).
- **Beschermen-open:** idem als boven, maar de rivieren blijven in open verbinding met de zee.
- **Zeewaarts:** creëren van nieuw, hoger en zeewaarts gelegen land om de delta tegen gevolgen van overstroming te beschermen.
- **Meebewegen:** verkleinen van de kwetsbaarheid voor de gevolgen van een hogere zeespiegelstijging door water- of zouttolerant landgebruik (e.g. gebouwen op palen), ophogen van land, ruimtelijke planning en/of migratie.

De vier oplossingsrichtingen kunnen alle een rol spelen in de regionale invulling van adaptatie aan (hoge) zeespiegelstijging. In de praktijk zal er eerder een combinatie gekozen worden. Hoeveel stijging een oplossingsrichting aan kan, hangt in sterke mate af van het ontwerp. Technisch is er veel mogelijk maar in alle gevallen zullen grote inspanningen nodig zijn naarmate de zeespiegel verder stijgt. Beperkingen van de oplossingsrichtingen komen vooral voort uit beschikbaarheid van resources (bijv. zand), ruimte, maatschappelijk draagvlak en kosten. Ook de benodigde tijd voor planning en implementatie van maatregelen legt beperkingen op, zowel voor de technische als maatschappelijke haalbaarheid. Dit geldt met name voor grote infrastructurele werken en transformatieve beslissingen. Kansen kunnen ontstaan door innovaties en meekoppeling met andere socio-economische ontwikkelingen. De houdbaarheid en 'opschaalbaarheid' van de bestaande maatregelen zal nader worden onderzocht in spoor 2 van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en staf Deltacommissaris.

Meer in detail valt er over de oplossingsrichtingen het volgende te zeggen (zie ook tabel S1):

Beschermen (zowel gesloten als open) ligt het dichtst bij de huidige strategie. Er zal steeds meer ruimte nodig zijn voor de keringen en in de gesloten variant ook voor het tijdelijk bergen van rivierwater tijdens perioden van hoge afvoeren. Het vasthouden aan een afsluitbaar open verbinding met de zee is doelmatig tot een beperkte mate van zeespiegelstijging. Met verhogen van het sluitpeil van afsluitbare keringen en ophogen van de achterliggende dijken kan dit verlengd worden, spoor 2 zal dit nader verkennen. Beschermen-gesloten kan meer zeespiegelstijging aan dan Beschermen-open. Een combinatie van grote pompcapaciteit en ruimte voor berging is dan nodig om (hoge) rivierafvoeren de delta uit te krijgen.

Zeewaarts kan vooral veel zeespiegelstijging aan als dit een gesloten variant is waarbij eilanden voor de kust verbonden zijn door keringen. Zonder verbinding (tussen de eilanden en met het vasteland) dragen ze nauwelijks bij aan adaptatie van de delta aan zeespiegelstijging. Om die eilanden aan te leggen is

Tabel S1. Oplossingsrichtingen voor de Nederlandse delta bij een hoge zeespiegelstijging.

Beschermen gesloten Dammen, dijken, sediment, wetlands, vooroevers	Beschermen open Stormvloedkeringen, dijken, sediment, wetlands, vooroevers
<p>MATE VAN ZEEPIEGELSTIJGING</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tot enkele meters. - Stijgsnelheid kan beperking worden voor zandsuppletie. - Zoutindringing is niet geheel te voorkomen en noopt mogelijk tot aanpassing landgebruik en zoetwatervoorziening in kustzone. 	<p>MATE VAN ZEEPIEGELSTIJGING</p> <ul style="list-style-type: none"> - Beperkt ~1m voor huidige keringen, met aanpassing sluitpeil 1-2 m. - Stijgsnelheid kan beperking worden voor zandsuppletie. - Zoutindringing noopt tot aanpassing landgebruik in kustzone en benedenriviereengebied.
<p>TECHNISCHE HAALBAARHEID</p> <ul style="list-style-type: none"> - Beschikbaarheid van zand en opschaalbaarheid zandsuppletie is onbekend. - Grote pompcapaciteit en tijdelijk berging is nodig voor afvoeren rivieren. Bijvoorbeeld: een capaciteit vergelijkbaar aan de gemiddelde rivierafvoer (3000 m³/s) en berging met spuien in geval van hoge afvoeren. 	<p>TECHNISCHE HAALBAARHEID</p> <ul style="list-style-type: none"> - Beschikbaarheid van zand en opschaalbaarheid zandsuppleties onbekend.
<p>MAATSCHAPPELIJKE HAALBAARHEID</p> <ul style="list-style-type: none"> - Afsluiten Rijnmond en Oosterscheldekering zal op veel weerstand stuiten. - Steeds hogere kosten en meer ruimtegebruik voor dijkverhoging en versterking. - Grote gevolgen natuur bij afsluiten estuaria. 	<p>MAATSCHAPPELIJKE HAALBAARHEID</p> <ul style="list-style-type: none"> - Steeds hogere kosten voor dijkverhoging en versterking. Bijvoorbeeld: langs de IJssel is 800 tot 4700 ha nodig als het IJsselmeer mee stijgt van 1 tot 6 m zeespiegelstijging.
<p>ADAPTIVITEIT</p> <ul style="list-style-type: none"> - Komende 20 jaar: ruimte voor dijken of ruimte voor rivier nodig. - Bij doorgaan op de huidige weg komt het deltabeheer hier op uit. 	<p>ADAPTIVITEIT</p> <ul style="list-style-type: none"> - Komende 20 jaar: zeer veel ruimte voor dijken nodig. - Dit is doorgaan op de huidige weg, wat uiteindelijk in Beschermen-gesloten uitmondt.
Zeewaarts Eilanden met / zonder keringen, zeewaartse polders	Meebewegen Opgehoogde / drijvende gebouwen, landspiegelsstijging, migratie
<p>MATE VAN ZEEPIEGELSTIJGING</p> <ul style="list-style-type: none"> - Beperkt ~1m bij open variant met eilanden. - Enkele meters bij gesloten variant of landuitbreiding. - Stijgsnelheid kan te hoog worden voor zandsuppletie. 	<p>MATE VAN ZEEPIEGELSTIJGING</p> <ul style="list-style-type: none"> - Beperkt in geval van palen of terpen. - Enkele cm/jaar bij natuurlijke landspiegelstijging. - Veel bij drijvend of migratie.
<p>TECHNISCHE HAALBAARHEID</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zeer veel zand nodig voor land en onderhouden nieuwe kust. Bijvoorbeeld: voor 3 kusteilanden ter grootte van half Texel is het totale zandvolume ~110 keer het volume van Maasvlakte 2. - Veel pompcapaciteit en bergingsruimte nodig voor rivieren. Bijvoorbeeld: een capaciteit vergelijkbaar aan gemiddelde rivierafvoer (~3000 m³/s) en de mogelijkheid van berging in een kustrandmeer. 	<p>TECHNISCHE HAALBAARHEID</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ophogen van bewoond gebied (terpen of palen) vraagt om innovatie. - Natuurlijke landspiegelstijging alleen lokaal mogelijk waar voldoende sedimentaanvoer is. Bijvoorbeeld in zuidwest Nederland.
<p>MAATSCHAPPELIJKE HAALBAARHEID</p> <ul style="list-style-type: none"> - Megainvestering. - Grote gevolgen natuur in de kustzone. 	<p>MAATSCHAPPELIJKE HAALBAARHEID</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lokaal of bij nieuwe bebouwing. - Palen of terpen alleen acceptabel bij tijdelijke overstromingen. - Opgeven land zal op veel weerstand duiden.
<p>ADAPTIVITEIT</p> <ul style="list-style-type: none"> - Komende 20 jaar: experimenteren met eilanden. - Kan in stappen uitgevoerd worden, maar dan beperkt effectief. Daarna moeilijk aan te passen. - Behoeft aan socio-economische of internationale ontwikkelingen kunnen een trigger zijn. Bijvoorbeeld: vliegveld in zee, haven richting zee, eilanden voor België.. 	<p>ADAPTIVITEIT</p> <ul style="list-style-type: none"> - Komende 20 jaar: overwegen bij nieuwbouw, experimenteren met ander landgebruik, landspiegelstijging. - Beperkt aanpasbaar bij ophogen land of gebouwen. - Via overslagbestendige dijken en aangepast landgebruik, kan dit in sommige gebieden over gaan in migratie. - Bij laag waterbewustzijn lastig te stimuleren. Kan getriggerd worden door overstroming in NL of in vergelijkbaar gebied, of door gebrek aan vertrouwen in overheid.

heel veel zand nodig (wellicht in de orde van 100 keer het volume dat gebruikt is bij de aanleg van de tweede Maasvlakte) en de eilanden komen te liggen in het gebied waar nu zand wordt gewonnen. Nieuw land en een kustrandmeer bieden kansen voor economische ontwikkeling en zoetwatervoorziening, maar hebben grote negatieve gevolgen voor natuur, scheepvaart, visserij en recreatie.

Meebewegen kan een substantiële zeespiegelstijging aan in de vorm van water- en zouttolerant landgebruik. In combinatie met landspiegelstijging (ophoging) en migratie is aanpassing aan (nog) hogere zeespiegelstijging mogelijk. Een eerste orde schatting van de maximale snelheid waarmee natuurlijke landspiegelstijging gerealiseerd kan worden is enkele centimeters per jaar in watersystemen met veel zand en slib in beweging; deze waarde is sterk locatieafhankelijk en met name kansrijk in gebieden met een hoog sedimentgehalte (Eems Dollard, Westerschelde).

Op grond van deze verkenning valt geen van de vier oplossingsrichtingen direct af en er is ook geen oplossingsrichting die nu al te verkiezen is boven de andere. Uit de verkenning naar de maatschappelijke consequenties komt naar voren dat het (toevallig) optreden van gebeurtenissen met zeer grote impact (denk aan een onverwachte grote overstroming, een economisch crisis en dergelijke) een aanleiding kan zijn om de ene dan wel een andere weg te gaan kiezen. Daarbij speelt mee dat keuzes vanuit andere ontwikkelingen (mede) bepalend worden voor de keuze van een oplossingsrichting. Bijvoorbeeld de bouw van grote windparken op zee vanwege de energietransitie zou een Zeewaartse optie kunnen stimuleren, het bouwen van veel nieuwe woningen in de Randstad past meer bij de optie Beschermen.

Conclusies en aanbevelingen

De onzekerheid omtrent de omvang en timing van een versnelling in de zeespiegelstijging is groot. Het Deltares rapport uit 2018 (Haasnoot et al. 2018) concludeerde dat aanpassing van de bestaande strategieën van het Deltaprogramma vanaf 2050 aan de orde kan komen. Voor het geval dan een grote versnelling van de zeespiegelstijging gaat optreden, beschrijft voorliggende verkenning de oplossingsruimte

voor adaptatie aan zeespiegelstijging middels vier oplossingsrichtingen, waarbij voor Nederland ook een combinatie van deze strategieën mogelijk is. De oplossingsrichtingen zijn uiteenlopend, maar er is ook overlap (bijvoorbeeld onderhoud aan een zandige kust met suppletie, en behoud van grote stadskernen) en ze liggen deels in elkaars verlengde. Figuur S1 presenteert mogelijke adaptatiepaden en strategische keuzes die leiden tot de vier oplossingsrichtingen.

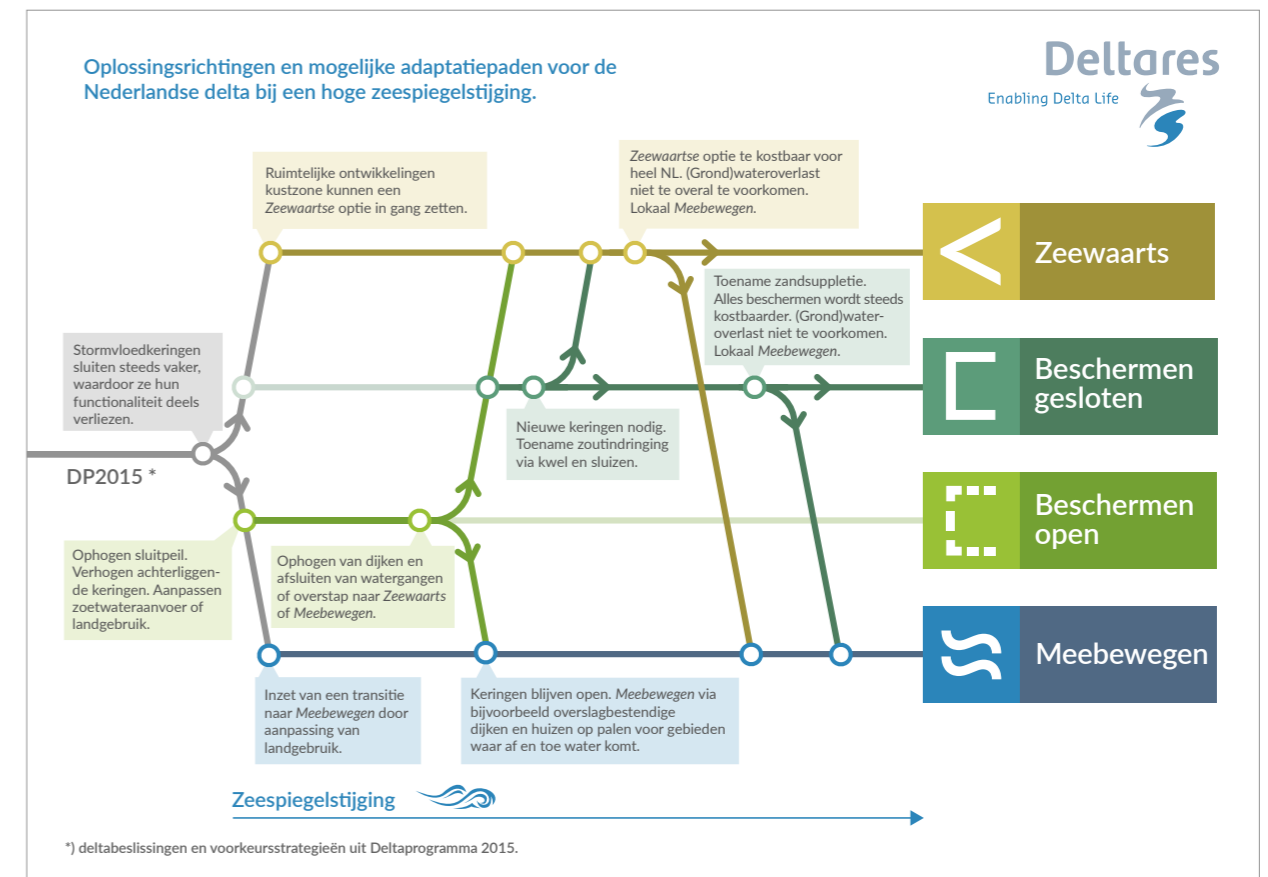
De huidige situatie met *Beschermen-open* kan bijvoorbeeld bij een stijgende zeespiegel middels een aantal ingrepen veranderen in een situatie van *Beschermen-gesloten*.

Een andere optie is om op een aantal locaties de strategie van *Meebewegen* te kiezen, d.w.z. water vaker toe te staan en tegelijkertijd schade te beperken. Ruimtelijke ontwikkelingen in de kustzone kunnen een overstap naar *Zeewaarts* triggeren, hetzij vanuit *Beschermen-open*, hetzij vanuit een situatie waarin eerst voor *Beschermen-gesloten* wordt gekozen.

Strategische keuzes

De vier oplossingsrichtingen gaan in feite over de vraag of we bij een zeer hoge zeespiegelstijging de kustlijn vasthouden of verplaatsen in zeewaartse of landwaartse richting. Kiezen tussen deze oplossingsrichtingen is nu nog niet aan de orde, er is nog tijd voor nader onderzoek en uitwerking. Wel zijn een aantal strategische vraagstukken van belang om deze opties voor de toekomst open te kunnen houden:

- **Estuaria: afsluiten of open houden:** De oplossingsrichtingen *Beschermen* en *Zeewaarts* hebben een vaste kustlijn met keringen die moeten blijven functioneren. Een strategische keuze is of we de Rijnmond en de Oosterschelde bij extreme zeespiegelstijging afsluitbaar open blijven houden of afsluiten.
- **Rivieren: afvoerdeling en balans tussen pompen, bergen en spuien:** Zowel in *Beschermen-gesloten* als in (gesloten) *Zeewaarts*, zullen de rivierafvoeren grotendeels naar zee gepompt moeten worden. De omvang van die capaciteit hangt af van mogelijkheid om water tijdelijk te bergen en/of te spuien in perioden met hoge afvoeren en eventueel de mogelijkheid om de afvoerdeling te sturen. Er zal tijdig een landsbrede strategie nodig zijn waarbij gekozen



Figuur S1. Oplossingsrichtingen en mogelijke adaptatiepaden voor de Nederlandse delta bij een hoge zeespiegelstijging.

moeten om het water van de rivieren af te voeren middels een combinatie van pompen, bergen, spuien en eventueel aanpassen van de afvoerdeling over de riviertakken. De gekozen strategie zal ook gevolgen hebben voor de hoogwaterbescherming langs de rivieren.

- **Laten verzilten of zoet houden:** het zoet houden van Laag-Nederland ten behoeve van de landbouw vraagt veel zoetwater. Vooral in de open varianten van *Beschermen* en *Zeewaarts* en in *Meebewegen* is dit een grote opgave. De strategische keuze is of we bij een zeer hoge zeespiegelstijging deze zoetwatervraag blijven accommoderen of dat we de watervraag reduceren door een keuze voor meer zouttolerante gewassen, niet-grondgebonden teelten en/of een reductie van landbouwactiviteiten in de kustzone.

- **Kust: zacht of hard:** Het onderhouden van een zandige kust speelt een grote rol in de oplossingsrichtingen. Andere (aanvullende) opties zijn een harde kust of het gebruik van vooroeveren en wetlands. Hierbij speelt mee dat het onduidelijk is tot welke stijgsnelheid en totale hoeveelheid zeespiegelstijging de huidige strategie van zandsuppletie opschaalbaar is. Daarbij gaat het om de winbare hoeveelheid zand en de wijze van suppleren. Dit is met name van belang voor de oplossingsrichtingen *Zeewaarts* en *Beschermen*.

Aanbevelingen voor adaptatiebeleid

Kiezen voor een oplossingsrichting is nog niet nodig, er is tijd om de onzekerheid omtrent de toekomstige zeespiegelstijging te verkleinen, de mogelijke gevolgen beter te kwantificeren en eventuele oplossingsrichtingen en strategieën nader uit te werken. In de tussentijd is het essentieel een breed scala van opties open te houden en voor te bereiden middels de volgende acties voor de komende 20 jaar:

- **Ruimte hebben is de sleutel** om op termijn de mogelijkheid open te houden om verschillende adaptatiepaden te volgen. Dat kan middels ruimte reserveren voor maatregelen zoals waterberging, zandwinning, dijkversterking en dijkverhoging. Dat kan ook door zo te bouwen dat het op termijn gemakkelijk is om het gebouwde aan te passen of weg te halen. Of door gebieden een bestemming te geven die op termijn gemakkelijk aangepast kan worden. Denk aan windparken op zee waarbij windmolens zo geplaatst worden dat die ook weer weggehaald kunnen worden om de optie om *Zeewaarts* te gaan open te houden.
- **Voer stress-testen uit** bij nieuwe ontwikkelingen zodat er alleen nog beslissingen genomen worden die passen bij een of meerdere oplossingsrichtingen. Bijvoorbeeld voor nieuwe gebouwen: overweeg klimaatbestendig bouwen (opgehoogd, of op palen of overstroombaar) en/of op zo'n manier dat het makkelijk ook weer weg te halen is.
- **Benut andere ontwikkelingen.** Voor de komende 20 jaar geven ontwikkelingen zoals energietransitie en huisvesting een nieuwe bestemming aan bestaande ruimte. Dergelijke ontwikkelingen kunnen sturend zijn voor waterbeheer.
- **Experimenteer met meebewegen** om te leren over de schaalbaarheid en aanpasbaarheid van maatregelen, zoals zandsuppletie, aanleg eilanden als onderdeel van een zeewaartse kustlijn, landspiegelstijging, andere vormen van landgebruik (zilte landbouw) en leven met water in stedelijk gebied. En daarnaast ervaring krijgen met sociale en institutionele maatregelen met name voor de oplossingsrichting '*meebewegen*'.
- **Vermijd 'high-regret' activiteiten** als het plaatsen van niet-verwijderbare windmolens in zee op locaties waar in de toekomst mogelijk eilanden komen; nieuwbouwprojecten die toekomstige waterberging, waterafvoer of versterking van waterkeringen belemmeren.
- **Ontwikkel adaptief ontwerp** om de projecten die de komende jaren gerealiseerd worden, indien nodig, in de toekomst te kunnen uitbreiden, verhogen of verplaatsen.

Samengevat gaat het dus om ruimte, flexibiliteit en experimenteren.

Aandachtspunten voor vervolg en kennisvragen

De hier geschetste oplossingsrichtingen zijn het resultaat van een zeer uitgebreide expert judgement en eenvoudige berekeningen. Bij de term 'expert' past een nuancering. De kennis over hoge zeespiegelstijging is nog sterk in ontwikkeling. De kennisvragen die hier in dit rapport genoemd zijn, zullen verre van compleet zijn. Onderstaand zijn in onze ogen belangrijkste kennisvragen voor, onder andere, het Kennisprogramma Zeespiegelstijging.

1. Wat zijn de grenzen en kansen van de huidige strategie en de oplossingsrichtingen?

- Vanuit deze verkenning komen een aantal vragen naar voren die vooral in de systeemverkenningen van spoor 2 opgepakt zouden kunnen worden, bijvoorbeeld over:
- de hoeveelheid beschikbaar zand voor zandsuppletie;
 - de mate van zeespiegelstijging die de stormvloedkeringen nog aan kunnen, over de mogelijkheden om natuurlijke landspiegelstijging in combinatie met vegetatie en suppleren te versnellen;
 - veranderingen in morfologische processen, getij, golven en windopzet bij hogere zeespiegelstijging;
 - kwel en opbarsting bij hogere zeespiegelstijging;
 - de grenzen van de financiering van de oplossingsrichtingen en de houdbaarheid van de normen;
 - het mogelijk verdrinken van de bodem van de Waddenzee en de gevolgen daarvan voor de ecologie; over de gevolgen van het eventueel afsluiten van de Westerschelde, Oosterschelde, en de Waddenzee;
 - de mate van zeespiegelstijging waarbij de keringen niet meer aan de norm voldoen en de mogelijke aanpassingen die de levensduur kunnen vervangen;
 - de mogelijkheden van en uitdagingen bij wijziging van de afvoerverdeling van de rivieren;
 - haalbare combinaties van pompen, spuien, bergen, afvoerverdeling en beschermingsniveau in het rivierengebied;
 - (voor het HWBP) ruimtegebruik van dijken, hoeveel ruimte er nodig is voor pipingbermen en onder welke condities het dan (kosten)efficiënter is om over te stappen op constructieve maatregelen; over waar deze ruimte te vinden is en waar is een gebrek aan ruimte voorzien (bijvoorbeeld in stedelijk gebied); over de gevolgen op de ecologie van het eventueel afsluiten van de Oosterschelde, de Maeslantkering en de Waddenzee (sluiten van zeegaten en de Eems-Dollard).

Aandachtspunten voor de oplossingsrichtingen zijn (vervolgactiviteiten in spoor 4 van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging):

- *Beschermen-Gesloten*: Hoe kunnen (piek-)afvoeren op de Rijn en Maas in het overgangsgedeb geacommodeerd worden door (combinaties van) pompen, bergen, spuien, afvoerverdeling en rivierdijken? Welke ruimte is hiervoor nodig?
- *Beschermen-Gesloten*: Wat zijn de mogelijkheden en consequenties van het afsluiten van de Westerschelde en Waddenzee?
- *Zeewaarts*: Wat is de technische haalbaarheid van eilanden voor de kust en welke bijdrage kunnen deze leveren aan de leefbaarheid van Nederland? Welke mogelijkheden zijn er voor meekoppelen met andere ontwikkelingen?
- *Meebewegen*: Hoe kan aangepast landgebruik bij een extreme zeespiegelstijging laag Nederland leefbaar en bewoonbaar houden (bijvoorbeeld middels drijvend wonen, ophogen van land, gebouwen op palen, verplaatsbare gebouwen, aangepaste teelten)?
- *Meebewegen*: Is er voldoende ruimte en zoetwater beschikbaar in een variant van migratie?

2. Welke adaptatiepaden zijn er en hoe gaan we kiezen?

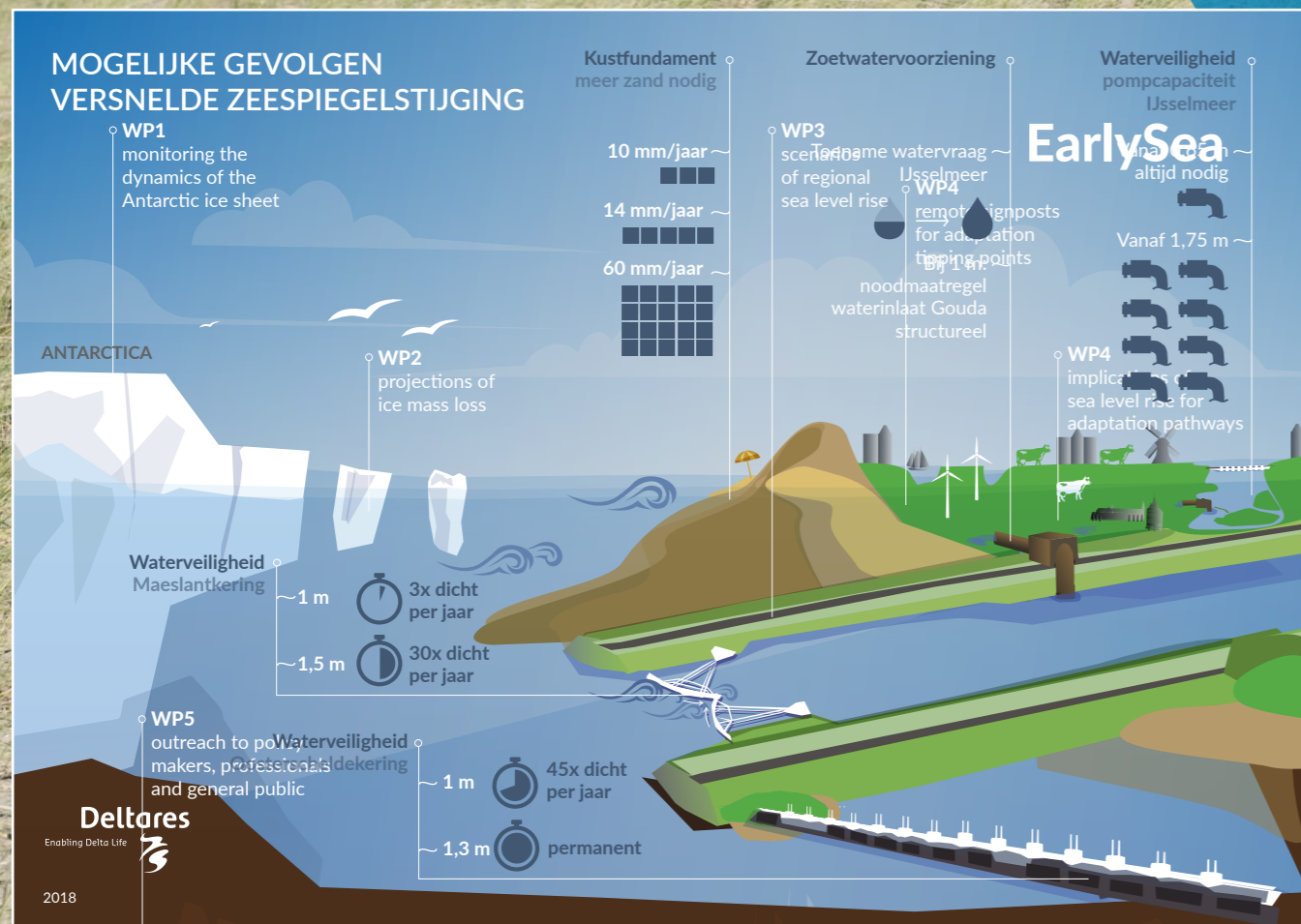
- Hoe zouden uitgewerkte adaptatiepaden voor de verschillende regio's eruit kunnen zien en tot welke cruciale beslissingen en prioriteiten op korte en lange termijn leiden deze? Denk hierbij ook aan ruimtelijke inrichting en de investeringen die bepalen hoe deze inrichting er uit gaat zien (bijvoorbeeld infrastructuur, vastgoed); en aan vervangingsopties voor de Oosterscheldekering en de Maeslantkering met voor elke optie specifieke gevolgen.
- Wat moeten we monitoren? Wanneer kunnen we bepaalde informatie verwachten en hoe verhoudt zich dit tot grote beslissingen die moeten worden genomen? Denk hierbij aan massaverlies van Antarctica, wereldwijde zeespiegelstijging en stijging langs de Nederlandse kust, maar ook voortschrijdende wetenschappelijke kennis op het gebied van klimaatverandering. Dit is onderdeel van spoor 1 en 3 van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging.
- (Hoe) kan informatie over kosten en impact op economie meegenomen worden in lange termijn transformatieve beslissingen onder onzekerheid?
- Hoe zou een instrumentarium eruit kunnen zien waarmee oplossingsrichtingen en bijbehorende adaptatiepaden onderling vergeleken kunnen worden?

- Kan een transitie naar een van de oplossingsrichtingen gestimuleerd worden, en zo ja hoe? Kunnen we knikpunten identificeren? Zien we voorbeelden elders in de wereld voor gebieden waar om verschillende redenen de dreiging boven het hoofd hing om op termijn (fors) in te boeten op leefbaarheid?
- ### 3. Welke transities en meekoppelkansen zijn relevant?
- (Hoe) is meekoppeling met de andere ontwikkelingen, zoals bevolkingsgroei, energietransitie, woningbouw, sociale transitie en landbouw mogelijk, mogelijk en waar zijn juist tegenstrijdige belangen? Denk hierbij aan het verkennen van oplossingsrichtingen onder verschillende socio-economische scenario's.
 - Waar liggen kansen voor innovatie? Denk hierbij aan schaalvergroting van suppleties en pompen, adaptief ontwerp en bouwen, zilte teelten, waterbestendig bouwen, en (tijdelijk, verplaatsbaar of aanpasbaar) ruimtegebruik.
 - Welke beslissingen en ontwikkelingen moet internationaal worden opgemaakt en wat kunnen we van andere landen leren? Denk hierbij aan de problematiek van kleine eilanden, de watervoorziening van grote stedelijk centra zoals Singapore, de overstromingen bij springtij in de Mississippidelta en het huidige (2019) spelende initiatief van de Indonesische regering om de hoofdstad (nu Jakarta) te verplaatsen vanwege de steeds groter wordende bedreiging door grootschalige overstromingen.



Inleiding

1



1.1 | Aanleiding van de verkenning

De zeespiegel stijgt en zal blijven stijgen, maar de mate waarin en het tempo waarmee is onzeker. Recente metingen en studies laten zien dat afbrekend en afsmeltend landijs van Antarctica in de loop van deze eeuw tot een aanmerkelijke versnelling van de stijging kan gaan leiden. Bijlage B van het Deltaprogramma 2019 beschrijft het resultaat van een verkenning naar mogelijke gevolgen van een hoge en versnelde zeespiegelstijging voor de Nederlandse delta (Haasnoot et al., 2018). De KNMI projecties die daarvoor gebruikt zijn, verkennen een grotere bandbreedte aan zeespiegelstijging dan de KNMI'14 scenario's, door uit te gaan van een grote bijdrage van een onstabiele Antarctische ijskap die leidt tot een mogelijk zeer grote versnelling in de zeespiegelstijging na 2050 (Le Bars et al. 2017). Deze versnelling zou binnen een of twee generaties leiden tot zeespiegelstanden waar we tot voor kort alleen over hebben gedacht op een tijdschaal van enkele eeuwen. Deze Antarctische bijdrage aan de zeespiegelstijging is onderwerp van actief internationaal onderzoek waarin ook KNMI en IMAU participeren. Uitsluitel over de vraag of deze versnelde zeespiegelstijging ook daadwerkelijk op zal treden zal nog geruime tijd op zich laten wachten.

De mogelijke gevolgen van een hoge en versnelde zeespiegelstijging voor het beheer van de Nederlandse delta zijn groot (Kader 1). De huidige Delta-strategieën, waaronder handhaving van de kustlijn en de open rivierverbindingen, zullen veel inspanning vergen en mogelijk niet toereikend zijn. Het is nog onduidelijk of en wanneer er sprake zal zijn van een kantelpunt in de adaptatiestrategie. Maar de mogelijke implicaties van zo'n kantelpunt zijn groot en rechtvaardigen daarom een verkenning van mogelijke alternatieve oplossingsrichtingen en de effecten en kansen daarvan. Het is heel wel mogelijk dat de omvang van de verandering ver buiten het zichtveld van het huidige beleid valt, dat gebaseerd is op Deltascenario's

met een stijging tot maximaal 1 m in 2100. Er zijn ook weinig (historische) analogieën voor deze snelle verandering waarvan we zouden kunnen leren. Naast het verkleinen van de onzekerheden over hoe snel de zeespiegel kan gaan stijgen, is het verkennen en doordenken van oplossingsrichtingen en alternatieven daarom van belang.

In vervolg op Bijlage B van het Deltaprogramma 2019 heeft de Minister van Infrastructuur en Waterstaat in juni 2019 aan de Tweede Kamer toegezegd een Kennisprogramma Zeespiegelstijging te starten. Dit Kennisprogramma is gericht op het verkleinen van de onzekerheden over deze dreiging (spoor 1), het zicht krijgen op de houdbaarheid en 'oprekbaarheid' van de huidige strategieën (spoor 2), het tijdig en betrouwbaar signaleren van een versnelling in de zeespiegelstijging (spoor 3), het verkennen van de acties die nodig zijn om lange termijn opties open te houden (spoor 4) en het voorbereiden op een mogelijke transitie met de bijbehorende communicatie en gedragsverandering (spoor 5). Dit Kennisprogramma zal lopen tot 2026, en daarmee, samen met de nieuwe scenario's van IPCC (2021) en KNMI (2023), de benodigde input leveren voor de volgende 6-jaarlijkse herijking van het Deltaprogramma. Uitvoering is in handen van de partners van het Deltaprogramma, in nauwe samenwerking met kennisinstellingen en bedrijven.

Onderhavige verkenning is onderdeel van spoor 4 en draagt onder meer bij aan het ontwerpend onderzoek dat in opdracht van het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (BZK) in het najaar van 2019 wordt opgestart waarin mogelijke oplossingsrichtingen voor aanpassing aan extreme zeespiegelstijging ruimtelijk verkend gaan worden in relatie tot andere ruimtelijke ontwikkelingen en transities.

1.2 | Doel

Het doel van dit project is het inventariseren, verkennen, en duiden van de consequenties van verschillende adaptatiestrategieën voor

een snelle en hoge zeespiegelstijging, om daarmee te kunnen inschatten welke maatregelen op korte termijn nodig zijn om lange termijn opties open te houden. Het project is opgedeeld in twee fasen. Fase 1 focust op het inventariseren en duiden van oplossingsrichtingen, en het formuleren van onderzoeksvragen. Fase 2 heeft tot doel om de alternatieve oplossingsrichtingen nader te analyseren en verder uit te werken. Dit rapport beschrijft de uitkomsten van fase 1.

1.3 | Aanpak

Deze studie verkent de contouren van de inrichting en het waterbeheer van Nederland bij een extreme zeespiegelstijging. Daarbij worden verschillende oplossingsrichtingen beschouwd en verkend wat nodig is om deze opties open te houden. De vraag is gesteld hoe de Nederlandse delta en het deltabeheer eruit zouden zien bij een zeespiegelstand van +2 tot +4 meter. Vervolgens is gekeken welke 'low-regret' keuzes en maatregelen nodig zijn om mogelijke opties voor de toekomst open te houden. In het rapport wordt regelmatig gesproken over de korte, middellange en lange termijn. Deze zijn als volgt gedefinieerd:

Korte termijn:	0-20 jaar
Middellange termijn:	20-60 jaar
Lange termijn:	>60 jaar

Diverse technische aspecten in dit rapport zijn eerder genoemd in het rapport van Haasnoot et al. (2018). Deze zijn nu verder uitgediept. Ook wordt de maatschappelijke haalbaarheid van diverse oplossingsrichtingen op een kwalitatieve manier in beeld gebracht.

Naast experts van Deltares is deze verkenning uitgevoerd met input van een kernteam (zie Bijlage A) bestaande uit verschillende experts van vijf universiteiten (TU Delft, Vrije Universiteit, Universiteit Utrecht, Universiteit Twente en Wageningen Universiteit), kennisinstututen (PBL) en een begeleidingscommissie bestaande uit vertegenwoordigers van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Rijkswaterstaat-Water Verkeer en Leefomgeving, staf Deltacommissaris en directoraat-generaal Water en Bodem.

De volgende activiteiten zijn deze verkenning uitgevoerd:

1. inventarisatie van bestaande plannen voor aanpassing aan zeespiegelstijging en beschrijven op de wiki;

2. categorisering van deze plannen in oplossingsrichtingen;
3. definitie van indicatoren en kenmerken op basis waarvan de oplossingsrichtingen beschreven worden (mede op basis van input van experts in een workshop);
4. beschrijving en analyse van de oplossingsrichtingen aan de hand van de indicatoren op basis van literatuur, schriftelijke input van het kernteam, studenten-hackathon en resultaten van de workshops met experts;
5. beschrijving en analyse van adaptatiepaden voor oplossingsrichtingen, inclusief overstapmogelijkheden tussen de oplossingsrichtingen, en het identificeren van strategische keuzes en 'low-regret' and 'high-regret' maatregelen;
6. definitie van verdiepende onderzoeksvragen voor fase 2.

In het project zijn de volgende mijlpalen gerealiseerd:

- Actualisatie van een bestaande wiki over kustontwikkeling met een overzicht van bestaande plannen voor adaptatie aan zeespiegelstijging¹;
- Een eerste workshop in april 2019 met Deltares en betrokkenen van vijf universiteiten (Universiteit Utrecht, TU Delft, Universiteit Twente, VU-IVM) over bovenstaande activiteiten 1 t/m 3;
- Een tweedaagse hackathon in juni 2019 waarin studenten van de betrokken universiteiten een eerste invulling hebben gegeven aan de beschrijving van de oplossingsrichtingen. Een hackathon is een werksessie waarin in korte tijd concrete vragen worden beantwoord met behulp van modellen, eenvoudige berekeningen, literatuur en expert judgement. De studenten kregen begeleiding van Deltares-experts. De resultaten zijn, na review van de Deltares begeleiders, verwerkt in kaders in deze rapportage. De volgende vragen zijn opgepakt:
 - *Wat zijn mogelijke adaptatiepaden naar de verschillende oplossingsrichtingen? Wat zijn cruciale en low-regret beslissingen?*
 - *Hoeveel pompcapaciteit is nodig om de rivierafvoer uit de Rijn-Maasmonding te pompen? Wat zijn de afwegingen tussen pompen, spuien en tijdelijke opslag?*
 - *Hoeveel ruimte is nodig voor het verbreden van de dijken langs de rivieren en waar is deze ruimte beschikbaar?*

¹ <http://nladapt.deltares.nl>

² <https://www.youtube.com/watch?v=w1BuEMTBW3w>

- *Hoeveel zand is nodig voor kunstmatige eilanden?*
- *Waar is landspiegelstijging via natuurlijke sedimentatie mogelijk en tot welke stijgsnelheid van de zeespiegelstijging kan dit?*

Van de hackathon is een vlog gemaakt².

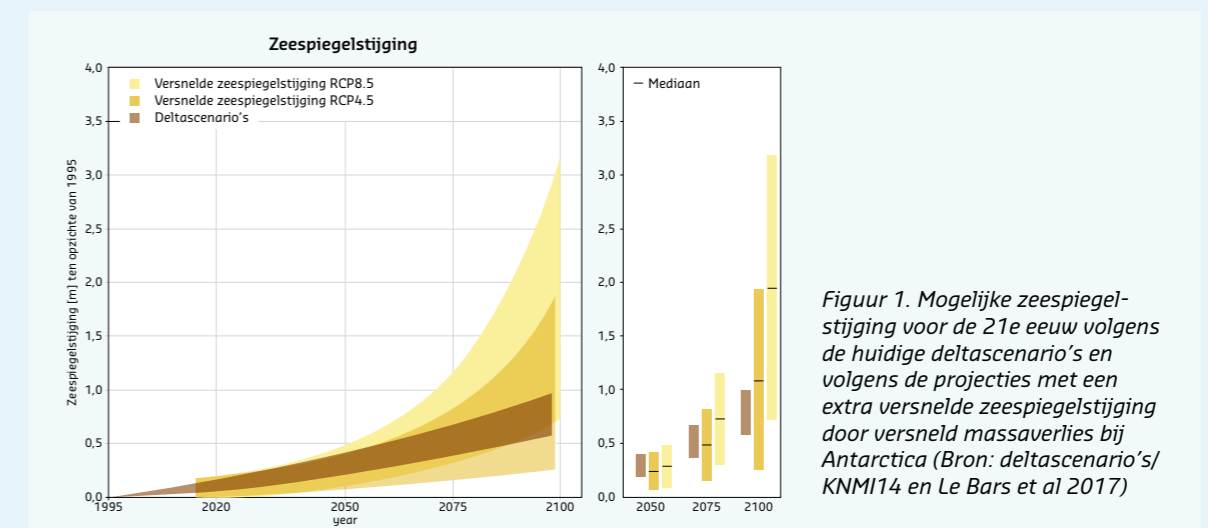
- Tweede workshop met Deltares, betrokkenen van vijf universiteiten en begeleidingsgroep over bovenstaande activiteiten 4 t/m 6 (in juni 2019); Ter voorbereiding is informatie aangeleverd door de experts uit het kernteam (Bijlage A).
- Onderhavige rapportage.

Kader 1 Mogelijk versnelde zeespiegelstijging en gevolgen voor Nederland bron: Haasnoot et al. 2018

De huidige scenario's voor het Deltaprogramma gaan voor Nederland uit van een zeespiegelstijging tussen 0,35 meter en 1 meter in 2100 (ten opzichte van referentiejaar 1995). Nieuwe projecties van het KNMI (Le Bars et al. 2017) wijzen er echter op dat de zeespiegel tot wel 2 meter kan stijgen in 2100, ook als de doelen van het klimaatakkoord van Parijs - een temperatuurstijging van maximaal 2°C in deze eeuw - worden gehaald. Bij een sterkere opwarming van de aarde (met 4°C in 2100) kan de zeespiegel in 2100 stijgen tot 3 meter ten opzichte van 1995. NB, dit zijn niet de formele KNMI-projecties, maar projecties die uitgaan van het optreden van mechanismen die leiden tot een versneld verlies van ijsmassa op Antarctica en daarmee tot een extra versnelling van de zeespiegelstijging na 2100 (zie figuur). Ook na 2100 zal de zeespiegel doorstijgen, mogelijk tot 5-8 m in 2200.

Een gevolg van zeespiegelstijging is dat stormvloedkeringen steeds vaker moeten sluiten

en - bij extreme waarden van de zeespiegel - uiteindelijk helemaal dicht gaan (zie onderstaande infographic). Bij grote stormen zal er vaker en ook meer water over de keringen heen gaan. Steeds meer zand is nodig om de kustlijn te handhaven. Bij stijgsnelheid van 10 mm/jaar is er naar schatting ongeveer drie tot vier keer meer zand nodig dan nu. In de nieuwe projecties en ook in de hoge deltasenario's is dit rond 2050. In 2100 kan dit oplopen tot 20 keer meer, afhankelijk van de snelheid van stijging. Ook kan een extra versnelde zeespiegelstijging vanaf 2050 een forse toename van de zoutindringing via de rivieren tot gevolg hebben. In dat geval moeten inlaatpunten in het benedenrivierengebied (Gouda, Lek, Bernisse) vaker en langer sluiten. Door zoutindringing via de ondergrond neemt bij een vergelijkbaar landgebruik de watervraag toe aan het einde van deze eeuw. Dit kan leiden tot een veel grotere watervraag aan het IJsselmeer, mogelijk 2 keer zo veel aan het einde van de eeuw in het hoge scenario (RCP8.5).



Figuur 1. Mogelijke zeespiegelstijging voor de 21e eeuw volgens de huidige deltasenario's en volgens de projecties met een extra versnelde zeespiegelstijging door versneld massaverlies bij Antarctica (Bron: deltasenario's/KNMI14 en Le Bars et al 2017)

Analysekader

2

2.1 | Zoekrichtingen en kenmerken

Voor het categoriseren en beschrijven van de ideeën voor aanpassen aan zeespiegelstijging maken we gebruik van de zoekrichtingen en kenmerken die ook in de internationale wetenschappelijke literatuur voorkomen.

2.1.1 Zoekrichtingen internationaal

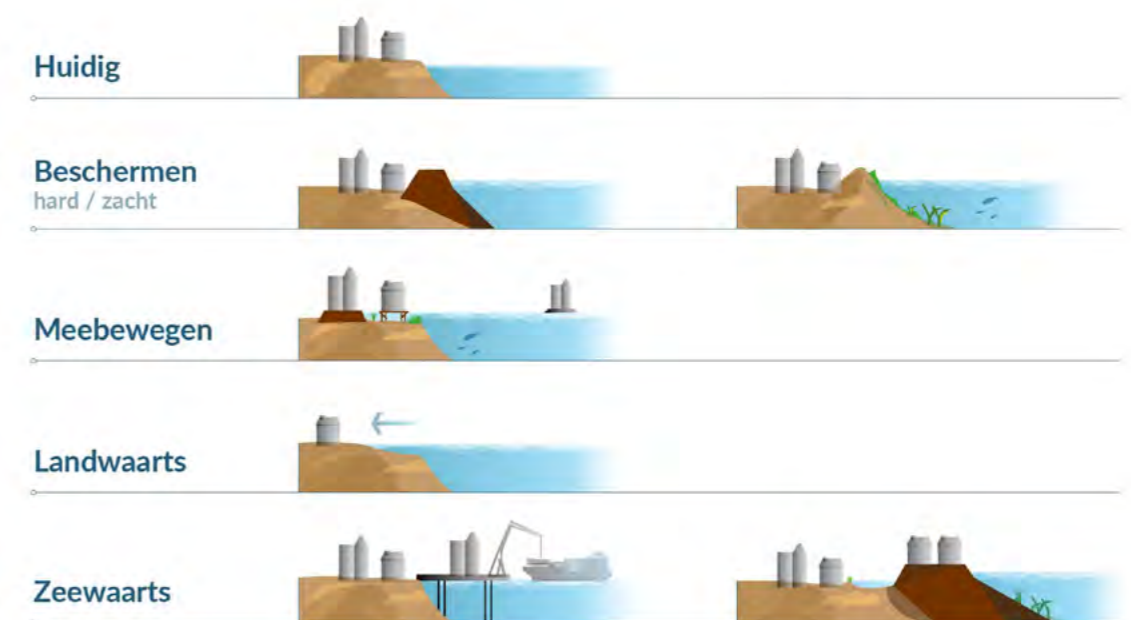
Het IPCC onderscheidt vier categorieën van adaptatie: *Beschermen*, *Meebewegen*, *Terugtrekken* en *Zeewaartse uitbreiding* (e.g. IPCC, 1990). *Beschermen* verkleint de kans op ongewenste gevolgen van zeespiegelstijging aan de kust en in de delta, zoals overstromingen. Dit kan gedaan worden met harde infrastructuur zoals dijken, zeeweringen, golfbrekers en stormvloedkeringen die overstromingen en erosie tegenhouden, maar ook zachte sediment-gebaseerde manieren door zandsuppleties op strand en vooroever, of op 'nature-based' manieren zoals moerasgebieden, vegetatie

en oesterbanken. *Meebewegen* verkleint de kwetsbaarheid van huizen en infrastructuur voor overstroming door bijv. drijvend wonen, gebouwen op palen, floodproofing van huizen, waarschuwingssystemen en ruimtelijke planning. *Terugtrekken* ("Landwaarts") bestaat uit (tijdelijke) migratie en geplande herlocatie naar hoger gelegen gebieden. Een *Zeewaartse uitbreiding* beschermt de kust tegen overstroming en erosie door het creëren van (hoger gelegen) land in zeewaartse richting.

2.1.2 Kenmerken

De oplossingsrichtingen beschrijven we verder aan de hand van een aantal kenmerken:

- de mate waarin de huidige kustzone gehandhaafd wordt ('hold-the-line') versus de mate waarin de huidige kustlijn of het deltagebied wordt aangepast in landwaartse of in zeewaartse richting;
- het gebruik van harde infrastructuur versus het gebruik van de natuur zoals zand en vegetatie.



Figuur 2. Categorieën voor aanpassen aan zeespiegelstijging, zoals gebruikt door IPCC.

2.2 | Indicatoren

Voor de beschrijving van de oplossingsrichtingen is gekeken naar een aantal hoofdindicatoren: het doelbereik (voor het Deltaprogramma), de technische haalbaarheid, maatschappelijke haalbaarheid en adaptiviteit van de strategie. Een overzicht daarvan staat in onderstaande tabel. De technische

haalbaarheid vormt daarbij een verdere detaillering van hetgeen het Deltares rapport uit 2018 (Haasnoot et al. 2018) beschreef, en is daarom meer uitgewerkt dan de bestuurlijke en maatschappelijke haalbaarheid, die nu pas voor het eerst beschouwd worden.

Tabel 1. Indicatoren voor het beschrijven van de oplossingsrichtingen.

Hoofd-indicator	Indicatoren	Bijbehorende vragen
Doelbereik	Doelbereik mate van zeespiegelstijging	<ul style="list-style-type: none"> Hoeveel zeespiegelstijging kan een oplossing (of een bepaald ontwerp van een oplossing) aan?
	Consequenties waterveiligheid en zoetwatervoorziening	<ul style="list-style-type: none"> Wat zijn de gevolgen voor waterveiligheid, zoetwatervoorziening? Wat zijn de gevolgen voor watergebruikers zoals natuur, landbouw en scheepvaart?
	Meekoppelkansen	<ul style="list-style-type: none"> Hoe past deze oplossing met andere doelstellingen en ontwikkelingen zoals energietransitie?
Haalbaarheid	Technische haalbaarheid	<ul style="list-style-type: none"> Is de oplossing technisch haalbaar? Zijn resources beschikbaar? (ruimte, zand, energie,...) Is er voldoende tijd voor implementatie?
	Bestuurlijke en maatschappelijke haalbaarheid	<ul style="list-style-type: none"> Wat is de impact op bewoners, private organisatie en overheid? Hoe kunnen zij helpen bij het implementeren van de oplossing (inc. instituties en regelgeving)? Wat zijn de (relatieve) kosten? Wat zijn de gevolgen voor investeringsklimaat?
Adaptiviteit van strategie		<ul style="list-style-type: none"> Is de oplossing flexibel, te faseren en/of schaalbaar? Wat is de padafhankelijkheid? In hoeverre zijn maatregelen reversibel, of leiden ze tot een lock-in? Wat zijn cruciale beslissingen? Waar is overlap tussen de oplossingsrichtingen? En wat betekenen de oplossingen voor de komende 20 jaar, terwijl er nog grote onzekerheid is?

Oplossingsrichtingen voor Nederland

3

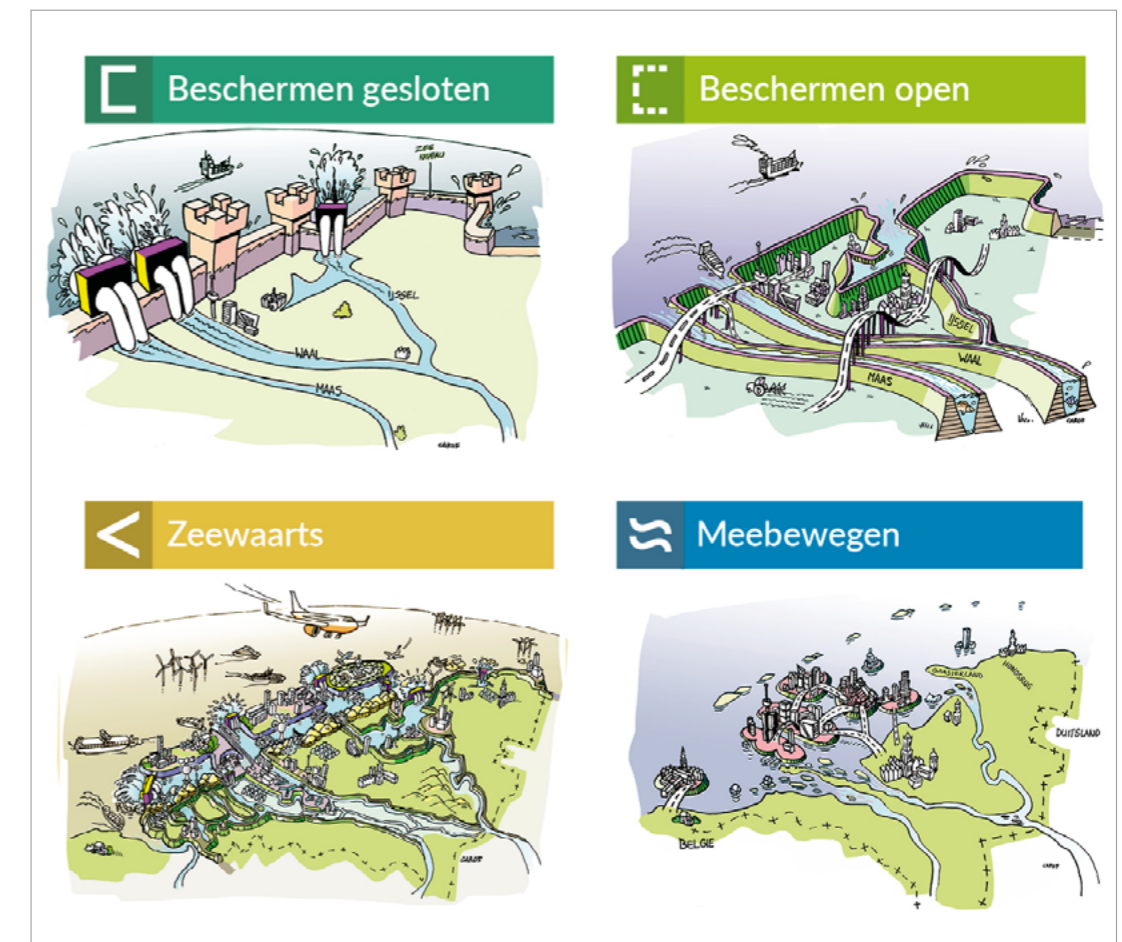


3.1 | Overzicht

Voor Nederland zien we op hoofdlijnen vier oplossingsrichtingen voor adaptatie aan zeespiegelstijging, die grotendeels in overeenstemming zijn met de internationaal erkende richtingen voor aanpassen aan zeespiegelstijging (paragraaf 2.1). Figuur 2 geeft een karikatuur van deze oplossingsrichtingen. Deze oplossingsrichtingen spannen de oplossingsruimte voor Nederland zo veel mogelijk op. In de praktijk zal eerder een combinatie van oplossingsrichtingen passend of wenselijk zijn.

Omdat de mogelijke effecten van zeespiegelstijging niet alleen voor de kust gevolgen hebben

maar ook voor het achterliggende land, is ervoor gekozen om *Beschermen* in een gesloten en een open versie te splitsen. *Beschermen-open* lijkt het meest op het voortzetten van de huidige strategie m.b.t. Rijnmond en Wester/Oosterschelde, hoewel er lokaal verschillen zijn (de strategie voor het IJsselmeer, het Noordzeekanaal, Haringvliet en Grevelingen sluiten beter aan bij *Beschermen-gesloten*). Verder ligt het voor de hand dat *meebewegen* en terugtrekken in Nederland in combinatie uitgevoerd gaan worden. *Meebewegen* vraagt namelijk in de regel om extra ruimte voor water; in een dichtbevolkt land als Nederland zal dat naar verwachting in combinatie met landwaartse migratie plaatsvinden.



Figuur 3. Oplossingsrichtingen voor adaptatie aan hoge zeespiegelstijging voor de Nederlandse delta (Schetsen zijn gemaakt door ©Beeldleveranciers-Carof in opdracht van Deltares).

Beschermen-gesloten verkleint de kans op gevolgen van zeespiegelstijging door de kust tegen overstroming en erosie te beschermen. Dit kan zowel met harde infrastructuur als op zachte manieren die op sediment of natuur gebaseerd zijn. De gesloten variant houdt in dat heel Nederland permanent is afgesloten van zee met een solide waterkering zodat de waterstand in de rivieren niet met de zeespiegel stijgt en zout niet verder in de delta kan indringen. De rivieren moeten dan met grote gemalen worden afgepompt naar de Noordzee.

In *Beschermen-open* blijven de rivieren juist in verbinding met de zee. Deze oplossingsrichting verkleint de kans op gevolgen van zeespiegelstijging in de delta door niet alleen de kust, maar ook het land langs de rivieren, die nog in verbinding met de zee staan, te beschermen. Naast kustbescherming zoals in de gesloten variant horen bij de open variant ook stormvloedkeringen in de riviermondingen die tijdens hoge waterstanden afgesloten kunnen worden, en extra beschermingen zoals dijken langs de open rivieren.

Meebewegen verkleint de kwetsbaarheid van huizen en infrastructuur door bijvoorbeeld drijvend wonen, ophogen van land, gebouwen op palen, overstromingsbestendig maken van gebouwen, waarschuwingssystemen en ruimtelijke planning. *Meebewegen* betekent voor de Nederlandse delta ook de (tijdelijke) migratie en geplande herlocatie naar hoger gelegen gebieden. Deze strategie wordt ook wel de optie 'Leven met water' genoemd en houdt in dat door middel van aanpassingen de kwetsbare kustgebieden nog steeds gebruikt kunnen worden ondanks de stijgende zeespiegel.

Zeewaarts betekent het creëren van hoger gelegen land in *zeewaartse* richting met als voornaamste doel de veiligheid te vergroten. Tegelijkertijd wordt ook nieuwe ruimte gecreëerd voor wonen, recreatie, natuur of energievoorzieningen. Het verschuiven van de huidige kustlijn *Zeewaarts* kan door een nieuwe kuststrook met of zonder kustmeer of door eilanden bereikt worden.

3.2 | Ideeën en maatregelen binnen de oplossingsrichtingen

Er bestaan al veel ideeën en typen maatregelen voor adaptatie aan zeespiegelstijging. In het kader van deze verkenning zijn deze ideeën verzameld en kort beschreven op de website: <http://nladapt.deltares.nl>. Via deze website is ook een lijst met ideeën voor kustontwikkeling te vinden. Deze ideeën en maatregelen passen bij een of meer van de hierboven beschreven oplossingsrichtingen. In deze verkenning zijn de ideeën vooral gebruikt om een idee te krijgen van de mogelijke uitwerking van de vier oplossingsstrategieën. De onderlinge vergelijking en het beoordelen van deze ideeën maakt geen onderdeel uit van deze verkenning.

In de tekst hieronder en de tabel 2 geven we een overzicht van maatregelen voor elk van de vier oplossingsrichtingen.

3.2.1 Beschermen

Omdat voor *Beschermen-open* en *Beschermen-gesloten* in ieder geval de kuststrook beschermd moet worden vallen vele hieronder beschreven maatregelen in beide oplossingsrichtingen.

Een optie voor het aanpassen aan de stijgende zeespiegel is het verhogen en het verstevigen van de huidige dijken. Naarmate een dijk hoger/sterker moet worden, neemt die steeds meer ruimte in, tenzij wordt gekozen voor damwanden. In principe kunnen dijken flexibel opgehoogd worden, maar doorgaans is het efficiënter om dit in 1 keer te doen. Dijken hoeven niet alleen water te keren, maar kunnen meerdere functies hebben. De *Superdijk* is bijvoorbeeld een extra brede en sterke (overslagbestendige) dijk waarop weer huizen gebouwd kunnen worden. Ook kan een dijk aantrekkelijk worden gemaakt door combinatie met een boulevard (zie bijvoorbeeld: de *Zwakke schakel Scheveningen - verharde zeekering*). In combinatie met vegetatie die de dijk extra tegen golven beschermt kan de natuurwaarde worden verhoogd (zie bijvoorbeeld: de *Zachte superdijk*).

Met het concept van de dubbele dijk (bijvoorbeeld *Waker en Slaper*), kan in sommige gevallen worden vermeden dat de primaire waterkering aanzienlijk verhoogd en versterkt moet worden door de nog



aanwezige slaperdijken achter de primaire waterkering op sterkte te brengen. Een dubbele dijk kan efficiënter zijn qua kosten en landgebruik. De primaire dijk dempt de golven. Daarvoor moet deze wel tegen golfoverslag worden verstevigd. Het land tussen de waker en de slaper kan tijdelijk overstromen. Bij een hogere zeespiegelstijging gebeurt dit vaker, en mogelijk moeten de dijken moeten alsnog aangepast worden.

Golfbrekers dempen golven voordat ze de kust bereiken en verminderen zo golfoploop en erosie. Ze beschermen niet tegen stormopzet of een gemiddeld hogere zeespiegel. Maar omdat ze de golfactie op de kust en de duinen beperken hebben deze ook met een hogere zeespiegel een hogere veiligheidsniveau. Grootschalige golfbrekers in een rechte hoek beïnvloeden het gedrag van de getij, en potentieel ook van stormopzet, en kunnen voor energiewinning uit het getij ingezet worden (zie bijvoorbeeld *Plan T*). Golfbrekers kunnen ook de natuurwaarde beïnvloeden door aantrekking van planten en dieren. Voorbeelden van natuurlijke golfbrekers zijn *Kunstmatige koraalriffen* of oesterriffen in Nederland. Omdat dit levende structuren zijn kunnen ze tot een bepaalde snelheid met een stijgende zeespiegel meegroeien.

'Zachte' op sediment gebaseerde methoden om de kust te beschermen zijn zandsuppleties die op het strand of de vooroever worden geplaatst (bijvoorbeeld *Zwakke schakel Delflandse kust*). De kust behoudt daardoor een natuurlijk uiterlijk. De zandhoeveelheid kan worden aangepast aan de snelheid van zeespiegelstijging. Het zand komt door windtransport in de duinen terecht,

welke op deze manier met de zeespiegel mee kunnen groeien. Deze methode vereist dat er voldoende zand beschikbaar is. Het natuurlijk evenwicht van de kust ecologie wordt verstoord door de zandsuppletie, maar kan herstellen als er voldoende hersteltijd tussen suppleties in acht wordt genomen. Momenteel wordt een herstelperiode van minimaal 5 jaar gehanteerd, waarbij wordt aangenomen dat het gesuppleerde gebied gerekoloniseerd kan worden door soorten uit omliggende gebieden.

Bij mega zandsuppleties wordt een grotere hoeveelheid zand geplaatst zodat het kustmilieu minder vaak verstoord moet worden (eens per ~20 jaar). De mega zandsuppleties kunnen, net als bij de *Zandmotor*, in de vorm van een schiereiland worden geplaatst van waaruit het zand door getij en golven langs de kust wordt verdeeld. Dit kan tijdelijk extra ruimte voor natuur en recreatie creëren.

Duinen versterken kan niet alleen door hierboven beschreven, maar ook door het herstellen van natuurlijke processen. Door bijvoorbeeld de *vorming van washovers en sluffers* overstromen de duinen alleen tijdens zeer hoge waterstanden. Daardoor wordt zand geïmporteerd en kunnen de duinen in etappes met de stijgende zeespiegel meegroeien. Deze methode is flexibel, maar het duingebied moet voldoende groot zijn voor deze natuurlijke processen.

Vegetatie is een natuurlijke manier om golven te dempen en daardoor erosie te minderen, zoals toegepast bij de *Zachte superdijk*. Vegetatie kan de

bodem helpen om met de stijgende zeespiegel mee te groeien door vermindering van de stroomsnelheid en neerslag van sediment. De invloed van de vegetatie op het veiligheidsniveau is afhankelijk van de status van het ecosysteem en kan door verontreiniging of zware stormen worden verlaagd. Ook moet de vegetatie het tempo van de stijgende zeespiegel bij kunnen houden.

Kenmerkend voor de oplossingsrichting *Beschermen-gesloten* is de maatregel Rivieren afsluiten. Dit betekent dat de Maas en de Rijn permanent van de zee afgesloten worden, zoals bijvoorbeeld in *Plan Sluizen*. Deze maatregel is minder flexibel omdat permanente waterkeringen inclusief pompen gebouwd moeten worden en omdat het achterliggende gebied op een vast peil ingericht moet worden. De geplande pompcapaciteit moet ook rekening houden met een eventueel stijgende rivierafvoeren die gepaard gaat met de optredende klimaatverandering. Een neveneffect van het rivieren afsluiten is het beperken van zoutindringing in de rivieren. Naast het afsluiten van de Nederlandse kust, zijn er ook ideeën om de Noordzee af te sluiten (bijv. *Noordzeedijk*).

Kunstwerken zoals stormvloedkeringen zijn een belangrijke maatregel in de oplossingsrichting *beschermen* omdat ze tijdelijk kunnen worden gesloten tijdens stormvloed, zoals bijv. gebruikt in het plan *De zuidwestelijke Delta 2200*. Omdat de rivieren alleen tijdens stormen worden gesloten blijven de havens bereikbaar. Zoutwater kan verder stroomopwaarts doordringen met een stijgende zeespiegel en tijdens lage rivierafvoeren. Kunstwerken zijn ook geschikt om bijv. de hele Waddenkust te beschermen met keringen tussen de Waddeneilanden zoals in het plan *Fryske Fiersichten*. Een dergelijke bescherming in het Waddengebied zou overigens alleen gezamenlijk met andere landen kunnen worden uitgevoerd omdat het waddengebied zich uitstrekt tot Denemarken.

3.2.2 Meebewegen

Meebewegen bestaat uit het aanpassen van de vorm en locatie van landgebruik zoals steden en landbouw. Een manier om gebouwen overstromingsbestendig te maken is ophoging. Dit kan gerealiseerd worden door huizen op palen te bouwen, zodat het water er onderdoor kan stromen (bijvoorbeeld *Risicobewust bouwen op de zeekering*). Een andere manier van ophogen is het bouwen op terpen. Tijdens een overstroming fungeren de

terpen als eilanden die droog blijven. Er zijn ook ideeën om grotere gebieden op te hogen (bijvoorbeeld met megaterpen (*Nederland omhoog*)). Ook kunnen terpen gecombineerd worden met dijken, bijv. de *Deltadijk - Terpdijk - Klimaatdijk*; een concept vergelijkbaar met de *Superdijk*. Het benodigde materiaal kan bestaan uit baggermateriaal (bijvoorbeeld *Terpen van baggerspecie*). Terpen verminderen de schade en daarmee de eisen voor het beschermen tegen overstroming, maar zijn moeilijk aan te passen aan een hogere zeespiegelstijging. Een rotatie van verschillende gebieden is een mogelijkheid, maar vergt tijd en tijdelijk extra ruimte.

Flexibel *meebewegen* met de zeespiegelstijging kan door drijvende eilanden (bijvoorbeeld *Drijvend Schiphol*), drijvende steden (*Drijvende stad*) of drijvende huizen (bijvoorbeeld *Amfibisch wonen*).

Naast het kunstmatig ophogen van land, is het ook mogelijk om gebruik te maken van natuurlijke sedimentatie, bijvoorbeeld met *Wisselpolders*. Door tijdelijk land terug te geven aan de zee bij hoog water, of permanent als de zee verder is gestegen, kan er sediment in de polder bezinken. Door het overstroom met zout water zijn wisselpolders alleen beperkt voor andere activiteiten beschikbaar. Land aan de zee overlaten kan ook permanent door het verplaatsen van steden en activiteiten naar hogere en beschermde gebieden (bijvoorbeeld *Plan New Netherlands* en *Plan B - Nederland 2200*). Dit vergt een ingrijpende transitie en heeft een lange aanlooptijd.

3.2.3 Zeewaarts






De oplossingsrichting *Zeewaarts* creëert door de aanleg van hoger gelegen land niet alleen een nieuwe zeewaartse kustverdediging maar ook extra ruimte voor wonen, natuur, recreatie, transport, energiewinning en in sommige plannen opties voor opslag van energie en zoetwater. De zeewaartse uitbreiding kan op een zachte manier uitgevoerd worden, maar om het nieuw aangelegde land te beschermen kan gebruik gemaakt worden van harde oplossingen. Zeewaartse uitbreiding vraagt een grote hoeveelheid zand en geruime tijd voor de aanleg, afhankelijk van de grootte. Voorbeelden van de zeewaartse uitbreiding van de kust door landaanwinning zijn *West-Holland*, *Brede kuststrook*, *Plan Waterman*. Een andere mogelijkheid is om de nieuwe landstrook met een randmeer te scheiden van de huidige kust. Daardoor wordt de huidige kust beschermd en ontstaat

een bekken om de afstroming van de grote rivieren op te vangen die uiteindelijk (op termijn) naar zee gepompt moet worden. Dit verlaagt de opgave van dijken langs het benedenrivierengebied. Voor een landstrook met randmeer kan de benodigde hoeveelheid zand uit het bekken tussen de nieuwe landstrook en de huidige kust worden gewonnen. Een voorbeeld is de *Haakse Zeedijk*.

Eilanden voor de kust die kunnen fungeren als golfbreker en daarnaast ook ruimte bieden voor wonen, industrie en andere activiteiten vallen ook binnen

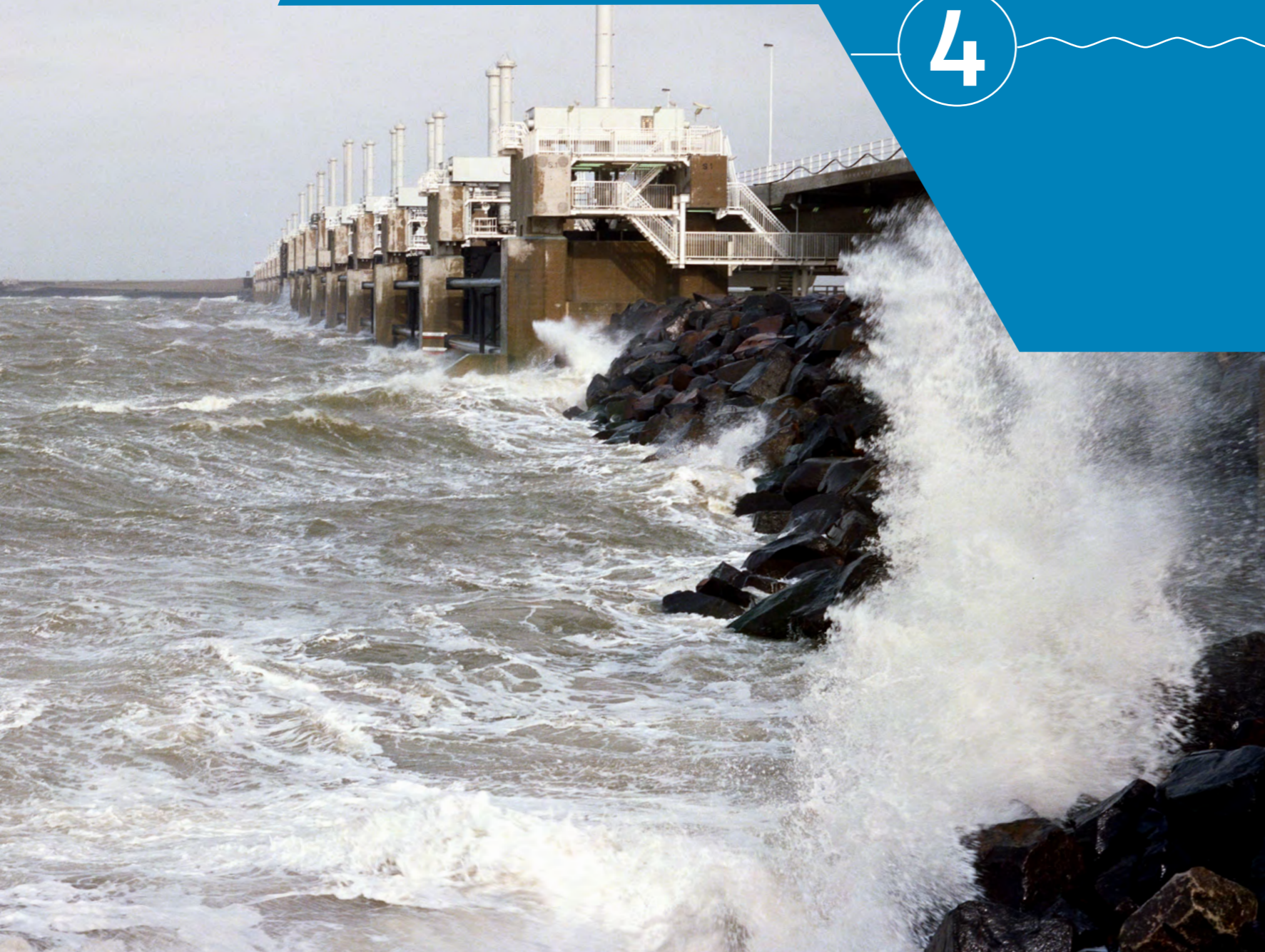
de oplossingsrichting zeewaarts. Voorbeelden zijn *Deltawerken van de Toekomst* en *Plan Emergo*. Als het water tussen de eilanden ondiep is kan tijdens vloed zand getransporteerd worden die de bodem van de kust ophoogt (zie bijvoorbeeld *Delta 21*). Als het water tussen de eilanden en de kust diep is beschermen eilanden vooral tegen golfactie en golfoploop. Alleen als de gaten tussen de eilanden voorzien zijn van stormvloedkeringen kunnen ze ook tegen stormopzet en gemiddelde zeespiegelstijging beschermen.

Tabel 2 Overzicht van de voorbeelden van ideeën en plannen passend bij de 4 oplossingsrichtingen.

Oplossings-richting	Type maatregelen		
	Harde infrastructuur	Zacht gebaseerd op sediment	Nature-based
 Beschermen (gesloten en open)	<ul style="list-style-type: none"> Dijken aanpassen (Superdijk) Dubbele dijk (Waker en Slaper) Golfbreker (Plan T) Afsluiting Noordzee of NL kust (Noordzeedijk) 	<ul style="list-style-type: none"> Lokale Zandsuppleties (Zwakke schakel Delflandse kust) 	<ul style="list-style-type: none"> Mega Zandsuppleties (Zandmotor Delfland, De zuidwestelijke Delta 2200) Duinen versterken (Vorming washovers en sluffers, Verstuiving in de duinen) Vegetatie (Zachte superdijk)
 Beschermen (alleen gesloten)	<ul style="list-style-type: none"> Rivieren afsluiten (Plan Sluizen) 		
 Beschermen (alleen open)	<ul style="list-style-type: none"> Stormvloedkeringen (Fryske Fiersichten, De zuidwestelijke Delta 2200) 		
 Meebewegen	<ul style="list-style-type: none"> Megaterpen (Nederland omhoog) Huizen op palen (Risicobewust bouwen op de zeekering) Drijvende eilanden (Drijvend Schiphol) Drijvende huizen (Amfibisch wonen) Drijvende steden (Drijvende stad) 		<ul style="list-style-type: none"> Landspiegelstijging (Wisselpolders) Land aan de zee overlaten (Plan B - Nederland 2200, Plan New Netherlands)
 Zeewaarts		<ul style="list-style-type: none"> Landstrook met kustrandmeer (Haakse Zeedijk) Landaanwinning (Brede kuststrook, Nieuwe Hollandse Zeelinie, Plan Waterman) Eilanden (Deltawerken van de Toekomst, Plan Emergo, Delta 21, de Tulp, Fryske Fiersichten) 	

Analyse van de oplossingsrichtingen

4



Dit hoofdstuk beschrijft een analyse van de oplossingsrichtingen aan de hand van de indicatoren gerangschikt onder doelbereik, haalbaarheid en adaptiviteit (zie Tabel 1).

4.1 | Doelbereik

De indicator doelbereik gaat over de omvang van de zeespiegelstijging die de oplossingsrichtingen aan kunnen, de consequenties voor de hoofddoelen van het Deltaprogramma, en de eventuele neveneffecten en meekoppelkansen. Het Deltaprogramma heeft als doel Nederland nu en in de toekomst te beschermen tegen hoogwater en – met het oog op het veranderende klimaat – klimaatbestendig en waterrobuust in te richten. Ook voorziet het programma in het op orde houden van de zoetwatervoorziening. Bij het halen van deze doelen spelen veel aspecten een rol, zowel op het gebied van ruimtelijke kwaliteit, leefomgeving en economie als op het vlak van natuur, landbouw en recreatie.

4.1.1 Mate van zeespiegelstijging

Hoeveel zeespiegelstijging een oplossingsrichting aan kan, hangt sterk af van het specifieke ontwerp (bijvoorbeeld de hoogte van de *zeewaartse* eilanden, terpen of keringen).

Keringen die ons beschermen tegen extreem hoge waterstanden, maar het merendeel van de tijd open staan, zijn onderdeel van *Beschermen-open*. Deze oplossingsrichting loopt bij grotere zeespiegelstijging tegen een grens aan doordat de keringen steeds vaker dicht gaan. De Maeslantkering zal bij ongeveer 1 m zeespiegelstijging zo vaak dicht gaan dat een alternatief gezocht moet worden. De Oosterscheldekering gaat bij ongeveer 0.6 m stijging zo'n 10 keer per jaar dicht. Met hogere sluitpeilen in combinatie met hogere rivierdijken kunnen de afsluitbare keringen langer functioneel blijven. Echter, bij een toenemende zeespiegel zal op een gegeven moment ook de kerende hoogte of sterkte van de stormvloedkering onvoldoende

zijn. Bij 0,7 m stijging wordt het ontwerppeil van de Maeslantkering eens in de 100 jaar overschreden; bij 1,5 m stijging wordt het ontwerppeil van de Oosterscheldekering eens in de 100 jaar overschreden. De Maeslantkering zou vervangen kunnen worden door een nieuwe afsluitbaar open versie. Als deze nieuwe kering een lagere faalkans heeft dan de huidige kering, heeft dat een positief effect op de waterveiligheid van het achterliggende gebied. Daarmee kan het effect van enkele decimeters zeespiegelstijging mogelijk gemitigeerd worden. Er moet nog wel uitgezocht hoe dat technisch gerealiseerd kan worden.

Het alternatief is om de Maeslantkering te vervangen door een sluis en daarmee de overstap te maken naar *Beschermen-gesloten*. Het benedenrivierengebied wordt daarmee permanent beschermd tegen hoge zee waterstanden. Deze oplossingsrichting kan daarom meer zeespiegelstijging aan dan *Beschermen-open*.

Beschermen past goed bij gebieden met een hoge socio-economische waarde. Bij een toenemende zeespiegelstijging kunnen op een toenemend aantal locaties de kosten voor bescherming te hoog worden. Ook dringt steeds zout water langer en verder landinwaarts via rivieren en via grondwater. Een toename van het zoutgehalte in het oppervlakte- en grondwater noopt uiteindelijk tot aanpassing van zoetwatervoorziening, dan wel een aanpassing van de aan zoet water gerelateerde activiteiten (e.g. landbouw). Verhoogde grondwaterdruk kan lokaal leiden tot opbarsting van de bodem; de kans daarop wordt mogelijk substantieel groter vanaf 4 meter zeespiegelstijging (Haasnoot et al, 2017). Gebieden die hier mogelijk als eerste mee te maken krijgen zijn Voorne-Putten, Goeree-Overflakkee, de Kop van Noord-Holland en het benedenrivierengebied (o.a. Drechtsteden), en mogelijk ook in de kustzone van Friesland (Haasnoot et al, 2018).

Beschermen-gesloten heeft vergelijkbare grenzen als *Beschermen-open* in termen van ruimtebeslag, kwel en opbarsting, zij het meer geconcentreerd in de kustzone. De watervoorziening voor zoetwater gerelateerde activiteiten is makkelijker te faciliteren door het gesloten karakter van de oplossingsrichting. Aanzienlijke delen van de huidige ruimte aan open water zullen geschikt moeten worden gemaakt voor berging, zodat rivierwater afgevoerd kan worden middels een combinatie van pompen, tijdelijk bergen en spuien. Concreet vraagt dit om grote aanpassingen in de ruimte en om zeer grote pompcapaciteit.

Binnen de oplossingsrichting *Zeewaarts* zal een nieuwe afgesloten kust een hogere zeespiegelstijging aankunnen dan aanleg van alleen eilanden. De oude kust wordt dan immers beschermd door een hogere nieuwe ringdijk van eilanden en keringen. In feite wordt de kustverdediging *zeewaarts* verlegd in vergelijking met *Beschermen*. Echter ook de oude kust zal nog onderhouden moeten worden (zie ter vergelijking bijvoorbeeld het IJsselmeer). Ook in deze oplossingsrichting zijn er consequenties voor zoutindringing en kwel, echter nog meer beperkt tot de kustzone. Verder moet bij een gesloten variant de rivierafvoer grotendeels uit de delta gepompt worden. Het creëren van meer ruimte is een belangrijk voordeel van deze optie. Een kustrandmeer biedt ruimte voor zoetwaterberging, de zoutindringing wordt verder westwaarts gehouden en afhankelijk van de inrichting is er potentieel meer ruimte om een eventueel extreem hoogwater op de rivieren (deels) op te vangen. Zoetwatervoorziening en bescherming is daardoor minder snel een begrenzing dan bij *Beschermen*. Voor een dergelijk kustrandmeer zal wel een grote hoeveelheid pompcapaciteit nodig zijn. Verder moet onderzocht worden welke maatregelen nodig zijn om kwel en zoutindringing te beperken, vooral omdat zand relatief doorlatend is. De benodigde hoeveelheid zand kan een belangrijke beperking zijn voor deze oplossingsrichting. Voor het maken van de eilanden of uitbreiden van de kust is enorm veel zand nodig. Deze kustuitbreiding komt te liggen op plaatsen waar nu zand gewonnen wordt voor kustbehoud en meegroeien via zandsuppletie. Ook de nieuwe *zeewaartse* kust zal onderhouden moeten worden, door grote zandsuppleties om de stijging bij te houden.

De oplossingsrichting *Meebewegen* bestaat uit huizen op palen of terpen en kan dus minder zeespiegelstijging aan dan *Beschermen*, is vooral bruikbaar wanneer er alleen

af en toe water op het land komt. Drijvende huizen of megaterpen kunnen meer zeespiegelstijging aan, omdat deze 'meegroeien' met zeespiegelstijging. Uiteindelijk, bij heel grote stijging of in gebieden die nu al kwetsbaar zijn, zijn drijvende gebouwen, verplaatsing naar hoger gelegen terrein en andere vormen van ruimtegebruik (zoals marine cultuur) mogelijk binnen deze oplossingsrichting.

Niet alleen de hoogte, maar ook de snelheid van zeespiegelstijging is bepalend voor hoe lang een oplossingsrichting functioneel is. Een voorbeeld is de mate waarin de zachte kustverdediging kan meegroeien middels zandsuppletie, wat relevant voor *Beschermen* en *Zeewaarts* (zie paragraaf 4.2). *Meebewegen* via natuurlijke landspiegelstijging is afhankelijk van de natuurlijke sedimentaanvoer en groei van de vegetatie. Voor kleine gebieden en bij grote sedimentaanvoer was de landspiegelstijging historisch maximaal 1 cm per jaar, bijvoorbeeld in de Biesbosch (Kleinhans et al. 2010) en het Verdrongen Land van Saefthinghe). Bij hoge snelheden van zeespiegelstijging is dit maximum onvoldoende en daarbij is de toevoer van sediment door de rivieren de afgelopen decennia fors afgenomen (zie ook paragraaf 4.2.5). Overigens geven Kirwan et al (2016) een meer optimistische schatting van de mogelijke landspiegelstijging voor schorren ('marshes'). Die is gebaseerd op het feit dat schorren sneller ophogen als ze vaker worden overspoeld, waardoor er een feedback is die bevorderlijk is voor de sedimentatie. Daardoor kunnen dergelijke schorren wellicht een grotere stijgsnelheid aan dan 1 cm per jaar.

Ook de tijd die nodig en beschikbaar is om maatregelen te implementeren is relevant voor de mate van zeespiegelstijging die een oplossingsrichting aan kan. Met een tijdige aanvang van implementatie lijkt tijd op zichzelf geen van de oplossingsrichtingen te beperken. Wel kan het een grote uitdaging worden om de vele maatregelen tijdig uit te voeren. Neem bijvoorbeeld de snelheid waarmee op dit moment de dijken worden opgehoogd. Dat zal aanzienlijk versneld of in veel grotere stappen gedaan moeten worden (Haasnoot et al., 2017). Ook kan het, als gevolg van de onzekerheid over de toekomstige zeespiegelstijging, lastig of onmogelijk zijn om voor maatregelen 'low regret' te implementeren. Met flexibele maatregelen is het risico op over of onderinvestering te beperken, maar voor maatregelen met een lange levensduur of lange termijn consequenties is er binnen deze periode waarschijnlijk nog een grote onzekerheid.

4.1.2 | Gevolgen voor waterveiligheid, zoetwatervoorziening en natuur

Waterveiligheid

Alle oplossingsrichtingen hebben consequenties voor waterveiligheid, zoetwater en natuur. De oplossingsrichtingen *Beschermen* en *Zeewaarts* volgen de filosofie van het water buiten houden. Waterveiligheid wordt hoofdzakelijk benaderd via laag 1 van het concept meerlaagsveiligheid³. Bij *Beschermen-open* is de opgave voor de dijken langs het benedenrivierengebied groter dan bij *Beschermen-gesloten* en de gesloten variant van *Zeewaarts*. De mate waarin (extra) bescherming gerealiseerd wordt in de *Beschermen-gesloten* variant is afhankelijk van de beschikbare berging en de geïnstalleerde pompcapaciteit. De gesloten variant van *Zeewaarts* biedt extra mogelijkheden voor berging van hoge rivierafvoeren in kust-randmeren, waardoor de opgave voor de dijken langs het benedenrivierengebied lager is dan bij *Beschermen-gesloten*.

De benodigde mate van kustbescherming voor *Beschermen-gesloten* en *Beschermen-open* zijn vergelijkbaar. Bij *Zeewaarts* is de taludhelling aan de *zeewaartse* zijde van belang. Een relatief steil talud kan aanleiding geven tot hogere golven bij stormcondities en daarmee tot een grote opgave voor de zeekeringen. Bij *Meebewegen* is er tijdelijk meer ruimte voor (zee)water en op de hele lange termijn ook permanent. Waterveiligheid benaderen via laag 2 en 3 past hier goed bij. Op de kortere termijn met beperkte zeespiegelstijging zijn overstroombare dijken en het overstromingsbestendig maken van gebouwen en infrastructuur toereikend.

Zoetwatervoorziening

Voor de zoetwatervoorziening is het IJsselmeer in alle oplossingsrichtingen een belangrijke bron. Bij een voortzetting van het huidige grond en watergebruik is het aannemelijk dat de zoetwateropgave sterk toeneemt door verzilting via rivieren en grondwater. Dit is naar verwachting het sterkst bij *Beschermen-open* omdat het zeewater daar vrij de rivier binnen

kan stromen. Bij *Beschermen-gesloten* en de gesloten variant van *Zeewaarts* is de zoetwateropgave minder doordat zoutindringing nog meer beperkt wordt. Een gesloten variant van *Zeewaarts* heeft bovendien de mogelijkheid om extra zoetwaterberging te creëren in het kustrandmeer. *Meebewegen* middels migratie zal leiden tot een afname van ruimte voor zoetwaterberging in de gebieden die worden overgelaten aan de zee. Toenemende verzilting van de bodem door kwel zal voor alle oplossingsrichtingen in toenemende mate een probleem worden, behalve als er een zoet kustrandmeer ontstaat (in welk geval de problemen van kwel vooral gelden voor het kustrandmeer zelf). Dit vraagt om extra zoet water voor doorspoeling, of alternatieven in de vorm van zilte teelten en mariculturen.

Natuur

Afsluiting van de Zuidwestelijke delta in *Beschermen-gesloten* betekent het einde van de intergetijd natuur in dat gebied, mogelijk met uitzondering van de Westerschelde. In alle oplossingsrichtingen zal de bodem van de Waddenzee onder het wateroppervlak verdwijnen zodra de snelheid van zeespiegelstijging boven lokaal specifieke bepaalde drempelwaarden uit komt (~6mm/jaar voor de westelijke Waddenzee en 10mm/jaar voor de oostelijke Waddenzee; Van de Spek 2018, Haasnoot et al. 2018) Als ook de Waddenzee wordt afgesloten zal daar een andere natuur ontstaan en verdwijnt een natuurgebied van internationale waarde dat UNESCO status heeft. *Meebewegen* biedt mogelijk voor de natuur ruimte om mee te bewegen.

Een toename van zandsuppleties bij *Beschermen* zal grote gevolgen hebben voor het bodemleven, zowel in wingebeden als in suppletiegebieden. Intensivering van suppletieactiviteiten zal druk zetten op de hersteltijd van het bodemleven. Het inzetten van megasuppleties, als alternatief voor kleinschaliger suppleties, verlaagt de verstoringfrequentie waardoor het bodemleven meer tijd voor herstel krijgt. Daar staat tegenover dat megasuppleties veel grotere gebieden verstoren voor een veel langere tijd. Eerste analyses voor de zandmotor duiden erop dat het natuureffect mogelijk neutraal is.

³ Meerlaagsveiligheid onderscheidt drie lagen van waterveiligheidsbeleid: 1. overstromingspreventie 2. gevolgbeperving door ruimtelijke ordening en 3. crisisbeheersing op orde.

Door de toegenomen zandverliezen door erosie als gevolg van een stijging zeespiegel en het frequent aanbrengen van grote hoeveelheden zand om de verliezen te compenseren, nemen de zandtransporten en daarmee de snelheid van morfologische veranderingen in de kustzone toe. Dit houdt in dat ook stroming en golven in dit gebied sterker gaan variëren, waardoor bijvoorbeeld zandbanken en muistromen sneller ontstaan en zich verplaatsen. Dit heeft gevolgen voor het gebruik van strand en kust.

De oplossingsrichting *Zeewaarts* heeft ook gevolgen voor de sedimenthuishouding en daarmee voor natuur en recreatie. Eilanden voor de kust zullen het golfklimaat tussen de eilanden en de huidige kustlijn sterk beïnvloeden, waardoor bij een open verbinding met zee de huidige Hollandse kust van golf- gedomineerd naar een getij- gedomineerde kust kan transformeren (zoals de kust van Friesland en Groningen). Zandige kusten kunnen dan veranderen in kusten met fijner sediment, wat minder geschikt is de recreatie langs de huidige kustlijn door verandering van stranden in slibbige (modderige) omgevingen. Het strand aan de nieuwe kustlijn komt hiervoor in principe in de plaats. Verder verandert ook de ecologische habitat, in zowel de open als gesloten oplossingsrichting.

Bij de gesloten variant van *Zeewaarts* ontstaat mogelijk een vergelijkbare situatie als bij de randmeren

bij het IJsselmeer of de Grevelingen. De diepte van het ontstane zoetwatermeer zal echter veel groter zijn dan die van het IJsselmeer of de randmeren waardoor stratificatie een grotere rol gaat spelen. Gecombineerd met de grote nutriëntenvracht uit de rivieren zal dit aanleiding kunnen geven tot sterke eutrofiëring en zuurstofloosheid. Dat is nu ook het geval in diepe delen van de Grevelingen, maar in vergelijking met een zoet randkustmeer is de Grevelingen vele malen nutriëntenarmer. Vermoedelijk zijn dergelijke randkustmeren met hoge nutriëntenbelasting ook ideale plekken voor giftige blauwalgen. Een andere mogelijkheid is dat het kustrandmeer karakteristieken zal krijgen van de Waddenzee kust, maar vanwege de veel grotere zoetwaterbelasting vanuit de Rijn gaat het er waarschijnlijk anders uitzien dan het Waddengebied.

4.2 | Technische haalbaarheid

De indicator 'technische haalbaarheid' geeft aan of een oplossing met de huidige technologie en biofysieke omstandigheden mogelijk is, of er voldoende resources beschikbaar zijn, en of er voldoende tijd is voor implementatie. De eerste twee vragen komen aan bod in paragrafen 4.2.1 t/m 4.2.5 waarin afzonderlijke technische onderwerpen zijn uitgewerkt. In bijlage B is een tabel opgenomen met maatregelen elders in de wereld die als analogieën kunnen worden beschouwd voor de maatregelen die mogelijk in de toekomst in Nederland ook genomen moeten worden.

4.2.1 Kustbescherming middels keringen, zand, eilanden en vooroevers

Voor de oplossingsrichtingen *Beschermen-open* en *Beschermen-gesloten* zal de kustbescherming aangepast of vervangen moeten worden als de huidige normen gehandhaafd blijven. Het is de verwachting dat aanpassingen van de stormvloedkeringen nodig zijn, omdat deze niet zijn ontworpen voor een hoge zeespiegelstijging. De overschrijdingsfrequenties van de ontwerppeilen van deze keringen zullen met een factor 20-100 toenemen bij 1 m zeespiegelstijging en met een factor 300-10.000 bij 2 m zeespiegelstijging (Haasnoot et al, 2018). Voor dijken zijn er technisch weinig beperkingen aan de hoogte. Momenteel worden verschillende dijkconcepten getest, zoals een zandige oplossing bij de Hondsbossche Zeedijk, dijk in duin, en multifunctionele waterkeringen. Eventueel kan met gebruik van (natuurlijke) vooroevers lokaal een reductie in golfoploop gerealiseerd worden. Steeds hogere dijken kosten meer ruimte, die op dit moment niet overal beschikbaar is.

De maatregel 'behoud van zandige kust' is opschaalbaar door het opschroeven van de zandsuppleties. Als vuistregel kan gehanteerd worden dat er 7 miljoen m³ per mm zeespiegelstijging nodig is om de kustgebieden en estuaria te suppleren. Voor alleen het kustfundament (dus zonder Waddenzee en estuaria) is ongeveer 4 miljoen m³

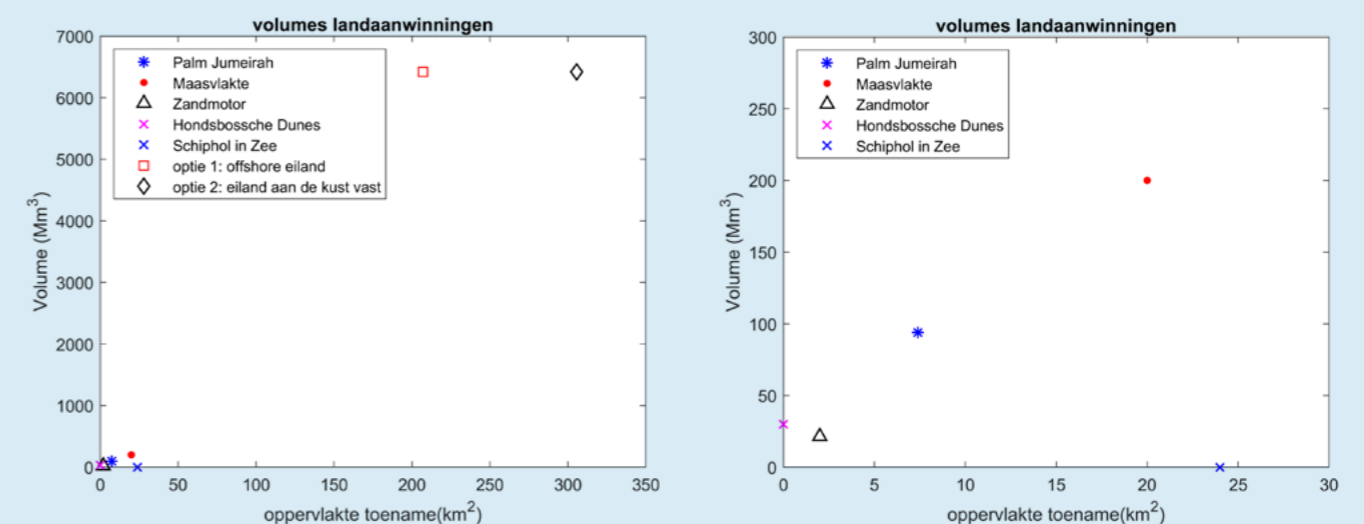
per mm zeespiegelstijging nodig. Het is onbekend of er grenzen zijn aan deze opschaalbaarheid, door bijvoorbeeld een beperking in de hoeveelheid zand en de snelheid waarmee het zand verspreid wordt langs de kust. Grotere volumes vragen echter een andere organisatie, uitvoering en bekostiging. Het gebruik van een megasuppletie zoals de zandmotor is mogelijk kosteneffectiever dan reguliere zandsuppleties bij hogere suppletievolumina per jaar, maar het onzeker het zand van megasuppleties zich voldoende snel en op gewenste locaties langs de kust zal verspreiden om te voldoen bij groter snelheden van zeespiegelstijging.

Voor de oplossingsrichting *Zeewaarts* zijn nieuwe zeekeringen nodig, moet worden gekozen tussen de aanleg eilanden of landuitbreiding, en moet worden besloten of de nieuwe kust beschermd wordt met harde of zachte keringen. Afhankelijk van de locatie van de *zeewaartse* kustverdediging zullen enkele van de bestaande stormvloedkeringen mogelijk niet meer nodig zijn. In deze oplossingsrichting is zand eerder een beperkende factor dan bij de andere oplossingsrichtingen. Een significant deel van het beschikbare zand in de Noordzee zal dan immers gebruikt worden om de land te realiseren. Het onderhoud zal afhangen van de lengte en het karakter van de nieuwe kustlijn. Afhankelijk van de gekozen vorm van de nieuwe kust kan de onderhoudsinspanning groter of kleiner dan in *Beschermen-gesloten*.

Kader studentenhackathon - Hoeveel zand vergt zeewaartse kustverdediging en landaanwinning voor verschillende zeespiegelstijgingen?

Voor het aanleggen van 1 eiland voor de kust ter grootte van ongeveer 200 km² (minder dan de helft van het oppervlak van Texel) is veel zand nodig. Bij 1, 2, 4, en 6 meter zeespiegelstijging is dit respectievelijk : 6.500, 7.600, 9.200 en 11.000 Mm³, uitgaande van een talud van 1:50 en een aanleg nabij de NAP-20 m waterdiepte. Om de hele Hollandse kust te beschermen zijn meerdere eilanden nodig. Voor bijvoorbeeld 3 eilanden voor een zeespiegelstijging van 2 m is het totale zandvolume zo'n 110 keer het volume van Maasvlakte2, 240 keer het volume van Palmeiland (Dubai) en 1.060 keer het volume van de Zandmotor. Ter vergelijking: om de Haarlemmermeer in het geheel op te hogen tot +5,2 m NAP is ongeveer 80 keer het volume van de zandmotor nodig.

Met dezelfde zandvolumes kan de gehele kust van Noord en Zuid-Holland 2,5 km of meer worden uitgebouwd. Daarnaast is bij het uitbouwen van de bestaande kust de toename van het landoppervlak ongeveer 1,5 keer zo groot als het oppervlak dat verkregen wordt met 1 eiland.



Figuur 4. Links: zandvolumes en toename in oppervlak van bestaande landaanwinningprojecten en voor een enkel eiland of landuitbreiding bij 1 meter zeespiegelstijging. Rechts: ingezoomd op de landaanwinning projecten).

Voor de oplossingsrichting *Meebewegen* is de benodigde kustversterking sterk afhankelijk van de uitwerking. Het ligt per definitie niet voor de hand dat bij deze strategie nieuwe stormvloedkeringen worden geïmplementeerd, wel kunnen bestaande keringen gebruikt blijven om toenemende waterstanden bij stormen te beperken. Voor de kustverdediging van (delen van) de Randstad zal naar verwachting eerder naar de oplossingsrichtingen *beschermen-open* en *beschermen gesloten*.

4.2.2 Waterveiligheid benedenrivieren middels dijken, pompen, spuien en bergen

In de huidige strategie en bij het huidige sluitpeil zijn de afsluitbare keringen afdoende tot ongeveer 1 à 1,5 m zeespiegelstijging. Bij hogere zeespiegelstijging worden deze keringen zo vaak gesloten dat ze hun meerwaarde boven een permanent gesloten kering verliezen.

De oplossingsrichting *Beschermen-open* is dan alleen mogelijk als het sluitpeil van deze keringen wordt opgehoogd om zo de sluitfrequentie in te perken. Een hoger sluitpeil resulteert in hogere hydraulische belastingen in het achterland en de keringen zelf; dijken zullen daarom versterkt en opgehoogd moeten worden. In deze oplossingsrichting neemt de gemiddelde waterstand in het benedenrivieren-gebied nagenoeg evenredig toe met de zeespiegelstijging. De gemaalcapaciteit van aangelegen polders zal daarom vergroot moeten worden. De effectiviteit van ruimte-voor-de-rivier maatregelen zal afnemen voor benedenstrooms gelegen gebieden, omdat het door zee-gedomineerde gebied landwaarts schuift, en gebieden die dan gebruikt zouden moeten worden voor berging van rivierwater tijdens hoogwater al te vol staan (Haasnoot et al. 2018).

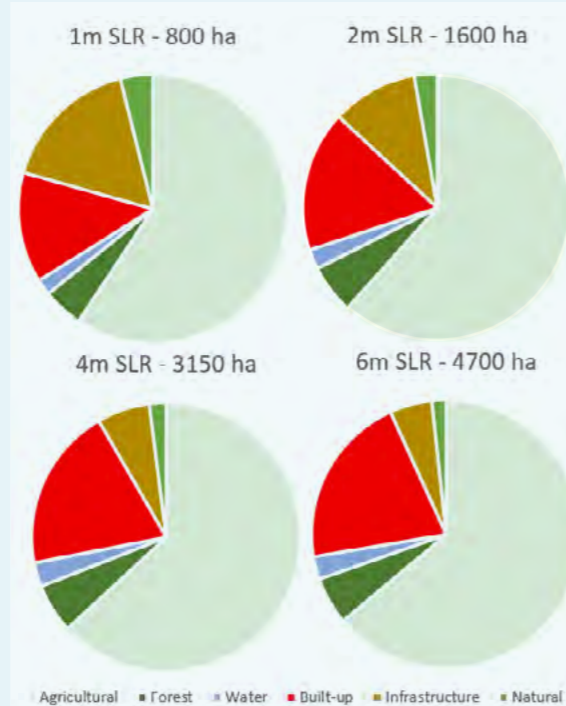
In de oplossingsrichting *Beschermen-gesloten* wordt het draineren van de grote rivieren een zeer grote opgave. Om het streefpeil gedurende het grootste deel van het jaar te kunnen handhaven zullen in de zuidwestelijke delta pompen geïnstalleerd moeten worden met een capaciteit die groter is dan de gemiddelde gezamenlijke afvoer van de Lek, Waal en Maas (~2200 m³/s). Om ook extreme afvoeren te kunnen wegpompen (en deels tijdelijk te bergen) zal ongeveer 9.000 m³/s aan pompcapaciteit nodig zijn. Het ligt daarom voor de hand om dergelijke afvoeren deels te spuien. Dat is alleen mogelijk door tijdens hoogwaters op Rijn en Maas het peil van de benedenrivieren aan de binnenzijde van de sluizen tijdelijk te laten stijgen. Hoe groter de zeespiegelstijging, des te hoger het binnenpeil zal moeten zijn om te kunnen spuien. Ook in deze oplossingsrichting zullen op den duur daarom hogere en sterkere rivierdijken en grotere poldergemalen nodig zijn. Tijdens hoogwaters kan een groter deel van de Rijnafvoer over de IJssel worden afgevoerd

waarmee de bergingsoppervlakte van het IJsselmeer benut wordt. Dat vereist een dijkverhoging langs het IJsselmeer en verhoging van de afvoercapaciteit van de IJssel. Vergroten van het bergend oppervlak in de zuidwestelijke delta (Oosterschelde en Grevelingen) en/of omleiden van de Maas en Waal via Hollands Diep naar Grevelingen zijn andere opties om Rijnmond-Drechtsteden te ontlasten.

In de oplossingsrichting *Zeewaarts* met gesloten nieuwe kust is het draineren van de grote rivieren een vergelijkbare opgave als in *Beschermen-gesloten*. Deze oplossingsrichting biedt wel extra mogelijkheden voor berging van overtollig water in het gebied tussen de eilanden en de huidige kustlijn. Daarmee kan de benodigde pompcapaciteit gereduceerd worden. Door deze kustrandmeren op een laag peil te beheren kunnen tevens de dijken langs de rivieren ontlast worden en daarmee kan dijkverhoging voorkomen of beperkt worden.

Kader studentenhackathon - Wat is het ruimtebeslag van de ophoging van dijken langs de rivieren?

Bij zowel de oplossingsrichtingen *Beschermen* en *Zeewaarts* zullen de rivieren bij klimaatverandering meer water moeten kunnen afvoeren en bergen. In de *Beschermen-open* oplossingsrichting zal de invloed van zee tot ver bovenstrooms reiken en zullen dijken dus veel vaker belast worden met een hoge waterstand dan in de huidige situatie. Ook de rivierafvoeren nemen toe. Wanneer uitstroming van die afvoeren afhankelijk is van pompen (bij *Beschermen-gesloten* en *Zeewaarts*), zal er voor periodes met hoge afvoeren meer bergingscapaciteit nodig zijn. Het versterken en ophogen van dijken door verbreding zal ruimtelijke implicaties hebben. Zo is er in de studentenhackathon berekend dat voor het mee laten stijgen van het IJsselmeer om onder vrij verval te kunnen spuien, in het IJsseldal 800 tot 4700 ha aan land nodig is voor het verbreden van dijken bij 1 tot 6 m zeespiegelstijging. Dat laatste is vergelijkbaar met het oppervlak van Amsterdam. Hierbij is uitgegaan van de huidige wijze van de aanleg van dijken. Meervoudig gebruik ligt bij dergelijke dijken voor de hand.



Figuur 5: Ruimtebeslag langs de IJssel

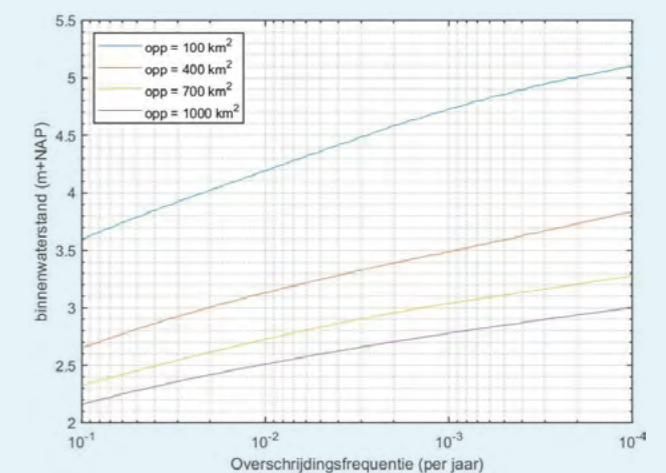
Zo kunnen op de brede voet van de dijk woningen worden geplaatst. Een alternatieve bouwwijze waarbij damwanden worden gebruikt, kan het ruimtebeslag verminderen.

Kader studentenhackathon - Hoeveel pompcapaciteit en berging is nodig voor de rivieren?

Tijdens de hackathon is een eenvoudig balansmodel (door-)ontwikkeld waarmee berekend wordt hoe vaak, in de oplossingsrichting *Beschermen-gesloten*, het binnenpeil boven bepaalde drempelwaarden uitkomt, rekening houdend met [a] alle mogelijke combinaties van hoge afvoeren en stormopzet en [b] de wisselwerking tussen pompen, spuien en bergen. Op basis van gevoeligheidsanalyses is berekend hoe de herhalingstijden van hoge binnenpeilen beïnvloed worden door vergroting van de pompcapaciteit en/of bergingsruimte en door mogelijke klimaatscenario's.

Het figuur hiernaast is een voorbeeldresultaat van een gevoeligheidsanalyse. Voor verschillende waarden van het bergingsoppervlak is een frequentielijn berekend. Voor het hele gebied is telkens aangenomen dat het streefpeil gelijk is aan NAP+0m. Vergroting van bergingsoppervlak

heeft een sterke (gunstige) invloed op de waterveiligheid. Bij een toename van de bergingscapaciteit van 400 km² naar 700 km² daalt de 1/1000 jaar waterstand van NAP+3,5 m naar NAP+3,0 m



Figuur 6: Frequentielijnen van de binnenwaterstand bij de Rijn-Maas monding in de oplossingsrichting *Beschermen-gesloten*, voor verschillende waarden van het bergend oppervlak.

Voor de oplossingsrichting *Meebewegen* ligt het niet voor de hand om de rivieren af te sluiten en pompen te installeren. Bij extreem meebewegen (volledige migratie van west naar oost) zou dat zelfs geen enkele meerwaarde hebben. Extra afvoer over de IJssel ligt in dat geval ook niet voor de hand.

4.2.3 Waterhuishouding polders - gemalen

Een steeds groter deel van Nederland zal in de toekomst beneden de zeespiegel komen te liggen. Daarmee zal een steeds groter deel van Nederland niet meer onder vrij verval kunnen draineren. Uit dat deel van Nederland kan overtollig regen- en kwelwater alleen worden weggepompt. De onderstaande tabel illustreert de relatie tussen zeeniveau en hoeveelheid overtollig regenwater (WL|Delft Hydraulics, 2007). Het overtollige regenwater is simpel berekend uit het verschil tussen de jaarlijkse neerslag (800 mm) en de verdamping (500 mm). Er is geen rekening gehouden met eventuele veranderingen in de hoeveelheid neerslag als gevolg van klimaatverandering.

Tabel 3. Toename van de benodigde pompcapaciteit om de polders na neerslag te draineren bij een stijgende zeespiegel en gelijkblijvend oppervlak (WL|Delft Hydraulics, 2007)

Zee-spiegel-stand	% van Nederland lager dan de zeespiegel	Jaarlijks volume overtollig regenwater (km ³)
huidig	30	2,7
+ 1	40	3,6
+ 2	45	4,1
+ 3	50	4,5

Behalve het overtollige regenwater zal ook de extra kwel moeten worden weggepompt. De schatting voor de extra kwel voor 1m zeespiegelstijging bedraagt 0,5 km³, voor 6 m zeespiegelstijging is dat 2,8 km³ (WL|Delft Hydraulics, 2007). Deze eerste schattingen suggereren een bij benadering lineaire relatie tussen de zeespiegelstijging en de hoeveelheid kwel, maar de geldigheid van die aanname is onbekend.

In vergelijking met de huidige situatie is de totale extra hoeveelheid weg te pompen regen- en kwelwater voor 1 m zeespiegelstijging 1,4 km³. Voor 2 m zeespiegelstijging is dit 2,4 km³ (bijna een

verdubbeling), en voor 3 m zeespiegelstijging 3,3 km³. Deze hoeveelheden zijn klein ten opzichte van de opgave die nodig is om het rivierwater uit te pompen in *Beschermen-gesloten* en *Zeewaartse*. Daar moet immers naar verwachting gemiddeld ongeveer 2.200 m³/s uitgepompt worden, wat ongeveer gelijk is aan 70 km³ per jaar.

De benodigde hoeveelheid pompcapaciteit van de poldergemalen zal naar verwachting het grootst zijn voor de *Beschermen-open*, omdat in deze oplossingsrichting de waterstanden op de benedenrivieren hoger zullen zijn dan in de *Beschermen-gesloten* en *Zeewaartse*. In de laatste twee oplossingsrichtingen is echter een veel grotere hoeveelheid pompcapaciteit nodig voor het overtollige rivierwater van Rijn en Maas. In de oplossingsrichting *Meebewegen* is, afhankelijk van de uitvoering, de benodigde capaciteit van de poldergemalen iets minder groot dan bij de andere oplossingsrichtingen indien enkele polders dan permanent onder water staan.

4.2.4 Zoetwatervoorziening

Als gevolg van de zeespiegelstijging dringt het zoute water verder landinwaarts in de oplossingsrichting *Beschermen-open*. Bij een zeespiegelstijging van 1 m zal de monding van de Hollandse IJssel naar schatting bijna jaarlijks gedurende 1 tot 3 maanden te hoge zoutconcentraties kennen (Haasnoot et al., 2018). De Klimaatbestendige WaterAanvoer (KWA) verandert daarmee van een noodmaatregel in een structurele maatregel en mogelijk zijn permanente aanvoerroutes vanuit Amsterdam-Rijnkanaal (ARK) en Lek noodzakelijk. Bij een zeespiegelstijging van 2 m voldoet de KWA niet meer en zijn permanente aanvoeren vanuit ARK en Lek noodzakelijk. Verder leidt zeespiegelstijging tot een toename van de grondwaterdruk en daarmee tot een toename van (zoute) kwel. Ook dat leidt tot hogere zoutconcentraties in het polder-watersysteem van West- en Noord-Nederland. De toename van zoute kwel zal leiden tot een grotere zoetwatervraag voor doorspoeling, tenzij de landbouw zich aanpast (bijvoorbeeld door toepassing van zilte teelt).

In *Beschermen-gesloten* wordt de zoutindringing sterk teruggedrongen als gevolg van de installatie van sluizen. Echter, de zoutindringing is zeker niet verwaarloosbaar vanwege schutverliezen (zie kader).

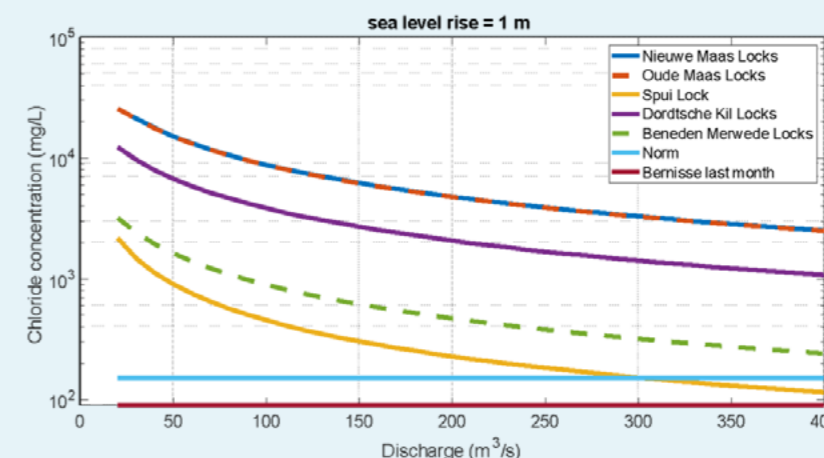
De mate van zoutindringing zal dus sterk afhangen van de intensiteit van het scheepsverkeer door de sluis. Verder is de toename van de grondwaterdruk en daarmee tot een toename van (zoute) kwel vergelijkbaar met *Beschermen-open*. Een bijkomend voordeel van

deze oplossingsrichting is dat deze mogelijkheden biedt om extra bergingsoppervlak te creëren om hoge afvoeren te kunnen bergen (mogelijk zelfs Grevelingen en Oosterschelde). Deze gebieden kunnen dan ook benut worden voor berging van zoet water.

Kader studentenhackathon - Kan zoutindringing worden beperkt bij *Beschermen-gesloten*?

Bij de oplossingsrichting *Beschermen-gesloten* zouden sluizen bij de haven van Rotterdam een oplossing kunnen zijn om de haven bereikbaar te houden. Dit heeft gevolgen voor zoutindringing bovenstrooms van de sluizen. Om hiervan een inschatting te maken is voor 5 mogelijke sluislocaties een inventarisatie gemaakt van zoutindringing onder verschillende zee-waterstanden en rivierafvoeren (zie kaart). Hierbij is aangenomen dat het peil aan de binnenzijde gelijk is aan NAP+1m. Bij 1 meter zeespiegelstijging wordt de huidige norm voor zoutconcentratie bij vrijwel alle sluizen en debieten overschreden; voor

slechts 1 sluis kan onder hoge afvoer (> 300 m³/s) de zoutconcentratie binnen de norm blijven (zie figuur 7). Overigens is het wellicht mogelijk om met andere type sluizen en ander waterbeheer wel aan de norm te voldoen, alleen moet nog uitgezocht worden hoe dat zou kunnen. Bij 6 meter zeespiegelstijging wordt de norm op alle sluislocaties en afvoeren overschreden. Overschrijding van de zoutconcentraties kan gevolgen hebben voor landbouwgewassen en drinkwaterinnamepunten. Overschrijding van de zoutconcentraties kan gevolgen hebben voor landbouwgewassen en drinkwaterinnamepunten.



Figuur 7 Geanalyseerde sluislocaties (boven) en chloridegehalte als functie van de rivierafvoer (onder)

In de oplossingsrichting *Meebewegen* zal de zout- indringing vergelijkbaar zijn met die van de *Beschermen-open*, maar de gevolgen zijn naar verwachting minder groot, vooral indien *Meebewegen* gepaard gaat met migratie vanuit het westen en aanpassing van de landbouw (zilte teelt). In deze oplossingsrichting zal (een deel van) Nederland op eilanden liggen. Het water rondom de eilanden zal zout zijn. De zoetwatervraag op die eilanden zal lijken op die van zeer grote stedelijke gebieden. Mogelijk wordt winnen van drinkwater uit zeewater een aantrekkelijke optie. Het is aannemelijk dat de vraag in stedelijk gebied veel kleiner is dan die van landbouwgebieden, en vermoedelijk kan aan een groot deel van de watervraag worden voldaan door gebruik te maken van de neerslag op het verharde deel van de stad. Omdat de neerslag zeer variabel is, zal er bergingsruimte moeten worden gecreëerd.

In de oplossingsrichting *Zeewaarts* zullen mogelijk ook dichtbevolkte eilanden ontstaan. Verder zullen de kustlandmeren in de gesloten variant van *Zeewaarts* extra mogelijkheden bieden voor het bergen van zoet water, waarbij wel onderzocht moet worden in hoeverre zoute kwel in deze meren beperkt kan worden. De zoutindringing op de benedenrivieren zal vergelijkbaar zijn met *Beschermen-gesloten*. De problemen met kwel zullen zich verplaatsen in *zeewaartse* richting.

4.2.5 Landspiegelstijging

Een van de opties in *Meebewegen* met zeespiegelstijging is de ophoging van laaggelegen gebieden. Onder natuurlijke omstandigheden gebeurt dit in delta's met sediment dat beschikbaar is in rivier- en zeewater. Er zijn verschillende plaatsen in Nederland waar het land is opgehoogd met behulp van lage, tijdens vloed overstroombare, kades. Zo zijn gebieden aan de rand van het Eems-Dollard estuarium over een periode van 300 jaar met ongeveer 2 m opgehoogd en ingepolderd. Ook in Zeeland zijn er voorbeelden van gebieden die door natuurlijke sedimentatie ophogen, zoals het Verdrongen Land van Saefthinghe. Sedimentconcentraties in de Nederlandse rivieren zijn echter doorgaans te laag om voor voldoende sedimentatie te kunnen zorgen. In de estuaria en zeearmen zijn de concentraties hoger, waardoor natuurlijke sedimentatie van polders langs sommige estuaria wel mogelijk is, bijvoorbeeld de Westerschelde en Eems-Dollard. Andere zeearmen, zoals de Oosterschelde, hebben niet voldoende sediment om

land op te kunnen hogen. Natuurlijke sedimentatie kan dus uitsluitend lokaal ingezet worden, vermoedelijk alleen langs de Westerschelde en de Eems-Dollard.

Ook een kunstmatige landspiegelstijging is mogelijk op kleine schaal middels terpen of op grote schaal door hele polders op te hogen. De aanwezigheid van bestaand vastgoed is daarbij een mogelijke beperkende factor. Is het mogelijk om bestaande huizen naar een hoger niveau te plaatsen en is dat economisch efficiënt? Zoniet, dan is deze maatregel alleen toepasbaar op nieuwbouwlocaties.

4.2.5 Benodigde tijd voor implementatie

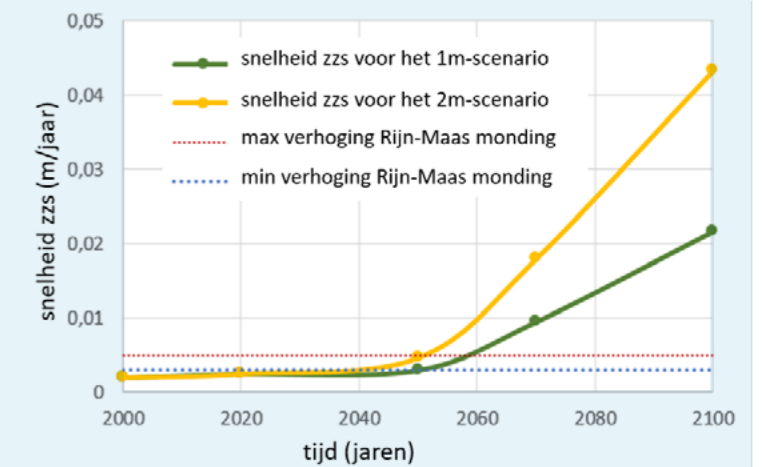
Tijd is een belangrijk element in de discussie rondom aanpassen aan versnelde zeespiegelstijging. Het maken van plannen, ontwerpen en implementeren kost tijd en legt beperkingen op aan het tempo waarmee maatregelen kunnen worden geïmplementeerd. Deze beperking zal zowel technisch als maatschappelijk van aard zijn. De implicaties van een mogelijke versnelling van de zeespiegelstijging zijn in Haasnoot et al (2018) geïllustreerd voor extreme zeespiegelstijging in combinatie met het middenscenario van de RCP8.5 projectie en/of de bovenwaarde van RCP4.5. In 1995 was een aanpassing voor 0,5 m stijging nog afdoende om de geprojecteerde zeespiegelstijging voor circa 65 jaar vooruit bij te houden. In 2060 is de functionele levensduur van een extra 0,5 m in die scenario's afgenomen tot 20 jaar, aflopend tot 10 jaar aan het eind van de 21e eeuw. Dat brengt met zich mee dat adaptatie met relatief kleine stappen van 0,5 m steeds lastiger wordt. De maatregelen zullen dan immers steeds korter effectief zijn, en er is weinig tijd voor planning en implementatie. Grotere en transformatieve aanpassingen kosten wellicht nog meer tijd. In combinatie met de grote onzekerheid die er bestaat over zeespiegelstijging in de toekomst is tijdige signalering van het moment waarop een bepaalde maatregel of strategie uit te voeren niet triviaal.

Ons waterbeheer is het resultaat van eeuwenlang optimaliseren en aanpassen aan de omgeving. Ook hierbij was de implementatiesnelheid een belangrijke factor. Het realiseren van de deltawerken kostte zo'n 30-40 jaar. Sommige van de keringen zijn in 3-14 jaar gebouwd. Ruimte voor de rivier duurde wat betreft planning en besluitvorming respectievelijk 4 en 2 jaar. De implementatie kostte nog eens 10 jaar.

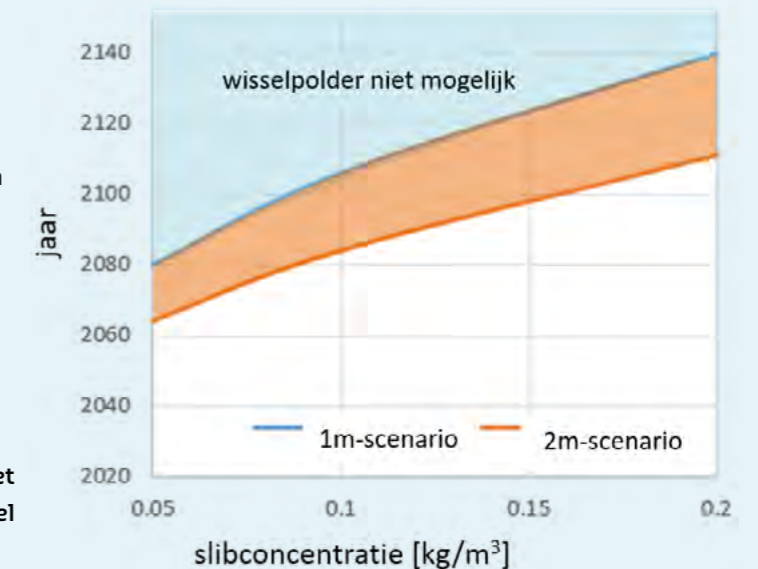
Kader studentenhackathon - (Waar) is landspiegelstijging mogelijk en tot welke stijgsnelheid?

Natuurlijke sedimentatie kan een middel zijn om polders op te hogen. Er is sprake van een kantelpunt waarbij de sedimentatie achter blijft bij de optredende zeespiegelstijging. De mate van aanzanding in de polder neemt toe naarmate het verschil tussen het polderniveau en het zeeniveau toeneemt. Het ophogen van de polder door natuurlijke sedimentatie is daarnaast afhankelijk van andere aspecten zoals sedimentconcentraties.

Uit historische kaarten blijkt dat op lokale schaal landuitbreiding door middel van natuurlijke sedimentatie mogelijk is. Het verdrongen land van Saefthinghe is in 400 jaar met 2 tot 3 meter opgehoogd en in het Noorden van Nederland zijn er voorbeelden van landuitbreiding met 5 km in 100 jaar. Uit modelsimulaties blijkt dat met natuurlijke sedimentatie, uitgaande van de projecties voor zeespiegelstijgsnelheden, polders gedurende de komende decennia potentieel opgehoogd kunnen worden, bijvoorbeeld door inzet van wisselpolders. Tegen het eind van de 21e eeuw, als de zeespiegelstijgsnelheden toenemen volgens de hoogste projecties, zijn wisselpolders niet meer effectief.



Figuur 8. Snelheid landspiegelstijging en scenario's voor snelheid zeespiegelstijging



Figuur 9. Scenario's voor slijbconcentraties

De zeespiegelstijging gaat in de toekomst mogelijk veel sneller dan de zeespiegelstijging dan waar we Nederland zich in het verleden aan heeft aangepast. Bij een extreme zeespiegelstijging, wordt daarom de tijd die we nodig hebben om de oplossingsrichtingen tijdige te implementeren een uitdaging, meer dan de technische haalbaarheid. Bijlage B geeft een overzicht van voorbeelden van maatregelen die in Nederland en elders in de wereld zijn geïmplementeerd en hoeveel tijd daarvoor nodig was. De benodigde tijd voor

implementatie voor *Beschermen-open* en *Beschermen-gesloten* zal naar verwachting minder groot zijn dan voor *Zeewaarts* en *Meebewegen*, vooral als bij laatstgenoemde ingezet gaat worden op migratie vanuit het westen.

4.3 | Bestuurlijke en maatschappelijke haalbaarheid

In deze paragraaf worden enkele aspecten beschreven van maatschappelijke haalbaarheid. De beschrijving heeft minder diepgang dan de beschrijving van de technische haalbaarheid in de vorige paragraaf, waarvoor meer voorgaand onderzoek beschikbaar was (o.a. Haasnoot et al., 2018). De aspecten zijn daarom voornamelijk gebaseerd op theoretische noties en onderzoek uit andere domeinen.

4.3.1 Transities

Voor alle vier de oplossingsrichtingen geldt dat ze afwijken van de huidige strategie en niet alleen zijn op te lossen met meer van hetzelfde. Dit vereist transities of transformatieve veranderingen. Transformatie is een diepgaande verandering die zich uitstrekt tot alle technologisch en sociale dimensies van een systeem: verandering van paradigma, verandering van technologie, verandering van economische verdienmodellen, verandering van onderliggende waarden en normen, herstructurering sociale netwerken en interacties; verandering van machtsstructuren en de introductie van nieuwe institutionele arrangementen en regelsystemen (IPCC, 2012). Het vergt dus niet alleen aanpassing van het technische systeem maar ook van het bestuurlijke en maatschappelijke systeem.

Maakbaarheid?

Grote transities laten zich niet volledig sturen door de overheid. Een belangrijke vraag is in welke mate en hoe transities te sturen zijn. De Adviesraad voor Wetenschap, Technologie en Innovatie (AWTI; 2018) stelt in haar werkprogramma dat transities het resultaat zijn van een complex samenspel tussen vele actoren en factoren en zich moeilijk op een klassieke wijze laten beheersen of sturen. Ze nopen tot bescheidenheid als het gaat om de rol van de overheid. Dat betekent niet dat de overheid achterover kan leunen. Integendeel, een wijze regie is noodzakelijk. Wijs, omdat voor een transitie andere interventies en governance structuren nodig zijn dan voor reguliere beleidsambities.

In de literatuur is veel geschreven over het sturen van transformaties en transities (zie voor overzicht

Termeer e.a. 2017). Er zijn twee belangrijke debatten. Allereerst worden transities veelal geassocieerd met diepgaande veranderingen, die zich ook snel en grootschalig moeten voltrekken, via bijvoorbeeld systeemsprongen of radicale schoksgewijze veranderingen. Vermaak (2013) heeft overtuigend aangetoond dat veranderingen niet gelijktijdig diepgaand, systeembreed en snel kunnen zijn. Ook al zouden veel bestuurders het willen, verandering kan niet gelijktijdig diepgaand, snel en systeembreed zijn. Diepgaande of radicale verandering vergt veel van mensen en is daarom niet zomaar uit te rollen. Het heeft ook tijd nodig, waarbij het eerder gaat over decennia (een generatie) dan jaren.

Het tweede debat gaat over het onderscheid tussen incrementele en transformatieve veranderingen, waarbij veel auteurs stellen dat kleine incrementele veranderingen per definitie oppervlakkig en dus niet transformatief zijn. Weick en Quinn (1999) weerleggen deze assumptie. Zij tonen aan dat met name in complexe niet-lineaire systemen kleine, maar diepgaande stapjes resoneren en uiteindelijk grootschalige veranderingen teweeg brengen. Een kritiek op incrementele verandering is ook dat het te langzaam zou gaan. Auteurs zoals bijvoorbeeld Lindblom (1959) hebben echter aangetoond dat incrementele stapjes vaak sneller tot fundamentele veranderingen kunnen leiden. Dat komt omdat grootschalige veranderingen door hun zichtbaarheid veel meer weerstand oproepen, met name in politieke organisaties met conflicterende belangen en waarden.

Op basis van deze debatten is een sturingsperspectief voor transities ontwikkeld dat is gebaseerd op het werken aan grote maatschappelijke vraagstukken door middel van accumulerende 'small wins' (Weick, 1986; Termeer e.a. 2017, 2018). Small wins zijn kleine diepgaande veranderingen met tastbare resultaten voor direct betrokkenen. Met een enkele small win is er natuurlijk nog geen sprake van een transitie of transformatie. Ook al doen small wins zich vaak voor op een kleinere schaal, ze kunnen wel degelijk cumuleren in grootschalige diepgaande transformaties. Hieraan liggen een aantal niet-lineaire hefboomwerkingen of aanjaag mechanismen ten grondslag. Inzicht in deze mechanismen biedt de mogelijkheid om gerichte interventies te ontwikkelen.

Het is een realistisch sturingsperspectief dat voortgang bevordert, zonder te vervallen in simplistisch korte termijn-gewin of het doen van beloftes die niet zijn waar te maken. Bovendien helpt het transitie-stress te voorkomen. Een focus op het kleine voorkomt dat mensen overweldigd raken door de complexiteit van een vraagstuk, waardoor ze minder vrij en precies kunnen denken en zich laten verleiden tot vaagheden en abstracties. Het is een goed middel tegen uitstelgedrag, waarbij mensen blijven steken in praten over en niet overgaan tot handelen. Met kleine stapjes hoeft je niet te wachten op alle informatie, maar kun je snel beginnen en kijken wat het oplevert. Als iets mislukt zijn de risico's immers ook klein.

4.3.2 Bestuurlijk systeem

Aanpassing aan extreme zeespiegel gaat gepaard met een tijdshorizon van meerdere decennia. Daarom is het van belang om ook de mogelijke ontwikkelingen van het bestuurlijk systeem zelf in de analyses mee te nemen.

Spanningen met huidig beleid

Transities of transformatieve verandering vergen ook veranderingen binnen het bestuurlijke systeem zelf. Ze zullen per definitie schuren met bestaande instituties zoals regels, financiële prikkels of beleidsprogramma's. Voor ieder van de oplossingsrichtingen is het nodig om te inventariseren welke spanningen te verwachten zijn. Ook zullen spanningen zich gedurende de rit manifesteren. Het small wins perspectief houdt ook in dat op kleine schaal geëxperimenteerd wordt met het doorbreken van barrières met onder andere regels en beleid. Bovendien bieden deze experimenten de mogelijkheid om deze barrières in samenhang te onderzoeken en doorbreken.

Governance structuren

Een transitie duurt lang en er gaat vaak een generatie en vele kabinetten overheen. Daarom is het belangrijk om na te denken over het borgen van de visie over kabinetsperiodes heen. Te denken valt aan een wet, een akkoord, een borgingscommissie of een meerjarig fonds. Het Deltaprogramma is een goed voorbeeld van hoe borging is te regelen.

Transities vergen een combinatie van visionair, samenbindend en realiserend leiderschap. Visionair leiderschap betekent niet alleen het neerzetten van

een inspirerende visie, maar vooral ook het daaraan vasthouden op momenten dat de consequenties in de praktijk zichtbaar worden en tot spanningen leiden. Veel partijen dragen bij aan de transitie of worden erdoor beïnvloed. Dit vergt samenbindend vermogen en vertrouwen. Tot slot moet er voortgang worden geboekt en knopen worden doorgesneden. Dat vergt realiserend vermogen en lef.

Het is ook belangrijk het eigenaarschap te vergroten naar een bredere groep van betrokkenen. Belangrijk is om daarbij de 'coalition of the willing' uit te breiden en ook 'unusual suspects' te binden die buiten de wereld van waterveiligheid uitstraling hebben. Ook is het goed om essentiële spelers te identificeren, die als ze niet worden betrokken, de voortgang kunnen ophouden of 'opblazen'. Een jaarlijkse bijeenkomst, webinars of een cirkel van regionale living labs kunnen deze community van eigenaren levend houden.

Verbinding met andere vraagstukken en problemen

In Nederland zijn spelen ook andere transities (energie, circulair, kringlooplandbouw etc.) en problemen. Synergie tussen transities en problemen versterkt de kans op realisatie. Sommige ontwikkelingen zullen autonoom plaatsvinden en/of (deels) het gevolg zijn van andere transities. Een eiland voor de kust van Knokke of een eiland in zee ten behoeve van Schiphol zou bijvoorbeeld de aanleiding kunnen zijn om de zeewaartse oplossingsrichting verder uit te voeren. Omgekeerd kan een dalend vertrouwen in de veiligheid van de randstad een negatieve impact hebben op het investeringsklimaat en daarmee een migratie uit de Randstad in gang brengen.

4.3.3 Draagvlak

Een hernieuwd waterbewustzijn is nodig voor draagvlak van investeringen. Het algemene beeld is dat alles in Nederland op het gebied van waterbeschikbaarheid en waterveiligheid goed geregeld is. Het is van belang om bewustzijn te creëren dat dit niet vanzelfsprekend is en dat dit soms 'offers' vraagt van de bevolking. Het is ook van belang een rechtvaardige verdeling van de lasten te bereiken.

De framing van Nederland als kwetsbare delta heeft mogelijk ook nadelige gevolgen voor de economie en het investeringsklimaat. De gevolgen zijn lastig in te

schatten. Een analyse van welke weerstanden er zijn overwonnen voordat de 'overstroom-ik'-tool openbaar gemaakt kan worden kan inzicht geven. Met deze tool kan men voor een bepaalde de postcode zien wat de kwetsbaarheid is voor een overstroming.

4.3.4 Kosten

Voor het Deltaprogramma zijn eerder kostenramingen gemaakt onder aanname van een basis klimaatscenario (+0,85 m in 2100) en een extreem klimaatscenario's (+3m zeespiegelstijging in 2200) door Aerts et al. (2008) en Kok et al (2008). De ramingen komen uit op 1 miljard euro/jaar in 2025 tot 1,25 miljard euro/jaar in 2200 voor het extreme klimaatscenario, ofwel jaarlijks zo'n 1-2 promille van het (huidige) BNP. Dit is exclusief beheer- en onderhoudskosten, wat wordt geschat op 0,35 miljard euro/jaar. De grootste kosten worden gemaakt voor het kuststelsel (0,35 miljard euro/jaar), waarvan de kostenverdeling wordt aangehouden: zandsuppleties 60%, harde waterkeringen 30%, stormvloedkeringen 10%.

De kosten van grootschalige oplossingsrichtingen zoals in deze studie zijn beschreven zijn op dit moment nog lastig in te schatten, vooral als deze plannen alleen nog in schetsmatige vorm bestaan. En zelfs als een plan in nader detail is uitgewerkt kunnen de kostenschattingen uiteenlopen, vergelijk bijvoorbeeld de schattingen van de bouw van de Haakse zeedijk, waar kosten genoemd worden van 80 miljard versus minimaal 155 miljard (3-5 mld/jr over 30 jaar, dwz 0.5% van BNP).

Bij de huidige zeespiegelstand is *Beschermen-open* goedkoper dan *Beschermen-gesloten*, omdat het geen aanpassingen vergt. Met het stijgen van de zeespiegel zullen de kosten voor dijkversterking en schade door zoutindringing toenemen en komt naar verwachting een moment dat de overstap naar *Beschermen-gesloten* kosteneffectiever wordt. Voor de Maeslantkering is op basis van een MKBA ingeschat dat dat bij de beide Deltascenario's Stoom en Rust het kantelpunt waarop een Gesloten zeezijde even rendabel wordt als de huidige voorkeursstrategie VKS rond het jaar 2070 ligt. In Diermanse et al (2018) is vervolgens geschat dat dit moment bij een scenario van versnelde zeespiegelstijging nauwelijks eerder zal zijn.

De benodigde investeringskosten voor *Zeewaarts* zullen aanzienlijk hoger zijn dan voor *Beschermen*, maar deze kunnen mogelijk deels gefinancierd worden met de verkoop van de nieuwe grond aan bijvoorbeeld projectontwikkelaars. Ook voor *Meebewegen* zullen, vooral voor varianten met terugtrekken, de kosten zeer hoog zijn. Vooral de kosten van migratie en uitkopen van huizen van bewoners zal hoge kosten met zich meebrengen.

4.3.5 Gevolgen voor de vier oplossingsrichtingen

Bovenstaande elementen van bestuurlijke en maatschappelijke haalbaarheid hebben consequenties voor de vier oplossingsrichtingen. Lokaal kunnen deze consequenties sterk verschillen.

In de oplossingsrichtingen *Beschermen* en *Zeewaarts* zullen keringen steeds hoger en breder worden. Polders komen steeds dieper onder het zeeniveau te liggen, het water "verdwijnt" achter hoge muren. Dit kan een groot gevoel van ongemak bij de bewoners veroorzaken. Tegelijkertijd kan in deze oplossingsrichtingen veel van het huidige ruimtegebruik in west Nederland vergelijkbaar blijven, meer dan in de andere oplossingsrichtingen.

In de oplossingsrichting *Beschermen-gesloten* zal het eventueel afsluiten van de Oosterschelde, Westerschelde en Waddeneilanden mogelijk op veel verzet stuiten. Datzelfde geldt voor de *Zeewaarts* variant, waarin het recreatieve karakter van de huidige zandige kustlijn sterk gaat veranderen. Tegelijkertijd biedt dit ook kansen voor nieuwe ruimtelijke ontwikkelingen waar in west Nederland weinig ruimte voor is.

Voor de oplossingsrichting *Meebewegen* kunnen negatieve effecten van het verlies aan land worden opgevangen als de verplaatsingen zich zoveel mogelijk binnen Nederland gaan voordoen of te kiezen voor drijvende structuren, en als investeringen daaraan over langere tijd worden gekoppeld. Verder zijn er wellicht kansen om de ontwikkelingen te koppelen aan andere transitie, waarmee de acceptatie voor deze optie vergroot kan worden.



In geval van herlocatie kan er een fors verlies optreden van landoppervlak (ongeveer 30%), zoetwater-wetlands (IJsselmeer) en woonkernen en steden. Een groot aantal mensen zal dan verhuizen naar hogere gronden. Het scenario leidt tot een zware druk op het sociaal-economisch klimaat. Fasering is van essentieel belang. Hoe langer van tevoren de werkwijze van verplaatsing bekend is, hoe beter erop ingespeeld kan worden met betrekking tot investeringen, afschrijvingen, volkshuisvesting enz. Het stimuleren van werkgelegenheid in de gebieden met hoge gronden is een voorbeeld van een strategie die daarbij een rol kan spelen.

Initiatie van de oplossingsrichting *Meebewegen* middels migratie zal volgens Olsthoorn et al. (2008) waarschijnlijk niet voorafgegaan worden door een politieke beslissing om land te verlaten. Extreme gebeurtenissen met forse impacts zullen waarschijnlijk een belangrijker rol spelen bij de besluitvorming van individuen en bedrijven om te verhuizen. Dit proces zal mogelijk versterkt worden door besluiten van bedrijfsmanagers om zich niet meer te vestigen in als risicovol gepercipieerde gebieden in het westen en noorden van Nederland, het gebied dat momenteel 80% van de economie van Nederland huisvest.

Het onderwerp zeespiegelstijging heeft een lange tijdshorizon, en is geen onderdeel van de korte-termijn beslissingen die bij veel publieke en private partijen aan de orde van de dag is. Maatregelen voor klimaat (reductie CO₂-emissies), energietransitie en circulaire economie hebben ook een lange tijdshorizon maar hebben concreet geformuleerde doelstellingen die op relatief korte termijn gerealiseerd moeten worden. Voor zeespiegelstijging zijn die doelstellingen nog niet concreet in beeld.

Een aantal van de genoemde maatregelen zal in samenspraak en samenwerking met omliggende landen uitgevoerd moeten worden. Voorbeelden zijn het behoud van de Waddenzee (Duitsland), bescherming van de Waddenkust (Duitsland), zandwinning (Noordzeelanden), eiland voor de kust (België). Een belangrijk aspect is daarbij of de mate van urgentie door die landen gedeeld wordt. Nederland zal tijdig liaisons aan moeten gaan en verkennen in hoeverre deze landen bereid zijn samen op te trekken.

4.4 | Adaptiviteit en adaptatiepaden

Vanwege de grote onzekerheid over de zeespiegelstijging en andere toekomstige ontwikkelingen volgt het Deltaprogramma een adaptieve aanpak op basis van een verkenning van adaptatiepaden. Dit kan richting geven voor beslissingen op de korte termijn en opties voor de lange termijn, welke zijn vastgelegd in een adaptief plan. Een adaptief plan wordt stapsgewijs geïmplementeerd en bijgesteld naarmate meer informatie beschikbaar komt. Dat betekent dat ook opties moeten worden opgehouden.

De oplossingsrichtingen zijn schetsmatig en het is onzeker hoe een toekomst bestaande uit zowel socio-economische, klimatologische en andere fysieke ontwikkelingen en een interactie daartussen er uit zal gaan zien. Bovendien weten we niet hoe Nederland en andere landen zullen anticiperen en reageren op mogelijke toekomst. Dat kunnen we slechts verkennen, zeker als het gaat om hele verre toekomst zoals in deze studie. Toch is daartoe een poging gedaan in een gedachten-experiment voor de vier oplossingsrichtingen. Onderstaand beschrijft mogelijke adaptatiepaden welke zijn gebaseerd op een gedachten-experiment uitgevoerd in de tweede workshop met experts. Deze verkenning van adaptatiepaden heeft als doel inzicht te krijgen in de adaptiviteit alsmede de korte termijn maatregelen en hoe er op termijn tussen en binnen de oplossingsrichtingen overgestapt kan worden. We hebben daarbij ook rekening gehouden met de verschillen die er tussen de kustregio's bestaan.

4.4.1 Adaptiviteit

Alle oplossingsrichtingen kunnen in stappen geïmplementeerd worden. In alle gevallen wordt de aanpasbaarheid aan een steeds hogere zeespiegel steeds lastiger, maar er zijn opties beschikbaar om een steeds hogere zeespiegel en stijgsnelheid aan te kunnen. In de *Zeewaarts* optie kunnen de eilanden gefaseerd gemaakt worden, die bij voortgaande zeespiegelstijging kunnen worden verbonden met keringen. Eenmaal gebouwd zal verdere aanpassing van de eilanden en keringen aan verdergaande zeespiegelstijging niet eenvoudig zijn. In dat opzicht verschilt deze oplossingsrichting niet van de *Beschermen-gesloten*

richting. De levensduur van keringen in de opties *Zeewaarts* en *Beschermen* kan verlengd worden door ze sterker en overslagbestendig te maken, en door aanpassing van het sluitpeil van stormvloedkeringen. Uiteindelijk zullen keringen versterkt of vervangen moeten worden. Het ophogen van dijken kan ook adaptief, mits er voldoende ruimte beschikbaar is. De omvang van de stappen waarmee dit gedaan kan worden hangt af van de benodigde implementatietijd en van de snelheid van de zeespiegelstijging. Indien in een vroeg stadium vanwege ruimtegebrek wordt gekozen voor damwanden of vernageling, wordt het later ophogen van dijken lastiger en zal bij een verdere aanpassing mogelijk een nieuwe dijk gemaakt moeten worden. Het onderhouden van de zandige kust is een maatregel die lange tijd flexibel is aan te passen aan een steeds snellere zeespiegelstijging.

4.4.2 Adaptatiepaden

4.4.2.1 Algemeen

De huidige status van de Rijn-Maas delta is een combinatie van *Beschermen-open* (Eems-Dollard, Rijnmond, Oosterschelde en Westerschelde) en *Beschermen-gesloten* (IJsselmeer, Grevelingen, Haringvliet, IJmuiden, Afsluitdijk, Friese en Groningse kust). Als gevolg van een stijgende zeespiegel zullen de afsluitbare stormvloedkeringen steeds vaker gaan sluiten en komt op een gegeven moment de keuze voor een *Beschermen-gesloten* in beeld voor Rijnmond, Oosterschelde en wellicht ook Westerschelde. Een voorbeeld van dat moment is een toename van de sluitfrequenties van de Oosterscheldedam en de stormvloedkering waardoor beide keringen dan (deels) hun functionaliteit verliezen.

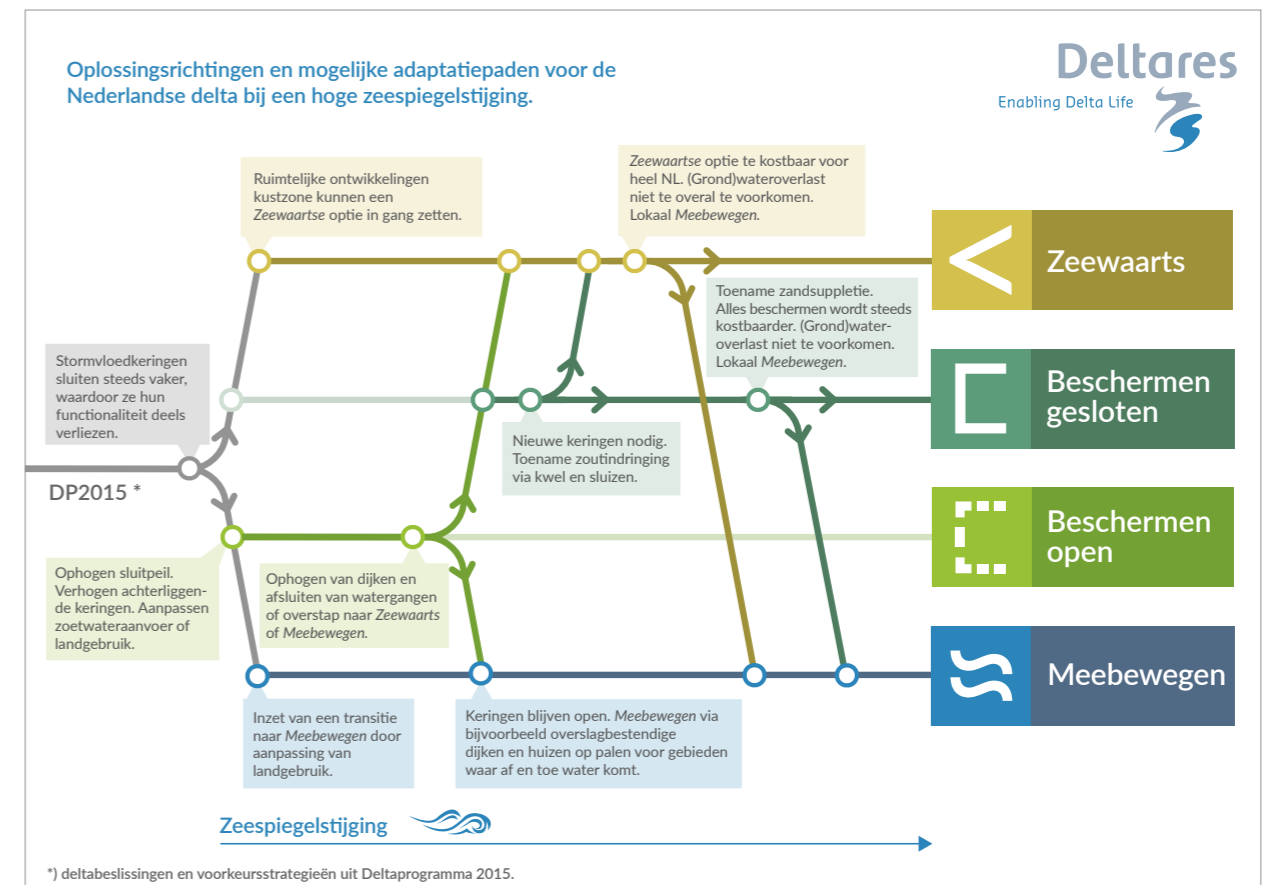
Bij verdere stijging zijn nieuwe keringen en grotere jaarlijkse zandsuppleties nodig. De keuze tussen vasthouden aan *Beschermen-gesloten* of een overstap naar een meer *Zeewaarts* gelegen kustbescherming ligt dan voor de hand. Inzet van een transitie naar *Meebewegen* is mogelijk door aanpassing van de inrichting van het gebied aan incidentele acceptatie van lokale overstromingen. Vasthouden aan dijken in een *Beschermen* strategie zal resulteren in steeds hogere en bredere dijken, waarmee een weg in geslagen wordt naar *Meebewegen* via megaterpen.

Een andere optie is om de afsluitbare keringen, indien deze te vaak moeten sluiten, permanent open te laten staan (waarmee een stijging van de waterstanden achter de keringen beperkt wordt) en dan geleidelijk over te stappen naar *Meebewegen*, bijvoorbeeld via overslagbestendige dijken en huizen op palen voor gebieden waar af en toe water komt. In gebieden waar regelmatig water komt en landgebruik extensief is, kan geëxperimenteerd worden met natuurlijke landspiegelstijging. In plaats van ophoging van dijken en afsluiten van watergangen kan daar ook meteen worden besloten om over te stappen naar de *Zeewaartse* optie. Doorgaan op een adaptatiepad van *Meebewegen* resulteert naar verwachting uiteindelijk in eilanden of 'kopen' in het westen van Nederland die beschermd zijn met dijken of opgehoogde megaterpen. Wanneer de oplossingsrichtingen *Beschermen* en *Zeewaarts* bij een extreem hoge zeespiegelstijging niet meer houdbaar blijken is een overstap naar *Meebewegen* altijd nog mogelijk. De investeringen hebben dan mogelijk niet het verwachte rendement

gehaald, en aangebrachte effecten op natuur zijn mogelijk onomkeerbaar. Een dergelijk pad is daarom niet zonder meer als 'low regret' aan te merken.

4.4.2.2 Adaptatiepaden per regio

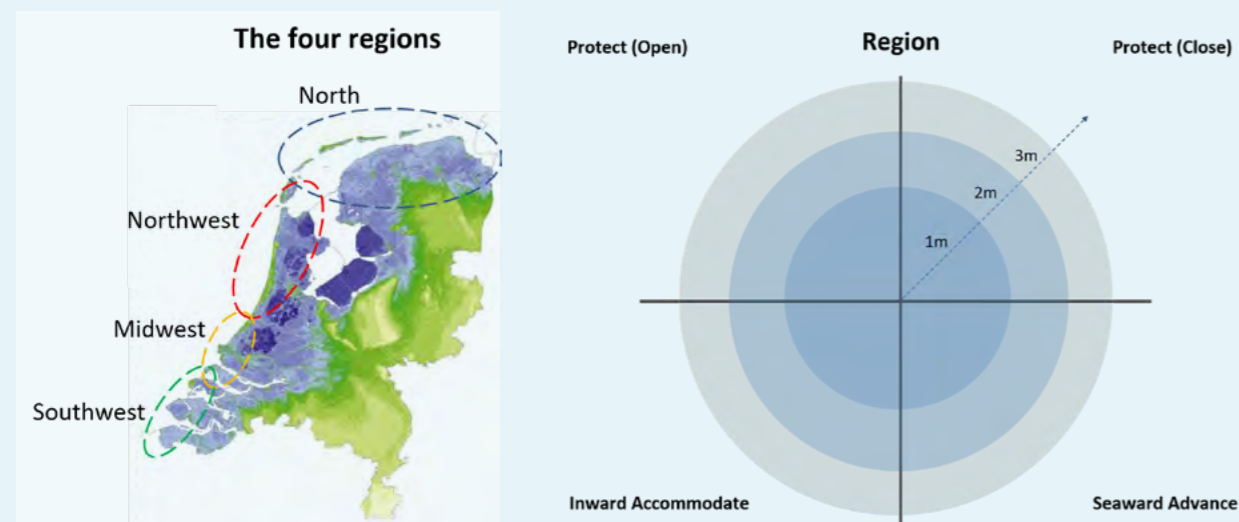
Momenteel heeft Nederland een hybride strategie van open/gesloten. Ook in de toekomst is het waarschijnlijk dat een combinatie van de verschillende oplossingsstrategieën wordt toegepast. Verder zal het adaptatiepad per regio anders zijn vanwege regionale verschillen in fysische condities en bewonersaantallen. Het restant van deze paragraaf beschrijft mogelijke afzonderlijke adaptatiestrategieën voor drie afzonderlijke regio's: de zuidwestelijke delta, middenwest Nederland en noord Nederland. Deze analyse is gebaseerd op input van een expert-workshop op 21 juni 2019, waar elk van deze regio's in een aparte groep is besproken. Het idee om adaptatiepaden per regio te gaan verkennen is afkomstig uit de studentenhackathon (zie kader).



Figuur 10 Oplossingsrichtingen en mogelijke adaptatiepaden voor de Nederlandse delta bij een hoge zeespiegelstijging.

Kader studentenhackathon - Welke adaptatiepaden zijn mogelijk per regio? Waar is overlap tussen oplossingsrichtingen en wat zijn cruciale beslissingen?

Haalbaarheid van adaptatiestrategieën is sterk afhankelijk van onder andere geologie en sociaal-economische activiteiten. Voor adaptatie aan zeespiegelstijging worden verschillende archetypen van de kust onderscheiden (Haasnoot et al. 2019) waarvan de volgende relevant zijn voor Nederland: verstedelijkte zandige kust, verstedelijkte delta, verstedelijkte estuarium en rurale delta. Op basis hiervan zijn 4 deelgebieden onderscheiden: het noorden, noordwest, middenwest, zuidwest.



Figuur 11 en 12

Per regio is geïnventariseerd welke de maatregelen bij een oplossingsrichting horen en bij welke zeespiegelstijging of wanneer in de tijd deze maatregel nodig is. Daarvoor is het bovenstaande schema gebruikt (rechts).

Alle 4 oplossingsrichtingen lijken alle mogelijk voor Nederland, maar niet alle oplossingsrichtingen zijn even voor de handliggend in de verschillende regio's. Daarnaast hebben de verschillende oplossingsrichtingen overeenkomsten in gevolgen en beslissingen die genomen moeten worden, waaronder: het zandig kustonderhoud, kwel en verzilting, vergroting van de gemaal en pompcapaciteit voor de drainage van polders en rivieren en het plaatsen van waterkeringen. Beslissingen die bepalend zijn voor een keuze voor een van de oplossingsrichtingen zijn: het openhouden of afsluiten van de Rijn-Maasmonding en de Scheldes op de kortere termijn en op de langere termijn Afsluitdijk. Op de kortere termijn is er meer overlap tussen de oplossingsrichtingen. Op de langere termijn, met veel meer zeespiegelstijging, zal steeds meer voor één bepaalde richting gekozen moeten worden. Hoewel er samenhang is tussen de regio's, kan de uiteindelijke regionale invulling verschillend zijn.

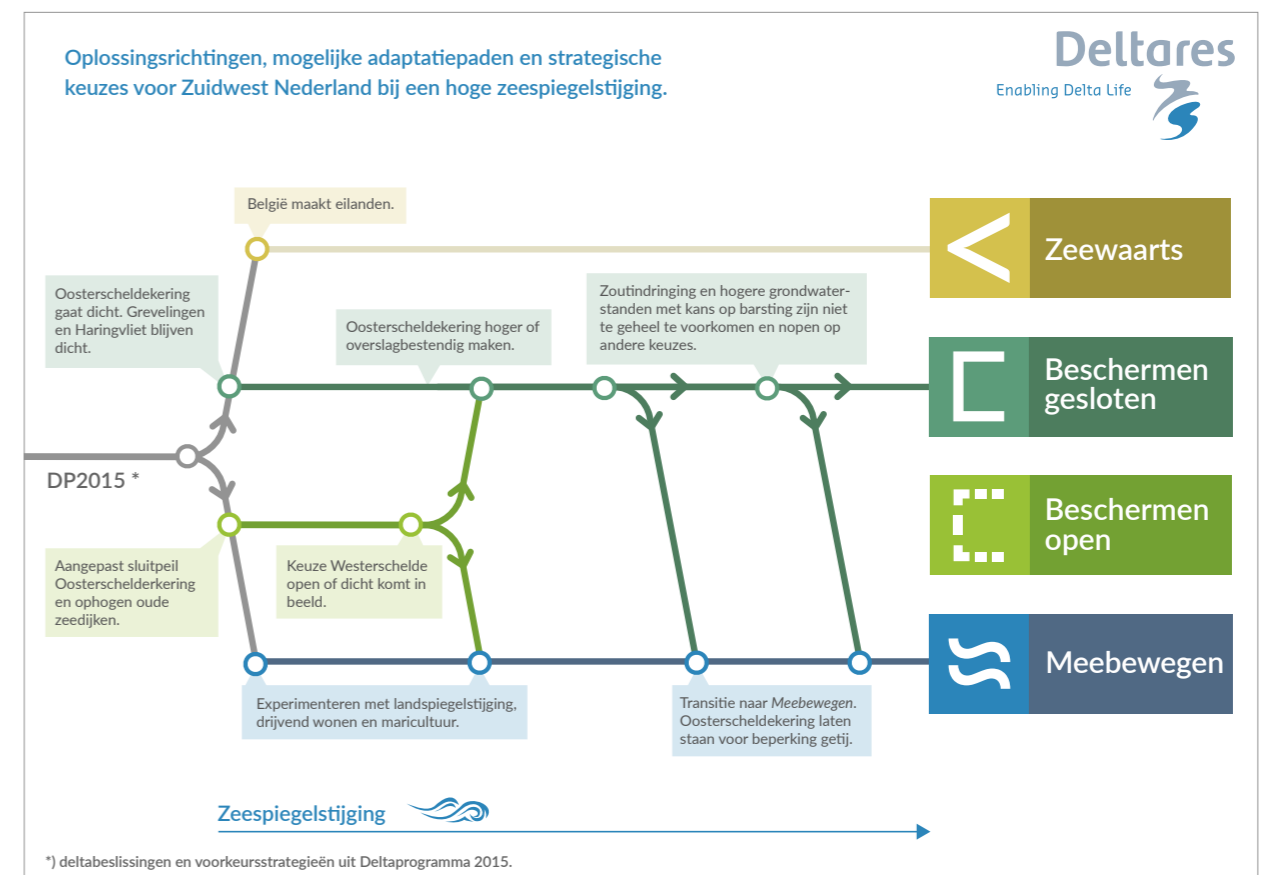


Zuidwestelijke delta

De Zuidwestelijke delta is de benaming voor de combinatie van de Zeeuwse en Zuid-Hollandse (schier) eilanden. Het is een gebied met diverse estuaria. Van deze estuaria is de Westerschelde als enige in volledig open verbinding met de Noordzee. De Oosterschelde heeft een afsluitbare stormvloedkering, het Haringvliet en De Grevelingen zijn gescheiden van de Noordzee door respectievelijk de Haringvlietdam en de Brouwersdam. Het gebied is relatief dun bevolkt in vergelijking met andere delen van West-Nederland.

Het functioneren van de Oosterscheldekering als open kering is naar verwachting het eerste aspect waar de gevolgen van zeespiegelstijging een significante rol gaat spelen. Uit de recente verkenning naar gevolgen van versnelde zeespiegelstijging (Haasnoot et al., 2018) bleek dat de kering bij een zeespiegelstijging van 1 m al 45 keer per jaar dicht gaat en bij een zeespiegelstijging van 1,5 m vrijwel permanent dicht is. Bij een zeespiegelstijging van 2,1 m wordt de maximale waterstand waarvoor de kering is ontworpen eens per 10 jaar overschreden.

Een afsluitbaar open kering met het huidige sluitpeil eindigt uiteindelijk in een nagenoeg continu gesloten kering. Dat moment kan uitgesteld worden door het sluitpeil op te hogen. Als het sluitpeil bijvoorbeeld evenveel wordt opgehoogd als de zeespiegelstijging, blijft de sluitfrequentie constant. Een hoger sluitpeil betekent echter wel dat de oude zeedijken langs de Oosterschelde opgehoogd en versterkt moeten worden om nog aan de veiligheidsnorm te voldoen. Dit is naar verwachting een dure optie vanwege de kustlengte (ongeveer 200 km dijken langs de Oosterschelde), en is te overwegen om over te stappen naar *Beschermen-gesloten*. In dat geval ontstaat een kans om een zoetwaterbekken te maken van de Oosterschelde, wat ook aanpassingen vergt van de maricultuur. Een keuze voor een aangepast sluitpeil in de *Beschermen-open* kan gepaard gaan met een transitie richting *Meebewegen*, door te experimenteren met landspiegelstijging; op natuurlijke wijze waar het kan en kunstmatig waar het moet. Voor grotere steden ligt lokale bescherming voor de hand. In deze transitie komen meer kansen voor maricultuur en drijvende woningen en steden.



Figuur 13 Oplossingsrichtingen en mogelijke adaptatiepaden voor de Zuidwest Nederland delta bij een hoge zeespiegelstijging.

Voor de Westerschelde hangt de keuze voor een open of gesloten oplossingsrichting samen met de consequenties voor Antwerpen als zeehaven. Een gesloten oplossingsrichting betekent immers een extra stremming voor de scheepvaart en is daarmee nadelig voor de concurrentiepositie van de haven, maar heeft als voordeel dat de stad daarmee extra beschermd wordt tegen overstromingen. Een open oplossingsrichting geeft kansen voor natuurlijke landspiegelstijging, zoute teelten en maricultuur.

De Grevelingen ligt op het pad van *Beschermen-gesloten* en het ligt voor de hand om dat te handhaven, vooral omdat dit kansen biedt om water te bergen tijdens perioden van hoge rivierafvoeren en als buffer voor beschikbaarheid van zoetwater. Bij een hogere zeespiegelstijging, als de kier niet meer gehandhaafd kan worden, geldt dit ook voor het Haringvliet. De oplossingsrichting *Zeewaarts* ligt niet voor de hand voor de zuidwestelijke delta, maar zou eventueel toch in beeld kunnen komen indien België zou besluiten om eilanden voor de kust aan te leggen (zie bijvoorbeeld het plan van GVA, 2013).

Middenwest Nederland Middenwest Nederland is hier gedefinieerd als Zuid-Holland, met uitzondering van de Zuid-Hollandse eilanden. In dit gebied ligt onder andere de Rijn-Maasmonding, de Rotterdamse haven. Het is een sterk verstedelijkt gebied in deels laaggelegen polders en een kust die, afgezien van de riviermonding, bestaat uit een afgesloten duinenrij. Het uitslaan/bergen van overtollig water (neerslag, piekafvoeren van rivieren) en het bestrijden van verzilting vormen hier de grote opgaven. De huidige inrichting van Middenwest Nederland is *Beschermen-open*. Voor alle vier de oplossingsrichtingen zijn er maatregelen te bedenken. Echter, de oplossingsrichting *Meebewegen* ligt hier minder voor de hand vanwege de grote aantallen inwoners, bebouwing, infrastructuur etc..

In *Beschermen-open* zijn er een aantal zinvolle maatregelen op de korte termijn, waaronder de aanleg van multifunctionele pleinen die mogen overstromen om neerslag te bergen, en het vernatten van veenweide gebieden door hoger peilbeheer om bodemdaling te beperken. Voor de lange termijn zullen dijken verder moeten worden opgehoogd, de hoeveelheid

zandsuppletie worden uitgebreid en zal de regionale pompcapaciteit vergroot moeten worden. Vanwege toenemende verzilting ligt een overstap naar zilte of niet-grondgebonden teelt voor de hand. Een verdere concentratie van bebouwing kan in de verre toekomst leiden tot beperking van de beschermingsopgave voor een beperkt aantal kerngebieden.

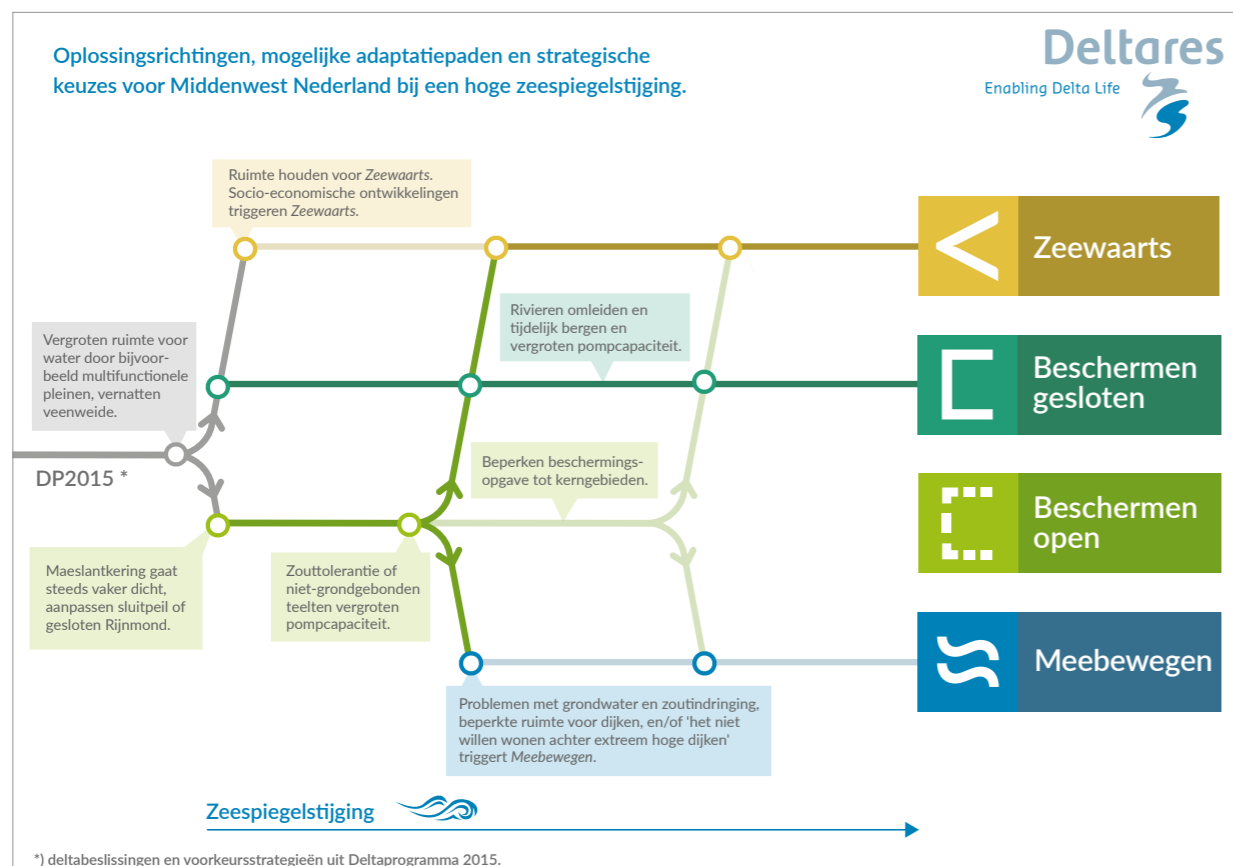
Ook in *Beschermen-gesloten* zijn de aanleg van multifunctionele pleinen en het vernatten van veenweide gebieden zinvolle korte termijn maatregelen. Voor de langere termijn kan overwogen worden de rivieren om te leiden (richting Grevelingen via Hollands Diep) opdat niet de volledige Rijn- en Maasafvoer uit het dichtbevolkte Rijnmond-Drechtsteden gepompt hoeft te worden. Andere te overwegen maatregelen zijn de vergroting van de pompcapaciteit, het verhogen van dijken, aanleg van havensluizen, verdere verplaatsing van de haven naar de buitenzijde (Maasvlaktes) en megadijken langs de rivieren.

Voor de oplossingsrichting *Zeewaarts* zijn op de korte termijn geen acties nodig, behalve tijdige reservering

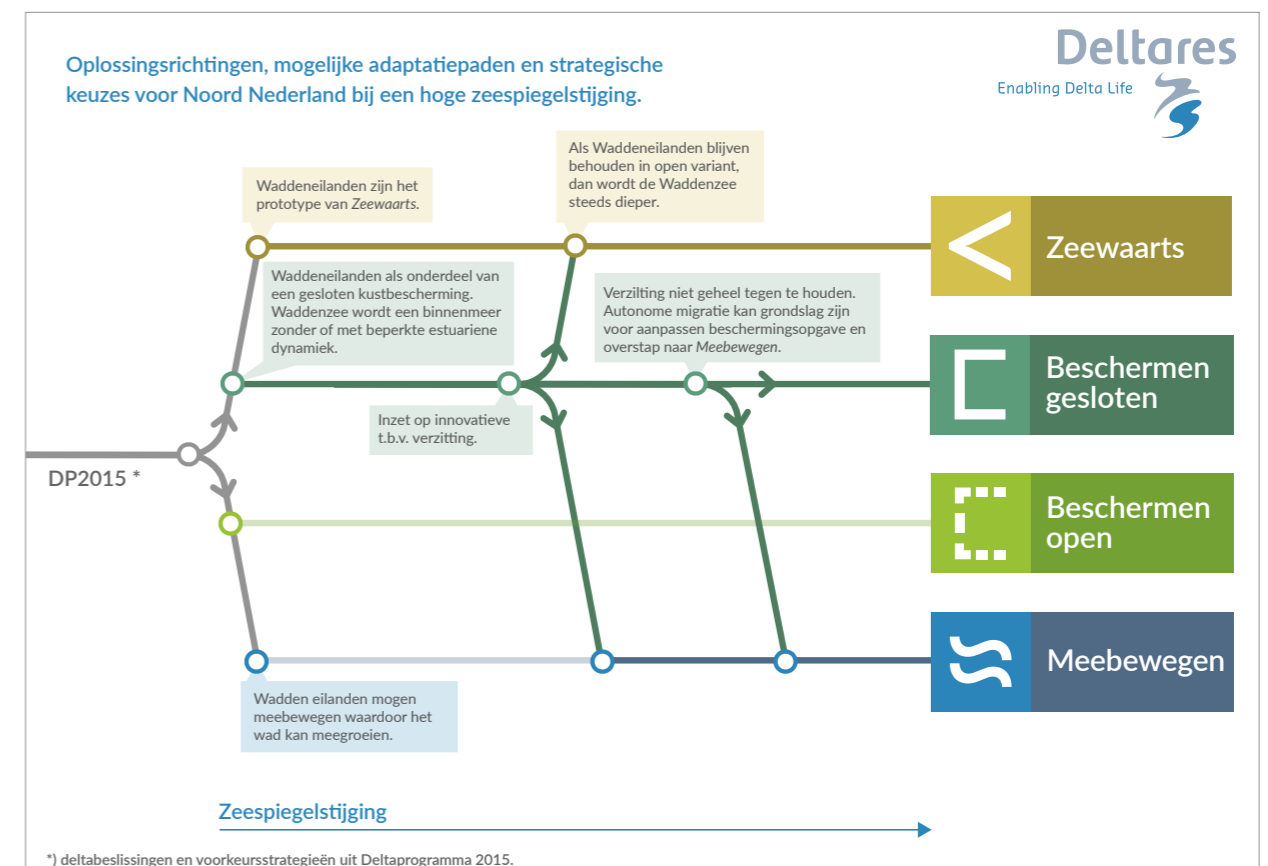
van ruimte. Voor de lange termijn zal de realisatie van het ontwerpplan (kustverdediging, eilanden, randmeren) aanzienlijke inspanningen vergen.

Voor de oplossingsrichting *Meebewegen* is het op de korte termijn zinvol om veenweide gebieden te vernatten en het vloerpeil van nieuwe gebouwen te verhogen. Voor de langere termijn is te overwegen over te stappen op zilte teelt, een grotere concentratie van bebouwing, het bouwen van huizen die eenvoudiger te verplaatsen zijn, en een focus op economische ontwikkeling in het oosten en zuiden van het land.

Het is de verwachting dat voor deze regio tot ongeveer 1 meter zeespiegelstijging alle opties voor adaptatie open blijven. Welke oplossingsrichting er daarna wordt ingeslagen zal afhankelijk zijn van de keuze die er gemaakt wordt voor de vervanging van de Maeslantkering als deze niet meer voldoet. Als deze wordt vervangen door een gesloten variant (sluis), dan is de oplossingsrichting *Zeewaarts* opportuun als er eerder al uitbreidingen richting zee hebben plaatsgevonden. De sterke verstedelijking van



Figuur 14 Oplossingsrichtingen en mogelijke adaptatiepaden voor de Middenwest Nederland delta bij een hoge zeespiegelstijging.



Figuur 15 Oplossingsrichtingen en mogelijke adaptatiepaden voor de Noord Nederland delta bij een hoge zeespiegelstijging.

Middenwest Nederland legt de nadruk van toekomstige maatregelen bij de ruimtelijke inrichting. Verticaal *meebewegen* is mogelijk mits dit tijdig is opgenomen in de bouwplannen. Geconcentreerde bebouwing geeft de mogelijkheid om lokaal te *beschermen* (eventueel gecombineerd met lokaal pompen), en verruimt de mogelijkheid tot adaptieve strategieën voor de oplossingsrichtingen *Beschermen-gesloten*, *Beschermen-open* en *Meebewegen*.

Noord Nederland

Deze regio bestaat uit de Waddeneilanden, Waddenzee, en de kust van Friesland en Groningen. Een strategie voor het Waddengebied dient in samenspraak te worden gemaakt met andere Waddenlanden. Voor de Waddeneilanden zijn er zijn meerdere keuzemogelijkheden om ze op te nemen in de adaptatiestrategie: ze kunnen onderdeel uitmaken van een kering; ze kunnen blijven liggen met een open verbinding naar de Noordzee; of ze kunnen *meebewegen* met het zeeniveau. De sediment-beschikbaarheid van de Waddenzee vormt op afzienbare termijn een beperking voor meegroei met een snellere zeespiegelstijging. De terpen die van oudsher in Noord Nederland liggen kunnen experimenteerruimte vormen voor *Meebewegen*. Laaggelegen gebieden langs de Eems-Dollard bieden de mogelijkheid voor wisselpolders. Autonome migratie uit dit gebied heeft een zelfversterkend effect en kan een grondslag zijn voor het stopzetten of reduceren van *beschermende* maatregelen en een transitie richting de oplossingsrichting *Meebewegen*.

4.4.3 Triggers die niet gerelateerd zijn aan waterbeheer

Voor de uitwerking van alle oplossingsrichtingen is het van belang om een heldere fasering over een langere tijdsperiode in beeld te brengen. Dit geeft houvast voor samenleving en economie en de kans om zich langzaam aan te passen aan een nieuwe inrichting. Ook is het van belang om het aantal omslagpunten minimaal te houden, en om deze omslagpunten duidelijk en tijdig te herkennen. De grootste effecten op de maatschappij ontstaan niet door langzame veranderingen zoals zeespiegelstijging, maar door:

- Extreme gebeurtenissen (storm en overstromingen met slachtoffers);
- Trendbreuk, zoals een economische crisis;
- Maatschappij ontwrichtende gebeurtenissen: ziekte/plagen; cyberstoring; migratiestromen;
- Internationale conflicten: oorlog, handelsembargo, Brexit.

Andere externe invloeden die beslissingen kunnen initiëren die leiden tot een van de oplossingsrichtingen zijn:

- Aanleg van eilanden voor de kust voor andere doeleinden ('Schiphol in zee', woningen);
- Aanleg van eiland(en) voor de kust van België;
- Afname investeringsklimaat en/of huizenmarkt in (West-)Nederland die migratie in gang zet;
- Grote investeringen zoals nieuwbouw in laaggelegen delen van Nederland die onvoldoende rekening houdt met de mogelijkheid van toenemende zeespiegelstijging;
- Omschakeling naar duurzaam grondgebruik;
- Energietransitie (aanleg van windmolens, valmeren);
- Verandering maatschappelijke preferenties.



► Foto's: studentenhackathon en expert bijeenkomst juni 2019.



Strategische keuzes

5

5.1 | Strategische keuzes en gevolgen voor de komende 20 jaar

Een analyse met behulp van de adaptatiepaden geeft inzicht in de strategische keuzes voor de Nederlandse delta en de overeenkomsten en verschillen tussen de oplossingsrichtingen. Daarmee kunnen de mogelijke consequenties voor de korte termijn in beeld worden gebracht. Ook geeft dit aan welke keuzes daadwerkelijk bepalend zijn voor één van de oplossingsrichtingen en welke keuzes veel opties open houden. Hieronder noemen we een aantal cruciale strategische keuzes en, waar mogelijk, activiteiten die op korte termijn nodig zijn om de keuze en uitvoering te faciliteren:

- *Kustlijn wel/niet handhaven met zandsuppleties:* In alle oplossingsrichtingen speelt een zandige kust een belangrijke rol die onderhouden moet worden en moet meegroeien met de zeespiegelstijging. Zand suppleren is een flexibele maatregel die makkelijk is aan te passen en uit te breiden. Het is onduidelijk tot welke stijgsnelheid en totale hoeveelheid zeespiegelstijging dit opschaalbaar is. Er zal een, vooralsnog onbekende, begrenzing zijn aan de (winbare) zandvoorraad waardoor er ook een limiet is aan de hoeveelheid zeespiegelstijging tot waar deze maatregel kan worden toegepast. Dit is van belang voor de oplossingsrichtingen *Zeewaarts* en *Beschermen*.

Voor de korte termijn betekent dit dat ruimte voor zandwinning moet worden gereserveerd, en dat suppleties moeten worden gecontinueerd. Voor de lange termijn zijn experimenten met grote suppleties en ontwikkeling van methoden voor meer kostenefficiënte zandsuppleties (zoals de Zandmotor) aan te bevelen.

- *Kust: afsluiten of open houden?* De oplossingsrichtingen *Beschermen* en *Zeewaarts* hebben een vaste kustlijn met keringen die

moeten blijven functioneren bij zeespiegelstijging. Voor deze oplossingsrichtingen kan worden gekozen voor een open of een gesloten variant. Het gaat hier om de estuariene bekkens in Zeeland, de riviermondingen bij de Rijnmond, en in sommige plannen zijn ook de Waddeneilanden onderdeel van een nieuwe gesloten kustbescherming.

Voor de korte of middellange termijn betekent dat er een keuze gemaakt moet worden over de vervanging van de Maeslantkering en afsluitbaar open houden van de Oosterscheldekering. Voor de lange termijn moet een keuze gemaakt worden voor het eventueel afsluitbaar maken van de Westerschelde en de Waddenzee. Mogelijke activiteiten die daar aan vooraf gaan zijn:

- Haalbaarheidsstudies naar levensduurverlengende maatregelen versus de overstap naar sluiten;
- Analyses van de gevolgen en toepasbaarheid van deze overstap voor een groot bereik aan zeespiegelstijgingen; en
- Ruimtereservering voor dijken in het achterliggende gebied indien deze verhoogd en versterkt moeten worden. Voor het afsluiten van de Westerschelde zal een overeenkomst met België gesloten moeten worden.

- *Rivieren: afvoerdeling en balans pompen/bergen/spuien:* Zowel in *Beschermen-gesloten* als in (gesloten) *Zeewaarts*, zullen de rivierafvoeren grotendeels naar zee gepompt moeten worden. De mate waarin dit gebeurt hangt samen met de mogelijkheid om water tijdelijk te bergen en/of spuien in perioden met hoge afvoeren en eventueel de mogelijkheid om de afvoerdeling te sturen. In de diverse riviertakken moet dan voldoende ruimte zijn om eventueel grotere hoeveelheden water af te voeren dan nu het geval is. Dit is een extra reden voor ruimte voor de rivier (afvoeren en bergen), waarschijnlijk in combinatie met dijkverhoging.

Tijdig zal een landsbrede strategie gekozen moeten worden voor de rivierafvoeren voor de combinatie van pompen, bergen, spuien, afvoerdeling, afvoercapaciteit en hoogwaterbescherming. Deze strategie moet zoveel mogelijk adaptief zijn aan zeespiegelstijging. Ruimtelijke reserveringen zijn dus mogelijk noodzakelijk en dan gaat het niet alleen om de ruimte die er nu is, maar ook om ruimte in de toekomst beschikbaar te maken. Plannen om bestaande ruimte voor de rivieren in te perken zijn in dit licht af te raden, dan wel alleen mogelijk onder voorwaarden dat de ruimte later te gebruiken is voor waterberging of afvoer. Misschien biedt dit een kans om ervaringen op te doen met *Meebewegen*.

- *Laten verzilten of zoet houden*: het zoet houden van Laag-Nederland ten behoeve van de landbouw vraagt veel zoetwater. Een keuze voor meer zouttolerante gewassen in de kustzone ligt op termijn voor de hand bij alle oplossingsrichtingen. Maar ook nieuwe vormen van (duurzame) landbouw die gebaseerd zijn op verdere technologische vernieuwingen en mogelijk grond ongebonden zijn, vormen onderdeel van de oplossingsrichtingen.

Voor de korte termijn betekent dit dat verder geëxperimenteerd moet worden met zilte teelten en maricultuur, aquaculturen en technologische vernieuwingen.

- *Kustlijn: zeewaarts, landwaarts of vasthouden*: Dit betreft feitelijk de keuze tussen de vier oplossingsstrategieën, waarbij in twee van de vier strategieën de kustlijn vastgehouden wordt.

Een ander belangrijk gevolg van zeespiegelstijging die op de lange termijn effect kan hebben op de keuze voor een van de oplossingsrichtingen is:

- *Kwel en opbarsting en gevolgen voor gemalen*: Effecten van een hogere zeespiegel op de zoutindringing, kwel en hogere grondwaterstand zullen zowel in *Beschermen* en *Zeewaarts* een rol van betekenis spelen. Bij de *Beschermen-open* treedt dit effect verder landinwaarts op. In de oplossingsrichting *Zeewaarts* is de keuze voor een gesloten of open hiervoor waarschijnlijk mede bepalend. Ook speelt het waterpeil en het zoet/zout gehalte van het kustrandmeer een rol. Als het waterpeil in het kustrandmeer vergelijkbaar is aan de huidige zeewaterstand, dan is het effect op de grondwaterstand naar verwachting minder landinwaarts.

In alle oplossingsrichtingen blijft de Randstad of kernen daarvan behouden, al dan niet met keringen of in een andere vorm.

5.2 | 'Low-regret' en 'high-regret' maatregelen

Generieke korte termijn 'low-regret' en/of noodzakelijke maatregelen zijn:

- *Ruimte reserveren* voor maatregelen zoals waterberging, zandwinning, dijkversterking en dijkverhoging en de mogelijkheid om elders aangepast te bouwen.
- *Experimenteren* om te leren over de schaalbaarheid en aanpasbaarheid van maatregelen, zoals zandsuppletie en landspiegelstijging en andere vormen van landgebruik. En daarnaast ervaring opdoen met sociale en institutionele maatregelen met name voor de oplossingsrichting *Meebewegen*.

- *Stress-testen* uitvoeren bij nieuwe ontwikkelingen, zodat er beslissingen genomen worden die consistent zijn met één of meerdere oplossingsrichtingen. Bijvoorbeeld een klimaatbestendigheidstoets voor nieuwe gebouwen (opgehoogd, op palen of overstroombaar, relatief eenvoudig verplaatsbaar).
- *Kansen vanuit andere ontwikkelingen benutten*. Voor de korte termijn geven ontwikkelingen zoals energietransitie, transities in de landbouw en huisvesting wellicht aanleiding tot beslissingen die mogelijk kansen geven dan wel bepalend zijn voor lange termijn waterbeheer.
- *Adaptieve ontwerpen ontwikkelen*. Om uitbreidbaarheid mogelijk te maken in infrastructuur, bedrijven en woningen.

Mogelijke 'high-regret' activiteiten met het oog op een mogelijk versnelde zeespiegelstijging zijn:

- Plaatsen van niet-verwijderbare windmolens in zee op locaties waar in de toekomst mogelijk zandwinning moet plaatsvinden en/of waar eilanden komen in de *Zeewaarts* oplossingsrichting.
- Verlies van ruimte: traditionele bouwprojecten in laaggelegen gebieden nabij waterkeringen, waardoor mogelijkheden voor uitbreiden van keringen of ruimte voor de rivier niet mogelijk is of tegen zeer hoge kosten, zoals de huidige grootschalige huisbouwprojecten in de Randstad en Bouwprojecten in uiterwaarden van de riviertakken.
- Implementatie van grote stormvloedkeringen die niet eenvoudig uitbreidbaar zijn.



Conclusies en kennisvragen

6

De gevolgen van een eventuele hoge en versnelde zeespiegelstijging kunnen groot zijn voor het beheer van de Nederlandse delta. Bijsturing van de huidige gebruikte strategieën (een combinatie van *Beschermen-gesloten*, *Beschermen-open*), zal minimaal zeer grote inspanning en kosten vergen. Mogelijk zullen de strategieën niet altijd toereikend zijn. Het is nog onduidelijk of en wanneer er sprake zal zijn van een kantelpunt in de adaptatiestrategie. Maar de potentiële implicaties van zo'n kantelpunt zijn groot en rechtvaardigen wel alvast een verkenning van mogelijke alternatieve strategie-richtingen en de mogelijke effecten en kansen.

Het doel van dit project is de inventarisatie, verkenning en duiding van de consequenties en een eerste inschatting van de haalbaarheid van verschillende adaptatiestrategieën voor een snelle en hoge zeespiegelstijging. Niet om nu al een keuze te maken. Dat is nog niet nodig, er is nog voldoende tijd voor kennisontwikkeling en het verminderen van onzekerheden. Maar wel om te bepalen welke maatregelen op korte termijn nodig zijn om lange termijn opties open te houden. In dit rapport is een aantal oplossingsrichtingen verkend, en worden onderzoeksvragen geformuleerd die tot nadere uitwerking en analyse van deze oplossingsrichtingen kunnen leiden. Deze verkenning en de eventuele vervolg-uitwerking leveren input voor de geplande herijking van de strategieën van het Deltaprogramma in 2026 en voor de nationale omgevingsvisie (NOVI).

In deze verkenning zijn diverse technische aspecten uit het rapport van Haasnoot et al. (2018) verder uitgediept. Verder zijn eerste aandachtspunten m.b.t. maatschappelijke haalbaarheid in beeld gebracht.

6.1 | Conclusies

Op hoofdlijnen zijn er vier oplossingsrichtingen die de oplossingsruimte voor aanpassen aan hoge zeespiegelstijging opspannen: *Beschermen-gesloten*, *Beschermen-open*, *Zeewaarts en Meebewegen*. Alle richtingen kunnen een rol spelen in de regionale invulling voor adaptatie aan (hoge) zeespiegelstijging. De consequenties daarvan zullen toenemen naarmate de zeespiegel verder stijgt.

Beschermen (zowel gesloten als open) ligt het dichtst bij de huidige strategie. Er zal steeds meer ruimte nodig zijn voor de keringen en het bergen en afvoeren van rivierwater. *Zeewaarts* is alleen effectief bij hoge zeespiegelstijging als dit een gesloten variant is. Deze oplossingsrichting vergt veel zand wat deels moet worden gedeponneerd op een plek waar nu zand wordt gewonnen. Eilanden als onderdeel van een nieuwe gesloten zeewaartse kustlijn en een nieuw kustrandmeer bieden kansen voor economische ontwikkeling en zoetwatervoorziening, en hebben grote gevolgen voor kustnatuur. *Meebewegen* heeft grote gevolgen voor ruimtelijke ordening en impliceert een grote maatschappelijke transitie indien moet worden aangepast aan hoge zeespiegelstijging.

De belangrijkste conclusies van dit onderzoek zijn als volgt:

1. Kiezen tussen de oplossingsrichtingen is nog niet nodig, er is tijd om de onzekerheid omtrent de toekomstige zeespiegelstijging te verkleinen en de mogelijke gevolgen beter te kwantificeren en eventuele oplossingsrichtingen en strategieën nader uit te werken. Maar om toekomstige opties open te houden is op de korte termijn nader onderzoek nodig, moeten experimenten worden gestart en voorbereidende maatregelen genomen. Alert blijven en monitoring van relevante ontwikkelingen zijn van belang om tijdig maatregelen en transities in gang te kunnen zetten.

2. Technisch is er veel mogelijk maar in alle gevallen zullen grote inspanningen nodig zijn naarmate de zeespiegel verder stijgt. Beperkingen van de oplossingsrichtingen komen vooral voort uit beschikbaarheid van resources (bijv. zand), ruimte en tijd, maatschappelijk draagvlak en kosten. Ook de benodigde tijd voor planning en implementatie van maatregelen legt beperkingen op, zowel de technische als maatschappelijke haalbaarheid, met name voor grote infrastructurele werken en transformatieve beslissingen. Wel kan met een blik op de verre toekomst een lijst van low- en high-regret maatregelen worden opgesteld.

3. De oplossingsrichtingen zijn beschreven aan de hand van vier hoofdindicatoren: doelbereik, technische haalbaarheid, maatschappelijke haalbaarheid en adaptiviteit. Een samenvatting staat in tabel 4.

- **Doelbereik:** De hoeveelheid zeespiegelstijging waarvoor een oplossingsrichting geschikt is, hangt in sterke mate af van het specifieke ontwerp (bijvoorbeeld de hoogte van zeewaartse eilanden, terpen of keringen). Harde grenzen zijn daarom voor geen van de oplossingsrichtingen aan te geven, maar de technische en maatschappelijke uitdagingen worden steeds groter. De oplossingsrichting *Beschermen-open* is naar verwachting niet meer houdbaar vanaf een stijging van 1 à 1,5 m zeespiegelstijging, tenzij sluitpeilen van stormvloedkeringen worden opgehoogd en dijken in het achterland worden opgehoogd en versterkt of overslagbestendig gemaakt worden en van gebouwen in buitendijkse gebieden bestendig worden tegen hoog water.
- **Technische haalbaarheid:** Technisch lijken er weinig beperkingen te zijn zolang er voldoende ruimte, resources (e.g. zand), geld en bereidwilligheid is. De uitdaging ligt vooral in de grote schaal en de snelheid van implementatie en het feit dat op veel fronten in Nederland gelijktijdig iets gedaan moet worden bij versnelde zeespiegelstijging. Het is onbekend welke schaalvergroting haalbaar is voor Nederland. Bij een snelle zeespiegelstijging wordt de functionele levensduur van maatregelen steeds korter. Het plannen en implementeren van maatregelen kost tijd (lead time) en dit legt beperkingen op het tempo waarmee maatregelen geïmplementeerd kunnen worden, vanuit technisch en maatschappelijk oogpunt. Door een verkorte levensduur en de benodigde lead time komt een nieuwe (ipv aangepaste) kering eerder in beeld.

- **Maatschappelijke haalbaarheid:** Een grootschalige transitie vergt een lange termijn visie die een geleidelijk voorsortering mogelijk maakt. Daarbij is niet alleen waterstaatkundige maar ook sociaal-economische kennis relevant. De snelheid en schaal van implementatie vraagt veel van de institutionele en organisatorische adaptatie-kenmerken. Draagvlak is belangrijk om een transitie te kunnen bewerkstelligen. Een zekere mate van autonomie van transities, soms in ongewenste richting, treedt in de praktijk doorgaans op. De onzekerheid over een mogelijk versnelde zeespiegelstijging maakt de verwerving van maatschappelijk draagvlak lastig. Meekoppeling met andere maatschappelijke transities kan daarbij uitkomst bieden.
- **Adaptiviteit:** Alle oplossingsrichtingen kunnen in fasen geïmplementeerd worden. Na implementatie wordt de aanpasbaarheid aan een toekomstige hogere zeespiegelstijging over het algemeen lastiger. Een lange doorkijk-horizon is daarom van belang bij grote strategische keuzes die gepaard gaan met een transitie. Dit geldt in het bijzonder voor de mate van vervolg-adaptiviteit en pad-afhankelijkheid van maatregelen. Op de korte termijn kiezen voor maatregelen die in meerdere oplossingsrichtingen zitten, draagt bij aan het openhouden van oplossingsrichtingen voor volgende generaties.

4. Timing van keuzes en van triggers vanuit andere ontwikkelingen kunnen bepalend worden voor de meest geschikte oplossingsrichtingen. De timing heeft te maken met waar er als eerst gevolgen van versnelde zeespiegelstijging merkbaar zijn of verwacht kunnen worden. Bijvoorbeeld: achterblijvend functioneren van de stormvloedkeringen (Maeslantkering en Oosterscheldekering) en beperkingen voor spuien bij de Afsluitdijk zijn bij relatief beperkte zeespiegelstijging (<1 m) geïdentificeerd als belangrijke effecten (knikpunten). Zo komt een keuze voor behoud van de huidige kustlijn versus de andere opties (*Zeewaarts* en *Meebewegen*) mogelijk al eerder in beeld dan strikt nodig voor de mate van zeespiegelstijging. Voor de zoetwatervoorziening van middenwest Nederland via Gouda gelden vergelijkbare maar minder ingrijpende afwegingen. Andere ontwikkelingen, zoals een energietransitie of de bouw van een aanzienlijk aantal woningen, kunnen in lijn zijn met een oplossingsrichting of deze juist blokkeren. De wens voor

windmolenparken kan het lastig maken om te kiezen voor kustuitbreiding, vooral als deze windmolenparken lastig te verwijderen en dus in een zekere mate van reversibiliteit hebben. En de aanleg van grote parken met zonnepanelen in de rurale ruimte geeft een andere watervraag dan landbouw.

5. Algemene 'low-regret' korte termijn acties voor het aanpassen aan een mogelijk versnelde zeespiegelstijging zijn:

- **Ruimte reserveren** voor maatregelen zoals waterbergings, zandwinning, dijkversterking en dijkverhoging en de mogelijkheid om elders aangepast te bouwen.
- **Experimenteren** om te leren over de schaalbaarheid en aanpasbaarheid van maatregelen, zoals zandsuppletie, landspiegelstijging en leven met water in stedelijk gebied. En daarnaast ervaring krijgen met sociale en institutionele maatregelen met name voor de oplossingsrichting '*meebewegen*'.
- **Irreversibele en lastig terug te draaien beslissingen** vermijden. Bijvoorbeeld alleen windmolens plaatsen die ook weer weggehaald kunnen worden om de optie om zeewaarts te gaan open te houden.
- **Stress-testen uitvoeren** bij nieuwe ontwikkelingen zodat er alleen nog beslissingen genomen worden die passen bij een of meerdere oplossingsrichtingen. Bijvoorbeeld voor nieuwe gebouwen: alleen nog klimaatbestendig bouwen (opgehoogd, of op palen of overstroombaar) en/of op zo'n manier dat het makkelijk ook weer weg te halen is.
- **Kansen vanuit andere ontwikkelingen benutten.** Voor de korte termijn geven ontwikkelingen zoals energietransitie en huisvesting en mogelijk ook sociale transities wellicht aanleiding tot beslissingen die mogelijk kansen geven dan wel bepalend zijn voor waterbeheer.

6. Mogelijke 'high-regret' activiteiten met het oog op een mogelijk versnelde zeespiegelstijging zijn:

- Plaatsen van niet-verwijderbare windmolens in zee op locaties waar in de toekomst mogelijk eilanden komen in de *Zeewaarts* oplossingsrichting.
- Traditionele bouwprojecten in laaggelegen gebieden nabij waterkeringen, waardoor mogelijkheden voor uitbreiden van keringen of ruimte voor de rivier niet mogelijk is, zoals de huidige grootschalige huizenbouw-projecten in de Randstad en Bouwprojecten in uiterwaarden van de riviertakken.

- Implementatie van grote stormvloedkeringen die niet eenvoudig uitbreidbaar zijn.




7. De volgende cruciale strategische keuzes zijn voor de middellange en lange termijn van toepassing:

- **Kustlijn:** de kustlijn vasthouden of verleggen in zee- waartse of landwaartse richting.
- **Kust:** wel/niet blijven verdedigen met zandsuppleties.
- **Kust:** afsluiten of open houden; het gaat hier om de estuariene bekkens in Zeeland, de riviermondingen bij de Rijnmond, en in sommige plannen zijn ook de Waddeneilanden onderdeel van een nieuwe gesloten kustbescherming.
- **Rivieren:** er zal een landsbrede strategie gekozen moeten worden voor de rivierafvoeren voor de combinatie van pompen, bergen, spuien, afvoerdeling, afvoercapaciteit en hoogwaterbescherming.
- **Verzilting:** West-Nederland laten verzilten of zoet houden door te blijven spoelen met zoet water.

8. Bij de verkenning van adaptatiepaden voor extreme zeespiegelstijging wordt aanbevolen om te denken vanuit een mogelijke toekomstige (eind)situatie (backcasting). Dit genereert inzicht in de kansen en grenzen van adaptatie. De gebruikelijke methode van systematisch voorwaarts (forecasting) verkennen van adaptatiepaden vanuit de huidige situatie is voor zeer grote veranderingen lastig, omdat er veel nodig en mogelijk is. Forecasting geeft wel inzicht in de rek van de huidige strategie en is daarnaast nodig om te weten waar en wanneer deze raakt aan alternatieve strategieën. Aanvullende aanbevelingen voor het nader verkennen van adaptatiepaden voor alternatieve oplossingsrichtingen zijn:

- Prioriteren van maatregelen op basis van urgentie (welke gevolgen en keuzes komen eerst als de zeespiegel stijgt);
- De overlap in maatregelen tussen oplossingsrichtingen zijn typisch low-regret maatregelen voor aan het begin van adaptatiepaden. Daarna volgen maatregelen die bepalend zijn voor een van de oplossingsrichtingen. Zo wordt ook zo lang mogelijk opties open gehouden;
- Gebruik kansen die geboden worden door innovatie en meekoppeling met andere ontwikkelingen zoals woningbouw, energietransitie en klimaatmitigatie.

Tabel 4. Samenvatting van de betekenis van de oplossingsrichtingen voor de indicatoren.

Strategie	Maatregel	Mate van zeespiegelstijging en overig doelbereik	Technische haalbaarheid	Maatschappelijke haalbaarheid	Adaptiviteit
 Beschermen	Engineering - open	Beperkt (1 m) bij aanpassing sluitpeil 1 - 2 m - Meer zoutindringing via rivieren en kustzone	- Ruimte voor dijken - Grotere gemaalcapaciteit nodig voor afvoeren kwel en neerslag	- Huidige strategie bij Rijn-Maas monding en Oosterschelde. - Vaak sluiten geeft hinder voor bevaarbaarheid. - Aanpassen sluitpeil vergt ophogen dijken, en overlast buitendijks	Beperkt
	Engineering - gesloten	Enkele meters - Zoutindringing in kustzone - Effecten op natuur, verlies van getijdengebied	- Ruimte voor dijken - Veel pompen en berging nodig voor afvoer rivieren - Grotere gemaalcapaciteit nodig voor afvoeren kwel en neerslag	Mogelijk getriggered door toenemende overlast buitendijks, stremming haven door veelvuldig sluiten, toenemende mate van zoutindringing	Steeds hogere dijken kunnen transformeren in overstroombare dijken en uiteindelijk een combinatie met Meebewegen
	Sediment	- Stijgsnelheid kan beperkend worden. - Beschikbare hoeveelheid zand Noordzee bepalend voor maximale hoeveelheid stijging	- Opschaal- baarheid suppletie onbekend - Beschikbaarheid zand van goede kwaliteit	- Weinig beperkingen tenzij suppletie- kosten te hoog worden - Mogelijk andere governance nodig bij zeer grote hoeveelheden.	Flexibel en adaptief
	Wetlands/ vooroevers	Beperkt	Niet overal mogelijk	Grote acceptatie, tenzij ten koste van ander ruimtegebruik.	Flexibel en adaptief. Snelheid van meegroeien kan beperking zijn.
 Zeewaarts	Eilanden	Beperkt	- Extreem veel zand nodig op een plek van huidige zandwinning, - Zoutindringing via rivieren	- Vliegveld in zee of behoefte aan ruimte voor socio-econom. ontwikkeling kunnen trigger zijn. - Effecten op ecologie - Windmolenparken kunnen beperkend zijn - Hoge kosten	- Kan in stappen gebouwd worden, maar dan beperkt effectief - Beperkt adaptief, megainvestering voor nieuw land en zeekering bij voorkeur wellicht 1 keer doen. Als eenmaal gerealiseerd moeilijk aan te passen.
	Eilanden - gesloten	Enkele meters - Kans voor extra zoetwaterberging in randmeer. - Zoutindringing in kustzone - Kans voor beperking zoutindringing rivieren	- Extreem veel zand nodig op een plek van huidige zandwinning. - Keringen nodig tussen eilanden. - Veel pompen en berging nodig rivieren		
	Landuitbreiding	Enkele meters	Veel zand nodig		Kan in stappen gedaan worden, en is flexibel om te worden uitgebreid.
 Meebewegen	Palen of terpen	Beperkt		- Lokaal, bij nieuwe bebouwing mogelijk - Alleen bij tijdelijke overstroming	Beperkt
	Drijvend of megaterpen	- Beperkt en lokaal met natuurlijke landspiegelstijging - Kunstmatige ophoging enkele meters - Veel bij drijvend	Ruimte nodig om tijdelijk heen te gaan terwijl gebieden worden opgehoogd.	Ruimtegebruik gaat ten koste van andere functies	- Beperkt, zodra er gebouwen etc op staan kun je niet eenvoudig verder ophogen - Rotatie om grote gebieden op te hogen
	Migreren	Veel	- Beschikbare ruimte in NL of over de grens - Verplaatsbaarheid vastgoed	- Grote uitdaging, vooral als water- bewustzijn laag is. - Kan bespoedigd worden door een overstroming, gebrek aan vertrouwen in de overheid, verandering investeringsklimaat. - Migratie kost veel tijd, kan autonoom gebeuren	- Transitie vraagt veel tijd - Kan gefaseerd worden uitgevoerd.

6.2 | Kennisvragen fase 2 (en verder)

Onderstaand zijn de in onze ogen belangrijkste kennisvragen opgesomd in volgorde van relevantie.

1. Wat zijn de grenzen en kansen van de huidige strategie en de oplossingsrichtingen?

En welke processen en resources moeten hiervoor nader in kaart gebracht worden? Hierbij dient prioriteit gegeven te worden aan vraagstukken waar de eerste problemen voorzien worden en waarbij de eerste keuzes gemaakt dienen te worden. Verder is aandacht nodig voor de link met de oplossingsrichtingen: welke beslissingen en investeringen zijn nodig om belangrijke opties open te houden en onder welke omstandigheden kan beter worden overgestapt. Hierbij komen onder andere grenzen en kansen in beeld van:

- de hoeveelheid beschikbaar zand voor zandsuppletie en daarmee de houdbaarheid van deze strategie op de lange termijn;
- de mate van zeespiegelstijging waarbij de keringen niet meer aan de norm voldoen en de mogelijke aanpassingen die de levensduur kunnen vervangen;
- mogelijkheden om natuurlijke landspiegelstijging in combinatie met vegetatie en suppleren te versnellen, en daarbij slibrijke baggerspecie te behouden op het land;
- veranderingen in morfologische processen, getij, golven en windopzet bij hogere zeespiegelstijging;
- kwel en opbarsting bij hogere zeespiegelstijging;
- de grenzen van de financiering van de oplossingsrichtingen en de houdbaarheid van de normen;
- het mogelijk verdrinken van de bodem van de Waddenzee en de gevolgen daarvan voor de ecologie;
- de gevolgen van het eventueel afsluiten van de Westerschelde, Oosterschelde, en de Waddenzee;
- mogelijkheden van en uitdagingen bij (substantiële) wijziging van de afvoerdeling;
- optimale combinaties van pompen, spuien, bergen, afvoerdeling en beschermingsniveau in het rivierengebied

- kennisvragen voor Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP): ruimtegebruik dijken, hoeveel ruimte is nodig voor pipingbermen en onder welke condities is het dan (kosten)efficiënter om over te stappen op constructieve maatregelen? Waar is deze ruimte te vinden en waar is een gebrek aan ruimte voorzien (bijvoorbeeld in stedelijk gebied)?
- kennisvragen voor Programmatische Aanpak Grote Wateren (PAGW): wat zijn de gevolgen op de ecologie van het eventueel afsluiten van de Oosterschelde, de Maeslantkering en de Waddenzee (sluiten van zeegaten). Wat zijn de ecologische gevolgen van een de oplossingsrichting Zeewaarts? Waar liggen eventueel kansen bij dergelijke grote transitie?

De belangrijkste specifieke vragen per oplossingsrichting zijn:

- *Beschermen-Gesloten:* Hoe kunnen (piek-)afvoeren op de Rijn en Maas in het overgangsgebied geaccordeerd worden door (combinaties van) pompen, bergen, spuien, afvoerdeling en rivierdijken? Welke ruimte is hiervoor nodig?
- *Beschermen-Gesloten:* Wat zijn de mogelijkheden en consequenties van het afsluiten van de Westerschelde en Waddenzee?
- *Zeewaarts:* Wat is de technische haalbaarheid van eilanden voor de kust, als onderdeel van een nieuwe zeewaartse kustlijn en welke bijdrage kunnen deze leveren aan de leefbaarheid van Nederland? Welke mogelijkheden zijn er voor meekoppelen met andere ontwikkelingen?
- *Meebewegen:* Hoe kan aangepast landgebruik bij een extreme zeespiegelstijging laag Nederland leefbaar en bewoonbaar houden (bijvoorbeeld middels drijvend wonen, ophogen van land, gebouwen op palen, verplaatsbare gebouwen, aangepaste teelten)?
- *Meebewegen:* Is er voldoende ruimte en zoetwater beschikbaar in een variant van migratie?

Deze vragen kunnen in het kennisprogramma zeespiegelstijging verder worden uitgezocht (spoor 2 en spoor 4).

2. Welke adaptatiepaden zijn er en hoe gaan we kiezen?

Welke regionale invulling van adaptatiepaden zijn mogelijk voor de verschillende oplossingsrichtingen en wat betekent dit voor korte termijn?

- Nader uitwerken adaptatiepaden voor de verschillende regio's en cruciale beslissingen en prioriteiten identificeren, bijvoorbeeld met een risico-matrix aangevuld met tijd.
- Wat betekenen deze keuzes voor landelijke netwerken (bv spoor, wegennet, energievoorziening, telecom, etc).

Wat zijn de beste vervangingsopties voor de Oosterscheldekering en de Maeslantkering?

- Bij meer dan 1m zeespiegelstijging functioneren deze keringen naar verwachting niet meer (afhankelijk van wat welke gevolgen we accepteren). Wat zijn dan de beste vervangingsopties?

Wat is de waarde van monitoren: wat moeten we meten en wanneer kunnen we bepaalde informatie verwachten en hoe verhoudt zich dit tot grote beslissingen?

- bijv. aangepaste projecties, massa-verlies antarctica, wereldwijde zeespiegelstijging, zeespiegelstijging aan de Nederlandse kust.

(Hoe) kan informatie over kosten en impact op economie meegenomen worden in lange termijn transformatieve beslissingen onder onzekerheid?

- De traditionele methode MCA BCA is hiervoor onvoldoende geschikt (Dittrich et al. Lempert, Haasnoot et al. 2019 Weitzman 2009), welke alternatieven zijn beschikbaar?

3. Welke transitie en meekoppelkansen zijn relevant?

(Hoe) is meekoppeling met de andere ontwikkelingen, zoals bevolkingsgroei, energietransitie, woningbouw, sociale transitie en landbouw, technologische ontwikkelingen mogelijk, en waar zijn juist tegenstrijdige belangen?

- Het verkennen van oplossingsrichtingen onder verschillende WLO-scenario's (Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving) en socio-economische ontwikkelingen uit de Deltascenario's om te bepalen wat de invloed van sociaal-economische ontwikkelingen kunnen zijn op knikpunten en haalbaarheid van oplossingsrichtingen.

Welke beslissingen en ontwikkelingen moet internationaal worden opgemaakt en kunnen we ook van andere landen leren?

- Welke internationale ontwikkelingen kunnen de implementatie van oplossingsrichtingen belemmeren of juist versnellen?
- Welke grensoverschrijdende samenwerking is nodig om strategieën te realiseren?
- Zijn er wereldwijd meer voorbeelden en analogieën van maatregelen en aanpassen aan een snelle zeespiegelstijging. Wat leren we daarvan voor Nederland?

Hoe kan een transitie gestimuleerd worden?

- Hoe ontstaan (gewenste en ongewenste) autonome transitie?
- Wat is de rol van de overheid, private organisaties en inwoners?
- Zien we voorbeelden elders in de wereld voor gebieden waar om verschillende redenen de dreiging boven het hoofd hing om op termijn (fors) in te boeten op leefbaarheid?
- Kunnen we knikpunten identificeren?
- Welke innovaties zijn nodig?

Waar liggen kansen voor innovatie? Denk hierbij aan:

- schaalvergroting van suppleties en pompen,
- adaptief ontwerp en bouwen
- zilte teelten
- waterbestendig bouwen, en (tijdelijk, verplaatsbaar of aanpasbaar) ruimtegebruik.

7. Referenties

- Aerts, J.C.J.H. (2018) A Review of Cost Estimates for Flood Adaptation. *Water*, 10 (11), 1646
- Aerts, J.C.J.H., Bannink, B., Sprong, T, 2008. Aandacht voor veiligheid. Nederland en extreme zeespiegelstijging van +5m. <http://www.deltacommissie.com/doc/Aandacht%20voor%20veiligheid%20.pdf>
- AWTI (Adviesraad voor Wetenschap, Technologie en Innovatie), 2019. Werkprogramma 2019. Den Haag.
- Diermanse et al, 2018. Verkenning naar de effecten van extreme zeespiegelstijging in de regio Rijnmond-Drechtsteden. Deltares in samenwerking met de gemeente Rotterdam en het Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden.
- Drift, 2016. Staat van Transitie: patronen van opbouw en afbraak in vijf domeinen. Rapport voor Ministerie IenM.
- Grin, J., Rotmans, J., Schot, J., 2010. Transitions to sustainable development : new directions in the study of long term transformative change. Routledge.
- GVA, 2013 <https://www.gva.be/cnt/aid1495685/mogelijk-eilanden-in-noordzee-tegen-superstormen>
- Haasnoot et al, 2017. Als de zeespiegel sneller stijgt; resultaten van een Policy Hackathon naar knikpunten en mijlpalen bij adaptatie aan extreme zeespiegelstijging in Nederland. Deltares memo, 2017. <https://www.deltares.nl/publication/als-de-zeespiegel-sneller-stijgt/>
- Haasnoot et al, 2018. Een verkenning van mogelijke gevolgen van versnelde zeespiegelstijging voor het Deltaprogramma. Rapport Deltares in opdracht van de staf Deltacommissaris en Rijkswaterstaat WVL, juli 2018. <https://www.deltacommissaris.nl/documenten/publicaties/2018/09/18/dp2019-b-rapport-deltares>
- HKV (2016) Nut & noodzaak extra gemaalcapaciteit na overstrooming
- Immerzeel, W. en Droogers, P., 2008. Klimaatverandering en lokale wateroverlast ten gevolge van extreme neerslag in Nederland. Studie in het kader van het project Aandacht voor Veiligheid. FutureWater Report No. 73
- IPCC, 1990. Strategies for Adaptation to Sea Level Rise. Report of the Coastal Zone Management. Subgroup, IPCC Response Strategies Working Group. <https://www.ipcc.ch/publication/strategies-for-adaptation-to-sea-level-rise/>
- IPCC. 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Cambridge: Cambridge University Press.
- Jonkman, S.N.; Hillen, M.M.; Nicholls, R.J.; Kanning, W.; van Ledden, M., 2013. Costs of adapting coastal defences to sea-level rise—New estimates and their implications. *J. Coast. Res.* 2013, 29, 1212–1226
- Kirwan, M. L., Temmerman, S., Skeehan, E. E., Guntenspergen, G. R. & Fagherazzi, S., 2016. Overestimation of marsh vulnerability to sea level rise. *Nat. Clim. Change* 6, 253–260.
- Kleinmans, M.G., Weerts, H.J.T. and Cohen, K.M., 2010. Avulsion in action: Reconstruction and modelling sedimentation pace and upstream flood water levels following a Medieval tidal-river diversion catastrophe (Biesbosch, The Netherlands, 1421–1750 AD), *Geomorphology*, 118, pp. 65–79
- Kok, M, B. Jonkman, W. Kanning, T. Rijcken, J. Stijnen, 2008. Toekomst voor het Nederlandse polderconcept. Technische en financiële houdbaarheid. PR1468. 10 TU Delft, Royal Haskoning, HKV
- Kwadijk, J.C.J., Van Vuren, S., Verhoeven, G., Oude Essink, G.H.P., Snelvangers, J. J.J. C., Calle, E., 2007. Gevolgen van grote zeespiegelstijging op de Nederlandse zoetwaterhuishouding; Verwachtingen, schattingen en berekeningen voor het MNP-project “Nederland later”
- Le Bars, D, Drijfhout, S, de Vries, H, 2017. A high-end sea level rise probabilistic projection including rapid Antarctic ice sheet mass loss. *Environmental Research Letters*, 12, 044013.
- Lindblom, C., 1959. The Science of ‘Muddling Through’. *Public Administration Review*. 19(2):79-88.
- Loorbach, D., 2014. To Transition! Governance Panarchy in the new Transformation. Oratie Erasmus universiteit Rotterdam.
- Olsthoorn, X. et al. 2008. Neo-Atlantis: The Netherlands under a 5-m sea level rise. *Climatic Change*. 91, 103-122, 10.1007/s10584-008-9423-z
- ROB (Raad Openbaar Bestuur) 2019. Zoeken naar waarheid. Over waarheidsvinding in de democratie in het digitale tijdperk. https://www.raadopenbaarbestuur.nl/binaries/raad-openbaar-bestuur/documenten/publicaties/2019/05/09/zoeken-naar-waarheid/Zoeken_naar_waarheid_Adviesrapport-201905.pdf
- Romp, J., 2016. De toekomst van Nederland als polderland RWS (2019) Zorgplicht primaire waterkeringen.
- RWS, 2012. De Haakse Zeedijk verkend, Rijkswaterstaat, januari 2012. Auteurs: T De Haan en B. Vonk.
- RWS-WVL, 2015. Motie Geurts, Deltaprogramma: Onderzoek naar de effecten van sluizen in de Nieuwe Maas en Oude Maas op de waterveiligheid en zoetwatervoorziening. “Nader onderzoek variant afsluiting Nieuwe Waterweg”. Harold van Waveren, Arthur Kors, Astrid Labrujere, Defne Osmanoglu. Rijkswaterstaat WVL, 2015.
- Straatsma M. W. et al., 2019. Low-Hanging fruits in large-scale fluvial landscaling measures: Trade-offs between flood hazards, costs, stakeholders and biodiversity. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/nhess-2018-253>
- Termeer, C.J.A.M., Dewulf, A. & Biesbroek, G.R., 2017. Transformational change: governance interventions for climate change adaptation from a continuous change perspective. *Journal of Environmental Planning and Management*, 60(4): 558-576.
- Termeer, C.J.A.M. and Dewulf, A., 2018. A small wins framework to overcome the evaluation paradox of governing wicked problems. *Policy and Society*. 10.1080/14494035.2018.1497933
- Termeer, C.J.A.M. en Dewulf, A., 2017. Mogelijkheden van de ‘small wins’ aanpak voor de transitieopgaven van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. <https://www.wur.nl/en/newsarticle/Rapport-small-wins-aanpak-voor-de-transitie-opgaven.htm>
- VenW, 1986. Zeespiegelrijzing – Worstelen met wassend water. Interne studie Dienst Getijdewateren
- Vermaak, H., 2013. Planning Deep Change Through a Series of Small Wins. Paper presented at the Academy of Management Annual Conference. Orlando, FL, August 9-13.
- Weick, K.E., 1984. Small Wins: Redefining the Scale of Social Problems. *American Psychologist*. 39(1): 40–49.
- Weick, K.E., Quinn, R., 1999. Organizational Change and Development. *Annual Review of Psychology*. 50: 361-386.
- WL|Delft Hydraulics, 2007. overstromingsrisico's in Nederland in een veranderend klimaat, WL | Delft Hydraulics in opdracht van het Milieu en Natuurplanbureau (MNP), juni 2007.











Bijlagen










Bijlage A - Kernteamleden









- Prof. Bas Jonkman (TU Delft): dijken, stormvloedkeringen, kosten en normen
- Prof. Stefan Aarninkhof (TU Delft): kustmorfologie, kustbescherming
- Prof. Hans Middelkoop (Universiteit Utrecht): landspiegelstijging, sedimentatie
- Prof. Maarten Kleinhans (Universiteit Utrecht): landspiegelstijging, sedimentatie
- Associate Prof. Marjolijn Haasnoot (Universiteit Utrecht/Deltares): adaptatiepaden en adaptiviteit
- Prof. Jaap Kwadijk (Universiteit Twente/Deltares): drainage rivieren en polders
- Prof. Katrien Termeer (Wageningen Universiteit): governance, transities
- Prof. Bram Bregman (Wageningen Universiteit): landbouw, natuur
- Prof. Jeroen Aerts (IVM-VU/Deltares): kosten van oplossingsrichtingen, investeringsklimaat

Bijlage B - Analogieën

Dit rapport beschrijft diverse maatregelen die in de toekomst genomen kunnen worden om Nederland aan te passen aan de stijgende zeespiegel. De maatregelen zijn vaak grootschalig van aard en gaan soms het bevattingvermogen te boven. Deze bijlage beschrijft voorbeelden van maatregelen elders in de wereld die als analogieën kunnen dienen voor maatregelen die mogelijk in de toekomst in Nederland genomen worden. Dit leert ons of bepaalde maatregelen elders in de wereld al eens geïmplementeerd zijn, of juist dat we voor Nederland iets nodig hebben dat veel omvangrijker is.

Strategie	Maatregel	Voorbeeld	Dimensies	Maatschappelijk	Snelheid/ tijd voor implementatie	Voorbeeld foto
 Beschermen	Hoge dijken en dammen	Yangtze (Three Gorges Dam) https://en.wikipedia.org/wiki/Three_Gorges_Dam	Betonnen dam. Hoogte 181m, Lengte 2.335m, breedte kruin 40m, breedte basis 115m, Capaciteit 39,3km ³ , kosten US\$32 miljard	Grote impact op mensen, milieu en erfgoed.	Voor het eerst voorgesteld in 1919. Akkoord in 1992 (initiatief sinds de jaren 80). Constructie 1994-2003	
		Afsluitdijk https://en.wikipedia.org/wiki/Afsluitdijk	Lengte 32 km, Hoogte 7,25m boven zeeniveau. Breedte kruin 90m	Impact op visserij, milieu en hoge kosten	Voorgesteld in 1913, toestemming rond 1918, Constructie in 1927-1932	
		Super dijk Tokyo https://www.smartcitiesdive.com/ex/sustainablecitiescollective/levee-town-super/9331/	10m kruin en zeer flauw talud (1:30 helling). Minder faalgevoelig en minder onderhoud	Multi-functioneel. Geeft goede bescherming, maar vraagt veel ruimte en materiaal .	Voorgesteld in 1987, constructie begon in 2010, nog niet afgerond.	
		Saemangeum afsluitdijk Korea https://en.wikipedia.org/wiki/Saemangeum_Seawall	Lengte 33km, breedte 290m, hoogte 36m	Grote negatieve impact op het bestaande intergetijdgebied	Aangekondigd in 1991. Afgerond in 2010.	
	Stormvloed keringen	Oosterscheldekering https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/bescherming-tegen-het-water/waterkeringen/deltawerken/oosterscheldekering	lengte: 9 km. 65 pijlers, schuiven van 42 m lengte en 6-12m hoogte	Impact op getijdengebied beperkt door bijsturing (keuze voor open houden). Grote kostenoverschrijding	Constructie 1960-1986	
		New Orleans Inner Harbor Navigation Canal Lake Borgne Surge Barrier https://en.wikipedia.org/wiki/IHNC_Lake_Borgne_Surge_Barrier	Lengte 2,9km stormvloedkering met drie beweegbare sluisen	In gang gezet door gevolgen orkaan Katrina	Toestemming 2006, constructie in de periode 2008-2013	
		St Petersburg stormvloedkering https://en.wikipedia.org/wiki/Saint_Petersburg_Dam	Kering met beweegbare schuiven. Lengte 5,4 km, Hoogte 8m boven zeeniveau, kosten: \$3,85 miljard	Veel weerstand, bezorgdheid over water kwaliteit en historische plekken	Constructie 1979-2011 (uitstel in de periode 1995-2005)	
		Venetië MOSE https://en.wikipedia.org/wiki/MOSE_Project	Met beweegbare schuiven. Totale lengte schuiven: 1,6km, overige lengte 18km. Schuiven ontworpen om 3m. opzet en 60cm zeespiegelstijging te weerstaan	Zorgen over behoud van gebiedskarakter en ecologie. Kosten voor operatie en onderhoud hoger dan begroot.	1966-1998: draagvlak kweken (na hoogwater 1966). 1988-1992 pilots, toestemming voor constructie in 2002, constructie 2003-2022	
		Staten Island https://ny.curbed.com/2019/4/25/18515213/staten-island-usace-seawall-climate-change-photo-essay	7,2km stormvloedkering. Kosten voor constructie 600 miljoen dollar.	Versneld door orkaan Sandy.	Gestart in 2012 Planning voor constructie: 2020-2024	

Strategie	Maatregel	Voorbeeld	Dimensies		Maatschappelijk	Snelheid/ tijd voor implementatie	Voorbeeld foto
	Pompen	IJmuiden	260 m³/s			Eerste versie pompen in 1974 (160m³/s) extra capaciteit in 2002-2004 (totaal 250 m³/s)	 http://www.fairbanksnijhuis.nl/en/company/references/references-details/article/pump-station-ijmuiden-niederlande.html
		Afsluitdijk	411 m³/s				
		Mubarak Pomp Station (Nijl) https://www.engineeringdaily.net/spotlight-project-mubarak-pumping-station-in-egypt/	300 m³/s; 60m hoogte		Mede vanwege het afzetten van president Mubarak in 2011 is gebruik van het pom station tot nader order uitgesteld	Constructie 1998-2003	
		Noord-zuid Water Transfer Project (Yangtse, China) https://en.wikipedia.org/wiki/South%E2%80%93North_Water_Transfer_Project	400 m³/s Kosten US\$ 79 miljard		Verhuizen van communities, vervuiling visserij, grote impact op de ecologie.	Constructie 2002-2014	
	Zandsuppletie	Northern Gold Coast Beach Protection Strategy, Australia https://en.wikipedia.org/wiki/Beach_nourishment	Baggeren van 3,5 miljoen m³, zand Kosten US\$ 7 miljoen		Verbeterde golfcondities, strand gestabiliseerd	Zandverlies door orkaan in 1967, studie in 1968-1971. Strategie in 1992-1999. Baggeren in 1999-2005 en nogmaals in 2017.	 http://www.goldcoast.qld.gov.au/gold-coast-beach-nourishment-38539.html
		Cancun, Mexico https://en.wikipedia.org/wiki/Beach_nourishment	4,9Mm³ zandsuppletie voor 450m kustlijn. kosten US\$ 71 Miljoen		Investering met name om het tourisme op peil te houden.	Zandverlies in 2005 als gevolg van een orkaan. Eerste poging tot zandsuppletie mislukt, Meer succesvolle poging in 2009-2010. Echter, de situatie lijkt nog niet stabiel.	 https://www.ecomagazine.com/news/science/seagrass-a-resilient-and-sustainable-option-in-coastal-defense
		Hillsboro Beach, Florida, USA https://en.wikipedia.org/wiki/Beach_nourishment	90 Pressure Equalizing Modules (PEMS) waarmee grondwaterdruk en daarmee erosie afneemt. Sindsdien een netto toename van het strandvolume (29.500m³ toename vs. 16.000m³ erosie)		Voordeel: geen nadelige effecten op flora en fauna.	Geïnstalleerd in 2008, verwijderd in 2011. Strand in 2014 op zelfde niveau als in 2014.	 https://ecoshore.com/hillsboro-beach-fl-usa/
Zeewaarts	Landuitbreiding / eilanden	China	Tussen 1949 en jaren '90 in totaal ~13.000 km² land aangewonnen. Tussen 2003-2006, 133.3 km² landaanwinning bij Shanghai (kosten US\$5,8 miljard). to reclaim 133.3 km².		Aangewonnen land is gevoelig voor liquefactie en zakking. Territoriale conflicten in de zuid-Chinese zee.	Er is duidelijk een versnelling gaande in het proces van landaanwinning	
		Flevoland Polder https://en.wikipedia.org/wiki/Flevoland	2.400km²		Na Afsluitdijk landaanwinning mogelijk	Landaanwinning vond plaats in 1942-1968	
		Tekong Island Singapore - https://www.deltares.nl/en/projects/singapore-to-adopt-dutch-polder-concept-as-new-land-reclamation-method-at-pulau-tekong/ - https://en.wikipedia.org/wiki/Pulau_Tekong	Dijk, zand, polder 8 km²		20 jaar durende tribunaal met Malaysia	Studies gestart in 2008, Project naar verwachting afgerond in 2022	

Strategie	Maatregel	Voorbeeld	Dimensies		Maatschappelijk	Snelheid/ tijd voor implementatie	Voorbeeld foto
	Eilanden	Palm Jumeirah, UAE https://en.wikipedia.org/wiki/Palm_Jumeirah	Zandige (schier)eilanden. Omvang ongeveer 5km bij 5km Kosten: US\$ 14 miljard		The buitenranden van de eilanden functioneren als een golfbreker. Mede daardoor is een nieuwe habitat ontstaan	Besluit genomen in 2001, Constructie in 2001-2006	
Meebewegen	Terpen	Nederland https://nl.wikipedia.org/wiki/Terp	Ongeveer 1200 in totaal		cultuurhistorische waarde	eeuwenlange praktijk	
	Huizen op palen	New Orleans https://www.crt.state.la.us/Assets/OCD/hp/uniquely-louisiana-education/Disaster-Recovery/The%20History%20of%20Building%20Elevation%20in%20New%20Orleans%2012-21-12.pdf	Huizen 1-4m opgehoogd		Versneld dankzij nieuwe reglementen na Katrina	Over het algemeen initiatieven van individuen	
		Mekong Delta	Huizen op (doorgaans houten) palen		Traditionele methode in dit gebied	Over het algemeen initiatieven van individuen	
		Guayaquil, Ecuador	Gebouwen op dijkes en individuele heuvels		Kosten doorgaans gedekt door individuen	Over het algemeen initiatieven van individuen	 <i>Sadie McEvoy</i>
	Ruimte voor rivier	Nederland	34 projecten om de rivieren in NL meer ruimte te geven. Hoogwaterbescherming met toegevoegde waarde voor natuur en recreatie Budget US\$2,4 miljoen			Vooraf naar aanleiding van hoogwaters in 1993 en 1995. Uitvoering in 2006-2018	 https://www.rijkswaterstaat.nl/english/about-us/gems-of-rijkswaterstaat/room-for-the-river/index.aspx
	Managed retreat	Indonesië	Verplaatsen hoofdstad naar Borneo		Aangekondigd in 2019. reden is de drukte en bodemdaling en overstroming	Eerste voorstel in 2010, aankondiging in 2019, planning ongeveer 10 jaar	
		Kiribati https://www.theguardian.com/environment/2014/jul/01/kiribati-climate-change-fiji-vanua-levu	Aankoop door Fiji van 20 km² land op 2000 km afstand met het oog zeespiegelstijging/ zoutindringing. Kosten: US\$8.8 miljoen		Het eerste land dat een nederzetting koopt in een ander land.	Besluit door overheid genomen	
		Staten Island https://ny.curbed.com/2019/4/25/18515213/staten-island-usace-seawall-climate-change-photo-essay	Huizen verwijderd uit de meest kwetsbare zones.		Gestart in 2012		