



# Kansrijkheid van nature-based solutions

Een beschouwing per regio van het Deltaprogramma



Opdrachtgever: Staf Deltacommissaris





Opdrachtgever: Staf Deltacommissaris



# Kansrijkheid van nature-based solutions

---



Een beschouwing per regio van het Deltaprogramma

Eindrapport

**Auteur**

Vincent Vuik

PR5421.20

februari 2026

# Samenvatting

In het verleden hebben aanpassingen aan het watersysteem voor waterveiligheid regelmatig negatieve consequenties gehad voor waterkwaliteit en ecologie. In een nature-based oplossingsrichting wordt gestreefd naar zoveel mogelijk synergie tussen waterveiligheid, zoetwaterbeschikbaarheid en ecologisch functioneren. In dit rapport is gereflecteerd op de potentie van nature-based solutions per regio van het Deltaprogramma.

## Zuidwestelijke Delta

Door dammen en keringen groeit de Zuidwestelijke Delta niet of beperkt mee met de zeespiegel en erodeert veel intergetijdengebied. Terwijl de zeespiegel stijgt, daalt het binnendijkse maaiveld. De potentiële gevolgen van overstromingen nemen daardoor toe. Verder kennen de verschillende wateren elk hun eigen specifieke problematiek:

- De Westerschelde is ingesnoerd door dijken en afgesneden zijtakken en gefixeerd door onderhoud aan de vaargeul. Door een historie van opeenvolgende inpolderingen en afdammingen is de ruimte voor natuurlijke estuariene dynamiek beperkt. Opslibbende meegroeilandschappen zijn een mogelijkheid om het estuarium meer ruimte te geven en tegelijk te zorgen voor een lager slachtofferrisico bij dijkdoorbraken. Slibconcentraties in de Westerschelde zijn relatief hoog, waardoor meegroeilandschappen naar verwachting kunnen meegroeien met de zeespiegelstijging.
- In de Oosterschelde, het Veerse Meer, de Grevelingen en het Krammer-Volkerak is de getijdynamiek gereduceerd of zelfs weggevallen door de historische waterveiligheidsstrategie met stormvloedkeringen en dammen. Het verwijderen van deze keringen en dammen kan de dynamiek, connectiviteit en waterkwaliteit een aanzienlijke positieve impuls geven en de erosie van intergetijdengebied verminderen of zelfs laten omkeren.
- Als bij einde levensduur van de Oosterscheldekering wordt gekozen voor een zeearm zonder stormvloedkering, moeten de dijken langs de gehele Oosterschelde met ongeveer 3 meter omhoog. Dit is niet per definitie duurder dan het vervangen van de huidige stormvloedkering als deze technisch of functioneel einde levensduur is. Dit geldt in het bijzonder indien deze vervangen wordt door voor een innovatieve maar kostbare natuurvriendelijke stormvloedkering die onder dagelijkse omstandigheden de beweging van water en sediment zo min mogelijk belemmert.
- Bij een open Grevelingen en Krammer-Volkerak vervalt het Volkerak-Zoommeer als strategische zoetwaterbuffer. Zeeland is momenteel al grotendeels aangewezen op eigen zoetwaterbuffering, water uit de duinen en aanvoer van drinkwater vanuit de Biesbosch. Zonder zoet Volkerak-Zoommeer zijn de opties: nog beter met het beschikbare regenwater omgaan, hogere chloridegehalten accepteren, of zoetwater aanvoeren via lange leidingen uit bijvoorbeeld de Maas of Waal, zoals dit momenteel ook al gebeurt met de landbouwleiding naar Zuid-Beveland of drinkwaterleiding van Evides.

## Rijnmond-Drechtsteden

In Rijnmond-Drechtsteden is weinig ruimte, waardoor dijkversterkingen moeilijk zijn en natuur schaars is. Lage rivierafvoeren en zeespiegelstijging bedreigen de zoetwatervoorziening. Met een slimme mengvorm van techniek en natuur kan winst behaald worden voor waterveiligheid, zoetwater en ecologie:

- Vanuit waterveiligheid en zoetwaterbeschikbaarheid is een zogenaamde 'Deltapolder' een mogelijk kansrijke denkrichting voor de regio Rijnmond-Drechtsteden. De Deltapolder is een afgesloten ring van dijken en dammen rond deze regio, waardoor minder omvangrijke

dijkversterkingen nodig zijn in dit complexe, dichtbebouwde gebied. Voor scheepvaart is het nodig schutsluizen aan te brengen in de nieuwe dammen. Vanuit het perspectief van zoetwaterbeschikbaarheid dienen dit dan geen zeesluizen maar binnenvaartsluizen te zijn. Door de sluizen niet in de Nieuwe Waterweg maar in de Oude en Nieuwe Maas aan te leggen, blijven de Maasvlakte en Botlek bereikbaar voor zeevaart. De afvoer van de Lek zorgt voor de nodige doorspoeling en verversing in de Deltapolder. Er dient voldoende spui- en maalcapaciteit te worden aangebracht om hoge afvoeren van de Lek te kunnen afvoeren naar de Noordzee (Oude Maas, Nieuwe Maas) en het Haringvliet (Dordtse Kil, Spui). De afvoer van de Maas en Waal stroomt af via het Haringvliet en vormt hier tegendruk tegen het zoute water.

- Hoewel een Deltapolder op zichzelf geen nature-based oplossing is, faciliteert deze een open Haringvliet, waardoor het een mogelijk kansrijk compromis is tussen waterveiligheid, zoetwaterbeschikbaarheid en natuur. Een implicatie van een Deltapolder is dat zeevaart beperkt wordt tot de havens nabij zee (Maasvlakte, Botlek) en dat meer landinwaarts gelegen havens (Dordrecht, Moerdijk) omgevormd worden naar havens voor (grote) binnenvaart.
- Momenteel kent de noordrand van deze regio veel dynamiek: getijdendynamiek in de open-afsluitbare Nieuwe Waterweg en rivierdynamiek vanuit de bovenstrooms instromende riviertakken. Rond de noordrand is er echter weinig areaal intergetijdengebied. Voor de zuidrand (Haringvliet en Hollandsch Diep) is dit precies andersom: er is veel areaal buitendijkse natuur, maar door de aanwezigheid van de Haringvlietssluisen is de getijdynamiek zeer beperkt. Het verwijderen van de Haringvlietdam en Haringvlietssluisen is voor deze regio vanuit ecologisch perspectief de meest waardevolle impuls.
- Als het Haringvliet wordt getransformeerd naar een natuurlijk, open estuarium, moeten de dijken rond het Haringvliet ongeveer 2,5 meter opgehoogd worden. De overgang tussen zoet en zout komt naar verwachting ongeveer ter hoogte van de Dordtse Kil te liggen, zoals ook in het verleden het geval was. De Biesbosch blijft zoetwatergetijdennatuur, en inname van drinkwater bij de Biesbosch (Bergsche Maas) blijft mogelijk onder normale omstandigheden. Met een open Haringvliet is het Volkerak-Zoommeer niet meer houdbaar als strategische zoetwaterbuffer en gelden daarvoor de onder Zuidwestelijke Delta benoemde overwegingen.

### **IJsselmeergebied**

Het IJsselmeergebied is door de aanleg van de Afsluitdijk een zoet binnenwater geworden met een min of meer stagnant meerpeil en veel abrupte overgangen tussen water en land. Vanuit zoetwaterbeschikbaarheid en waterveiligheid ligt het niet voor de hand het IJsselmeergebied te transformeren naar haar oorspronkelijke karakter als binnenzee. In de voormalige Zuiderzee was weinig intergetijdengebied aanwezig. Daarom zou verwijderen of openen van de Afsluitdijk vooral open water opleveren en nauwelijks intergetijdengebied. Op kleinere schaal zijn met nature-based solutions echter verschillende verbeteringen mogelijk:

- De voornaamste concrete verbetermogelijkheid voor het natuurlijk systeem is het introduceren van seizoensgebonden peilschommelingen op het IJsselmeer en Markermeer, met lagere waterstanden en droogvalranden in de zomer en hogere waterstanden in de winter. Extra spui- en pompcapaciteit bij de Afsluitdijk en Houtribdijk kunnen sterkere peilvariaties mogelijk maken zonder concessies te doen aan waterveiligheid.
- Zandige voorlanden of vooroeverdammen met ondiepe zones voor de dijk kunnen de golfaanval op de keringen reduceren en tegelijk voorzien in ecologisch waardevolle zones langs de dijk. Voorlanden en vooroeverdammen zijn in het merengebied erg effectief vanwege de relatief hoge golven bij relatief lage waterstanden.

### **Waddengebied**

De Waddenzee kent ondanks de menselijke invloeden nog steeds veel natuurlijke dynamiek, connectiviteit en areaal intergetijdengebied. In een nature-based oplossingsrichting zijn meerdere

bouwstenen mogelijk, waarvan onderstaande bouwstenen mogelijk kansrijk zijn in het Waddengebied:

- Buitendijkse kwelderwerken of binnendijkse opslibbende meegroeilandschappen kunnen een impuls geven aan het areaal (begroeid) intergetijdengebied in de Waddenzee en tegelijk zorgen voor minder golfaanval op dijkbekledingen en een lager slachtofferisico bij dijkdoorbraken. Het is van belang locaties te kiezen waarbij de combinatie van initiële bodemhoogte en opslibsnelheid zodanig is, dat duurzaam intergetijdengebied kan ontstaan. Ook is bij grootschalige ingrepen de invloed op de komberging en sedimentimport van de gehele Waddenzee een aandachtspunt.
- Grote delen van de Oostelijke Waddenzee hebben bij de zeespiegelstijging (mate en snelheid) in de KNMI'23-scenario's voldoende meegroeivermogen en komen alleen in zeer extreme scenario's onder druk te staan. Het meegroeivermogen heeft invloed op de golfbelastingen op de waterkeringen.
- De Westelijke Waddenzee kan de zeespiegelstijging grotendeels volgen in het lage KNMI'23-scenario, maar gaat in het hoge scenario naar verwachting geleidelijk verdrinken, tenzij de keuze wordt gemaakt om de gebieden in stand te houden door actief te suppleren om het verlies van intergetijdengebied (deels) te beperken. Ook is het aan te bevelen te onderzoeken hoe extra zand en slib in het systeem kan worden ingevangen en vastgehouden, om natuurlijke aangroei van het Waddensysteem te versnellen.
- Vanuit het natuurlijk systeem is het wenselijk om vaargeulen meer de contouren van natuurlijk aanwezige geulen te laten volgen en gebaggerd sediment nuttig te gebruiken voor de versnelde aangroei van kwelderareaal en meegroeilandschappen.

### **Noordzeekust**

De duinenkust is een mooi voorbeeld van hoe waterveiligheid, zoetwatervoorziening en natuur hand in hand kunnen gaan. Door middel van suppletie van het kustfundament en het onderhoud van de basiskustlijn groeit de kust mee met de zeespiegelstijging. Het suppletieprogramma zorgt er bovendien voor dat de kust over het algemeen steeds veiliger wordt. Toch kent het kustbeheer ook aandachtspunten:

- Door het onderhoud van de Basiskustlijn (BKL) wordt voorkomen dat de kust smaller wordt. Een aandachtspunt daarbij is het toepassen van dynamisch duinbeheer, waarbij perioden van erosie en sedimentatie elkaar mogen afwisselen, zolang op lange termijn de kustlijn niet achteruitgaat.
- Momenteel leidt het suppleren van het kustfundament voornamelijk tot meegroei van de vooroever, het strand en de eerste duinenrij. Om meegroei van het gehele duingebied te bevorderen, is het wenselijk om op meer plekken ruimte te bieden aan cyclische afslag en aangroei, overwash en verstuiving. Dergelijke processen bevorderen niet alleen duingroei, ze zorgen ook voor verhoogde biodiversiteit. Daarbij is het vanzelf van belang om dit gecontroleerd te doen, waarbij de waterveiligheid en zoetwatervoorziening niet in het geding komen.
- Klimaatverandering kan zoetwaterlenzen onder de duinen in het gedrang brengen. De diepe grote zoetwaterlenzen van Zuid- en Noord-Holland kunnen waarschijnlijk de komende 100 jaar zeespiegelstijging aan, maar bij doorgaande zeespiegelstijging verdwijnen de huidige zoetwaterlenzen met een beperkte dikte. Suppleren van strand en vooroever heeft slechts een beperkt positief effect op bescherming van zoetwaterlenzen. Voor significante effecten is meegroeien van het complete duingebied nodig, bijvoorbeeld te bevorderen door instuiving via stuifkuilen en kerven.
- Voor toekomstig onderhoud van de zandige kust met natuurlijke materialen is het van belang reserveringen te doen voor zandwinning op de Noordzee.

# Inhoud

1	Inleiding	1
2	Bouwstenen	3
3	Zuidwestelijke delta	5
3.1	Systeembeschrijving	5
3.2	Natuurinclusieve oplossingsrichtingen	12
3.3	Waterveiligheid	15
3.4	Zoetwaterbeschikbaarheid	17
3.5	Nadere uitwerking voor de Oosterschelde	18
4	Rijnmond-Drechtsteden	26
4.1	Systeembeschrijving	26
4.2	Natuurinclusieve oplossingsrichtingen	28
4.3	Waterveiligheid	30
4.4	Zoetwaterbeschikbaarheid	31
5	IJsselmeergebied	33
5.1	Systeembeschrijving	33
5.2	Natuurinclusieve oplossingsrichtingen	34
5.3	Waterveiligheid	35
5.4	Zoetwaterbeschikbaarheid	36
6	Waddengebied	37
6.1	Systeembeschrijving	37
6.2	Natuurinclusieve oplossingsrichtingen	40
6.3	Waterveiligheid	42
6.4	Zoetwaterbeschikbaarheid	43
7	Noordzeekust	44
7.1	Systeembeschrijving	44
7.2	Natuurinclusieve oplossingsrichtingen	44
7.3	Waterveiligheid	45
7.4	Zoetwaterbeschikbaarheid	46
8	Discussie	48
	Referenties	50



# 1 Inleiding

Binnen het Kennisprogramma Zeespiegelstijging is nagedacht over de toekomst van Nederland bij 2 tot 5 meter zeespiegelstijging. De conclusie was dat het technisch en financieel mogelijk is om ook onder die omstandigheden in Nederland te blijven wonen met behoud van waterveiligheid (zelfde niveau van basisveiligheid) en zoetwaterbeschikbaarheid (hoewel de zoetwatervraag tegen het licht gehouden moet worden). De drie verschillende uitgewerkte denkrichtingen (beschermen, meebewegen, zeewaarts) waren grotendeels technisch van aard, gebruik makend van combinaties van dijkverhoging en -verbreding, dammen, stormvloedkeringen, schutsluizen en grote gemalen. Hoewel technisch mogelijk, is de impact van deze verschillende denkrichtingen groot qua kosten, ruimtebeslag, maatschappelijke impact en aantasting van het kustecosysteem.

Vanwege de verwachte impact op het kustecosysteem is een vierde 'nature-based' denkrichting ontwikkeld, waarbij expliciet een derde doelstelling is toegevoegd: behoud, herstel en ontwikkeling van essentiële ecosystemen. Er is onderzocht of en hoe door middel van bouwen mét de natuur de doelstellingen voor waterveiligheid, zoetwater en natuur integraal kunnen worden bediend.

Natuurinclusieve oplossingsrichtingen richten zich niet alleen op waterveiligheid en zoetwaterbeschikbaarheid, maar ook op het functioneren van het natuurlijk ecosysteem. Daarvoor zijn drie aspecten van belang:

1. **Ruimte** (voldoende arealen van verschillende typen fysiotopen)
2. **Dynamiek** (getij, morfologie, ecologie)
3. **Connectiviteit** (uitwisseling van nutriënten, zout, sediment en organismen)

Nederland kent een lange historie van landaanwinningswerken, inpolderingen en droogmakerijen, waardoor Nederland een veilige, leefbare plaats is geworden. De keerzijde is dat de ruimte voor het kustecosysteem (Waddenzee, Zuidwestelijke Delta) gestaag is ingeperkt. Vanaf de tweede helft van de 20<sup>e</sup> eeuw zijn hier nog de afsluitingen van grote zeearmen bij gekomen: Zuiderzee, Lauwersmeer, Brielse Maas, Haringvliet, Grevelingen en Krammer-Volkerak. Dit is ten koste gegaan van de dynamiek en connectiviteit binnen het systeem.

Het voorliggende rapport geeft een reflectie op de uitkomsten van de nature-based denkrichting van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging voor de verschillende regio's van het Deltaprogramma: Zuidwestelijke Delta, Rijnmond-Drechtsteden, Kust, Waddengebied en IJsselmeergebied. Per regio is kernachtig beschreven welke problemen en uitdagingen momenteel spelen binnen elke regio, welke oplossingsrichtingen daar positief aan kunnen bijdragen en hoe zoveel mogelijk synergie bereikt kan worden tussen ecologie, waterveiligheid en zoetwaterbeschikbaarheid. Voor de Oosterschelde is aan de hand van berekeningen een getalsmatige verdiepingsslag toegevoegd.

De hoofdstukken over de verschillende regio's sluiten af met een visualisatie die de inhoud van het hoofdstuk samenvatten. Deze visualisaties zijn gemaakt door VormVijf.



## 2 Bouwstenen

In de Nature-based oplossingsrichting van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging zijn de volgende bouwstenen beschouwd:

- **Zandsuppleties in bekkens.** De huidige kwelders en plaatsystemen groeien in zekere mate mee met zeespiegelstijging. Bij extremere zeespiegelstijging houdt deze groei de stijging niet bij en verdrinken platen. Met suppleties in buitendelta's, in geulen en/of op platen kan hiervoor worden gecompenseerd.
- **Zandsuppleties langs de kust.** Onderhoud van de kustlijn met zandsuppleties. Vanuit een ecosysteemblik komen grootschalige suppleties als de zandmotor in beeld vanwege de minder frequente verstoring van het bodemleven.
- **Verwijderen van dwarsstructuren.** Verwijderen van dwarsstructuren zoals strekdammen en havendammen die de natuurlijke morfodynamiek langs de kust belemmeren.
- **Verwijderen van dammen.** Door het verwijderen van dammen wordt (getijden)dynamiek teruggebracht in afgesloten deltawateren en ontstaat een connectief systeem met natuurlijke overgangen tussen zout en zoet.
- **Stormvloedkeringen.** Stormvloedkering kunnen de hoogste waterstanden aftoppen in een onder normale omstandigheden zo open en dynamisch mogelijk estuarium. Voorwaarde vanuit het natuurlijk systeem is dat deze nieuwe 'natuurvriendelijke' stormvloedkeringen de beweging van water en sediment zo weinig beïnvloeden dat achter de kering een vitaal ecosysteem kan functioneren.
- **Afvoerverdeling.** Om in een nature-based strategie zoetwaterbeschikbaarheid en waterveiligheid te kunnen borgen, is het sturen van de afvoerverdeling bij hoge en lage rivierafvoer een bouwsteen.
- **Flexibel meerpeil.** Het werken met natuurlijke peilfluctuaties met hogere waterstanden in de winter en lagere waterstanden in de zomer.
- **Meegroeilandschappen.** Meegroeilandschappen (ook wel: waterkerende landschappen of dynamische dijkzones) zijn brede natuurlijke land-waterovergangen die kunnen opslibben en meegroeien met de zeespiegelstijging. Het meegroeilandchap ligt tussen twee dijken, waarbij de binnenste dijk de primaire waterkering wordt en de buitenste dijk (vaak de huidige dijk) fungeert als opsluiting en golfbreker, met openingen of duikers om getij en sediment in te laten. Functioneel kunnen meegroeilandschappen als wisselpolder worden ingericht.
- **Vloedkommen.** Dit zijn laaggelegen binnendijkse gebieden (bijvoorbeeld ingepolderde zearmen) die voorzien worden van een nieuwe primaire waterkering en aan zeezijde weer geopend worden voor connectiviteit, estuariene dynamiek en opslibbende gronden.
- **Voorlanden.** Voorlanden zijn buitendijkse hoge gronden, zoals kwelders, schorren, wilgengrienden en rietmoerassen. Deze ecosystemen kunnen golven dempen en opslibben met een stijgende zeespiegel. Ook meer kunstmatige voorlanden zijn mogelijk, waarbij lokaal zand of klei uit kwelders wordt gebruikt voor de aanleg van hoge voorlanden met sterke golfdemping.
- **Waterbufferende landschappen.** Ontwikkeling van zoetwatermoerassen in de laagste delen van het binnendijkse gebied, die door ophoping van organische stof gaan groeien: bodemstijging.
- **Kerven.** Dynamisch duinbeheer via kerven en stuifkuilen in de zeereep, om het meegroeien van een breder duingebied te bevorderen.

Tabel 1 geeft een breder overzicht van mogelijke bouwstenen, geordend op verschillende typen concepten: meegroeien van systemen, ruimte voor de rivier, golfdemping, combinaties van dijken en natuur en bouwstenen voor het vergroten van connectiviteit in en tussen systemen.

Tabel 1: Overzicht met nature-based concepten en bouwstenen

Concept	Bouwstenen	Werking
Meegroeien systemen	Duinsuppletie	Verhogen of aanleggen duinen
	Kerf	Bevorderen instuiven van duingebieden
	Strandsuppletie	Strand ophogen door aanbrengen van zand
	Vooroeversuppletie	Kust voeden met zand vanuit vooroever
	Suppletie buitendelta	Aanbodgelimiteerde getijdebekkens voeden
	Plaat(rand)suppletie	Platen verhogen of compenseren voor erosie
	Luwtestructuren	Sedimentatie bevorderen
	Compartimenteringsdammen	Sedimentatie bevorderen in compartimenten
	Extra kombergingsgebieden	Geulen naar nieuwe gebieden leveren sediment
	Vloedkom	Binnendijkse opslibbing door getij en sediment
	Waterbufferend landschap	Meegroei via organische stof in moerassen
	Kustlijn lokaal loslaten	Bron van zand voor andere delen van de kust
	Dwarsstructuren verwijderen	Geen obstructie sediment door strekdammen
	Riviersuppletie	Sediment door rivier laten verspreiden
	Verondiepen waterweg	Beperken getijslag en zoutindringing
	Rivieroever ontsteden	Sediment vanaf oevers komt vrij na ontsteden
Slibsuppletie	Meestijgen aanbodgelimiteerde slibrijke systemen	
Ruimte voor de Rivier	Uiterwaardverlaging	Uiterwaarden afgraven, lagere waterstanden
	Uiterwaardverbreding	Dijken landwaarts verleggen, lagere waterstanden
	Nevengeul	Verhogen afvoercapaciteit, lagere waterstanden
	Langsdam met nevengeul	Hogere afvoercapaciteit, sedimentverdeling
	Meergeulensysteem	Kralensnoer van geulen en nevengeulen
Golven dempen	Rivierbos of wilgengriend	Golven dempen, aandachtspunt: opstuwing
	Voorland	Golfbreking, golfdemping door vegetatie
	Vooroeverdammen	Golfbreking, luwte, vegetatiegroei, golfdemping
	Schelpenbank	Golven dempen, erosie reduceren
	Zeegrasveld	Golven dempen
	Verhogen plaatsysteem	Dieptelimitering van golven
Dijken en natuur	Dubbele dijk of wisselpolder	Schor tussen dijken, aanslibbing, kleinere bres
	Dijkteruglegging	Ontstaan voorlanden, meestijgen slibkust
	Bloemrijke dijk	Combineren biodiversiteit en erosiebestendigheid
	Brede groene dijk	Flauwe klei/grastaluds i.p.v. harde bekleding
Connectiviteit	Verwijderen van barrières	Verwijder dam/kering, herstel getijdynamiek
	Stuw verwijderen	Natuurlijke rivieren, sedimentstroom bevorderen
	Vispassage	Aanleg van vispassages en/of vistrappen
	Natuurvriendelijke stormvloedkering	Slanke stormvloedkering die de hydro- en morfodynamiek zo min mogelijk verstoort
Natuurlijke dynamiek	Afvoerverdeling	Sturen natuurlijke dynamiek via afvoerverdeling
	Meerpeilfluctuaties	Natuurlijke peilfluctuaties in gesloten bekkens

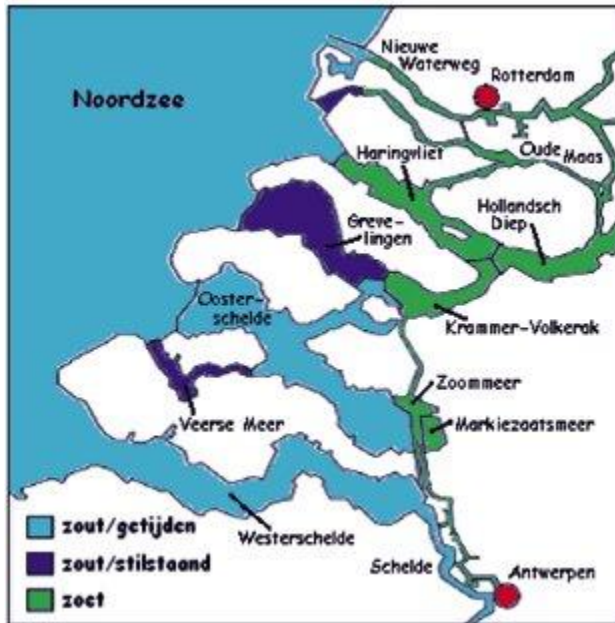
# 3 Zuidwestelijke delta

## 3.1 Systeembeschrijving

De Zuidwestelijke Delta omvat de Grevelingen, Krammer-Volkerak-Zoommeer, Oosterschelde, Veerse Meer en Westerschelde (Figuur 2). Het karakter van dit gebied is sterk beïnvloed door de waterveiligheidsstrategie die de afgelopen eeuw is ingeslagen met de aanleg van de Deltawerken (Figuur 1).



Figuur 1: Overzicht van de Deltawerken



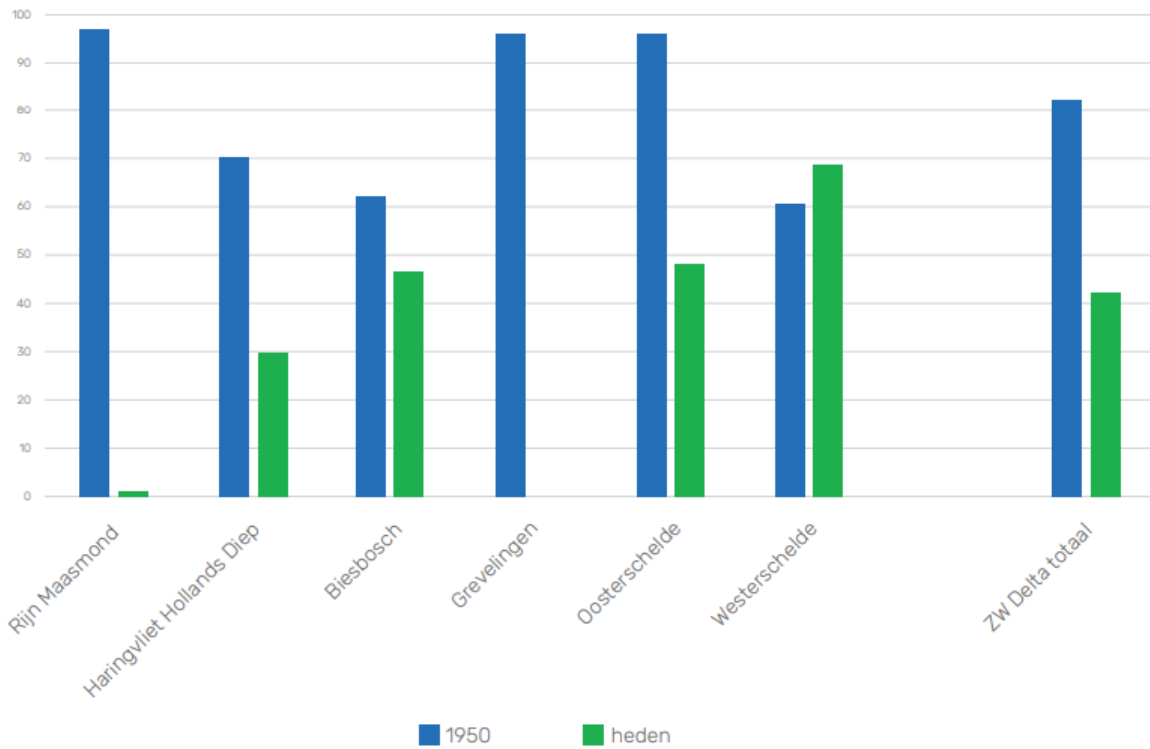
*Figuur 2: Overzicht van wateren in de Zuidwestelijke Delta, met een indicatie van het karakter (zoet, zout stilstaand water of zout getijdewater). Uit: Schrijvers en Haas (2009).*

## Ruimte

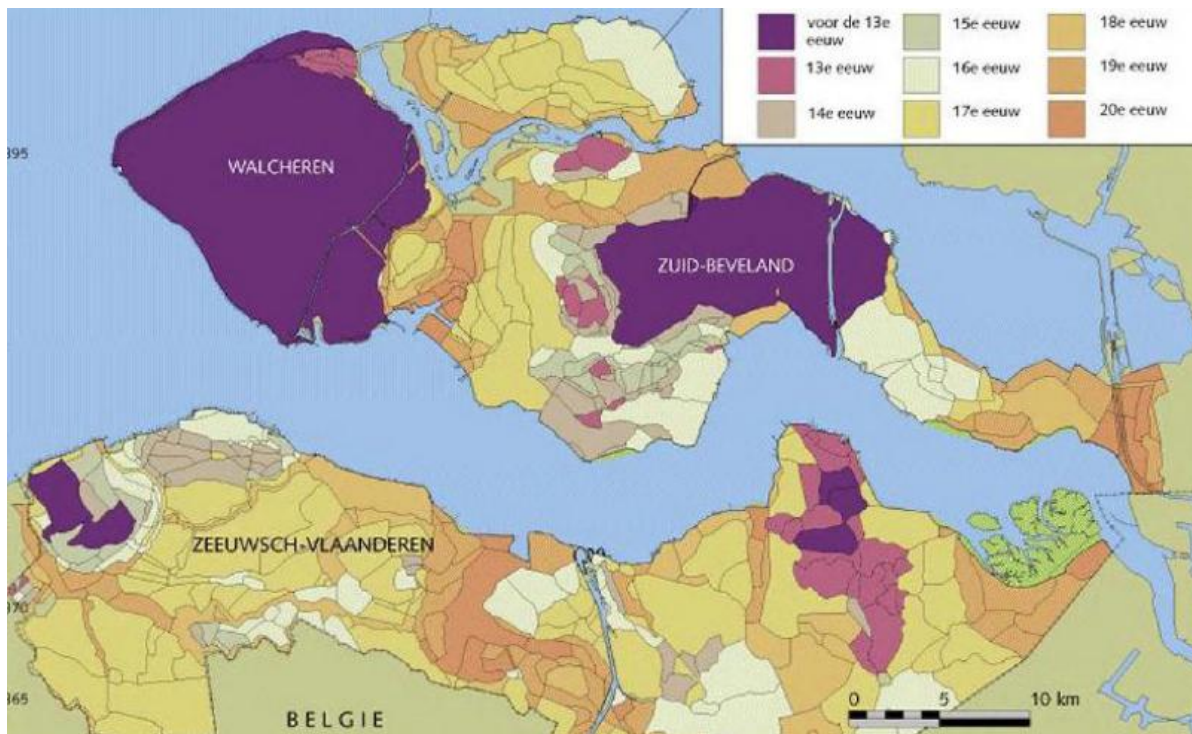
De Zeeuwse Delta was in het verleden een delta waarin getij, rivierafvoer en sediment vrij spel hadden. Er was relatief veel intergetijdengebied, waarvan het hoogste deel (de schorren) gebruikt werden om schapen te houden. Vanaf de 11<sup>e</sup> eeuw werden veel gebieden in Zeeland ingepolderd, waardoor de ruimte voor de zeearmen en estuaria gestaag is afgenomen. Figuur 4 toont historische inpolderingen rond de Westerschelde. Figuur 5 laat zien hoe in het verleden de Oosterschelde en Westerschelde verbonden waren, delen van Zuid-Beveland intergetijdengebied waren en de Westerschelde zijarmen kende als de Sloe (bij Vlissingen) en de Braakman (bij Terneuzen). Voornamelijk het areaal aan intergetijdengebied (platen, slikken en schorren) is sterk verminderd door de inpolderingen en afsluitingen. De kaartbeelden in Figuur 6 en Figuur 7 illustreren hoe eilanden in de loop van de eeuwen zijn verbonden en gegroeid. Volgens Schaminée et al. (2019) is sprake van 60% afname van het intergetijdengebied in de Zuidwestelijke Delta sinds 1900.

Vanwege deze veranderingen is de opgave voor de Zuidwestelijke Delta volgens de Programmatische Aanpak Grote Wateren (PAGW) momenteel als volgt (Kennisprogramma Zeespiegelstijging, 2025b):

- 13.000 ha ondiep water (nu ruim 21.000 ha, dus ca. 60% toename),
- 15.500 ha onbegroeide slikken en platen (nu 18.000 ha, dus ca. 90% toename),
- 7.500 ha begroeide schorren (nu 7.500 ha, dus een verdubbeling als opgave).

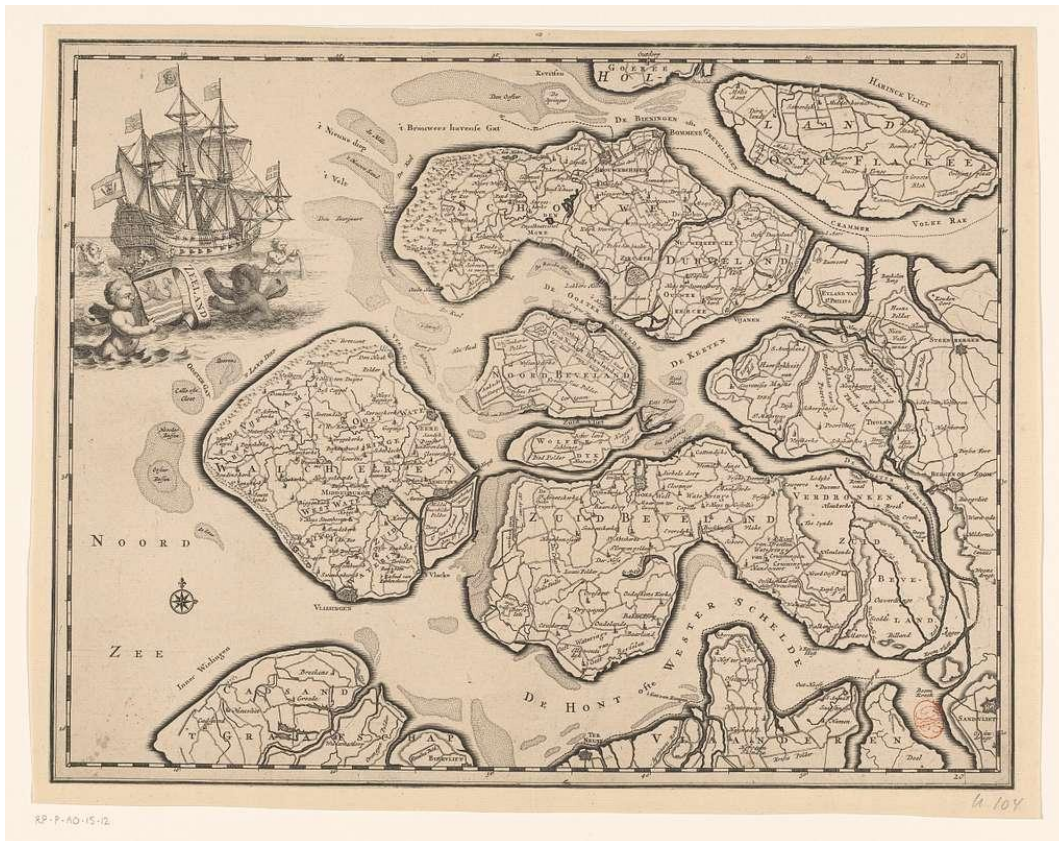


Figuur 3: Areal intergetijdengebied omstreeks 1950 en heden, uitgedrukt in percentages ten opzichte van de situatie in 1900. Bron: Schaminée et al. (2019).



Figuur 4: Historische inpolderingen. Bron: Scheldeatlas (1999)





Figuur 7: Kaart van Zeeland in 1740 (Bron: Rijksmuseum)

**Dynamiek en connectiviteit**

De aanleg van de Deltawerken heeft de dynamiek en connectiviteit in de Zuidwestelijke Delta sterk ingeperkt. In de meeste zeearmen is sprake van gereduceerde tot weggevalen getijwerking en sedimentdynamiek.




Figuur 8: Rivier- en getijstrooming voor (links) en na (rechts) de aanleg van de Deltawerken (bron: Schaminée et al., 2019).

Een verminderde of weggevalen getijslag leidt rechtstreeks tot een vermindering van intergetijdengebied (platen, slikken en schorren). Gereduceerde sedimentdynamiek resulteert in

verminderde opbouw van intergetijdengebied. Zeker bij versnelde zeespiegelstijging kan dit leiden tot het verdrinken van intergetijdengebied. Ondanks dit generieke beeld, zijn er aanzienlijke verschillen tussen de verschillende wateren in de Zuidwestelijke Delta.

<p><b>Grevelingen</b></p> 	<p>De Grevelingen is sinds de aanleg van de Brouwersdam en Grevelingendam een zout meer zonder getijwerking. Hierdoor is de dynamische zeearm met schorren, slikken en getijdegeulen veranderd in een min of meer statisch zout meer, met veel minder areaal aan voedselrijk intergetijdengebied. De verversing via de Brouwerssluis en Flakkeese Spuisluis verloopt traag, waardoor stroomsnelheden en natuurlijke dynamiek gering zijn. In de Brouwerssluis zijn geen voorzieningen aangebracht voor vismigratie. Door gebrek aan menging ontstaat met name in de zomer vaak een sterke stratificatie (gelaagdheid) tussen warmer oppervlaktewater en kouder diep water. Dit leidt tot zuurstoftekort of zelfs zuurstofloosheid (anoxie) in diepere delen. Ondanks de afsluiting heeft de Grevelingen nog steeds ecologische waarde: er zijn zeegrasvelden, mosselbanken en broedgebieden voor vogels. Problemen treden met name op in diepere zones. Door zuurstofgebrek in diepere delen zoals de Scharendijkeput verdwijnen bodemdieren en ontstaat een dode zone. Dit tast de voedselketen en biodiversiteit aan. Door de aanleg van de Brouwersdam heeft het systeem morfologisch min of meer stil gestaan. Het intergetijdengebied heeft zich niet doorontwikkeld, maar er is (voornamelijk door oeververdedigingen) ook geen sprake van sterke erosie van het intergetijdengebied zoals in de Oosterschelde.</p>
<p><b>Krammer-Volkerak-Zoommeer</b></p> 	<p>Het oorspronkelijke Krammer-Volkerak is afgesloten van de Oosterschelde door middel van de Philipsdam en van de Grevelingen via de Grevelingendam. In de Philipsdam bevinden zich de Krammersluizen, waardoor enige zoutindringing plaatsvindt vanuit de Oosterschelde naar de Krammer. Via de sluisen vindt enige vismigratie plaats, maar schutsluisen zijn niet optimaal voor vis, en de zoet-zoutovergang is abrupt. Ook in het Krammer-Volkerak is de getijwerking weggefallen. Door het vrijwel stagnante peil trad veel oevererosie op na aanleg van de dammen. Op veel plekken is een oeverbescherming aangebracht om doorgaande erosie te voorkomen. Het water is overwegend zoet tot brak vanwege doorspoeling vanuit Hollandsch Diep, Dinkel en Mark naar de Krammersluizen in de Philipsdam en de Kreekraksluizen in het Zoommeer. De beperkte dynamiek leidt in combinatie met een hoge stikstof- en fosforbelasting tot eutrofiëring en blauwalgenbloei in de zomer. Het Volkerak-Zoommeer wordt gebruikt om delen van Zeeland en West-Brabant van zoetwater te voorzien.</p>

<p><b>Oosterschelde</b></p> 	<p>In de Oosterschelde is nog relatief veel dynamiek aanwezig doordat het getij nog grotendeels behouden is gebleven. De Oosterscheldekering reduceert wel het doorstroomoppervlak van de monding met ongeveer 65% door de waterkerende eilanden, pijlers, dorpelbalken en bovenbalken. In een natuurlijke zeearm is alles in evenwicht: het bergend oppervlak van de zeearm, de getijslag, het doorstroomoppervlak van de monding en het doorstroomoppervlak van de geulen in de zeearm. Door het insnoeren van de monding dreigde de getijslag af te nemen. Daarom is ervoor gekozen ook het bergend oppervlak te beperken door de aanleg van de Oesterdam, Philipsdam en Grevelingendam. Onder de streep leidde het gereduceerde getijvolume (ook wel: getijprisma) hierdoor slechts tot een vermindering van de getijslag met 30%. De geulen in de Oosterschelde zelf waren echter nog steeds te ruim, waardoor de getijstroming in de geulen en de plaatopbouw zijn verzwakt. Omdat de plaatafbraak door golfwerking gelijk is gebleven, zijn de platen en schorren in de Oosterschelde flink geërodeerd (de zogenaamde zandhonger). Het intergetijdengebied is met ongeveer 30% afgenomen in ongeveer 35 jaar tijd. Er worden plaatsuppleties toegepast als mitigerende maatregel, maar deze compenseren slechts voor een klein deel van de afname. De aanwezigheid van de bodembescherming en drempel van de Oosterscheldekering zorgen ervoor dat sedimenttransporten tussen de Noordzee en Oosterschelde verwaarloosbaar klein zijn geworden. Hierdoor groeit de Oosterschelde niet meer mee met zeespiegelstijging. Door het ontbreken van rivierinvloed komen er minder nutriënten de Oosterschelde binnen dan voorheen, waardoor er minder primaire productie van fytoplankton plaatsvindt (Deltares, 2013).</p>
<p><b>Veerse Meer</b></p> 	<p>Het Veerse Meer is afgesloten van de Noordzee met de Veerse Gatdam en van de Oosterschelde met de Zandkreekdam. Hierdoor is het Veerse Meer een brakwatermeer geworden zonder getijwerking. De diepte is gemiddeld 5 meter, maar er zijn ook tot 17 meter diepe delen aanwezig. Daarnaast liggen er diverse eilanden in het meer. Door de beperkte verversing, stratificatie en toestroom van fosfor- en stikstofrijk polderwater is de waterkwaliteit verslechterd. Sinds 2004 wordt het meer extra doorgespoeld met water uit de Oosterschelde via de doorlaat Katse Heule. Sindsdien is ook een microgetij (10 cm) ontstaan en is de waterkwaliteit enigszins verbeterd. Er zijn nog altijd problemen met overvloedige groei van wieren, algen en zeesla. Bij zeespiegelstijging wordt de afvoercapaciteit voor het afvoeren van overtollig water richting Oosterschelde via de Katse Heule kleiner. Hierdoor neemt de uitwisseling tussen Oosterschelde en Veerse Meer af. Dat heeft negatieve gevolgen voor waterkwaliteit op het Veerse Meer. Voor peilbeheer (wateroverlast) geldt dat het huidige peilbeheer via spuien onder vrij verval tenminste tot 20-40 cm zeespiegelstijging gehandhaafd kan blijven (Deltares, 2021).</p>

<p><b>Westerschelde</b></p> 	<p>De Westerschelde is het enige overgebleven volledig open estuarium in de Zuidwestelijk Delta, met een getijslag tot 5 meter en een natuurlijke zoet-zoutgradiënt. Om de havens van Vlissingen, Terneuzen, Gent en Antwerpen met de Noordzee te verbinden, wordt er intensief gebaggerd. De vaargeul naar Antwerpen is meerdere keren verdiept, met name in 1997 en 2010. De verruiming van de vaargeulen en bestorting van geulwanden heeft geleid tot verstarring van de positie van de geulen, verzanding van nevengeulen, verhoging van platen en afname van gebieden met ondiep water. De morfologische dynamiek in het estuarium is hierdoor afgenomen. Ook is sprake van (historische) vervuiling met zware metalen, nitraat, fosfor en PFAS.</p>
---	--

## 3.2 Natuurinclusieve oplossingsrichtingen

In de nature-based denkrichting van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging zijn twee onderzoeksalternatieven ontwikkeld. Voor de Zuidwestelijke Delta hebben deze twee alternatieven de volgende kenmerken:

- **Alternatief 1:** volledig open zeearmen en estuaria zonder dammen of stormvloedkeringen, waarbij meer intergetijdengebied wordt gerealiseerd via meegroeilandschappen.
- **Alternatief 2:** huidige dammen en stormvloedkeringen in de mondingen van de zeearmen vervangen door natuurvriendelijke stormvloedkeringen, waarbij extra intergetijdengebied wordt gerealiseerd in vloedkommen.

### Open zeearmen

Beide onderzoeksalternatieven verbeteren het natuurlijk systeem qua dynamiek en connectiviteit. Er is onder dagelijkse omstandigheden in alle wateren ruimte voor getijwerking, een natuurlijke zoet/zout-gradiënt en morfologische dynamiek. De natuurvriendelijke stormvloedkeringen uit alternatief 2 (nog te ontwikkelen) hebben geen bodembescherming en blokkeren de doorstroming in beperkte mate, waardoor de invloed op water en sediment onder dagelijkse omstandigheden gering is. Het verschil is vooral merkbaar tijdens stormen: de stormvloedkeringen zorgen voor orde 2 m lagere waterstanden tijdens stormvloeden en voornamelijk in de monding van de zeearmen ook lagere golven. Bij een hoge sluitfrequentie (meerdere sluitingen per jaar) leidt de verlaagde waterstand tijdens stormen mogelijk wel tot hoge golven op relatief ondiep water, wat de erosie van schorren en platen versterkt (De Vet et al., 2024). Zo kan zeespiegelstijging indirect de zandhonger in de Oosterschelde vergroten.

Verwijderen van dammen en massieve stormvloedkeringen heeft de volgende voordelen:

- Herstel van nog aanwezig intergetijdengebied in afgesloten wateren;
- Reactiveren van morfologische ontwikkeling van platen en schorren in de Oosterschelde;
- Herstel van sedimentimport vanuit de Noordzee en meegroei met de zeespiegelstijging;
- Verhelpen van stratificatie en zuurstofloosheid in Grevelingen, Volkerak en Veerse Meer;
- Oplossen van overschotten en tekorten aan nutriënten in gecompartmenteerde wateren;
- Vergroten van vismigratie door geleidelijke zoet/zout-gradiënten zonder dammen;
- Vermijden van kosten voor beheer en onderhoud van stormvloedkeringen;
- Minder barrières voor scheepvaartverkeer en wachttijden bij schutsluizen;

Naar verwachting zijn kosten een belangrijk aspect bij het al dan niet kiezen voor natuurvriendelijke stormvloedkeringen. Dijken kunnen minder hoog en breed worden gemaakt dan zonder deze

stormvloedkeringen, wat gunstig is voor dijkversterkingskosten, ruimtebeslag en maatschappelijke impact. Waar een verder ontwikkelde stand van de techniek waarschijnlijk wel in staat is natuurvriendelijke stormvloedkeringen te ontwikkelen, is de verwachting dat de kosten hiervoor altijd hoger zullen liggen dan bij de huidige gangbare stormvloedkeringen zoals de Haringvlietsluizen en Oosterscheldekering. Qua kosten wordt investeren in hogere dijken dan al snel aantrekkelijker dan aanleg van een natuurvriendelijke stormvloedkering.

### **Meegroeivermogen intergetijdengebied**

Het sedimentaanbod vanuit de rivieren is zeer beperkt in de Zuidwestelijke Delta. De buitendelta's voor de kust vormen de voornaamste bron van zand. Naast zand is er slib aanwezig in de getijstroom langs de kust, wat mogelijk ook kan bijdragen aan het meegroeivermogen van luwe delen van estuaria. Van de Westerschelde is bijvoorbeeld bekend dat deze momenteel ongeveer 2,2 miljoen m<sup>3</sup> sediment per jaar importeert (Elias et al., 2023). Dit komt neer op een estuarium-gemiddelde bodemhoogtestijging van orde 6 mm/jaar. De huidige zeespiegelstijging is in de orde van 2 mm/jaar. Bij het lage KNMI'23-scenario wordt dit gemiddeld 6 mm/jaar tot 2100, bij het hoge KNMI'23-scenario 11 mm/jaar tot 2100 en bij tijdlijn 'zeer extreem' uit het Kennisprogramma Zeespiegelstijging wordt gerekend met  $\pm 25$  mm/jaar (2 m in 2100). Onduidelijk is in hoeverre de meegroeisnelheid van het intergetijdengebied toeneemt bij zeespiegelstijging. Langetermijn morfologische modellering zoals uitgevoerd in Dam et al. (2016) en Rübke et al. (2025) is nuttig om meer inzicht te verkrijgen in het meegroeivermogen van de verschillende estuaria. Bij versnelde zeespiegelstijging biedt het verwijderen van dammen en stormvloedkeringen geen garantie op volledig meegroeien van het morfologisch systeem. Als de snelheid van zeespiegelstijging de meegroeisnelheid van intergetijdengebied overschrijdt, zal het systeem verdrinken, tenzij de waterbeheerder de keuze maakt om de natuur niet zijn gang te laten gaan maar om actief te suppleren om verlies van intergetijdengebied (deels) te beperken. De momenteel hoogste delen van het intergetijdengebied (de schorren) zullen daarbij het langst behouden blijven als intergetijdengebied.

### **Areaal intergetijdengebied en meegroeilandschappen**

Naast dynamiek en connectiviteit is ruimte (voor o.a. intergetijdengebied) een belangrijke indicator om de kwaliteit van het natuurlijk systeem te beschrijven. Het verwijderen van dammen zorgt instantaan voor een toename van het areaal aan intergetijdengebied in momenteel afgesloten wateren zoals Grevelingen, Krammer-Volkerak en Veerse Meer, waarna het systeemherstel kan starten. Extra areaal kan worden verkregen door ook meegroeilandschappen aan te leggen achter de huidige primaire waterkeringen. De huidige waterkering wordt voorzien van openingen of duikers, waardoor sedimentrijk water in kan stromen met het getij. Aan de binnenzijde van het meegroeilandchap wordt een nieuwe primaire waterkering gerealiseerd, soms door een upgrade van bestaande slaperdijken of regionale keringen. Tussen de twee dijken ontstaat een enkele honderden meters brede waterkerende zone met opslibbende natuur, wat bij voldoende hoge opslibsnelheid ook baten heeft voor waterveiligheid door het reduceren van bresdimensies en overstromingsdieptes in het geval van een dijkdoorbraak (Zhu et al., 2020). Ook vloedkommen kunnen worden overwogen, maar deze zijn relatief kostbaar vanwege de relatief lange aan te leggen waterkeringen rond de vloedkommen.

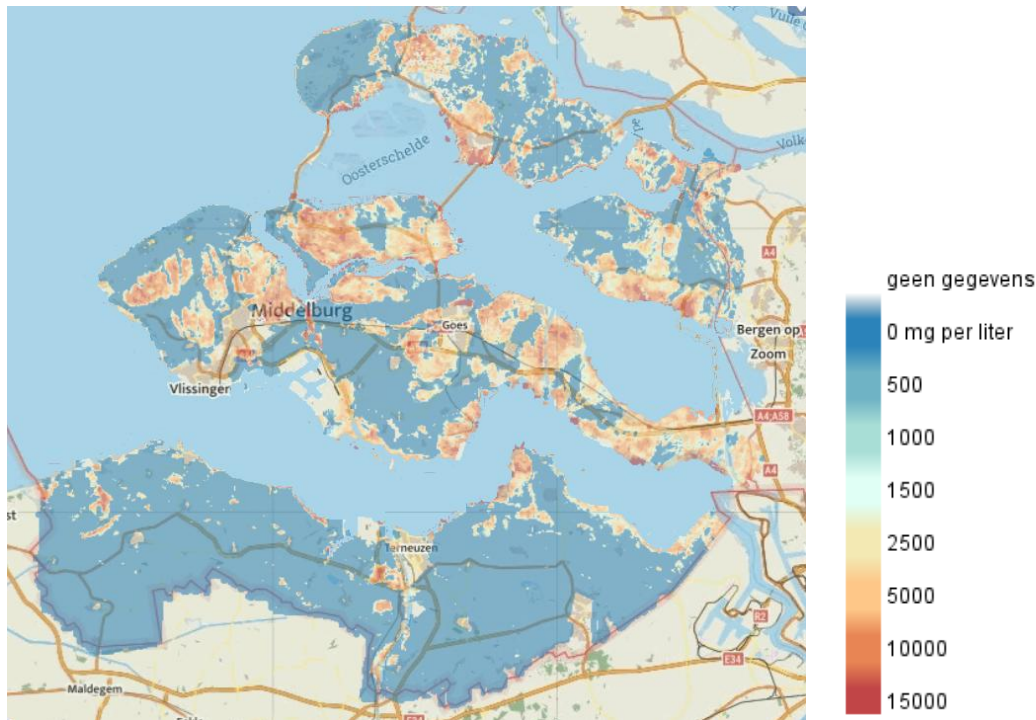
Mogelijk kansrijke locaties voor meegroeilandschappen voldoen aan zo veel mogelijk van de volgende voorwaarden (o.a. gebaseerd op HKV, 2025):

- Relatief laag aantal inwoners en woningen;
- Hoge stijgsnelheden bij een dijkdoorbraak (vanwege compartimentering of bodemreliëf), waardoor het individuele slachtoffer risico groot is;
- Voldoende hoge slibconcentraties in het water;

- Relatief groot belang van golven op de benodigde dijkhoogte;
- Een initiële maaiveldhoogte die op een redelijke termijn schorontwikkeling mogelijk maakt;
- Een relatief complexe dijkversterkingsopgave voor de huidige kering (veel mechanismen);
- Een relatief dunne zoetwaterlens (zie Figuur 9), waardoor toekomstig agrarisch gebruik steeds moeilijker wordt.

Een deel van deze voorwaarden kan worden verkend via de volgende viewer:

<https://nature-basedsolutions-acceptatie.hkvservices.nl/>



*Figuur 9: Chlorideconcentratie op NAP-3 m als indicator voor de dikte van de zoetwaterlens (FRESHM, zoet-zoutverdeling Zeeuwse ondergrond, <https://kaarten.zeeland.nl/map/freshem>, na verwijderen van buitendijkse gebieden.)*

Uit deze criteria volgt al snel dat binnen de Zuidwestelijke Delta vooral de Westerschelde in beeld is voor aanleg van meegroeilandschappen. De slibconcentratie in de Oosterschelde (orde 10-20 mg/l) is veel lager dan in de Westerschelde (50-150 mg/l), waardoor rond de Oosterschelde weinig opslibbing is te verwachten. Over de Grevelingen is weinig bekend over slibconcentraties in een open situatie. Mogelijk zijn deze orde van grootte vergelijkbaar met concentraties in de Oosterschelde, maar slibimport vanaf de voordelta kan ook leiden tot hogere slibconcentraties<sup>1</sup>.

### Buitendijkse voorlanden

In de Oosterschelde en Grevelingen liggen buitendijkse zandige voorlanden meer voor de hand dan meegroeilandschappen, vanwege relatief lage slibconcentraties. Voorlanden kunnen bijdragen aan waterveiligheid door golfbreking en golfdemping door vegetatie. In een situatie zonder belemmerende stormvloedkering is er voldoende morfodynamiek om zandige voorlanden mee te laten groeien als de zeespiegel stijgt (tot bepaalde limieten qua meegroeisnelheid). Als plaatsuppleties tegen dijken worden aangelegd, hebben deze potentiële baten voor zowel natuur (foerageergebied) als waterveiligheid (golfdemping). Zandige voorlanden zijn alleen kansrijk op plekken waar het grootschalige systeem van zichzelf al sedimentierend van aard is. Qua bijdrage aan waterveiligheid

<sup>1</sup> [https://www.coastalwiki.org/wiki/Suspended\\_particulate\\_matter\\_distribution\\_in\\_the\\_North\\_Sea](https://www.coastalwiki.org/wiki/Suspended_particulate_matter_distribution_in_the_North_Sea)

zijn de grootste kansen op plekken met een relatief grote golfhoogte/waterdiepte-verhouding, met dieptegelimiteerde golven. Zulke locaties hebben overwegend een oriëntatie op westelijke wind-richtingen, met een lange strijklengte. Het ontstaan van begroeide voorlanden (schorvorming) is te verwachten in luwe delen van deze wateren, zoals rond de Krabbenkreek bij Sint-Philipsland en de Rattekaai bij Rilland. Verwijderen van een stormvloedkering kan de golfhoogte/waterdiepte-verhouding laten dalen, wat de golfdemping door voorlanden kan laten verminderen.

### **Baggerwerkzaamheden**

In de Westerschelde vormen baggerwerkzaamheden een belangrijke oorzaak van de gebrekkige morfodynamiek met steiler wordend en verstarrend intergetijdengebied. De vaargeul naar Antwerpen is meermaals verdiept voor de bereikbaarheid van de haven, waar getijdennatuur onder heeft geleden. Voor de tweede verruiming zijn compensatieprojecten uitgevoerd, zoals de aanleg van het gebied Perkpolder waarbij zeedijken zijn verlegd om nieuwe buitendijkse natuur aan te leggen (Provincie Zeeland, Rijkswaterstaat en Dienst Landelijk Gebied, 2009). Later is gestart met het zogenaamde Natuurherstelpakket Westerschelde, een serie maatregelen die de natuur in de Westerschelde moest verbeteren, wat kan worden gerelateerd aan inpolderingen, afsluitingen en diverse verdiepingen van de vaargeul. Projecten binnen het Natuurherstelpakket waren bijvoorbeeld het omzetten van de Hedwigepolder in getijdennatuur, uitbreiding van het Zwin, aanleg van getijdennatuur in Waterdunen en enkele buitendijkse projecten. Ondanks deze projecten is er nog steeds discussie of er voldoende aan de herstelverplichting is voldaan<sup>2</sup>. In een nature-based denkrichting ligt het voor de hand om het onderhoud van de vaargeul naar Antwerpen te extensiveren en minder grote waterdieptes aan te houden.

## **3.3 Waterveiligheid**

### **Systeemanalyse waterveiligheid**

In de Systeemanalyse Waterveiligheid van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging (HKV en Witteveen+Bos, 2023a) is onderzocht hoeveel dijkversterking nodig is rond de Oosterschelde en Westerschelde om aan de overstromingskansnormen te blijven voldoen bij een zeespiegelstijging tot 5 m. De doorwerking van zeespiegelstijging op waterstanden verschilt tussen de Oosterschelde en Westerschelde. Op de Westerschelde nemen waterstanden en benodigde dijkhoogtes 1-op-1 toe met de zeespiegelstijging, gegeven de huidige voorkeursstrategie in de Zuidwestelijke Delta waarin de bodem van de Westerschelde in principe volledig meegroeit met de zeespiegel. Op de Oosterschelde is de invloed van zeespiegelstijging pas goed zichtbaar vanaf een zeespiegelstijging van 1 m. De Oosterscheldekering slaagt erin om een deel van het effect van zeespiegelstijging op te vangen, al wordt deze invloed minder bij toenemende zeespiegelstijging.

### **Stormvloedkeringen en dammen**

In de huidige situatie wordt de waterveiligheid in Zeeland verzorgd door een complex samenspel tussen dammen, stormvloedkeringen en dijken.

- Een stormvloedkering zorgt voor orde 2 m verlaging van extreme waterstanden<sup>3</sup>. Ook zorgt een stormvloedkering voor een verlaging van de golfaanval op de dijken dicht achter de kering.

<sup>2</sup> <https://www.omroepzeeland.nl/nieuws/17678771/goochelen-met-cijfers-zo-sprokkelde-de-provincie-natuur-bij-elkaar-rond-de-westerschelde>

<sup>3</sup> Vergelijking waterstandsstatistiek aan weerszijden van stormvloedkeringen: Oosterscheldekering 2,0 m bij een herhalingstijd van T=10.000 jaar, Hartelkering 1,9 m bij T=4.000 jaar, Haringvlietsluizen 2,6 m bij T=4.000 jaar.

- Dammen zoals de Brouwersdam en Veerse Gatdam hebben met orde 4 m verlaging een nog sterkere invloed op hoogwaterstanden<sup>4</sup>, omdat bij dammen geen sprake is van lekkage, golf-overslag of betrouwbaarheid sluiten. In afgesloten meren heeft een stormvloed op zee alleen invloed via tijdelijke beperking van de spuicapaciteit.

Bij verwijderen van stormvloedkeringen neemt de benodigde kruinhoogte van de achterliggende dijken met ongeveer 2 tot 4 m toe. Bij verwijderen van dammen gaat dit om 4 tot 6 m. Dijken rond afgesloten zeearmen zoals Grevelingen en Volkerak zijn echter wel oude zeedijken, op dit moment hoger en breder dan nodig voor de heersende hydraulische belastingen. Bij verwijderen van dammen in een nature-based strategie zijn wel dijkverhogingen en -versterkingen nodig, maar door de huidige overhoogte van de dijken is de opgave minder omvangrijk dan de hierboven genoemde effecten op benodigde kruinhoogte.

### **Zeespiegelstijging en de Oosterscheldekering**

In HKV (2024) is onderzoek gedaan naar de invloed van zeespiegelstijging op de Oosterscheldekering in termen van sluitfrequentie, faalkans en prestatiepeilen. Op basis van die studie is in Deltares (2025b) een eerste aanzet gedaan voor adaptatiepaden voor de Oosterschelde. Daarin is te zien hoe bij zeespiegelstijging kantelpunten gaan optreden voor overschrijden van de faalkans op trajectniveau, effecten op prestatiepeilen of een te hoge sluitfrequentie. Via diverse maatregelen is rek mogelijk, zoals nader onderzoek, het vervangen van schuiven of overstap naar een sluitcriterium op basis van zeewaterstand en wind. Toch komt er een punt waarbij de huidige Oosterscheldekering functioneel en/of technisch einde levensduur is. Op dat moment speelt ook de vraag of de stormvloedkering vervangen wordt, of een natuurvriendelijke constructie haalbaar is, of dat overgegaan wordt op een volledig open zeearm zonder stormvloedkeringen in de Roompot, Hammen en Schaar. Als de keuze voor een open zeearm gemaakt wordt, dienen dijkversterkingsprojecten hierop tijdig te anticiperen, gezien de gebruikelijke ontwerp levensduur van 50 jaar. Dijken moeten eerst op orde gebracht worden, voordat de deltawateren open gemaakt worden. Hetzelfde geldt voor afgesloten wateren als de Grevelingen en het Krammer-Volkerak, waar een nog grotere impact van een open situatie is te verwachten.

Los van de ecologische impact, is de keuze voor het al dan niet aanleggen van een vervangende stormvloedkering ook een economische keuze. Daarbij is ook het historische perspectief illustratief.

- Kosten voor aanleg van de Oosterscheldekering waren destijds geraamd op ongeveer 3 MLD gulden, maar liepen uiteindelijk op tot ongeveer 7,5 MLD gulden, wat gelijk staat aan 3,4 MLD euro (prijspeil 1986) en ongeveer 8 MLD euro (prijspeil 2025, inflatie +130%).
- Kosten voor een ronde dijkversterkingen bedragen ongeveer 15 miljoen euro per kilometer in het huidige HWBP. Verwijderen van de Oosterscheldekering scheelt ongeveer 2 tot 3 meter in benodigde dijkhoogtes rond de Oosterschelde. Grofweg is dat gelijk aan 2 tot 3 versterkingsrondes.  $2,5 \cdot 15 = 37,5$  miljoen euro per kilometer. Rond de Oosterschelde ligt 245 km aan dijken. Kosten komen dan op 9,2 MLD euro.

De conclusie op basis van deze grove vergelijking is dat investeringskosten voor een vervangende stormvloedkering en voor extra dijkversterkingen niet in een fundamenteel andere orde van grootte liggen.

Opmerkingen daarbij:

---

<sup>4</sup> Bijvoorbeeld op de Grevelingen zijn waterstanden bij de norm ongeveer NAP+0,5 m, terwijl de waterstanden aan de buitenzijde van de Brouwersdam rond NAP+5 m liggen bij een herhalingstijd van T=3.000 jaar.

- Slopen van de huidige constructie (beton, staal, breuksteen) is zowel nodig bij aanleg van een nieuwe stormvloedkering als bij keuze voor een open monding, waardoor dit aspect niet sterk onderscheidend is.
- De huidige Oosterscheldekering vervult ook een wegfunctie. Mogelijk is aanleg van een brug wenselijk als gekozen wordt voor een open zeearm. Aanleg van een zelfstandige brug is duurder dan het aanbrengen van een vervangende brug op een vervangende stormvloedkering<sup>5</sup>.
- Vervangen van de compartimenteringsdammen (Philipsdam, Grevelingendam) door bruggen, of het creëren van grote doorstroomopeningen, vormt nog een aanvullende kostenpost.

Een nature-based alternatief voor een open zeearm is een afsluitbare zeearm met een natuurvriendelijke stormvloedkering. Hoewel een dergelijke stormvloedkering nog niet bestaat, was de overtuiging van experts tijdens hackathons van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging dat deze maakbaar is, maar ook dat investeringskosten hoger zullen liggen dan voor een massieve stormvloedkering als de Haringvlietsluizen of Oosterscheldekering (Kennisprogramma Zeespiegelstijging, 2025a,b). Dit zorgt ervoor dat een open zeearm met hogere dijken financieel aantrekkelijker kan zijn dan een afsluitbare zeearm met een natuurvriendelijke stormvloedkering.

### **Meegroeilandschappen en overstromingsgevolgen**

In het Kennisprogramma Zeespiegelstijging is het uitgangspunt aangehouden dat overstromingskansen gelijk moeten blijven. In HKV (2025) is voor een casestudie langs de Westerschelde aangetoond dat niet alleen overstromingskansen, maar ook overstromingsgevolgen sterk kunnen toenemen bij zeespiegelstijging. Meegroeilandschappen kunnen, mits voldoende snel opslibbend, worden ingezet om ervoor te zorgen dat zeespiegelstijging niet leidt tot toenemende overstromingsgevolgen en -risico's bij gelijkblijvende normen.

Meegroeilandschappen zijn weinig effectief als gewerkt wordt met kleine afsluitbare duikers en een gedempt getij. Bij een sterk gedempt getij is de import van sediment beperkt, waardoor het gebied traag meegroeit. De voorliggende kering blijft dan de primaire waterkering, waarbij de afsluitbare duiker slechts zorgt voor een zwak punt en extra faalmechanisme in de voorliggende kering. Vanuit waterveiligheid is het kansrijker om te kiezen voor een grote opening, waar water en sediment ruimschoots het gebied in kunnen stromen. De achterliggende kering wordt dan de primaire waterkering, die samen met het opslibbende tussendijkse gebied langzaam maar zeker de rol van de voorliggende kering overneemt. De voorliggende kering dient als golfbreker en opsluiting van het tussendijkse intergetijdengebied (Jansen, 2023).

## **3.4 Zoetwaterbeschikbaarheid**

De zoetwatervoorziening van het agrarisch gebied in Zeeland is momenteel grotendeels aangewezen op eigen zoetwaterbuffering, bijvoorbeeld via vasthouden van regenwater in de bodem, ondergrondse opslag van regenwater en afvang van zoute kwel, of op een gedeeltelijke transitie naar aangepaste bedrijfsvoering met meer zouttolerante teelten. De zoetwaterlens in de ondergrond wordt aangevuld in de winter en wordt langzaam dunner in de zomer. In warme, droge zomers kan de zoetwaterbeschikbaarheid in het gedrang komen, maar dit staat los van de keuze voor het al dan niet verwijderen van dammen en stormvloedkeringen. In afgesloten bekkens als de Grevelingen en het Veerse Meer zou in principe gekozen kunnen worden om het peil niet volledig mee te laten stijgen met de zeespiegel. Dit zou de kweldruk (en dus de zoute kwel) richting binnendijks

<sup>5</sup> Ter vergelijking: de kosten voor de aanleg van de Zeelandbrug in 1963-1965 bedroegen 83 miljoen gulden, ofwel ongeveer 250 miljoen euro met prijspeil 2025.

gebied verlagen ten opzichte van een situatie met volledig meestijgend peil. Wel vraagt onvolledig meegroeien mogelijk om (extra) pompcapaciteit. In een nature-based strategie stijgt de gemiddelde waterstand vrijwel altijd mee met de zeespiegel.

De voornaamste impact van het verwijderen van dammen in de Zeeuwse Delta is het vervallen van het Volkerak-Zoommeer als strategische zoetwaterbuffer. Het Volkerak-Zoommeer wordt benut als zoetwaterbuffer door de waterschappen Brabantse Delta, Scheldestromen en Hollandse Delta. Voor deze waterschappen is dan een alternatieve zoetwatervoorziening nodig. Bijvoorbeeld door middel van een pijpleiding vanaf een locatie verder bovenstrooms op de rivieren, zoals momenteel ook al wordt gebruikt voor de drinkwaterleiding en landbouwleiding van Evides, waarbij water vanaf de Biesbosch tot aan Zeeuws-Vlaanderen wordt getransporteerd. Het voordeel is dat rechtstreeks gebruik (piekwatervraag orde 4 m<sup>3</sup>/s) om minder water vraagt dan de huidige doorspoeling die nodig is om het Volkerak-Zoommeer zoet te houden (orde 35 m<sup>3</sup>/s in het huidige klimaat<sup>6</sup>). Volgens de systeemanalyse van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging is het Volkerak-Zoommeer tot 125 cm zeespiegelstijging houdbaar, mits de doorspoeling vanuit de Volkeraksluizen minimaal 60 m<sup>3</sup>/s is (Arcadis en Hydrologic, 2023). Deze relatief grote doorspoelvraag kan vervallen bij aanvoer van een relatief klein debiet vanuit het zoete deel van het watersysteem.

### 3.5 Nadere uitwerking voor de Oosterschelde

Met behulp van enkele verkennende berekeningen is onderzocht hoe nature-based solutions invloed hebben op waterstanden, golven en benodigde dijkhoogtes rond de Oosterschelde. Uit de berekeningen volgen deze conclusies:

- Verwijderen van de stormvloedkering zorgt bij de huidige zeespiegel voor 1 m (herhalingstijd 100 jaar) tot 2,5 m (herhalingstijd 100.000 jaar) hogere waterstanden op de Oosterschelde. De hogere waterstanden en lokaal ook hogere golven vragen om ongeveer 3 m hogere dijken.
- Sommige dijken rond de Oosterschelde hebben momenteel een aanzienlijke overhoogte, omdat ze voor de aanleg van de Oosterscheldekering functioneerden als zeedijk. De hoogteopgave bij zeespiegelstijging en/of verwijderen van de stormvloedkering is op die trajecten relatief beperkt. Wel is naar verwachting een aanpassing aan dijkbekledingen nodig, met een harde bekleding tot op hogere niveaus. Verder is zettingsvloeiing een aandachtspunt bij dijken in de nabijheid van diepe getijdegeulen.
- Meegroeien van de bodem van de Oosterschelde heeft alleen invloed op benodigde dijkhoogtes als de golven tijdens stormvloeden in hoogte beperkt worden door de bodemligging (ook na zeespiegelstijging en/of verwijderen van de stormvloedkering). Dit is het geval bij delen van Noord-Beveland, Zuid-Beveland en de Grevelingendam. Delen langs Schouwen-Duiveland liggen bij noordwesterstorm meer in de luwte, waardoor de interactie tussen golven en bodem daar minder van belang is.
- Als een schor of meegroeilandchap wordt aangelegd (bodemhoogte op springtijniveau) op plekken waar nu diep water aanwezig is, volstaan ca. 3 m lagere dijken. Bij verwijderen van de stormvloedkering is het verschil kleiner (ongeveer 1,5 m), omdat schorren minder effect hebben bij grotere waterdieptes.
- Aanleg van een voorland, meegroeilandchap of verwijderen van de stormvloedkering heeft eenmalig invloed op waterstanden, golven en benodigde dijkhoogtes. Vervolgens zijn dijkversterkingen nodig in een ritme van ongeveer eens per 50 jaar om te compenseren voor de stijgende zeespiegel. Daarnaast is natuurlijke opslibbing of sedimentsuppletie nodig om voorlanden en meegroeilandchappen mee te laten groeien met de zeespiegelstijging.

<sup>6</sup> <https://iplo.nl/@291053/kaarten-watervedeling-lage-afvoeren/>

In het vervolg van deze paragraaf wordt in meer detail uitgelegd hoe deze conclusies tot stand zijn gekomen.

### Effecten op waterstanden

De berekeningen zijn gebaseerd op drie databases, samengesteld voor het Kennisprogramma Zeespiegelstijging (voor details, zie HKV, 2021 en HKV, 2024c):

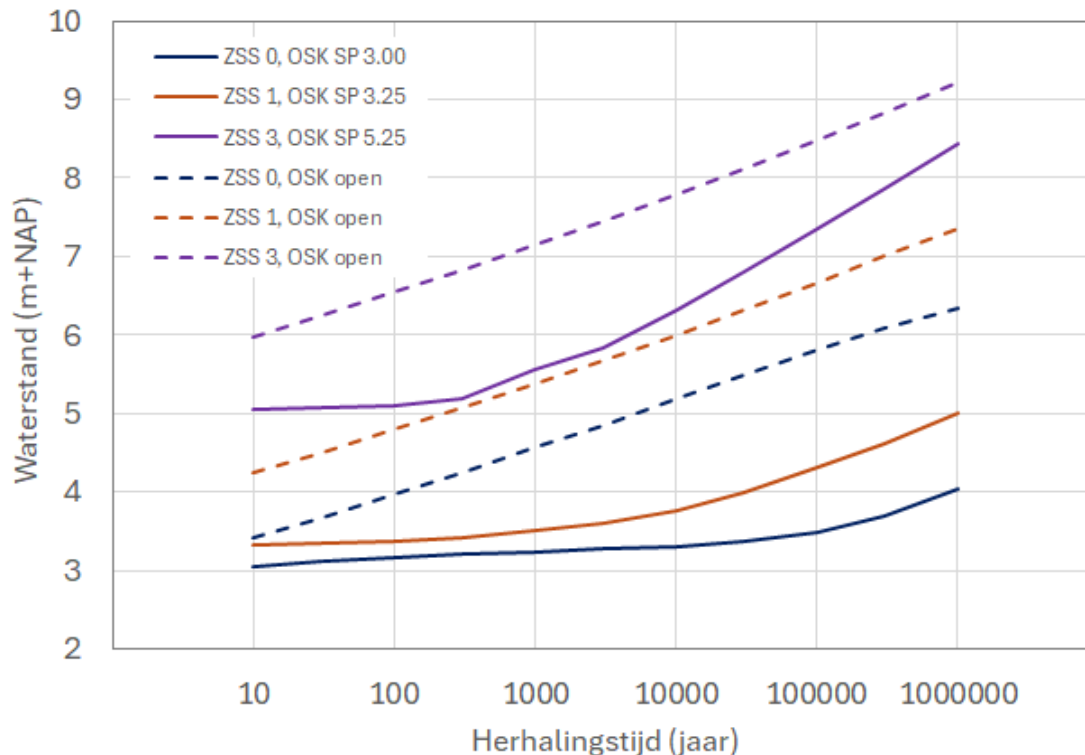
- De huidige situatie, zonder zeespiegelstijging en met een sluitpeil van de Oosterscheldekering (OSK) van NAP+3,00 m.
- De situatie met 1 m ZSS en een sluitpeil van NAP+3,25 m. Het sluitpeil van de OSK is hier dus maar beperkt meegestegen met de zeespiegel, wat inhoudt dat de sluitfrequentie toeneemt.
- De situatie met 3 m ZSS en een sluitpeil van NAP+5,25 m. Bij deze zeespiegelstijging is er veel overloop en overslag over de bovenbalken van de OSK (hoogte overwegend NAP+5,8 m).

Voor waterstanden is ervoor gekozen een berekening uit te voeren voor Stavenisse, een vrij centraal gelegen locatie binnen de Oosterschelde. Figuur 10 toont de met Hydra-NL (v2.8.4) berekende waterstanden op de Oosterschelde bij locatie Stavenisse als functie van de herhalingstijd. Bij lage herhalingstijden is min of meer het gekozen sluitpeil zichtbaar. De lijnen gaan steeds minder vlak lopen als de zeespiegel stijgt: bij sterke zeespiegelstijging heeft de OSK minder reducerende invloed op de waterstanden tijdens extreme stormen. De streepjeslijnen tonen de situatie waarbij de OSK volledig open staat, als benadering voor een situatie met verwijderde stormvloedkering<sup>7,8</sup>.

De huidige Oosterscheldekering reduceert in de huidige situatie waterstanden tijdens stormvloeden met 0,8 m (T=100 jaar) tot 2,3 m (T=100.000 jaar). Bij 1 m ZSS neemt dit toe naar 1,4 m (T=100 jaar) en 2,4 m (T=100.000 jaar). Bij 3 m ZSS reduceert de effectiviteit tot 1,4 m (T=100 jaar) en 1,1 m (T=100.000 jaar). De effectiviteit bij 3 m ZSS kan mogelijk nog worden vergroot door verhogen van de kerende hoogte (breukstenen dammen en bovenbalken verhogen), maar het is twijfelachtig of de pijlers en schuiven de hogere hydraulische belastingen kunnen keren.

<sup>7</sup> Op basis van berekeningen met Hydra-NL waarbij de kans op 62 openstaande schuiven op 1,0 is gezet. Dit is bij benadering gelijk aan een situatie met verwijderde stormvloedkering: waterstanden aan de binnenzijde van de OSK (Roompot Binnen) zijn ongeveer 20 cm lager dan aan de buitenzijde (Roompot Buiten).

<sup>8</sup> Merk op dat dit alleen gaat over het verwijderen van de stormvloedkering. Er is geen onderzoek gedaan naar de invloed van het verwijderen van compartimenteringsdammen als de Grevelingendam en Philipsdam. Dat zou vragen om een integrale systeemanalyse met open Haringvliet, Grevelingen en Oosterschelde.



Figuur 10: Berekende waterstanden bij Stavenisse als functie van de herhalingstijd voor een normaal functionerende Oosterscheldekering (OSK) (getrokken lijnen) en een open OSK (streepjeslijnen) voor 3 verschillende zeespiegelstijgingen (0, 1 en 3 m ZSS).

### Effecten op benodigde dijkhoogtes

De vraag is hoe deze waterstandsverschillen leiden tot verschillen in benodigde dijkhoogte en bijbehorend ruimtebeslag. Er zijn daarom berekeningen met Hydra-NL uitgevoerd voor het Hydraulisch Belastingniveau (HBN, benodigde dijkhoogte) voor twee locaties op de Oosterschelde. Er is gerekend met een kritiek overslagdebiet van 5 l/s/m:

- Stavenisse als relatief geëxponeerde locatie op Tholen met een laaggelegen voorland en
- Rattekaai als relatief beschermt gelegen locatie met hooggelegen voorland (schor) voor dit dijktraject van Zuid-Beveland Oost.

Onderstaande tabel geeft de kenmerken van deze twee locaties weer.

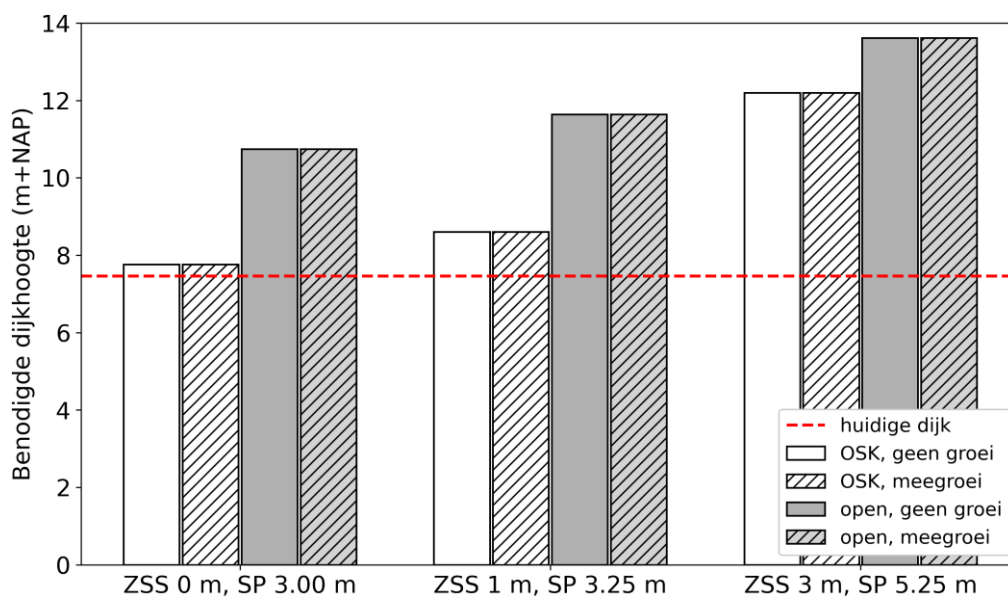
Tabel 2: Kenmerken van de twee locaties waarvoor berekeningen zijn uitgevoerd

Locatie	Stavenisse	Rattekaai
Traject	27-2 (Tholen & St. Philipsland)	31-2 (Zuid-Beveland Oost)
Ondergrens	1/10.000 per jaar	1/3.000 per jaar
Doorsnede-eis GEBU/GEKB	1/68.966 per jaar	1/20.690 per jaar
Dijkhoogte	NAP+7,5 m	NAP+7,0 m
Dijknormaalrichting	299°N	34°N
Dijktaludhelling	1:3	1:4
Bodemhoogte voorland	NAP-1,9 m	NAP+2,0 m

Figuur 11 toont de berekende benodigde dijkhoogtes voor **locatie Stavenisse** voor verschillende waarden voor de zeespiegelstijging (ZSS) en het bijbehorende sluitpeil (SP). In de huidige situatie is de benodigde hoogte ongeveer gelijk aan de aanwezige dijkhoogte. Verwijderen van de OSK zou bij de huidige zeespiegel de benodigde dijkhoogte met 3,0 m laten toenemen tot NAP+10,7 m. Dit komt grotendeels rechtstreeks door de hogere waterstanden, maar daarnaast ook indirect doordat

de golven wat hoger worden bij de grotere waterdiepte. In de huidige situatie zijn ze dieptegelimiteerd ( $H_{m0}=2,26$  m, 45% van de waterdiepte); bij verwijderen van de stormvloedkering stijgen de waterstanden waardoor de golven niet langer dieptegelimiteerd zijn en daardoor iets hoger worden ( $H_{m0}=2,52$  m, 34% van de waterdiepte). Een dijkverhoging met 3,0 m vraagt om 18 m extra ruimtebeslag (binnendijks en/of buitendijks).

Bij 1 m ZSS stijgt de benodigde dijkhoogte met 0,8 m mét OSK en met 0,9 m zonder OSK. Het al dan niet meegroeien van de bodem van de Oosterschelde heeft geen significante invloed op de benodigde dijkhoogte, omdat de golven niet dieptegelimiteerd zijn (zie ook later in deze paragraaf, onder het kopje 'Invloed van morfologische veranderingen'). Bij 3 m ZSS neemt de invloed van de OSK af, waardoor de dijkhoogte met 4,5 m stijgt ten opzichte van de huidige situatie. Zonder OSK is de stijging 2,9 m bij 3 m ZSS. Bij 3 m ZSS wordt de dijk bij handhaven van de 1:3 taluds 27 m breder mét OSK en 35 m breder zonder OSK.

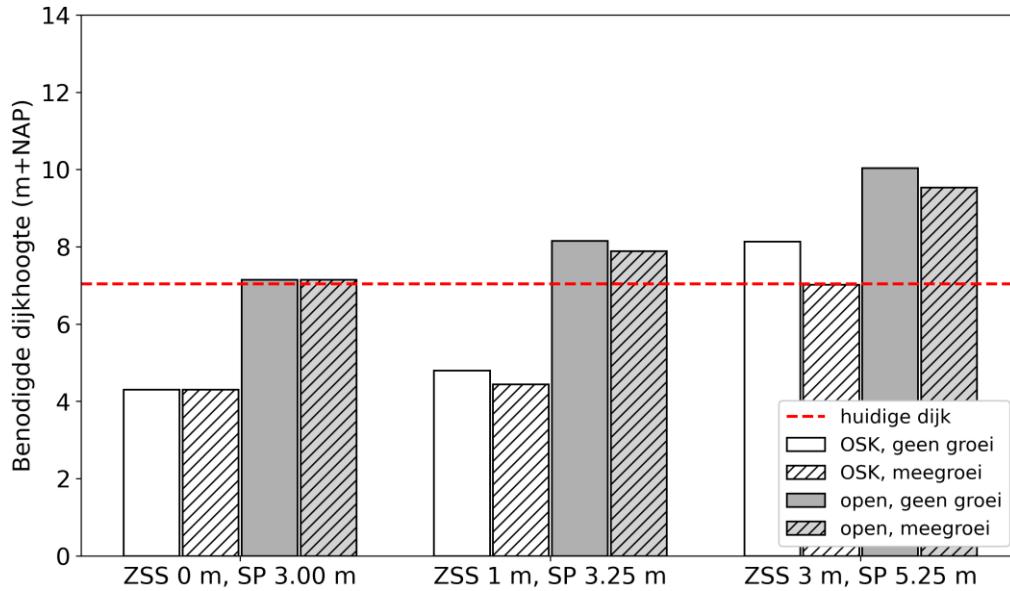


Figuur 11: Benodigde kruinhoogte van de dijk bij Stavenisse (traject 27-2) voor 0, 1 en 3 m ZSS en het bijbehorende sluitpeil (SP), met en zonder Oosterscheldekering (OSK) en met en zonder meegroei van de bodem van de Oosterschelde voor de dijk.

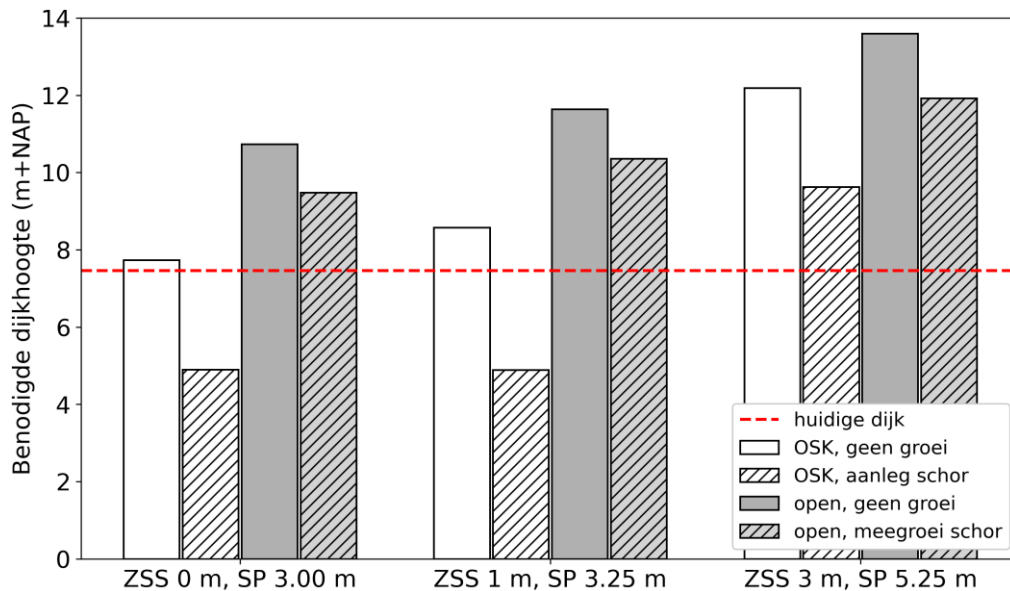
Figuur 12 toont de berekende benodigde dijkhoogtes voor **locatie Rattekaai**. De huidige dijk is hier veel hoger (NAP+7,0 m) dan de benodigde dijkhoogte (NAP+4,3 m). Dit komt door (i) de lagere trajectnorm dan bij Stavenisse, (ii) de aanwezigheid van het schor voor de dijk en (iii) de oriëntatie richting noordoost (34°N), waardoor golven bij noordwesterstorm zeer schuin op de dijk invallen. Verwijderen van de OSK zorgt hier voor een toename in benodigde dijkhoogte naar NAP+7,2 m. De huidige dijk op NAP+7,0 m volstaat hier dus nog ongeveer voor de voormalige situatie zonder Oosterscheldekering. Deze locatie illustreert dat een deel van de voormalige zeedijken rond de Oosterschelde nog overhoogte heeft in de huidige situatie met OSK. Overigens zijn andere delen van traject 31-2 op het noordwesten gericht, wat daar vraagt om een hogere dijk.

Bij 1 m ZSS stijgt de benodigde dijkhoogte met 0,5 m als de bodem niet meestijgt. Bij volledig meegroeien van het schor voor de dijk is deze stijging slechts 0,1 m. Bij 3 m ZSS is dit respectievelijk 3,8 m en 2,7 m. Waterstanden stijgen met de zeespiegel, maar golven nemen niet toe door

de limiterende werking van het voorland<sup>9</sup>. Als de stormvloedkering wordt verwijderd, neemt de invloed van het meegroeien van het schor af van 1,1 m (met OSK bij 3 m ZSS) naar 0,5 m (zonder OSK bij 3 m ZSS). Dat komt doordat de OSK de waterstanden reduceert, waardoor de dieptelimitering van de golfhoogte door het schor sterker is.



Figuur 12: Benodigde kruinhoogte van de dijk bij Rattekaai (traject 31-2) voor 0, 1 en 3 m ZSS en het bijbehorende sluitpeil (SP), met en zonder Oosterscheldekering (OSK) en met en zonder meegroei van de bodem van de Oosterschelde voor de dijk.



Figuur 13: Benodigde kruinhoogte van de dijk bij Stavenisse (traject 27-2) voor 0, 1 en 3 m ZSS en het bijbehorende sluitpeil (SP), met en zonder Oosterscheldekering (OSK) en met en zonder aanleg van een voorland op het niveau van een volwassen schor.

<sup>9</sup> Toegepaste vuistregel:  $H_{m0} = 0,45 \cdot \text{waterdiepte}$ . Berekeningen zijn uitgevoerd in het illustratiepunt van de Hydra-NL berekeningen zonder meegroeiende bodem.

Als ook bij locatie Stavenisse een schor wordt gerealiseerd met bodemhoogte rond springtijniveau, kan dit de benodigde dijkhoogte aanzienlijk verlagen: in de huidige situatie met 2,8 m mét OSK en 1,3 m zonder OSK (zie Figuur 13). Ook hier geldt dat een schor meer invloed heeft op de golven bij lagere waterstanden achter een gesloten stormvloedkering.

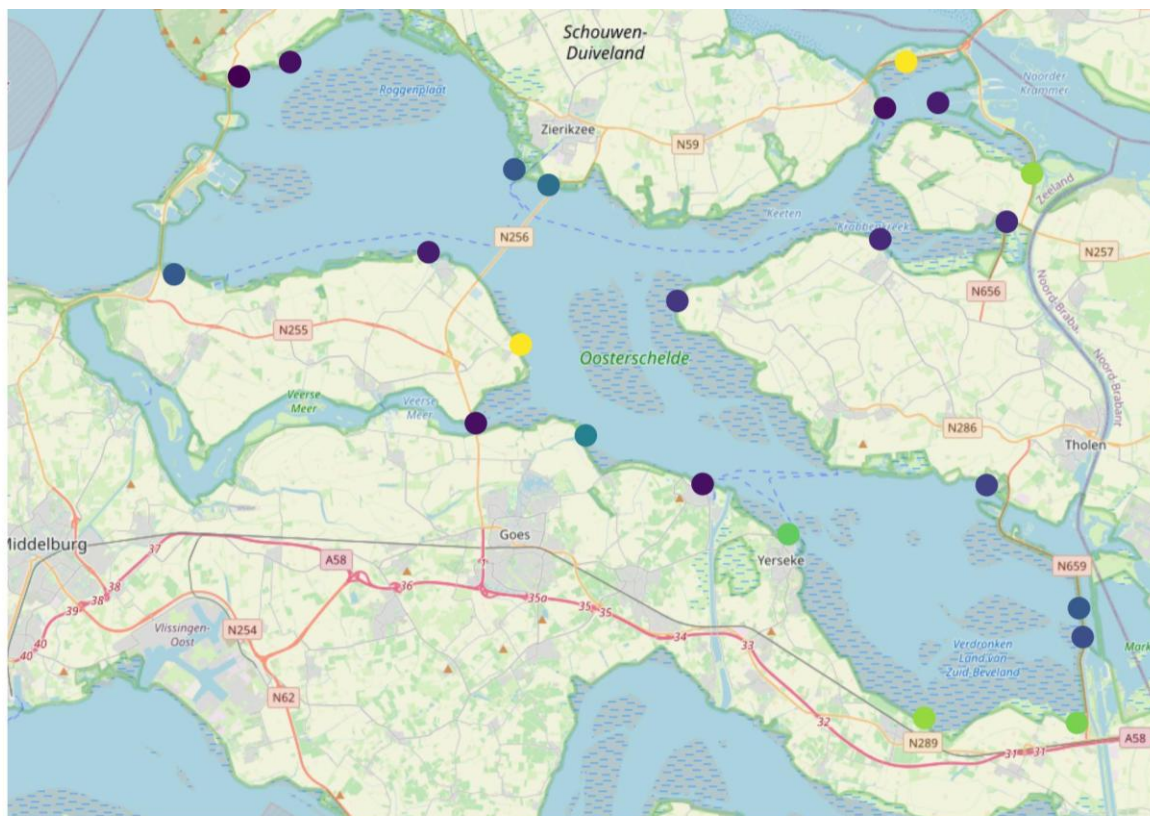
Een schor buiten de dijk ontstaat bij Stavenisse niet op natuurlijke wijze. Het vraagt op deze locatie om beschermende luwtemaatregelen met stortstenen of rijshouten dammen en waarschijnlijk ook om suppletie van zand en slib om binnen afzienbare tijd de benodigde bodemhoogte voor schorontwikkeling te kunnen realiseren. Een alternatief is een binnendijks schor tussen dubbele dijken. Het meegroeilandschap groeit mee met de zeespiegel. De huidige dijk fungeert als opsluiting en luwtestructuur, de nieuwe landwaartse dijk als primaire waterkering. In het geval van een doorbraak van de nieuwe dijk, beperkt het meegroeilandschap de bresdimensies en overstromingsgevolgen. Figuur 14 laat zien hoe een binnendijks schorrengedebied ingepast zou kunnen worden als meegroeilandschap, gebruik makend van relatief dunbevolkte gebieden en waar mogelijk van contouren van reeds aanwezige verhogingen in het landschap.



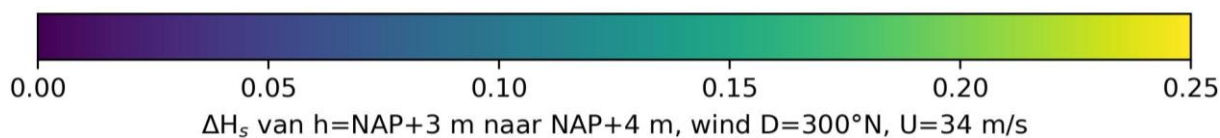
Figuur 14: Mogelijke ruimte voor meegroeilandschappen tussen de huidige dijk en huidige woningen. Bron: <https://nature-basedsolutions-acceptatie.hkvservices.nl/>

### Invloed van intergetijdengebied

Morfologische veranderingen in de Oosterschelde hebben lang niet overal invloed op de golven in de Oosterschelde. Als golven relatief laag zijn ten opzichte van de waterdiepte, zijn de windsnelheid en strijklengte bepalend voor de golfhoogte. Alleen op ondieper water krijgt de waterdiepte invloed. Daar heeft verdrinken van intergetijdengebied, de zandhonger, het meegroeien van intergetijdengebied en plaatsuppleties invloed op de hydraulische belasting. Voor de meeste locaties is NW-storm maatgevend voor de benodigde dijkhoogte, omdat er zonder NW-storm weinig of geen stormvloed optreedt. Figuur 15 laat zien hoe de golfhoogte bij NW-storm verandert als de zeespiegel stijgt van NAP+3 naar +4 m. Op veel locaties is nauwelijks invloed te zien (donkerblauwe bolletjes). Hier zijn de golven wind-gedomineerd. De bodem heeft invloed bij Veerhaven Kats (Noord-Beveland), het traject van Yerseke tot aan de Oesterdam (Zuid-Beveland) en bij de Grevelingendam. Op al deze locaties liggen slikken en schorren voor de dijk (zie de achtergrondkaart van Figuur 14), waardoor verdrinken versus meegroeien van belang is voor dijkhoogtes.



(C) OpenStreetMap contributors



*Figuur 15: Verandering van de significante golfhoogte bij een stijging van de zeewaterstand van NAP+3 m naar +4 m bij 34 m/s wind uit richting 300 graden en met een volledig open Oosterscheldekering. Intergetijdengebied is te zien in de achtergrondkaart.*

Verwijdering van de Oosterscheldekering zou leiden tot hogere waterstanden en lagere golfhoogte/waterdiepte-verhoudingen. In die zin bevordert de Oosterscheldekering de golfdempende werking van slikken en schorren. Anderzijds vindt er gestage erosie van dit intergetijdengebied plaats door diezelfde stormvloedkering (de eerder beschreven zandhonger). Een natuurvriendelijke stormvloedkering is vanuit het perspectief van effectieve voorlanden een kansrijk compromis.

### Dijkversterkingskosten

In alle gevallen (met/zonder voorland, meegroeilandschap of stormvloedkering) geldt dat de benodigde dijkhoogte stijgt als de zeespiegel stijgt. Opslibbende landschappen kunnen weliswaar voorkomen dat zeespiegelstijging resulteert in hogere golven en grotere overstromingsgevolgen, maar het effect van de zeespiegelstijging zelf is niet te mitigeren. Daarom zijn bij zeespiegelstijging altijd dijkversterkingen nodig in een ritme van ongeveer eens per 50 jaar<sup>10</sup>. De benodigde dijkverhoging per versterkingsronde kan verschillen, maar de invloed daarvan op kosten per versterkingsronde is relatief klein. Een aanzienlijk deel van de huidige HWBP-projecten bestaat uit vaste kosten. Ongeveer 30% van de kosten betreft kosten voor verkenning, planfase en engineering in de realisatiefase (niet-publiek beschikbare cijfers over recente dijkversterkingsprojecten). Van de orde 70%

<sup>10</sup> Deze 50 jaar is het uitgangspunt in Spoor II en IV van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging. Er is hierin mogelijk nog ruimte voor optimalisatie, maar dat staat los van een al dan niet nature-based strategie.

bouwkosten bestaat ook een aanzienlijk deel uit vaste kosten (voorbeelden: mobiliseren van materieel en vervangen van de bekleding). Slechts een klein deel heeft betrekking op de mate van dijkverhoging via het grondvolume. Daarom is het ritme van 50 jaar dominant voor lange-termijn dijkversterkingskosten, en niet de exacte snelheid van zeespiegelstijging of de invloed van opslibbend intergetijdengebied op golfbelastingen.

# Zuidwestelijke Delta

Na de watersnoodramp van 1953 zijn in de Zuidwestelijke Delta zeearmen afgedamd en stormvloedkeringen aangelegd. Deze strategie heeft op langere termijn echter ook nadelen op het gebied van erosie, meegroeivermogen en waterkwaliteit. Herstel van getij, verbindingen en ruimte voor meegroeiland-schappen kan de robuustheid van de delta vergroten en tegelijkertijd ecologische voordelen opleveren.

1825

Open zeearmen en estuaria, onderling verbonden, met veel intergetijdengebied.



2025

Veel dammen en keringen, minder connectiviteit en minder dynamiek.



## Problematiek

Door dammen en keringen groeit de Zuidwestelijke Delta niet of beperkt mee met de zeespiegel en erodeert veel intergetijdengebied. Terwijl de zeespiegel stijgt, daalt het binnendijkse maaiveld. De potentiële gevolgen van overstromingen nemen daardoor toe. Verder kennen de verschillende wateren elk hun eigen specifieke problematiek:

### Grevelingenmeer

⚠ Zout binnenmeer met weinig dynamiek. Geen schorren of getijdegeulen meer, nauwelijks vismigratie. In diepe delen heerst zuurstofloosheid.

### Oosterschelde

⚠ Door de stormvloedkering en dammen is er zandhonger, wat heeft geleid tot 30% afname van platen en schorren in 35 jaar. Dit zorgt lokaal voor hogere golven bij de dijken en een afname van foerageer- en rustgebied voor vogels en zeehonden.

### Westerschelde

⚠ Door zeespiegelstijging en bodemdaling grotere potentiële gevolgen van dijkdoorbraken. Minder intergetijdengebied door historische afsluitingen van de Sloe en Braakman. O.a. door vaargeulverruiming hogere hoogwaterstanden en veel baggerwerk.

### Volkerak-Zoommeer

⚠ Zoetwaterbuffer voor de Zuidwestelijke Delta. Zeespiegelstijging en lage rivierafvoeren zetten doorspoeling onder druk. Geen getij, veel bestortingen i.v.m. oevererosie. Hoge nutriëntbelasting leidt tot blauwalg.

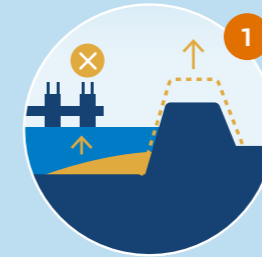
### Veerse Meer

⚠ Afgesloten brak binnenmeer met beperkte doorspoeling. Weinig verversing en gelaagdheid in diepe delen. Te veel fosfor en stikstof veroorzaken overmatige groei van wieren en algen.

## Oplossingsrichtingen

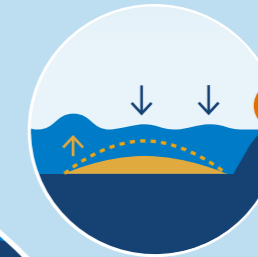
### Bouwstenen

In een Nature-based oplossingsrichting zijn meerdere bouwstenen\* mogelijk, waarbij onderstaande bouwstenen mogelijk kansrijk zijn in de Zuidwestelijke Delta.



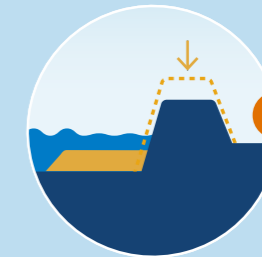
### Aanpassen stormvloedkeringen, sluisen en dammen:

Investeringen in dijken in plaats van dammen en stormvloedkeringen, waardoor de delta meegroeit met de zeespiegel en natuurlijke dynamiek en connectiviteit terugkeren.



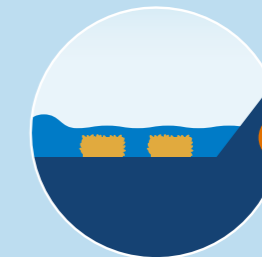
### Plaatsuppleties:

Behoud van intergetijdengebied zorgt voor lagere golven en behoud van foerageer- en rustgebieden.



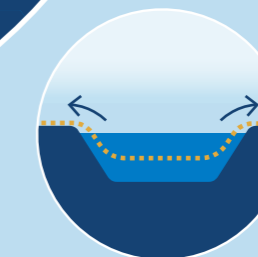
### Buitendijkse voorlanden:

Met buitendijkse natuur zijn minder hoge dijken en minder zware dijkbekleding nodig.



### Oesterriffen en schelpenbanken:

Reductie van erosie van intergetijdengebied.



### Verdiepen vaargeul:

Op lange termijn lagere hoogwaters en minder erosie van intergetijdengebied bij een ondiepere geul.



### Meegroeilandschappen:

Schorrenlandschap tussen twee dijken groeit mee met zeespiegel, wat zorgt voor minder slachtoffers bij dijkdoorbraken.

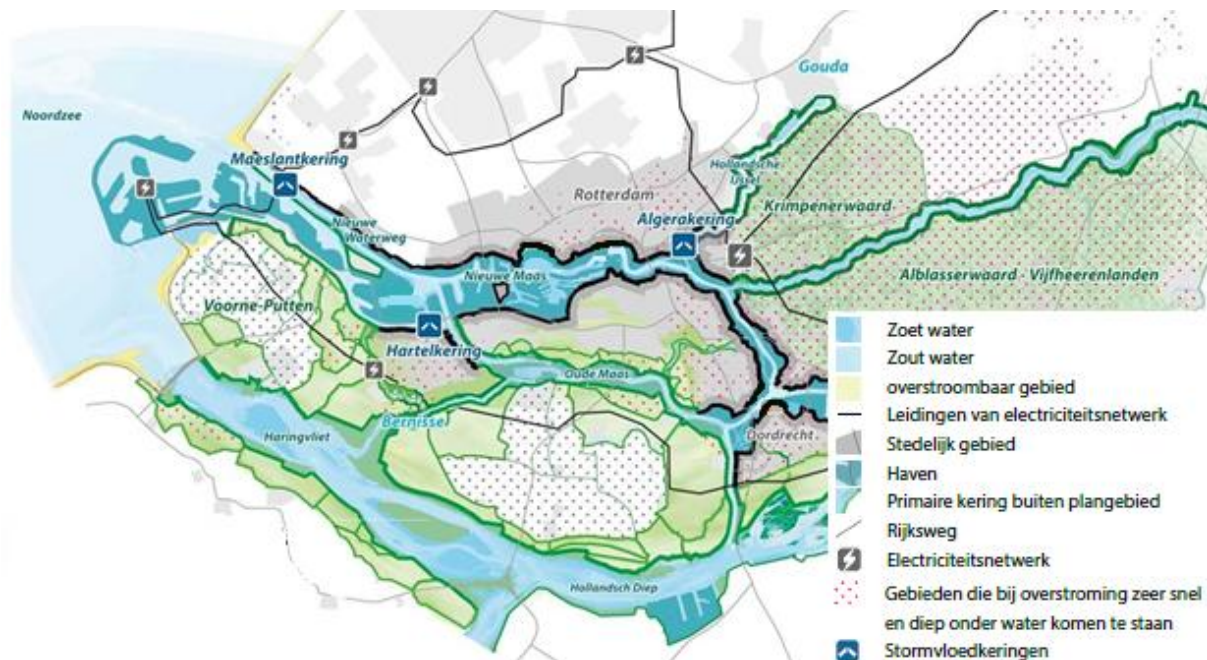


\*Veel bouwstenen kunnen ook op andere locaties worden toegepast dan weergegeven met de cijfers.

## 4 Rijnmond-Drechtsteden

### 4.1 Systeembeschrijving

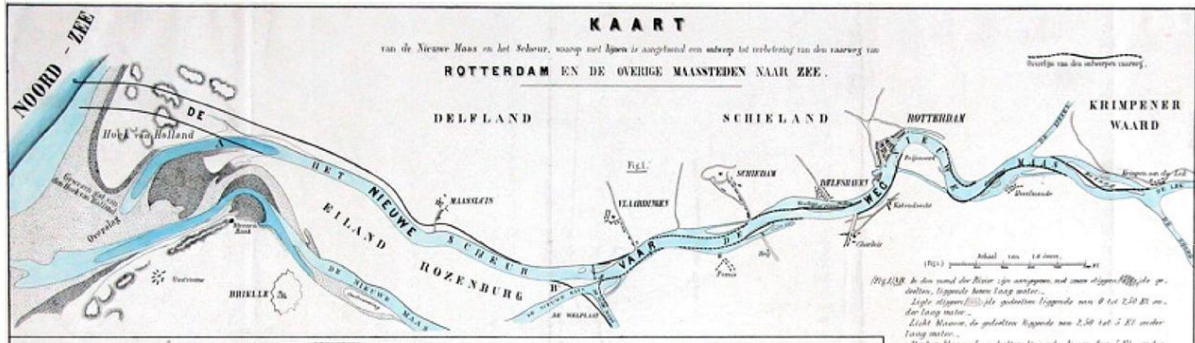
De regio Rijnmond-Drechtsteden is het overgangsgebied tussen de rivieren Maas, Waal en Lek aan de oostzijde en de Noordzee aan de westzijde, het gebied waar zowel rivierafvoer als getij invloed heeft. Aan de noordrand vormen de Nieuwe Waterweg, Nieuwe Maas en Hollandsche IJssel de begrenzing, aan de zuidrand het Haringvliet en Hollandsch Diep (Figuur 16).



Figuur 16: Regio Rijnmond-Drechtsteden (o.b.v. Gebraad et al., 2018)

#### Ruimte

Voornamelijk aan de noordrand van de regio Rijnmond-Drechtsteden is ruimte schaars. De Nieuwe Waterweg en Nieuwe Maas snijden hier door dichtbebouwd gebied met woningen, industrie en havens, en ook rond Dordrecht is veel bewoning en bedrijvigheid aanwezig langs de rivieroever. De huidige geometrie is sterk gestuurd door de ontwikkeling van de Rotterdamse haven. Tot de eerste helft van de 19<sup>e</sup> eeuw was de delta van de Rijn sterk vertakt en relatief ondiep. Om de Rotterdamse haven beter bereikbaar te maken, is aan het eind van de 19<sup>e</sup> eeuw de Nieuwe Waterweg gegraven door de duinen bij Hoek van Holland (zie Figuur 17). Daarnaast is de Nieuwe Maas genormaliseerd tussen Krimpen aan de Lek en Hoek van Holland en is het Scheur afgedamd om stroomsnelheden in de Nieuwe Waterweg te verhogen. Vanwege de toenemende diepgang van schepen is de Nieuwe Waterweg meermaals verdiept, met de laatste verdieping in 2018 om de Botlek en Petroleumhavens bereikbaar te maken voor schepen met een diepgang tot 15 m. Hoewel beperkt van omvang, kent de noordrand verschillende gebieden met zoetwatergetijdennatuur, bijvoorbeeld de Ridderkerkse Grienden, Crezeepolder en Sophiapolder langs de Noord en de Carnisse Grienden langs de Oude Maas.



Figuur 17: Ontwerp van de Nieuwe Waterweg volgens Plan Caland, 1857-1863 (Gemeentearchief Rotterdam).

De zuidrand wordt gevormd door het Haringvliet en Hollandsch Diep, met de Biesbosch als belangrijk zoetwatergetijdengebied. Rondom deze wateren bevinden zich verschillende natuurgebieden, zoals het Oudeland van Strijen, Tiengemeten, Hellegatsplaten, Korendijkse Slikken en Scheelhoek. Vanwege de beperkte interactie met de Noordzee bij de Haringvlietsluizen is de getijslag op de zuidrand duidelijk kleiner dan op de noordrand. In de 17<sup>e</sup> tot 20<sup>e</sup> eeuw zijn verschillende delen van het Haringvliet en Hollandsch Diep ingepolderd, bijvoorbeeld rond Numansdorp en Strijen. Met het oog op natuurontwikkeling zijn in de 21<sup>e</sup> eeuw ook ontpolderingsprojecten uitgevoerd, bijvoorbeeld van Tiengemeten, de Beninger Slikken en herstel van getijdeninvloed in de Korendijkse Slikken en de Slikken van Voorne en Scheelhoek.

### Dynamiek en connectiviteit

De noordrand kent via de Nieuwe Waterweg, Nieuwe Maas en Oude Maas een open verbinding met zee, met een getijslag van 1,5 tot 2 m in de monding en ruimte voor een geleidelijke zoet/zoutgradiënt en vismigratie. Hierdoor kent dit gebied de lokaal kenmerkende zoetwatergetijdennatuur. De natuurlijke morfodynamiek wordt sterk beperkt door baggerwerkzaamheden, kades en oeverbestortingen. Scheepvaart en harde infrastructuur belemmeren de connectie tussen water en land voor flora en fauna.

Op de zuidrand belemmeren de Haringvlietsluizen de connectiviteit tussen Noordzee, het Haringvliet en de bovenstroomse rivieren. Ook de getijdynamiek wordt sterk beperkt door de aanwezigheid van het spuilsuizencomplex. Om de connectiviteit te bevorderen worden sinds 2018 de Haringvlietsluizen op een kier gezet, waardoor weer sprake is van een zoet/zoutgradiënt tussen de Haringvlietsluizen en de lijn Spui-Middelharnis. Het kieren maakt weer enige vismigratie mogelijk. Alleen in tijden van lage rivierafvoer wordt gestopt met kieren om te voorkomen dat zout het Spui bereikt, waarin zich de Bernisse-inlaat bevindt, waar zoetwater wordt ingenomen voor in het Brielse Meer. Het aanwezige getij is een gedempt getij met een getijslag van circa 30 cm, want ontstaat door periodiek spuien rond laagwater op zee.

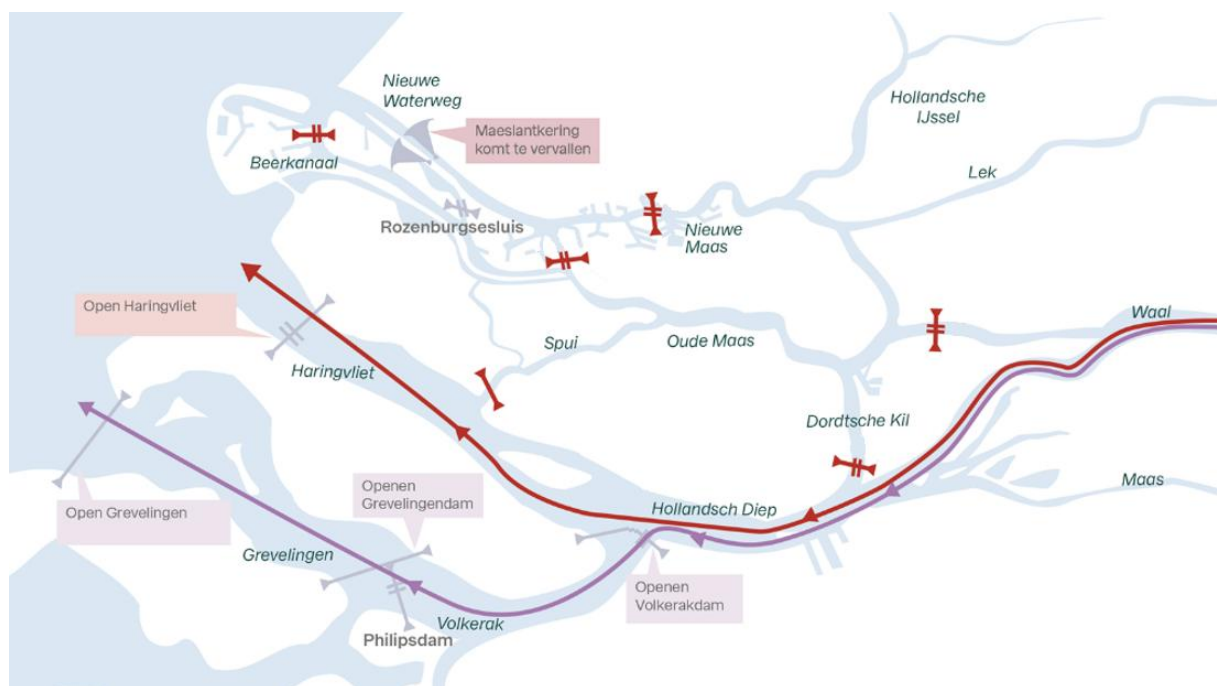
De verschillen in waterstand bij eb en vloed tussen de noordkant en de zuidkant van de verbindingstakken zijn nu groot. Daardoor stroomt het hard in het Spui, de Dordtsche Kil en de Oude Maas, en erodeert de bodem daar (Platform Rivieren, 2019).

Al met al kent de noordrand de dynamiek, maar is de ruimte hier zeer beperkt. De zuidrand heeft grotere arealen beschikbaar, maar de dynamiek en connectiviteit zijn beperkt.

## 4.2 Natuurinclusieve oplossingsrichtingen

In de nature-based denkrichting van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging zijn twee onderzoeksalternatieven ontwikkeld. Voor de regio Rijnmond-Drechtsteden hebben deze twee alternatieven de volgende kenmerken:

- **Alternatief 1:** om de waterveiligheid en zoetwaterbeschikbaarheid in Rijnmond-Drechtsteden te waarborgen, wordt deze regio afgesloten via dammen met binnenvaartsluizen in de Nieuwe Maas, Oude Maas, Spui, Dordtse Kil en Beneden-Merwede: een zogenaamde 'Deltapolder' (zie Figuur 18). De afvoer van de Lek wordt gebruikt voor doorspoeling van de Deltapolder, de afvoer van de Waal en Maas stroomt via het Haringvliet richting de Noordzee. Vanwege de grote rivierafvoer via het Haringvliet is het mogelijk het Haringvliet te openen en te veranderen in een natuurlijk estuarium, vergelijkbaar met de bespreking in het hoofdstuk over de Zuidwestelijke Delta. Rond dit estuarium wordt extra intergetijdengebied gerealiseerd via meegroeiland-schappen. Bij keuze voor een Deltapolder zijn in dit complexe en dichtbevolkte deel van de regio Rijnmond-Drechtsteden geen of nauwelijks dijkversterkingen meer nodig.
- **Alternatief 2:** het Haringvliet, de Nieuwe Waterweg en het Hartelkanaal worden voorzien van nieuwe natuurvriendelijke stormvloedkeringen, waar tijdens dagelijkse omstandigheden ruimte is voor getijdynamiek, morfologische dynamiek en connectiviteit, maar waar de stormvloedkeringen ervoor zorgen dat de dijkversterkingsopgave wordt verkleind. Buiten het natuurvriendelijke karakter van de stormvloedkeringen lijkt dit alternatief sterk op de huidige inrichting van Rijnmond-Drechtsteden.



*Figuur 18: Mogelijke inrichting van Rijnmond-Drechtsteden als Deltapolder, met open estuaria in het Haringvliet en de Grevelingen (op basis van Deltares, 2025a).*

### Waterkwaliteit en ecologie in een Deltapolder

In Deltares (2025a) is een beschouwing gegeven over de effecten op waterkwaliteit en natuur van een strategie die vergelijkbaar is met bovenstaand alternatief 1. In de afgesloten Deltapolder nemen verblijftijden toe als de getijdynamiek wegvalt, wat gevolgen heeft voor waterkwaliteit: hogere watertemperaturen, hogere nutriëntenconcentraties en mogelijk blauwalgenbloei. Vispasseerbaarheid wordt belemmerd door de dammen met schutsluizen. De huidige waardevolle

zoetwatergetijdengebieden zullen een ander karakter krijgen, en alleen nog onderlopen en droogvallen door variaties in rivierafvoer, spuien en pompen.

### **Een open Haringvliet**

Tegenover deze negatieve effecten van de Deltapolder staat het voordeel dat een open estuarium in het Haringvliet, met bijbehorend waardevol areaal aan intergetijdengebied en zoet/zout-gradiënten. Langs de zuidrand van de Rijn-Maasmonding is duidelijk meer areaal aan potentiële getijdenatuur aanwezig dan de huidige getijdenatuur langs de noordrand. De buitendijkse delen van de Biesbosch veranderen bij extreem lage afvoeren mogelijk van een zoetwatergetijdengebied in een brak getijdennatuurgebied, zeker bij sterke zeespiegelstijging. De verwachting is echter dat dit incidenteel zal zijn, waardoor het karakter van de Biesbosch niet fundamenteel verandert.

### **Meegroeivermogen en meegroeilandschappen**

De sedimentaanvoer vanuit de Waal en Maas naar het Haringvliet is zeer beperkt. Bij verwijderen van de Haringvlietdam en -sluizen zal het meegroeivermogen van het estuarium toenemen. Onduidelijk is in hoeverre de import van zand vanuit de Noordzee ervoor kan zorgen dat het systeem volledig meegroeit met zeespiegelstijging. Bij versnelde zeespiegelstijging biedt het verwijderen van de stormvloedkering geen garantie op volledig meegroeien van het morfologisch systeem. De waterbeheerder kan dan de keuze maken om de natuur zijn gang te laten gaan of om actief te suppleren om verlies van intergetijdengebied (deels) te beperken.

In hoofdstuk 3 is uitgelegd onder welke voorwaarden meegroeilandschappen een kansrijke bouwsteen kunnen zijn en hoe zij bij sterke opslibbing baten opleveren door het reduceren van overstromingsgevolgen in het geval van een dijkdoorbraak. Ook langs de waterkeringen van het Haringvliet en Hollandsch Diep zijn meegroeilandschappen te overwegen als nature-based bouwsteen. In het Hollandsch Diep zijn slibconcentraties gemiddeld ongeveer 30-40 mg/l, met verhoogde waarden van circa 70 mg/l bij een relatief hoge aanvoer van slibrijk water vanuit de Maas. In het Haringvliet is de bodem vrijwel volledig zandig en liggen de slibconcentraties lager, overwegend 10-30 mg/l, wat gerelateerd is aan de aanwezigheid van de Haringvlietdam en -sluizen (Van Dreumel, 1995). Bij een volledig open estuarium kan slib zowel vanaf het Hollandsch Diep als vanuit de Noordzee het systeem binnenkomen. Opslibbing van meegroeilandschappen in luwe zones lijkt dan haalbaar, hoewel niet met snelheden zoals rond de Westerschelde.

### **Baggerwerkzaamheden**

De noordrand wordt momenteel op diepte gehouden door baggerwerkzaamheden. In een meer natuurinclusieve strategie ligt het voor de hand om deze baggerwerkzaamheden te extensiveren en meer ruimte te bieden aan de natuurlijke morfodynamiek in het mondingsgebied. Mogelijk vraagt de Nieuwe Waterweg (buiten de Deltapolder) bij een lagere rivierafvoer om meer baggerwerk om voldoende vaardiepte richting Maasvlakte en Botlek te behouden. Naast een lagere rivierafvoer is er ook sprake van minder sedimentaanvoer vanuit de rivieren, waardoor niet op voorhand is te stellen of de veranderingen tot meer of minder sedimentatie in de Nieuwe Waterweg zullen leiden.

In het Haringvliet en Hollandsch Diep heeft sedimentatie plaatsgevonden na aanleg van de Haringvlietssluisen. Als de getijwerking weer wordt teruggebracht, is te verwachten dat de oorspronkelijke morfodynamiek zich zal herstellen en de aanwezige geulen weer dieper zullen worden. Aandachtspunt is erosie van mogelijk vervuild sediment (Deltares, 2025a).

## 4.3 Waterveiligheid

In de huidige situatie wordt de waterveiligheid in de regio Rijnmond-Drechtsteden verzorgd door een complex samenspel tussen de vier stormvloedkeringen (Maeslantkering, Hartelkering, Haringvlietsluizen en Hollandsche IJsselkering) en de dijken, met mogelijke bedreigingen vanuit zee en/of vanaf de rivieren.

### **Systeemanalyse waterveiligheid**

In de Systeemanalyse Waterveiligheid van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging (HKV en Witteveen+Bos, 2023b) is aangetoond dat ook in de regio Rijnmond-Drechtsteden de waterveiligheidsnormen kunnen worden gehandhaafd bij 2 tot 5,4 m zeespiegelstijging, maar dat de opgaven in het dichtbebouwde gebied complex zijn. Het is moeilijk voldoende ruimte te vinden voor dijkverbredingen, er moet veelvuldig gebruik worden gemaakt van relatief dure en moeilijk aanpasbare constructieve dijkversterkingen (met bijvoorbeeld damwanden of kistdammen) en buitendijkse bebouwing wordt getroffen. Zeespiegelstijging kan in eerste instantie worden opgevangen door vaker sluiten van de stormvloedkeringen, maar hun invloed wordt steeds kleiner bij sterke zeespiegelstijging.

### **Deltapolder met open Haringvliet**

In alternatief 1 wordt de zogenaamde Deltapolder gerealiseerd. Daarmee wordt de dijkversterkingsopgave in de dichtbevolkte delen van Rotterdam en Dordrecht relatief beperkt gehouden. De afvoer van de Lek stroomt uit in de Deltapolder en moet bij sterke zeespiegelstijging worden weggepompt richting de Noordzee. In tegenstelling tot stormvloedkeringen hebben dammen met binnenvaartsluizen een verwaarloosbaar kleine faalkans, waardoor het peil in de Deltapolder kan worden beheerst door middel van reguleren van de aanvoer via de Lek en het realiseren van voldoende spui- en maalcapaciteit bij de verschillende sluizencomplexen in de Nieuwe Maas, Oude Maas, Spui en Dordtse Kil. Buiten de Deltapolder (bijvoorbeeld Vlaardingen, Maassluis, Rozenburg) zijn nog wel dijkversterkingen nodig.

Keuze voor een Deltapolder is voornamelijk te onderbouwen vanuit kosten, ruimtebeslag en maatschappelijke impact om de waterveiligheid in de regio Rijnmond-Drechtsteden te blijven garanderen bij sterke zeespiegelstijging. Investeringskosten voor dijkversterkingen en kunstwerken (schutsluizen, spuimiddelen en gemalen) liggen voor deze specifieke regio lager bij een gesloten zeefront met beheerst waterpeil op het huidige NAP dan bij een open zeefront (Kennisprogramma Zeespiegelstijging, 2024 en 2025a,b). Voornamelijk dijkversterkingen in dichtbebouwd gebied en investeringen gerelateerd aan bebouwing in buitendijk gebied zijn daarbij kostenbepalend.

Langs de zuidrand liggen extreme waterstanden momenteel ongeveer 2,5 m lager dan op zee door de aanwezigheid van de Haringvlietdam met daarin de afsluitbare spuisluizen (zie ook paragraaf 3.3). Bij verwijderen van deze stormvloedkering ontstaat een extra versterkingsopgave voor de dijken rond het Haringvliet en Hollands Diep. Het effect van de Haringvlietsluizen op golven is voor het Haringvliet met zijn smalle en beschut gelegen monding minder relevant dan bijvoorbeeld in de Oosterschelde en Grevelingen. Verder stroomt al het water van de Waal en Maas via het Haringvliet richting de Noordzee, zonder bijdrage van de Nieuwe Waterweg (momenteel circa 30% bij extreme rivierafvoer). De extra afvoer via de route Waal, Boven-Merwede, Nieuwe Merwede, Hollandsch Diep en Haringvliet kan leiden tot grotere benodigde dijkhoogtes, voornamelijk vanaf de Biesbosch stroomopwaarts.

De combinatie uit alternatief 1 met een Deltapolder en een open Haringvliet kan worden gezien als een mengvorm tussen het open en gesloten zeefront, waarbij vergaande dijkversterkingen rond Rotterdam en Dordrecht worden vermeden middels de Deltapolder en waarbij wordt voorkomen dat de hele afvoer van de Rijn en Maas moet worden weggepompt. Alleen de afvoer van de Lek stroomt door de Deltapolder en moet worden weggepompt; de afvoer van Waal en Maas kan vrij afstromen via het Haringvliet. Langs de Waal en het Haringvliet zijn investeringen in dijkversterkingen nodig vanwege het verwijderen van de Haringvlietsluizen. Onder de streep maakt de combinatie van Deltapolder en open zeearmen alternatief 1 goedkoper (ca. 14 van 200 MLD euro) dan het voortzetten van de huidige strategie bij 5,4 m ZSS, volgens de grove ramingen uit Kennisprogramma Zeespiegelstijging (2025a).

### Natuurvriendelijke stormvloedkeringen

Voor alternatief 2 geldt dat onder dagelijkse omstandigheden de stormvloedkeringen open staan, terwijl ze de regio Rijnmond-Drechtsteden beschermen tijdens stormvloed. De waterveiligheid is in deze strategie voor de regio Rijnmond-Drechtsteden sterk vergelijkbaar met de voorkeursstrategie, onder de veronderstelling dat natuurvriendelijke stormvloedkeringen dezelfde betrouwbaarheid kunnen krijgen als traditionele stormvloedkeringen (Maeslantkering, Haringvlietsluizen). Kosten voor dijkversterkingen in de regio Rijnmond-Drechtsteden liggen dan ook in lijn met de kosten voor de voorkeursstrategie.

## 4.4 Zoetwaterbeschikbaarheid

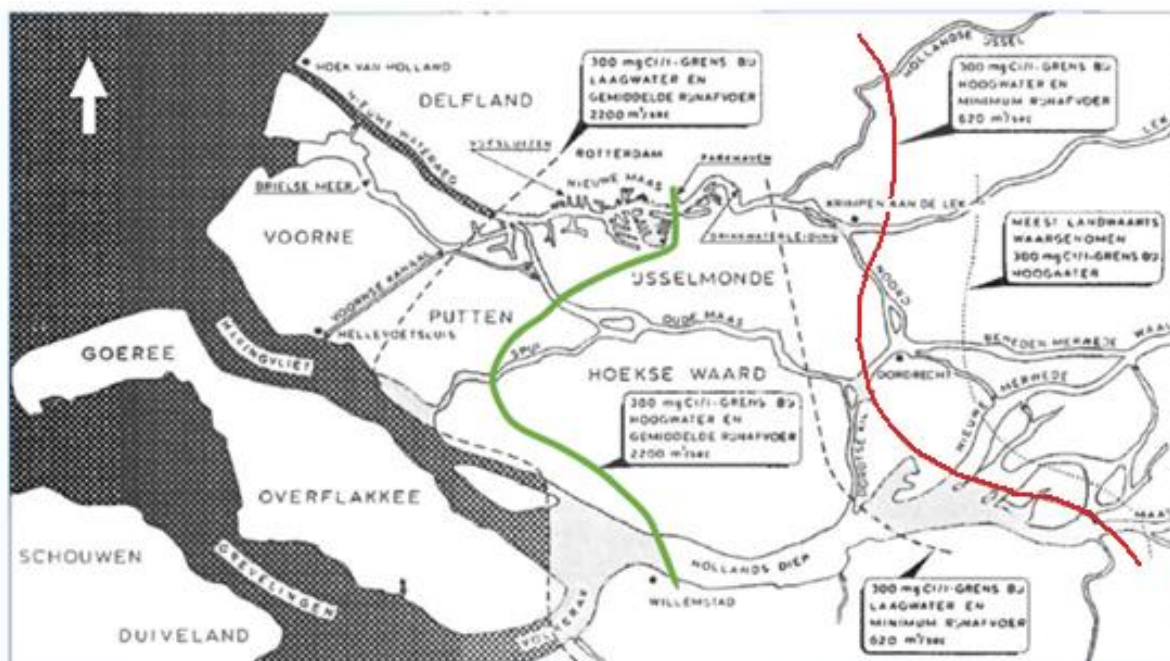
Via de diepe Nieuwe Waterweg beweegt zout water in de vorm van een zouttong het systeem in, waardoor de inlaat van zoetwater bij inlaatpunten langs de Nieuwe Maas, Hollandsche IJssel, Lek en het Spui in het gedrang kan komen. Hoe dieper de rivieren, hoe verder het zout landinwaarts kan bewegen. In een nature-based strategie ligt het voor de hand om te kiezen voor minder diepe vaarwegen, waarbij de natuurlijke morfodynamiek een grotere rol speelt. Functioneel sluit dit aan bij de huidige trend in de Nieuwe Waterweg, waarbij er steeds minder noodzaak is om diepstekende olietankers in de Botlekhavens te kunnen ontvangen. Voor de Rotterdamse haven is met name grote diepgang nodig op de Maasvlakte.

In HKV (2024) is onderzoek gedaan naar de houdbaarheid en oprekbaarheid van de zoetwatervoorziening in de Rijn-Maasmonding in de Voorkeursstrategie bij sterke zeespiegelstijging. Klimaatverandering kan in 2100 leiden tot een halvering van het debiet door de Nieuwe Waterweg in droge zomers. Hierdoor nemen chlorideconcentraties in de zoetwaterbuffers Hollandsche IJssel, Lek en Spui sterk toe, en bereikt zout het Hollandsch Diep via de Dordtse Kil. Zeespiegelstijging versterkt deze problematiek, maar minder sterk dan de afname in rivierafvoer. Het effect van 3 m zeespiegelstijging staat gelijk aan een halvering van het debiet door de Nieuwe Waterweg. De noordrand is gevoeliger voor zeespiegelstijging dan de zuidrand, terwijl de zuidrand weer sterker reageert op een afname van de rivierafvoer.

In **alternatief 1** wordt de regio Rijnmond-Drechtsteden omgevormd tot een afgesloten deltapolder met een laag peil en zoetwater. In Deltares (2025a) is met eenvoudige berekeningen aannemelijk gemaakt dat een deltapolder met zeesluizen tot een zeer hoge zoutlast leidt. De grote zoutlast kan slechts worden tegengegaan met een doorspoeldebiet wat groter is dan de rivierafvoeren in de huidige open situatie. Daarom ligt alleen een deltapolder met binnenvaartsluizen voor de hand vanuit het perspectief van zoetwaterbeschikbaarheid. Zeeschepen blijven buiten de deltapolder (Maasvlakte, Botlek, Petroleumhavens). De rivierafvoer vanuit de Lek zorgt ervoor dat de zoutvracht

vanuit de binnenvaartsluizen weer wordt teruggevoerd naar zee. Zo blijft de Deltapolder zoet en geschikt voor onttrekkingen bij bijvoorbeeld de Hollandsche IJssel en het Spui.

De afvoer van de Waal en Maas stroomt via het open Haringvliet richting zee. Hier zal na openen van het estuarium een zoet/zout-gradiënt ontstaan die vergelijkbaar is met de situatie vóór aanleg van de Haringvlietdam en Haringvlietssluisen. Bij gemiddelde rivierafvoer lag het zoutfront ongeveer bij Willemstad, bij zeer lage rivierafvoer bij de Dordtse Kil en westpunt van de Biesbosch. De inname van zoetwater langs de Bergsche Maas hoeft bij deze variant niet in het geding te komen. Als een deel van het debiet door de Nieuwe Waterweg vrijkomt voor doorspoeling van het Hollandsch Diep en Haringvliet, kan het zoutfront zelfs verder zeewaarts komen te liggen dan in de historische situatie. Bij zeespiegelstijging kan het zout potentieel wel verder landinwaarts komen, maar dit effect hoeft niet op te treden als de bodem volledig kan meegroeien met de zeespiegelstijging via natuurlijke sedimentatie en eventuele aanvulling met suppleties.



*Figuur 19: Globaal overzicht van de 300 mg Cl I-1 grenzen, gebaseerd op metingen aan het wateroppervlakte uit eind jaren 60. De 300 mg/l Cl contourlijn bij hoogwater en gemiddelde Rijnaafvoer is in het groen aangegeven. De lijn bij de laagste Rijnaafvoer van 620 m<sup>3</sup>/s in rood. Bron: Rijkswaterstaat (1998).*

In **alternatief 2** worden alle zeearmen en estuaria geopend tijdens dagelijkse omstandigheden. Daarmee ontstaat op hoofdlijnen opnieuw de situatie van voor de deltawerken (Figuur 19). Inname van zoetwater uit het Spui voor het Brielse Meer is niet mogelijk. Ook het Volkerak-Zoommeer komt te vervallen als zoetwaterbuffer in dit alternatief. In de huidige situatie is er relatief veel tegendruk tegen zout in de Nieuwe Waterweg, omdat de Haringvlietssluisen gesloten zijn bij lage rivierafvoer. Bij een open Haringvliet wordt het debiet door de Nieuwe Waterweg veel lager, waardoor het zoutfront verder landinwaarts schuift en inname van zoetwater langs de Nieuwe Maas, Hollandsche IJssel en Lek tijdens droge zomers onmogelijk wordt. In dit alternatief gaat de zoetwaterbeschikbaarheid er duidelijk op achteruit, waardoor het noodzakelijk wordt om in te zetten op alternatieve methoden voor aanvoer van zoetwater (bijvoorbeeld lange pijpleidingen vanaf de bovenrivieren). Daarnaast is bij doorgaande zeespiegelstijging verandering in landgebruik noodzakelijk (Kennisprogramma Zeespiegelstijging, 2024).

# Rijnmond- Drechtsteden

Klimaatverandering zorgt voor grote uitdagingen in de dichtbebouwde Rijn-Maasmonding. Met een slimme mengvorm van techniek en natuur kan winst behaald worden voor waterveiligheid, zoetwater en ecologie.

**1825**

De Maasmonding en het Haringvliet vormen een dynamisch estuarium met getijden, zoutgradiënten en vismigratie tussen zee en rivieren. De Biesbosch is een zoetwatergetijdengebied met sporadisch zout water.



**2025**

Stedelijke ontwikkeling en havenuitbreiding hebben deze regio sterk beïnvloed. Afsluiting van het Haringvliet heeft het estuarium veranderd in een overwegend zoet binnenwater.



## Problematiek

Zeespiegelstijging en hogere rivierafvoeren zorgen voor grotere belasting op dijken en buitendijks gebied. Afname van lage rivierafvoeren i.c.m. zeespiegelstijging verkleinen het zoetwateraanbod.

- 
**Maasmonding**  
 Open verbinding voor scheepvaart, rivierafvoer en getij. Weinig natuurlijke dynamiek door industrie en bebouwing. Baggerwerk t.b.v. scheepvaart versterkt zoutindringing.
- 
**Haringvliet afgesloten**  
 Enige vismigratie sinds kierbesluit, maar geen getijdynamiek. Haringvliet grotendeels zoet. Morfologische ontwikkeling staat stil.
- 
**Rivieren in Rijnmond-Drechtsteden**  
 Langs rivieren in Rijnmond-Drechtsteden weinig ruimte voor getijdennatuur.
- 
**Dordtse Kil en Spui**  
 Steeds vaker beperkingen voor inname zoetwater bij Bernisse-inlaat voor Brielse Meer. Erosie Dordtse Kil en Spui, risico van zettingsvloeiingen.
- 
**Hollandsche IJssel en Lek**  
 Inname zoetwater komt steeds vaker in het gedrang bij lage rivierafvoer en zeespiegelstijging en door diepe Nieuwe Waterweg.
- 
**Biesbosch**  
 Zoetwatergetijdennatuur met kleinere getijslag dan vroeger. Inname zoetwater nog niet bedreigd.

## Oplossingsrichtingen

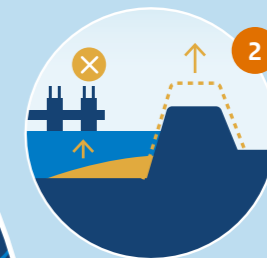
### Bouwstenen

In een Nature-based oplossingsrichting zijn meerdere bouwstenen\* mogelijk, waarvan onderstaande bouwstenen mogelijk kansrijk zijn in Rijnmond-Drechtsteden.

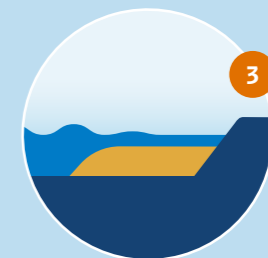
\*Veel bouwstenen kunnen ook op andere locaties worden toegepast dan weergegeven met de cijfers.



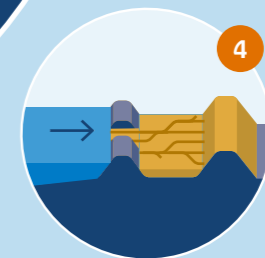
**1 Deltapolder:**  
Waterveiligheid door afsluiting regio met dammen, binnenvaartsluizen. Afvoer Lek wegpompen. Zoetwater en waterkwaliteit borgen met klein doorspoeldebiet. Zeevaart alleen tot Maasvlakte en Botlek.



**2 Verwijderen Dammen en sluisen:**  
Investerings in dijken in plaats van dammen en stormvloedkeringen, waardoor de delta meegroeit met de zeespiegel en natuurlijke dynamiek en connectiviteit terugkeren.



**3 Buitendijkse voorlanden:**  
Buitendijkse natuur breekt golven en bij keuze voor open estuaria.



**4 Meegroeilandschappen:**  
Schorrenlandschap tussen twee dijken groeit mee met zeespiegel, wat zorgt voor minder slachtoffers bij dijkdoorbraken.



**5 Ondiepere rivieren:**  
Een meer natuurlijke diepte in de Nieuwe Waterweg, Oude Maas en/of Nieuwe Maas zorgt ervoor dat zoutindringing afneemt.

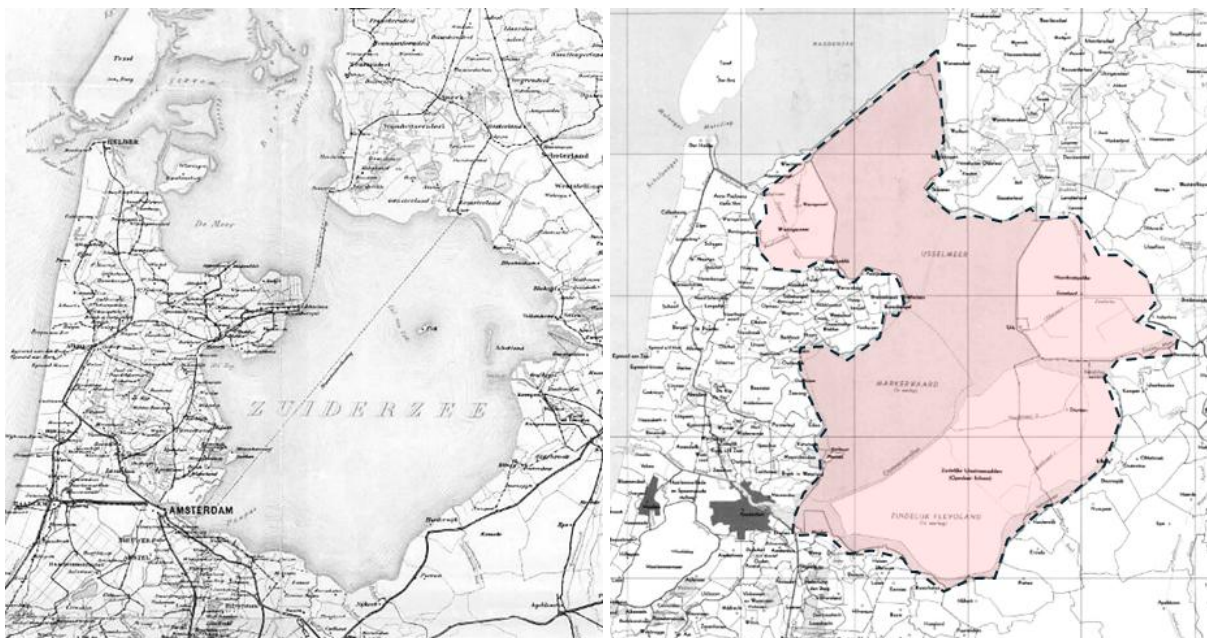
# 5 IJsselmeergebied

## 5.1 Systeembeschrijving

Het IJsselmeergebied omvat het IJsselmeer, Markermeer, de IJssel-Vechtdelta en de Veluwerandmeren.

Voor aanleg van de Afsluitdijk (1932) was de Zuiderzee (zie Figuur 20, links) een grote, open binnensee, verbonden met de Waddenzee en de Noordzee. Het water was brak tot zout en er waren sterke getijdenstromen. Het gebied kende wadplaten, slikken, zeegrasvelden en ondiepe wateren, die belangrijk waren voor trek- en kustvogels, zeezoogdieren zoals de bruinvis, en diverse zoutwatervissen (zoals haring en ansjovis). Het ecosysteem was dynamisch en rijk aan biodiversiteit. De getijslag in de Zuiderzee was relatief klein: 20 tot 55 cm. Daardoor kende de Zuiderzee nauwelijks intergetijdengebied.

Na aanleg van de Afsluitdijk veranderde de Zuiderzee in het zoete IJsselmeergebied (zie Figuur 20, rechts), een groot meer gevoed door de rivieren IJssel en Vecht. Het zoute karakter verdween en daarmee ook veel oorspronkelijke soorten. Het water werd rustiger, getijden vielen weg en het meer werd onderdeel van een gereguleerd watersysteem. In de eerste 20 jaar na de afsluiting nam de biodiversiteit met 40% af (Rossius, Kleinhans en Philippart, 2023). Hoewel de afsluiting de dynamiek en connectiviteit sterk heeft verslechterd, kent het systeem nog steeds natuurwaarden. Het vormt een habitat voor zoetwatervissen en een (rust)gebied voor watervogels. Langs de oevers zijn rietkragen en moerassen te vinden.



*Figuur 20: De Zuiderzee in 1926 (links) en het IJsselmeergebied in 1973 (rechts). De contour van de Zuiderzee in 1926 is over de kaart van 1973 heen gelegd als vergelijking. Op basis van [topotijdreis.nl](http://topotijdreis.nl).*

### Ruimte

Behalve de aanleg van de Afsluitdijk hebben ook de inpolderingen van de Noordoostpolder en Flevo-polder sterke invloed gehad op het IJsselmeergebied. Het oppervlak is met ongeveer 25%

afgenomen. Hoewel ook binnendijks natuurgebieden te vinden zijn (onder andere de Oostvaardersplassen), is de verbinding tussen binnendijkse en buitendijkse natuur beperkt.

Voor aanleg van de Afsluitdijk was er ongeveer 200-300 km<sup>2</sup> aan intergetijdengebied aanwezig in de Zuiderzee (orde 5% van het oppervlak), vooral langs de kust van Friesland, Overijssel en Noord-Holland. Het areaal aan intergetijdengebied was relatief klein door de beperkte getijslag (orde 0,5 m, tegen orde 2 m in de Waddenzee) en relatief steile oevers van de Zuiderzee.

### **Dynamiek en connectiviteit**

Hoewel de Zuiderzee door de beperkte getijslag (20 tot 55 cm) weinig intergetijdengebied kende, was er wel sprake van getijdynamiek, getijgeulen en droogvallende delen. Door de aanleg van de Afsluitdijk (1932) en Houtribdijk (1976) is de waterstand vrijwel stagnant geworden. De voornaamste variaties in waterstand zijn het gevolg van scheefstand door wind. Het gevolg is dat golven altijd op hetzelfde punt aangrijpen, waardoor op veel plekken oevererosie optreedt, met terrasvorming op ongeveer 1 m waterdiepte.

De Houtribdijk en Afsluitdijk vormen harde barrières, waarbij vismigratie alleen mogelijk is via de spuiiddelen en schutsluizen. Stroming in de spuisluizen is veelal te sterk, en spui momenten zijn onvoorspelbaar. Bij de Afsluitdijk is naast de harde barrière ook een abrupte zoet/zout-overgang aanwezig, waardoor vismigratie sterk wordt bemoeilijkt. Plannen voor aanleg van een vismigratievier beogen de barrièrewerking iets te verzwakken.

De meren kennen een zogenaamd 'omgekeerd peilbeheer', waarbij in de winter vanuit het oogpunt van waterveiligheid een relatief laag peil wordt nagestreefd, terwijl in de zomer een hoger peil wordt gehandhaafd met het oog op zoetwaterbeschikbaarheid. Dit peilbeheer is tegengesteld aan natuurlijke peilfluctuaties, waarbij in de winters vaak nattere omstandigheden gelden dan in de zomers. De tegennatuurlijke peilvariaties zorgen voor moeilijkheden voor vestiging van vegetatie en wegspoelen van nesten.

De beperkte dynamiek zorgt voor problemen met waterkwaliteit, voornamelijk op het Markermeer. Opwerveling van slib vanaf de bodem door windgedreven stroming en golven zorgt voor relatief troebel water, waardoor waterplanten minder goed kunnen groeien en zuurstofloosheid dreigt. Initiatieven als de aanleg van de Marker Wadden zijn lokaal succesvol, maar kunnen op systeemniveau weinig veranderen aan de waterkwaliteitsproblemen. Het fundamenteel ontbreken van getijstroming blijft de situatie domineren. In ondiepe zones kunnen watertemperaturen in warme zomers hoog oplopen, waardoor blauwalgengroei kan optreden.

## **5.2 Natuurinclusieve oplossingsrichtingen**

In de nature-based denkrichtingen van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging is besloten de Afsluitdijk intact te laten. Enerzijds zijn er de hoge kosten voor dijkversterkingen en de impact op zoetwater. Anderzijds zijn er beperkte baten qua areaal intergetijdengebied, omdat de Zuiderzee in het verleden ook al een binnenzee met weinig plaatareaal was. Met behoud van de Afsluitdijk zijn fundamentele verbeteringen van dynamiek en connectiviteit niet mogelijk. De voornaamste impuls is het verbeteren van het peilbeheer vanuit ecologisch perspectief met seizoensgebonden flexibel meerpeilbeheer, met lagere waterstanden in de zomer (droogvalranden) en hogere waterstanden in de winter. Extra spui- en pompcapaciteit bij de Afsluitdijk en Houtribdijk kunnen het mogelijk maken om meer peilvariaties toe te staan, zonder concessies te doen aan waterveiligheid. Ook

afwatering vanuit omliggende polders naar de meren is een aandachtspunt. Bij een hoog meerpeil is afwatering onder vrij verval moeilijk of zelfs onmogelijk, waardoor alternatieve afvoerroutes of pompen noodzakelijk zijn.

Andere mogelijke kleinschalige verbeteringen zijn:

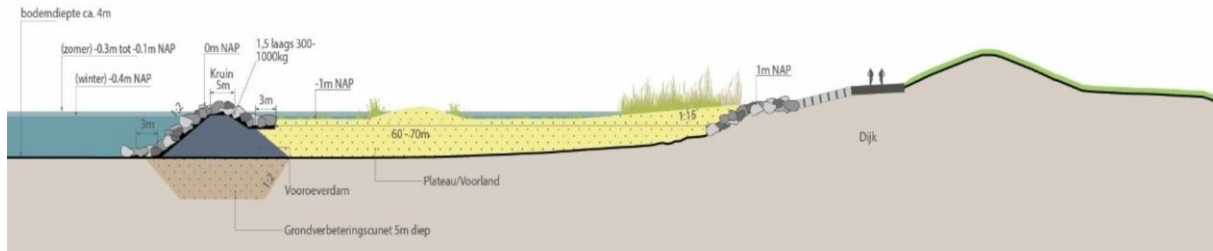
- Verbeteren van vismigratiemogelijkheden (initiatieven als de vismigratierivier bij Kornwerderzand en een geleidelijke zoet/zout-overgang bij Den Oever);
- Verbeteren van connecties tussen binnendijkse en buitendijkse natuur door geleidelijke land-waterovergangen, vismigratiemogelijkheden en wateruitwisseling (waar bijvoorbeeld in het project Oostvaardersoevers naar wordt gestreefd);
- Aanleg van luwe, ondiepe zones langs de dijken, waardoor de transitie tussen land en water minder scherp wordt, relatief luw en helder water ontstaat, en vegetatie zich kan vestigen. Voorbeelden zijn de Marker Wadden, Trintelzand, vooroeverdammen langs de Houtribdijk en de geplande aanleg van een vooroever langs de IJsselmeerdijk bij Lelystad.

### 5.3 Waterveiligheid

Zeespiegelstijging werkt niet rechtstreeks door in dijkhoogtes in het IJsselmeergebied. Het voornaamste effect is dat er steeds minder mogelijkheden zijn om onder vrij verval te spuien. Er zijn dan twee mogelijkheden: meegroeien van het meerpeil met de zeespiegel (om spuien onder vrij verval mogelijk te houden) of realiseren van (meer) pompcapaciteit. Verwijderen van de Afsluitdijk leidt niet alleen tot zeespiegelstijging, maar ook tot het doordringen van getij en stormvloed, waardoor dijken over grote lengtes moeten worden verhoogd en versterkt. De kosten die daarmee gemoeid zijn, zijn zo hoog, dat dit geen realistisch perspectief is voor het gebied.

Dijken en natuur kunnen in het merengebied goed worden gecombineerd. Vanwege het geregleerde peil is het verschil tussen extreme en normale waterstanden relatief klein. Golven treden daardoor op bij een relatief beperkte waterdiepte. Dit resulteert in een hoge golfhoogte/waterdiepte-verhouding, waarbij voorlanden zeer effectief zijn in het verlagen van benodigde dijkhoogtes en golfaanval op bekledingen. Een goed voorbeeld is de IJsselmeerdijk bij Lelystad, waar een ondiepe vooroever is gekozen als alternatief voor traditionele dijkverhoging en -verbreding. De vooroever biedt mogelijkheden voor waterplanten, oevervegetatie en relatief luw en helder water.

Langs de Houtribdijk en Marker Wadden is gekozen voor zandige randen. Hoewel zand een natuurlijk en gebiedseigen materiaal is, is het opspuiten van zand niet per definitie een natuurlijke maatregel. Duinen en stranden zijn geen gebiedseigen habitat in de meren. Door sterke golfinval over een relatief beperkte zone treedt snelle afkalving van de oevers op. Windgedreven stroming neemt vervolgens het sediment mee langs de kust, waardoor bijvoorbeeld al verschillende suppleties moesten worden uitgevoerd om de Marker Wadden niet te laten verdwijnen. Door de sterke golfinval groeit er geen vegetatie op de zandranden. De sterke dynamiek maakt dat er weinig leeft en groeit. Het alternatief is een harde dam (zoals de vooroeverdammen langs de Houtribdijk en in de voorkeursvariant voor de IJsselmeerdijk, zie Figuur 21). Hoewel dit element van zichzelf niet natuurlijk is, kan er achter de dam en tussen de stenen van de dam waardevolle natuur ontstaan, en is een dergelijke oplossing niet per definitie minder 'nature-based' dan een zandige oplossing.



Figuur 21: Vooroever met ondiep water, opgesloten tussen een vooroeverdam en de dijk (voorbeeld IJsselmeerdijk, <https://nos.nl/regio/flevoland/artikel/234822>)

## 5.4 Zoetwaterbeschikbaarheid

Het IJsselmeer en Markermeer vormen met een gezamenlijk oppervlak van 1800 km<sup>2</sup> een belangrijk zoetwaterreservoir. Alleen de bovenste schijf water kan worden benut vanwege het inlaten onder vrij verval naar de omliggende systemen. Daarnaast is uitzakken van het meerpeil ongewenst omdat dan kostbare maatregelen nodig zijn om de stabiliteit van de dijken te garanderen (CPB, 2012).

Zoutindringing vindt voornamelijk plaats bij de Afsluitdijk via de schutsluizen (kolkuitwisseling) en spuisluizen (lekkage). Zout wat binnenkomt, komt voornamelijk in de diepe kuilen en putten terecht, de restanten van de voormalige getijgeulen in de Zuiderzee. Pas bij hoge rivierafvoeren vanaf de IJssel en Vecht wordt dit zout weer geleidelijk weggespoeld richting Waddenzee. Momenteel is het belangrijkste kritieke punt het innamepunt bij Andijk.

Afnemende rivierafvoeren leiden tot minder doorspoeling, een stijgende zeespiegel tot een afname van spui mogelijkheden en enige toename van de zoutlast via de schut- en spuisluizen. Hierdoor komt de zoetwaterbeschikbaarheid door klimaatverandering verder onder druk te staan. Bufferen van zoetwater kan tijdelijk helpen om in West- en Noordwest-Nederland aan de zoetwatervraag te voorzien. Toch is 100 cm buffercapaciteit slechts equivalent aan een zoetwaterdebiet van 694 m<sup>3</sup>/s over een droge periode van 30 dagen<sup>11</sup>, wat in de huidige situatie ongeveer de doorspoelbehoefte is om zoutindringing in de Nieuwe Waterweg tegen te gaan. 100 cm buffer is op dit moment niet haalbaar. Peilvariaties zijn momenteel eerder in de orde van 25 cm, wat neerkomt op een equivalent debiet van ongeveer 175 m<sup>3</sup>/s over 30 dagen. Dit gaat om veel water, maar onvoldoende om tot een fundamenteel ander beeld te komen van de zoetwaterbeschikbaarheid in Nederland in een warmer klimaat.

Peilvariaties, met een hoog peil in de zomer en een lager peil in de winter, zijn interessant vanuit het oogpunt van zoetwaterbeschikbaarheid, maar hebben negatieve gevolgen voor de zoetwaternatuur rond de meren, bijvoorbeeld vanwege wegspoelen van nesten, impact op oever- en moeras-arealen en schelpdierareaal (CPB, 2012). Hier ligt daardoor eerder een conflicterend belang dan een mogelijke koppellkans.

<sup>11</sup> Buffervolume: 1800 km<sup>2</sup> \* 1,0 m = 1800 miljoen m<sup>3</sup>. Equivalent debiet: 1800 miljoen m<sup>3</sup> / (30 dagen\*24 uur\*3600 s) = 694 m<sup>3</sup>/s.

# IJsselmeergebied

Het IJsselmeergebied is door de aanleg van de Afsluitdijk een zoet binnenwater geworden met een min of meer stagnant meerpeil en veel abrupte overgangen tussen water en land. Voorlanden en vooroevers kunnen waterveiligheid en natuurlijkheid verbeteren. Daarnaast zijn er verbetermogelijkheden in het peilbeheer.

**1825**

Zuiderzee was een open, brakzoute binnensee met sterke getijdenstromen, verbonden met de Waddenzee en Noordzee.







**2025**

Zoet binnenwater met vrijwel stagnant peil.



## Problematiek

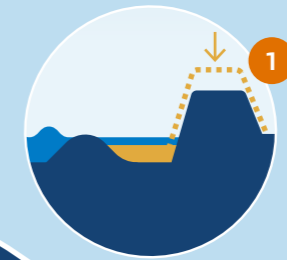
Zoutindringing bij de Afsluitdijk bedreigt de zoetwater-voorraad in de meren. Natuurlijke overgangen tussen water en land zijn schaars, waardoor sterke golfaanval op de dijken optreedt.

- 
**IJsselmeer**  
 Tegennatuurlijk peil, met hoger zomerpeil en lager winterpeil. Erosie van oevers door stagnant meerpeil
- 
**Afsluitdijk**  
 Abrupte scheiding tussen zoet en zout. Zoetwatervis sterft in zoute Waddenzee. Beperkte dynamiek en connectiviteit
- 
**Markermeer**  
 Hoge troebelheid, veel slib op de bodem, groei waterplanten moeizaam. Tegennatuurlijk peil, met hoger zomerpeil en lager winterpeil. Erosie van oevers door stagnant meerpeil
- 
**Afsluiting Zuiderzee**  
 Door de Afsluitdijk en Houtribdijk is veel natuurlijke dynamiek en connectiviteit verdwenen. Herstel van een zoute binnensee levert echter weinig intergetijdengebied op, tegen hoge kosten en verlies van de zoetwaterbuffer.

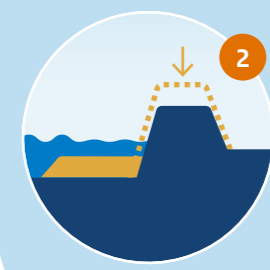
## Oplossingsrichtingen

### Bouwstenen

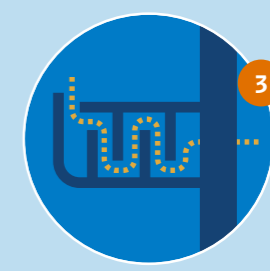
In een Nature-based oplossingsrichting zijn meerdere bouwstenen\* mogelijk, waarvan onderstaande bouwstenen mogelijk kansrijk zijn in het IJsselmeergebied.



**1 Luwe, ondiepe zones:**  
 Ondiepe vooroever tussen de dijk en een vooroeverdam dempt golven, met baten voor waterkwaliteit en ecologie.



**2 Buitendijkse voorlanden:**  
 Buitendijkse natuur breekt golven waardoor de dijk lager en minder sterk kan zijn.



**3 Vismigratierivier**  
 Beperken zoutindringing en bevorderen vismigratie via een geleidelijke zoet/zout-overgang.



**4 Geleidelijke zoet/zout-overgang:**  
 Voorkomen dat zoetwatervis wordt uitgespoeld en sterft in de zoute Waddenzee.



**5 Golfdempende eilanden:**  
 Eilanden in de IJsselmond verlagen waterstanden en golven en geven een impuls aan de natuur.

\*Veel bouwstenen kunnen ook op andere locaties worden toegepast dan weergegeven met de cijfers.

## 6 Waddengebied

### 6.1 Systeembeschrijving

De Waddenkust is een zogenaamde barrièrekust, gevormd door een reeks van Waddeneilanden die parallel aan de kust van Nederland, Duitsland en Denemarken liggen. Tussen deze eilanden en het vasteland ligt de Waddenzee, een uitgestrekt, ondiep intergetijdengebied met geulen, platen en kwelders. De eilanden werken als een natuurlijke barrière tegen de zee, waardoor achterliggende gebieden worden beschermd tegen golven en getijden. Dit dynamische systeem is voortdurend in beweging door wind, getij en zandtransport, en vormt een uniek en ecologisch waardevol landschap. De Waddenzee staat in verbinding met de Noordzee via de verschillende zeegaten tussen de eilanden. Waar de vloedstroming vanuit twee zeegaten elkaar ontmoet, zijn wantijen aanwezig: ondiepe gebieden met geringe stroming, waar relatief veel zand en slib bezinkt. De zeegaten met hun kombergingsgebieden aan de Waddenzeezijde en buitendelta's aan de Noordzeezijde vormen samen een zanddelend systeem.

#### Ruimte

In het verleden is grootschalig ingegrepen in het hydraulisch en morfologisch systeem door het afsluiten van de Zuiderzee (1932) en Lauwerszee (1969). Zoals uitgelegd bij de Oosterschelde (paragraaf 3.1), bestaat er een balans tussen bergend oppervlak, getijslag en doorstroomoppervlak van geulen. Daarom volgde op de afsluitingen een periode van morfologische aanpassingen, waarbij grote zandvolumes zijn verplaatst in reactie op de kleinere kombergingsvolumes. De morfologische respons op voornamelijk de afsluiting van de Zuiderzee is nog steeds gaande: geulen worden ondieper en sedimentatie vindt plaats langs de vastelandkust.



*Figuur 22: Satellietfoto van de Waddenzee*

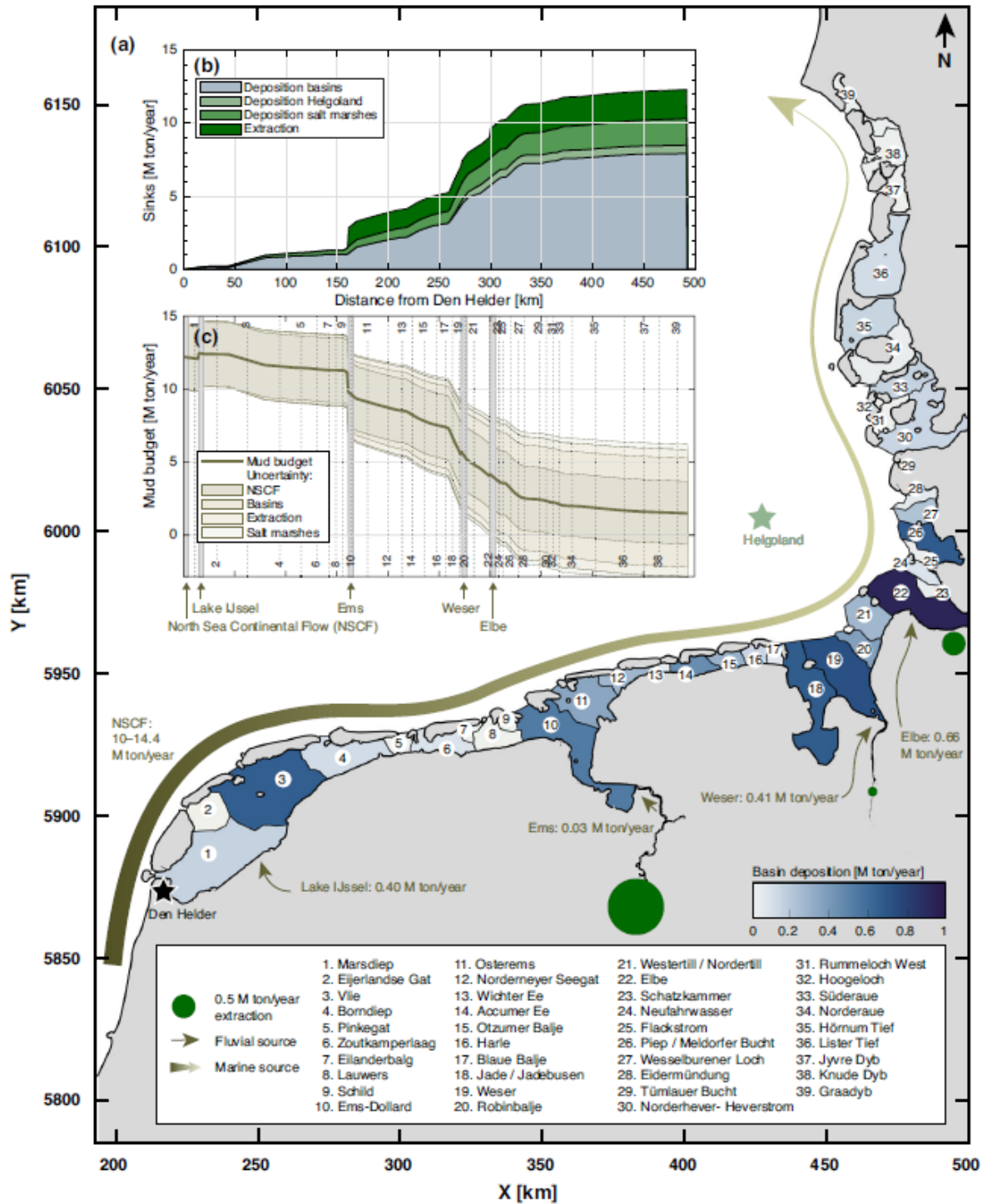
Ander menselijk ingrijpen heeft betrekking op landaanwinning via kwelderwerken, waarbij sedimentatie werd bevorderd voor het stimuleren van kweldergroei, waarbij hoge kwelders periodiek binnendijks werden getrokken en zo werden omgevormd tot nieuwe landbouwgrond. De kwelderwerken zijn nog steeds te vinden in de vorm van grootschalige stelsels van rijshouten dammen en ontwateringsgreppels langs de Friese, Groningse en Duitse kust. Momenteel zijn de kwelderwerken vooral bedoeld voor het beschermen van de bestaande kwelders tegen erosie. Langs de kust van Groningen en Friesland is in het verleden (sinds 1600) ongeveer 6000 ha land aangewonnen (Dijkema en Van Duin, 2012), wat neerkomt op ongeveer 2,5% van de totale Nederlandse Waddenzee. Daarnaast is door het intensieve onderhoud van de kwelderwerken sprake van veel oude, hoge kwelders en weinig dynamische lage kwelders en pionierzones. Dynamische schorren en kwelders zijn zeldzaam geworden. Alleen op de eilandstaarten van de Waddeneilanden zijn natuurlijke, dynamische schorren te vinden, hoewel ook daar de dynamiek deels aan banden is gelegd door het vasthouden van de kustlijn. De Waddenzee heeft baat bij extra areaal aan kwelders, met ruimte voor dynamiek en variatie van erosie en sedimentatie in ruimte en tijd.

### **Dynamiek en connectiviteit**

Het Waddengebied kent ondanks de menselijke invloeden nog steeds veel natuurlijke dynamiek en connectiviteit. De Waddenzee kan tot op zekere hoogte meestijgen met de zeespiegelstijging door natuurlijke sedimentimport vanaf de buitendelta's. Schattingen van het meegroeivermogen op basis van modellering lopen uiteen van 6 à 7 mm/jaar voor de bekkens van het Marsdiep en Vlie in de westelijke Waddenzee tot bijna 33 mm/jaar voor het Pinkegat in de Oostelijke Waddenzee (Deltares, 2021b). Bodemdaling door bijvoorbeeld gaswinning en zoutwinning kan het netto meegroeien negatief beïnvloeden. Als de zeespiegelstijging groter is dan de netto meegroeiselheid, leidt dit tot verdrinken van intergetijdengebieden (kwelders en wadplaten).

Op verschillende Waddeneilanden zijn in het verleden stuifdijken aangelegd om zandverstuivingen tegen te gaan en daardoor het achterliggende gebied te beschermen tegen de invloed van de Noordzee. Door de stuifdijken werd het natuurlijke zandtransport richting het achterland (duinen en kwelders) geblokkeerd en kon het duinsysteem zich minder vrij ontwikkelen; natuurlijke processen als duinvorming, afslag en herstel raakten verstoord. Stuifdijken waren weliswaar nuttig voor bescherming van dorpen, landbouwgronden en infrastructuur, maar beperkten de natuurlijke dynamiek in het Waddengebied aanzienlijk. Hierdoor raakten processen als duinvorming, kwelderontwikkeling, sedimenttransport en ecologische successie verstoord.

Naast zand vormt ook slib een belangrijke bron die bijdraagt aan het meegroeivermogen van het gebied. Voornamelijk voor de aangroei van hoog intergetijdengebied zijn slibconcentraties van essentieel belang. Variaties in ruimte en tijd zijn groot, maar jaargemiddeld liggen waarden tussen 5 en 30 mg/l in grote delen van de Waddenzee en in de orde van 100 tot 200 mg/l in de Eems-Dollard (Deltares, 2020). Jaarlijks komt ongeveer 12 miljoen ton slib het systeem binnen in de Westelijke Waddenzee. Het grootste deel daarvan bezinkt in de trilaterale Waddenzee (Colina Alonso et al., 2024). De slibstroom langs de kust en slibdepositie in bekkens nemen gestaag af van de Westelijke naar de Oostelijke, Duitse en Deense Waddenzee (Figuur 23).



Figuur 23: Weergave van de slibafzetting per bekken van de Waddenzee (blauwe tinten, 1996-2015), de slibstroom langs de Waddenkust (bruine pijl) en slibimport vanuit rivieren (groene bollen). Bron: Colina Alonso et al. (2024).

## 6.2 Natuurinclusieve oplossingsrichtingen

In de nature-based denkrichting van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging zijn twee onderzoeksalternatieven ontwikkeld. Voor het Waddengebied hebben deze twee alternatieven de volgende kenmerken:

- **Alternatief 1:** er wordt gezocht naar areaaluitbreiding intergetijdengebied in de vorm van binnendijkse meegroeilandschappen.
- **Alternatief 2:** een combinatie van buitendijkse kwelderontwikkeling en aanleg van binnendijkse vloedkommen.

Binnendijkse meegroeilandschappen kunnen een impuls geven aan het intergetijdengebied in de Waddenzee, inclusief begroeide zones (kwelders). Het is van belang locaties te kiezen waarbij de combinatie van initiële bodemhoogte en opslibsnelheid zodanig is, dat duurzaam intergetijdengebied kan ontstaan. De reflectie op meegroeilandschappen uit hoofdstuk 3 gaat verder ook op voor het Waddengebied.

Bij een keuze voor binnendijkse vloedkommen, bijvoorbeeld in het huidige Lauwersmeer, ontstaat in eerste instantie relatief diep water. Het is onduidelijk of de aangroeisnelheid voldoende snel verloopt ten opzichte van de zeespiegelstijging om hier intergetijdengebied te laten ontstaan. Mogelijk ontstaat vooral ondiep water of droogvallende slikken, typen arealen waar geen gebrek aan is in de Waddenzee. Ook kunnen grootschalige vloedkommen door hun sedimentvraag leiden tot erosie in de omringende Waddenzee. In combinatie met de beperkte waarde voor waterveiligheid zijn er twijfels of vloedkommen het aanbevelen waard zijn.

Het tekort aan kwelderareaal kan worden aangepakt door het uitbreiden van kwelderwerken op kansrijke locaties voor kwelderontwikkeling (zie bijvoorbeeld de Zoekkaart Kwelders voor Waterveiligheid, Van Loon-Steensma et al., 2012). Daarbij is het van belang om bij aanleg en onderhoud ruimte te bieden aan variatie van sedimentatie- en erosieprocessen in ruimte en tijd, om dynamische kwelders te laten ontstaan met een natuurlijke gradiënt van onbegroeid slik naar hoge kwelder. Verder is een aandachtspunt dat grootschalige kwelderontwikkeling leidt tot een reductie van de komberging, en daarmee van de import van sediment naar de Waddenzee.

Als zeespiegelstijging het meegroeivermogen overstijgt, gaat intergetijdengebied verdrinken.

- Meegroeivermogen: tussen 6 à 7 mm/jaar in bekkens van de Westelijke Waddenzee tot ruim 30 mm/jaar in delen van de Oostelijke Waddenzee (zie paragraaf 6.1).
- KNMI'23-scenario Laag: 0,44 m in 2100, 0,68 m in 2150; ofwel 6 mm/jaar tot 2100, 5 mm/jaar tussen 2100 en 2150;
- KNMI'23-scenario Hoog: 0,82 m in 2100, 1,41 m in 2150; ofwel 11 mm/jaar tot 2100, 12 mm/jaar tussen 2100 en 2150;
- Tijdenlijn 'zeer extreem' (Kennisprogramma Zeespiegelstijging): 2 m in 2100, 5,4 m in 2200; ofwel 25 mm/jaar tot 2100, 34 mm/jaar tussen 2100 en 2200.

Uit deze getallen<sup>12</sup> volgt de verwachting dat de Westelijke Waddenzee de zeespiegelstijging overwegend net kan bijhouden bij het lage scenario (als de opwarming in deze eeuw beperkt blijft tot 1,7°C, conform het klimaatakkoord van Parijs) en in het hoge scenario gestaag gaat verdrinken (opwarming bijna 5°C t.o.v. de 19<sup>e</sup> eeuw). Grote delen van de Oostelijke Waddenzee hebben in de

<sup>12</sup> Zeespiegelstijging uit KNMI'23-scenario's afkomstig van <https://klimaatscenarios-data.knmi.nl/kerncijfers>, geraadpleegd op 25 juli 2025.

KNMI'23-scenario's voldoende meegroeivermogen, maar komen in tijdlijn 'zeer extreem' ook onder druk te staan.

Als de snelheid van zeespiegelstijging de meegroeisnelheid van intergetijdengebied overschrijdt, zal het systeem verdrinken, tenzij de waterbeheerder de keuze maakt om de natuur niet zijn gang te laten gaan maar om actief te suppleren om verlies van intergetijdengebied (deels) te beperken. Voornamelijk de Westelijke Waddenzee komt hiervoor in aanmerking (tussen Texel en Harlingen) vanwege het relatief lage meegroeivermogen. Dit deel van de Waddenzee is ruim 1000 km<sup>2</sup> groot. Per KNMI-scenario vraagt dit ongeveer om de volgende suppletievolumes, uitgaande van bovenstaande meegroeisnelheden:

- KNMI'23-scenario Laag: geen suppleties in de Waddenzee nodig, wel aanvulling van buitendelta's, omdat deze een voorname bron zullen vormen van de sedimentimport richting de Waddenzee.
- KNMI'23-scenario Hoog: orde 6 mm/jaar tekort aan meegroeivermogen dient te worden gecompenseerd met suppleties tot 2150. Het suppletievolume bedraagt dan ongeveer 6 miljoen m<sup>3</sup> per jaar. Ter vergelijking: het huidige onderhoud van de basiskustlijn en het kustfundament vraagt om ongeveer 11 miljoen m<sup>3</sup> per jaar.
- Tijdlijn 'zeer extreem' (Kennisprogramma Zeespiegelstijging): orde 20-30 mm/jaar tekort aan meegroeivermogen dient te worden gecompenseerd met suppleties tot 2200. Dit vraagt om orde 20 tot 30 miljoen m<sup>3</sup> per jaar aan suppleties in de Westelijke Waddenzee. Ook de Oostelijke Waddenzee heeft mogelijk aanvulling nodig.

De genoemde slibstroom van 12 miljoen ton per jaar kan (met enkele aannames) worden omgerekend naar ongeveer 8 miljoen m<sup>3</sup> geconsolideerde klei op kwelders. In de verschillende genoemde scenario's varieert de zeespiegelstijging van 5 tot 35 mm/jaar. Als het doel is een zone van 1000 m breed mee te laten groeien met de zeespiegel in de vorm van kwelders of meegroeilandenschappen, kan dit langs 3200 km kustlengte bij 5 mm/jaar of langs 450 km kustlengte bij 35 mm/jaar zeespiegelstijging. De totale kustlengte rond de trilaterale Waddenzee is ongeveer 500 tot 600 km (vasteland plus eilanden). In theorie volstaat de slibstroom dus om grote delen van de kust mee te laten groeien met behulp van slib.

In de praktijk bezinkt slib ook op plekken waar dit niet wenselijk is (havens, vaargeulen) of niet bijdraagt aan meegroei van de kustlijn (platen, wantijen). Via baggerwerkzaamheden worden de havens en vaargeulen momenteel op diepte gehouden. Het vrijkomende materiaal wordt veelal weer verspreid in het systeem, bijvoorbeeld bij de buitendelta's. Vanuit het perspectief van het natuurlijke systeem zou het gunstig zijn om vaargeulen meer de contouren van de aanwezige geulen te laten volgen, en niet dwars door sedimentatiegebieden heen te willen varen, zoals momenteel het geval is in de vaargeul van Holwerd naar Ameland. Verspreiden van vrijkomend materiaal kan daarnaast vervangen worden door nuttig gebruik van het materiaal voor de versnelde aangroei van kwelderareaal en meegroeilandenschappen.

## 6.3 Waterveiligheid

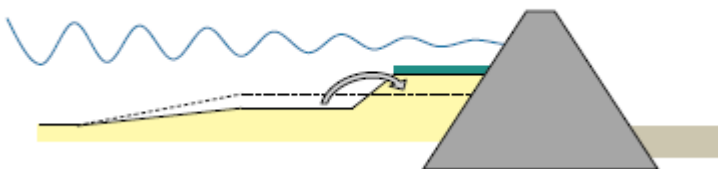
### Systeemanalyse waterveiligheid

In de Systeemanalyse Waterveiligheid van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging (HKV en Witteveen+Bos, 2023c) is onderzocht hoeveel dijkversterking nodig is rond de Waddenzee en Eems-Dollard. Als de bodem niet of niet volledig meegroeit, stijgt de benodigde kruinhoogte van veel dijken rond de Waddenzee harder dan de zeespiegelstijging. Dit komt doordat niet alleen de waterstanden toenemen, maar ook de waterdiepte en daarmee de golven. Het meegroeien van de bodem van de Waddenzee heeft echter een beperkt effect op de totale kosten van dijkversterkingen. Dit komt doordat (1) ook voor alleen de zeespiegelstijging elke 50 jaar een dijkversterking nodig is met relatief hoge vaste kosten, (2) golven geen invloed hebben op de faalmechanismen macrostabiliteit en piping en (3) lang niet alle dijken rond de Waddenzee worden belast door golven die in hoogte worden beperkt door de waterdiepte. Een toename in golfaanval kan wel leiden tot zwaardere eisen aan de bekleding, wat aanzienlijke kosten met zich mee kan brengen (Kennisprogramma Zeespiegelstijging, 2025). Dit aspect is tot dusver niet gekwantificeerd.

### Begroeide voorlanden

Dijkversterkingen kunnen worden uitgesteld door de aanleg van begroeide voorlanden (kwelders). Aanwezigheid van voorlanden met een dichte, stabiele bodem helpt ook tegen problemen met piping en macrostabiliteit. Uiteindelijk zal echter toch de dijk moeten worden verhoogd, omdat voorlanden geen invloed hebben op de stijging van waterstanden. De dijkverhoging en -verbreding per versterkingsronde hangt echter wel af van de meegroei van de voorliggende wadden: is een hogere dijk alleen nodig om te compenseren voor de waterstandstoename, of is ook een toeslag nodig vanwege een toenemende golfhoogte op dieper water? In Kennisprogramma Zeespiegelstijging (2025a) is ingeschat dat kosten per kilometer dijkversterking 30-40% lager zijn als een voorland de opgave voor piping en macrostabiliteit kan laten vervallen en kan resulteren in een 1 m lagere dijk.

In Vuik et al. (2019) is de optie genoemd om oude kwelders cyclisch te verjongen door afplaggen en het vrijkomende materiaal te gebruiken als hoge berm of dijkverbreding. Zo kunnen dijkversterking en kwelderverjonging hand in hand gaan. Kwelders hebben meer invloed op golfaanval op de dijkbekleding op het buitentalud dan op de benodigde dijkhoogte (Vuik et al., 2018). Kwelders kunnen daarom goed worden gecombineerd met een brede groene dijk, waarbij de kwelders ervoor zorgen dat de golfaanval op het talud met klei en gras laag genoeg blijft. Zo worden dure investeringen in steen en asfalt voorkomen, en mogelijkheden geboden voor gras, waarbij soortenrijke grasmengsels mogelijk dezelfde erosiebestendigheid bieden als reguliere grasbekledingen (Ecoshape, 2024; Liebrand et al., 2024).



*Figuur 24: Kwelderverjonging en aanleg van een hoog voorland of berm tegen de dijk (uit Vuik et al., 2019)*

### **Meegroeilandschappen en overstromingsgevolgen**

In de Systemanalyse Waterveiligheid is het uitgangspunt gehanteerd dat overstromingskansen gelijk moeten blijven. In werkelijkheid nemen echter niet alleen overstromingskansen toe, maar ook overstromingsgevolgen, vanwege toenemende bresgroeisnelheden en overstromingsdieptes. De toename van overstromingsgevolgen kan worden gemitigeerd door de aanleg van opslibbende meegroeilandschappen, zoals uitgelegd in hoofdstuk 3. We bevelen aan om ook locatiespecifiek voor de Waddenzee na te gaan hoe sterk dit effect is, vergelijkbaar met de eerder genoemde studie voor de Zak van Zuid-Beveland.

## **6.4 Zoetwaterbeschikbaarheid**

De zoute Waddenzee vormt geen bron van zoetwater. Daarmee is zoetwaterbeschikbaarheid voor dit watersysteem niet rechtstreeks van belang. Wel geldt dat zoute kwel naar laaggelegen gebieden in Noord-Holland, Friesland en Groningen kan toenemen bij een stijgende gemiddelde zeewaterstand. Daarnaast kan zoutindringing via schut- en spuisluisen toenemende problemen veroorzaken bij hoge zeespiegels en lage rivierafvoer, bijvoorbeeld bij de Afsluitdijk, Eemshaven, Termunterzijl, Lauwersmeer en Den Helder. Een geleidelijke zoet/zout-overgang tussen Waddenzee en IJsselmeer is van belang voor vismigratie.



# Waddengebied

De Waddenkust is een barrièrekust van eilanden langs Nederland, Duitsland en Denemarken, met daartussen de ondiepe Waddenzee vol geulen, platen en kwelders. De eilanden beschermen het achterland en vormen een dynamisch, ecologisch waardevol systeem. Via zeegaten stroomt water in en uit de Noordzee, waar zand en slib zich ophopen in kwelders, wantijen en buitendelta's.

1825

Getij en sediment hadden vrij spel, maar zorgden ook regelmatig voor overstromingen rond de Waddenzee.



2025

Nog steeds een goed functionerend natuurlijk systeem. Wel invloed van afsluitingen Zuiderzee en Lauwerszee en minder areaal aan kwelders door landaanwinning.



## Problematiek

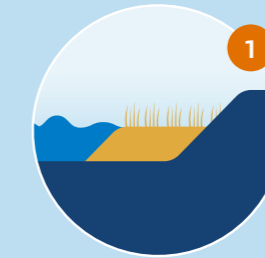
Bij snelle zeespiegelstijging kan het meegroeivermogen van de Waddenzee tekortschieten, waardoor intergetijdengebied verdrinkt en golven hoger worden.

-  **Westelijke Waddenzee**  
Morfologische aanpassingen door afsluiting Zuiderzee: ondiepere geulen en aanzanding langs kust.
-  **Lauwersmeer**  
Morfologische aanpassingen door afsluiting Lauwerszee.
-  **Kwelders**  
Areal kwelders is afgenomen door landaanwinning. Kwelders dempen golven en kennen een hoge biodiversiteit.
-  **Onderhoudsbaggerwerk**  
Hoge kosten en milieupact door onderhoud vaargeulen en havens.
-  **Bodemdaling**  
Bodemdaling door de winning van gas en zout onder de Waddenzee

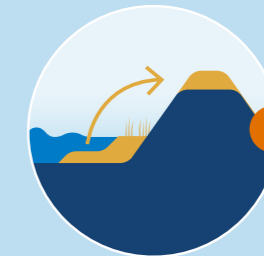
## Oplossingsrichtingen

### Bouwstenen

In een Nature-based oplossingsrichting zijn meerdere bouwstenen\* mogelijk, waarvan onderstaande bouwstenen mogelijk kansrijk zijn in het Waddengebied.



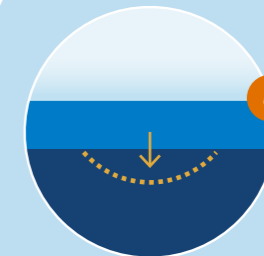
**1 Buitendijkse kwelders:** Deze breken golven en groeien mee met zeespiegel. Te combineren met brede groene dijken zonder harde bekleding.



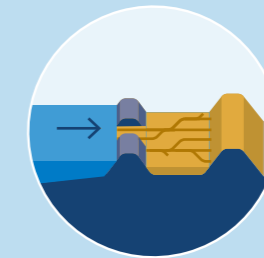
**2 Kwelders verjongen:** Oude kwelders verjongen tot dynamische pionierkwelders. Met vrijkomend materiaal periodiek de dijk verzwaren.



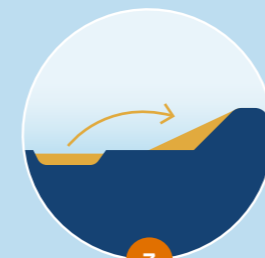
**3 Benutten van slib:** Slib uit havens en vaargeulen benutten voor meegroeien kustzone in plaats van verspreiden in de Waddenzee.



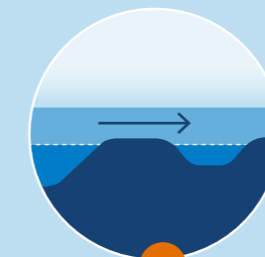
**4 Stoppen met gas- & zoutwinning:** Voorkomen bodemdaling door beperken gas- en zoutwinning.



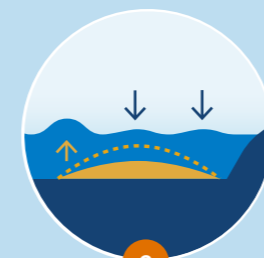
**5 Meegroeilandschappen:** Schorrenlandschap tussen twee dijken groeit mee met zeespiegel, wat zorgt voor minder slachtoffers bij dijkdoorbraken.



**6 Kleirijperij:** Gebaggerd slib laten rijpen tot bruikbare dijkklei.



**7 Vloedkommen:** Getij en sediment inlaten in binnendijkse vloedkommen voor opslibbing en natuurontwikkeling.



**8 Plaatsuppleties:** Behoud van intergetijdengebied zorgt voor lagere golven en behoud van foerageer- en rustgebieden.

\*Veel bouwstenen kunnen ook op andere locaties worden toegepast dan weergegeven met de cijfers.

## 7 Noordzeekust

### 7.1 Systeembeschrijving

De Nederlandse Noordzeekust is van oudsher een dynamisch landschap dat gevormd werd door de werking van getijden, wind en golven. In de vroege middeleeuwen bestond de kust uit een mozaïek van duinen, strandwallen, kwelders en veengebieden, afgewisseld met getijdengeulen en lagunes. Vanaf de 12e eeuw begon de mens met het actief beschermen van het kustgebied door de aanleg van dijken, dammen en duinversterkingen, vooral in reactie op zware stormvloed en zoals die van 1170 en later de Sint-Elisabethsvloed van 1421.

Het grootste deel van de Noordzeekust wordt beschermd tegen stormvloed door duinen. Daartussen liggen zeedijken, boulevards en hybride keringen (mengvormen van dijk en duin). De kust vormt één groot zanddelend systeem, waarbij kunstmatige elementen als havendammen en de harde zeewering van de Maasvlakte een onderbreking vormen.

De breedte van het duingebied varieert sterk langs de Nederlandse kust. Gebruik van de kustzone staat onder druk door soms conflicterende functies zoals kustverdediging, natuur, bebouwing, drinkwaterwinning en recreatie. Door het onderhoud van de Basiskustlijn (BKL) wordt voorkomen dat de kustlijn zich structureel terugtrekt. Tegelijkertijd zorgt het vasthouden van de kustlijn ervoor dat het duingebied verstart: er zijn veel locaties waar weinig tot geen ruimte is voor cyclische afslag, aangroei, overwash en verstuiving.

Lokaal is er gebrek aan ruimte voor natuurlijke dynamiek. Voorbeelden zijn bebouwing en boulevards langs de Hollandse kust (Scheveningen, Katwijk, Noordwijk), havendammen die langstransport onderbreken (IJmuiden, Scheveningen, Eijerlandse Gat) of duinzones die te smal zijn om dynamiek toe te staan vanuit kustveiligheid (bijvoorbeeld tussen Callantsoog en Den Helder).

### 7.2 Natuurinclusieve oplossingsrichtingen

In de nature-based denkrichting van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging zijn twee onderzoeksalternatieven ontwikkeld. Voor de Noordzeekust hebben deze twee alternatieven de volgende kenmerken:

- **Alternatief 1:** Voor de zandige kust wordt ingezet op het vergroten van de rol van natuurlijke processen via zandmotoren en kerven in combinatie met duinverbreding.
- **Alternatief 2:** Voor het beheer en onderhoud van zandige kust wordt voortgebouwd op de huidige voorkeursstrategie uit het Deltaprogramma.

De Nederlandse kustlijn wordt actief onderhouden via een combinatie van natuurlijke en technische maatregelen. Dit gebeurt onder regie van Rijkswaterstaat binnen het kustbeheerbeleid, met als operationele doel het handhaven van de basiskustlijn (sinds 1990) en het meegroeien van het kustfundament (sinds 2001; het hele gebied waarbinnen zand uitwisselt tussen duin, strand en vooroever, ongeveer 2500 km<sup>2</sup>). Voor kustonderhoud wordt gebruik gemaakt van duinsuppleties, strandsuppleties en vooroeversuppleties. Een speciale vorm is de megasuppletie, wat kan worden gezien als een suppletie van strand en vooroever die de omliggende kust jarenlang moet voorzien van zand, verspreid door golf- en getijgedreven stroming.

Ondanks het nature-based karakter van zandsuppleties (gebruik van gebiedseigen, natuurlijke materialen), draagt het vasthouden van de basiskustlijn bij aan een beperking van de dynamiek van de kustzone ten opzichte van een volledig natuurlijke kust. Om meer ruimte te bieden aan dynamiek is het zinvol om lokaal tijdelijk meer erosie toe te staan, kerven in de zeereep aan te brengen waar zand het achterliggende duingebied in kan waaien, en overwash of zelfs duindoорbraken te laten plaatsvinden. Daarbij is het van belang om dit gecontroleerd te doen, waarbij de waterveiligheid en zoetwatervoorziening niet in het geding komen.



*Figuur 25: Kerven in de zeereep van Zuid-Kennemerland. Bron: pwn.nl.*

Bij elke suppletie wordt het bodemleven tijdelijk afgedekt met zand, waarna ecologisch herstel moet plaatsvinden. Het voordeel van megasuppleties ('zandmotoren') is dat het interval tussen suppleties relatief groot kan zijn, waardoor het bodemleven in de kustzone lange tijd niet verstoord hoeft te worden.

### 7.3 Waterveiligheid

Door het staande beleid van onderhoud van de basiskustlijn en het fundament is de kust in de loop van de afgelopen decennia steeds robuuster geworden (HKV, 2012). Voornamelijk de eerste duinenrij (de zogenaamde zeereep) is gegroeid. Continuering van dit beleid is kansrijk voor waterveiligheid, zolang voldoende zand beschikbaar is om de suppleties uit te voeren. Met de huidige zandreserves en suppletiepraktijken kan de Nederlandse kust, inclusief de Waddenzee en Zuidwestelijke Delta, een zeespiegelstijging tot ongeveer 0,5 meter opvangen zonder grote aanpassingen. Nu suppleren we 11 miljoen m<sup>3</sup> zand per jaar om de kustlijn op zijn plaats te houden. Bij 2 meter zeespiegelstijging in 2200 (orde van grootte het hoge KNMI'23-scenario) wordt dat gemiddeld 23 miljoen m<sup>3</sup> per jaar, maar als 2 meter zeespiegelstijging zich al in 2100 voordoet (tijdelijk 'zeer extreem'), is de komende 70 jaar gemiddeld 37 miljoen m<sup>3</sup> per jaar nodig en daarna nog meer (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2023).

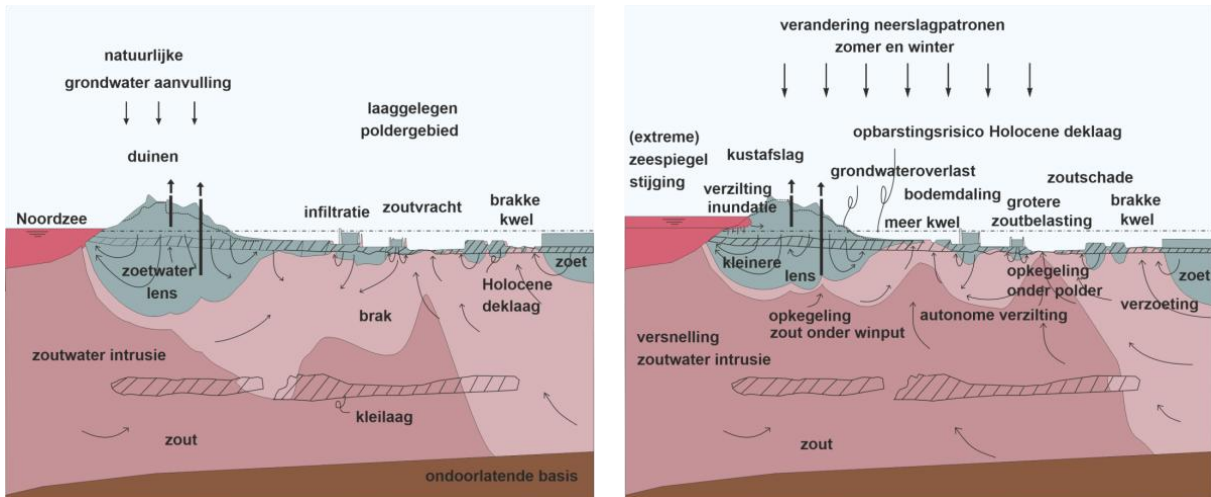
De beschikbare zandreserves binnen de huidige zandwinzones zijn beperkt. Op sommige locaties is zandwinning niet toegestaan vanwege vaarwegen, ecologische waarden, windmolens en kabels op de bodem, of de aanwezigheid van bijvoorbeeld munitie uit de Tweede Wereldoorlog. Om ook op de lange termijn voldoende zand beschikbaar te houden, is het essentieel om extra ruimte voor zandwinning te reserveren (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2023). Deze reserveringen worden geborgd in het Programma Noordzee 2022–2027 en het Nationaal Waterprogramma.

Voornamelijk de zeereep is hoger en steiler geworden. Als ook het achterliggende duingebied meegroeit met de zeespiegel, ontstaat een robuustere kustzone. Dit kan worden gestimuleerd door de instuiving in het duingebied te vergroten door het aanbrengen van kerven, waar wind het zand het duingebied in kan blazen. Ook zorgen kerven in de zeereep voor dynamiek en verhoogde biodiversiteit in de duinen. Momenteel wordt vooral gewerkt met kerven op plekken met brede duinen, terwijl voor waterveiligheid op lange termijn juist ook locaties met een minder robuuste zeewering interessant zouden zijn.

## 7.4 Zoetwaterbeschikbaarheid

In Nederland vormen de duinen een belangrijke bron voor de winning van drinkwater. Grondwater wordt hier op natuurlijke wijze gezuiverd door infiltratie van voorgezuiverd rivier- of oppervlaktewater. Dunea neemt bijvoorbeeld water in vanuit de Afgedamde Maas en de Lek en pompt dit via een zuiveringslocatie in Bergambacht naar de duingebieden Meijendel en Berkheide tussen Wassenaar en Katwijk. In totaal gaat dit om bijna 70 km aan transportleidingen. Daarmee is drinkwaterwinning relatief ongevoelig voor zeespiegelstijging.

Wel kan klimaatverandering de zoetwaterlenzen onder de duinen in het gedrang brengen. Het zoute water drukt de ondergrondse zoetwaterlenzen omhoog en landinwaarts. De verzilting van het grondwatersysteem neemt hierdoor geleidelijk toe: dikke zoetwaterlenzen worden kleiner en dunne regenwaterlenzen kunnen verdwijnen. De diepe grote zoetwaterlenzen van Zuid- en Noord-Holland kunnen waarschijnlijk de komende 100 jaar zeespiegelstijging aan, zolang het duinmassief maar groot en hoog genoeg is om grondwaterstandsopbolling toe te staan. Bij verdere zeespiegelstijging nemen de volumes van deze lenzen wel af. Bij doorgaande zeespiegelstijging (2 tot 3 meter) zullen huidige zoetwaterlenzen met een beperkte dikte verdwijnen (STOWA, 2023), en het volume van de zoetwaterlenzen van Dunea met ongeveer 34% afnemen (Deltares, 2024).



Figuur 26: Conceptuele schetsen van de effecten van zeespiegelstijging voor het grondwatersysteem in het Nederlandse kustgebied: de huidige situatie links en de toekomstige situatie rechts.

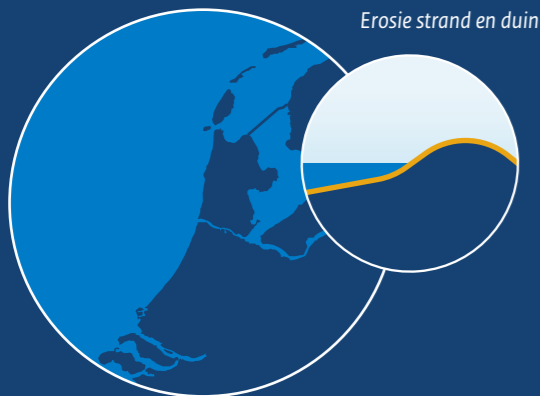
Duingroei in hoogte en breedte helpt om de zoetwaterlenzen te beschermen. Het meegroeien van het kustfundament via het huidige suppletiebeleid heeft echter slechts een beperkt positief effect (Deltares, 2024). Significante effecten op zoetwaterlenzen worden alleen bereikt bij meegroeien van het complete duingebied. Instuiving via stuifkuilen en kerven kan hier enigszins aan bijdragen. Bij het realiseren van kerven is het wel van belang te voorkomen dat duindoorbraken leiden tot zoutindringing in de toplaag van de duinen, waardoor zoetwaterlenzen langdurig onbruikbaar kunnen worden.

# Noordzeekust

De duinenkust is een mooi voorbeeld van hoe waterveiligheid, zoetwatervoorziening en natuur hand in hand kunnen gaan. Door middel van suppletie van het kustfundament en het onderhoud van de basiskustlijn groeit de kust mee met de zeespiegelstijging. Het suppletieprogramma zorgt er bovendien voor dat de kust over het algemeen steeds veiliger wordt.

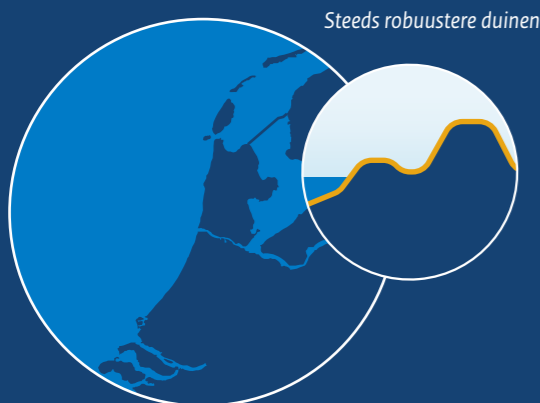
## Voor 1990

Voor 1990 werd de kust reactief beheerd; ingrepen volgden op schade of erosie, zonder vaste referentielijn of structurele aanpak.



## Na 1990

Sinds 1990 geldt de basiskustlijn als referentie. Verder wordt sinds 2000 het kustfundament gesuppleerd om kust en vooroever te laten meegroeien met de zeespiegel.



## Aandachtspunten

Bij versnelde zeespiegelstijging zijn grotere zandvolumes nodig om de kust mee te laten groeien via zandsuppleties. Het tijdig reserveren van zandvoorraden op de Noordzeebodem is hiervoor essentieel. Via dynamisch kustbeheer gaan waterveiligheid, zoetwatervoorziening en natuur goed samen. Toch kent het kustbeheer ook aandachtspunten:

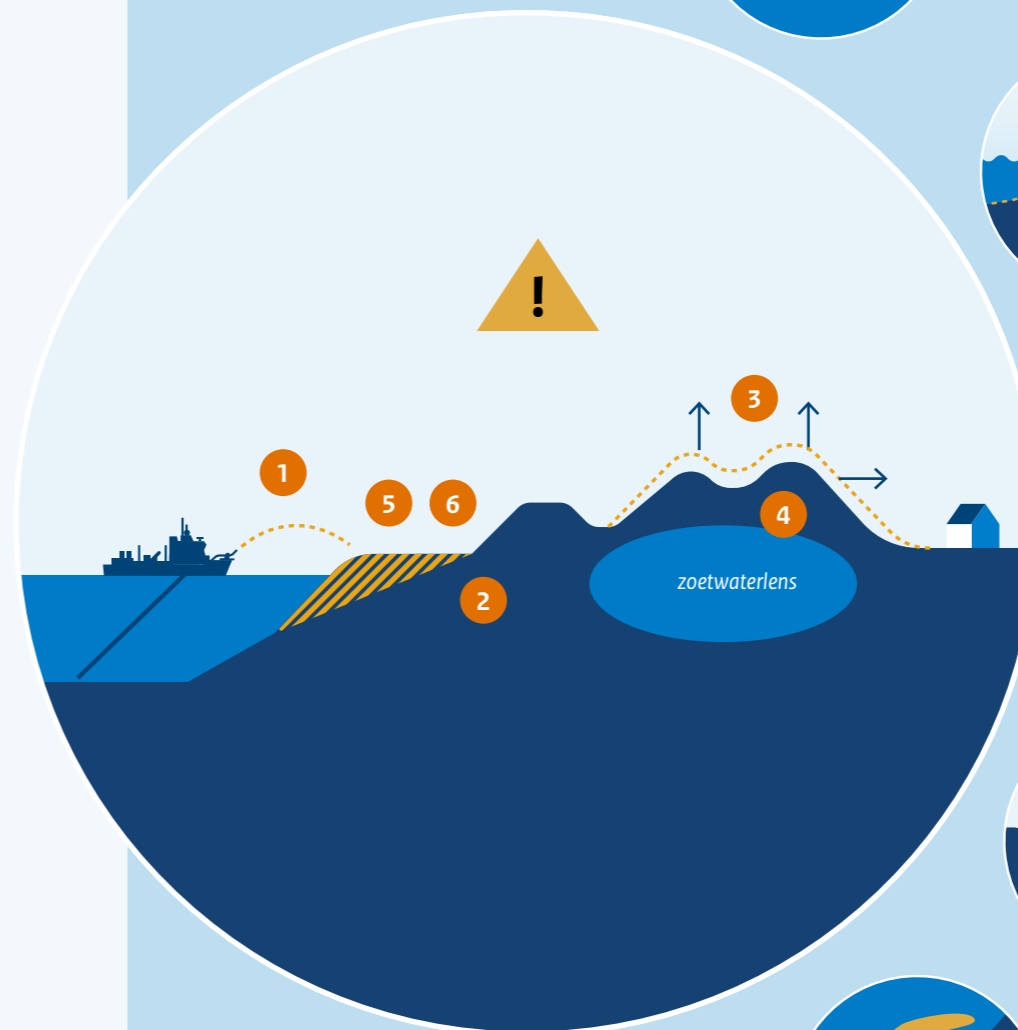
- 
**Meegroei duingebied**  
 Strand en eerste duin groeien mee met zeespiegelstijging, maar achterliggende duinen beperkt.
- 
**Verstarring kustlijn**  
 Relatief weinig plekken waar perioden met erosie, overwash en verstuing plaatsvinden.
- 
**Natuurlijke dynamiek**  
 Lokaal onvoldoende ruimte voor natuurlijke dynamiek (smalle duinzones, havendammen, bebouwing, boulevards).
- 
**Sedimenttransporten**  
 Havens, havendammen en strekdammen blokkeren sedimenttransporten en leiden lokaal tot erosie.
- 
**Zoetwaterlenzen**  
 Zeespiegelstijging brengt zoetwaterlenzen onder de duinen in gevaar.

## Oplossingsrichtingen

### Bouwstenen

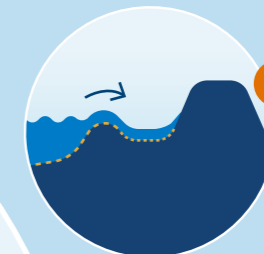
In een Nature-based oplossingsrichting zijn meerdere bouwstenen\* mogelijk, waarbij onderstaande bouwstenen mogelijk kansrijk zijn langs de Noordzeekust.

*\*Veel bouwstenen kunnen ook op andere locaties worden toegepast dan weergegeven met de cijfers.*



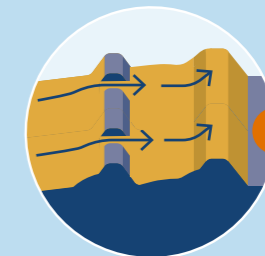
### Zandsuppleties:

Zand aanbrengen voor het meegroeien van strand en duinen. Daarbij verstoren grotere suppleties het bodemleven minder frequent.



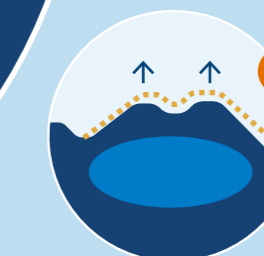
### Erosie en overwash:

Tijdelijke erosie en overwash door extensiveren kustonderhoud op plekken waar dit kan vanuit waterveiligheid en functies.



### Aanleg kerven:

Bevorderen instuiving, meegroei en biodiversiteit.



### Meegroei brede duinen:

Verhogen en verbreden van compleet duingebied door instuiving voor waterveiligheid en bescherming van zoetwaterlenzen.



### Grote Zandmotoren:

Grote zandmotoren langs de kust om de aangroei van de kustzone flink te vergroten voor een bredere kustzone.



### Kleine zandmotoren:

Kleine zandmotoren om de natuurlijke aangroei in de kustzone te vergroten en de kustzone in stand te houden.

## 8 Discussie

### Waterveiligheid, zoetwaterbeschikbaarheid en natuur

In het verleden hebben ingrepen ten behoeve van waterveiligheid regelmatig negatieve impact gehad op het functioneren van het natuurlijke systeem. Door aanleg van dijken, dammen en stormvloedkeringen is de getijdedynamiek op veel plekken gereduceerd of weggefallen en is het natuurlijke meegroei-vermogen bij een stijgende zeespiegel beperkt. De alternatieve denkrichting 'meegroei' houdt meer rekening met het natuurlijke systeem, maakt de negatieve impact van historische keuzes deels ongedaan en maakt gebruik van nature-based oplossingen voor het vergroten van de waterveiligheid. Bij slim kiezen per regio hoeft een dergelijke aanpak niet duurder te zijn dan een strategie die eenzijdig geoptimaliseerd is vanuit waterveiligheid en zoetwater.

### Samenhangende keuzes

Bepaalde nature-based bouwstenen kunnen onafhankelijk van elkaar overwogen worden. Zo staan keuzes over meegroeilandschappen rond de Westerschelde relatief los van keuzes over dammen en keringen rond de Oosterschelde, Grevelingen en het Haringvliet. Andere keuzes staan echter in sterk verband met elkaar. Een open Haringvliet wordt mogelijk gemaakt door het afsluiten van de zuidrand van Rijnmond-Drechtsteden (Spui, Dordtse Kil) om daar zoutindringing te voorkomen. Ook ligt afsluiting van de Nieuwe Waterweg voor de hand in combinatie met een open Haringvliet, om de rivierafvoer voornamelijk via het open Haringvliet te leiden.

### Samenhangende gebieden

Zowel zand als slib is een eindige bron. Via natuurlijke processen beweegt via langstransporten een relatief beperkte hoeveelheid zand langs de Nederlandse kust: minder dan 0,5 miljoen m<sup>3</sup>/jaar langs de Hollandse kust en ruim 1 miljoen m<sup>3</sup>/jaar langs de oostelijke Waddeneilanden (Kennisprogramma Zeespiegelstijging, 2025b). Het volume van zandsuppleties voor kustonderhoud (momenteel ongeveer 11 miljoen m<sup>3</sup> per jaar) is duidelijk groter. De slibstroom langs de kust (van zuid naar noord) vervoert jaarlijks ongeveer 12 miljoen ton slib vanuit het zuiden (voornamelijk vanuit het Nauw van Calais) naar het noorden. Een klein deel van dit slib komt in de Westerschelde terecht, een groot deel in de trilaterale Waddenzee (Colina Alonso et al., 2024). Als in de Zuidwestelijke delta meer slib wordt gebruikt voor bijvoorbeeld het opslibben van meegroeilandschappen, is er mogelijk minder slib beschikbaar voor slikken en kwelders in de Waddenzee.

### Het belang van tijdig kiezen

Keuzes op systeemniveau hebben grote consequenties voor waterveiligheid, zoetwaterbeschikbaarheid en natuur, waarbij ruimte, dynamiek en connectiviteit indicatoren zijn voor een goed functionerend natuurlijk systeem. Een keuze voor een andere systeeminrichting op lange termijn vraagt om uitgebreid onderzoek, overleg en vergunningsprocedures, en daarmee om tientallen jaren aan voorbereidingstijd. Tegelijkertijd worden op lokaal niveau al uitgangspunten over de toekomst gehanteerd. Dijkversterkingsprojecten worden uitgevoerd, havenactiviteiten worden ontplooid, alles onder het uitgangspunt dat er géén systeemveranderingen aankomen. Dit onderstreept de noodzaak van tijdig kiezen. Enkele concrete voorbeelden:

- Als een keuze moet worden gemaakt voor het al dan niet vervangen van de Maeslantkering, omdat deze functioneel of technisch einde levensduur is, is het van groot belang een gedragen toekomstvisie op het systeem te hebben. Als deze visie ontbreekt, ligt 1-op-1 vervanging voor de hand, waarna alternatieve systeemkeuzes weer decennialang minder aantrekkelijk zijn.

- Als bij einde levensduur van de Oosterscheldekering of Haringvlietsluizen overgestapt wordt op een strategie met een open zeearm of estuarium, vraagt dit om dijkversterkingen in het achterliggende gebied. Als deze strategie lang genoeg van tevoren wordt aangekondigd, kunnen dijkversterkingsprojecten robuuster worden uitgevoerd en werkbaar in de tijd worden geplaatst.
- Als bekend is dat in de Rijn-Maasmonding op termijn overgestapt wordt op een inrichting met 'deltapolder', vervalt de noodzaak voor dijkversterkingsprojecten binnen dit deel van deze regio en kan haven-gerelateerde bedrijvigheid zich hierop voorbereiden.

### **Maakbaarheid van natuur**

Veel beschreven nature-based oplossingen hebben betrekking op het ongedaan maken van menselijke ingrepen uit het verleden. In bepaalde gevallen leidt dit relatief eenvoudig tot herstel van de oorspronkelijke getijdennatuur, bijvoorbeeld bij openen van de Grevelingen. Er zijn echter ook situaties denkbaar waarbij dit herstel niet goed mogelijk is, bijvoorbeeld bij realisatie van een vloedkom met een onvoldoende hoge sedimentatiesnelheid. Kosten en maatschappelijke impact dienen goed te worden afgewogen tegen de voorziene baten van een ingreep, ook als deze menselijk handelen uit het verleden ongedaan maakt.

# Referenties

- Arcadis en Hydrologic (2023). Kennisprogramma Zeespiegelstijging, spoor II; Systemanalyses zoetwater regio Volkerak-Zoommeer; Rapportnummer: 30101791.1.ANL, januari 2023.
- Colina Alonso, A., van Maren, D. S., Oost, A. P., Esselink, P., Lepper, R., Kösters, F., ... & Wang, Z. B. (2024). A mud budget of the Wadden Sea and its implications for sediment management. *Communications Earth & Environment*, 5(1), 153.
- CPB (2012). Een snelle kosten-effectiviteitanalyse voor het Deltaprogramma IJsselmeergebied: wat zijn de kosten en veiligheidsbaten van wel of niet meestijgen met de zeespiegel en extra zoetwaterbuffer? CPB achtergronddocument, F. Bos, P. Zwaneveld en P. Puijenbroek, 2012.
- Dam, G., Van der Wegen, M., Labeur, R.J., & Roelvink, D. (2016). Modeling centuries of estuarine morphodynamics in the Western Scheldt estuary. *Geophysical Research Letters*, 43(8), 3839-3847.
- Deltares (2013). Eindadvies ANT Oosterschelde. Deltares rapport 1207722-000:78, De Ronde, J.G., J.P.M. Mulder, L. Van Duren & T. Ysebaert.
- Deltares (2020). Modelling slibdynamiek voor de Waddenzee. Deltares rapport 11205229-001-ZKS-0001, Julia Vroom, Roy van Weerdenburg, Bob Smits en Peter Herman, 12 juni 2020.
- Deltares (2021). Klimaatrobustheid van het waterbeheer van het Veerse Meer. Deltares rapport 11206201-001-ZKS-0005, Maaïke Maarse, Frank Kleissen en Arno Nolte, 4 februari 2021.
- Deltares (2021b). Meegroeivermogen en kritische zeespiegelstijgingsnelheid voor verdrinking in de Nederlandse Waddenzee. Deltares rapport 11206346-002-BGS-0002, Zheng Bing Wang en Ad van der Spek, 17 maart 2021.
- Deltares (2024). Kennisprogramma Zeespiegelstijging; effecten zeespiegelstijging op zoetwater in de Nederlandse duinen. Deltares rapport 11210315-005-BGS-0001, Gualbert Oude Essink en Guilherme Emidio Horta Nogueira, 24 december 2024.
- Deltares (2025a). Zoetwaterbeschikbaarheid in de Rijn-Maasmonding in een warmer klimaat: integrale verkenning van bouwstenen om zoutindringing te beperken. Deltares rapport 11210362-013-ZWS-0003, V. Vuik, Y. Huismans, M.J.P. Mens, A.M. van den Hoek, R. Noordhuis, O.M. Weiler, R.M. van der Wijk, F.L.M. Diermanse, 1 januari 2025.
- Deltares (2025b). Achtergronddocument voor de Integrale Voorkeursstrategie Oosterschelde. Deltares rapport 11210350-002, Bas Bolman, Vincent Vuik, Josien Grashof en Arno Nolte, concept.
- De Vet, P.L.M., Van Prooijen, B.C., Herman, P.M.J., Bouma, T.J., Van Maren, D.S., Walles, B., ... & Wang, Z.B. (2024). Response of estuarine morphology to storm surge barriers, closure dams and sea level rise. *Geomorphology*, 467, 109462.
- Dijkema, K., & van Duin, W. (2012). 50 jaar monitoring van kwelderwerken. *De Levende Natuur*, 113 (3), 118-122.
- Ecoshape (2024). Nature-based Solutions voor Dijken en Natuur; Een overzicht van Nature-based Solutions die toegepast kunnen worden in de Nederlandse dijkensector. Suan Tie Pwa, Cees Oerlemans, Bas Bakker, Jan Valk, Jochem Caspers, Annika Trignol en Daniël Ouddeken, 10 oktober 2024.

- Elias, E.P., Van der Spek, A.J., Wang, Z.B., Cleveringa, J., Jeuken, C.J., Taal, M., & Van der Werf, J.J. (2023). Large-scale morphological changes and sediment budget of the Western Scheldt estuary 1955–2020: the impact of large-scale sediment management. *Netherlands Journal of Geosciences*, 102, e12.
- Gebraad, C., Van Barneveld, N., Van de Visch, J. en Van Ledden, M. (2018). Klimaatadaptatie in Rijnmond-Drechtsteden – leren van buitendijks gebied. H2O waternetwerk.
- Goldbach (2003). Twee eeuwen Westerschelde; een morfologisch referentiekader. Onno Goldbach, RIKZ Middelburg, December 2003.
- HKV (2012). Indicatoren voor kustlijnzorg; Analyse van stormen, suppleties en kustveiligheid. HKV-rapport pr2063.30, Vincent Vuik, Wim van Balen en Andries Paarlberg, 29 oktober 2012.
- HKV (2021). Databases Hydra-NL Oosterschelde; Omzetten IMPLIC-waterstanden. HKV-rapport pr4400.10, Matthijs Duits, februari 2021.
- HKV (2024a). Constructieve houdbaarheid en oprekbaarheid Oosterscheldekering. HKV-rapport pr4949.10, Matthijs Duits, Vincent Vuik, Jochem Caspers, Robin Nicolai en Gerbert Pleijter, augustus 2024.
- HKV (2024b). Nadere analyse zoetwater Rijn-Maasmonding onder extreme zeespiegelstijging; Kennisprogramma Zeespiegelstijging, systeemverkenningen. HKV-rapport pr5113.10, Pepijn van Denderen, Jan-Willem van Lente en Andries Paarlberg, december 2024.
- HKV (2024c). Databases Oosterschelde 3 m zeespiegelstijging. HKV-rapport pr5023.10, Bastiaan Kuijper, februari 2024.
- HKV (2025). Dubbele dijken met opslibbend tussengebied: effectief bij zeespiegelstijging? Onderzoeksprogramma Geen Zee te Hoog, Living Lab Zak van Zuid-Beveland. HKV-rapport pr5187.10, Marit Zethof, Vincent Vuik en Ilian de Snoo, februari 2025.
- HKV en Witteveen+Bos (2023a). Kennisprogramma Zeespiegelstijging, spoor II, Systemanalyse waterveiligheid; Deelrapport Zuidwestelijke delta (Hoofdrapport). HKV-rapport PR4682.10. Marit Zethof, Jan Stijnen, Bastiaan Kuijper, Cees Oerlemans, Maarten Jansen, Tim van Engelen, David Knops en Bert van den Berg, mei 2023.
- HKV en Witteveen+Bos (2023b). Kennisprogramma Zeespiegelstijging, spoor II, Systemanalyse waterveiligheid; Deelrapport Rijn-Maasmonding en Riviereengebied (Hoofdrapport). HKV-rapport PR4682.10. Marit Zethof, Jan Stijnen, Bastiaan Kuijper, David Knops en Bert van den Berg, 30 mei 2023.
- HKV en Witteveen+Bos (2023c). Kennisprogramma Zeespiegelstijging, spoor II, Systemanalyse waterveiligheid; Deelrapport Waddenzee en Eems-Dollard (Hoofdrapport). HKV-rapport PR4682.10. Marit Zethof, Maarten Jansen, Tim van Engelen, David Knops, Jan Stijnen en Bert van den Berg, 30 mei 2023.
- Jansen, M.D.M (2023). Building Safety with Nature; A System Analysis of Dynamic Double Dike Systems. MSc. Thesis TU Delft, juni 2023.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2023). Tussenbalans van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
- Kennisprogramma Zeespiegelstijging (2024). KPZSS spoor IV - Oplossingsrichting Beschermen - Bijlagenrapport - referentie 135942/23-017.522 - definitief d.d. 15 februari 2024.

- Kennisprogramma Zeespiegelstijging (2025a). Kennisprogramma Zeespiegelstijging Nature-Based Solutions; Onderbouwing doelbereik. Rapport werkgroep Techniek, Bas Kolen et al., maart 2025.
- Kennisprogramma Zeespiegelstijging (2025b). Meegroeien met zeespiegelstijging; Onderzoek naar nature-based strategieën om Nederland te beschermen tegen de effecten van zeespiegelstijging. Kennisprogramma Zeespiegelstijging Denkrichting Meegroeien met zeespiegelstijging; Eindrapport, concept, Martijn Steenstra et al., 14 mei 2025.
- Liebrand, C., N. van Rooijen, R. van der Meijden, J. Warmink, M. Evers, T. Evers, R. Mom, G.J. Steendam, A. van Hoven, E. Visser, S. Huls & H. de Kroon. (2024) Rapportage thema 0; Huidige kennis van soortenrijke dijkvegetaties en de relatie met bodem en sterkte, HWBP Future Dikes: soortenrijke grasbekleding fase 1.
- Platform Rivieren (2019). Verhaal van de Rijn-Maasmonding, 13 februari 2019.
- Provincie Zeeland, Rijkswaterstaat en Dienst Landelijk Gebied (2009). Eindrapportage Natuurcompensatieprogramma Westerschelde 1998-2008, Samenhangend met de 2e verruiming van de Westerschelde. Vastgesteld door Gedeputeerde Staten van Zeeland op 1 december 2009, Opgesteld door Provincie Zeeland, Rijkswaterstaat en Dienst Landelijk Gebied.
- Rijkswaterstaat (1998). MER beheer Haringvlietsluizen. Over de grens van zout en zoet. Deelrapport 1, Water en zoutbeweging, Jos van Hees en Herman Peters, RIKZ, RWS notanummer APV 98/093, ISBN 903694871.
- Röbke, B. R., Elmilady, H., Chaves, M. A., Taal, M., & van der Wegen, M. (2025). The relative impact of sea level rise and dredging strategies on the morphodynamic evolution of the Western Scheldt estuary (The Netherlands). *Coastal Engineering*, 200, 104750.
- Jan-Eike Rossius, Maarten Kleinhans en Katja Philippart (2023). Afsluitdijk decimeerde biodiversiteit Zuiderzee en IJsselmeer. *De Levende Natuur*, mei 2023.
- Schaminée, J.H.J., Janssen, J.A.M., Kwak, R., Litjens, G.J.J.M., Mulder, J.P.M., Roels, B., ... & Ysebaert, T. (2019). Biodiversiteit in de Zuidwestelijke Delta. Wageningen Environmental Research, rapport 2942.
- Schrijvers, Marcel en Haas, Herman (2009). Herstel estuariene natuur en dynamiek in de zuidwestelijke delta. *Vakblad Natuur, Bos en Landschap*, mei 2009.
- STOWA (2023). Effecten zeespiegelstijging voor het beheer van zoet grond- en oppervlaktewater. *Deltafact*, Gualbert Oude Essink, versie 1.0, september 2023.
- Van Dreumel, P.F. (1995). Slib- en zandbeweging in het noordelijk Deltabekken in de periode 1982-1992. Afdeling Watersysteemkennis, Rotterdam, december 1995.
- Van Loon-Steensma, J.M., De Groot, A.V., Van Duin, W.E., Van Wesenbeeck, B.K., Smale, A.J., Meeuwsen, H.A.M., & Wegman, R.M.A. (2012). Zoekkaart kwelders en waterveiligheid Waddengebied: een verkenning naar locaties in het Waddengebied waar bestaande kwelders of kwelderontwikkeling mogelijk kunnen bijdragen aan waterveiligheid (No. 2391). Alterra.
- Vuik, V., Borsje, B. W., Willemsen, P. W., & Jonkman, S. N. (2019). Salt marshes for flood risk reduction: Quantifying long-term effectiveness and life-cycle costs. *Ocean & coastal management*, 171, 96-110.
- Zhu, Z., Vuik, V., Visser, P. J., Soens, T., van Wesenbeeck, B., van de Koppel, J., ... & Bouma, T. J. (2020). Historic storms and the hidden value of coastal wetlands for nature-based flood defence. *Nature Sustainability*, 3(10), 853-862.



## **HKV lijn in water**

### **Locatie Lelystad**

Botter 11-29  
8232 JN Lelystad

### **Locatie Delft**

Informaticalaan 8  
2628 ZD Delft

### **Locatie Amersfoort**

Berkenweg 7  
3818 LA Amersfoort

0320 294242  
[info@hkv.nl](mailto:info@hkv.nl)  
[www.hkv.nl](http://www.hkv.nl)