

Meegroeien met zeespiegelstijging

Kennisprogramma Zeespiegelstijging

Deelrapport Morfologische aspecten:
meegroeien, suppleties en slibinvang



Morfologische aspecten: meegroeien, suppleties en slibinvang

Deelrapport

Auteurs:	Bas van Maren (Deltares), Bob Smits (Deltares), Pim Willemsen (WUR), Ton Hoitink (WUR), Bente de Vries (RHDHV), Petra Dankers (RHDHV), Carolien Wegman (HKV), Jim van Belzen (WMR), Quirijn Lodder (RWS)
Controle:	Alex Hekman (Sweco, NL2120)
Datum:	20-01-2025
Versie:	Definitief
In opdracht van	Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat en Staf Deltacommissaris, TKI Deltatechnologie en WNF
Financiering	Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat en Staf Deltacommissaris, TKI Deltatechnologie, WWF-NL, NL2120, Stichting EcoShape, Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur en in kind bijdragen van de partijen in het kernteam.
Kernteam	Sweco, Deltares, HKV, H+N+S, WWF-NL, EcoShape en Jong EcoShape, Wageningen Marine Research/NIOZ, Wageningen University, Bureau Stroming, Witteveen + Bos, Royal HaskoningDHV, Boskalis, Van Oord, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Staf Deltacommissaris en Rijkswaterstaat.

Colofon:

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



Verantwoording

Dit deelrapport beschrijft het resultaat van een onderdeel van de uitwerking van de denkrichting Meegroeien van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging. De verkenning is een gezamenlijk initiatief van de Staf Deltacommissaris, het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, de Topsector Water & Maritiem en NL2120. De denkrichting is een aanvulling op de denkrichtingen Beschermen (open/gesloten), Meebewegen en Zeewaarts die staan beschreven in het rapport 'Ruimte voor zeespiegelstijging, Een verkenning van denkrichtingen om Nederland ook op lange termijn veilig en leefbaar te houden bij zeespiegelstijging'.

De resultaten van deze verkenning zijn tot stand gekomen in vijf georganiseerde hackathons en door studies, berekeningen en uitwerkingen op basis van bestaande kennis en expert judgement door het kernteam. In totaal is een (ontwerp)proces van ca. negen maanden doorlopen. Er is in dit proces dankbaar gebruik gemaakt van bestaande uitwerkingen en plannen die de afgelopen jaren zijn ontwikkeld. Gedurende de hackathons hebben experts met verschillende thematische achtergronden meegedacht over oplossingsrichtingen. De resultaten van de hackathons zijn door het kernteam verder uitgewerkt en op verschillende aspecten gebundeld in deelrapporten.

Het hoofdrapport is vervolgens op basis van de deelrapporten geschreven. Resultaten in dit deelrapport kunnen afwijken van conclusies in het hoofdrapport als gevolg van gemaakte keuzes en relaties met andere onderwerpen. Het resultaat van het project kan als startpunt dienen voor vervolgonderzoek binnen het Kennisprogramma Zeespiegelstijging.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1	Context project	5
1.2	Afbakening en doel	5
1.3	Leeswijzer	5
2	Strategische sediment invang en systeemwerking	6
2.1	Een veerkrachtig kuststelsel	6
2.2	Morfologische veranderingen	7
2.2.1	Morfologisch evenwicht	7
2.2.2	Benodigde hoeveelheid sediment	8
2.2.3	Sedimentbeschikbaarheid	8
2.2.4	Sedimenttransport: hoe komt het sediment op de gewenste plekken terecht?	10
2.2.5	Sedimentvastlegging	11
2.3	NbS-bouwblokken	11
3	Methode	14
3.1	Grootschalige veranderingen	14
3.2	Bouwblokken voor strategische sedimentinvang	15
4	Waddenzee: vloedkommen, voorlandverbreding en waterkerende landschappen	17
4.1	Samenvatting NbS visie	17
4.2	Huidige condities	17
4.2.1	Volumeveranderingen en aangroeisnelheden	17
4.2.2	Bodemsamenstelling geulen, platen en kwelders	18
4.3	Voorspellingen	20
4.3.1	Grootschalige veranderingen	20
4.3.2	Toekomstige slobinvang bouwblokken	22
4.4	Suppletiebehoefte	26
4.4.1	Conceptuele suppletiebehoefte	26
4.4.2	Berekende suppletiebehoefte	27
4.4.3	Suppletiemethode	28
4.4.4	Rol van overige bouwstenen	29
5	Kust: megasuppleties en dynamisch breed duingebied	30
5.1	Samenvatting NbS visie	30
5.2	Huidige condities	30
5.3	Voorspellingen	31
6	Rijn-Maasmonding en Zuidwestelijke Delta: openen zeearmen en aanleg waterkerende landschappen	34
6.1	Samenvatting NbS visie	34
6.2	Huidige condities	34
6.2.1	De Rijn-Maas monding	34
6.2.2	De Westerschelde	34
6.2.3	De Oosterschelde	35
6.3	Voorspellingen	35
6.3.1	Grootschalige veranderingen	35
6.3.2	Toekomstige slobinvang bouwblokken	38
6.3.3	Slobbeschikbaarheid en suppletiebehoefte	39
7	Alternatieven	41

7.1	Introductie.....	41
7.2	Alternatief 1	41
7.3	Alternatief 2	44
7.4	Synthese	46
8	Discussie en advies.....	47
8.1	Onzekerheden en interpretatie.....	47
8.2	Kennisleemten en onderzoeksvragen.....	49
9	Conclusies	53
References	54
A	Bijlage: resultaten per deelgebied.....	57

1 Inleiding

1.1 Context project

In opdracht van Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat, de Staf Deltacommissaris en het Wereldnatuurfonds wordt in consortiumverband een denkrichting 'Nature-based Solutions' (NbS) ontwikkeld voor de Nederlandse kustzone onder zeespiegelstijging. Het behoud van het natuurlijk systeem staat in deze denkrichting centraal, vanwege de economische waarde, om een leefbare delta te behouden, maar ook vanuit wettelijke natuurdoelen. De Nederlandse deltanatuur is van internationale, onvervangbare waarde, en levert diensten voor zowel flora en fauna als de gehele Nederlandse samenleving. In een ontwerpende aanpak met als uitgangspunt de natuurlijk werking van het systeem wordt via hackatons en tussenliggende sprints verkend hoe we ook in de toekomst met zeespiegelstijging, de natuurlijke systemen kunnen behouden en actiever kunnen inzetten om te helpen bij waterveiligheid en zoetwaterbeschikbaarheid. Hierbij zullen altijd combinaties met waterbouwkundige ingrepen worden gezocht, zoals dammen en dijken. Gekeken wordt hoe beiden elkaar kunnen versterken zodat onze toekomstige waterveiligheid niet ten koste gaat van de Nederlandse deltanatuur en de diensten die deze natuur ons levert.

1.2 Afbakening en doel

Onderdeel van de natuurlijke oplossingen die worden verkend om Nederland voor te bereiden op (extreme) zeespiegelstijging is het invangen van sediment op strategische locaties langs de kust om de veerkracht en robuustheid van het kustsysteem te versterken. De mate waarin verschillende deelsystemen van de Nederlandse kust meegroeien met zeespiegelstijging, en hoe deze meegroeiselheid kan worden versterkt via NbS oplossingen is deels bekend. Er zijn echter ook kennishiaten én hetgeen wel bekend is, is niet bij alle relevante partijen op dezelfde manier bekend.

Het doel van deze rapportage is om morfologische kennis en kengetallen te verzamelen (en indien nog niet bestaand, te genereren) welke nodig zijn om de hierboven beschreven NbS denkrichtingen te onderbouwen. In dit rapport worden de maatregelen voor het Waddengebied, de Rijn-Maasmonding en de Zuidwestelijke delta in meer detail beschouwd en morfologisch onderbouwd. De Hollandse Kust wordt minder uitgebreid besproken omdat de kennis hierover in andere documenten beschikbaar is. In het hoofdstuk over de Hollandse kust wordt hiernaar verwezen.

1.3 Leeswijzer

Algemene concepten gerelateerd aan morfologische aspecten worden toegelicht in Hoofdstuk 2. Onderdelen hiervan zijn het concept veerkracht, een beschouwing hoe morfologische veranderingen worden gestuurd door beschikbaarheid en transportcapaciteit, en NbS bouwblokken. De methode die gebruikt is voor de morfologische onderbouwing wordt beschreven in Hoofdstuk 3. De twee daaropvolgende hoofdstukken beschrijven meegroeien in de Waddenzee (Hoofdstuk 4), de zandige kust (Hoofdstuk 5) en in de Rijn-Maasmonding en Zuidwestelijke delta (Hoofdstuk 6). De morfologische aspecten van de doorgerekende NbS alternatieven worden behandeld in Hoofdstuk 7. In de discussie (Hoofdstuk 8) worden de resultaten verder besproken en worden ook kennisleemten en onderzoeksvragen geïdentificeerd die uit deze analyses volgen. Tenslotte beschrijft Hoofdstuk 9 de belangrijkste conclusies.

2 Strategische sediment invang en systeemwerking

In deze gehele rapportage wordt een eerste orde inschatting gegeven van de sedimentbehoefte van de Nederlandse kust onder invloed van zeespiegelstijging en Nature-based Solutions (NbS). In dit hoofdstuk worden een paar basisbegrippen en kentallen toegelicht. Als eerste wordt beschreven wat het morfologisch voordeel is van een veerkrachtig kuststelsel (sectie 2.1). In sectie 2.2 worden een aantal morfologische basisbegrippen toegelicht, inclusief de beschikbaarheid van sediment (zowel zand als slib). Tenslotte worden de hier gebruikte NbS bouwblokken toegelicht (sectie 2.3).

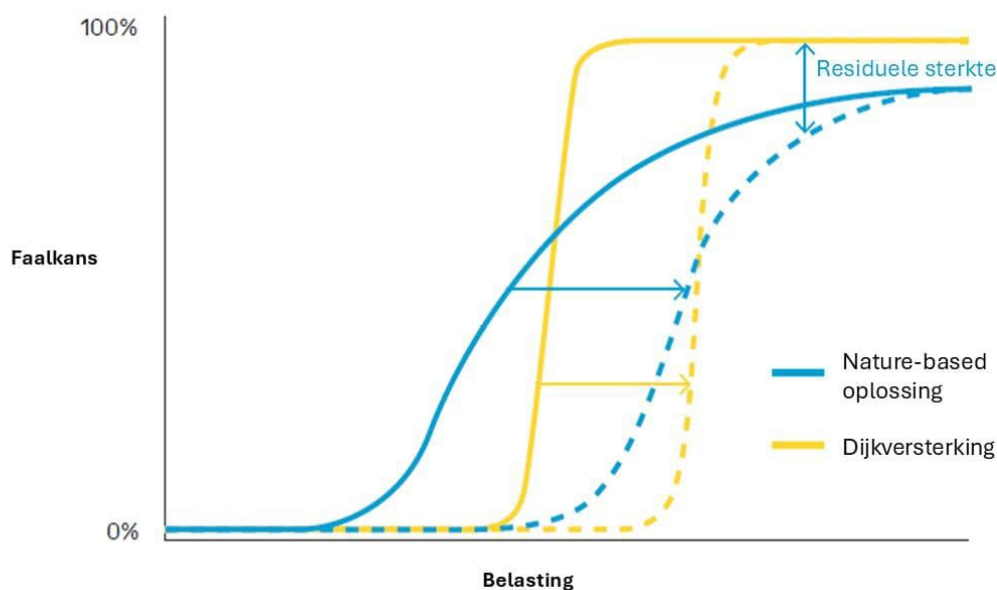
2.1 Een veerkrachtig kuststelsel

Met 'kuststelsel' wordt bedoeld het totaal van de zeearmen in de Zuidwestelijke delta (afhankelijk van het scenario, ook zeearmen welke nu zijn afgesloten), de zandige kust van de Zuidwestelijke delta, de Hollandse kust, en de Waddeneilanden, en de bekkens van de Nederlandse Waddenzee (inclusief het Eems-Dollard estuarium). Het Eems estuarium beslaat hierbij zowel het Nederlandse als Duitse deel.

De definitie van 'veerkracht' verschilt per discipline. In deze rapportage hanteren wij de definitie van Masselink en Lazarus (2019):

“Veerkracht is het vermogen van de sociaal-economische en natuurlijke systemen in het kustgebied om verstoringen, veroorzaakt door factoren als zeespiegelstijging, extreme gebeurtenissen en menselijke invloeden het hoofd te bieden door zich aan te passen en tegelijkertijd hun essentiële functies te behouden.”

De doelstelling binnen dit project is om via een NbS aanpak processen te versterken welke de kust onder natuurlijke omstandigheden hebben gevormd en verder kunnen laten groeien. Deze oplossingen worden zoveel mogelijk ingekaderd binnen de bestaande kustlijndefinities, maar laten ruimte in het kuststelsel om dynamisch mee te groeien. Belangrijke elementen hierin zijn morfologische transportprocessen (met concepten als evenwicht, beschikbaarheid van sediment) en het ontwerp van NbS bouwblokken. Beide aspecten worden in hier navolgende paragrafen besproken.



Figuur 2-1 Faalkans als functie van belasting voor een nature-based oplossing en een traditionele dijk. Aangepast uit Piercy et al. (2021).

Een meer natuurlijk kuststelsel is beter in staat zich aan te passen aan veranderingen (zoals zeespiegelstijging). Op termijn kan dit leiden tot minder onderhoud. Een tweede voordeel is dat een natuurlijk kuststelsel een residuele sterkte heeft. Een traditionele kustverdediging heeft een geringe faalkans bij hoge belasting (Figuur 21) maar wanneer een dijk bezwijkt, faalt de kustverdediging volledig. Een NbS oplossing heeft echter ook residuele sterkte: als de verdediging deels heeft gefaald zijn de gevolgen van overstromen beperkter dan bij een kuststelsel gebaseerd op dijkversterking. Hierdoor zal de schade uiteindelijk minder groot zijn in het geval van een doorbraak (Zhu et al., 2020).

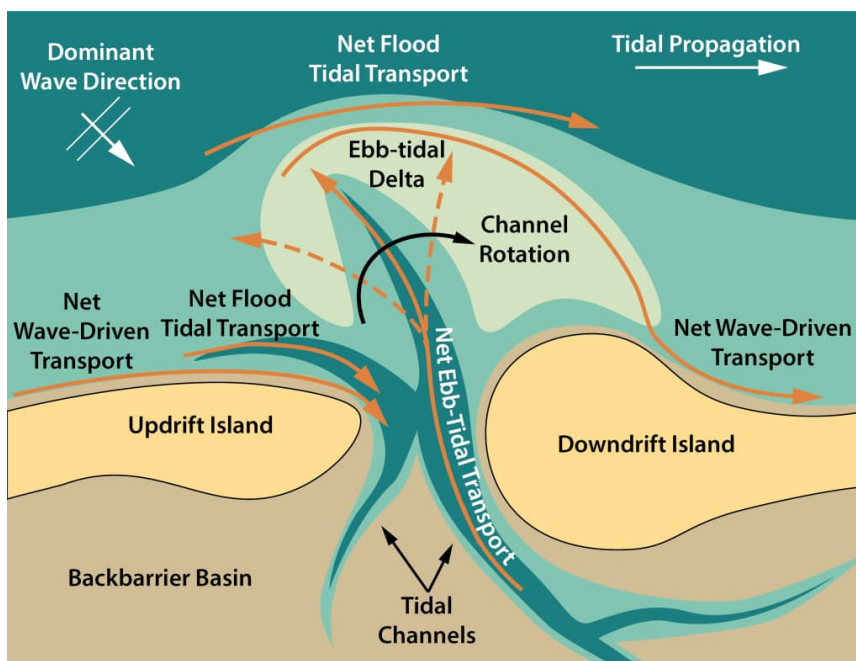
2.2 Morfologische veranderingen

In deze paragraaf worden een aantal belangrijke morfologische principes toegelicht die aan de basis staan van de onderbouwing van de maatregelen in de rest van het rapport. Achtereenvolgens komen aan bod het concept van **morfologisch evenwicht**, de **benodigde hoeveelheid sediment**, de **beschikbare hoeveelheid sediment**, de **transportprocessen** die ervoor zorgen dat het sediment van de bron naar de gewenste locatie wordt verplaatst en tot slot het **vastleggen** van sediment.

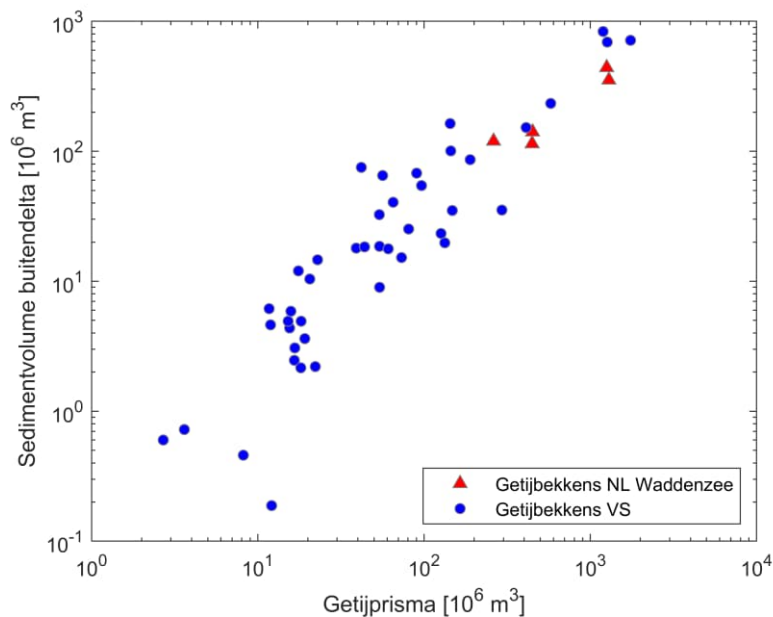
2.2.1 Morfologisch evenwicht

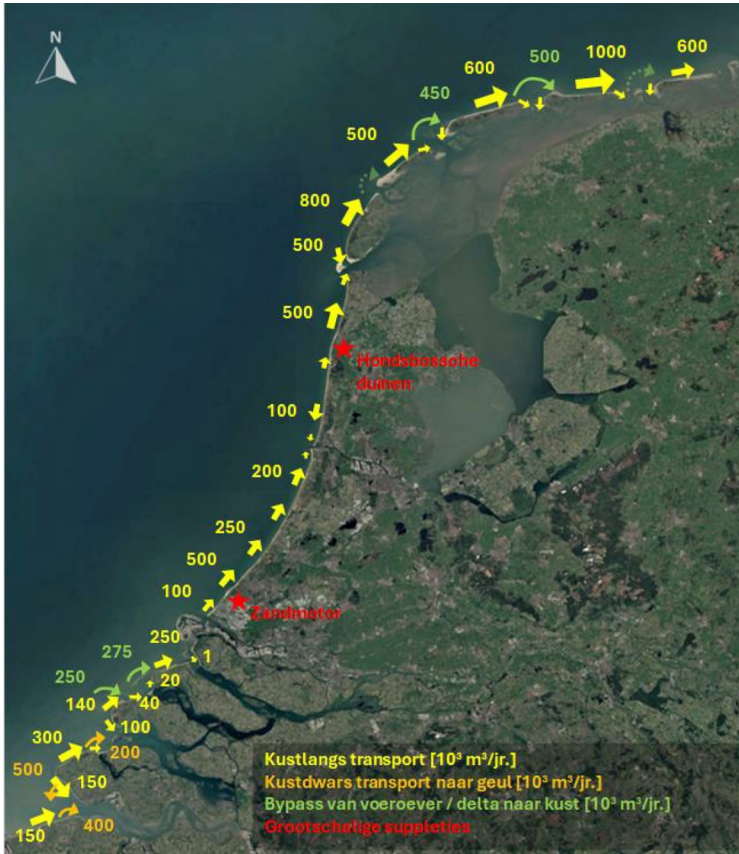
Een natuurlijk kuststelsel is in dynamisch morfologisch evenwicht. Hiermee wordt bedoeld dat er binnen een beschouwde periode wel sedimenttransport optreedt en er bodemveranderingen plaatsvinden, maar dat de bodemveranderingen gemiddeld over een langere periode (1) verwaarloosbaar zijn, of (2) constant zijn. Een voorbeeld van een dynamisch evenwicht is een getijbekken met getijgeulen en buitendelta (Figuur 2-2). Een buitendelta is een zeewaarts gelegen zandlichaam dat wordt doorsneden door getijgeulen welke typisch cyclisch migreren terwijl zand via deze buitendelta van het ene naar het andere Waddeneiland wordt getransporteerd. De totale hoeveelheid sediment in de buitendelta blijft echter, onder constante condities, hetzelfde.

Wanneer er een verandering optreedt in het getijbekken verandert dit zandvolume. Een verkleining van het bekken (bijvoorbeeld door landaanwinning) leidt tot een kleiner getijprisma (minder water stroomt het bekken in en uit) waardoor de buitendelta krimpt. Ondanks de complexiteit en grote variabiliteit typisch geassocieerd met sedimenttransport en morfodynamiek zijn dergelijke evenwichtsrelaties verrassend robuust (Figuur 2-3). Het afsluiten van de Lauwerszee in 1969 heeft geleid tot een afname in getijdebiet en hierdoor een krimp van de buitendelta, waardoor jarenlang grote hoeveelheden zand de stranden van het eiland Schiermonnikoog hebben gevoed (zand dat afkomstig was van deze krimpde buitendelta). Dit betekent dat ingrepen die de grootte van een getijbekken beïnvloeden, via een verandering in de buitendelta's, kunnen leiden tot aangroei of erosie van nabijgelegen stranden.



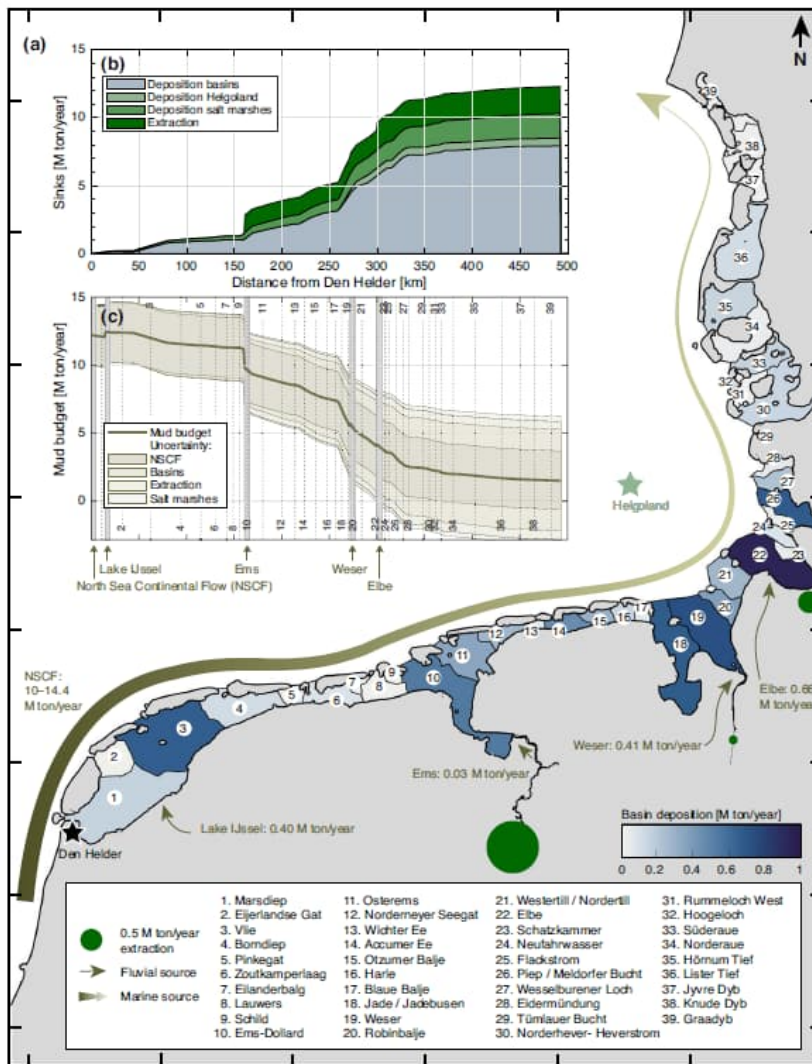
Figuur 2-2 Schematische weergave van een buitendelta (ebb-tidal delta) in de Nederlandse Waddenzee (<https://coastallycurious.com/2022/02/28/sediment-pathways-on-ebb-tidal-deltas/>)





Figuur 2-4 Overzicht lange-termijn gemiddelde kustlangse transporten over 2000 - 2020 (gele pijlen en jaarlijkse volumes), het ingeschatte verlies naar de geulen (oranje pijlen en jaarlijkse volumes), de bypass van buitendelta's naar de kust (groene pijlen en jaarlijkse volumes) en grootschalige suppleties (rood). Uit Huisman, 2024.

De hoeveelheid slib welke jaarlijks netto wordt getransporteerd is aanzienlijk hoger. Het slibaanbod langs de Hollandse kust wordt ingeschat op 10-14 miljoen ton/jaar (Figuur 2-5). Een deel hiervan (ongeveer 2,5 miljoen ton/jaar) wordt Noordwaarts getransporteerd in een relatief smalle (~2,5 km) strook met relatief hoge concentraties (>100 mg/l) (van der Hout, 2024) terwijl het grootste deel als relatief lage concentraties over een brede (~30 km) zone Noordwaarts wordt getransporteerd. De bron van dit slib is vooral het nauw van Calais / Straat van Dover – de Rijn voert slechts 1-2 miljoen ton slib per jaar aan (zie o.a. van der Hout, 2024). De zuidwestelijke delta en de Waddenzee hebben in het geval van slib dezelfde sedimentbron. Dit betekent dat grootschalige gebruik van slib in de ZW-delta de slibbeschikbaarheid in de Waddenzee beperkt (net zoals grootschalige vastlegging van slib in de Nederlandse Waddenzee de beschikbaarheid van slib in de Oostelijke Waddenzee beperkt). Op dit moment wordt ongeveer 0.3 miljoen ton slib afgezet in Westerschelde (Elias et al., 2023) Colina Alonso et al., 2024).



Figuur 2-5 Hedendaags slibbudget van de Waddenzee, afkomstig uit Colina Alonso et al. (2024). (a) Blauwe kleuren tonen de gemiddelde aanslibbing per bekken berekend voor de periode 1996-2015. Bruine pijlen tonen de belangrijkste slibbronnen en de groene stippen de slibonttrekkingen in de estuaria van de Eems, Weser en Elbe (met aangenomen onzekerheidsmarge van 20% vanwege de variatie in sedimentsamenstelling van het gebaggerde materiaal). (b) Cumulatieve slibputten per type langs de Waddenzee kust van Den Helder tot Denemarken. (c). Ingeschatte langstransport inclusief onzekerheidsmarge als functie van de afstand tot Den Helder. De onzekerheid komt initieel van de North Sea Continental Flow (10-14,4 Mton/jr, donkerbruine band), maar raakt steeds meer beïnvloed door sedimentatie in de bekkens, op kwelders en door onttrekking (lichtere bruine banden). De verticale grijze staven tonen bronlocaties en de genummerde stippellijnen de locaties van de individuele bekkens.

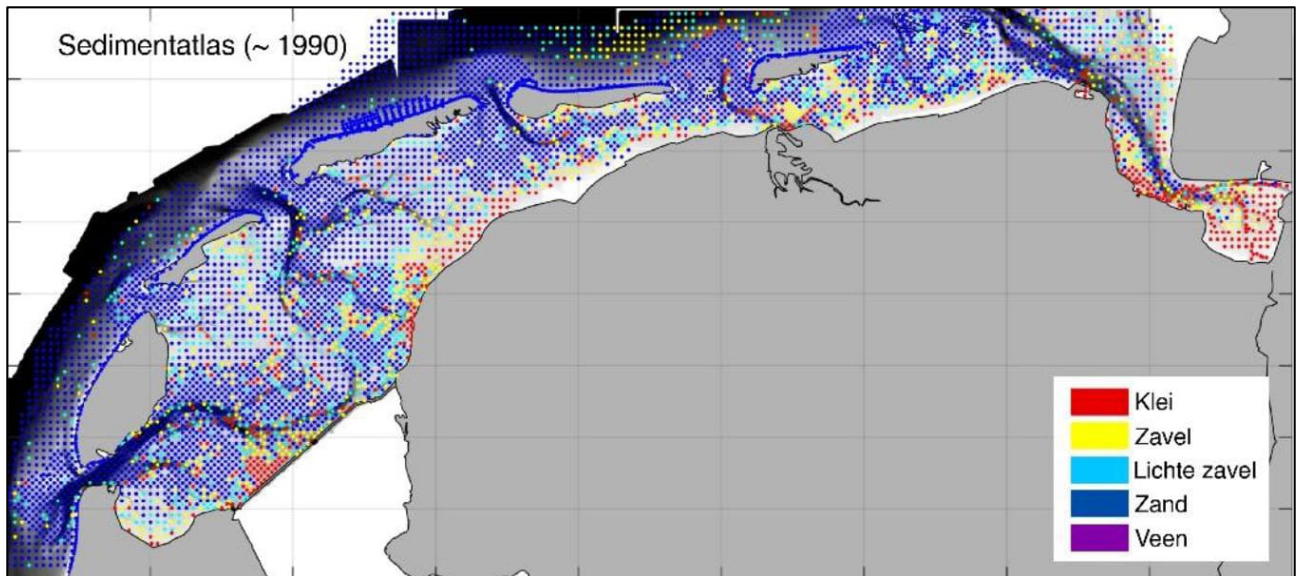
2.2.4 Sedimenttransport: hoe komt het sediment op de gewenste plekken terecht?

Sediment wordt getransporteerd door golven, door getij en door netto stroming in rivieren of als gevolg van wind of dichtheidsverschillen. Vooral in getijsystemen is het verschil tussen bruto en netto transport belangrijk: het bruto transport is in vloed en in eb richting, terwijl het netto transport het gemiddelde van eb en vloed transport is. Wanneer eb en vloed transport vergelijkbaar is, zijn netto transporten veel lager dan het bruto transporten. Netto transport (een hoger transport in de vloed of eb richting) kan het gevolg zijn van een asymmetrie in de stroming (hogere stroomsnelheden tijdens bijvoorbeeld vloed dan tijdens eb) of door netto bronnen (bijvoorbeeld riviermondingen) en putten (laagdynamische gebieden). Boven op de grote variatie in transport als gevolg van de hydrodynamische forcering spelen ook sedimenteigenschappen een rol. Zand heeft een hoge valsnelheid en reageert abrupt op veranderingen in de waterbeweging terwijl slib veel diffuser reageert door de lage valsnelheid en sterke tijdsafhankelijkheid van erosie eigenschappen (consolidatie).

In laag dynamische gebieden zoals de huidige Oosterschelde en de getijplaten in de Waddenzee is het zandtransport zeer beperkt. Zand heeft redelijk wat stroming nodig om getransporteerd te worden. Slib daarentegen kan ook onder lagere stroomsnelheden worden getransporteerd (mits het al in suspensie is

gekomen of in ieder geval niet vastligt op de bodem). Intergetijdengebieden waar voldoende aanbod van slib is, zijn daardoor meestal slibrijk (zoals in de Waddenzee – zie Figuur 2-6). Dergelijke gebieden hebben slib als grondstof nodig om mee te groeien met zeespiegelstijging. Het slib is over het algemeen in voldoende mate aanwezig om mee te groeien maar het proces van vastleggen verloopt niet altijd gemakkelijk.

De zandige plaat- en geulgebieden hebben juist zand nodig om mee te groeien. Dit meegroeien kunnen ze alleen als er voldoende zand het systeem in wordt getransporteerd, oftewel het netto zandtransport moet groot genoeg zijn. De zandige plaat en geul gebieden lijken de huidige zeespiegelstijging (2 mm/jaar) bij te kunnen houden maar bij een kritische zeespiegelstijgingssnelheid zal het Waddengebied verdrinken. Wat deze kritische waarde is wordt op dit moment vooral vastgesteld met behulp van modellen gebaseerd op evenwichtsconcepten (zie bijvoorbeeld Huismans et al, 2022 en Lodder et al., 2022).



Figuur 2-6 Sedimentverdeling in de Waddenzee, waarbij fijn sediment (slib bestaand uit klei en zavel) vooral voorkomen op intergetijdengebieden en zand vooral op dieper water voorkomt. Uit Colina-Alonso (2020).

2.2.5 Sedimentvastlegging

Ook wanneer voldoende sediment naar een specifiek gebied wordt getransporteerd, vindt alleen netto aangroei plaats wanneer er accommodatie ruimte is en de hydrodynamische condities aangroei toelaten. Zeespiegelruimte creëert accommodatie ruimte, maar vooral voor slib kan de juiste hydrodynamische conditie een restrictie zijn: permanente vastlegging van slib is beperkt in golf-geëxponeerde gebieden. Wanneer sedimentatie (van zand of slib) zeespiegelstijging niet bijhoudt zal de golfhoogte boven intergetijdengebieden welke nu nog ondiep (en daardoor laag-energetisch) zijn toenemen, en aanslibbing versneld afnemen. Slibvastlegging kan echter gestuurd worden door gebieden af te schermen van golfwerking – een concept wat in diverse NbS bouwblokken wordt toegepast.

2.3 NbS-bouwblokken

Natuurlijke systemen bezitten een grote veerkracht. Rivierdelta's die over de eeuwen heen zijn opgebouwd zijn volledig ingespeeld op de dynamiek binnen zo'n systeem. Ze eroderen, maar groeien ook weer aan a.d.h.v. natuurlijke processen. Tegelijkertijd leveren natuurlijke systemen meerwaarde door ecosystemendiensten. Ze beschermen tegen het water, ze bufferen zoet water en leveren waardevolle habitats die op hun beurt ook weer ecosystemendiensten leveren. Het is om bovenstaande redenen dat we natuurlijke systemen zoveel mogelijk willen behouden/terugbrengen en benutten in Nederland.

De uitdagingen van de toekomst (zeespiegelstijging, verlies aan biodiversiteit en waterschaarste) willen we aangaan door natuurlijke systemen en hun bijbehorende karakteristieken in te zetten. Voor het ontwerpproces is daarom het natuurlijk systeem ons uitgangspunt. Een goede kennis over de werking van het natuurlijke systeem geeft inzicht in hoe de verschillende deelgebieden zouden kunnen functioneren, zichzelf zouden kunnen onderhouden, als de natuur vrije werking zou hebben. Dit betekent niet dat we de

natuur ook volledig de vrije hand moeten geven. We willen een veilig Nederland met voldoende zoet water en een goede biodiversiteit. Dit kunnen we voor elkaar krijgen door Nature-based Solutions op de juiste manier in te zetten. NbS kunnen op zichzelf worden ingezet, in combinatie met elkaar, op kleine schaal en op grote schaal, maar altijd in samenhang met elkaar en met het natuurlijk systeem. Het werken met bouwblokken helpt hierbij. NbS-bouwblokken zijn specifieke NbS-ingrepen met een duidelijk doel. Door deze bouwblokken los in te zetten, alleen of in veelvoud, of in combinatie met elkaar, kan er ontworpen worden op alle schalen. We kunnen bijvoorbeeld kleinschalig iets toevoegen (getijddepark, kwelder) maar we kunnen ook volledig de natuur de ruimte geven (open waddenkust met grote kwelderlandschappen) en alles daartussenin.

Een belangrijk aandachtspunt bij het werken met bouwblokken: bouwblokken staan nooit op zichzelf en zouden nooit zomaar toegevoegd moeten worden aan een ontwerp. Bij NbS draait het om een juiste inpassing van bouwblokken. Ze moeten passen binnen het natuurlijke systeem (bij voorkeur geen zandige oplossing op een slibrijke locatie, hoewel voorbeelden bestaan waar hier flexibel mee omgegaan kan worden, zoals Prins Hendrik Zanddijk). De bouwblokken die genoemd staan in het overzicht zijn dan ook bedoeld ter inspiratie, om mee te ontwerpen, met aandacht voor de omgeving, de effecten van het bouwblok en de beheer- en onderhoudsbehoeften.

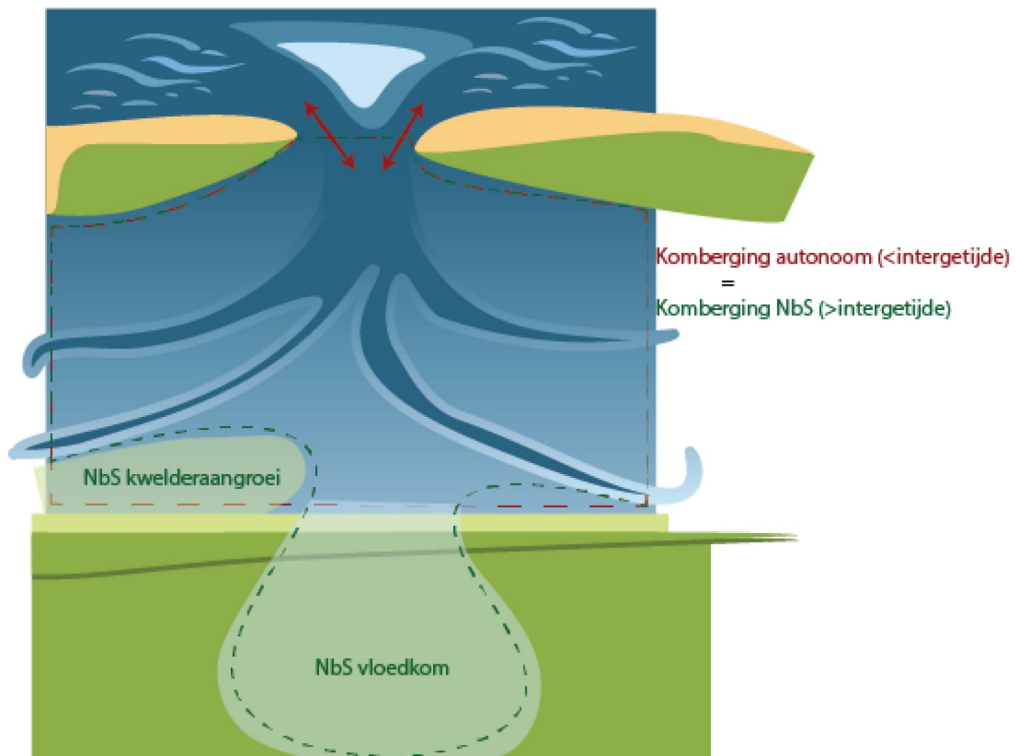
Bouwblokken

In het afzonderlijke bouwblokkendocument (Excelbestand) worden alle NbS-bouwblokken beschreven die op enige manier de hoofddoelen van de opdracht (hoogwaterveiligheid, zoetwaterbeschikbaarheid, natuurwaarde) beïnvloeden op positieve manier. We hebben ons hier beperkt tot NbS-bouwblokken. Vaak worden deze in een ontwerp gecombineerd met technische bouwblokken. Voor de technische en overige bouwblokken wordt verwezen naar Bijlage C van het document Technisch-fysische uitwerking oplossingsrichting meebewegen.

De bouwblokken die worden toegepast in dit rapport (zie ook Figuur 2-7) zijn:

- Vloedkommen: een overstromingsgebied in een voorheen bedijkt gebied. Binnen deze vloedkom kan het getij vrij in en uitstromen, en zal een gebied met kreken, platen en kwelders ontstaan. Vloedkommen hebben veel accommodatieruimte en zijn laag energetisch omdat ze relatief afgeschermd zijn van golfwerking: daarom zal hier vooral slib worden afgezet (aangevuld met zand).
- Voorlandverbreding: een voorland zoals een kwelder (ofwel schor) of wadplaat (ofwel slik) remt golven en beschermt zo de achterliggende waterkering tegen golfaanval. Vegetatie op de vooroever kan zorgen voor aanvullende bescherming tegen golven. Aanleg kan geheel of gedeeltelijk artificieel, eventueel met hulpmiddelen voor vastleggen sediment (rijshout), vegetatieontwikkeling of actief suppleren.
- Waterkerende landschappen: brede natuurlijke land-waterovergangen, die kunnen opslibben en meegroeien met de zeespiegelstijging. Dit kan bijvoorbeeld bestaan uit dubbele dijken. Uitgangspunt is dat ruimte voor de waterkerende landschappen altijd aan de (huidige) binnendijkse zijde gevonden wordt.
- Suppleties: aanbrengen van zand via baggerschepen (sleephopperzuigers). Dit zand wordt gewonnen op de bodem van de Noordzee en aangebracht via kleppen (openen onderdeuren van de sleephopperzuiger) of spuiten (rainbowen), afhankelijk van de benodigde locatie.
- Kerven: door een opening hoog in de eerste duinenrij wordt de doorstuiving van zand vanaf de zeezijde naar het achterliggende gebied (tot ca 400 m landinwaarts) bevorderd.

Om het systeem in evenwicht te houden, d.w.z. voldoende sedimentaanvoer en geen sedimenthonger van de buitendelta, en te voldoen aan een groter intergetijdengebied moet er een balans zijn tussen een gelijkblijvend kombergingsvolume (voor getijprisma en sedimentinstroom) en een toename van het intergetijdengebied. Dat betekent dat maatregelen die het kombergingsvolume vergroten, zoals het toevoegen van vloedkommen, gepaard moeten gaan met maatregelen die het kombergingsvolume laten afnemen, zoals kwelder aangroei (zie Figuur 2-7).



Figuur 2-7 Schematische weergave van een getijbekken met geprojecteerde NbS-maatregelen 'vloedkom' en 'kwelderaangroei'.

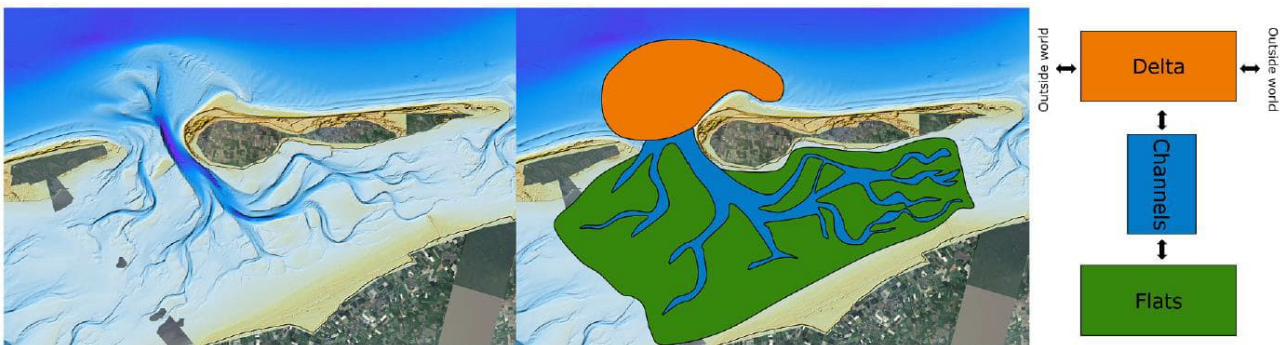
3 Methode

Voor de morfologische bouwblokken (vloedkommen, voorlandverbreding en waterkerende landschappen) die wordt toegepast in de toekomstbeelden, wordt in dit rapport een kwantitatieve onderbouwing gegeven.

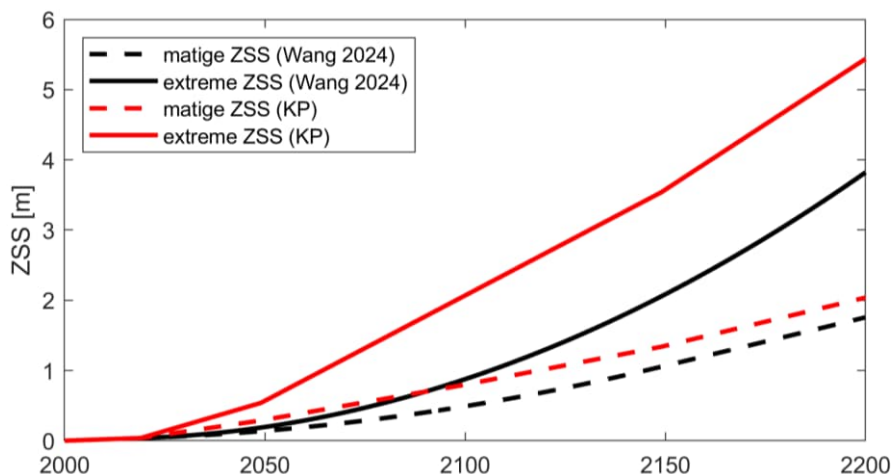
3.1 Grootschalige veranderingen

De huidige grootschalige veranderingen zijn gekwantificeerd met volumebalansen, gebaseerd op regelmatige bodemopnames. Voorliggende studie voert geen nieuwe berekeningen uit, maar maakt een synthese van eerdere studies.

De toekomstige verandering van de Waddenzee in reactie op zeespiegelstijging kan worden afgeschat op basis van evenwichtsrelaties door gebruik te maken van een model als ASMITA. ASMITA rekent morfologische veranderingen uit, gemiddeld over het totale plaatareaal, geulareaal, en areaal buitendelta binnen een getijbekken (zie Figuur 3-1 voor een schematische weergave). Deze berekeningen zijn gebaseerd op evenwichtsrelaties als in Figuur 2-3. Een toename in de zeespiegelstijging leidt bijvoorbeeld tot een toename in het getijprisma, en daarmee ook tot een toename van de buitendelta. Een aantal van deze relaties vormen de essentie van ASMITA. Het model wordt gekalibreerd tegen historische veranderingen in sedimentvolume op de buitendelta, platen en in geulen, en vervolgens toegepast voor verschillende ZSS-scenario's. In deze studies maken wij gebruik van de modelresultaten van de scenario's 'extreem' en 'matig' (zie Figuur 3-2) uit Wang et al. (2024). Hun scenario 'extreem' (0.88 meter ZSS in 2100 en 3.82 meter ZSS in 2200) benadert de voor deze studie beoogde ZSS het meest (2 meter in 2100, 5.4 meter in 2200). Het scenario 'matig' heeft een ZSS van 0.49 meter in 2100 en 1.76 meter in 2200.



Figuur 3-1 Schematisering het ASMITA-model (uit Lodder, 2022).

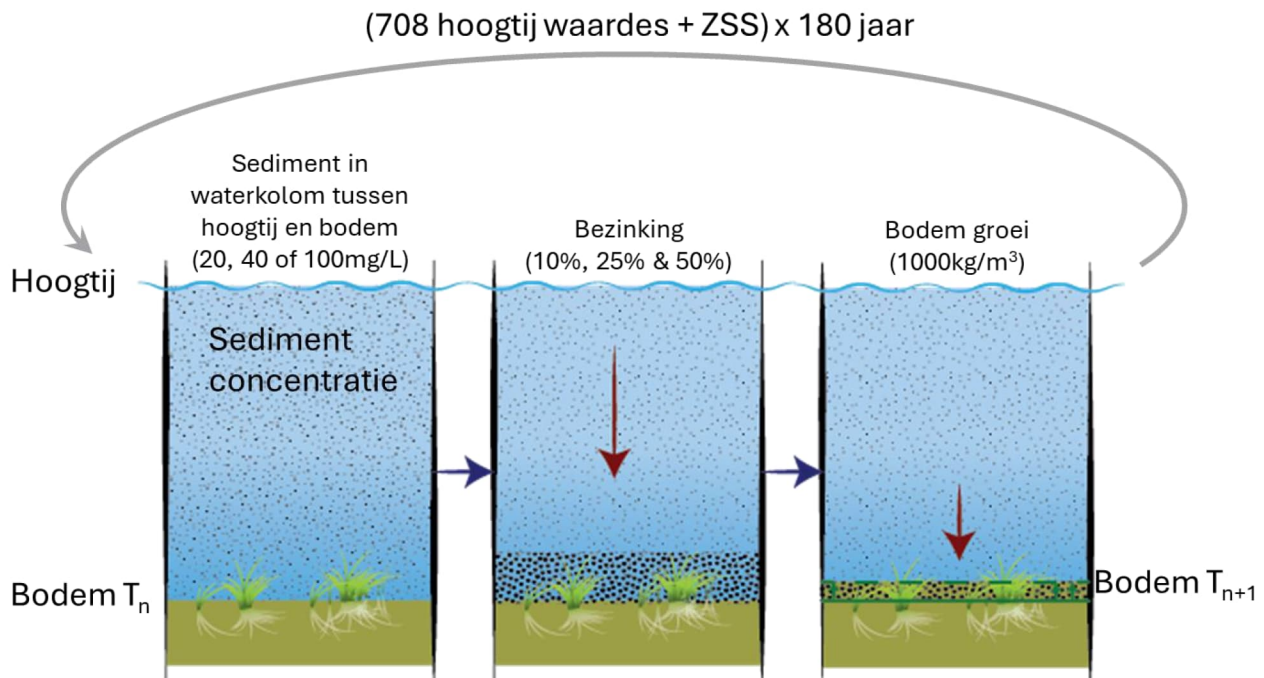


Figuur 3-2 Zeespiegelstijgingsscenario's 'matig' en 'extreem' uit Wang et al. (2024) gebruikt voor morfologische berekeningen in de Waddenzee, en de scenario's 'matig' en 'extreem' zoals gedefinieerd in het Kennisprogramma Zeespiegelstijging (KP). In het KP ZSS wordt scenario 'extreem' eigenlijk 'zeer extreem' genoemd maar wij hanteren de naamgeving 'extreem' vanwege de vergelijking met Wang et al. (2024). In alle scenario's is de stijgsnelheid 2 mm/jaar tot 2020. In scenario 'matig (Wang 2024)' neemt de stijgsnelheid lineair toe tot 13,8 mm/s in 2150, waarna de stijgsnelheid constant blijft. In scenario 'extreem (Wang 2024)' neemt de stijgsnelheid lineair toe van 2 mm/jaar in 2020 tot 40 mm/jaar in 2200. Scenario 'matig' en 'extreem' van KP ZSS kent een stijging van (resp.) 0,25 / 0,5 meter tussen 2020 en 2050; 0,5 / 1,5 meter tussen 2050 en 2100; 0,5 / 0,55 meter tussen 2100 en 2150; en 0,7 / 1,9 tussen 2150 en 2200.

3.2 Bouwblokken voor strategische sedimentinvang

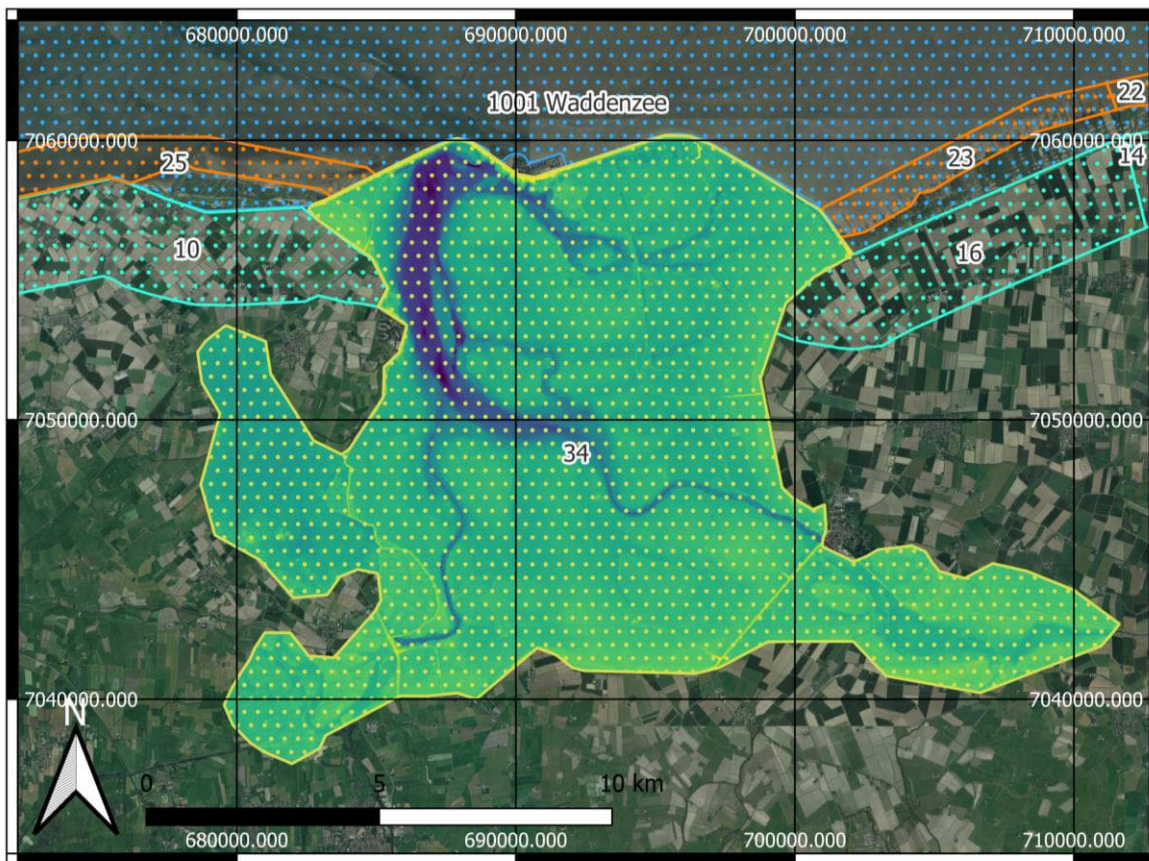
De effectiviteit van sedimentinvang in vloedkommen, voorlandverbredingen en waterkerende landschappen is bepaald aan de hand van een versimpeld 1D-model, zie de schematische weergave van dit model in Figuur 3-3. Hierbij wordt ieder deelgebied beschouwd als een afzonderlijke bak water met gesuspendeerd sediment. De invoer van het model bestaat uit de initiële bodemhoogte, het aantal hoogwaters per jaar, de waterstand van deze hoogwaters en een zeespiegelstijgsnelheid. In het model wordt uitgegaan van een initiële constante sedimentconcentratie en een aanname voor het percentage van gesuspendeerd materiaal dat per jaar bezinkt. Om te komen tot een verticale groeisnelheid wordt de massa aan de hand van de dichtheid omgezet naar een laagdikte. De benodigde modelparameters zijn hierbij als volgt:

- Bodemhoogte: Per deelgebied is de gemiddelde huidige hoogteligging als initiële bodemhoogte aangenomen. Deze hoogteligging is op land afkomstig uit de Algemene Hoogtekaart Nederland (AHN) en in huidige waterlichamen afkomstig uit vaklodingen data.
- Het aantal hoogwaters is bepaald voor het jaar 2024 nabij het beschouwde deelgebied;
- Voor de zeespiegelstijging is de toename van de snelheid meegenomen volgens 'extreme ZSS' uit het KP Zeespiegelstijging (Figuur 2-7).
- Een simulatietijd van 180 jaar (van 2020 naar 2200);
- Een gemiddelde sedimentconcentratie in de waterkolom tijdens hoogwater;
- Een bezinkingspercentage van 25% (basis) met variaties naar 10% en 50%; en
- Een sedimentdichtheid van 1000 kg/m³.



Figuur 3-3 Schematisering het 1D-model voor sedimentinvang. Voor de bezinkpercentages zijn de waarden 10%, 25% en 50% gehanteerd.

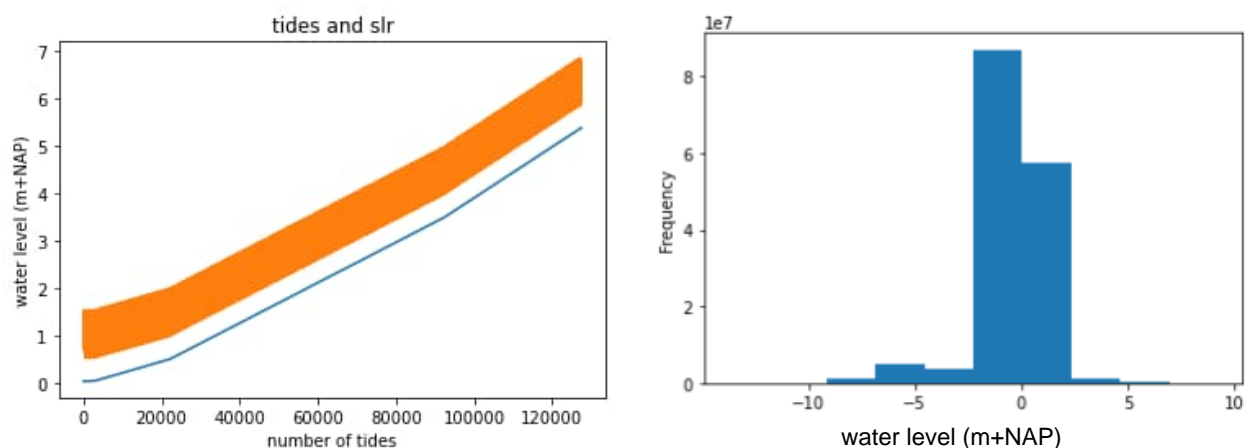
De gemiddelde initiële bodemhoogte wordt per gebied uitgerekend (bijvoorbeeld -0,41 m NAP voor de Lauwerszee, zie Figuur 3-4). Inundatie van dit gebied wordt berekend op basis van de opgetreden hoogtijwaarden in 2024 in combinatie met zeespiegelstijging (voor de Waddenzee nabij de Lauwerszee weergegeven in Figuur 3-5). Op basis van deze inundatie wordt een watervolume uitgerekend wat de vloedkom instroomt, wat via een gemiddelde concentratie en bezinkingspercentage wordt omgezet naar een sedimentatiesnelheid.



Legenda

- vloedkom
- voorlandverbreding
- waterkerende landschappen
- huidige waterlichamen

Figuur 3-4 Indicatieve vloedkom Lauwerszee, waarbij de omliggende dijken en logische geografische kenmerken als begrenzing wordt gehanteerd. De achtergrondkleur toont de huidige bodemhoogte. De weergegeven getallen zijn jaartallen van bedijkingen.



Figuur 3-5 Waterstanden gebruikt voor analyse: toename hoogwaters t.g.v. zeespiegelstijging (links) en verdeling hoogtijwaardes 2024 (rechts). De toename in hoogwaters heeft dus een astronomische en een niet-astronomische component.

4 Waddenzee: vloedkommen, voorlandverbreding en waterkerende landschappen

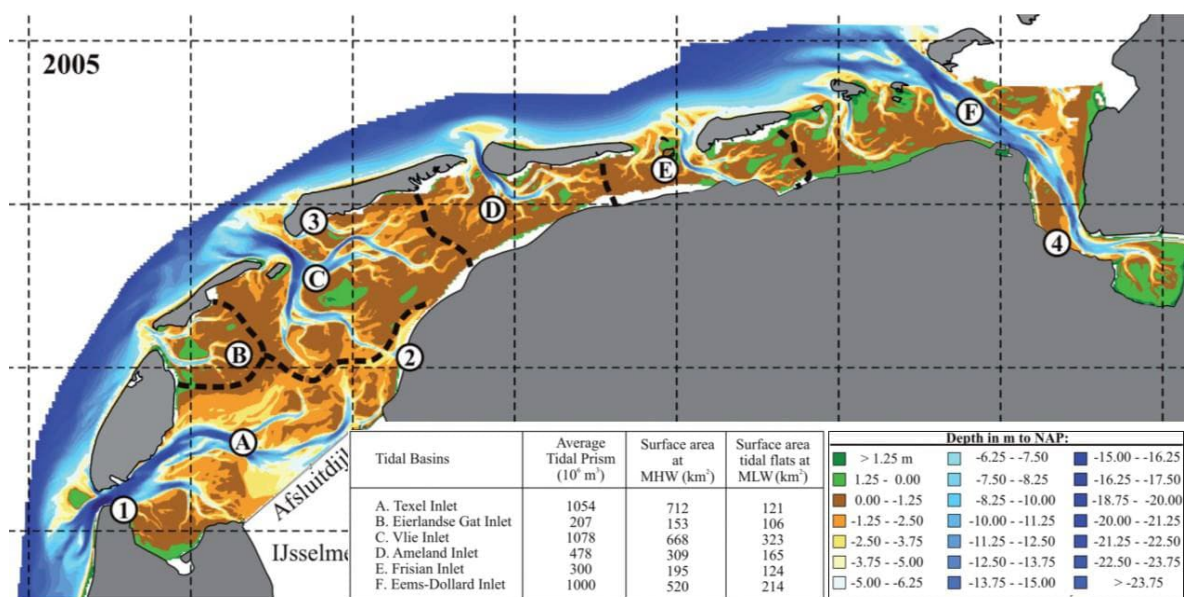
4.1 Samenvatting NbS visie

De verschillende NbS toekomstbeelden zijn opgebouwd aan de hand van het functioneren van het morfologische en ecologische systeem. De overgang van land naar zee is hierin zacht en glooiend. Sediment wordt strategisch ingevangen langs de kust, gestimuleerd door uitbreiding van kwelders aan de vastelandskust en het openmaken van vloedkommen (Lauwersmeer en Middelzee). De kwelders breiden locatieafhankelijk landwaarts of zeewaarts uit (voorlandverbreding en waterkerende landschappen.). Kwelderaangroei wordt dusdanig gestimuleerd dat minimaal enkele honderden meters (kustdwars) hoge kwelder ontstaat, dat bijdraagt aan de golfdemping. Tegelijkertijd is er zeewaarts van deze kwelderzone ruimte voor een kwelder van minimaal enkele honderden meters waar de natuurlijke dynamiek zijn gang kan gaan (afslag en aangroei). Dit deel van de kwelder wordt namelijk niet meegenomen in berekeningen voor hoogwaterveiligheid, maar de dynamiek is wel essentieel voor de biodiversiteit. Afname van het getijdebiet door zeewaartse uitbreiding van kwelders wordt in evenwicht gebracht door toename van het debiet door vloedkommen. Dit evenwicht houdt het principe van morfologische veerkracht in stand. Zo wordt een sterker kuststelsysteem gecreëerd, dat tegelijkertijd goed is voor de biodiversiteit: een waterkerend landschap.

4.2 Huidige condities

4.2.1 Volumeveranderingen en aangroeisnelheden

De aangroeisnelheden in de diverse Waddenzeebekkens (exclusief kwelders) zijn gebaseerd op de vaklodingen door middel van volumetrends opgesteld door Elias (2019) en Elias et al. (2021) - zie Tabel 4-1. Het Eems Estuarium (6,17 mm/jaar) en Amelandse Zeegat (4,63 mm/jaar) groeien sneller dan de huidige zeespiegelstijging terwijl het Marsdiep en Vlie minder hard groeien dan de zeespiegelstijgingssnelheid (1,18 en 1,45 mm/jaar, resp.). Het Friese Zeegat en Eierlandse Gat eroderen (zand). Het meeste sediment wordt afgezet op de platen. De platen in het Eems estuarium zijn in de periode 1990-2020 20 mm/jaar gestegen in het buitengebied (Waddenzee ten noorden van Eemshaven), 1,7 mm/jaar in het binnengebied (estuarium), terwijl in de Dollard geen netto veranderingen zijn opgetreden (Elias et al., 2021). De geulen in de Waddenzee groeien minder hard, en eroderen in sommige gevallen. In de Duitse Waddenzee is een systematische analyse uitgevoerd van de aangroeisnelheden van platen en geulen door Benninghof en Winter (2019). In de 24 onderzochte bekkens variëren de aangroeisnelheden van de platen tussen enkele mm/s en enkele cm/s, terwijl de geulen vrijwel zonder uitzondering eroderen.



Figuur 4-1 Definitie van Waddenzeebekkens, aangepast uit Elias et al. (2012).

Tabel 4-1 Totale volumetrends (inclusief verlies door bodemdaling) in de vijf bekken van de Waddenzee en het Eems Estuarium over de periode 1989 - 2015 (Tabel 3.2 uit Elias en Wang, 2020) geconverteerd naar bodemverandering op basis van areaalgroottes uit Elias et al. (2012) - zie ook Figuur 4-1. Het eerste getal is hierbij de totale oppervlakte van het bekken; het tweede getal (tussen haakjes) het areaal intergetijdengebied. Waarden voor het Eems Estuarium zijn uit Elias et al. (2021) over de periode 1990 – 2020. Het Friese Zeegat bestaat uit zowel het Pinkegat als Zoutkamperlaag).

Bekken	Marsdiep	Eierlandse Gat	Vlie	Amelander Zeegat	Friese Zeegat	Eems Estuarium
Grootte (10 ⁶ m ²)	712 (121)	153 (106)	668 (323)	309 (165)	195 (124)	460 (301)
Aangroei (Mm ³ /j)	1,23	-0,32	1,43	1,63	0,35	2,84
Aangroei (mm/j)	1,73	-2,09	2,14	5,28	1,79	6,17

De waarden voor de huidige bodemveranderingen in de kwelders zijn gebaseerd op een vast meetnet waar op een aantal punten met regelmaat de aanslibbing of erosie wordt gemeten (Figuur 4-1). De gemeten ophoging moet in relatie worden gezien met de getijslag, die in de Waddenzee toeneemt van west naar oost (1,94 m bij Harlingen, 2,32 m bij Lauwersoog en 2,62 m bij Eemshaven (data afkomstig van RWS-helppdesk water)); bij een grotere getijslag kan een hogere netto opslibbing plaatsvinden.

De recente ophoging van het maaiveld op de kwelders aan de vastelandskust, Dollardkwelders en eilandkwelders varieert sterk (Tabel 4-2). Over het algemeen groeien de kwelders aan de vastelandskust sneller aan dan de eilandkwelders. De kwelderzones 'lage kwelder' en 'middenkwelder' groeien mee met zeespiegelstijging. 'Hoge kwelder' groeit niet mee, omdat deze momenteel onvoldoende onder water staan om voldoende sediment in te vangen. De voorliggende wadplaat (slik) groeit niet altijd mee of erodeert zelfs.

Voor de vastelandskwelders is bekend dat het meeste slib wordt ingevangen tijdens de winter, vermoedelijk door meer energieke condities (Elschot et al., 2020). Stoppen met damonderhoud aan het meest landwaarts gelegen bezinkveld van kwelderwerken leidt op sommige locaties aan de Friese en Groninger vastelandskust tot een 'badkuipeffect', waarbij netto verlaging van de kwelder optreedt ten gevolge van inklinking (Elschot et al., 2020). Het aanbrengen van kwelderwerken kan als switch werken om mee te groeien met ZSS (Siegersma et al., 2023).

Tabel 4-2 Gemiddelde gemeten maaiveldophoging voor verschillende kwelders aan de vastelandskust (Friesland en Groningen), op de Dollardkwelders en voor twee eilandkwelders. Waar mogelijk zijn de waarden gemiddeld over lage en midden kwelderzones.

Locatie	Maaiveldophoging (mm/jaar)	Bron
Noord-Friesland Buitendijks	16	Wageningse SEB-meetnet
Holwerd	22	Wageningse SEB-meetnet
Negenboerenpolder (Groningen)	7	Wageningse SEB-meetnet
Julianapolder (Groningen)	13	Wageningse SEB-meetnet
Schiermonnikoog	2-4	Elschot et al. (2015)
Ameland	4-6	Elschot et al. (2017)
Dollardkwelders	8	Elschot et al. (2012)

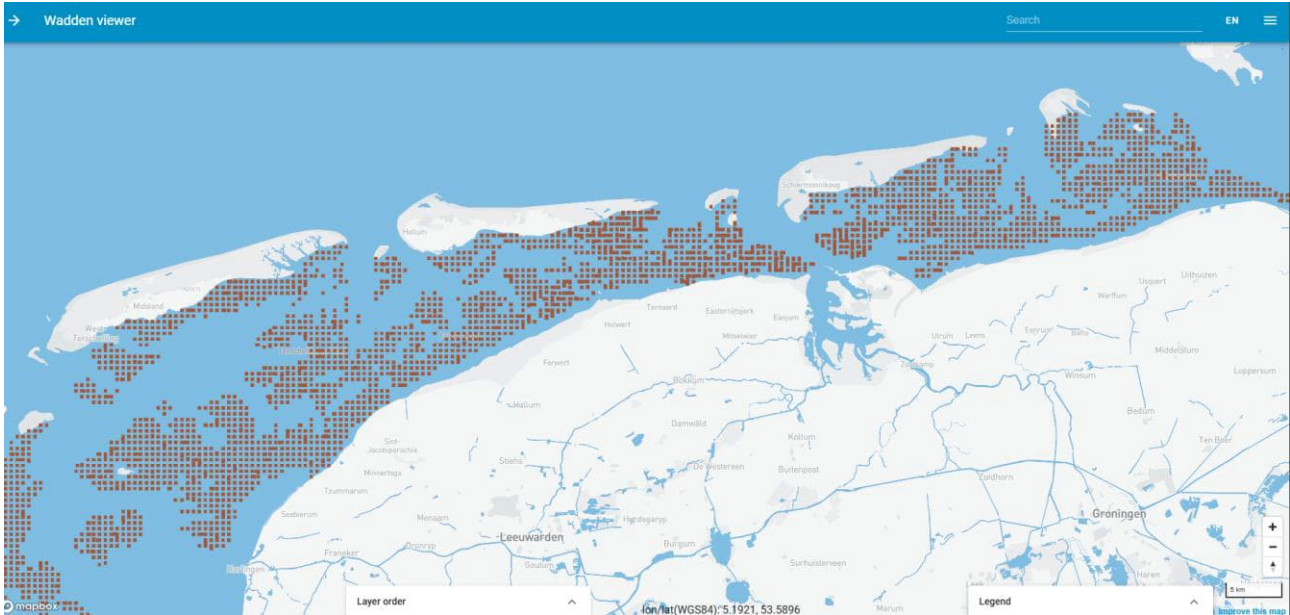
4.2.2 Bodemsamenstelling geulen, platen en kwelders

De geulen en platen van de Waddenzee bestaan voor een relatief groot deel uit zand. De bodem van de Waddenzee bestaat in de geulen (subgetijde) voor ongeveer 8 tot 37% uit slib (Oost et al., 2018). Op de intergetijdenplaten is het slibpercentage op basis van sedimentmonsters uit Sibes data gemiddeld 14% (Folmer et al., 2023). Zie de locaties van de bemonstering voor Sibes in Figuur 4-2.

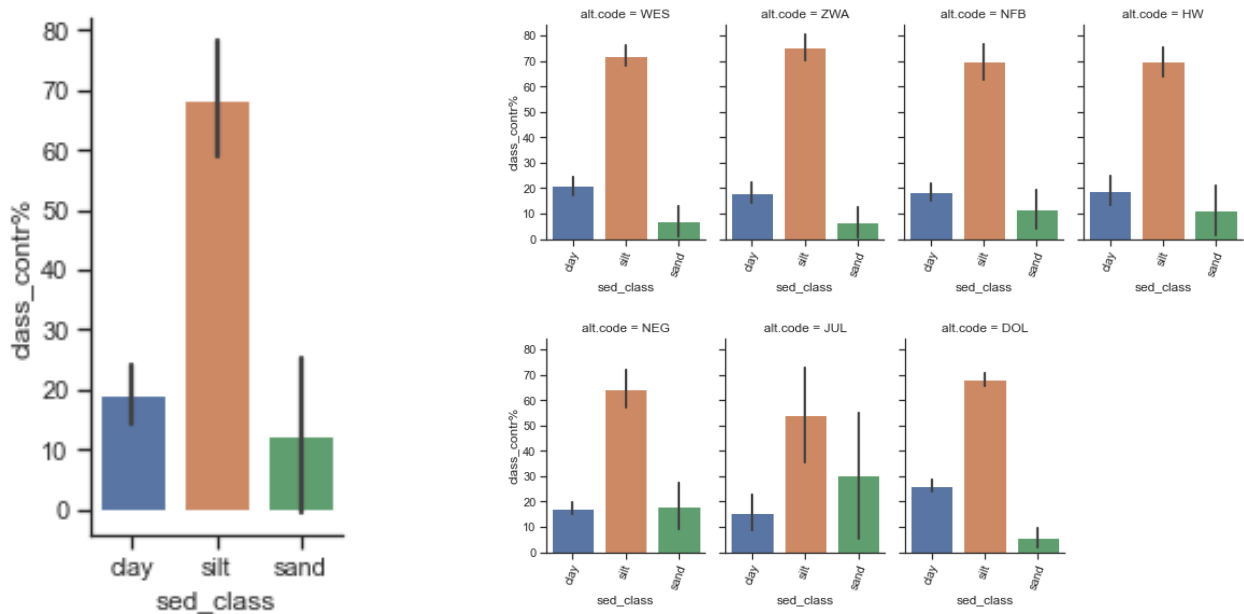
Op de kwelders ligt het slibpercentage aanzienlijk hoger. Op basis van sedimentbemonstering uit het REST-COAST project, waarbij 110 monsters op kwelders genomen, verdeeld over zeven kweldergebieden in vijf

verschillende kwelderzones, bestaan de kwelders gemiddeld voor 12% uit zand en voor 88% uit silt (19% klei + 69% silt). Het rechterpaneel van Figuur 4-3 toont de verdeling per kweldergebied voor Westhoek, Zwarte Haan, Noord-Friesland Buitendijks, Holwerd, Negenboerenpolder, Julianapolder en Dollard. Van west naar oost neemt het siltpercentage af (het percentage zand neemt toe). Uitzondering hierop vormen de Dollardkwelders, die relatief siltbrijk zijn.

Deze verschillen in de verdeling van zand en silt laten zien dat silt van groot belang is voor het laten meegroeien van het overgangsgebieden tussen land en water.



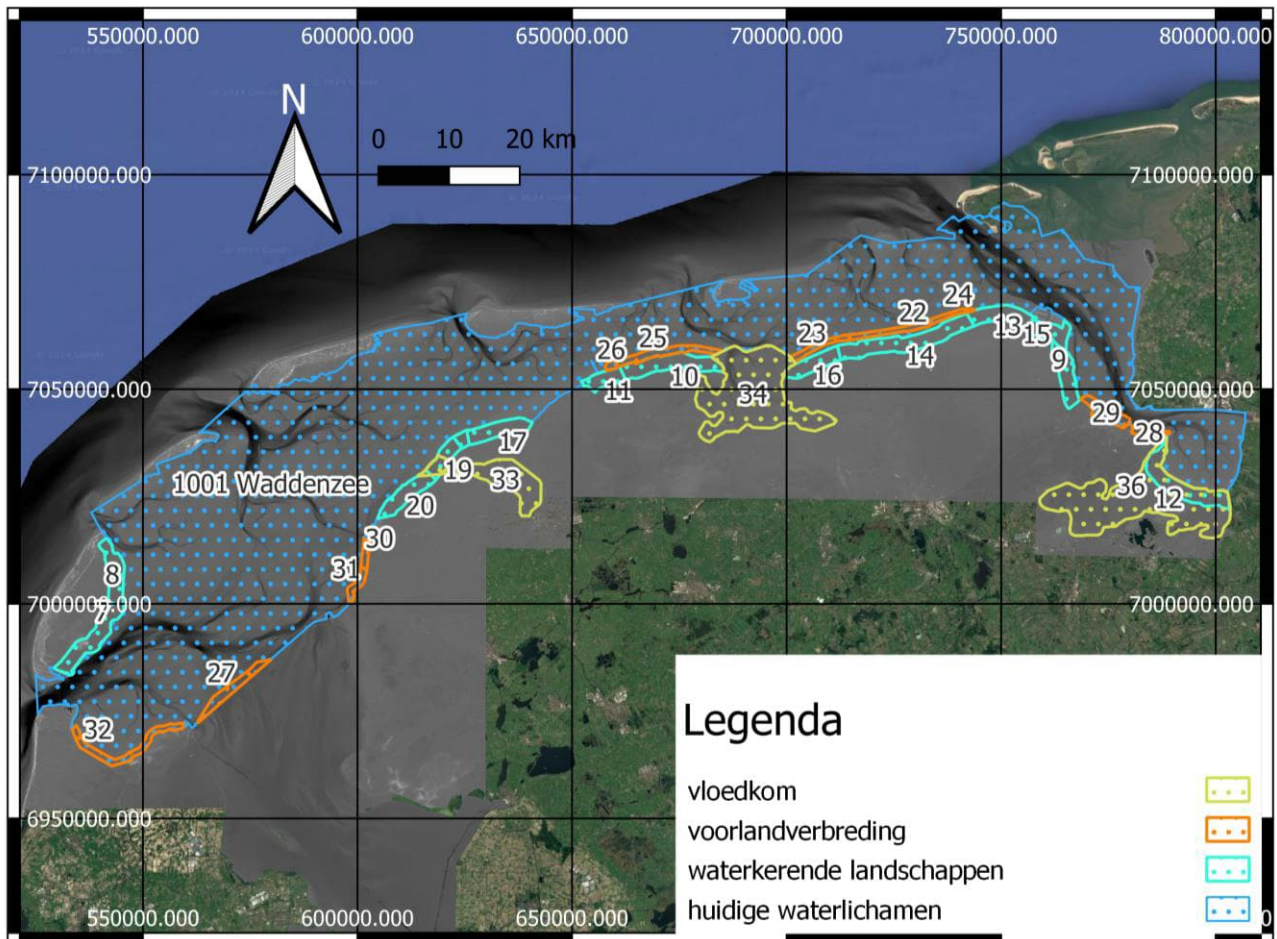
Figuur 4-2 Overzicht van locaties Sibes data (Folmer et al., 2023)



Figuur 4-3 Links: gemiddelde verdeling sedimentmonsters op kwelders in klei (blauw), silt (oranje) en zand (groen). Rechts: verdeling sedimentmonsters per kwelder (v.l.n.r. Westhoek, Zwarte Haan, Noord-Friesland Buitendijks, Holwerd, Negenboerenpolder, Julianapolder en Dollard). (Elschot, Willemsen, van Wesenbeeck, unpublished data)

4.3 Voorspellingen

Voorspellingen voor de morfologische ontwikkeling zijn grotendeels gebaseerd op twee bronnen. Meegroeien van gehele Waddenzee bekkens ('huidige watersystemen' in Figuur 4-4) is gebaseerd op eerder uitgevoerde ASMITA-berekeningen van Wang et al. (2024) terwijl voor het meegroeien van de NbS-bouwblokken een berekeningsmethode is ontwikkeld binnen dit project ('vloedkom', 'voorlandverbreding', en 'waterkerend landschap'), zie hoofdstuk 3.

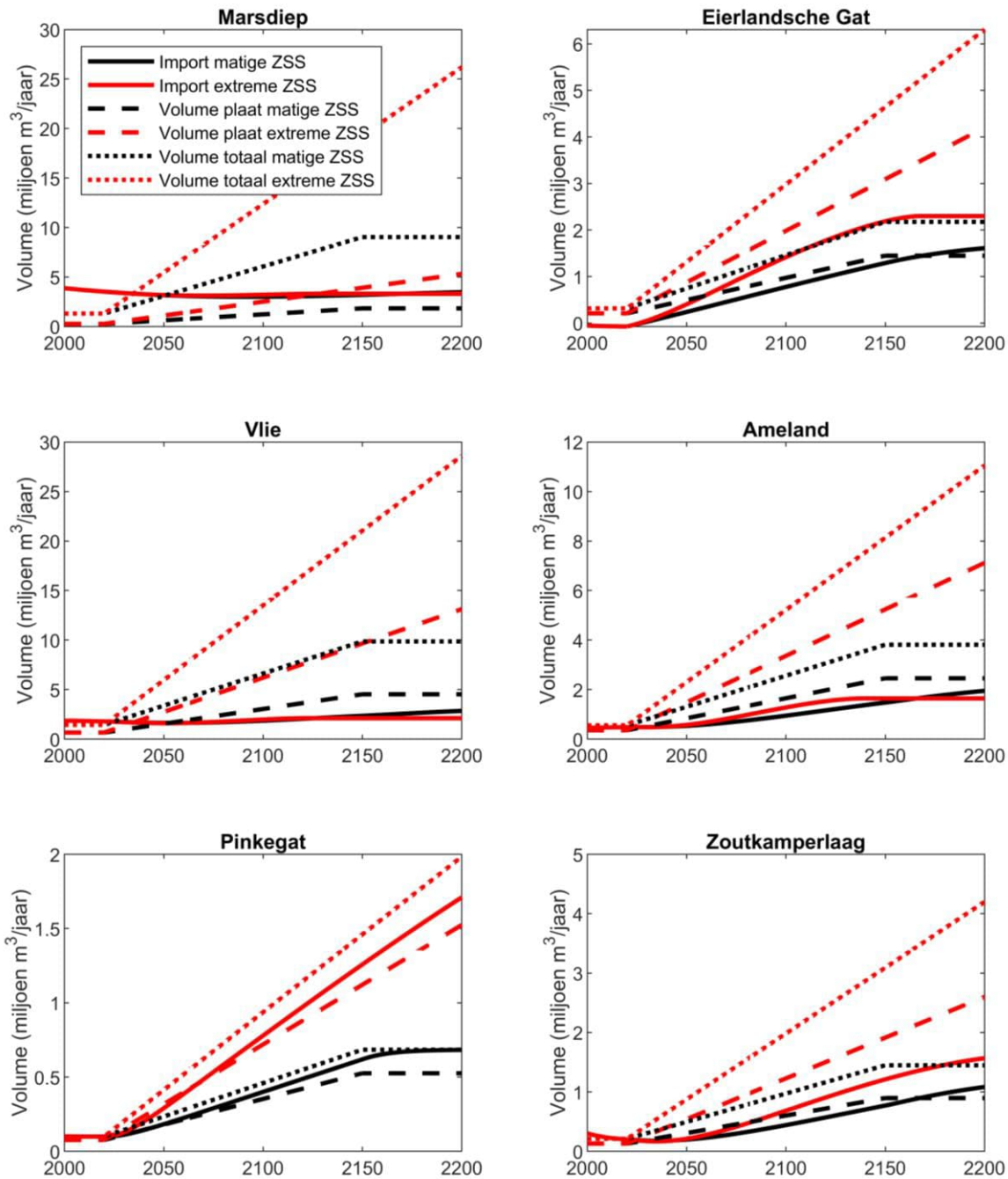


Figuur 4-4 Begrenzings van de deelgebieden in het Waddengebied (Waddenzee en Eems-Dollard estuarium), uitgesplitst naar vloedkommen (geel), voorlandverbreding (oranje), waterkerende landschappen (turquoise) en huidige waterlichamen (blauw).

4.3.1 Grootschalige veranderingen

Voor een inschatting van de aanpassing van de Waddenzee aan ZSS is gebruik gemaakt van eerdere ASMITA-berekeningen uitgevoerd door Huismans et al. (2021), Lodder et al. (2022) en Wang et al. (2024). De berekeningen van Wang et al. (2024) zijn het meest bruikbaar voor de huidige studie omdat hier een extremer ZSS-scenario is doorgerekend dan door Huismans et al. (2021) en Lodder et al. (2022) – zie sectie 3.1. De sedimentimport berekend door Wang et al. (2024) voor hun scenario's 'gematigd' en 'extreem' zijn per doorgerekend getijbekken weergegeven in Figuur 4-5. Het Marsdiep lijkt hierin onafhankelijk van de stijgsnelheid van de zeespiegel. Dit is het gevolg van het geringe plaatareaal, en doordat de initiële sedimentimport (~4 miljoen m³/jaar) al erg hoog is (mede als gevolg van adaptatie aan de afsluiting van de Zuiderzee). Met name de oostelijke Waddenzee bekkens (Ameland, Pinkegat, Zoutkamperlaag) laten een toename zien in import als functie van de tijd. Wang et al. (2024) maakt geen onderscheid tussen plaatafzettingen en geulafzettingen, maar uit de berekeningen van Huismans et al. (2021) en Lodder et al. (2022) blijkt dat het meeste sediment wordt afgezet op de platen. Op dit ogenblik wordt jaarlijks 4.42 miljoen m³ sediment afgezet in het Marsdiep, Eierlandsche Gat, het zeegat van Ameland, het Vlie en het Friesche Zeegat), zie tabel 4-1. De plaatafzettingen bestaan uit een combinatie van zand en slib, en in deze vijf bekkens wordt jaarlijks 1 miljoen m³ slib afgezet (Colina Alonso et al., 2024). Hoewel het merendeel van het

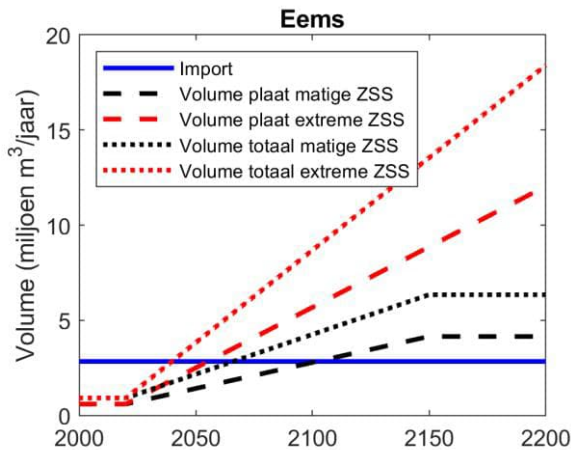
afgezette sediment zandig is, vormt slib daarom een belangrijke aanvullende component in het meegroei-vermogen van de Waddenzee.



Figuur 4-5 Door ASMITA berekende sediment import in zes Nederlandse getijbekkens, voor matige en extreme ZSS volgens Wang (2024). Voor beide ZSS-curves is ook het sediment volume gegeven wat nodig is om alleen de platen, of het hele bekken mee te laten groeien met ZSS. De ASMITA-berekeningen zijn gedaan door Wang et al. (2024); de berekende sedimentvolumes om mee te groeien zijn gebaseerd op de areaalgroottes gehanteerd door Huismans et al. (2022) en de ZSS-curves in Figuur 3-2.

Het benodigde sedimentvolume om mee te groeien wordt bepaald door het meegroeiende areaal te vermenigvuldigen met de stijgsnelheid van de zeespiegel. De doelstelling is om de platen mee te laten groeien met ZSS, het meegroeien van de geulen is geen doelstelling. Er bestaat echter een natuurlijke balans tussen de hoogte van platen en geulen, en daarom zullen de geulen deels meegroeien. Het benodigde sedimentvolume is daarom afhankelijk van het beoogde areaal (plaat of totaal) en de stijgsnelheid (hier gevisualiseerd voor de door Wang et al. (2024) gehanteerde 'gematigd' en 'extreem' – zie Figuur 4-5).

Deze berekeningen zijn exclusief het Eems estuarium en Groninger Wad. Het Eems estuarium is aan het opvullen (Pierik et al., 2022) als gevolg van landaanwinningen (Schrijvershof et al., 2024), en jaarlijks wordt 2,84 miljoen m³ per jaar afgezet (zie tabel 4-1). Er zijn geen ASMITA-berekeningen uitgevoerd voor het Eems estuarium. Het lijkt echter waarschijnlijk dat het systeem relatief snel zal blijven opvullen als reactie op eerdere menselijke ingrepen. Het benodigde sedimentvolume neemt toe met ZSS op een vergelijkbare manier als de andere zes Waddenbekkens, en is berekend met behulp van de arealen in Tabel 4-1 en de ZSS-curves in Figuur 3-2.



Figuur 4-6 Als Figuur 4-5 maar dan voor het Eems estuarium, waar de huidige sedimentatie constant in de tijd is gehouden.

4.3.2 Toekomstige slibinvang bouwblokken

In de verschillende NbS toekomstbeelden worden vloedkommen en/of brede waterkerende zones met zachte overgangen van land naar water gecreëerd, waardoor meegroeien met zeespiegelstijging mogelijk wordt gemaakt. Mogelijke gebieden die een meegroeifunctie zouden kunnen krijgen zijn poldergebieden, vloedkommen (bijv. Lauwerszee en Middelzee) en buitendijkse gebieden (kwelderontwikkelingen bijv. trajecten Holwerd-Lauwersmeer, Harlingen-Westhoek en Afsluitdijk-Harlingen), zoals aangegeven in Figuur 4-4.

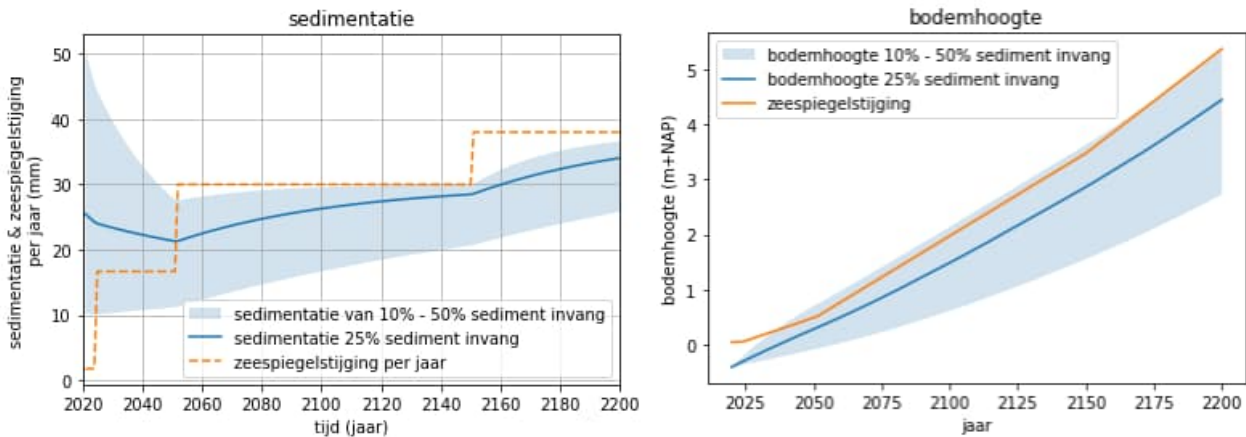
De slibinvang is per deelgebied bepaald met het 1D-model, zoals beschreven in paragraaf 3.2. Als waterstand zijn de opgetreden hoogtijwaarden in 2024 voor Lauwersoog gebruikt, in combinatie met ZSS curves 'matig' en 'extreem' van het KP ZSS. Als gemiddelde sedimentconcentratie in de waterkolom tijdens hoogwater is een waarde van 100 mg/L aangenomen (Smits et al., 2020). De overige parameters (initiële bodemhoogte, zeespiegelstijging, simulatieduur, bezinkpercentage en sedimentdichtheid) zijn bepaald zoals beschreven in paragraaf 3.2.

Resultaten vloedkom Lauwersmeer

Als voorbeeld wordt hier opnieuw de vloedkom Lauwersmeer uitgelicht met een gebiedsoppervlakte van 134 km² en gemiddelde initiële bodemhoogte van -0,41 m NAP. Op basis van een bezinkpercentage van 25% bedraagt de jaarlijkse slibinvang 3,1 Mm³ ofwel 23 mm/jaar (in de periode 2020-2050), 3,2 Mm³ ofwel 24 mm/jaar (2050-2100), 3,7 Mm³ ofwel 28 mm/jaar (2100-2150) en 4,2 Mm³ ofwel 32 mm/jaar (2150-2200), zie Tabel 4-3. Cumulatief wordt er in die periode 650 Mm³ sediment ingevangen, wat gelijk verdeeld over het gebied een laagdikte geeft van 4,9 m. De totale zeespiegelstijging bedraagt 5,4 m, waardoor het gebied dus niet volledig mee kan groeien met de zeespiegelstijging. Bij een bezinkpercentage van 10% is de totale ophoging slechts (3,1 m), dus loopt dit tekort nog verder op. Alleen bij een bezinkpercentage van 50% kan het Lauwersmeer voldoende sediment invangen (5,7 m) om mee te groeien met de zeespiegelstijging (5,4 m). Ook bij een slibinvang van 50% zal bij extreme ZSS een deel van de vloedkom daardoor een lagune blijven, en slechts deels inteergetijdengebied worden. In Figuur 4-7 worden de slibinvang (linker paneel) en verticale ophoging (rechter paneel) in Vloedkom Lauwersmeer over de tijd getoond voor verschillende bezinkpercentages.

Tabel 4-3 Resultaten vloedkom Lauwersmeer bij 25% bezinking

	Periode 2020-2050	Periode 2050-2100	Periode 2100-2150	Periode 2150-2200	Cumulatief 2020- 2200
Slibinvang [Mm ³ /jaar]	3,1	3,2	3,7	4,2	650 Mm ³
Gemiddelde ophoging [mm/jaar]	23	24	28	32	4,9 m
Zeespiegelstijging [mm/jaar]	17	30	30	38	5,4 m

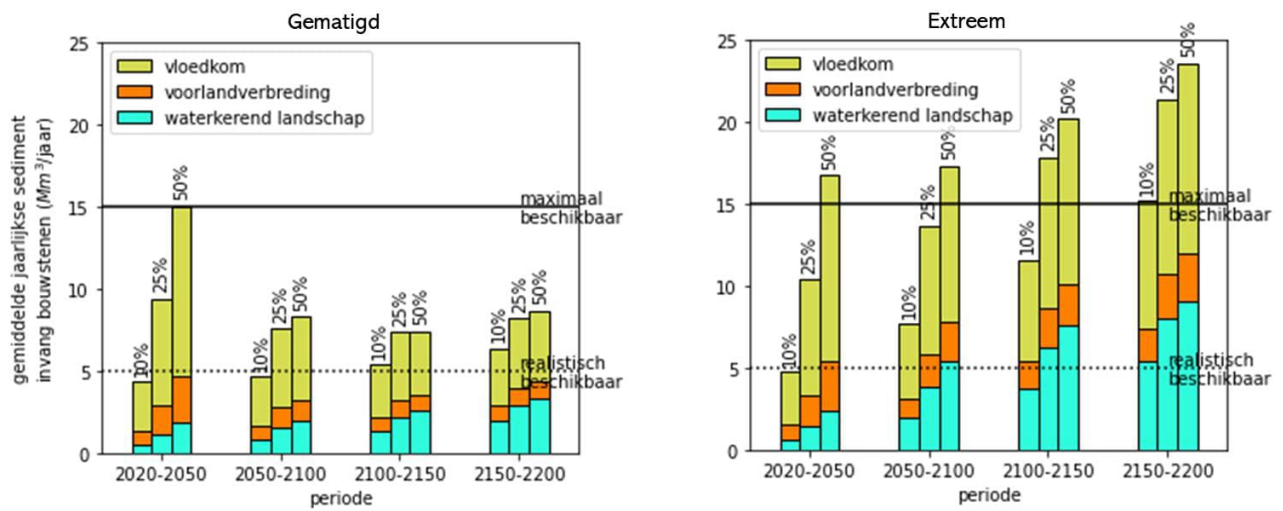


Figuur 4-7 Links: Sedimentatie in vloedkom Lauwersmeer in mm per jaar bij een bezinkpercentage van 25% (blauwe, doorgetrokken lijn). Het lichtblauwe gebied toont de spreiding bij bezinkpercentages tussen 10% en 50%. De oranje stippellijn geeft ter referentie de zeespiegelstijgssnelheid weer over de tijd (deze verhoogt stapsgewijs van 17 mm/j, naar 30 mm/j en eindigt op 38 mm/j). Rechts: de ontwikkeling van de bodemhoogte over de tijd bij een bezinkpercentage van 25% (blauwe lijn). Het lichtblauwe gebied toont de spreiding bij bezinkpercentages tussen 10% en 50%. De oranje lijn geeft ter referentie de zeespiegelstijging weer over de tijd.

Resultaten gehele Waddengebied

Voor alle deelgebieden uit Figuur 4-4 is de slibinvang op deze manier bepaald. De totale cumulatieve ophoging over de periode 2020-2200 wordt per gebied weergegeven in Tabel 4-4. De meeste waterkerende landschappen kunnen uiteindelijk niet volledig meegroeien met de zeespiegelstijging, zelfs voor een bezinkpercentage van 50%. Alleen de voorlandverbredingen bij de Afsluitdijk, langs de Friese kust ten zuiden van Harlingen en langs het Eems estuarium kunnen meegroeien bij hogere bezinkpercentages. Van de vloedkommen kunnen alleen de vloedkom Lauwersmeer en de vloedkom Eems-Dollard meegroeien bij een bezinkpercentage van 50%. De Waddenzeebekkens zelf kunnen bij bezinkpercentages van 25% of hoger meegroeien met zeespiegelstijging. Voor een volledig overzicht van de resultaten voor ieder deelgebied wordt verwezen naar bijlage A. Kanttekening bij bovenstaande is dat de gebieden in de eerste decennia nog prima meegroeien en bij minder extreme zeespiegelstijgingssnelheden dan nu doorgerekend kunnen de gebieden volledig meegroeien.

De toekomstige slibinvang is in Figuur 4-8 weergegeven per bouwblok en per periode. Logischerwijs wordt er meer sediment ingevangen bij toenemende bezinkpercentages. Vanwege de toenemende zeespiegelstijgssnelheid neemt de gemiddelde jaarlijkse slibinvang toe met de tijd. Belangrijke kanttekening is dat in deze resultaten voor ieder afzonderlijk deelgebied is bepaald hoeveel sediment het kan invangen bij ongelimiteerd aanbod, maar in werkelijkheid is er geen ongelimiteerde hoeveelheid sediment beschikbaar. De sedimentbeschikbaarheid ligt tussen 5 en 15 miljoen m³ per jaar (zie paragraaf 2.2.3). In de meeste scenario's is er dus niet voldoende sediment beschikbaar voor alle deelgebieden om gelijktijdig mee te groeien. Praktisch betekent dit dat wanneer in een strategie meerdere gebieden als slibvang aangewezen worden er een sedimenttekort kan ontstaan. Dit tekort is minder wanneer met een lagere stijgsnelheid ('matig') wordt gerekend,- waarbij voor de alle varianten genoeg slib beschikbaar lijkt te zijn.



Figuur 4-8 Jaarlijkse sedimentinvang door verschillende bouwblokken in het Waddengebied bij bezinkpercentages 10%, 25% en 50%, opgedeeld in periodes (2020-2050, 2050-2100, 2100-2150 en 2150-2200) met toenemende zeespiegelstijgsnelheden, en voor scenario 'extreem' en 'matig' van het KP ZSS. Ter referentie: er is jaarlijks ongeveer 5-15 Mm³ slib beschikbaar, waardoor niet alle gebieden gelijktijdig op kunnen hogen.

Tabel 4-4 Cumulatieve ophoging over de periode 2020-2200 (m) per deelgebied in de Waddenzee voor 10%, 25% en 50% bezinking. De gebiedsnummers komen overeen met de nummers uit Figuur 4-4. Ter referentie: de totale zeespiegelstijging waarmee wordt gerekend over de periode 2020-2200 bedraagt 5,4 m. Getallen weergegeven in rood en oranje groeien minder snel dan de zeespiegelstijging, getallen in groen groeien sneller dan de zeespiegelstijging.

Gebiedsnaam (en ID)	Bezinkingspercentage 10%	Bezinkingspercentage 25%	Bezinkingspercentage 50%
Waterkerend landschap (#7)	2,35	3,81	4,66
Waterkerend landschap (#8)	2,41	3,89	4,74
Waterkerend landschap (#9)	2,43	3,92	4,77
Waterkerend landschap (#10)	2,25	3,68	4,52
Waterkerend landschap (#11)	2,11	3,50	4,34
Waterkerend landschap (#12)	2,34	3,80	4,64
Waterkerend landschap (#13)	1,59	2,77	3,56
Waterkerend landschap (#14)	1,77	3,03	3,84
Waterkerend landschap (#15)	1,79	3,05	3,86
Waterkerend landschap (#16)	1,91	3,22	4,04
Waterkerend landschap (#17)	2,20	3,62	4,46
Waterkerend landschap (#18)	2,42	3,91	4,77
Waterkerend landschap (#19)	2,35	3,81	4,66
Waterkerend landschap (#20)	2,45	3,95	4,81
Waterkerend landschap (#22)	2,27	3,71	4,56
Waterkerend landschap (#23)	2,34	3,80	4,65
Waterkerend landschap (#24)	1,81	3,08	3,89
Waterkerend landschap (#25)	2,57	4,10	4,96
Waterkerend landschap (#26)	2,09	3,48	4,31
Waterkerend landschap (#27)	4,87	7,17	8,16
Waterkerend landschap (#28)	3,23	4,98	5,88
Waterkerend landschap (#29)	3,50	5,35	6,26
Waterkerend landschap (#30)	3,28	5,05	5,95
Waterkerend landschap (#31)	3,80	5,74	6,67
Waterkerend landschap (#32)	2,57	4,10	4,96
Vloedkom Middelzee (33)	2,46	3,97	4,82
Vloedkom Lauwersmeer (34)	3,13	4,85	5,74
Vloedkom Middelzee klein (35)	2,32	3,77	4,62
Vloedkom Eems-Dollard (#36)	3,10	4,81	5,70
Bekkens Waddenzee (#1001)	4,74	6,99	7,97

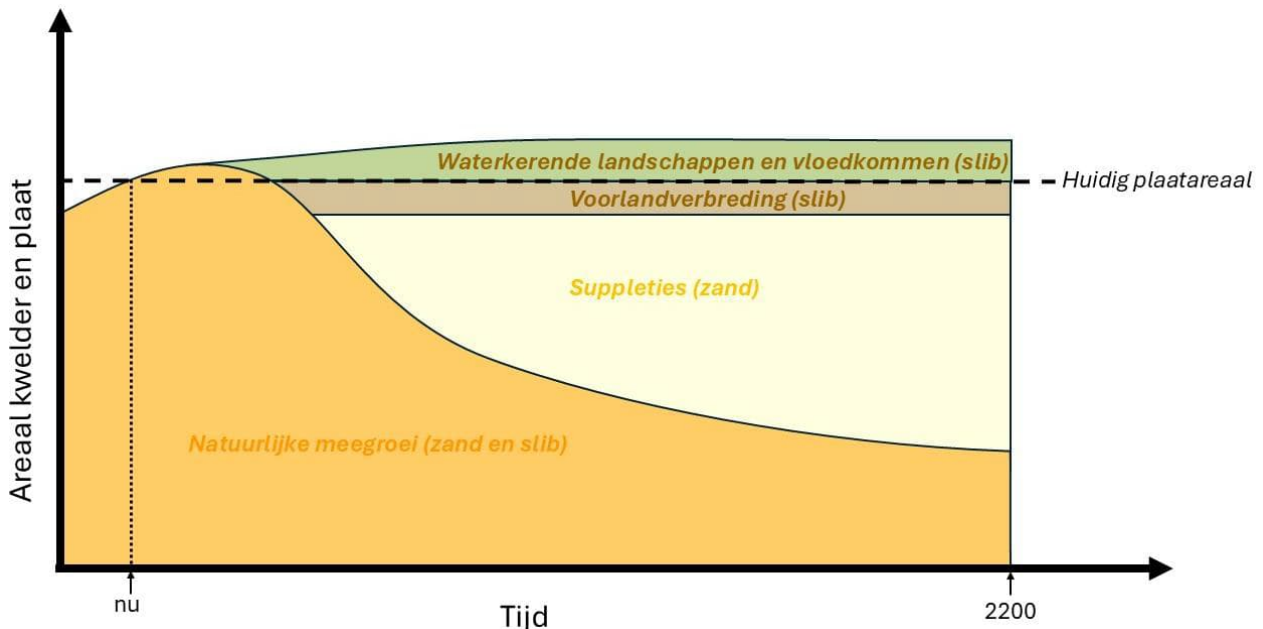
4.4 Suppletiebehoefte

4.4.1 Conceptuele suppletiebehoefte

De suppletiebehoefte voor de Waddenzee is schematisch weergegeven in Figuur 4-9. Op dit moment houden de Waddenzee bekkens de ZSS bij en groeit het areaal plaat. Dit zal in de nabije toekomst het geval blijven. Bij versnelde ZSS zal op een gegeven moment het plaatareaal afnemen en om het plaatareaal in stand te houden zal er gesuppleerd moeten worden. Vanwege de huidige toename in plaatareaal is het voor instandhoudingsdoelstellingen relevant welk jaar hierbij als referentie wordt genomen.

De natuurlijke meegroei is gebaseerd op de ASMITA-sommen van Wang et al. (2024) gepresenteerd in Figuur 4-5. De sedimenthoeveelheid nodig om mee te groeien met ZSS is gelijk aan het product van meegroeiende areaal en de stijgsnelheid van de zeespiegel. Om de ecologische waarde van de Waddenzee in stand te houden is het vooral van belang om de platen mee te laten groeien met de ZSS, en zou bij voorkeur uitgaan moeten worden van het areaal plaat en niet het gehele bekken. Er bestaat echter een evenwicht tussen het plaatvolume en geuldiepte, en daarom zal een deel van het sediment wat op de plaat gesuppleerd wordt weer geërodeerd worden en in de geulen worden afgezet. Dit zal vooral een rol spelen bij extreme ZSS – onder huidige condities snijdt een deel van de geulen in. Uitgaan van het areaal plaat als definitie van meegroeiend gebied vormt een ondergrens voor de suppletiebehoefte; het totale areaal een bovengrens. Het verschil tussen beide is met name groot in de Westelijke Waddenzee (Marsdiep, Eierlandsche Gat, Vlie), waar het areaal subtidaal tot 3 keer groter is dan het areaal intertidaal (Figuur 4-5). In de Oostelijke Waddenzee is het areaal plaat groter en is de keuze welk areaal te definiëren minder relevant. Ook zijn de oostelijke bekkens kleiner, waardoor de benodigde hoeveelheid sediment überhaupt kleiner is.

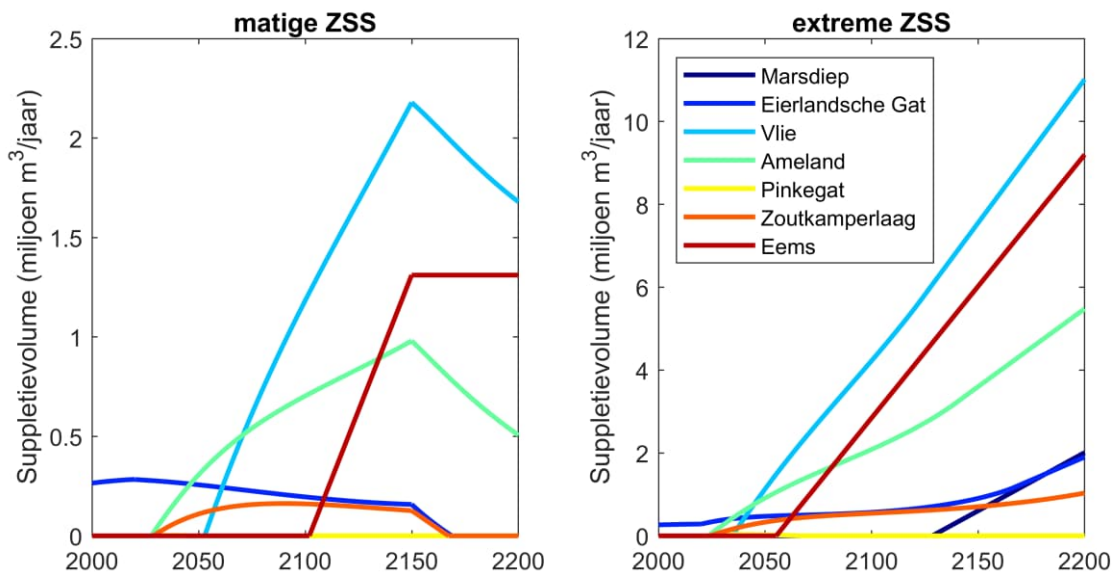
Wij gaan er hieronder verder vanuit dat alleen het plaatareaal gesuppleerd moet worden. In hoeverre dit een realistische aanname is zal moeten blijken uit vervolgonderzoek, maar eventueel ook door tijdens condities met versnelde ZSS de plathoogte te monitoren en eventueel het suppletievolume te vergroten. In eerste instantie wordt de suppletiehoeveelheid berekend, waarna in een vervolg kwalitatief wordt aangegeven wat voor suppletiemethode hiervoor gehanteerd zou moeten worden.



Figuur 4-9 Conceptueel benodigd suppletievolume als functie van de tijd voor de bekkens in de Waddenzee.

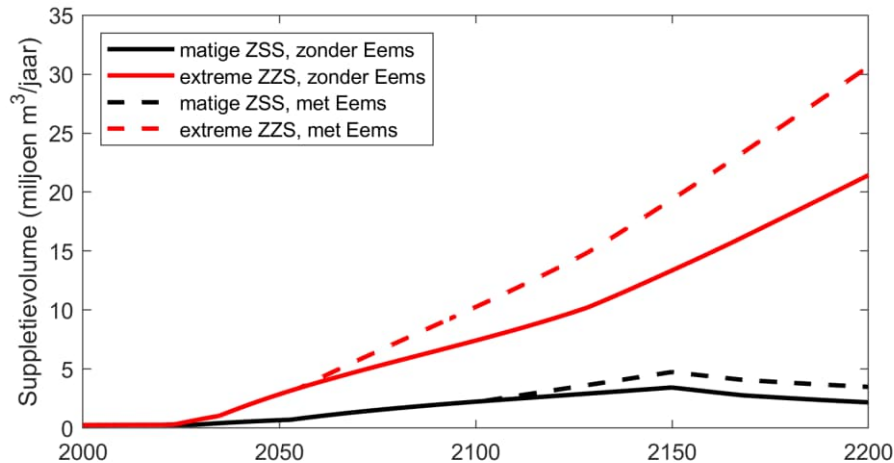
4.4.2 Berekende suppletiebehoefte

Het resulterende benodigde suppletievolume is het grootst in het Vlie en Amelander Zeegat (Figuur 4-10). Ook het suppletievolume in het Eems estuarium is hoog, maar dit is deels het gevolg van de aanname van constante sedimentimport en niet een toenemende sedimentimport met zeespiegelstijging (omdat hier geen ASMITA-berekeningen voor beschikbaar zijn). Het suppletievolume in het Marsdiep bekken is erg laag vanwege het geringe plaatareaal, maar ook door het hoge importvolume in dit bekken (~4 miljoen m³/jaar; zie Figuur 4-5). Deze hoge import is deels het gevolg van adaptatie van dit bekken aan de afsluiting van de Zuiderzee, en is mogelijk lager onder alleen ZSS-condities – de huidige opvulling is aanzienlijk lager (1,18 miljoen m³/jaar, zie Tabel 4-1). Daarnaast neemt de import van sediment naar een getijbekken toe wanneer platen dreigen te verdrinken (zie toenemende import in Figuur 4-5). Wanneer deze platen continue gesuppleerd worden, is de import lager dan berekend in Figuur 4-5, en moet er juist weer meer gesuppleerd worden. Dit soort interacties zijn nog niet eerder doorgerekend, en moeten opgepakt worden in vervolgonderzoek.



Figuur 4-10 Suppletie behoefte per ZSS-scenario (definitie van Wang et al. (2024), gedefinieerd als benodigd volume om het hele bekken mee te laten groeien min de door ASMITA berekende sediment import.

Onder de aanname dat (1) alleen het plaatareaal gesuppleerd hoeft te worden en (2) dat het natuurlijk geïmporteerde sediment op de platen wordt afgezet blijft onder matige stijgsnelheden (resultierend in 1,8 meter in 2200) het benodigde suppletievolume voor de Waddenzee beneden de 5 miljoen m³/jaar. Dit is exclusief suppletievolume voor de kust. Onder het extreme ZSS-scenario (stijgsnelheid van 40 mm/jaar en totaal van 3,8 meter in 2200) en exclusief Eems Estuarium moet 21,4 miljoen m³/jaar in 2200 (en 7,4 miljoen m³/jaar in 2100) gesuppleerd worden om de platen mee te laten groeien. Inclusief het Eems Estuarium (waar geen goede voorspellingen voor beschikbaar zijn) is dit 30,6 miljoen m³/jaar in 2200 (en 10,2 miljoen m³/jaar in 2100). Deze berekeningen zijn uitgevoerd voor een lagere ZSS dan de 5,4 gehanteerd voor deze studie. Echter, de ASMITA ZSS-curve kent een grotere versnelling waardoor de stijgsnelheid voor scenario 'extreem' hoger is (40 mm/jaar in 2200) dan voor de 5,4 meter ZSS (37 mm/jaar in 2200). Daarom geven de berekeningen een redelijke inschatting voor condities in 2200, maar onderschatten ze de suppletiebehoefte rond het jaar 2100 (18 mm/jaar voor de ASMITA-berekeningen, 30 mm/jaar voor de 5,4 meter ZSS). Daarom zal de suppletiebehoefte rond het jaar 2100, voor de situatie met 5,4 meter ZSS, ongeveer 50% hoger zijn dan volgens Figuur 4-11.



Figuur 4-11 Gecombineerd suppletievolume voor de zes bekkens van de Waddenzee (Marsdiep, Eierlandsche Gat, het Vlie, Amelander Zeegat, Pinkegat en Zoutkamperlaag) voor het extreme en gematigde ZSS-scenario.

4.4.3 Suppletie methode

Sediment in de Waddenzee kan (op hoofdlijnen) op drie manieren gesuppleerd worden.

- **Buitendeltasuppletie.** Sediment wordt gesuppleerd op de buitendelta (eb-delta) van het betreffende bekken en wordt via natuurlijke processen het bekken in getransporteerd.
 - **Voordeel** van suppletie van de buitendelta is dat de verstoring van de Waddenzee gering is en dat de suppletiekosten (per m³) relatief laag zijn.
 - **Nadeel** is dat het niet efficiënt is: waarschijnlijk wordt maar een gering deel van het aangebrachte sediment naar de platen getransporteerd omdat transport door de zeegaten limiterend is (en niet het aanbod).
 - In hoeverre buitendelta suppleties tot een significante toename in sedimentimport leiden (en daarna tot plaataangroei) is niet bekend – hier is meer onderzoek voor nodig.
- **Geulsuppletie binnen de Waddenzee.** Sediment wordt aangebracht in de geulen in de Waddenzee in de nabijheid van de platen welke mee moeten groeien.
 - **Voordeel** is dat dit efficiënter is dan een buitendelta suppletie en minder ecologische verstoring brengt dan opspuiten van zand (rainbowen).
 - **Nadeel** is dat dat het aanzienlijk duurder is (per m³ sediment) dan een buitendeltasuppletie. Daarnaast is niet bekend in welke mate een dergelijke suppletie bijdraagt tot het daadwerkelijk verhogen van de platen.
- **Plaatsuppletie via opspuiten.** De meest directe manier om de platen op te hogen is door het direct op te spuiten.
 - **Voordeel** is dat deze methode is het meest effectief per m³ sediment, alhoewel niet bekend is in hoeverre het aangebrachte sediment op de plaat blijft of richting de geulen wordt getransporteerd.
 - **Nadeel** van direct opspuiten van zand is de grote ecologische verstoring. Opspuiten is de duurste methode per aangebrachte m³ sediment, hoewel het zou kunnen zijn dat het tegelijkertijd de goedkoopste methode per gerealiseerde m³ kan zijn vanwege de hogere efficiëntie.

Welke manier van suppleren het meest (kosten)efficiënt is in combinatie met minimale negatieve ecologische effecten zal moeten blijken uit aanvullend onderzoek, bij voorkeur zowel numeriek als experimenteel. Hierbij zou gelden dat buitendeltasuppleties worden toegepast indien mogelijk, en lokale geulsuppleties indien nodig (en plaatsuppleties indien nodig en ecologisch verantwoord). Bij afwezigheid van meer kennis zou uitgegaan kunnen worden van een gelijke verdeling van de suppletiebehoefte over de drie methoden.

4.4.4 Rol van overige bouwstenen

Zoals gevisualiseerd in Figuur 4-9 neemt de suppletiebehoefte af wanneer meer slib wordt ingevangen op de voorlanden, en hoeft er minder gesuppleerd te worden. Voor de hele Waddenzee varieert deze invang tussen de 1 en 3 miljoen m³/jaar (Figuur 4-8), wat daarmee tot een substantiële reductie van het benodigde suppletievolume (Figuur 4-11) kunnen leiden. Vloedkommen en waterkerende landschappen leiden niet tot een directe reductie in suppletievolume omdat hiervoor nieuwe gebieden worden geïntroduceerd. Het is echter wel aannemelijk dat deze maatregelen indirect doorwerken op het suppletievolume via mechanismen welke nog niet zijn onderzocht, en waarover daarom hier ook geen uitspraken worden gedaan. Deze indirecte relaties zijn als volgt:

- Doordat slib bezinkt in de vloedkommen en waterkerende landschappen is minder slib beschikbaar voor sedimentatie op de platen. De aanslibbing op de platen neemt af, en meer sediment moet gesuppleerd worden.
- + Doordat het getijvolume toeneemt, neemt de transportcapaciteit toe, en zal meer sediment (vooral zand) op de platen afgezet worden. Het benodigde suppletievolume neemt af.
- Doordat het getijvolume toeneemt, neemt het evenwichtsvolume op de buitendelta toe (Figuur 2-3). Dit materiaal moet deels aanvullend gesuppleerd worden.

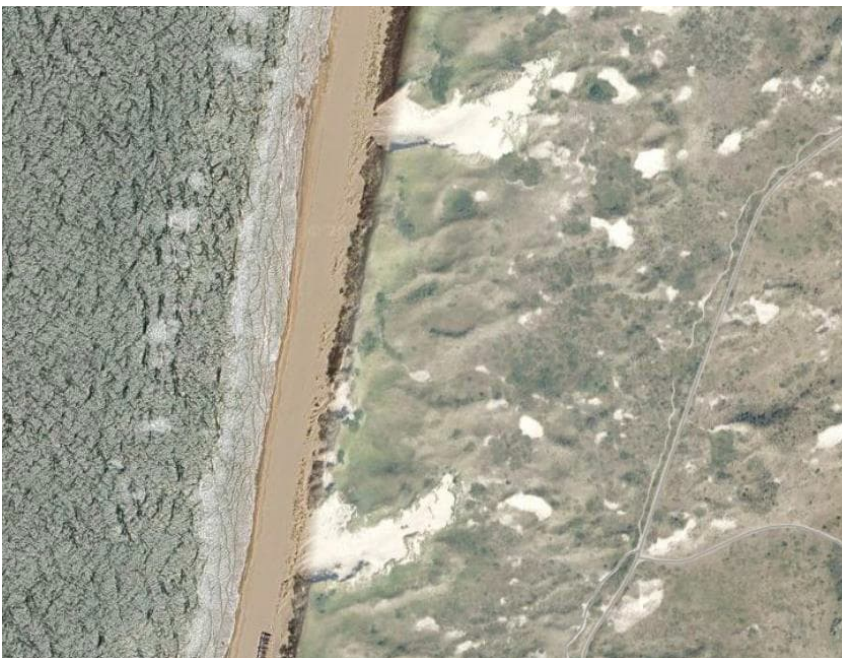
Aanvullend onderzoek is nodig om dergelijke relaties verder te verkennen.

5 Kust: megasuppleties en dynamisch breed duingebied

5.1 Samenvatting NbS visie

Voor de kust geldt dat de belangrijkste bouwblokken (suppleties, kerven) in de verschillende NbS toekomstbeelden nu al gebruikt worden door de kustbeheerder. De morfologische aspecten van de NbS strategieën uitgewerkt als onderdeel van voorliggende rapportage zullen daarom kwantitatief weinig afwijken van de voorkeursstrategie. De nadruk zal vooral liggen op de inrichting van het duingebied en de timing, situering en vorm van de suppleties.

In de NbS toekomstbeelden wordt de verbinding tussen de zee en de binnenduinrand sterker gelegd, gebruikmakend van natuurlijke processen. Sediment wordt strategisch gepositioneerd langs de kust doormiddel van suppleties (mogelijk in de vorm van megasuppleties). De doorstuiving van zand dieper het duingebied in wordt gestimuleerd door kerven. Dit is gunstig voor de ecologie omdat er meer diversiteit en verjonging ontstaat, maar het stimuleert ook het meegroeien van een breder gebied (tot honderden meters landinwaarts). Door de duingebieden langs de kust verdergaand mee te laten groeien kunnen we de natuurlijke dynamiek op sommige plekken ook meer zijn gang laten gaan (afslag en aangroei). Er blijft dan namelijk voldoende volume zand over in het duingebied om zijn zeeverende functie te behouden.



Figuur 5-1 Bestaande kerven tussen Castricum en Wijk aan Zee (Google Maps)

5.2 Huidige condities

Hollandse kust en Waddenkust

Rijkswaterstaat onderhoudt met zandsuppleties de kustlijn, zodat de kust meegroeit met de zeespiegelstijging. In de praktijk blijkt dat de suppleties zich verspreiden in de zone tot een diepte van ca. 8 meter enerzijds en de zeereep aan de landzijde (de actieve zone: Taal et al, 2023, Elias et al, 2024). Het huidige beleid met daarin sinds 1990 het handhaven van de kustlijn door middel van vooroever- en strandsuppleties blijkt zeer effectief. Sinds 2000 wordt er meer gesuppleerd dan strikt noodzakelijk om de kustlijn te handhaven om 'zandverliezen op dieper water te compenseren'. In dat kader is het 'kustfundament' geïntroduceerd. De belangrijkste functie daarvan is het niet langer toestaan van zandwinning in dat gebied. Ten tweede is het kustfundament gebruikt om een afchatting te maken van het oppervlak waar zandverliezen optreden. In Taal et al. (2023) wordt via het begrip van de 'actieve zone' (zie verderop in Figuur 5-5) getoond dat dit oppervlakte kleiner is dan wat nu als kustfundament is gedefinieerd.

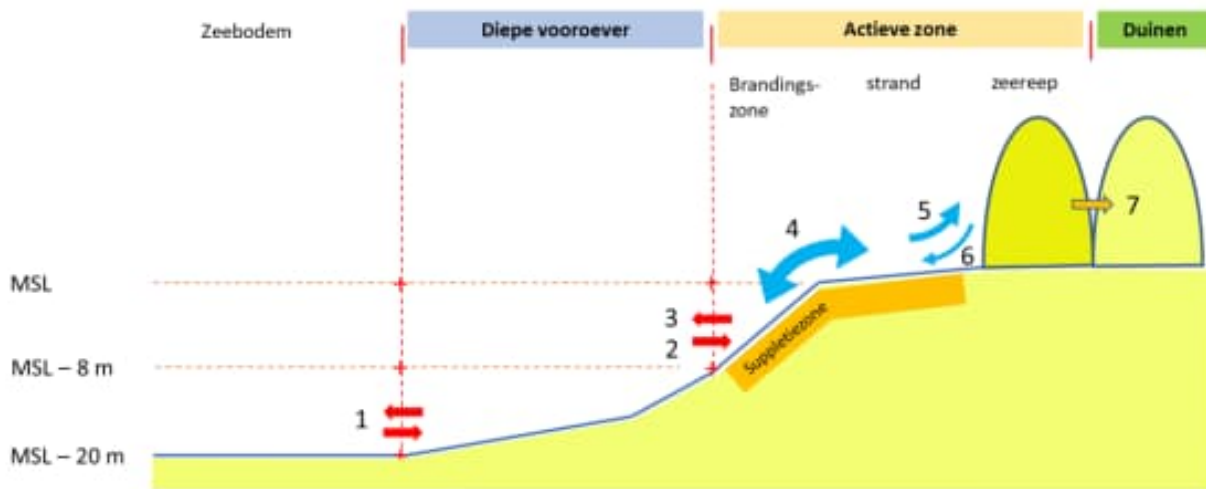
Op dit moment worden al door verschillende duinbeheerders veelvuldig kerven en stuifkuilen aangelegd om verstuiwing te bevorderen. Van de 93 grote kerven in Nederland zijn er 31 sinds 2020 aangelegd (Wegman et al, Kerven in de Zeereep, in prep). Daarnaast zijn in 2011 de Zandmotor en in 2015 de Hondsbossche Duinen aangelegd. Voor het netto kustlangse transport van zuid naar noord zijn de dwarsdammen rond de haven van IJmuiden een obstakel net als de (Tweede) Maasvlakte ten zuiden van de Hollandse kust.

Zuidwestelijke deltakust

De Deltawerken hebben invloed gehad op de Noordzeekust van de Zuidwestelijke delta. Door het afsluiten van verschillende zeearmen zijn de mondingen aan het aanzanden. Dit is bijvoorbeeld te zien in de Haringvlietmonding waar spitvorming is opgetreden aan de zuidzijde doordat er minder stroming is. Op sommige plaatsen op de eilanden wordt verstuiwingsdynamiek al gestimuleerd. Bijvoorbeeld op Schouwen zijn er grootschalige verstuiwingszones aangelegd.

5.3 Voorspellingen

In de voorgestelde NbS alternatieven wordt een actiever en dynamischer duingebied voorgesteld waarin de verstuiwing niet alleen plaatsvindt tot aan de voorkant van de meest zeewaartse duinenrij maar veel verder (enkele honderden meters) landinwaarts. Dit betekent dat pijl 7 in Figuur 5-2 een grotere rol gaat spelen in het systeem. Veel duingebieden langs de Hollandse kust zijn al zeer breed, en in deze gebieden zorgt een verhoogde dynamiek vooral voor hogere natuurwaarde en voor een breder duingebied. Echter, er zijn ook hele stukken smaller duingebied waar het stuivende zand invloed kan hebben op andere functies zoals landbouw, wegen of industriegebieden. Bij het verder uitwerken van de toekomstbeelden zal daarom in detail gekeken moeten worden welke functies geraakt worden door het dynamiseren. Dynamiseren zal daarom niet overal wenselijk zijn of alleen met maatregelen om het zand binnen een bepaald gebied te begrenzen. Echter, het verregaand dynamiseren van het duingebied tot enkele honderden meters landinwaarts zorgt voor een meegroeiend, robuuster en veel biodiverser duingebied.



Figuur 5-2 Kustdwarse schematisatie van transporten binnen de actieve zone (4,5 en 6) en daarbuiten. (Taal et al., 2023)

De suppletiebehoefte is voor de NbS alternatieven niet anders dan voor de voorkeursstrategie. De daarbij horende suppletievolumes (samengevat in Tabel 5-1) zijn overgenomen uit Taal et al. (2023) en hieronder per deelgebied kort toegelicht.

Tabel 5-1. Gemiddelde jaarlijkse suppletiebehoefte voor Delta, Hollandse en Wadden kust gemiddeld over de periode 2020 – 2200 voor ZSS scenario's 'matig' en over de periode 2020 – 2190 voor 'extreem'. Voor de Wadden kust is dit inclusief verlies naar de Wadden, zoals berekend met Asmita. Waarden uit Taal et al. (2023).

Gebied	ZSS 'matig' (volume in m ³ /jaar)	ZSS 'extreem' (volume in m ³ /jaar)
Delta kust	2,7	5,6
Hollandse kust	3,9	6,2
Waddenkust	17	30
Totaal	23	42

Hollandse kust

De zeespiegelstijging kan langs de Hollandse kust kan middels suppleties bijgehouden worden. Bij 5 m zeespiegelstijging dient 1062 Mm³ gesuppleerd te worden tot 2190, wat neerkomt op ~6,2 Mm³ gemiddeld per jaar (Taal et al., 2023, zie ook Tabel 5-1) - dit is ongeveer het dubbele van de huidige suppletiebehoefte (~3.5 miljoen m³/jaar). In de verschillende toekomstbeelden die geschetst worden in het KP ZSS NbS zal deze hoeveelheid ongeveer hetzelfde blijven. Enkel de vorm waarin en tot waar dit extra zand gestimuleerd wordt het gebied in te stuiven zal verschillen t.o.v. de voorkeursstrategie.

-Zandsuppleties voorzien de Hollandse kust van zand dat over tijd langs de Hollandse kust met name naar het noorden verplaatst, en daar de kust verder versterkt. Grote zandsuppleties (>20 Mm³, Figuur 5-3) hoeven minder frequent uitgevoerd worden, deze minder frequente verstoring van de bodem bij megasuppleties in vergelijking met reguliere suppleties is in principe gunstig voor het bodemleven. Tegelijk zullen ze, zie de Zandmotor bij Delfland, in ieder geval tijdelijk nieuwe (andere) leefgebieden / ecotopen geven. Of dit als geheel gunstig is voor de biodiversiteit hangt van de lokale doelstellingen af, maar wordt in het algemeen ook positief ingeschat.



Figuur 5-3 De zandmotor bij Kijkduin (dezandmotor.nl)

Waddenkust

De suppletiebehoefte langs de Waddenkust kan ook bij snellere zeespiegelstijging bijgehouden worden. Deze suppletiebehoefte is aanzienlijk meer dan de huidige suppletiebehoefte (4.5 - 4.8 miljoen m³/jaar). Bij 5 m zeespiegelstijging vereist het laten meegroeien van de buitendelta's, transporten naar bekkens, meegroeien eilanden (centraal) en transport oostwaarts 5084 miljoen m³ (30 miljoen m³ gemiddeld per jaar, zie Tabel 5-1). Dit is inclusief het berekende transport richting de bekkens van de Waddenzee zoals behandeld in Hoofdstuk 4: Taal et al. (2023) houden een gemiddeld verlies van 1933 miljoen m³ richting de Waddenzee aan, en de suppletiebehoefte van de Waddenkust wordt hiervoor gecompenseerd.

Zuidwestelijke deltakust

De suppletiebehoefte van de Zuidwestelijke deltakust is 949 Mm³ tot 2190 bij 5 m zeespiegelstijging (~5,6 Mm³ gemiddeld per jaar, zie Tabel 5-1), uitgaande van de 'minimale variant' van Taal et al. (2023). Bij deze minimale variant worden alleen zones gesuppleerd die in de toekomst mogelijk gaan meedoen met de verspreiding van suppletiezand. Het is onbekend wat het verwijderen van de diverse stormvloedkeringen heeft op de suppletiebehoefte van de Zuidwestelijke deltakust.

6 Rijn-Maasmonding en Zuidwestelijke Delta: openen zeearmen en aanleg waterkerende landschappen

6.1 Samenvatting NbS visie

De Rijn-Maasmonding is op dit moment relatief diep omdat de vaargeul onderhouden wordt om toegang tot de haven van Rotterdam te garanderen. Hierdoor treedt relatief veel aanslibbing op, maar kan ook zout relatief makkelijk indringen. Er is hierdoor veel zoet water nodig om zoutindringing tegen te gaan. Na afsluiting van het Haringvliet is het waterstandsverhang tussen de Nieuwe Waterweg en het Haringvliet sterk toegenomen, waardoor verbindingsgeulen uitschuren. Tegelijkertijd is de ecologische waarde van het Haringvliet sterk afgenomen door afsluiting door het verlies van intergetijdengebied.

Een verbeteringsstrategie is om de Rijn-Maasmonding af te sluiten en water van de Rijn en Maas via het Haringvliet af te laten stromen. Het openmaken van Haringvliet zorgt voor een systeem waarin getijdendynamiek wordt toegelaten en sediment weer opnieuw kan worden ingevangen. Het Haringvliet kan ingericht worden met waterkerende landschappen en vloedkommen om natuur te creëren en het getijdedebiet te vergroten.

In de Zuidwestelijke Delta wordt de dynamiek teruggebracht door bestaande stormvloedkeringen te verwijderen. Dit wordt concreet gedaan door de Oosterschelde open te maken, zodat de invloed van het getij in zijn geheel terugkomt en de ontgrondingskuilen in de monding, welke sedimentimport beperken, verdwijnen. Hierdoor is meer sedimentimport mogelijk, en de toegenomen getijamplitude vergroot accommodatieruimte op de platen. Door deze toegenomen accommodatieruimte, hogere sedimentbeschikbaarheid, en vermindering van aanzanding van de geulen zal het intergetijdengebied weer gaan groeien in plaats van eroderen (zoals onder de huidige condities). Hierdoor wordt meegroeien met zeespiegelstijging gestimuleerd. Zowel de morfologische weerbaarheid als de ecologische waarde wordt versterkt middels aanleg van vloedkommen en waterkerende landschappen. Om de getijslag achterin de Oosterschelde beperkt te houden wordt ook in het landwaartse einde van de zeearm ruimte gemaakt voor het water en meer intergetijdengebied.

6.2 Huidige condities

6.2.1 De Rijn-Maas monding

De Nieuwe Waterweg is sterk verdiept in de afgelopen jaren. De huidige diepte wordt in stand gehouden door baggeren. Aangezien de gebaggerde vaarwegdiepte gebaseerd is op het vrije wateroppervlak kan de bodemhoogte toenemen met ZSS. De Dordtse Kil is tussen 2000 en 2018 verdiept met ~10 cm (~5 mm/jaar); het Spui met ~0.8 meter (40 mm/jaar) (Cox et al., 2021). Het is waarschijnlijk dat deze negatieve trend doorzet, ook bij ZSS, omdat het systeem vooral reageert op historische menselijke ingrepen. Het Hollands Diep zou enkele cm/jaar aanslibben zonder baggeronderhoud (Cox et al., 2021), maar door baggerwerkzaamheden is de bodemverandering gering (<10 cm). Daarom is de verwachting dat de bodemverandering in het Hollands Diep gelijk ZSS bij zal houden: bij toenemende zeespiegel neemt de te onderhouden diepte toe), gelijk aan 19 mm/jaar. Bodemveranderingen in het Haringvliet zijn zeer gering (ongeveer 0). Alle getijdenwateren (de Lek, Merwedede) zouden enkele cm/s per jaar aanslibben als ze niet werden onderhouden (Cox et al., 2021). Ook hier geldt daarom dat de bodemstijgsnelheid waarschijnlijk gelijk zal blijven aan ZSS.

6.2.2 De Westerschelde

De platen en kwelders in de sedimenteren op dit moment sneller dan de zeespiegelstijging. De gemiddelde sedimentatiesnelheid op de platen van de Westerschelde is 57 cm tussen 1955 en 2014 (de Vet et al., 2017) ofwel 9,7 (~10) mm/jaar. Deze verhoging vakt niet af, wat waarschijnlijk maakt dat deze doorzet. Een afvlakking wordt ook deels voorkomen doordat de zeespiegel stijgt, en daardoor ook de getijamplitude zal toenemen (van der Wegen et al., 2022). De hoge sedimentatiesnelheid hangt deels samen met menselijke ingrepen (zoals storten nabij platen – de Vet et al., 2020) dus is wel (deels) afhankelijk van continuering van huidig bagger en stortbeleid. De grootste kwelder in de Westerschelde (30 km²) is het Land van Saeftinghe; jaarlijks bezinkt hier 0,4 miljoen ton (grotendeels slib). Dit komt overeen met 13 mm/jaar. Deze

sedimentatiesnelheid is veel hoger dan de huidige ZSS-snelheid, en daarmee lijkt de aanslibbingsnelheid losgekoppeld van de snelheid van ZSS.

De geulen in de Westerschelde verdiepen. De Westerschelde is 420 miljoen m³ aan sedimentvolume verloren sinds het jaar 1800 (Dam et al., 2022) – met een oppervlakte van 275 km² komt dit neer op een jaarlijkse verdieping van 7,1 mm/jaar. Wanneer echter gecompenseerd wordt voor zandwinning zou in de afgelopen 50 jaar 40 miljoen m³ zijn afgezet (Elias et al., 2023), wat overeenkomt met +2.9 mm/jaar. Diverse studies samengevat in Van der Wegen et al. (2022) suggereren dat zeespiegelstijging leidt tot een verhoging van de getijamplitude en daardoor een uitruiming van geulen. Dit zal de sedimentatie welke verwacht wordt door stoppen met zandwinning waarschijnlijk deels tenietdoen. Ook zijn er geen aanwijzingen dat het Schelde estuarium meer gaat importeren door zandwinning.

6.2.3 De Oosterschelde

Het intergetijdengebied in de Oosterschelde verlaagt 7 mm/j tussen 1983 en 2013 (de Vet et al., 2017). Deze trend neemt af in de tijd omdat de verlaging van de platen leidt tot een toenemend getijprisma en daardoor afname van de zandhonger in de geulen (de Vet et al., 2024). Door ZSS zal het getijdebiet verder toenemen waardoor de zandhonger in de geulen verder afneemt, en ook erosie van de platen nog meer zal afvlakken (de Vet et al., 2024). Beste inschatting van sedimentatiesnelheid lijkt een halvering (orde 3 mm/j).

De huidige aanslibbing op de kwelders is 3 tot 10 mm/j (van Maldegem en de Jong, 2004), er is geen aanwijzing dat dit sterk verandert door ZSS. Areaal wordt wel kleiner door de verdrinking van slikken (kliferosie).

Het meeste sediment wat wordt geërodeerd van de slikken wordt afgezet in ondiep water net beneden de laagwaterlijn (de Vet et al., 2024). Vanwege de verwachting dat de erosie op de platen op termijn zal afnemen, zal ook deze afzetting afnemen. Hoewel bekend is dat de slikken eroderen vanwege de sedimenthonger in de geulen, lijken er weinig getallen te zijn over aanzanding van de geulen. Volgens de Vet et al. (2024) is de overgebleven zandhonger 65% van ~500 miljoen m³, ofwel 325 miljoen m³. Dit zou neerkomen op ruim een meter in de Oosterschelde geulen (250 km²). Zoveel sediment is niet beschikbaar op de slikken (<100 miljoen m³ – de Vet et al., 2024). Import uit zee is beperkt. Indien de Oosterschelde gesloten blijft, en indien wordt aangenomen dat ongeveer de helft van het beschikbare sediment op de platen (50 miljoen m³) in de geulen wordt afgezet, kunnen de geulen nog 20 cm ophogen.

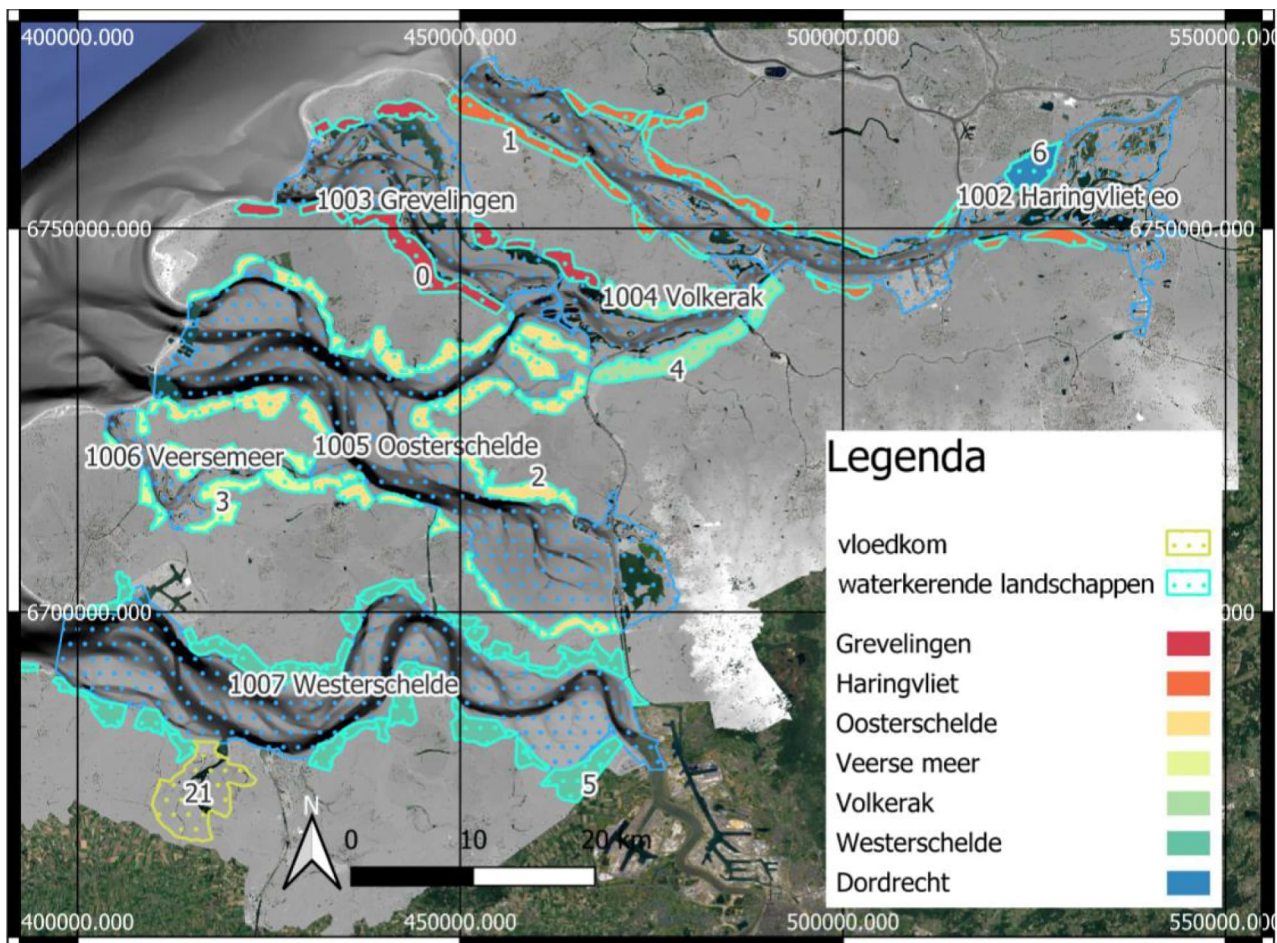
6.3 Voorspellingen

Net als voor het Waddengebied zijn voorspellingen voor de morfologische ontwikkeling gebaseerd op twee bronnen. De berekende slobinvang van de NbS-bouwblokken 'vloedkom' en 'waterkerend landschap' (zie locaties in

Figuur 6-1) is berekend met een 1D model (net als voor de Waddenzee). In tegenstelling tot de Waddenzee zijn er echter geen ASMITA berekeningen beschikbaar om voorspellingen te doen voor de morfologische ontwikkeling van de zeearmen onder huidige condities of voor toekomstscenario's waarbij stormvloedkeringen zijn verwijderd. Om toch tot uitspraken te komen over verwachte morfologische veranderingen en suppletievolumes moet zwaarder worden geleund op interpretatie van huidige condities en extrapolatie van trends. Hierdoor zijn de kwantitatieve inschattingen veel onnauwkeuriger dan voor de Waddenzee.

6.3.1 Grootschalige veranderingen

Het sedimentvolume benodigd om de zeearmen van de Zuidwestelijke delta en de Rijn-Maas monding mee te laten groeien met zeespiegelstijging (deels na verwijdering keringen) is per areaal en gebied berekend door de areaalgrootte te vermenigvuldigen met de zeespiegel stijgsnelheid. Hiervoor is het areaal 'diep' (<5 m), 'ondiep' (tussen -5 en gemiddeld laag water), 'plaat' (tussen gemiddeld laag en hoog water) en 'kwelder' (boven gemiddeld hoog water) gedefinieerd (zie van Winden et al., 2025). Deze arealen zijn gebaseerd op de huidige verdeling (Westerschelde) of verdeling in 1955 (voor de diverse afsluitingen van zeearmen). De grootste plaatvolumes komen voor in de Westerschelde en de Oosterschelde (Figuur 6-2); ook qua totaal oppervlak zijn dit de grootste arealen. Ook voor het daarna meest voorkomende areaal (diep) leveren de Westerschelde en Oosterschelde het grootste volume.



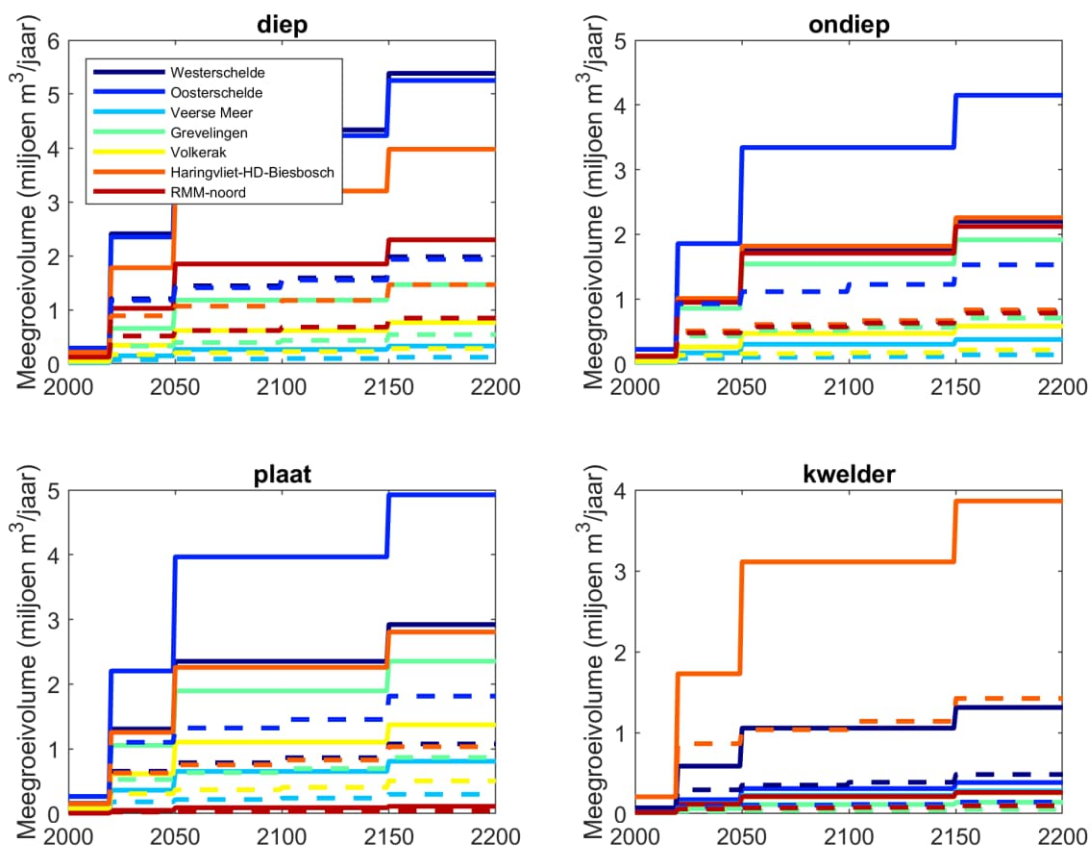
Figuur 6-1 Begrenzingen van de deelgebieden in de Rijn-Maasmond en Zuidwestelijke Delta, uitgesplitst naar vloedkommen (geel) en voorlandverbreding (oranje), waterkerende landschappen (turquoise) en huidige waterlichamen (blauw).

Een deel van deze volumeveranderingen worden gerealiseerd door natuurlijk transport, van zowel slib als zand, terwijl ook een deel van deze volumeveranderingen niet plaats zal vinden. We maken deze inschatting op basis van de huidige geobserveerde trends maar niet op basis van berekeningen (zoals in de Waddenzee) omdat dergelijke resultaten nog niet beschikbaar zijn.

- Voor de Rijn-Maas monding wordt verwacht dat geulen ofwel niet meegroeien als gevolg van een sterk erosieve trend, of op diepte worden gehouden voor scheepvaart (waardoor de diepe delen meegroeien met ZSS). Er wordt aangenomen dat de beperkte hoeveelheid platen en kwelders mee kunnen groeien met ZSS door afzetting van slib.
- Het Haringvliet met aangrenzende Biesbosch zal van nature opvullen met een mengsel van slib en zand in diep en ondiep water en de platen, en vooral slib in de kwelders. Zeker wanneer de Rijn-Maas monding verlegd wordt naar het Haringvliet zal de beschikbaarheid van slib sterk toenemen. Het is onbekend in hoeverre natuurlijke sedimentimport in staat is om ZSS te compenseren. Als eerste orde benadering kan aangenomen worden dat zand wat vanuit de Noordzee wordt geïmporteerd in diep water bezinkt, hoewel onvoldoende om volledig mee te groeien. De kwelders zullen waarschijnlijk volledig met slib meegroeien. Er zal wat slib bezinken op de platen, maar om de platen volledig mee te laten groeien zal ook zand gesuppleerd moeten worden. We gaan hier uit van 50% suppletie van het meegroeivolume plaat (25% natuurlijke opslibbing en 25% natuurlijke aanzanding), en 50% van het areaal ondiep (met 50% natuurlijke opvulling met zand). Suppletie van het areaal ondiep is nodig om versteiling van de kwelders en verlies van areaal te compenseren. Het areaal diep groeit met 50% mee met ZSS vanwege verwachte sedimentatie in de laag-energetische en relatief slibrijke Biesbosch.
- Bij gebrek aan meer gedetailleerde informatie nemen we aan dat dezelfde rekenregels een eerste orde benadering vormen voor het Volkerak en Grevelingen gecombineerd. Het Grevelingen zal hierbij iets zandiger zijn dan het Volkerak.

- Het Veerse Meer zal ook na opening laag-energetisch zijn en naar verwachting vooral opvullen met slib. Als eerste orde benadering wordt aangenomen dat alle arealen opvullen met slib, met een snelheid overeenkomend met ZSS
- Na opening van de Oosterschelde neemt de stroomsnelheid van het getij en sedimenttransport van zee naar binnen toe. Hiermee neemt de sedimenthonger in de geulen af, en zal mogelijk (een deel van) het sediment dat is afgezet gedurende het bestaan van de Oosterscheldedekering weer beschikbaar komen. Indien dit zo is, zullen de platen mogelijk in eerste instantie groeien en zullen de geulen de neiging hebben te verdiepen. Bij hoge ZSS levert het uitruimen van de geulen niet voldoende sediment meer, en het is de vraag in hoeverre natuurlijke import hieraan kan voldoen. In afwezigheid van beter gefundeerde informatie gaan we uit van een iets betere meegroeicapaciteit dan het Haringvliet: 100% aanslibbing kwelders, 25% aanslibbing platen, 50% natuurlijke aanzanding platen en 50% aanzanding van het areaal ondiep. Hierdoor moet 25% van het plaatvolume en 50% van het areaal ondiep gesuppleerd worden.
- De huidige platen in de Westerschelde nemen sterk toe in hoogte (deels slib, maar vooral zand). Als eerste orde benadering gaan wij ervanuit dat deze aangroei doorzet. Deze aangroei van platen en kwelders is echter deels het gevolg van bagger en stortstrategieën, Indien dergelijke strategieën veranderen zal ook de meegroeisnelheid veranderen. Bij een sterk stijgende zeespiegel zal niet alleen natuurlijk sedimenttransport veranderen, maar mogelijk ook de behoefte aan vaargeulonderhoud. Als eerste orde benadering gaan we uit met dezelfde meegroei capaciteit (en suppletiebehoefte) als de Oosterschelde: 100% aanslibbing kwelders, 25% aanslibbing platen, 50% natuurlijke aanzanding platen en 50% aanzanding van het areaal ondiep. Hierdoor moet 25% van het plaatvolume en 50% van het areaal ondiep gesuppleerd worden.

In sectie 6.3.3 worden de volumeveranderingen geconverteerd naar slibvraag en suppletiebehoefte.



Figuur 6-2 Meegroeivolume benodigd voor de arealen 'diep', 'ondiep', 'plaat', en 'kwelder' voor zeespiegelcurves 'maximaal' (stijgsnelheid tot 5.4 meter in 2200, doorgetrokken lijnen) en 'matig' (stijgsnelheid tot 2 meter in 2200, gestreepte lijnen) volgens de definitie van het KP ZSS, voor de gebieden in de Rijn-Maasmonding (RMM) en de zeearmen van de Zuidwestelijke delta.

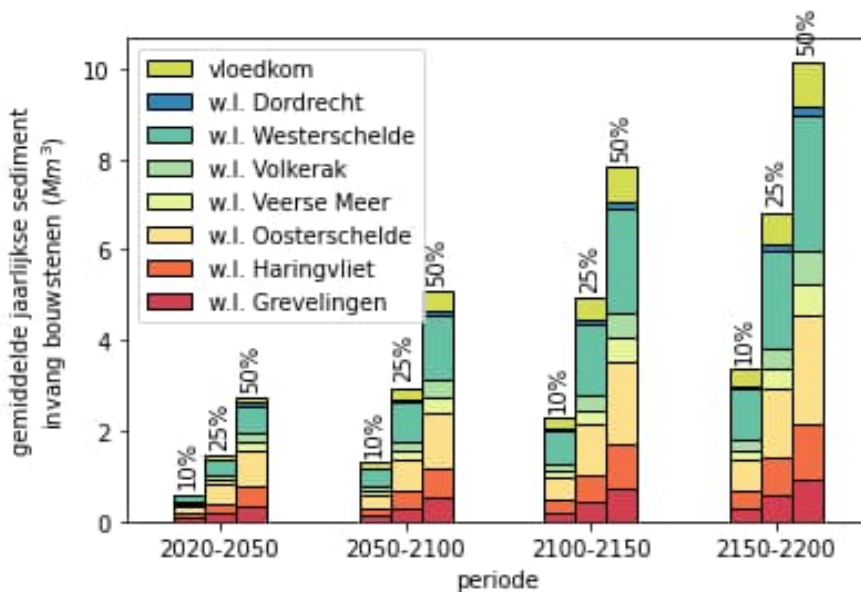
6.3.2 Toekomstige slibinvang bouwblokken

Voor de invoer van het 1D-model om slibinvang te berekenen zijn een aantal specifieke keuzes gemaakt voor de Zuidwestelijke Delta. Voor de opgetreden hoogtijwaardes in 2024 is Brouwershavensche Gat gebruikt (zeewaarts van Schouwen-Duiveland). Voor de Westerschelde (huidig waterlichaam, waterkerend landschap en vloedkom) is gerekend met een sedimentconcentratie van 40 mg/L (Temmerman et al., 2004). Voor alle gebieden ten noorden van de Westerschelde is gerekend met een concentratie van 20 mg/L (Ma et al., 2014). De overige parameters (initiële bodemhoogte, zeespiegelstijging, simulatieduur, bezinkpercentage en sedimentdichtheid) zijn bepaald zoals beschreven in 3.2.

Voor alle deelgebieden uit

Figuur 6-1 is de slibinvang op deze manier bepaald. De totale cumulatieve ophoging over de periode 2020-2200 wordt per gebied weergegeven in Tabel 6-1. Opvallend is dat geen enkel waterkerend landschap, noch de vloedkom Braakman, volledig kan meegroeien met de zeespiegelstijging, ook niet bij een bezinkpercentage van 50%. De meeste zeearmen kunnen bij de bezinkpercentages van 10% en 25% niet meegroeien (met uitzondering van de Westerschelde). De Oosterschelde, Grevelingen, Volkerak en Westerschelde kunnen wel meegroeien bij een bezinkpercentage van 50%. Voor een volledig overzicht van de resultaten voor ieder deelgebied wordt verwezen naar bijlage A.

De toekomstige slibinvang is in Figuur 6-3 weergegeven per bouwblok en per periode. Per definitie wordt er meer sediment ingevangen bij toenemende bezinkpercentages. Vanwege de toenemende zeespiegelstijgsnelheid neemt de slibinvang toe met de tijd. Belangrijke kanttekening is dat in deze resultaten voor ieder afzonderlijk deelgebied is bepaald hoeveel sediment het kan invangen, maar er is geen ongelimiteerde hoeveelheid sediment beschikbaar.



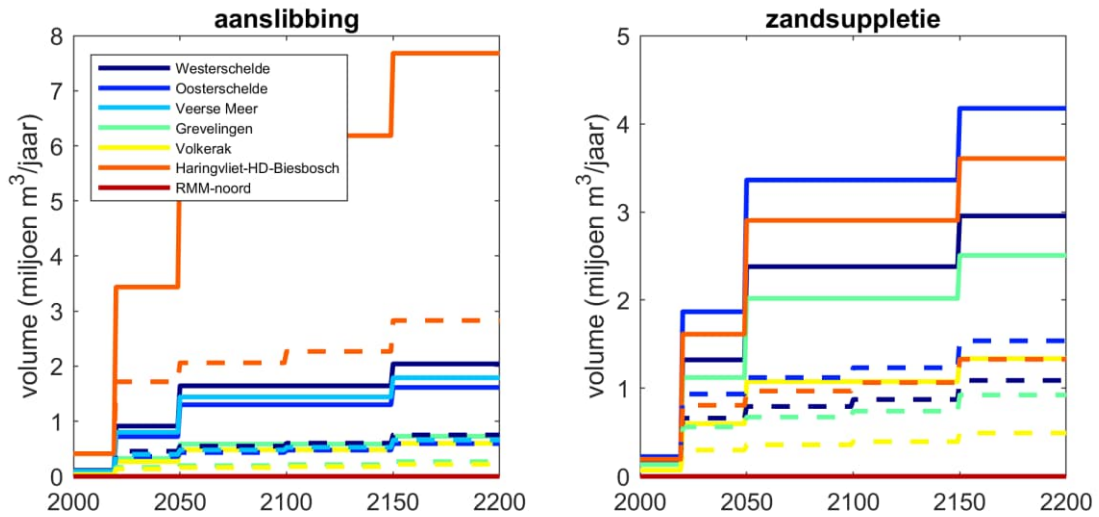
Figuur 6-3 Jaarlijkse sediment invang voor deelgebieden in de Zuidwestelijke Delta bij bezinkpercentages 10%, 25% en 50%, opgedeeld in periodes (2020-2050, 2050-2100, 2100-2150 en 2150-2200) met toenemende zeespiegelstijgsnelheden. Ter referentie: er is jaarlijks ongeveer 12.8-15.4 Mm³ sediment beschikbaar, waardoor niet alle gebieden gelijktijdig op kunnen hogen. W.l. refereert naar waterkerend landschap

Tabel 6-1 Cumulatieve ophoging over de periode 2020-2200 (m) per deelgebied in de Zuidwestelijke Delta voor 10%, 25% en 50% bezinking. De gebiedsnummers komen overeen met de nummers uit Figuur 6-1. Ter referentie: de totale zeespiegelstijging waarmee wordt gerekend over de periode 2020-2200 bedraagt 5,4 m. Getallen weergegeven in rood en oranje groeien minder snel dan de zeespiegelstijging, getallen in groen groeien sneller dan de zeespiegelstijging.

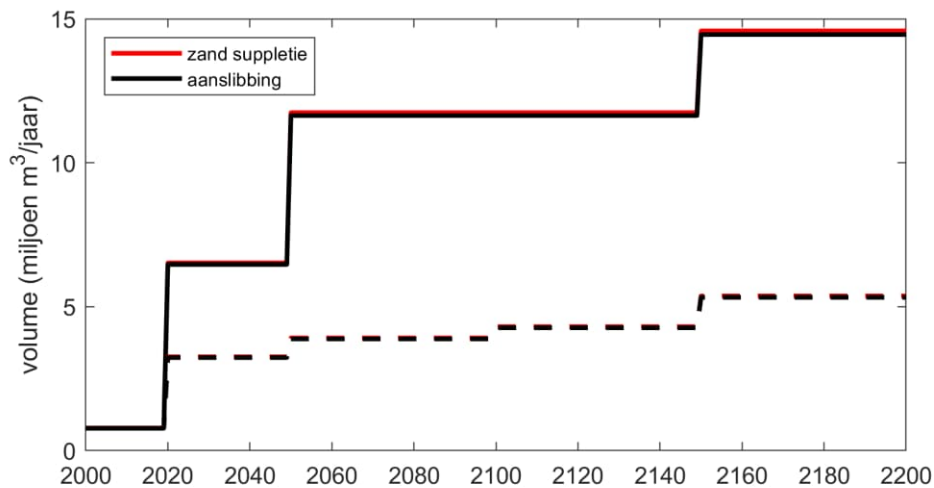
Gebiedsnaam en -ID	Bezinkingspercentage 10%	Bezinkingspercentage 25%	Bezinkingspercentage 50%
Waterkerend landschap Grevelingen (#0)	0,79	1,73	2,85
Waterkerend landschap Haringvliet e.o. (#1)	0,78	1,71	2,82
Waterkerend landschap Oosterschelde (#2)	0,76	1,68	2,77
Waterkerend landschap Veerse Meer (#3)	0,69	1,53	2,54
Waterkerend landschap Volkerak (#4)	0,71	1,57	2,60
Waterkerend landschap Westerschelde (#5)	1,13	2,28	3,38
Waterkerend landschap Dordrecht (#6)	0,79	1,73	2,85
Braakmankreek Westerschelde (#21)	1,00	2,04	3,08
Oosterschelde (#1005)	2,48	5,29	8,29
Veerse Meer (#1006)	1,30	2,81	4,51
Haringvliet e.o. (#1002)	1,50	3,23	5,14
Grevelingen (#1003)	1,94	4,15	6,56
Volkerak (#1004)	1,78	3,80	6,02
Westerschelde (#1007)	4,80	8,92	11,89

6.3.3 Slibbeschikbaarheid en suppletiebehoefte

De volumeveranderingen zoals berekend in Figuur 6-2 worden geconverteerd naar suppletiebehoefte en aanslibbing met de sterk versimpelde rekenregels beschreven in sectie 6.3.1. De resulterende aanslibbing en suppletiebehoefte (over alle arealen) is weergegeven in Figuur 6-4. Volgens deze berekeningen is in de 2200 de suppletiebehoefte om het intergetijdegebied mee te laten groeien tussen de 3,5 en 4 miljoen m³ per zeearm (Westerschelde, Oosterschelde, Haringvliet en combinatie Grevelingen / Volkerak) wat leidt tot een totaal van 15,6 miljoen m³/jaar (Figuur 6-5). De totale suppletiebehoefte is 11,7 miljoen m³/jaar in 2100. Wanneer uitgegaan wordt van het scenario 'matig' is de suppletie behoefte 5,4 miljoen m³/jaar. Het is belangrijk te realiseren dat is aangenomen dat er een beperkt verlies is van sediment van de plaat naar de geul (om het dynamisch morfologisch evenwicht tussen plaat en geul te handhaven) en dat daarom geulen niet gesuppleerd te hoeven worden. Omdat er verlies zal optreden van plaat naar dieper water wordt het areaal 'ondiep' wel gesuppleerd. De redenatie hierbij is dat een deel van het zand wat gesuppleerd wordt op areaal 'ondiep' naar diep water wordt getransporteerd, maar dat het areaal plaat intact blijft. In hoeverre dit realistische aannames zijn dient in vervolgonderzoek gesubstantieerd te worden.



Figuur 6-4 Berekende aanslibbing en suppletie behoefte voor de Zuidwestelijke delta per geopende zee-arm, op basis van historische en tegenwoordige arealen van kwelder, plaat, ondiep en diep water gecombineerd met de zeespiegelstijging scenario's 'maximaal' (doorgetrokken lijn) en 'matig' (gestreepte lijn) en de aanslibbing / suppletie per areaal / gebied zoals beschreven in sectie 6.3.1.



Figuur 6-5 Volume aanslibbing en zandsuppletie voor alle zee-armen gecombineerd, op basis van Figuur 6-4.

De verwachte aanslibbing is 11,6 miljoen m^3 in 2100 en 14,5 miljoen m^3 in 2200 (Figuur 6-5). De meeste aanslibbing vindt hierbij plaats in het Haringvliet en Biesbosch (Figuur 6-4). Een totaal van 17,8 miljoen m^3 is meer slib dan naar verwachting beschikbaar is (zie Hoofdstuk 2). Daarnaast realiseren de diverse bouwstenen een slibvraag van 3 tot 10 miljoen m^3 . De aanslibbing is aanzienlijk lager voor de matige zeespiegelstijging: 4,4 miljoen m^3 in 2100 en 6,5 miljoen m^3 in 2200 (Figuur 6-5). Hoewel de slibbeschikbaarheid hier voldoende voor lijkt (zelfs in combinatie met waterkerende landschappen) zal een dergelijke aanslibbing wel tot gevolg hebben dat de slibbeschikbaarheid in de Waddenzee afneemt. Met een volume van 3,5 miljoen m^3 en 5,4 miljoen m^3 in 2200 is de benodigde suppletie behoefte voor scenario 'matig' beperkt.

7 Alternatieven

7.1 Introductie

Binnen het programma is als startpunt uitgegaan van een meegroeiende delta, waarin alle zeearmen (inclusief afsluitdijk) zijn verwijderd en dijken zijn vervangen voor waterkerende landschappen. Omdat de meegroeiende delta niet realistisch is en het daarnaast ook complex is om hiervoor goede morfologische inschattingen te geven, worden alleen Alternatief 1 en Alternatief 2 van de meegroeiende delta doorgerekend, zoals uitgewerkt in van Winden et al. (2025). Hierbij wordt vooral aandacht besteed aan concepten waarvoor daadwerkelijk wijzigingen in beheer- en onderhoudsstrategieën nodig zijn. Het suppletie volume dat voorgesteld voor het huidige NbS ZSS volgt voor de zandige kust de huidige voorkeursstrategie (om zeespiegelstijging te compenseren door middel van zandsuppleties).

In dit hoofdstuk wordt een tijdsvariërende suppletiebehoefte en aanslibbing gepresenteerd en besproken. De suppletiebehoefte betreft het meegroeien van platen in buitendijks open water, en is hetzelfde voor Alternatief 1 en 2. De aanslibbing wordt sterk beïnvloed door bouwblokken (zie sectie 2.3) en is daarom verschillend per Alternatief. De totale suppletiebehoefte en verwachte aanslibbing over de periode 2020 – 2200 zijn samengevat in Tabel 8-1 in het volgende hoofdstuk.

7.2 Alternatief 1

In alternatief 1 wordt gekeken naar het bouwblok waterkerende landschappen. Op alle mogelijke locaties in de Waddenzee, Zuidwestelijke delta en open zeearmen van Zeeland worden waterkerende landschappen ingezet. Op deze manier kunnen we een maximaal scenario voor waterkerende landschappen doorrekenen (en de daarbij behorende maximale benodigde hoeveelheid sediment). In een later stadium kan er optimalisatie en minimalisatie plaatsvinden.



Figuur 7-1 Overzicht van maatregelen alternatief 1: waterkerende landschappen en open zeearmen in de Zuidwestelijke delta

De sedimentinvang in de waterkerende landschappen is sterk afhankelijk van de stijgsnelheid van de zeespiegel (Figuur 7-2 en Figuur 7-3). Onder aanname van 25% invang efficiëntie is een gecombineerde aanslibbing (Figuur 6-5) en slibinvang in de Zuidwestelijke Delta berekend (Figuur 7-4). Bij extreme zeespiegelstijging is deze totale aanslibbing 20 miljoen m³/jaar in 2200 (16 miljoen m³/jaar in 2100). Bij voldoende beschikbaarheid zal deze afzetting vooral uit slib bestaan, maar ook deels uit zand. Omdat er

geen informatie bekend is over de hoeveelheid zand welke wordt ingevangen, wordt als eerste orde beschouwing uitgegaan van 100% slib (en 0% zand).

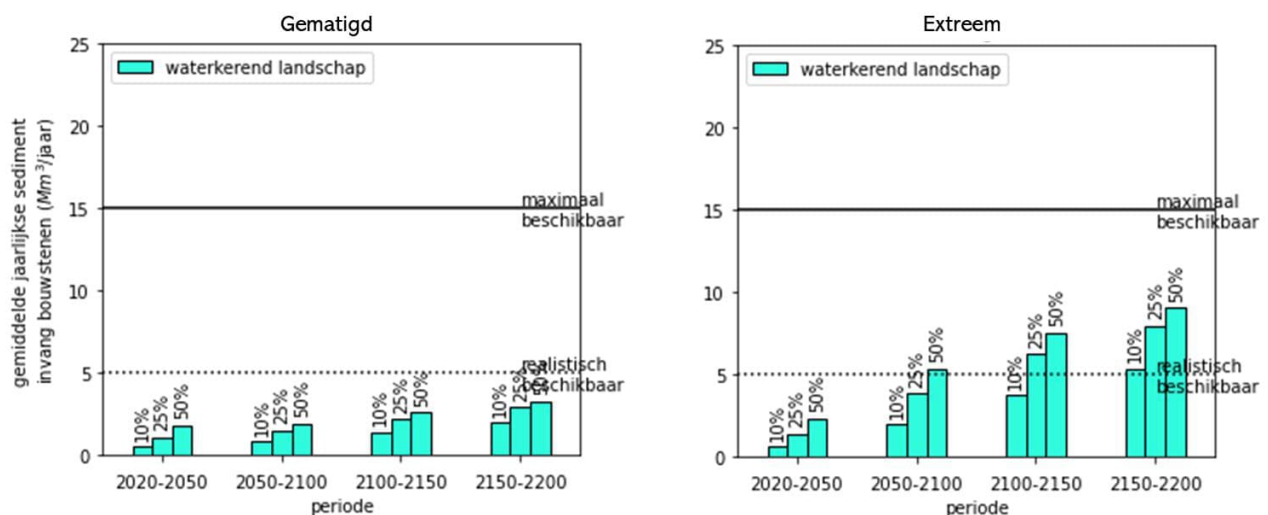
De jaarlijkse beschikbaarheid van slib in de gehele Nederlandse kustzone lijkt ongeveer 10-14 miljoen ton/jaar te zijn (Hoofdstuk 2) wat betekent dat er onvoldoende slib beschikbaar is om alle waterkerende landschappen in de Zuidwestelijke delta, platen en kwelders (en in sommige gevallen de geulen) mee te laten groeien. Het gevolg hiervan voor scenario A1 is dat in het geval van de Zuidwestelijke delta:

- Keuzes gemaakt moeten worden welke gebieden opengesteld worden om mee te groeien
- Er meer gesuppleerd moet worden dan in Figuur 6-4 en Figuur 6-5 is aangenomen;
- Invang van slib bij voorkeur zo snel mogelijk gestart moet worden
- Het slibtransport in Noordwaartse richting (naar de Waddenzee) aanzienlijk af zal nemen wanneer grote hoeveelheden slib worden ingevangen in de Zuidwestelijke delta. Wanneer aanslibbing in de Zuidwestelijke delta tussen de 10 en 20 miljoen m³ /jaar wordt, zal het transport richting de Waddenzee zeer sterk afnemen/nihil zijn.

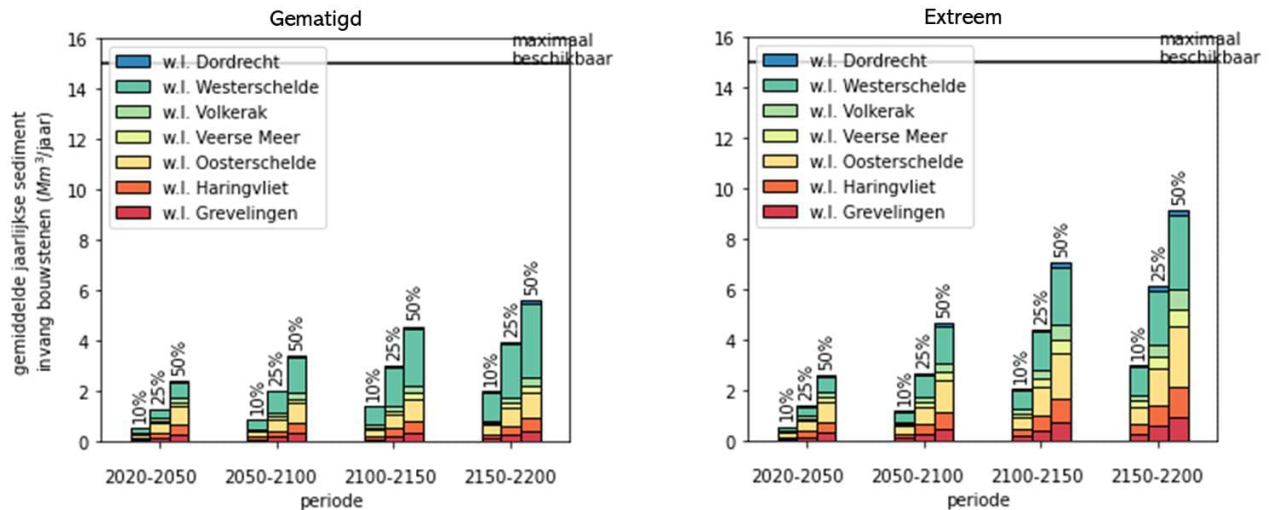
De berekende slibvang voor de Waddenzee is veel lager (ruim 6 miljoen m³/jaar in 2200 - zie Figuur 7-4). Dit is een vertekend beeld omdat slibvangst ook deel uitmaakt van de berekende slibimport richting de Waddenzee (ASMITA-berekeningen) - de benodigde slibhoeveelheid om meegroei te realiseren is veel groter dan de beschikbaarheid. Zeker wanneer de Zuidwestelijke delta en Waddenzee gecombineerd geëvalueerd worden is duidelijk dat er minder slib beschikbaar is dan nodig om mee te groeien (zowel op jaarbasis als over het geheel).

Het gevolg hiervan voor scenario A1 is dat in het geval van de Waddenzee:

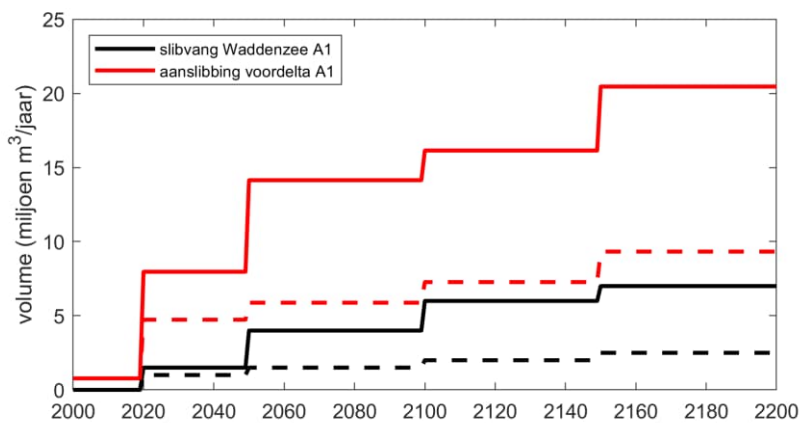
- Er gesuppleerd moet worden, hoe meer slib er wordt ingevangen in de Zuidwestelijke delta, hoe meer suppletie er nodig is in de Waddenzee.
- Op termijn de Waddenzee een zandiger systeem wordt
- Dat er verdrinking gaat optreden op de lange termijn als het bouwblok suppleren niet ten volle ingezet gaat worden.
- Dat de invang van slib bij voorkeur zo snel mogelijk gestart wordt om de nu beschikbare hoeveelheden (die langs de kust trekken) al ten volle te benutten



Figuur 7-2 Sedimentvangst in waterkerende landschappen in de Waddenzee voor extreme en gematigde ZSS (definitie KP ZSS), voor invangpercentages tussen 10 en 50%.



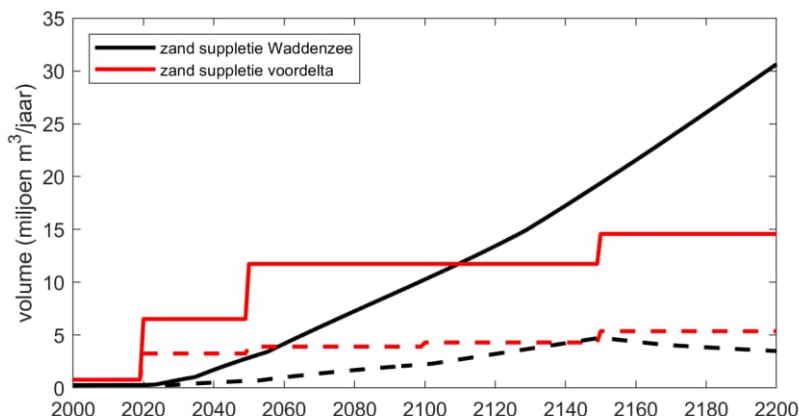
Figuur 7-3 Sedimentinvang in waterkerende landschappen in de Zuidwestelijke delta voor extreme en gematigde ZSS (definitie KP ZSS), voor invangpercentages tussen 10 en 50%.



Figuur 7-4 Totale aanslibbing voor Alternatief 1: slibvang Waddenzee (op basis van 25% invangefficiëntie, zie Figuur 7-2) en in de Zuidwestelijke delta een combinatie van slibvang (Figuur 7-3) en aanslibbing (Figuur 6-5). De doorgetrokken lijn is extreme ZSS, de gestreepte lijn gematigde ZSS (definitie KP ZSS).

De verwachte suppletievolumes (zand) stijgen naar 30 miljoen m³/jaar in de Waddenzee en 15 miljoen m³/jaar in de Zuidwestelijke delta (Figuur 7-5). De beide curves verschillen sterk van elkaar om de volgende redenen:

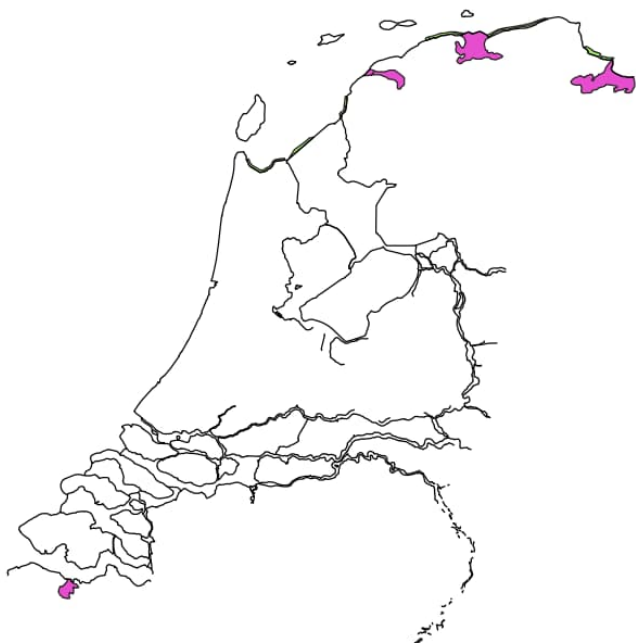
- De voorspellingen voor de Waddenzee zijn gebaseerd op daadwerkelijke transportberekeningen met niet-lineaire relaties (sediment import loopt onder meer achter op ZSS)
- De ZSS-curve voor de Waddenzee neemt gelijkmatiger toe
- De zeespiegel stijgsnelheid voor de Zuidwestelijke delta is vooral initieel (tot aan 2100) veel groter dan die in de Waddenzee; daarna gaan beide meer gelijk op. Daarom is in eerste instantie de suppletiebehoefte groter in de Zuidwestelijke delta dan in de Waddenzee.



Figuur 7-5 Totale suppletie behoefte voor de bekkens van de Waddenzee en de zeearmen van de Zuidwestelijke delta (gelijk voor alternatief 1 en 2). Dit is exclusief de suppletiebehoefte van de zandige kust van zowel de Zuidwestelijke delta als de Waddenzee eilanden. De suppletie behoefte voor de Waddenzee is op basis van Figuur 4-11, inclusief het Eems Estuarium en voor de Waddenzee op basis van Figuur 6-5. De doorgetrokken lijn is extreme ZSS, de gestreepte lijn matige ZSS (definitie Wang (2024) voor de Waddenzee, definitie KP ZSS voor de Zuidwestelijke delta)

7.3 Alternatief 2

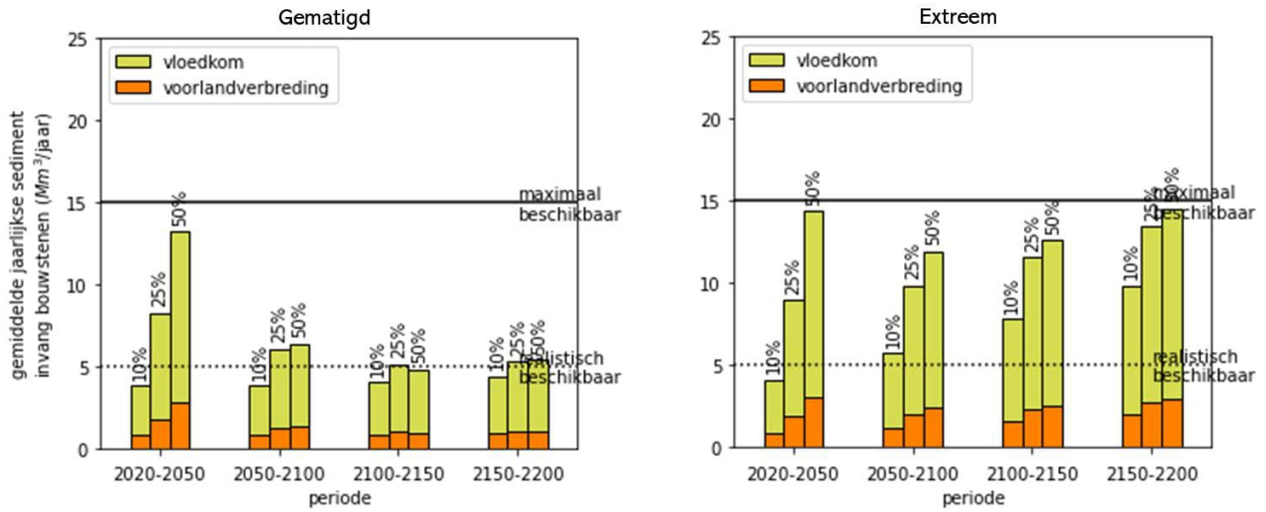
In alternatief 2 worden de bouwstenen vloedkommen en voorlanden ingezet. In de Waddenzee zijn beide concepten toegepast. In de Zuidwestelijke delta is alleen een vloedkom aangelegd in de Westerschelde. (zie Figuur 7-6).



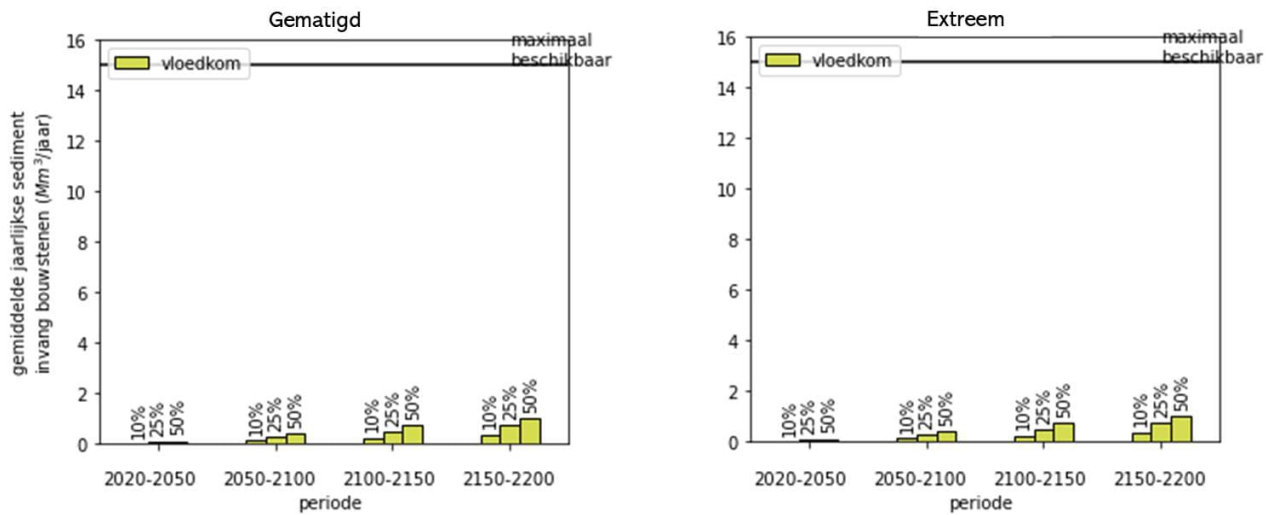
Figuur 7-6 Overzicht van maatregelen alternatief 2: Vloedkommen en (in de Waddenzee) aangroeiende voorlanden

- 1 Opvallend aan het effect van de vloedkommen is dat de aanslibbing initieel niet sterk wordt beïnvloed door ZSS. Dit is het gevolg van de relatief diepe ligging van de vloedkommen – er is voldoende ruimte voor het sediment om neer te slaan, een stijging van de zeespiegel heeft hier in eerste instantie geen effect op. Dit is vooral duidelijk voor de Waddenzee (Figuur 7-7). De vloedkommen vragen een zeer grote hoeveelheid sediment (tot 10 miljoen m³ per jaar) wat veel is gezien de beschikbaarheid van slib (10-15 miljoen m³/jaar) en de grote slibvraag elders. De slibvraag is voor zowel de Zuidwestelijke delta als de Waddenzee rond de 15 miljoen m³/jaar in

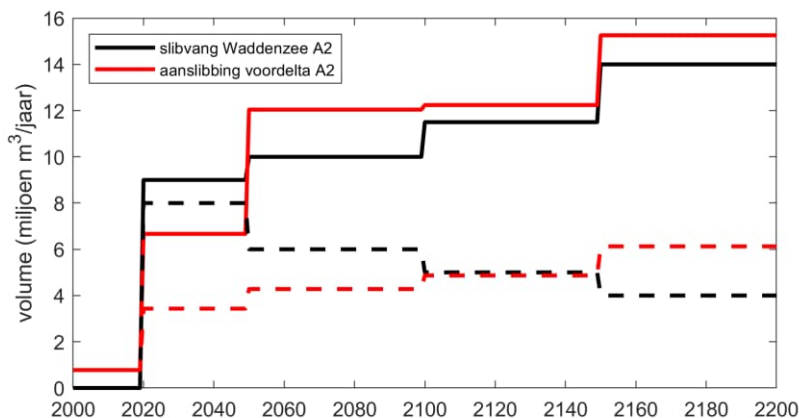
2200 (11-12 miljoen m³/jaar in 2200) - zie Figuur 7-9. Een belangrijk verschil met Alternatief 1 is dat de slibvraag voor NbS oplossingen in de Zuidwestelijke Delta veel geringer is (alleen een vloedkom in de Westerschelde; vergelijk Figuur 7-3 met Figuur 7-8).



Figuur 7-7 Sedimentinvang in vloedkommen en voorlandverbreding in de Waddenzee voor extreme en gematigde ZSS (definitie KP ZSS), voor invangpercentages tussen 10 en 50%.



Figuur 7-8 Sedimentinvang in de vloedkom in de Westerschelde voor extreme en gematigde ZSS (definitie KP ZSS), voor invangpercentages tussen 10 en 50%.



Figuur 7-9 Totale aanslibbing voor alternatief 2: slibvang Waddenzee (op basis van 25% invangefficiëntie, zie Figuur 7-7) en in de Zuidwestelijke delta een combinatie van slibvang (Figuur 7-8) en aanslibbing (Figuur 6-5).

7.4 Synthese

De berekende hoeveelheid benodigde aanslibbing om mee te kunnen groeien met zeespiegelstijging is hoog (25 miljoen voor Alternatief 1, 30 miljoen m³/jaar voor alternatief 2). Dit is aanzienlijk meer dan er slib beschikbaar is (10-15 miljoen m³/jaar). Dit betekent dat er bij opschalen van maatregelen rekening gehouden moet worden met een uiteindelijk tekort aan slib. Dit kan leiden tot een hoger benodigde suppletiebehoefte, maar ook tot een verzanding van sommige arealen (met de daaraan gekoppelde ecologische gevolgen) of verdrinking van delen van het systeem.

De suppletiebehoefte om de intergetijdengebieden mee te laten groeien piekt op 45 miljoen m³/jaar in 2200 (waarvan 30 miljoen m³ in de Waddenzee, en 15 miljoen m³ in de Zuidwestelijke delta). Bij deze inschattingen zijn aannames gedaan omtrent het beperkt meegroeien van de getijgeulen, waardoor uiteindelijk de daadwerkelijke hoeveelheid te suppleren zand hoger zal worden. Dit zal op basis van monitoring moeten blijken. Deze waarden zijn een aanvulling op de suppletiebehoefte van de zandige kust (30,3 miljoen m³/jaar over de periode 2020 – 2190, zie Tabel 5.1). Gemiddeld over de periode 2020 – 2200 is de suppletiebehoefte van de Waddenzee en Zuidwestelijke delta vergelijkbaar (25-30 miljoen m³/jaar gecombineerd voor beide alternatieven, zie Figuur 7-5).

De voorliggende getallen bieden een eerste integrale maar redelijk realistische inschatting van sedimentbeschikbaarheid en suppletiebehoefte om intergetijdengebieden in Alternatief 1 en 2 in de Waddenzee en de Zuidwestelijke delta in stand te houden. Het voorspellen van zowel de sedimentbehoefte als de sedimentbeschikbaarheid is echter complex en moet in een vervolgtraject uitvoeriger en met betere numerieke methodes gedaan worden. Wel bieden deze getallen een eerste orde inzicht in veranderingen in sedimentbeschikbaarheid onder extreme zeespiegelstijging en efficiëntie van Nature-based oplossingen voor het invangen van slib. De belangrijkste boodschap blijft nog steeds dat snel beginnen met sediment invangen veel voordelen biedt. Alles wat vanaf nu al gaat meegroeien hoeft later minder mee te groeien of eigenlijk minder in te halen. Dat geeft een groot voordeel in een sedimentbeperkt delend systeem waar de Zuidwestelijke delta en Waddenzee onderdeel van zijn.

8 Discussie en advies

8.1 Onzekerheden en interpretatie

Morfologische aanpassing aan extreme zeespiegelstijging is lastig om te voorspellen vanwege de vele niet-lineaire terugkoppelingen, de sterke afwijking van het bestaande evenwicht, en kennisleemtes omtrent de hoeveelheid beschikbaar sediment en de zeespiegelstijgsnelheid zelf. In voorliggend rapport is op basis van beschikbare informatie een eerste orde inschatting gegeven sedimentbeschikbaarheid, sedimentbenodigdheid, suppletiebenodigdheid en invang efficiëntie van Nature-Based oplossingen. De resulterende getallen moeten met zorg worden geïnterpreteerd, rekening houdend met de relatief grote onzekerheid en foutenmarge in de voorspellingen.

Modellering van sedimentatie

Om de effecten van NbS oplossingen beter te kwantificeren is een 1D-model ontwikkeld. Hierin is ruimtelijke variatie van parameters binnen de deelgebieden niet meegenomen (denk aan de initiële bodemhoogte, de getijslag en de sedimentconcentratie). Daardoor wordt ruimtelijke variatie in de sedimentatie dus niet meegenomen, maar voor het gebied als geheel geeft het een redelijke voorspelling. Ook versnelde zeespiegelstijging is sterk versimpeld met vier periodes met waarbinnen de stijgsnelheid constant is verondersteld, waardoor de sedimentatie over de gehele periode 2020-2200 niet gelijkmatig toe- of afneemt, maar stapsgewijs. Dit heeft een effect op de sedimentatie over de tijd. In het model wordt de sedimentatie bepaald door de waterdiepte (verschil bodem en hoogtij + ZSS): hoe groter de waterdiepte, hoe sneller de sedimentatie. Dit betekent dat initieel een grote groei plaatsvindt, met name in de gemiddeld dieper gelegen waterlichamen en bouwblokken. In de initieel dieper gelegen gebieden en op de locaties waar met een hogere sedimentconcentratie gewerkt is geeft dit een onverwacht effect op de sedimentatie over de tijd. Dit is bijvoorbeeld te zien in alle in de Westerschelde gelegen gebieden (sedimentconcentratie van 40 mg/L t.o.v. 20 mg/L elders in de Zuidwestelijke Delta). In deze gebieden is er een snellere groei naar een evenwicht door meer beschikbaarheid en/of diepere ligging. De effectiviteit van sedimentatie neemt af wanneer de ZSS voor langere tijd gelijk blijft. De slibinvang neemt weer toe voor de volgende periode met hogere zeespiegelstijgsnelheid. Dit effect is ook zichtbaar in het voorbeeld van de vloedkom Lauwersmeer (zie Figuur 4-7).

Uit de resultaten voor de slibinvang van zowel de Waddenzee als de Zuidwestelijke Delta blijkt dat slechts weinig gebieden volledig kunnen meegroeien met zeespiegelstijging, zelfs uitgaande van de hogere bezinkpercentages. Het tekort dat hierdoor ontstaat kan worden opgevangen door extra sediment te suppleren op de gewenste locaties. Het is echter belangrijk om te beseffen dat de gebieden wel degelijk ophogen, ook indien ze niet volledig mee kunnen meegroeien. Al het sediment dat al (natuurlijk) kan worden ingevangen draagt bij aan waterveiligheid en het opbouwen van een (morfologisch) veerkrachtig landschap. Op lange termijn beperkt slibinvang op deze manier de vraag naar sediment.

Meegroeien en volgordelijkheid

Voor een tweetal alternatieven is gekeken naar de benodigde sedimenthoeveelheden om die alternatieven mee te kunnen laten groeien met de versnelde zeespiegelstijging. De alternatieven zijn extreem in die zin dat een specifiek bouwblok (vloedkom + kwelderontwikkeling of waterkerend landschap) in één keer ten volle wordt ingezet. Hierdoor is direct een grote hoeveelheid sediment nodig om de nieuwe systemen mee te laten groeien met zeespiegelstijging. Indien gewerkt wordt met een volgordelijkheid binnen en tussen de regio's kan er beter gestuurd worden op de benodigde hoeveelheid sediment om mee te groeien. Hierbij kan vervolgens rekening worden gehouden met de maximaal beschikbare hoeveelheid sediment.

Suppletiebehoefte

De totale suppletiebehoefte is weergegeven in Tabel 8-1. Voor een groot deel van de Waddenzee zijn Asmita berekeningen beschikbaar waarmee het meegroeivermogen van bekkens berekend kan worden. Door de berekende import af te trekken van het benodigde sedimentvolume om mee te groeien met ZSS kan een redelijk onderbouwde inschatting van het suppletievolume verkregen worden. In afwezigheid van dergelijke modellen voor het Eems Estuarium is hier aangenomen dat de huidige trend in aanslibbing / -zanding in de toekomst niet verandert. In de Zuidwestelijke delta zijn eerste orde inschattingen gedaan over percentages natuurlijke aanzanding, natuurlijke aanslibbing, en meegroeivermogen om een inschatting te krijgen voor de suppletiebehoefte. Een belangrijke aanname (bij alle berekeningen voor suppletiebehoefte) is

dat de geulen niet meegroeien met ZSS. De motivatie hiervoor is dat veel geulen al een tendens hebben om in te snijden en anderen worden onderhouden voor de scheepvaart. Vanuit de doelstelling van het NbS ZSS programma heeft het meegroeien van getijgeulen geen meerwaarde – van belang is om de platen en kwelders in stand te houden.

Tabel 8-1 Synthese van de totale suppletiebehoefte (miljoen m³) en verwachte aanslibbing (miljoen m³) over de periode 2020 – 2200 voor ZSS scenario 'matig' en 'extreem'. De suppletiebehoefte van de 'Zandige Kust' is uit Taal et al. (2023) waarbij voor scenario 'extreem' de suppletiebehoefte tot en met 2190 is berekend.

	Matig			Extreem		
	Suppletie s (zand)	Aanslibbing A1	Aanslibbing A2	Suppletie s (zand)	Aanslibbing A1	Aanslibbing A2
WADDENZEEBEKKENS						
Marsdiep	0	72	109	72	169	182
Eierlandsche Gat	30	0	0	141	0	0
Vlie	210	80	94	902	191	208
Ameland	109	14	2	455	37	6
Pinkegat	0	42	25	1	103	55
Zoutkamperlaag	17	16	363	101	49	668
Eems	97	139	479	666	398	889
<i>Totaal Waddenbekkens</i>	<i>463</i>	<i>363</i>	<i>1074</i>	<i>2338</i>	<i>947</i>	<i>2008</i>
ZANDIGE KUST						
Deltakust ('minimaal')	492	0	0	949	0	0
Hollandsekust	705	0	0	1062	0	0
Waddenkust	3004	0	0	5083	0	0
<i>Totaal zandige kust</i>	<i>4201</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>7094</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
ZUIDWESTELIJKE DELTA						
Westerschelde	159	210	136	429	533	369
Oosterschelde	224	183	87	606	413	234
Veerse Meer	0	121	96	0	310	260
Grevelingen	135	79	39	364	178	106
Volkerak	72	60	32	194	141	87
Haringvliet - Biesbosch	194	464	413	523	1208	1114
RMM-Noord	0	9	0	0	17	0
<i>Totaal Zuidwestelijke Delta</i>	<i>784</i>	<i>1126</i>	<i>803</i>	<i>2114</i>	<i>2801</i>	<i>2170</i>
TOTAAL	5447	1489	1877	11546	3748	4178

De suppletiebehoefte voor de zandige kust is, voor extreme ZSS en de periode tot aan 2190, ruim 7 miljard m³ (zie tabel 8-1). Dit is inclusief het zandverlies naar de Waddenzeebekkens. Om de Waddenzee platen mee te laten groeien met ZSS is aanvullend suppleren van de Waddenzeebekkens met 2,3 miljard m³ sediment nodig – dit zal in de praktijk zandig materiaal zijn. Om de platen in de zeearmen van de Zuidwestelijke delta mee te laten groeien is een eerste orde inschatting dat nog eens 2.1 miljard m³ gesuppleerd moet worden. Echter, bij deze inschattingen wordt ervanuit gegaan dat de hoeveelheid slib niet limiterend is (zoals voor de Zuidwestelijke delta benoemd in Hoofdstuk 6, maar in de Waddenzee verdisconteerd in het berekende meegroeivermogen). Voor alternatief 1 en 2 wordt een aanslibbing van 3.7 en 4.2 miljard m³ slib ingeschat (resp.). Als ervanuit wordt gegaan dat er 12 miljoen ton slib jaarlijks beschikbaar is (Hoofdstuk 2) en de droge dichtheid van dit sediment 1000 kg/m³ is, is het hypothetisch maximale aanbod slib over de periode 2020 – 2200 2.2 miljard m³. Lang niet al dit slib kan worden

ingevangen – de helft invangen zal waarschijnlijk al een grote uitdaging zijn. Dit betekent dat (1) slibbeschikbaarheid op termijn sterk limiterend wordt waardoor (2) een deel van dit slibvolume gesuppleerd moet worden, waardoor (3) het substraat van intergetijdengebieden zandiger zal worden, wat de ecologische waarde van deze gebieden beïnvloed. Een eerste orde inschatting voor dit vervangende baggerbezwaar is 3 miljard m³ (uitgaande van een slibvang van 50%) - het is niet aan te geven in welk deelgebied dit moet gebeuren.

Het benodigde onderhoud neemt sterk af voor gematigder ZSS-scenario's (tabel 8-1). In de Zuidwestelijke Delta neemt de suppletiebehoefte bijna lineair af met de ZSS vanwege de versimpelde manier waarop suppletiebehoefte wordt berekend: twee meter ZSS in plaats van 5.4 meter betekent 63% minder suppletiebehoefte. In de Waddenzee wordt meer realistisch rekening gehouden met het natuurlijk meegroeivermogen (via ASMITA berekeningen) waardoor de suppletiebehoefte veel sterker afneemt bij lagere ZSS. Voor zowel alternatief 1 en 2 benaderd de totale slibvraag (1.5 en 1.9 miljard m³, resp.) het ingeschatte slibaanbod (2.2 miljard m³). Het is echter niet waarschijnlijk dat al het aangeboden slib wordt ingevangen, en dat de helft gesuppleerd zal moeten worden.

8.2 Kennisleemten en onderzoeksvragen

De NbS denkrichting voor zeespiegelstijging geeft inzichten en oplossingen voor waterveiligheid, zoetwater en ecosystemen aan de kust. De denkrichting sluit aan op de natuurlijke werking van het water- en bodemsysteem om daarmee de lange termijn werking van het ecosysteem, inclusief zijn eco-system services, te behouden. De inzichten in dit rapport roepen tegelijkertijd vragen op, die relevant zijn voor Nature-based oplossingsrichtingen alsook de toekomst van waterveiligheid, zoetwater en ecosystemen in Nederland aan de kust in het algemeen. De kennisvragen worden hieronder benoemd. De kennisagenda levert ook een sterke basis voor de drie denkrichtingen die eerder zijn uitgewerkt en waarin morfologische ontwikkeling als een gegeven is beschouwd.

De kennisagenda bestaat uit 3 onderdelen:

1. Kennisvragen
2. Experimenteeragenda
3. Meten en monitoren

1. Kennisvragen

Grootschalig implementeren

Grootschalig implementeren van Nature-based Solutions, oftewel het natuurlijke morfologische en ecologische systeem beter in staat stellen om te gaan met zeespiegelstijging, zal resulteren in een optelsom van bouwstenen. Veel kennis is en komt beschikbaar over individuele NbS en bouwblokken. Echter feedback in morfologische en ecologische systemen is vaak niet linear, waardoor extrapolatie van resultaten op kleine schaal niet altijd eenduidig is. Dus brengt grootschalig implementeren ook kennisvragen mee. Dit zijn:

- Hoe werkt een combinatie van bouwblokken bij grootschalige implementatie door in hydrodynamiek en morfodynamiek in het estuarium? Hoe is de grootte van de individuele NbS en de som van NbS van invloed op estuariene dynamiek? Hoe beïnvloedt de vergroting van het kombergingsgebied door waterkerende landschappen en vloedkommen de sedimentimport?
- Kunnen morfologische en ecologische kantelpunten geïdentificeerd worden? Hoe is de zeespiegelstijging van invloed op de morfologie, welke kantelpunten zijn er voor morfologische groei (e.g. sedimentbeschikbaarheid en sedimentgebruik elders) en ecologie (fysiotoop arealen)?
- In hoeverre is meegroeien van diepe delen (geulen) nodig om het plaatareaal van bekkens in stand te houden?
- Wat is de relatie tussen meer ruimte voor water in het estuarium en de ontwikkeling van de buitendelta van het estuarium? Meer specifiek hoe reageren buitendelta's op vermindering getijprisma (zeewaartse groei / sedimentatie) of toename getijprisma (verdrinking / creëren vloedkommen)?
- Wat zijn juiste bagger strategieën? In hoeverre neemt sedimentimport richting getijbekkens af wanneer de platen worden gesuppleerd? Moet sediment op de platen worden gesuppleerd of kan een deel ook in de geulen of op de buitendelta worden gesuppleerd?

- Zijn er mogelijkheden om het stortbeleid in gebieden waar al veel onderhoudsbaggerwerk plaatsvindt (Eems en Schelde estuaria) aan te passen om deze gebieden beter en natuurlijker mee te laten groeien met zeespiegelstijging?

Sediment aanbod en transport

Sediment aanbod, transportcapaciteit en bezinkingsmogelijkheden zijn allen essentieel voor het estuarium om te kunnen groeien met zeespiegelstijging. Volgend uit dit rapport resulteert dit in een aantal kennisvragen:

- Hoe moet er omgegaan worden met de totale sedimentbeschikbaarheid voor Nederland (en doorstroming van de slibrivier naar Duitsland en Denemarken)? Hoe kan een reële verdeling bepaald worden (bij gebruik in de Zuidwestelijke Delta is er minder slib beschikbaar voor de Waddenzee? Hoeveel zand is er beschikbaar?
- Aanbod, transportcapaciteit, en bezinkingsmogelijkheden: in welke gebieden is sedimentatie gelimiteerd door aanbod (zand en slib), in welke gebieden door de transportcapaciteit (vooral zand), en in welke door sedimentatiemogelijkheden (vooral slib)? Zowel op bekkenschaal, maar ook op kleinere schaal – in hoeverre kunnen platen gevoed worden met slib wat initieel langs de Noordzeekust naar de Wadden stroomt?
- Wat is morfologisch dynamisch evenwicht onder zeespiegelstijging op ruimteschalen variërend van kleinschalige geulen en platen tot buitendelta's, zeearmen, bekkens, en gesloten kusten? Hoe zullen plaat-geul evenwichtsrelaties veranderen onder zeespiegelstijging?

Adaptatietijdschalen

Het implementeren van bouwblokken brengt grootschalige veranderingen met zich mee waarop estuaria zich aan zullen passen. Tegelijkertijd past het estuarium zich continu aan, aan zeespiegelstijging. Hiermee gaan de volgende kennisvragen gepaard:

- Wat zijn adaptatietijdschalen van menselijke ingrepen die in het verleden zijn uitgevoerd, denk bijvoorbeeld aan het plaatsen van dammen of verdiepen van estuaria? En zorgt dit voor een achterstand in het meegroeien met de zeespiegelstijging?
- Wat zijn adaptatietijdschalen van (1) systeemaanpassing aan menselijke ingrepen en (2) aanpassingstijd aan zeespiegelstijging. De belangrijkste toekomstige menselijke ingrepen zijn het verwijderen van dammen in de Zuidwestelijke delta, maar ook creëren van vloedkommen in de en creëren van waterkerende landschappen.
- Wat is de groeisnelheid van intergetijdengebied en hoe past deze groeisnelheid zich aan, aan een versnellende zeespiegelstijging? Is er een verschil in groeisnelheid van fysiotopen en levert dit een offset of discrepanties op in het systeem door bijvoorbeeld het steiler worden van het kustprofiel?

Abiotiek en biotiek

De relatie tussen abiotiek en biotiek onder zeespiegelstijging en menselijke ingrepen is mogelijk onderhevig aan verandering:

- Wat zijn biotische effecten (bijvoorbeeld veranderingen in groei en predatie van algenmatten) op morfologische ontwikkeling? Veranderen deze effecten onder zeespiegelstijging en hoe resulteert dit in veranderlijke systeemdynamiek?

Functies van fysiotopen

Het is in de praktijk lastig om de functies en ecosysteemdiensten van natuur voor bijvoorbeeld waterveiligheid op (monetaire) waarde te schatten. Een betere waardering zal ervoor zorgen dat een waterkerend landschap eerder meegenomen zal worden als alternatief. Dit behoeft op moment van schrijven wel meer kennis:

- Wat is de relatie tussen (a)biotische ontwikkeling, de magnitude van ecosysteemdiensten van fysiotopen (denk aan golfdemping, koolstofvastlegging, erosiebestendigheid, etc.) en de monetaire waarde van deze ecosysteemdiensten?
- Hoe kunnen waterkerende landschappen in toetsingsinstrumentarium voor waterveiligheid opgenomen worden, waarbij een waterkerend landschap bestaat uit bijvoorbeeld een voorland met een dijk? Hoe kunnen faalmechanismes van de individuele delen (dijk en voorland) gecombineerd worden en kan de mitigerende werking van het voorland op faalmechanismes van de dijk

meegenomen worden, nu en in de toekomst (golfdemping, erosiebestendigheid, ophogen kustfundament, etc.)?

2. Experimenteeragenda

Voor een beter inzicht in een deel van de kennisvragen kunnen er grootschalige experimenten uitgevoerd worden. Deze grootschalige experimenten kunnen ook gezien worden als stapsgewijze implementatie van Nature-based Solutions om te kunnen groeien met zeespiegelstijging, waterveiligheid en zoetwatervoorziening te ondersteunen en biodiversiteit vast te houden en vergroten. Experimenten voortvloeiend uit de kennisagenda zijn als volgt:

- Hoe kunnen we sedimentatie bevorderen in vooroevers, vloedkommen en waterkerende landschappen?
 - Ontwikkelen van overstromingsgebieden met verschillende karakteristieken om de werking te optimaliseren. Voorbeelden hiervan zijn:
 - ♣ Parallelle overstromingsgebieden waar in 1 gebied elk getij in en uit kan stromen en in een ander bekken het getij wordt gecontroleerd (“regulated tidal area”) middels een inlaatwerk, zodat sedimentatie, consolidatie en ontwikkeling van natuurlijke patronen geoptimaliseerd kunnen worden. Dit kan als ontpolderde vloedkom gerealiseerd worden, maar mogelijk ook in hooggelegen buitendijkse gebieden die enkel overstromen bij weinig voorkomende stormen (bijvoorbeeld Noord-Friesland Buitendijks).
 - ♣ Pilots met storten van zand in slibrijke gebieden, zodat betere ontwatering en daarmee sterkte opbouw plaatsvindt. Dit met als doel ontwikkeling van ecologische meerwaarde.
- Een grootschalige pilot in het Lauwersmeer om efficiëntie van in vloedkommen beter te begrijpen. Het Lauwersmeer is waarschijnlijk de meest makkelijk te realiseren vloedkom omdat hiervoor geen land opgegeven moet worden maar een zoetwatermeer.
- Het revitaliseren van kwelderwerken, monitoren hoeveel slib wordt vastgelegd en of er veranderingen in suspensie transport optreedt. Hiermee kunnen mogelijk limieten in sedimentvang bepaald worden.
- Er is weinig kennis over de effectiviteit van suppleties om wadplaten te verhogen. Een goed gemonitord experiment zou belangrijke kennis kunnen leveren over het artificieel laten meegroeien van de wadplaten om vast te stellen in hoeverre sediment op platen aangebracht *moet* worden, of in geulen gesuppleerd *kan* worden.

3. Meten en monitoren

Nu en in de toekomst kan veel geleerd worden van grootschalige systeemdynamiek. Deze inzichten kunnen ontwikkeld worden door meten, monitoren en het gebruik van bestaande datasets. Een aantal voorbeelden die uit dit rapport en de kennisagenda volgen zijn:

- Het bepalen van systeem overstijgende slibgehaltenes en slib beschikbaarheid, middels:
 - Installeren van meetpalen die continue het slibgehalte in de Waddenzee meten (bestaande MWTL-meting is slechts 1 meting / 2 weken). Ter vergelijking: in het Eems estuarium heeft Duitsland 10 permanente meetlocaties geïnstalleerd
 - Bepalen van de slibflux langs de Nederlandse kust. Dit kan door bijvoorbeeld gebruik te maken van autonomous vehicles om slibgehalte nabij de bodem te meten, langs vaste raaien.
 - Uitgebreid gebruik en uitgebreide kalibratie van satellietbeelden voor opgeloste sedimentconcentraties aan het oppervlak van waterlichamen.
- Ontwikkelen van een nieuw type vaste meetopstelling waarbij automatisch en regelmatig een verticaal profiel wordt bemeaten. Dit bestaat op moment van schrijven nog niet.
- Koppelen van morfologische monitoring aan ecologische monitoring lokaal en ook tussen fysiotopen (connectiviteit), zodat early warning signals en kantelpunten bepaald kunnen worden. Zo kunnen richtlijnen ontwikkeld worden waarop geacteerd kan worden in de toekomst.
- Middels bestaande data kan een nacalculatie gemaakt worden voor de kosten van hoogwaterveiligheidsmaatregelen in open en gesloten systemen. Voor een vergelijking kan het volgende overwogen worden:
 - Berekening exclusief (puur hoogwaterveiligheid) en inclusief monetaire waarde van natuurareaal en biodiversiteit
 - Berekening voor waterveiligheid en volledige life-cycle kosten van het estuarium

9 Conclusies

De conclusies op hoofdlijnen zijn als volgt.

- In algemene zin wordt een kuststelsysteem veerkrachtiger door getijsystemen meer vrijheid te geven, en is daardoor beter in staat zichzelf te onderhouden. Op termijn vergt dit mogelijk minder onderhoud. Hoe dynamischer een systeem, deze meer dit systeem zelf in staat is sediment te importeren, en er uiteindelijk mogelijk minder gesuppleerd hoeft te worden. Deze aspecten zijn echter nog niet kwantitatief onderbouwd.
- Bij extreme zeespiegelstijging zullen suppleties nodig zijn om het plaatareaal mee te laten groeien met zeespiegelstijging. De sedimentbehoefte voor NbS-bouwstenen vloedkom, kwelderontwikkeling en waterkerend landschap zal met name uit slib bestaan. Deze slib behoefte overstijgt het gecombineerde aanbod van slib in Zuidwestelijke delta, Rijn-Maasmonding en Waddenzee al in scenario's in de periode 2020-2050, zeker omdat slib ook buiten de NbS bouwstenen wordt afgezet. Er zullen daardoor gerichte keuzes gemaakt moeten worden waar slibafzettingen gewenst zijn.
- Het slibtransport lang de Nederlandse kust is van Zuid naar Noord. Wanneer veel slib wordt ingevangen in de Zuidwestelijke delta zal dit waarschijnlijk leiden tot een substantieel tekort in de Waddenzee.
- Omdat de zeespiegelstijging op dit moment nog beperkt is, kan veel van het huidige slibaanbod gebruikt worden om in te vangen binnen de NbS-strategieën. Dit vraagt om snel beginnen met toepassen van bouwstenen van de NbS-strategie. Vroeg beginnen kan gezien worden als no-regret.
- Er zijn veel kennislacunes op het gebied van morfologische aanpassing aan extreme ZSS. Hier is meer onderzoek voor nodig, maar ook het opstarten van experimenten om zo snel mogelijk te leren om te gaan met ZSS wordt sterk aangeraden.
- Er worden sedimenttekorten verwacht bij het meest extreme ZSS-scenario. Dit is veel minder bij meer gematigder ZSS-scenario's.
- De zandige kusten van de Delta, Holland en de Wadden kunnen met NbS in stand gehouden worden, zoals uitgewerkt in eerdere studies. Deze NbS valt al onder de voorkeursstrategie van het Nederlandse Deltaprogramma, maar kan verder geoptimaliseerd worden.

References

- Baptist, M. J., Gerkema, T., Van Prooijen, B. C., Van Maren, D. S., Van Regteren, M., Schulz, K., ... & van Puijenbroek, M. E. B. (2019). Beneficial use of dredged sediment to enhance salt marsh development by applying a 'Mud Motor'. *Ecological Engineering*, 127, 312-323.
- Benninghoff, M., & Winter, C. (2019). Recent morphologic evolution of the German Wadden Sea. *Sci Rep* 9: 9293.
- 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.
- Colina Alonso, A., (2020). Evolutie van het bodemslib in de Waddenzee. Deltares rapport 11205229-001-ZKS-0003, 42 p.
- Cox, J. R., Dunn, F. E., Nienhuis, J. H., van der Perk, M., & Kleinhans, M. G. (2021). Climate change and human influences on sediment fluxes and the sediment budget of an urban delta: The example of the lower Rhine–Meuse delta distributary network. *Anthropocene Coasts*, 4(1), 251-280.
- De Kok, J.M. (2004). Silt transport along the Dutch coast. Sources, fluxes and concentrations. RIKZ report no. RIKZ/OS/2004.148w. The Netherlands.
- De Wit & Mastbergen (2022). Registratie baggerwerkzaamheden in de Waddenzee. Deltares. 11208040-012-ZKS-0001
- Elias, EPL, Van der Spek, A. J., Wang, Z. B., & De Ronde, J. (2012). Morphodynamic development and sediment budget of the Dutch Wadden Sea over the last century. *Netherlands Journal of Geosciences*, 91(3), 293-310.
- Elias, EPL (2019). Een actuele sedimentbalans van de Waddenzee, Deltares rapport 11203683-002, Deltares, Delft.
- Elias, EPL en Wang, Z.B. (2020). Sedimentbalans Waddenzee: Synthese ten behoeve van Technisch Advies Kustgenese 2.0. Deltares rapport 1220339-007-ZKS-0010.
- Elias, EPL, Colina Alonso, A. en van Maren, D.S. (2021). Morfologische veranderingen Eems-Dollard en Groninger Wad. Deltares rapport 11203742-000-ZKS-0003, 144 p.
- Elschot, K., Puijenbroek, M., Lagendijk, G., van der Wal, J. T., & Sonneveld, C. (2020). Lange-termijnontwikkeling van kwelders in de Waddenzee (1960-2018) (No. 182). Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu.
- Elschot, Willemsen, Van Wesenbeeck, unpublished data REST-COAST, koolstof en biofysische parameters Waddenzee
- Eysink, W. D. & Biegel, E. J. (1992). Impact of sea level rise on the morphology of the Wadden Sea in the scope of its ecological function. ISOS*2 Project, phase 2 (tech.rep. Report H1300). Delft Hydraulics, Delft.
- Folmer, E.O.; Bijleveld, A.; Holthuijsen, S.; van der Meer, J.; Piersma, T.; van der Veer, H. (2023). Space–time analyses of sediment composition reveals synchronized dynamics at all intertidal flats in the Dutch Wadden Sea. *Est., Coast. and Shelf Sci.* 285: 108308. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2023.108308>
- Huisman, B.J.A., 2024. Transporten in de ondiepe Nederlandse kustzone. Rapport 11207897-002-ZKS-0005, Deltares, Delft, 90 p.
- Huismans, Y., van der Spek, A., Lodder, Q., Zijlstra, R., Elias, E., & Wang, Z. B. (2022). Development of intertidal flats in the Dutch Wadden Sea in response to a rising sea level: Spatial differentiation and sensitivity to the rate of sea level rise. *Ocean & Coastal Management*, 216, 105969.
- Lodder, Q., Huismans, Y., Elias, E., de Looft, H., & Wang, Z. B. (2022). Future sediment exchange between the Dutch Wadden Sea and North Sea Coast-Insights based on ASMITA modelling. *Ocean & Coastal Management*, 219, 106067.

- Ma, Z., Ysebaert, T., van der Wal, D., de Jong, D. J., Li, X., & Herman, P. M. (2014). Long-term salt marsh vertical accretion in a tidal bay with reduced sediment supply. *Estuarine, coastal and shelf science*, 146, 14-23.
- Oost, Van der Spel, Oeveren – Theeuwes, Tonnon (2018). The contribution of mud to the net yearly sedimentation volume in the Dutch Wadden Sea a review based on literature. Deltares. 1220339-006-ZKS-0009
- Piercy, C. D., J. D. Simm, T. S. Bridges, M. Hettiarachchi, and Q. Lodder. 2021. "Chapter 5: NNBF Performance." In *International Guidelines on Natural and Nature-Based Features for Flood Risk Management*. Edited by T. S. Bridges, J. K. King, J. D. Simm, M. W. Beck, G. Collins, Q. Lodder, and R. K. Mohan. Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Research and Development Center.
- Pierik, H. J., Leuven, J. R. F. W., Busschers, F. S., Hijma, M., & Kleinhans, M. G. (2022). Depth-limiting resistant layers restrict dimensions and positions of estuarine channels and bars. *Depositional Record*(February), 9(2), 1–20. <https://doi.org/10.1002/dep2.184>
- Schrijvershof, R. A., van Maren, D. S., Van der Wegen, M., & Hoitink, A. J. F. (2024). Land reclamation controls on multi-centennial estuarine evolution. *Earth's Future*, 12(11), e2024EF005080.
- Sibes data - Synoptic Intertidal Benthic Surveys; inventarisatie macrozoobenthos en sediment korrelgrootte in de Waddenzee.
- Smits, Vroom, Van Weerdenburg, Cleveringa, Dankers (2020). Analyse fysische processen Waddenzee, Inzet numeriek model voor analyse systeemwerking en gevoeligheidsscenario's. Deltares. 11203683-001-ZKS-0002
- Taal, M., Quataert, E., Van der Spek, A., Huisman, B., Elias, E., Wang, Z. Vermeer, N. 2023. Sedimentbehoefte Nederlands kuststelsel bij toegenomen zeespiegelstijging. Deltares rapport 11207897-002-ZKS-0004.
- Temmerman, S., Govers, G., Wartel, S., & Meire, P. (2004). Modelling estuarine variations in tidal marsh sedimentation: response to changing sea level and suspended sediment concentrations. *Marine Geology*, 212(1-4), 1-19.
- Van der Hout, C. (2024). Suspended matter transport in the coastal turbidity maximum zone along the Holland coast. PhD thesis, Utrecht University
- Vonhögen - Peeters, L., van Heteren, S., Bruens, A en Stafleu, J. Zandwinstrategie: naar een beslissingsondersteunend systeem voor mariene zandwinning. Deltares rapport 1205135-000-BGS-0008, 164 p.
- Walton, T. L. & Adams, W. D. (1976). Capacity of inlet outer bars to store sand. *Proceedings of the 15th International Conference on Coastal Engineering*, ASCE, 1919–1937. <https://doi.org/10.1061/9780872620834.112>
- Wang, Z. B., Lodder, Q. J., Townend, I. H., & Zhu, Y. (2024). Future sediment transport to the Dutch Wadden Sea under severe sea level rise and tidal range change. *Anthropocene Coasts*, 7(1), 12.
- Winden, A. van, van Belzen, J. en Van Wesenbeeck, B. (2025). Werken met natuurlijke oplossingen bij zeespiegelstijging: Opstellen van en rekenen met natuurwaarden . Onderbouwend rapport Kennisprogramma Zeespiegelstijging Nature based solutions, 39 p.
- Zhu, Z., Vuik, V., Visser, P.J. et al., (2020). Historic storms and the hidden value of coastal wetlands for naturebased flood defence. *Nat Sustain* 3, 853–862. 10.1038/s41893-020-0556-z



Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

NATIONAAL DELTAPROGRAMMA



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat



A Bijlage: resultaten per deelgebied

Tabel A-1 Resultaten 1D-model per deelgebied in de Waddenzee bij een bezinkpercentage van 10%. De gebiedsnummers komen overeen met de nummers uit Figuur 4-4

Gebidsnaam en -ID	NBS type (1=waterk landsch; 2=voorlandverbr; 3=vloedkom)	surface area [km ²]	average initial bed level [m + NAP]	yearly average accumulation 2020-2050 [Mm ³]	yearly average accumulation 2020-2050 [mm]	yearly average deficit compared to SLR 2020-2050 [Mm ³]	yearly average accumulation 2050-2100 [Mm ³]	yearly average accumulation 2050-2100 [mm]	yearly average deficit compared to SLR 2050-2100 [Mm ³]	yearly average accumulation 2100-2150 [Mm ³]	yearly average accumulation 2100-2150 [mm]	yearly average deficit compared to SLR 2100-2150 [Mm ³]	yearly average accumulation 2150-2200 [Mm ³]	yearly average accumulation 2150-2200 [mm]	yearly average deficit compared to SLR 2150-2200 [Mm ³]	total accumulated sediment 2200 [Mm ³]	total bed level increase 2200 [m]	resulting bed level 2200 [m + NAP]	total deficit compared to SLR 2200 [Mm ³]
Waterkerend landschap (#7)	1	34.63	0.68	0.13	3.64	0.45	0.31	8.82	0.73	0.52	15.13	0.51	0.72	20.83	0.59	81.31	2.35	3.03	105.68
Waterkerend landschap (#8)	1	9.59	0.60	0.04	4.15	0.12	0.09	9.21	0.20	0.15	15.41	0.14	0.20	21.02	0.16	23.08	2.41	3.00	28.70
Waterkerend landschap (#9)	1	17.39	0.57	0.08	4.35	0.21	0.16	9.36	0.36	0.27	15.51	0.25	0.37	21.09	0.29	42.24	2.43	3.00	51.66
Waterkerend landschap (#10)	1	27.96	0.82	0.08	2.78	0.39	0.23	8.16	0.61	0.41	14.67	0.43	0.57	20.50	0.49	62.92	2.25	3.07	88.08
Waterkerend landschap (#11)	1	10.54	1.01	0.02	1.68	0.16	0.08	7.22	0.24	0.15	14.01	0.17	0.21	20.04	0.19	22.28	2.11	3.12	34.62
Waterkerend landschap (#12)	1	30.85	0.70	0.11	3.53	0.41	0.27	8.74	0.66	0.47	15.08	0.46	0.64	20.79	0.53	72.09	2.34	3.03	94.52
Waterkerend landschap (#13)	1	0.00	1.78	0.00	0.00	0.00	0.00	3.11	0.00	0.00	10.90	0.00	0.00	17.85	0.00	0.00	1.59	3.38	0.00
Waterkerend landschap (#14)	1	38.71	1.50	0.00	0.12	0.64	0.18	4.59	0.98	0.47	12.12	0.69	0.72	18.71	0.75	68.68	1.77	3.28	140.32
Waterkerend landschap (#15)	1	31.20	1.48	0.00	0.13	0.52	0.15	4.68	0.79	0.38	12.19	0.56	0.59	18.76	0.60	55.71	1.79	3.27	112.76
Waterkerend landschap (#16)	1	15.22	1.30	0.01	0.47	0.25	0.09	5.69	0.37	0.20	12.93	0.26	0.29	19.28	0.28	29.05	1.91	3.21	53.12
Waterkerend landschap (#17)	1	17.54	0.88	0.04	2.38	0.25	0.14	7.83	0.39	0.25	14.44	0.27	0.36	20.34	0.31	38.63	2.20	3.08	56.11
Waterkerend landschap (#18)	1	3.23	0.57	0.01	4.30	0.04	0.03	9.32	0.07	0.05	15.49	0.05	0.07	21.08	0.05	7.82	2.42	3.00	9.60
Waterkerend landschap (#19)	1	11.80	0.68	0.04	3.63	0.15	0.10	8.82	0.25	0.18	15.13	0.18	0.25	20.83	0.20	27.71	2.35	3.03	36.03
Waterkerend landschap (#20)	1	17.58	0.53	0.08	4.56	0.21	0.17	9.52	0.36	0.27	15.63	0.25	0.37	21.17	0.30	43.13	2.45	2.99	51.82

Waterkerend landschap (#22)	2	12.28	0.78	0.04	2.97	0.17	0.10	8.31	0.27	0.18	14.78	0.19	0.25	20.58	0.21	27.90	2.27	3.06	38.40
Waterkerend landschap (#23)	2	4.75	0.69	0.02	3.57	0.06	0.04	8.77	0.10	0.07	15.10	0.07	0.10	20.80	0.08	11.11	2.34	3.03	14.52
Waterkerend landschap (#24)	2	0.51	1.45	0.00	0.18	0.01	0.00	4.89	0.01	0.01	12.34	0.01	0.01	18.87	0.01	0.92	1.81	3.26	1.82
Waterkerend landschap (#25)	2	13.32	0.38	0.07	5.56	0.15	0.14	10.28	0.26	0.22	16.16	0.18	0.29	21.55	0.22	34.18	2.57	2.94	37.76
Waterkerend landschap (#26)	2	1.62	1.03	0.00	1.54	0.02	0.01	7.08	0.04	0.02	13.92	0.03	0.03	19.97	0.03	3.40	2.09	3.13	5.36
Waterkerend landschap (#27)	2	12.48	-2.83	0.32	26.00	-0.12	0.32	25.72	0.05	0.34	27.00	0.04	0.36	29.16	0.11	60.84	4.87	2.05	6.57
Waterkerend landschap (#28)	2	4.95	-0.54	0.06	11.41	0.03	0.07	14.70	0.08	0.10	19.26	0.05	0.12	23.72	0.07	15.96	3.23	2.69	10.76
Waterkerend landschap (#29)	2	11.05	-0.92	0.15	13.83	0.03	0.18	16.52	0.15	0.23	20.54	0.10	0.27	24.62	0.15	38.68	3.50	2.58	21.01
Waterkerend landschap (#30)	2	3.47	-0.62	0.04	11.89	0.02	0.05	15.06	0.05	0.07	19.51	0.04	0.08	23.90	0.05	11.39	3.28	2.67	7.36
Waterkerend landschap (#31)	2	4.55	-1.33	0.08	16.48	0.00	0.08	18.53	0.05	0.10	21.95	0.04	0.12	25.61	0.06	17.30	3.80	2.46	7.29
Waterkerend landschap (#32)	2	16.25	0.38	0.09	5.57	0.18	0.17	10.28	0.32	0.26	16.16	0.22	0.35	21.55	0.27	41.71	2.57	2.94	46.05
Vloedkom Middelzee (33)	3	42.03	0.52	0.20	4.64	0.51	0.40	9.58	0.86	0.66	15.67	0.60	0.89	21.20	0.71	103.49	2.46	2.98	123.47
Vloedkom Lauwersmeer (34)	3	133.98	-0.41	1.41	10.55	0.82	1.88	14.05	2.14	2.52	18.80	1.50	3.14	23.40	1.96	419.28	3.13	2.72	304.23
Vloedkom Middelzee klein (35)	3	6.35	0.72	0.02	3.37	0.08	0.05	8.62	0.14	0.10	14.99	0.10	0.13	20.73	0.11	14.71	2.32	3.04	19.56
Vloedkom Eems-Dollard (#36)	3	157.70	-0.36	1.62	10.25	1.01	2.18	13.82	2.55	2.94	18.64	1.79	3.67	23.29	2.32	488.17	3.10	2.74	363.40
Bekkens Waddenzee (#1001)		2956.26	-2.64	73.27	24.79	-24.00	73.34	24.81	15.35	77.91	26.36	10.77	84.86	28.70	27.48	14003.78	4.74	2.10	1960.00

Tabel A-2 Resultaten 1D-model per deelgebied in de Waddenzee bij een bezinkpercentage van 25%. De gebiedsnummers komen overeen met de nummers uit Figuur 4-4.

Gebidsnaam en -ID		NbS type (1=waterk landsch; 2=voorlandverbr; 3=vloedkom)	surface area [km ²]	average initial bed level [m + NAP]	yearly average accumulation 2020-2050 [Mm ³]	yearly average accumulation 2020-2050 [mm]	yearly average deficit compared to SLR 2020-2050 [Mm ³]	yearly average accumulation 2050-2100 [Mm ³]	yearly average accumulation 2050-2100 [mm]	yearly average deficit compared to SLR 2050-2100 [Mm ³]	yearly average accumulation 2100-2150 [Mm ³]	yearly average accumulation 2100-2150 [mm]	yearly average deficit compared to SLR 2100-2150 [Mm ³]	yearly average accumulation 2150-2200 [Mm ³]	yearly average accumulation 2150-2200 [mm]	yearly average deficit compared to SLR 2150-2200 [Mm ³]	total accumulated sediment 2200 [Mm ³]	total bed level increase 2200 [m]	resulting bed level 2200 [m + NAP]	total deficit compared to SLR 2200 [Mm ³]
Waterkerend landschap (#7)	7	1	34.63	0.68	0.28	8.01	0.30	0.57	16.60	0.46	0.85	24.47	0.19	1.05	30.41	0.26	132.06	3.81	4.49	54.92
Waterkerend landschap (#8)	8	1	9.59	0.60	0.09	9.11	0.07	0.16	17.16	0.12	0.24	24.70	0.05	0.29	30.50	0.07	37.31	3.89	4.49	14.46
Waterkerend landschap (#9)	9	1	17.39	0.57	0.17	9.54	0.12	0.30	17.37	0.22	0.43	24.79	0.09	0.53	30.54	0.13	68.19	3.92	4.49	25.71
Waterkerend landschap (#10)	10	1	27.96	0.82	0.17	6.17	0.29	0.44	15.64	0.40	0.67	24.07	0.17	0.85	30.25	0.22	102.99	3.68	4.50	48.01
Waterkerend landschap (#11)	11	1	10.54	1.01	0.04	3.80	0.14	0.15	14.24	0.17	0.25	23.50	0.07	0.32	30.01	0.08	36.90	3.50	4.51	20.01
Waterkerend landschap (#12)	12	1	30.85	0.70	0.24	7.79	0.27	0.51	16.49	0.42	0.75	24.42	0.17	0.94	30.39	0.23	117.20	3.80	4.49	49.42
Waterkerend landschap (#13)	13	1	0.00	1.78	0.00	0.01	0.00	0.00	6.80	0.00	0.00	20.06	0.00	0.00	28.59	0.00	0.00	2.77	4.56	0.00
Waterkerend landschap (#14)	14	1	38.71	1.50	0.01	0.28	0.63	0.38	9.73	0.78	0.83	21.56	0.33	1.13	29.21	0.34	117.41	3.03	4.54	91.60
Waterkerend landschap (#15)	15	1	31.20	1.48	0.01	0.33	0.51	0.31	9.90	0.63	0.68	21.64	0.26	0.91	29.24	0.27	95.13	3.05	4.53	73.34
Waterkerend landschap (#16)	16	1	15.22	1.30	0.02	1.12	0.24	0.18	11.74	0.28	0.34	22.45	0.11	0.45	29.57	0.13	49.02	3.22	4.52	33.15
Waterkerend landschap (#17)	17	1	17.54	0.88	0.09	5.30	0.20	0.27	15.16	0.26	0.42	23.87	0.11	0.53	30.16	0.14	63.49	3.62	4.50	31.25
Waterkerend landschap (#18)	18	1	3.23	0.57	0.03	9.43	0.02	0.06	17.32	0.04	0.08	24.77	0.02	0.10	30.53	0.02	12.63	3.91	4.49	4.80
Waterkerend landschap (#19)	19	1	11.80	0.68	0.09	8.00	0.10	0.20	16.59	0.16	0.29	24.47	0.07	0.36	30.41	0.09	45.01	3.81	4.49	18.73
Waterkerend landschap (#20)	20	1	17.58	0.53	0.18	9.99	0.12	0.31	17.60	0.22	0.44	24.88	0.09	0.54	30.58	0.13	69.51	3.95	4.49	25.44
Waterkerend landschap (#22)	22	2	12.28	0.78	0.08	6.58	0.12	0.19	15.86	0.17	0.30	24.16	0.07	0.37	30.28	0.09	45.59	3.71	4.50	20.72
Waterkerend landschap (#23)	23	2	4.75	0.69	0.04	7.85	0.04	0.08	16.52	0.06	0.12	24.44	0.03	0.14	30.39	0.04	18.05	3.80	4.49	7.58
Waterkerend landschap (#24)	24	2	0.51	1.45	0.00	0.44	0.01	0.01	10.29	0.01	0.01	21.82	0.00	0.01	29.31	0.00	1.56	3.08	4.53	1.17

Waterkerend landschap (#25)	25	2	13.32	0.38	0.16	12.14	0.06	0.25	18.68	0.15	0.34	25.33	0.06	0.41	30.76	0.10	54.66	4.10	4.48	17.28
Waterkerend landschap (#26)	26	2	1.62	1.03	0.01	3.49	0.02	0.02	14.03	0.03	0.04	23.41	0.01	0.05	29.97	0.01	5.64	3.48	4.51	3.12
Waterkerend landschap (#27)	27	2	12.48	-2.83	0.70	56.14	-0.49	0.51	40.81	-0.13	0.43	34.46	-0.06	0.43	34.53	0.04	89.56	7.17	4.35	-22.15
Waterkerend landschap (#28)	28	2	4.95	-0.54	0.12	24.73	-0.04	0.12	25.02	0.02	0.14	27.94	0.01	0.16	31.84	0.03	24.65	4.98	4.44	2.07
Waterkerend landschap (#29)	29	2	11.05	-0.92	0.33	29.94	-0.15	0.31	27.64	0.03	0.32	29.02	0.01	0.36	32.29	0.06	59.09	5.35	4.43	0.60
Waterkerend landschap (#30)	30	2	3.47	-0.62	0.09	25.77	-0.03	0.09	25.54	0.02	0.10	28.16	0.01	0.11	31.93	0.02	17.55	5.05	4.44	1.20
Waterkerend landschap (#31)	31	2	4.55	-1.33	0.16	35.66	-0.09	0.14	30.51	0.00	0.14	30.21	0.00	0.15	32.78	0.02	26.16	5.74	4.41	-1.57
Waterkerend landschap (#32)	32	2	16.25	0.38	0.20	12.16	0.07	0.30	18.70	0.18	0.41	25.33	0.08	0.50	30.77	0.12	66.71	4.10	4.48	21.05
Vloedkom Middelzee (33)	33	3	42.03	0.52	0.43	10.17	0.27	0.74	17.69	0.52	1.05	24.92	0.21	1.29	30.59	0.31	166.67	3.97	4.49	60.29
Vloedkom Lauwersmeer (34)	34	3	133.98	-0.41	3.07	22.89	-0.83	3.23	24.09	0.79	3.69	27.56	0.33	4.25	31.68	0.85	650.27	4.85	4.45	73.24
Vloedkom Middelzee klein (35)	35	3	6.35	0.72	0.05	7.44	0.06	0.10	16.31	0.09	0.15	24.35	0.04	0.19	30.36	0.05	23.95	3.77	4.49	10.32
Vloedkom Eems-Dollard (#36)	36	3	157.70	-0.36	3.51	22.25	-0.88	3.75	23.77	0.98	4.33	27.43	0.41	4.99	31.63	1.00	758.28	4.81	4.45	93.28
Bekkens Waddenzee (#1001)	1001		2956.26	-2.64	158.26	53.54	-108.99	116.78	39.50	-28.09	100.28	33.92	-11.59	101.43	34.31	10.91	20672.28	6.99	4.36	-4708.50

Tabel A-3 Resultaten 1D-model per deelgebied in de Waddenzee bij een bezinkpercentage van 50%. De gebiedsnummers komen overeen met de nummers uit Figuur 4-4.

Gebidsnaam en -ID		NbS type (1=waterk landsch; 2=voorlandverbr; 3=vloedkom)	surface area [km ²]	average initial bed level [m + NAP]	yearly average accumulation 2020-2050 [Mm ³]	yearly average accumulation 2020-2050 [mm]	yearly average deficit compared to SLR 2020-2050 [Mm ³]	yearly average accumulation 2050-2100 [Mm ³]	yearly average accumulation 2050-2100 [mm]	yearly average deficit compared to SLR 2050-2100 [Mm ³]	yearly average accumulation 2100-2150 [Mm ³]	yearly average accumulation 2100-2150 [mm]	yearly average deficit compared to SLR 2100-2150 [Mm ³]	yearly average accumulation 2150-2200 [Mm ³]	yearly average accumulation 2150-2200 [mm]	yearly average deficit compared to SLR 2150-2200 [Mm ³]	total accumulated sediment 2200 [Mm ³]	total bed level increase 2200 [m]	resulting bed level 2200 [m + NAP]	total deficit compared to SLR 2200 [Mm ³]
Waterkerend landschap (#7)	7	1	34.63	0.68	0.46	13.18	0.12	0.78	22.55	0.26	0.99	28.73	0.04	1.18	34.03	0.14	161.40	4.66	5.34	25.59
Waterkerend landschap (#8)	8	1	9.59	0.60	0.14	14.93	0.02	0.22	23.03	0.07	0.28	28.81	0.01	0.33	34.05	0.04	45.47	4.74	5.34	6.31
Waterkerend landschap (#9)	9	1	17.39	0.57	0.27	15.60	0.02	0.40	23.20	0.12	0.50	28.84	0.02	0.59	34.05	0.07	83.00	4.77	5.34	10.90
Waterkerend landschap (#10)	10	1	27.96	0.82	0.29	10.29	0.18	0.61	21.72	0.23	0.80	28.59	0.04	0.95	34.01	0.11	126.52	4.52	5.34	24.47
Waterkerend landschap (#11)	11	1	10.54	1.01	0.07	6.53	0.11	0.22	20.44	0.10	0.30	28.37	0.02	0.36	33.97	0.04	45.68	4.34	5.34	11.22
Waterkerend landschap (#12)	12	1	30.85	0.70	0.40	12.83	0.12	0.69	22.45	0.23	0.89	28.71	0.04	1.05	34.03	0.12	143.32	4.64	5.34	23.30
Waterkerend landschap (#13)	13	1	0.00	1.78	0.00	0.02	0.00	0.00	11.12	0.00	0.00	26.43	0.00	0.00	33.64	0.00	0.00	3.56	5.34	0.00
Waterkerend landschap (#14)	14	1	38.71	1.50	0.02	0.55	0.62	0.59	15.26	0.57	1.06	27.41	0.10	1.31	33.81	0.16	148.66	3.84	5.34	60.35
Waterkerend landschap (#15)	15	1	31.20	1.48	0.02	0.63	0.50	0.48	15.50	0.45	0.86	27.46	0.08	1.06	33.82	0.13	120.35	3.86	5.34	48.12
Waterkerend landschap (#16)	16	1	15.22	1.30	0.03	2.07	0.22	0.27	17.79	0.19	0.42	27.90	0.03	0.52	33.89	0.06	61.49	4.04	5.34	20.68
Waterkerend landschap (#17)	17	1	17.54	0.88	0.16	8.91	0.14	0.37	21.29	0.15	0.50	28.51	0.03	0.60	34.00	0.07	78.21	4.46	5.34	16.53
Waterkerend landschap (#18)	18	1	3.23	0.57	0.05	15.43	0.00	0.07	23.16	0.02	0.09	28.83	0.00	0.11	34.05	0.01	15.37	4.77	5.34	2.05
Waterkerend landschap (#19)	19	1	11.80	0.68	0.16	13.17	0.04	0.27	22.55	0.09	0.34	28.73	0.02	0.40	34.03	0.05	55.01	4.66	5.34	8.73
Waterkerend landschap (#20)	20	1	17.58	0.53	0.29	16.32	0.01	0.41	23.40	0.12	0.51	28.87	0.02	0.60	34.06	0.07	84.51	4.81	5.34	10.44
Waterkerend landschap (#22)	22	2	12.28	0.78	0.13	10.94	0.07	0.27	21.92	0.10	0.35	28.62	0.02	0.42	34.02	0.05	55.94	4.56	5.34	10.37
Waterkerend landschap (#23)	23	2	4.75	0.69	0.06	12.94	0.02	0.11	22.48	0.04	0.14	28.72	0.01	0.16	34.03	0.02	22.07	4.65	5.34	3.56
Waterkerend landschap (#24)	24	2	0.51	1.45	0.00	0.84	0.01	0.01	16.00	0.01	0.01	27.56	0.00	0.02	33.83	0.00	1.97	3.89	5.34	0.76

Waterkerend landschap (#25)	25	2	13.32	0.38	0.26	19.73	-0.04	0.32	24.30	0.08	0.39	29.03	0.01	0.45	34.08	0.05	66.11	4.96	5.34	5.83
Waterkerend landschap (#26)	26	2	1.62	1.03	0.01	6.03	0.02	0.03	20.24	0.02	0.05	28.33	0.00	0.06	33.97	0.01	6.99	4.31	5.34	1.77
Waterkerend landschap (#27)	27	2	12.48	-2.83	1.12	89.60	-0.91	0.53	42.68	-0.16	0.40	32.16	-0.03	0.43	34.62	0.04	101.87	8.16	5.33	-34.46
Waterkerend landschap (#28)	28	2	4.95	-0.54	0.20	39.72	-0.11	0.15	29.56	0.00	0.15	29.92	0.00	0.17	34.24	0.02	29.08	5.88	5.34	-2.36
Waterkerend landschap (#29)	29	2	11.05	-0.92	0.53	47.99	-0.35	0.35	31.73	-0.02	0.33	30.29	0.00	0.38	34.30	0.04	69.15	6.26	5.34	-9.46
Waterkerend landschap (#30)	30	2	3.47	-0.62	0.14	41.37	-0.09	0.10	29.99	0.00	0.10	30.00	0.00	0.12	34.25	0.01	20.67	5.95	5.34	-1.92
Waterkerend landschap (#31)	31	2	4.55	-1.33	0.26	57.07	-0.18	0.16	34.12	-0.02	0.14	30.70	0.00	0.16	34.37	0.02	30.38	6.67	5.34	-5.79
Waterkerend landschap (#32)	32	2	16.25	0.38	0.32	19.76	-0.05	0.40	24.31	0.09	0.47	29.03	0.02	0.55	34.08	0.06	80.67	4.96	5.34	7.09
Vloedkom Middelzee (33)	33	3	42.03	0.52	0.70	16.61	0.00	0.99	23.47	0.27	1.21	28.89	0.05	1.43	34.06	0.17	202.54	4.82	5.34	24.41
Vloedkom Lauwersmeer (34)	34	3	133.98	-0.41	4.93	36.80	-2.70	3.86	28.79	0.16	3.99	29.79	0.03	4.58	34.21	0.51	769.54	5.74	5.34	-46.04
Vloedkom Middelzee klein (35)	35	3	6.35	0.72	0.08	12.29	0.03	0.14	22.30	0.05	0.18	28.69	0.01	0.22	34.03	0.03	29.32	4.62	5.34	4.95
Vloedkom Eems-Dollard (#36)	36	3	157.70	-0.36	5.64	35.77	-3.01	4.50	28.52	0.23	4.69	29.75	0.04	5.39	34.21	0.60	898.37	5.70	5.34	-46.81
Bekkens Waddenzee (#1001)	1001		2956.26	-2.64	252.65	85.46	-203.38	122.95	41.59	-34.26	94.52	31.97	-5.83	102.25	34.59	10.09	23565.42	7.97	5.33	-7601.64

Tabel A-4 Resultaten 1D-model per deelgebied in de Zuidwestelijke Delta bij een bezinkpercentage van 10%. De gebiedsnummers komen overeen met de nummers uit Figuur 6-1.

Gebiedsnaam en -ID	NbS type (1=waterk landsch; 2=voorlandverbr; 3=vloedkom)	surface area [km2]	average initial bed level [m + NAP]	yearly average accumulation 2020-2050 [Mm3]	yearly average accumulation 2020-2050 [mm]	yearly average deficit compared to SLR 2020-2050 [Mm3]	yearly average accumulation 2050-2100 [Mm3]	yearly average accumulation 2050-2100 [mm]	yearly average deficit compared to SLR 2050-2100 [Mm3]	yearly average accumulation 2100-2150 [Mm3]	yearly average accumulation 2100-2150 [mm]	yearly average deficit compared to SLR 2100-2150 [Mm3]	yearly average accumulation 2150-2200 [Mm3]	yearly average accumulation 2150-2200 [mm]	yearly average deficit compared to SLR 2150-2200 [Mm3]	total accumulated sediment 2200 [Mm3]	total bed level increase 2200 [m]	resulting bed level 2200 [m + NAP]	total deficit compared to SLR 2200 [Mm3]
Waterkerend landschap Grevelingen (#0)	1	41.60	0.43	0.07	1.76	0.62	0.13	3.01	1.12	0.20	4.85	1.05	0.28	6.84	1.30	32.77	0.79	1.21	191.87
Waterkerend landschap Haringvliet e.o. (#1)	1	55.37	0.48	0.09	1.69	0.83	0.16	2.95	1.50	0.27	4.79	1.40	0.38	6.78	1.73	43.00	0.78	1.25	255.98
Waterkerend landschap Oosterschelde (#2)	1	106.69	0.54	0.17	1.60	1.61	0.31	2.86	2.90	0.50	4.71	2.70	0.72	6.71	3.34	81.30	0.76	1.30	494.85
Waterkerend landschap Veerse Meer (#3)	1	32.85	0.87	0.04	1.15	0.51	0.08	2.44	0.91	0.14	4.31	0.84	0.21	6.34	1.04	22.63	0.69	1.56	154.76
Waterkerend landschap Volkerak (#4)	1	34.68	0.78	0.04	1.28	0.53	0.09	2.56	0.95	0.15	4.42	0.89	0.22	6.44	1.09	24.60	0.71	1.48	162.68
Waterkerend landschap Westerschelde (#5)	1	104.27	1.23	0.14	1.32	1.60	0.39	3.77	2.74	0.75	7.22	2.38	1.12	10.75	2.84	117.43	1.13	2.35	445.64
Waterkerend landschap Dordrecht (#6)	1	9.63	0.43	0.02	1.75	0.14	0.03	3.00	0.26	0.05	4.84	0.24	0.07	6.83	0.30	7.57	0.79	1.22	44.41
Braakmankreek Westerschelde (#21)	3	35.92	1.56	0.02	0.59	0.58	0.11	2.95	0.97	0.23	6.50	0.84	0.36	10.13	1.00	35.80	1.00	2.56	158.15
Oosterschelde (#1005)		392.34	-7.14	4.79	12.20	1.75	5.05	12.88	6.72	5.51	14.05	6.26	6.05	15.41	8.86	974.19	2.48	-4.65	1144.46
Veerse Meer (#1006)		44.40	-1.87	0.22	4.94	0.52	0.27	6.01	1.06	0.34	7.65	0.99	0.42	9.44	1.27	57.86	1.30	-0.57	181.87
Haringvliet e.o. (#1002)		294.04	-2.76	1.81	6.16	3.09	2.11	7.17	6.71	2.57	8.72	6.26	3.07	10.45	8.10	441.64	1.50	-1.26	1146.17
Grevelingen (#1003)		142.36	-4.73	1.26	8.87	1.11	1.39	9.73	2.89	1.58	11.11	2.69	1.80	12.68	3.61	276.52	1.94	-2.78	492.24
Volkerak (#1004)		64.63	-3.98	0.51	7.85	0.57	0.57	8.76	1.37	0.66	10.21	1.28	0.76	11.83	1.69	114.77	1.78	-2.21	234.24
Westerschelde (#1007)		318.06	-8.01	8.35	26.25	-3.05	8.30	26.09	1.24	8.46	26.60	1.08	8.77	27.59	3.31	1527.16	4.80	-3.20	190.36

Tabel A-5 Resultaten 1D-model per deelgebied in de Zuidwestelijke Delta bij een bezinkpercentage van 25%. De gebiedsnummers komen overeen met de nummers uit Figuur 6-1.

Gebiedsnaam en -ID	NbS type (1=waterk landschap; 2=voorlandverbr; 3=vloedkom)	surface area [km2]	average initial bed level [m + NAP]	yearly average accumulation 2020-2050 [Mm3]	yearly average accumulation 2020-2050 [mm]	yearly average deficit compared to SLR 2020-2050 [Mm3]	yearly average accumulation 2050-2100 [Mm3]	yearly average accumulation 2050-2100 [mm]	yearly average deficit compared to SLR 2050-2100 [Mm3]	yearly average accumulation 2100-2150 [Mm3]	yearly average accumulation 2100-2150 [mm]	yearly average deficit compared to SLR 2100-2150 [Mm3]	yearly average accumulation 2150-2200 [Mm3]	yearly average accumulation 2150-2200 [mm]	yearly average deficit compared to SLR 2150-2200 [Mm3]	total accumulated sediment 2200 [Mm3]	total bed level increase 2200 [m]	resulting bed level 2200 [m + NAP]	total deficit compared to SLR 2200 [Mm3]
Waterkerend landschap Grevelingen (#0)	1	41.60	0.43	0.18	4.27	0.52	0.29	6.95	0.96	0.44	10.67	0.80	0.60	14.46	0.98	72.07	1.73	2.16	152.57
Waterkerend landschap Haringvliet e.o. (#1)	1	55.37	0.48	0.23	4.11	0.70	0.38	6.81	1.28	0.58	10.55	1.08	0.80	14.36	1.31	94.64	1.71	2.18	204.34
Waterkerend landschap Oosterschelde (#2)	1	106.69	0.54	0.42	3.89	1.36	0.71	6.62	2.49	1.11	10.39	2.09	1.52	14.23	2.54	179.10	1.68	2.22	397.05
Waterkerend landschap Veerse Meer (#3)	1	32.85	0.87	0.09	2.80	0.46	0.19	5.67	0.80	0.32	9.60	0.67	0.45	13.56	0.80	50.11	1.53	2.39	127.28
Waterkerend landschap Volkerak (#4)	1	34.68	0.78	0.11	3.11	0.47	0.21	5.93	0.83	0.34	9.82	0.70	0.48	13.75	0.84	54.40	1.57	2.34	132.89
Waterkerend landschap Westerschelde (#5)	1	104.27	1.23	0.33	3.14	1.41	0.87	8.34	2.26	1.54	14.77	1.59	2.14	20.56	1.82	237.49	2.28	3.51	325.59
Waterkerend landschap Dordrecht (#6)	1	9.63	0.43	0.04	4.25	0.12	0.07	6.93	0.22	0.10	10.66	0.19	0.14	14.45	0.23	16.64	1.73	2.16	35.34
Braakmankreek Westerschelde (#21)	3	35.92	1.56	0.05	1.43	0.55	0.24	6.67	0.84	0.49	13.59	0.59	0.71	19.72	0.66	73.33	2.04	3.60	120.62
Oosterschelde (#1005)		392.34	-7.14	11.60	29.57	-5.06	11.35	28.94	0.42	11.42	29.11	0.35	11.74	29.92	3.17	2073.78	5.29	-1.85	44.87
Veerse Meer (#1006)		44.40	-1.87	0.53	11.97	0.21	0.61	13.64	0.73	0.72	16.28	0.61	0.85	19.16	0.84	124.90	2.81	0.94	114.84
Haringvliet e.o. (#1002)		294.04	-2.76	4.39	14.93	0.51	4.77	16.21	4.05	5.42	18.44	3.40	6.17	20.97	5.01	949.60	3.23	0.47	638.21
Grevelingen (#1003)		142.36	-4.73	3.06	21.51	-0.69	3.12	21.93	1.15	3.31	23.23	0.96	3.56	24.99	1.85	591.17	4.15	-0.57	177.60
Volkerak (#1004)		64.63	-3.98	1.23	19.02	-0.15	1.28	19.77	0.66	1.38	21.42	0.55	1.52	23.47	0.94	245.81	3.80	-0.18	103.20
Westerschelde (#1007)		318.06	-8.01	19.63	61.73	-14.33	16.78	52.76	-7.24	14.63	46.00	-5.09	13.52	42.51	-1.43	2835.61	8.92	0.91	1118.09

Tabel A-6 Resultaten 1D-model per deelgebied in de Zuidwestelijke Delta bij een bezinkpercentage van 50%. De gebiedsnummers komen overeen met de nummers uit Figuur 6-1.

Gebiedsnaam en -ID	NbS type (1=waterk landsch; 2=voorlandverbr; 3=vloedkom)	surface area [km2]	average initial bed level [m + NAP]	yearly average accumulation 2020-2050 [Mm3]	yearly average accumulation 2020-2050 [mm]	yearly average deficit compared to SLR 2020-2050 [Mm3]	yearly average accumulation 2050-2100 [Mm3]	yearly average accumulation 2050-2100 [mm]	yearly average deficit compared to SLR 2050-2100 [Mm3]	yearly average accumulation 2100-2150 [Mm3]	yearly average accumulation 2100-2150 [mm]	yearly average deficit compared to SLR 2100-2150 [Mm3]	yearly average accumulation 2150-2200 [Mm3]	yearly average accumulation 2150-2200 [mm]	yearly average deficit compared to SLR 2150-2200 [Mm3]	total accumulated sediment 2200 [Mm3]	total bed level increase 2200 [m]	resulting bed level 2200 [m + NAP]	total deficit compared to SLR 2200 [Mm3]
Waterkerend landschap Grevelingen (#0)	1	41.60	0.43	0.34	8.15	0.35	0.51	12.22	0.74	0.73	17.50	0.52	0.93	22.47	0.65	118.71	2.85	3.28	105.94
Waterkerend landschap Haringvliet e.o. (#1)	1	55.37	0.48	0.43	7.83	0.49	0.66	11.98	1.00	0.96	17.33	0.70	1.24	22.35	0.87	156.04	2.82	3.29	142.95
Waterkerend landschap Oosterschelde (#2)	1	106.69	0.54	0.79	7.42	0.99	1.24	11.66	1.96	1.83	17.11	1.38	2.37	22.20	1.69	295.67	2.77	3.31	280.48
Waterkerend landschap Veerse Meer (#3)	1	32.85	0.87	0.18	5.35	0.37	0.33	10.10	0.65	0.53	16.01	0.46	0.70	21.42	0.54	83.33	2.54	3.40	94.05
Waterkerend landschap Volkerak (#4)	1	34.68	0.78	0.21	5.93	0.37	0.37	10.54	0.68	0.57	16.32	0.47	0.75	21.64	0.57	90.26	2.60	3.38	97.02
Waterkerend landschap Westerschelde (#5)	1	104.27	1.23	0.60	5.79	1.13	1.44	13.84	1.69	2.30	22.01	0.83	2.95	28.31	1.01	352.64	3.38	4.61	210.44
Waterkerend landschap Dordrecht (#6)	1	9.63	0.43	0.08	8.10	0.08	0.12	12.18	0.17	0.17	17.47	0.12	0.22	22.45	0.15	27.42	2.85	3.28	24.56
Braakmankreek Westerschelde (#21)	3	35.92	1.56	0.10	2.71	0.50	0.41	11.41	0.67	0.75	20.79	0.33	1.00	27.71	0.37	110.50	3.08	4.64	83.44
Oosterschelde (#1005)		392.34	-7.14	22.05	56.21	-15.51	19.06	48.59	-7.29	16.90	43.06	-5.13	15.87	40.44	-0.96	3252.78	8.29	1.15	1134.13
Veerse Meer (#1006)		44.40	-1.87	1.01	22.77	-0.27	1.03	23.28	0.30	1.12	25.27	0.21	1.24	27.94	0.45	200.11	4.51	2.63	39.63
Haringvliet e.o. (#1002)		294.04	-2.76	8.35	28.39	-3.45	8.10	27.54	0.72	8.31	28.27	0.51	8.83	30.04	2.34	1512.64	5.14	2.38	75.17
Grevelingen (#1003)		142.36	-4.73	5.82	40.88	-3.45	5.27	36.99	-0.99	4.97	34.91	-0.70	4.94	34.71	0.47	933.44	6.56	1.83	-164.68
Volkerak (#1004)		64.63	-3.98	2.34	36.16	-1.26	2.16	33.41	-0.22	2.09	32.40	-0.15	2.13	32.94	0.33	389.23	6.02	2.04	-40.22
Westerschelde (#1007)		318.06	-8.01	35.55	111.78	-30.25	23.89	75.10	-14.34	16.63	52.28	-7.09	13.76	43.27	-1.68	3780.48	11.89	3.88	2062.96