



Samen slim met zand

Project Smartsediment is gefinancierd binnen het Interreg V programma Vlaanderen-Nederland, het grensoverschrijdend samenwerkingsprogramma met financiële steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling.
Meer info: www.grensregio.eu



Conceptueel model voor het identificeren van ingreep-effect relaties

Smartsediment WP4 Ecosysteemdiensten: Deeltaak 1.2

Auteurs: Annelies Boerema¹, Kerst Buis¹, Marcel Taal², Tom Ysebaert⁴, Gijsbert Van Holland³, Davy Depreiter³, Dirk Vrebos¹, Katrien Van der Biest¹, Tom Maris¹, Patrick Meire¹

Affiliaties: ¹Universiteit Antwerpen ECOBE, ²Deltares, ³IMDC, ⁴NIOZ

Versie: Finaal, 5 juli 2018

RAPPORT ECOBE-018-R223



Ecosystem Management
Research Group (Ecobe)
University of Antwerp





Inhoud

1	Inleiding.....	4
1.1	Situering van de opdracht.....	4
1.2	Effecten door sedimentbeheer op ecosystemendiensten.....	4
1.3	Leeswijzer.....	5
2	Systematische analyse ingreep-effect relaties.....	6
2.1	Conceptueel model: functioneren van het estuarium.....	6
2.2	Effectketens: ingreep-effect relaties.....	9
2.3	Sedimentingrepen: (on)rechtstreekse effecten op het functioneren van het estuarium	10
2.3.1	Smartsediment uitvoeringsprojecten	10
2.3.2	Effecten op het functioneren van het estuarium	12
3	Effecten op ecosystemendiensten	15
3.1	Voedselvoorziening voor menselijke consumptie	16
3.1.1	Schelpdieren	16
3.1.2	Vissen	22
3.1.3	Schaaldieren.....	25
3.2	Voorziening van ruimte (water) voor scheepvaart.....	28
3.2.1	Levering van de dienst door het estuarium.....	28
3.2.2	Ingreep-effect relaties.....	29
3.3	Voorziening van hulpbronnen (zand).....	31
3.3.1	Levering van de dienst door het estuarium.....	31
3.3.2	Ingreep-effect relaties.....	32
3.4	Reguleren van waterkwaliteit.....	33
3.4.1	Levering van de dienst door het estuarium.....	33
3.4.2	Ingreep-effect relaties.....	35
3.5	Reguleren van overstromingsrisico.....	37
3.5.1	Levering van de dienst door het estuarium.....	37
3.5.2	Ingreep-effect relaties.....	38
3.6	Klimaatregulering (koolstofbalans).....	40
3.6.1	Levering van de dienst door het estuarium	40
3.6.2	Ingreep-effect relaties.....	42
3.7	Recreatie	44
3.7.1	Levering van de dienst door het estuarium.....	44
3.7.2	Ingreep-effect relaties.....	47



3.8	Habitat- en soortendiversiteit.....	49
4	Synthese	50
4.1	Lijst relevante variabelen.....	52
5	Vervolgstappen	53
6	Referenties	54

1 Inleiding

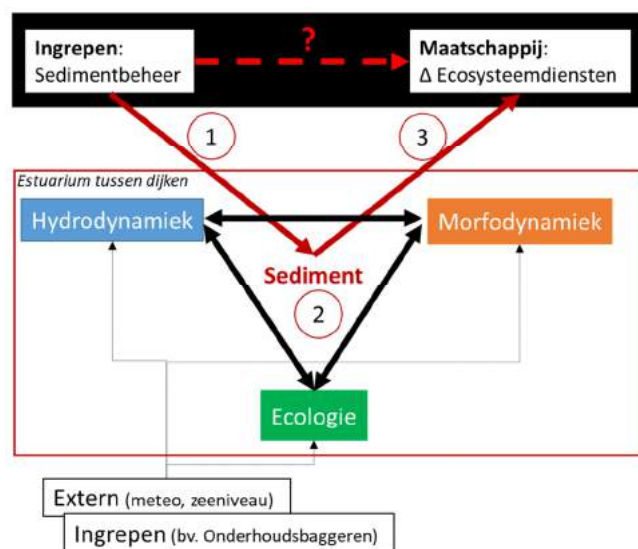
1.1 Situering van de opdracht

In het kader van Smartsediment zijn een aantal relevante ecosysteemdiensten geselecteerd die beïnvloed kunnen worden door sedimentbeheer (Boerema et al. 2018). Voor deze geselecteerde ecosysteemdiensten moeten ingreep-effect relaties worden opgesteld. Het voorliggende rapport (WP4 deel 1.2) omvat de beschrijving van het conceptueel model dat tot doel heeft effectketens tussen ingrepen en ecosysteemdiensten te identificeren. Dit is een voorstudie die de basis vormt om in het vervolgrapport (WP4 deel 1.3) de ingreep-effectrelaties te kwantificeren en implementeren in de GIS-tool. WP4 deel 1.2 vormt een tussenstap die ervoor moet zorgen dat we vertrekken van de complexe realiteit van het functioneren van het estuarium en stap voor stap op een doordachte manier deze complexe relaties vereenvoudigen tot een werkbaar analysekader (WP4 deel 1.3).

1.2 Effecten door sedimentbeheer op ecosysteemdiensten

De centrale vraag is om de effecten van sedimentbeheer op ecosysteemdiensten van het estuarium te berekenen en te presenteren in een ruimtelijk expliciete tool. Om deze vraag aan te pakken wordt deze opgedeeld in drie deelvragen (schematisch voorgesteld in figuur 1). De 3^{de} deelvraag vormt het hoofdonderwerp van dit rapport, maar om dit te beantwoorden zijn ook deelvragen 1 en 2 relevant en deze zullen dus ook mee behandeld worden (in functie van het beantwoorden van deelvraag 3):

1. hoe en in welke mate het functioneren van het estuarium rechtstreeks beïnvloed wordt door sedimentbeheer,
2. hoe en in welke mate het gehele functioneren van het estuarium hierdoor verder onrechtstreeks beïnvloed wordt, en
3. welke ecosysteemdiensten veranderen (en in welke mate) als gevolg van rechtstreekse en onrechtstreekse wijzigingen in het functioneren van het estuarium?



Figuur 1. Conceptueel schema die de mogelijke effecten van ingrepen (sedimentbeheer) op ecosysteemdiensten voor de maatschappij (rode stippellijn met "?") ontleedt in drie stappen: (1) directe effecten van de ingreep op het functioneren van het estuarium (hydrodynamiek, morfodynamiek en ecologie, met sediment als één van de centrale aspecten en gegeven enkele randcondities (externe factoren zoals meteorologie en andere ingrepen), (2) indirecte effecten in het functioneren van het estuarium (als gevolg van de directe effecten van de ingreep), en (3) effecten op ecosysteemdiensten als gevolg van veranderingen in het functioneren van het estuarium.

1.3 Leeswijzer

Het doel van dit rapport omvat de beschrijving van een conceptueel model dat op basis van effectketens ingrepen en ecosysteemdiensten met elkaar wil verbinden. De toelichting van het conceptueel model om effectketens te identificeren is opgevat in twee delen. Het eerste deel omvat een bondige omschrijving van het **functioneren van het estuarium**. Dit is een specificering van de abiotische en biotische aspecten van de bodem, water en lucht compartimenten van het estuarium. Dit vormt een centraal onderdeel van het conceptueel model. In het tweede deel wordt een **methodiek om effectketens (van ingreep tot ecosysteemdiensten) te identificeren** toegelicht. Het identificeren van de effectketens volgt een systematische aanpak in drie fasen:

1. **Ingreep**: voor elke ingreep voert de projectverantwoordelijke een reeks studies uit om na te gaan wat de effecten van de ingreep zijn in het estuarium. Dit gaat enerzijds over de beoogde effecten (bijvoorbeeld hoogteverandering van de bodem na een storting), en anderzijds eventueel ook over mogelijke andere (ongewenste) neveneffecten (bijvoorbeeld stromingsveranderingen na een storting). Deze evaluatie zit vervat in de passende beoordeling en eventuele MER studie en opvolging van mogelijke gevolgen wordt meestal ook voorzien in een monitoringplan. Deze informatie wordt geraadpleegd voor de beschouwde ingrepen om een overzicht te verkrijgen van welke systeemvariabelen zullen beïnvloed worden door de ingreep.
2. **Ecosysteemdiensten**: per ecosysteemdienst wordt bekeken welke abiotische en biotische aspecten van de bodem, water en lucht compartimenten van het estuarium en welke processen de levering van de ecosysteemdienst bepalen en beïnvloeden (bijvoorbeeld algenproductie in de waterkolom vormt een belangrijke voedingsbron voor filterfeeders zoals mosselen en oesters = ecosysteemdienst voedselvoorziening voor menselijke consumptie). Dit onderdeel vormt het belangrijkste vernieuwende deel in deze studie.
3. **Effectketen ingreep-ecosysteemdiensten**: in de laatste fase worden beide voorgaande analyses samengebracht om effectrelaties van ingreep tot ecosysteemdienst te identificeren. Hieruit zal ook blijken of er bepaalde systeemvariabelen, die niet beschouwd zijn voor een ingreep, wel beïnvloed worden en de levering van bepaalde ecosysteemdiensten kunnen beïnvloeden. De analyse in fase 2 (relevante systeemvariabelen voor de levering van elke ecosysteemdienst) resulteert in een lijst van relevante systeemvariabelen (zie 3.3 synthese) die voor toekomstige ingrepen moeten geëvalueerd worden indien men de effecten op de, in deze studie geselecteerde, ecosysteemdiensten wenst te evalueren. Deze lijst werd opgesteld met het oog op het kunnen evalueren van effecten op ecosysteemdiensten, ongeacht bestaande referentie- of toetsingskaders die reeds bestaan voor impactstudies.

2 Systematische analyse ingreep-effect relaties

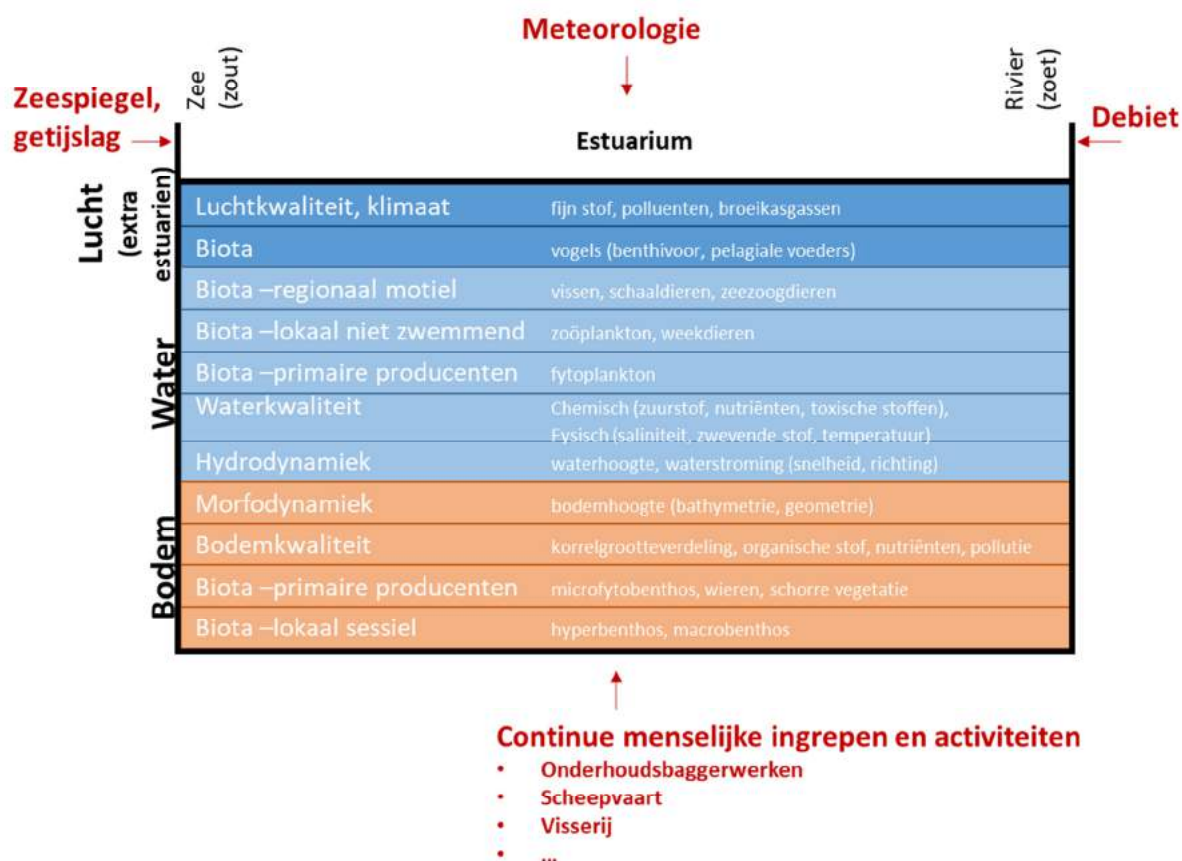
2.1 Conceptueel model: functioneren van het estuarium

Om inzicht te krijgen in de mogelijke effecten van sedimentbeheer op het functioneren van het estuarium en hoe dit resulteert in rechtstreekse en onrechtstreekse effecten op de levering van diverse ecosysteemdiensten wordt hier eerst een basisomschrijving gegeven van het functioneren van het estuarium (figuur 2). Er wordt hierbij een onderscheid gemaakt tussen **biotische** en **abiotische** kenmerken van de compartimenten **bodem, water, lucht ('extra-estuarien')**.

De kern van het schema is de abiotische basis van het estuarium bestaande uit **hydrodynamiek** en **morfodynamiek**. Dit wordt bijkomend aangevuld met fysisch-chemische kenmerken in **bodemkwaliteit, waterkwaliteit** en **luchtkwaliteit**.

Voor het biotische luik wordt een opdeling gemaakt in 3 niveaus startend met de basis van de voedselketen en vervolgens een tweedeling naar complexiteit in bewegingsruimte en systeemvereisten (eerder lokaal vertoevend die niet zelfstandig zich kunnen voortbewegen (sessiel, zwevend/niet zwemmend) en met relatief weinig vereisten en noden aan habitat diversiteit, versus eerder regionaal vertoevend die zich zelfstandig kunnen voortbewegen (motiel) en met meer vereisten en noden voor habitat diversiteit):

- **primaire producenten:** basis voedselketen: soorten die zonne-energie omzetten en zo de basis van het voedselweb vormen
- **lokale sessiele en niet zwemmende / zwevende soorten:** soorten die overwegend op 1 locatie verblijven met geen of slechts een beperkte bewegingsruimte op/in de bodem (bijvoorbeeld mosselen) en soorten die zweven / niet kunnen zwemmen in het water (bijvoorbeeld zoöplankton). Speciale levensfase zorgen soms wel voor een variatie in de habitats die de soort nodig heeft (bijvoorbeeld larven van bodemdieren zwemmen rond in het water en vestigen zich daarna pas op/in de bodem).
- **regionale motiele soorten** (soorten die zich kunnen verplaatsen in de ruimte en meerdere habitattypes nodig hebben voor verschillende levensstadia en voor voedsel).



Figuur 2. Basis schema functioneren van het estuarium met een opdeling in lucht, water en bodem compartiment, biotische en abiotische structuren en de systeem grenzen (zeespiegel en getijslag, debiet, meteorologie, continue menselijke ingrepen en activiteiten).

Toelichting bodem compartiment

Morfodynamiek is de hoogteligging van de bodem en in relatie tot de hydrodynamiek worden geulen (hoofdgeul, nevengeulen, kortsluitgeulen, drempels) en intergetijdengebieden (platen, slikken, schorren) onderscheiden. Morfologische parameters die de bathymetrie en geometrie van het estuarium karakteriseren zijn bijvoorbeeld diepte, volume, helling, hoogteligging, bodemruwheid, breedte-diepte ratio, volume boven hoogwater, verhouding geulen en intergetijd areaal.

Met **bodemkwaliteit** wordt de samenstelling bedoeld. De totale **bodemkwaliteit** wordt bepaald door gehalte aan organisch materiaal, nutriënten en toxische stoffen. De sedimentsamenstelling wordt basaal bepaald door erosie- en sedimentatieprocessen (sedimenttransportcapaciteit, bezinkingsnelheid en erosiesnelheid) wat het gevolg is van de morfodynamiek en hydrodynamiek. Dit leidt tot een variatie aan korrelgrootteverdelingen van grof zand (geul) tot fijn slib (slik).

De **biotische** structuren in het bodemcompartiment wordt opgedeeld in twee groepen: primaire productie en lokale sessiele soorten. **Primaire productie** is terug te vinden bij vegetatie (voorkomen van bepaalde soorten, sleutelsoorten, % bedekking door vegetatie en biomassa) en benthische algen (voorkomen en biomassa microphytobenthos, sleutelsoorten). **Lokale sessiele bodemdieren** zijn wat groter en voeden zich met benthische of pelagische algen (schelpdieren, incl. filterfeeders zoals mosselen en oesters) of organisch materiaal, en enkele soorten zijn ook predatoren. Deze soorten

blijven doorgaans op een (semi) vaste plek. Verder kan nog opgemerkt worden dat verschillende van deze soorten (vegetatie, benthos) zich gedragen als *ecological engineers* aangezien ze de abiotische bodemstructuur kunnen beïnvloeden (bodemstabiliteit, frictie, losmaken of vasthouden materiaal en chemische stoffen).

Toelichting water compartiment

Hydrodynamiek (waterbeweging) is de structuur van het water compartiment van het estuarium. Dit omvat het getij (getijkarakteristieken zoals getijvolume, asymmetrie, amplitude, looptijd) met een bepaalde stroming (stroomrichting en -snelheid, verblijftijd) en golven (aantal golven, golfhoogte, golfperiode) wat resulteert in een waterstand (hoog- en laagwater) en wateroppervlakte (resultaat van morfologie en waterstand, met als interessante waarden deze die horen bij hoog- en laagwater).

Voor de **waterkwaliteit** wordt een onderscheid gemaakt tussen fysische (temperatuur, zwevende stof, turbiditeit, lichtextinctie, ratio fotsche en mengdiepte), chemische (saliniteit, zuurstof, nutriënten, toxische stoffen) en biotische kwaliteit (algenbloei).

Voor de **biotische water structuren** wordt opnieuw dezelfde opdeling gemaakt: **primaire productie** (fytoplankton), **lokale niet zwemmende (zwevende) soorten** (zoöplankton, weekdieren), en **regionale motiele soorten** (vissen, schaaldieren, zeezoogdieren). *Ecological engineers* (vegetatie, benthos) hebben niet enkel een invloed op de bodem, maar ook op het water door bijvoorbeeld weerstand te bieden tegen waterstroming (vegetatie, schelpdierbanken) of door water te filteren (filterfeeders).

Toelichting lucht compartiment ('extra estuarien')

Het **luchtcompartiment** is toegevoegd om ook de uitwisseling tussen water en/of bodem met lucht (en in het bijzonder de kwaliteit ervan) expliciet mee te kunnen nemen. Mee te nemen factoren van de **luchtkwaliteit en klimaat** zijn fijnstof, pollutie en broeikasgassen. In het kader van een ecosysteemdiensten studie bekijken we enkel emissies die vanuit het ecosysteem zelf komen. Dus wel methaan emissies uit slikken, maar niet CO₂ uitstoot van bijvoorbeeld een baggerboot. In volledige impactstudie of kosten-baten studie van bijvoorbeeld baggeractiviteiten moet dit wel meegenomen worden, maar dit valt buiten de context van een ecosysteemdiensten evaluatie.

In het **biotische luchtcompartiment** vinden we de vogels terug. Vogels staan apart in het lucht of 'extra estuarien' compartiment omdat ze niet strikt afhankelijk zijn van het water of bodem compartiment. Vogels hebben wel meerdere habitats van het estuarium nodig in verschillende levensstadia en voor voedsel of rusten. Dit zal tot uiting komen in de analyse waarbij het voorkomen van vogels beïnvloed wordt door diverse eigenschappen van zowel het water als bodem compartiment (afhankelijk van de specifieke vereisten van verschillende vogelsoorten). Met betrekking tot voedsel is er bijvoorbeeld een onderscheid te maken tussen bentivore en pelagiale voeders.

Toelichting systeemgrenzen

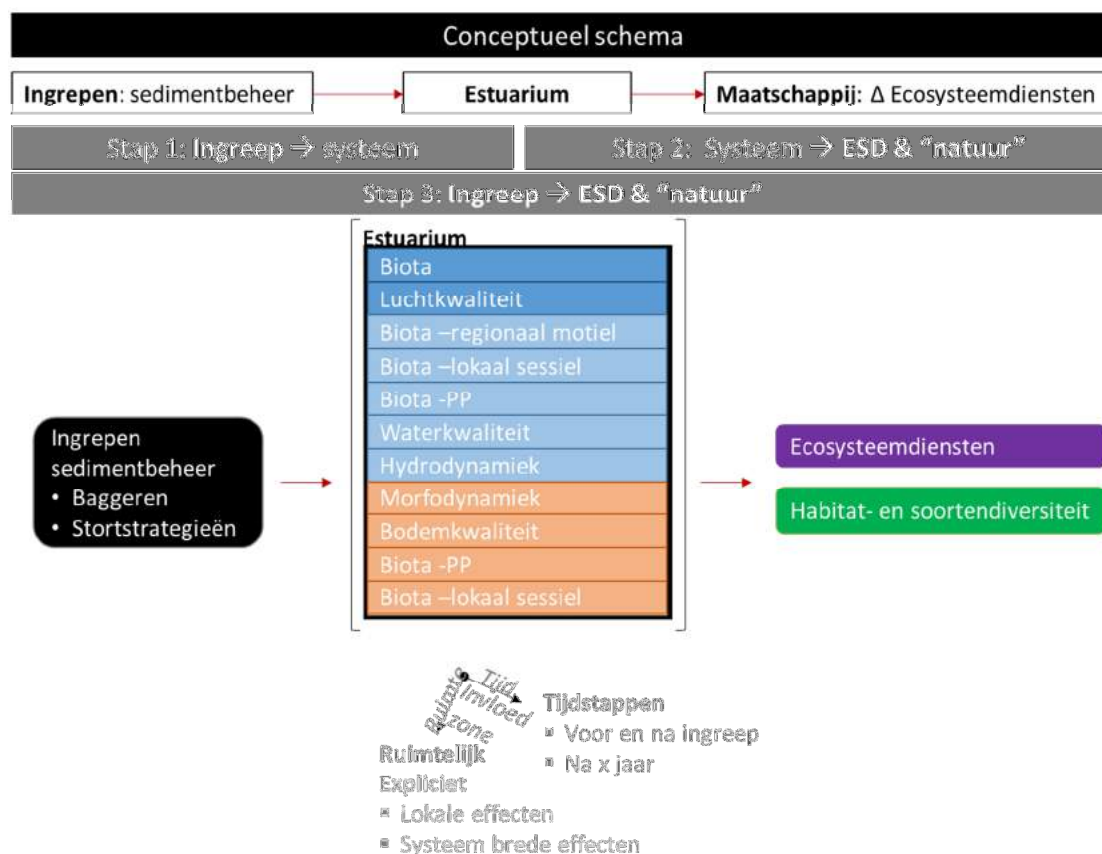
Het estuarium wordt **afgebakend** aan de zeekant met een gegeven zeeniveau en aan de rivierkant door een gegeven debiet. Daarnaast zijn er nog externe factoren zoals meteorologie (regen, wind, etc.) en (al dan niet continue) menselijke ingrepen en activiteiten die in meer of mindere mate voortdurend het functioneren van het estuarium beïnvloeden (bijvoorbeeld onderhoudsbaggerwerken, scheepvaart, visserij, lozingen van warmte en vervuiling, licht en geluid).

2.2 Effectketens: ingreep-effect relaties

Na het vaststellen welke grootheden en parameters onderdeel (kunnen) zijn van de conceptuele en rekenmodellen kan de stap gemaakt worden naar de relaties tussen die grootheden / parameters. Een ingreep veroorzaakt een verandering in een of meerdere van de grootheden / parameters. Het basisschema functioneren van het estuarium (deel 2.1) wordt gebruikt om in drie stappen de mogelijke effecten van ingrepen op ecosysteemdiensten en habitat- en soortendiversiteit te ontleden (figuur 3). **Stap 1** kijkt naar de rechtstreekse effecten van sedimentbeheer strategieën op het functioneren. **Stap 2** kijkt naar onrechtstreekse effecten in het functioneren door de sedimentbeheer strategieën en **stap 3** legt de link tussen alle mogelijke veranderingen in het functioneren op de levering van ecosysteemdiensten en op habitat- en soortendiversiteit. Deze effecten kunnen verschillende dimensies hebben in tijd (verschillende effecten op verschillende tijdstappen voor en na de ingreep en x jaar later) en in ruimte (lokale en systeem brede effecten).

Om dit systematisch aan te pakken wordt de analyse opgedeeld in drie fasen:

1. **Per ingreep:** Rechtstreekse en onrechtstreekse effecten van de ingreep op het functioneren van het estuarium (stap 1&2 in figuur 3)
2. **Per ecosysteemdienst:** welke onderdelen van het functioneren van het estuarium zijn bepalend voor de levering van de ecosysteemdienst (stap 2&3 in figuur 3)
3. **Effectketens ingreep-ecosysteemdienst:** samenvoegen van fase 1 en 2 van de analyse (stap 1&2&3 in figuur 3)



Figuur 3. Conceptueel schema effectketens in drie stappen: effecten ingreep op ecosysteem (1), effecten in het ecosysteem (2), effecten op ecosysteemdiensten en habitat- en soortendiversiteit (3).

2.3 Sedimentingrepen: (on)rechtstreekse effecten op het functioneren van het estuarium

Als eerste fase in de analyse wordt gekeken naar de rechtstreekse en onrechtstreekse effecten van sedimentbeheer strategieën op het functioneren van het estuarium. In het kader van het Smartsediment project worden 8 uitvoeringsprojecten bestudeerd (figuur 4) die kunnen ingedeeld worden in 5 types van sedimentbeheer strategieën.

- (1) Plaatophoging (uitvoeringsproject nr. 1)
- (2) Plaatrandstorting (uitvoeringsproject nr. 2)
- (3) Storten in ondiepe zone van de geul langs de oever (uitvoeringsprojecten nr. 3 & 6)
- (4) Ophoging overdiepte (rivierbocht) (uitvoeringsprojecten nr. 4 & 5)
- (5) Storting in diepe putten van de vaargeul (uitvoeringsprojecten nr. 7 & 8)



Figuur 4. Smartsediment uitvoeringsprojecten

2.3.1 Smartsediment uitvoeringsprojecten

1 Roggenplaat, Oosterschelde, Nederland (Rijkswaterstaat). Door de bouw van de stormvloedkering en compartimenteringsdammen in het kader van de Deltawerken is sinds de jaren 80' van de vorige eeuw het hydromorfologisch evenwicht verstoord in de Oosterschelde en komt *zandhonger* voor. Vanwege de zandhonger verdwijnen getijdenplaten steeds meer onder water. Dit is ongewenst omdat hierdoor het areaal kleiner wordt en de droogvalduur korter waardoor de tijd dat vogels tijdens laag water bij hun voedsel (benthos) kunnen steeds korter wordt. Het behoudt van deze vogels (met name verschillende soorten steltlopers) en benthos habitat is immers een doelstelling onder de Europese habitat en vogelrichtlijnen (i.e. Oosterschelde is een Natura 2000 gebied). Erosie en zandhonger voorkomen is niet mogelijk omdat het weg doen van de kering geen optie is en het opvullen van de geulen om de (zand)honger te stillen te veel zand zou vergen. Het beheer is er daarom op gericht om effecten te beperken door gericht platen op te hogen, zoals bijvoorbeeld gepland is om een deel van de Roggenplaat (200 hectare) op te hogen. Het doel is om daarmee de komende 25 jaar zo'n 2.000 hectare waardevol intergetijdengebied als foerageergebied te behouden (van der Werf et al. 2016). Bijkomende aandachtspunten in deze regio zijn het behoud van schelpdiercultuur (mosselkweek en oesterkweek) en recreatiemogelijkheden zoals duiken en kitesurfen. Dit project is nog in de voorbereidingsfase en de uitvoering is voorzien voor de winterperiode 2019/2020. Er werd een passende beoordeling uitgevoerd (Boudewijn 2016) met aandacht voor onder meer naburige mosselpercelen (en mogelijke vervang mosselpercelen),

transport en sedimentatie van slib op percelen tijdens de zandwinning en op percelen na de suppletie, stroomsnelheidstoename, golven en bescherming tegen overstromingen, zeehonden. Daarnaast werd ook een T0 monitoring uitgevoerd in 2016 en er is ook een monitoringsplan opgesteld (Ysebaert et al. 2016, Ysebaert et al. 2017).

2 Suikerplaat, Westerschelde, Nederland (MOW). Vanwege de grote hoeveelheid onderhoudsbaggerspecie in de Westerschelde die terug in het systeem moet gestort worden, is er nood aan stortlocaties. Tevens is er een tekort aan laagdynamisch areaal (litoraal en sublitoraal) in overeenstemming met de Europese habitatrichtlijn doelstelling voor de Westerschelde. Daarom wordt gezocht naar mogelijke nuttige stortstrategieën die tegelijk meerdere baten genereren zoals de beschikbaarheid van voldoende stortlocaties en natuurontwikkeling. Plaatrandstortingen passen in deze context. In het ondiepe watergebied nabij de Suikerplaat wordt een terreinproef uitgevoerd. De ingreep aan de Suikerplaat omvat een storting van zand langs de plaat waardoor de hoogte hier zal veranderen met tot doel een laagdynamisch gebied te creëren (Kleijberg et al. 2015). Een T0 bodembemonstering werd uitgevoerd in maart 2017 (litoraal en sublitoraal) en een week later werd gestart met de storting (Schellekens 2017). Een stortvolume van 1 miljoen m³ was vergund, maar in 2017 werd initieel slechts 95.000 m³ zand gestort en later dat jaar nog eens 245.000 m³ in de eerste helft van 2018 was reeds 720.000 m³ gestort. Er kan ook opgemerkt worden dat er op de westelijke plaatpunt (binnen het vergunde stortvak SPL) ook zand wordt gestort in het kader van de zandruil wat interferentie kan veroorzaken.

3 Fort Filip, Beneden-Zeeschelde, België (W&Z). Lokaal is er hier een probleem met een erg dynamische geul langs de oever waardoor de stabiliteit van de oever bedreigd wordt. Daarnaast is er in deze regio en te kort aan slik en schor gebied (Sigma-plan doelstelling). Door ophoging van de rivierbodem bij Fort Filip ontstaat 20 hectare laagdynamisch slikgebied. Er wordt een kribbe gebouwd om de dynamische geul in de luwte te leggen en de ruimte tussen de kribbe en de oever wordt opgevuld met baggerspecie en afgedekt met wilgen matten. Hierdoor wordt ongewenste erosie en aanzanding voorkomen en worden natuurgebieden en de biodiversiteit langdurig beschermd. De specie is afkomstig van een stortplaats op de oever met historisch gebaggerd en opgespoten zand (afgraven -9m). In een voorstudie werd de meest geschikte hoogte van de kribbe onderzocht (Maximova et al. 2016b, a). Er werd reeds een T0 monitoring uitgevoerd (zomer 2017) (*rapport nog niet beschikbaar*).

4 Bocht van Uitbergen, Boven-Zeeschelde, België (W&Z). Om de condities voor scheepvaart te verbeteren wordt het probleem van aanzanding van binnenbochten en uitschuring van buitenbochten aangepakt. Sediment wordt uit de binnenbocht verwijderd en gestort in de buitenbocht en afgedekt met wilgen matten en stenen. In december 2016 werd de overdiepte van de buitenbocht van Uitbergen opgehoogd. Het doel van deze ingreep is om aanzanding in de binnenbocht te voorkomen en de overdiepte te beschermen tegen erosie. Het diepteprofiel van de bocht voor de ingreep (data 2014) is vergeleken met herhaalde diepteprofielen op verschillende tijdstippen in december 2016 en tijdens verschillende maanden in 2017 om het effect van de ingreep te volgen (Adams et al. 2017).

5 Bocht van Wichelen, Boven-Zeeschelde, België (W&Z). Om de condities voor scheepvaart te verbeteren wordt het probleem van aanzanding van binnenbochten en uitschuring van buitenbochten aangepakt. Sediment wordt uit de binnenbocht verwijderd en gestort in de buitenbocht en gefixeerd met containers/geotubes (uitgevoerd in maart 2017). De hoeveelheid

vulling werd echter beperkt gehouden met het oog op de veiligheid voor schepen maar hierdoor was de opvulling zeer kleinschalig. Het doel van deze ingreep is om de stroming naar de binnenbocht te dwingen zodat de binnenbocht van nature voldoende diep zal blijven door uitschuring (ten behoeve van scheepvaart). Het diepteprofiel van de bocht voor de ingreep (data 2014) is vergeleken met herhaalde diepteprofielen tijdens verschillende maanden in 2017 sinds de ingreep om het effect van de ingreep te volgen (Adams et al. 2017).

6 Baasrode, Boven-Zeeschelde, België (W&Z). Er is nood aan meer laagdynamische zones. De keuze van de locatie aan Baasrode werd bepaald door het Instituut voor Natuur en Bos Onderzoek en dit was het gevolg van eerdere observaties in deze zone als paaiplaats voor de fint. Om deze zone als paaiplaats nog op te waarderen werd de ophoging hier uitgevoerd. De ophoging van de oever bij Baasrode (uitgevoerd in oktober 2016) had tot doel een laag slikgebied en ondiep water areaal te creëren. Specie voor deze storting werd gehaald uit de vaargeul naast de stortlocatie. Het doel was ook om de stroomsnelheid te vergroten zodat de weggebaggerde drempel niet opnieuw zou aanzanden. Om de evolutie van de specie en de diepte van de geul te controleren werden herhaaldelijk diepteprofielen gemeten. Het diepteprofiel van de geul voor de ingreep (data 2014) is vergeleken met herhaalde diepteprofielen tijdens verschillende maanden in 2016 en 2017 om het effect van de ingreep te volgen (Adams et al. 2017).

7 Ketelputten, Beneden-Zeeschelde, België (MOW). In het kader van het onderhoud van de vaargeul, werden de Ketelputten in 2017 in gebruik genomen als nieuwe stortzone voor slibrijke baggerspecie in de Beneden-Zeeschelde (Plancke et al. 2016). Voorbereidend onderzoek heeft geleid tot de keuze van deze locatie en er was ook aandacht voor effecten van het storten in verschillende seizoenen.

8 Parelputten, Beneden-Zeeschelde, België (MOW). In het kader van het onderhoud van de vaargeul, werden de Parelputten in 2017 in gebruik genomen als nieuwe stortzone voor zandige baggerspecie in de Beneden-Zeeschelde (Plancke et al. 2016).

Overige projecten voor deze analyse. In het vervolg van de ontwikkeling van de tool kan nog geopteerd worden om reeds uitgevoerde gelijkaardige projecten te selecteren als extra case. Deze geven extra data, die belangrijk zijn om effecten te kwantificeren. Voorbeelden zijn ontpolderingen (bijvoorbeeld Perkpolder) en gecontroleerde overstromingsgebieden (GOG) en/of gereduceerd getij (GGG) projecten (bijvoorbeeld pilootproject Lippenbroek), en plaatrandstortingen in de Westerschelde (bijvoorbeeld deze bij Walsoorden).

2.3.2 Effecten op het functioneren van het estuarium

In de voorbereidingsfase (en eventuele vergunningsfase) van ingrepen worden tal van mogelijke (gewenste of ongewenste) effecten onderzocht (bijvoorbeeld in de passende beoordeling, MER, en monitoringplannen). Bij de verschillende Smartsediment uitvoeringsprojecten werden hierbij heel wat dezelfde effecten bekeken, maar sommige effecten zijn eerder project specifiek als gevolg van lokale omstandigheden. Deze effecten worden hier kort besproken en schematisch weergegeven met behulp van het basis schema in figuur 5. Er wordt hierbij een onderscheid gemaakt tussen rechtstreekse effecten van de ingrepen en onrechtstreekse effecten als gevolg van de rechtstreekse effecten.

Rechtstreekse effecten

i. Al deze projecten grijpen in op de lokale **morfodynamiek (bodemhoogte)** door **ophoging** (storting) of **verdieping** (baggeren). De stabiliteit van de stortingen wordt opgevolgd om mogelijke veranderingen direct na de ingreep en de jaren nadien te kennen (voorbeeld projecten in de Zeeschelde: Adams et al. 2017). Ook veranderingen in de omgeving van de ingrepen wordt opgevolgd. Er wordt bijvoorbeeld gekeken of een weggebaggerde drempel niet opnieuw zou aanzanden (ongewenst voor scheepvaart).

ii. Stortstrategieën kunnen de lokale **bodemkwaliteit (sedimentsamenstelling, korrelgrootteverdeling)** sterk veranderen aangezien het nieuw materiaal heel anders kan zijn van samenstelling dan het materiaal dat aanwezig was (bijvoorbeeld slibgehalte).

(iii) Tijdens baggeren en storten kan er specie in de waterkolom terecht komen waardoor er een rechtstreeks effect kan zijn op de **waterkwaliteit (troebelheid)**. Dit effect is groter in geval van het baggeren van slib en ook voor fijn zand (pluim vorming). Echter is een pluim van zeer korte duur aangezien het snel verdund wordt waardoor dit niet voor structurele effecten zal zorgen (tijdelijk tijdens de ingreep). Dit zal daarom verder niet behandeld worden (de focus ligt op structurele effecten na de ingreep). Echter kan die tijdelijke vertroebeling wel langer aanhouden waardoor bijvoorbeeld de algengroei in een seizoen zo sterk beïnvloed kan worden dat de basisvoedselketen wordt beïnvloed. Ingeval van een ingreep tijdens het groeiseizoen moet hier toch aandacht aan besteed worden.

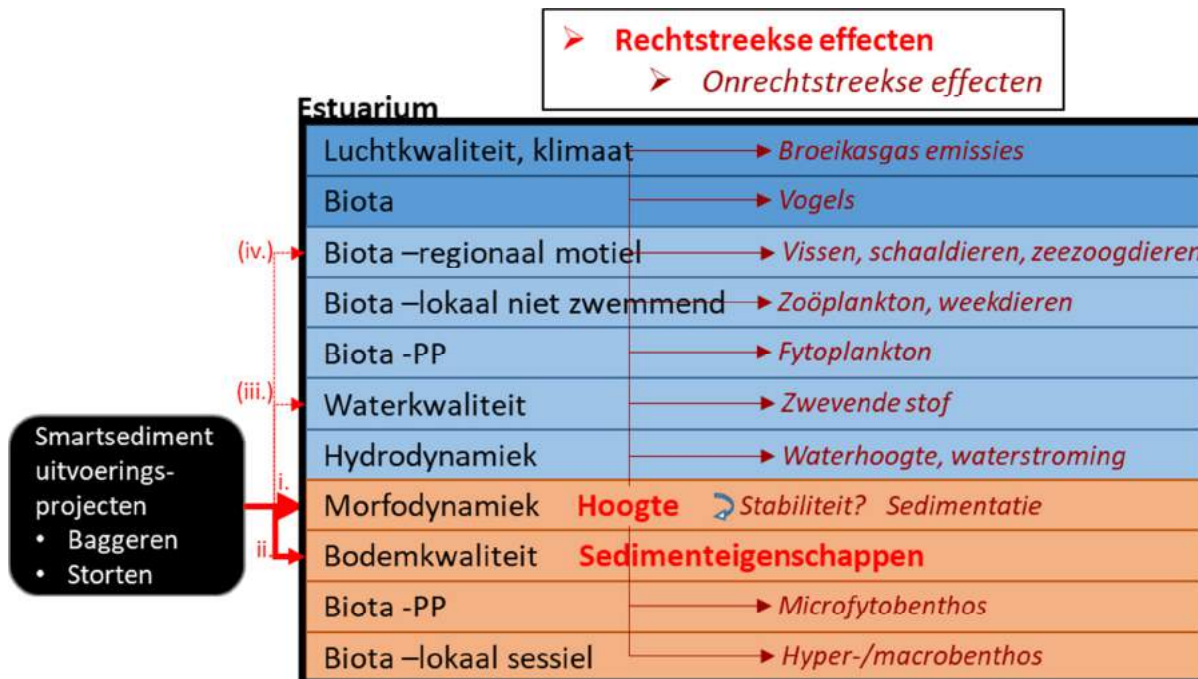
(iv) Daarnaast kan er ook nog rechtstreekse visuele of auditieve verstoring zijn op de omgeving, vooral dan op **hogere biota** (bijvoorbeeld zeehonden, bruinvissen, vissen). Dit is van tijdelijke aard tijdens de ingreep en zal daarom verder niet behandeld worden (de focus ligt op structurele effecten na de ingreep).

Onrechtstreekse effecten

Vanwege de sterke interactie tussen morfodynamiek en hydrodynamiek worden in het kader van de smartsediment uitvoeringsprojecten uitvoerig ook effecten op de **hydrodynamiek** bestudeerd (waterhoogte en waterstroming en afgeleide parameters zoals golven, verblijftijd, droogvalduur op platen, inundatie van slikken en schorren, en condities voor de scheepvaart in de nauwe bochten in de Zeeschelde). Verandering in morfo- en hydrodynamiek kan bijgevolg het voorkomen en de karakteristieken van habitattypes of ecotopen beïnvloeden (bijvoorbeeld meer laagdynamisch habitat).

Veranderingen in de morfo- en hydrodynamiek kunnen ook effect hebben op de **waterkwaliteit**. Veranderingen in waterstroming kunnen leiden tot veranderingen in zwevende stof en turbiditeit. Doorheen een getij kent het opwervelen (in suspensie brengen) of het sedimenteren van sedimenten een verloop dat in relatie staat tot de stroomsnelheid en –richting, en de sedimenteigenschappen zelf (slibgehalte). De ingrepen kunnen dan resulteren in een toename van zwevend stof (in geval van meer opwerveling), of een afname (in geval van bijvoorbeeld de creatie van een sediment vang waardoor de sediment concentratie in het rivierwater zou kunnen afnemen). Veranderingen in morfodynamiek, hydrodynamiek, bodem- en waterkwaliteit hebben vervolgens ook in meer of mindere mate effecten op **biota**. De meeste aandacht in het kader van de

Smartsediment uitvoeringsprojecten gaat naar effecten op het **benthos** (deze kan volledig bedekt worden en het kost tijd voordat de nieuwe bodem opnieuw gekoloniseerd is). Voor specifieke projecten werden ook nog andere biota dan benthos bekeken; bijvoorbeeld: Suikerplaat (**visstand** zandspieling en **nonnetjesbank** in de stortzone) (Vis 2016), Fort Filip (juvenile **vissen**, **vogels**), Roggenplaat (**vogels** zijnde de doelstelling van het project, **zeehonden** en specifiek ook de nabijgelegen commerciële **mosselpercelen** (Wijsman and Kraan 2017).



Figuur 5. Conceptueel schema voor de Smartsediment uitvoeringsprojecten: rechtstreeks effecten van baggeren en storten (licht rood) en de mogelijke onrechtstreekse effecten (donkerrood). De tijdelijke rechtstreekse effecten (iii en iv) staan aangeduid met stippellijn.

3 Effecten op ecosysteemdiensten

In het kader van Smartsediment WP4 deeltaak 1.1 (Boerema et al. 2018) werden 7 ecosysteemdiensten geselecteerd. Habitat en soortendiversiteit zijn als belangrijke biodiversiteitswaarden toegevoegd (tabel 1). In dit deel wordt schematisch weergegeven **(i)** hoe elke ecosysteemdienst wordt geleverd door het estuarium en welke systeemfuncties daarbij een rol spelen (rechtstreeks, onrechtstreeks), en **(ii)** hoe de levering van de dienst beïnvloed kan worden door sedimentingrepen (rechtstreeks en onrechtstreeks).

We kijken in deze studie enkel naar veranderingen in de ecosysteemdiensten (de mogelijkheden van het ecosysteem om de ecosysteemdiensten te leveren) en niet naar daadwerkelijke veranderingen in het gebruik van de diensten. Bijvoorbeeld: de analyse betreft dus wel een verandering van de jaarlijkse biomassa van commerciële soorten, maar niet of er daarom daadwerkelijk meer of minder gevestigd wordt. Met betrekking tot de maatschappelijke vraag en de effectieve exploitatie van de ecosysteemdiensten gaan we uit van de huidige situatie die veelal gereguleerd is. Voorbeelden van regulatie zijn visvangst quota, aangewezen percelen voor mosselkweek, diepte van de vaargeul).

Tabel 1. Lijst van geselecteerde ecosysteemdiensten voor de tool (Boerema et al. 2018)

Classificatie	ESD hoofdcategorieën	ESD sub-categorieën
Voorzienende diensten	Voedselvoorziening voor menselijke consumptie	Dierlijk
		Brak en marien
		Schelpdieren Vissen Schaaldieren
	Watervoorziening	(zee)water (kwantiteit) gebruikt voor scheepvaart
	Voorziening van hulpbronnen	Abiotische grondstoffen: zand, slib
Regulerende en ondersteunende diensten	Reguleren van water- en bodemkwaliteit	Verdunnen en vastleggen van nutriënten/polluenten uit het water, en biologische processen die verontreinigende stoffen afbreken
	Reguleren van overstromingsrisico	Reguleren overstromingsrisico: reguleren van hoogwater niveau, bufferen en afremmen van stormtij (frictie, afremmen golfenergie) Beschermen en verstevigen van natuurlijke buffers tegen overstromingen: oever stabilisatie, zand duinen formatie en stabilisatie, erosie preventie en matiging
	Klimaatregulering	Globaal klimaat: Regulering koolstof cyclus en broeikasgassen (bodem organisch materiaal, waterkolom)
Culturele diensten	Recreatie en toerisme	Mogelijkheden voor recreatie, gemeenschapsactiviteiten, ontspanning, sociale relaties
Habitat- en soortendiversiteit <i>(extra te bekijken naast ESD)</i>	Habitatdiversiteit	Habitatdiversiteit (bescherming, onderhoud en stabilisatie)
	Soortenrijkdom en bescherming van de genen pool	Vegetatie
		Algen (fytoplankton, microfytobenthos)
		Vis, schelp- en schaaldieren
		Vogels
	Zeezoogdieren	

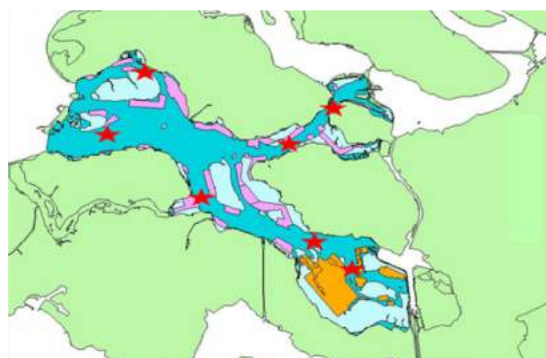
3.1 Voedselvoorziening voor menselijke consumptie

In de Scheldedelta is er commerciële visserij (schelpdieren, vissen, schaaldieren). In de Oosterschelde is er kweek en vangst van mosselen, oesters en kreeft en in de Westerschelde is er vangst van tong en garnalen.

3.1.1 Schelpdieren

In de Scheldedelta vindt enkel commerciële kweek en oogst plaats in de Oosterschelde. Mosselkweekpercelen zijn voornamelijk gesitueerd in het westelijk en centraal deel en oesterkweekpercelen in het oostelijk deel van de Oosterschelde (figuur 6). Commerciële kokkelvangst werd volledig afgebouwd ten gunste van een voldoende groot kokkelbestand voor vogels (Smaal et al. 2013). Gezien de omvang van het aantal mosselkweekpercelen in de Oosterschelde en de focus op de uitvoeringsprojecten van het Smartsedimentproject (Roggenplaat in het meest noordwestelijke deel van de Oosterschelde), wordt verder enkel gekeken naar mogelijke effecten op de mosselkweekpercelen.

De maatschappelijke bijdrage van commerciële schelpdierenproductie voor menselijke voedselvoorziening wordt bepaald door het aantal en vleesgewicht van de schelpdieren die aan de veiling worden aangeboden (Capelle 2017). Dit bepaalt de economische opbrengst voor de boer (prijs die de veiling betaalt). Extra factoren die een rol spelen in de prijszetting zijn de kwaliteit van de schelpdieren, concurrentie van kopers (hoeveel vraag er is) en aanbod van andere regio's en landen (Capelle 2017). Al deze factoren zorgen voor een erg fluctuerende prijs. Voor de mosselen afkomstig van de Oosterschelde schommelt de prijs die de veiling (Yerseke) betaalt tussen 0.5 en 2 euro per kg (Capelle 2017). De netto-opbrengst voor de boeren wordt bepaald door de marktprijs te corrigeren voor de productiekosten. Een belangrijke kost voor mosselboeren is het oogsten van mosselzaad (0.03-0.7 €/kg mosselzaad) (Capelle 2017).



Figuur 6. De Oosterschelde mossel kweekpercelen in het westelijk en centraal deel (roze vakken) en oester kweekpercelen in het oostelijk deel (oranje vakken). Meetlocaties voor chlorofyl, zwevend stof en primaire productie zijn aangeduid (★). (Smaal et al. 2013)

3.1.1.1 Levering van de dienst door het estuarium

De levering van de ESD voedselvoorziening schelpdieren (mosselen, oesters) wordt bepaald door de **jaarlijkse biomassa aangroei** of **productiviteit (g/m²/jaar)**. We beperken ons hier tot de productiviteit van bestaande commerciële mosselpercelen in de Oosterschelde. Voor deze dienst wordt dus niet gekeken naar het effect op schelpdieren buiten deze vergunde percelen. De effecten

zullen gelijk zijn, behalve dat boeren op commerciële percelen een deel van de natuurlijke processen nabootsen (bijvoorbeeld uitzetten van broed dat elders wordt gevangen). Dit betekent dat boeren de volledige mosselbiomassa op hun perceel kunnen oogsten aangezien het broed voor de volgende generatie van elders wordt gehaald. De totale biomassa aan mosselen in de Oosterschelde moet dan wel groot genoeg zijn (in verhouding tot de oogstbare biomassa) om in de toekomst nog voldoende broed te kunnen vangen.

Hieronder worden de belangrijkste factoren besproken die schelpdierproductiviteit kunnen beïnvloeden. Dit omvat natuurlijke en menselijke factoren die de groei en/of sterfte van schelpdieren beïnvloeden (schematisch weergegeven in figuur 7 en 8).

Groei is het netto resultaat van **voedsel opname (energie opname)** en **respiratie**. Voedsel opname wordt bepaald door de voedselconcentratie, voedselkwaliteit en voedselaanvoer (Capelle 2017). De hoeveelheid en kwaliteit van het broed vormt het basis potentieel voor aangroei van de populatie.

- Broed (densiteit, kwaliteit): Beschikbaarheid van broed kan een beperkende factor zijn voor schelpdier kweek. In Nederland is er in 1991 een systeem van broed quota geïntroduceerd om het beschikbare broed te verdelen tussen bedrijven (rekening houdend met licenties, grootte van de bedrijven en hoeveel ze aan de veiling afleveren).
- Voedselconcentratie: Het voedsel bestaat uit **levende microalgen** (fytoplankton) en **detritus**. In een studie van 2001 werd een positieve relatie gevonden in de Oosterschelde tussen de conditie van geogste mosselen (mossel vlees als % van totaal gewicht) en **primaire productie**. Echter, meer recent lijkt deze relatie niet meer van tel voor commerciële schelpdierproductie. Ondanks de sterke daling van primaire productie in de Oosterschelde is de kwaliteit van de schelpdieren (vleesgehalte) gehandhaafd als gevolg van aangepaste kweekpraktijken zoals bijvoorbeeld het aanpassen van de densiteit aan mossel broed (Smaal et al. 2013).
- Voedselkwaliteit, voedsel opname efficiëntie: Mosselen filteren **partikels groter dan 4 µm** (Capelle 2017). Een toename in SPM ('suspended particulate matter'; zwevendstofconcentratie in de waterkolom) is negatief voor de voedselkwaliteit omdat mosselen dan minder goed in staat zijn om algen op te nemen als dit in hoge mate gemengd is met grotere partikels.
- Voedselaanvoer (aanvoer van water met een bepaalde concentratie): Voedselaanvoer is vooral afhankelijk van watertransport (horizontaal door **stroming** en verticale **menging** in de waterkolom). Een hoge **stroomsnelheid** is dus gunstig voor meer aanvoer van voedsel, maar bij een te hoge stroomsnelheid dreigen schelpdieren weg te spoelen (Capelle 2017).

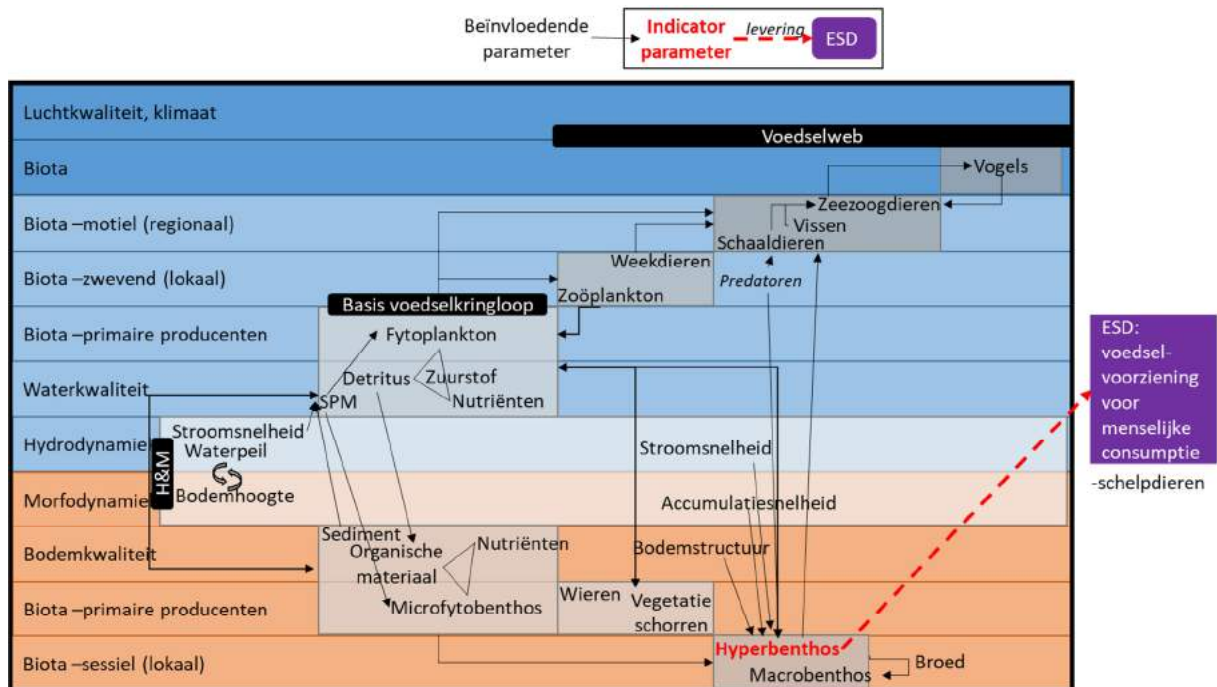
Het aantal oogstbare schelpdieren op een kweekperceel kan afnemen (**sterfte/niet voor consumptie geschikt**) door **hydrologische of hydrodynamische krachten**, type en stabiliteit van **substraat, predatie en schadelijke algenbloei en toxische stoffen**.

- Hydrodynamiek: **Golven** en **stroming** kunnen de geschiktheid van een locatie voor het vesting gebied van mosselzaad beïnvloeden en kan ook mosselbroed wegspoelen (winterstormen).
- Substraat: **Ophoging** van het sediment (faeces, sedimentatie) kan leiden tot het loskomen van mosselen of zelfs verstikking (Capelle 2017).

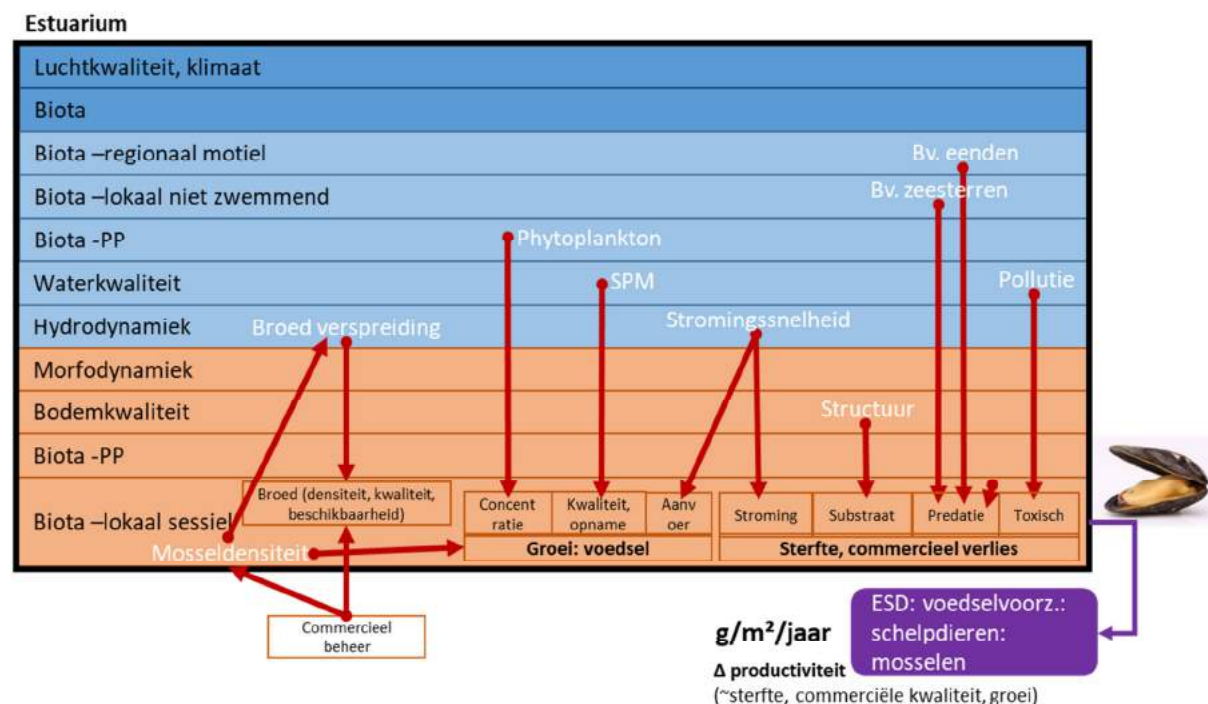
- **Predatie:** **Predatoren** van (subtidale) mosselen zijn kustkrabben, zeesterren en eenden (molluscivore, duikend) (Capelle 2017).
- **Toxische stoffen:** De aanwezigheid van **tetrodotoxine (TTX)** aan het begin van het mosselseizoen was een van de voornaamste redenen van een daling van de mossel omzet in de Oosterschelde in 2016 in vergelijking met 2015 (WUR 2017). Verschillende studies onderzoeken de opname van **chemische stoffen** (bijvoorbeeld brandvertragers) in schelpdieren (Booij et al. 2002, Van den Broeck et al. 2007, van Leeuwen and de Boer 2008, Wepener et al. 2008). Dit kan ervoor zorgen dat schelpdieren niet meer geschikt zijn voor verkoop en consumptie.

Naast deze natuurlijke processen die de schelpdierproductiviteit beïnvloeden, heeft de kweker zelf ook mogelijkheden om de productiviteit te verbeteren. De belangrijkste aspecten die een kweker kan controleren om groei en overleving te optimaliseren zijn het oogsten van broed, het zaaien op percelen (densiteitscontrole), locatie selectie en controle van predatoren.

- **Densiteit controle op mosselpercelen:** De densiteit van het mossel **broed** heeft een sterk negatief effect op het mossel vleesgewicht en op de relatieve biomassa productie (Capelle 2017).
- **Locatie selectie:** Kwekers zijn beperkt tot de vergunde percelen. Locaties met hoge **voedsel fluxes** (voedselconcentratie en voedselaanvoer) resulteren in de hoogste productiviteit. Groei stijgt bij toenemende stromingsnelheid tot een threshold van 0,8 m/s (Capelle 2017). Sterkere stroming kan zorgen voor het wegspoelen van schelpdieren.



Figuur 7. Conceptueel schema van de levering van de dienst voedselvoorziening voor menselijke consumptie: schelpdieren (mosselen). De indicator parameter (vetgedrukte rode termen) voor de levering van deze ecosysteemdienst is de jaarlijkse biomassa aangroei van commercieel gevangen soorten. Alle onderdelen van het functioneren van het ecosysteem die de levering van deze dienst kunnen beïnvloeden zijn in de figuur weergegeven door zwarte pijlen (beïnvloedende parameters).



Figuur 8. Meer gedetailleerd conceptueel schema van de levering van de dienst Voedselvoorziening voor menselijke consumptie: schelpdieren (mosselen). De parameters/eigenschappen in rode blokjes bepalen de levering van de ecosysteemdienst. De parameters in wit zijn ecosysteemeigenschappen die dit kunnen beïnvloeden (rode pijlen) en dus onrechtstreeks ook belangrijk zijn voor de levering van de ecosysteemdienst.

3.1.1.2 Ingreep-effect relaties

De schematische voorstelling van de rechtstreekse en onrechtstreekse effecten van de uitvoeringsprojecten (figuur 5) wordt nu gecombineerd met de schematische voorstelling van de levering van de dienst voedselvoorziening voor menselijke consumptie: schelpdieren (mosselen) (figuren 7-8). Dit laat toe om effectketens van ingreep tot ecosysteemdienst te identificeren (schematisch weergegeven in figuur 9-10 (nummering van de effecten in de tekst komt overeen met de nummering van effecten in de figuur)).

Rechtstreeks effect:

(1) Verandering in bathymetrie door een storting kan een rechtstreeks effect hebben op de kwaliteit van de kweekpercelen en onrechtstreeks over de tijd als het gestort materiaal zich nog verplaatst (dit is gelinkt aan de erosiegevoeligheid van het sediment, en stroming). Hierdoor kunnen schelpdieren begraven worden of verstikken en kan het substraat instabieler worden waardoor schelpdieren makkelijker kunnen wegspoelen.

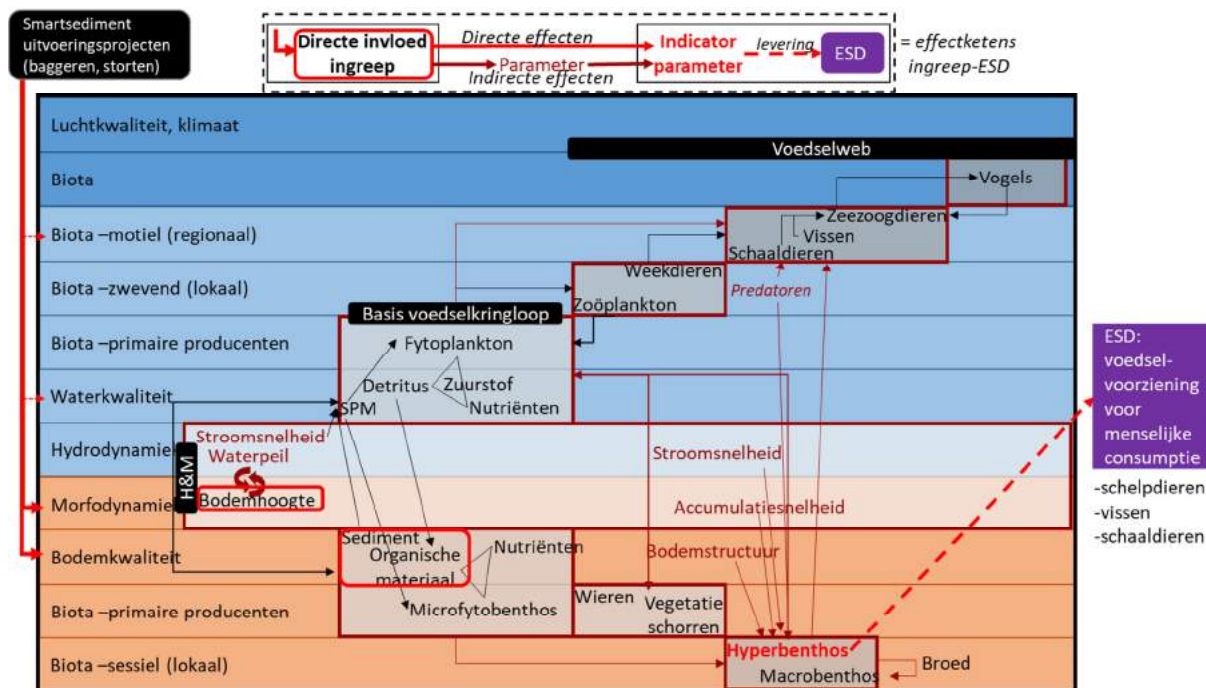
Onrechtstreekse effecten:

(2) Daarnaast zorgt een verandering in bathymetrie ook voor een verandering in **stroming** (diepte, overstromingsperiode, stroomsnelheid). Een toename van de stroming is goed voor voedselaanvoer, maar een te sterke stroming kan zorgen voor het wegspoelen van schelpdieren (Capelle 2017).

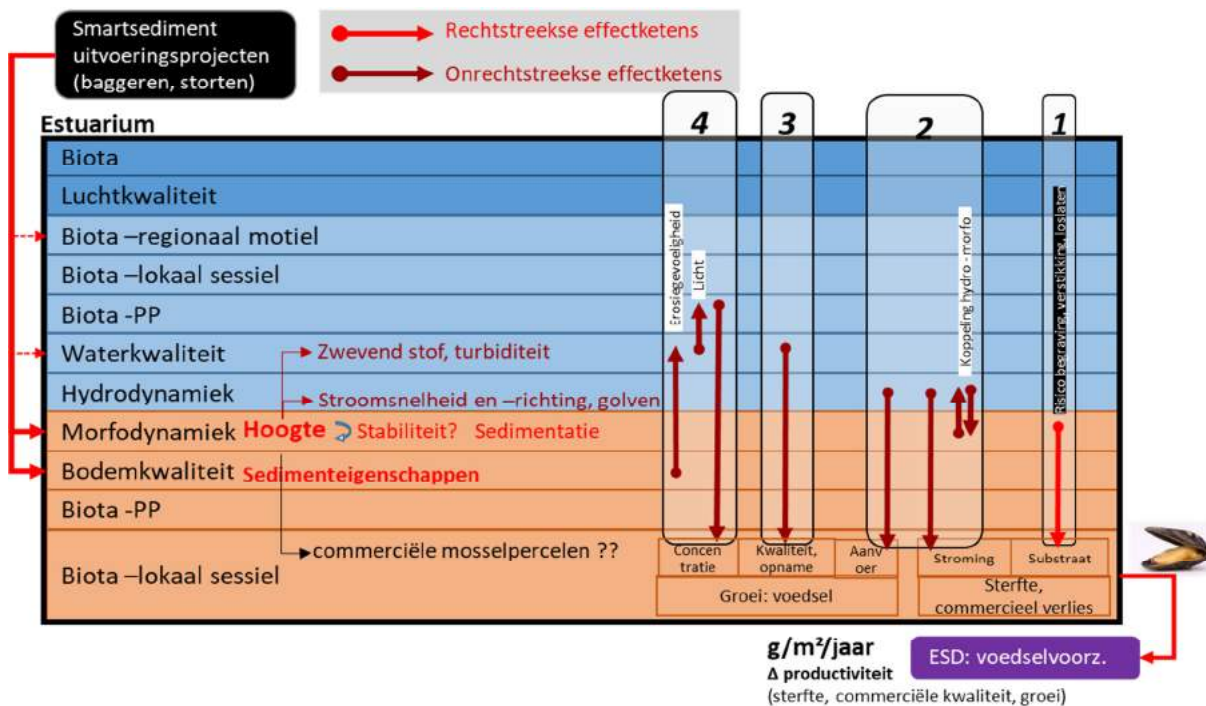
(3) Toename in **SPM** in een ruim gebied (als gevolg van een gewijzigde hydrodynamiek door veranderingen in morfologie) kan een rechtstreeks gevolg hebben voor de voedselopname door schelpdieren. Lange termijn verhoging van de sedimentconcentratie kan ervoor zorgen dat schelpdieren moeilijker voedsel kunnen opnemen. Verandering in sedimenttype (korrelgrootte

verdeling gestort materiaal) kan ook een invloed hebben op SPM mogelijks in de nabijheid van kweekpercelen (fijner sediment kan makkelijker in suspensie komen).

(4) Daarnaast zorgt een toename in SPM voor een effect op **primaire productie** (productiesnelheid van fytoplankton), als gevolg van een verandering in het lichtklimaat (ratio fotsche en mengdiepte). Dit zorgt voor een verandering van het voedselaanbod voor schelpdieren. Een verandering in SPM en de daarmee gepaard gaande invloed op primaire productie zal dus resulteren in een dubbel effect op scheldierproductie door een verandering van voedselaanbod enerzijds en de voedsel opname capaciteit anderzijds.



Figuur 9. Conceptueel schema van effectketens van de Smartsediment uitvoeringsprojecten op de ESD Voedselvoorziening voor menselijke consumptie: schelpdieren (mosselen) met aanduiding van effectketens (donkerrode pijlen) tussen de direct beïnvloede parameters door de ingreep (rood kader) en de indicator parameter (vetgedrukte rode term).



Figuur 10. Meer gedetailleerd conceptueel schema van effectketens van sedimentbeheer op de ecosysteemdienst schelpdierproductie als voedselvoorziening voor menselijke consumptie met aanduiding van 1 rechtstreekse effectketen (licht rode pijlen) en 3 onrechtstreekse effectketens (donkerrode pijlen).

3.1.2 Vissen

Commerciële visserij in de Scheldedelta wordt sterk afgebouwd. Er wordt enkel nog tong gevangen in de monding van de Westerschelde. Omwille van sterke verontreiniging is vangst van paling is niet meer toegelaten. Visserij op tong vindt plaats in de periode september-november.

3.1.2.1 Levering van de dienst door het estuarium

Het estuarium draagt bij aan het visbestand van soorten die in het estuarium commercieel worden gevangen maar ook voor soorten die buiten het estuarium commercieel worden gevangen. Een **jaarlijkse toename in visbiomassa (productiviteit)** betekent dat vis gevangen kan worden voor menselijke consumptie. Duurzame visvangst, zonder het visbestand over te bevissen, is mogelijk wanneer maximaal de jaarlijkse biomassa aangroei wordt gevangen (“maximum sustainable yield”).

De Scheldemonitorwebsite geeft geen informatie over het tongbestand (en ook niet over andere vissen). Daarnaast is er ook maar beperkt onderzoek naar de systeemeigenschappen die cruciaal zijn voor vissen (reproductie, overleving, groei, etc.). De studie van Lievaert and Pouwer (2003) geeft wel enkele indicaties van habitat en voedselvereisten voor tal van vissoorten (incl. tong), garnalen en kreeft. Deze studie onderzocht ook de effecten van baggeractiviteiten op vissen en garnalen.

Figuur 11 geeft een samenvatting van de beïnvloedende parameters in het estuarium voor de **jaarlijkse toename in visbiomassa**.

Hydromorfodynamiek

Hydromorfodynamiek resulteert in het al dan niet voorkomen van bepaalde habitattypes en de abiotische kenmerken van het habitat dewelke gunstig of ongunstig kunnen zijn voor specifieke vissen. De tong gebruikt **slik** en **zand** als habitat (Lievaert and Pouwer 2003).

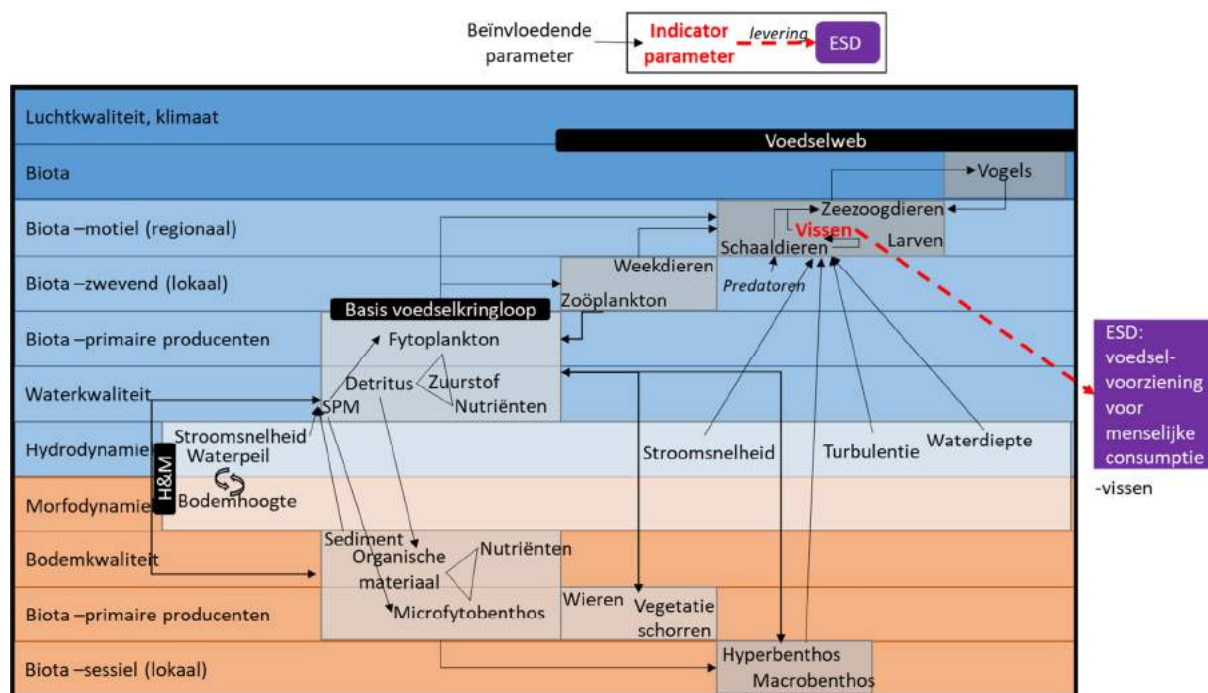
Als reproductiegebied voor jonge vis zijn vooral **ondiepwatergebieden** en **laaggelegen intergetijdengebieden** (platen, slikken) zijn het meest geschikt. Bepalende factoren hierbij zijn bodem type (korrelgrootte van het sediment: zand, slib), waterdiepte, getij-invloeden (stroomsnelheid, turbulentie) en voedsel. De tong gebruikt **ondiepere zones** tot -10 m NAP als kinderkamer (Lievaert and Pouwer 2003). Er wordt aangenomen dat gebieden met een lage **stroomsnelheid** geschikt zijn als kraam- en kinderkamergebied. Een kengetal hiervoor is 0,5 m/s, maar er is geen nadere onderbouwing voor dit getal (Lievaert and Pouwer 2003). Waarschijnlijk wordt de geschiktheid van een gebied voor jonge vis meer bepaald door **turbulentie** dan door stroomsnelheden (Lievaert and Pouwer 2003). Jonge vis kan uit hun geschikte leefomgeving worden geslagen in hoog turbulente gebieden, of bezinken bij te lage turbulentie.

Basis voedselkringloop en voedselweb

De basis voedselkringloop en voedselweb bepalen het voedselaanbod voor vissen. Het voedselaanbod bepaalt in belangrijke mate de groei van vissen en dus de biomassa oogstbare vis. De tong voedt zich met **crustaceeën**, **schelpdieren**, en **polychaeten** (Lievaert and Pouwer 2003). Ook voor een succesvolle reproductie is voedselaanbod in de kinderkamer een dominante factor (Lievaert and Pouwer 2003).

Het voortbestaan van een soort wordt in eerste instantie bepaald door het reproductie succes (hoeveelheid en kwaliteit van **larven**).

Naast groei en reproductie, kan sterfte en commercieel verlies (niet consumeerbare vis) de ecosysteemdienst beïnvloeden. De **water- en bodemkwaliteit** (nutriënten, pollutie, saliniteit) is bepalend voor het voorkomen van bepaalde soorten en mogelijke **toxiciteit** (grenswaarden voor menselijke consumptie). Tot slot kan ook nog **predatie** plaatsvinden door vogels, andere vissen en zoogdieren waardoor ook de jaarlijkse productiviteit van de commerciële vissoorten kan beïnvloed worden.



Figuur 11. Conceptueel schema van de levering van de dienst voedselvoorziening voor menselijke consumptie (vissen). De indicator parameters (vetgedrukte rode termen) voor de levering van deze ecosysteemdienst zijn een verandering in jaarlijkse biomassa aangroei van commercieel gevangen soorten. Alle onderdelen van het functioneren van het ecosysteem die de jaarlijkse biomassa aangroei van commerciële soorten kunnen beïnvloeden zijn in de figuur weergegeven door zwarte pijlen (beïnvloedende parameters).

3.1.2.2 Ingreep-effect relaties

De schematische voorstelling van de rechtstreekse en onrechtstreekse effecten van de uitvoeringsprojecten (figuur 5) wordt nu gecombineerd met de schematische voorstellingen van de levering van de dienst voedselvoorziening voor menselijke consumptie: vissen (figuur 11). Dit laat toe om effectketens van ingreep tot ecosysteemdienst te identificeren. Dit omvat een reeks effecten die hieronder kort worden beschreven en schematisch staan weergegeven in figuur 12.

1. Impact op habitat

→ **Effect:** verandering hydromorfologische interacties en bodemsamenstelling (sedimenteigenschappen) → verandering **habitat karakteristieken** (substraat, water diepte, stroomsnelheid, turbulentie)

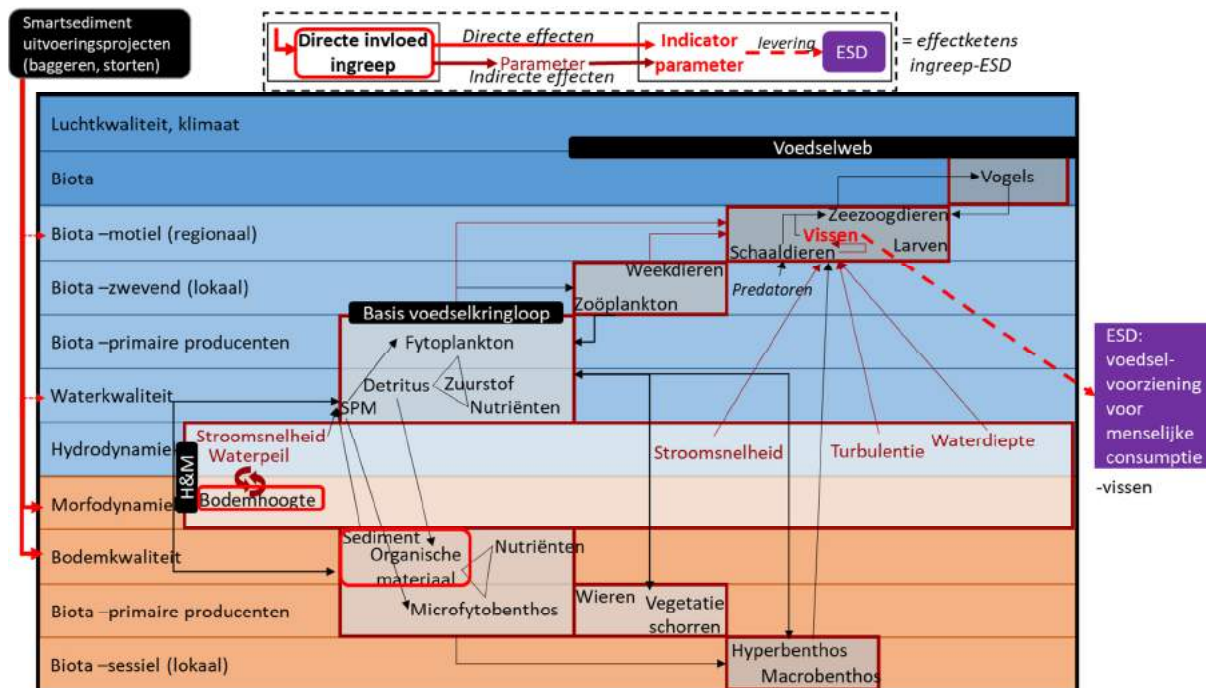
2. Impact op voedsel

→ **Effect:** verandering hydromorfologische interacties en bodemsamenstelling (sedimenteigenschappen) → verandering volledige **voedselweb:** pelagisch (SPM → algen),

benthisch (begruwing, sedimentsamenstelling) → verandering **voedselaanbod** voor commercieel gevangen vissen

3. Impact op sterfte

→ Effect: verandering hydromorfologische interacties en bodemsamenstelling (sedimenteigenschappen) → verandering volledige **voedselweb**: pelagisch (SPM → algen), benthisch (begruwing, sedimentsamenstelling) → verandering van **voorkomen van predatoren**



Figuur 12. Conceptueel schema van effectketens van sedimentbeheer op de ecosysteemdienst visproductie als voedselvoorziening (menselijke consumptie) met aanduiding van onrechtstreekse effectketens (donkerrode pijlen).

3.1.3 Schaaldieren

Commerciële visserij in de Scheldedelta wordt sterk afgebouwd. Specifiek voor schaaldieren worden nog garnalen gevangen in de Westerschelde en kreeft in de Oosterschelde. Het belangrijkste seizoen voor de visserij is de zomerperiode van mei/juni tot oktober/november. Voor garnaal is de periode korter (september-november).

3.1.3.1 Levering van de dienst door het estuarium

Het estuarium draagt bij aan schaaldierenbestand. Een **jaarlijkse toename in biomassa (productiviteit)** betekent dat meer schaaldieren gevangen kunnen worden voor menselijke consumptie. Duurzame vangst, zonder het bestand over te bevissen, is mogelijk wanneer maximaal de jaarlijkse aangroei van biomassa wordt gevangen (“maximum sustainable yield”).

De Scheldemonitor website geeft geen informatie over het bestand van garnalen en kreeft. Daarnaast is er ook maar beperkt onderzoek naar de systeemeigenschappen die cruciaal zijn voor garnalen en kreeft. De studie van Lievaert and Pouwer (2003) wel enkele specificaties over de Gewone garnaal met betrekking tot reproductie, overleving, groei, etc..

Figuur 13 geeft een samenvatting van de voornaamste beïnvloedende parameters in het estuarium voor de **jaarlijkse toename in biomassa**.

Hydromorfodynamiek

Hydromorfodynamiek resulteert in het al dan niet voorkomen van bepaalde habitattypes en de abiotische kenmerken van het habitat dewelke gunstig of ongunstig kunnen zijn voor specifieke schaaldieren. De Gewone garnaal gebruikt **slik** en **zand** als habitat (Lievaert and Pouwer 2003).

Als reproductiegebied voor jonge schaaldieren zijn vooral **ondiepwatergebieden** en **laaggelegen intergetijdengebieden** (platen, slikken) het meest geschikt. Bepalende factoren hierbij zijn bodem type (korrelgrootte van het sediment: zand, slib), waterdiepte, getij-invloeden (stroomsnelheid, turbulentie) en voedsel. De gewone garnaal gebruikt **ondiepere zones** tot -30 m NAP voor reproductie (Lievaert and Pouwer 2003). Voor pelagische soorten zoals kreeften is het leefgebied moeilijker af te bakenen aangezien zij in de geulen kunnen gaan bij laagwater en boven de platen kunnen komen bij hoogwater. Er wordt aangenomen dat gebieden met een lage **stroomsnelheid** geschikt zijn als kraam- en kinderkamergebied. Een kengetal hiervoor is 0,5 m/s, maar er is geen nadere onderbouwing voor dit getal (Lievaert and Pouwer 2003). Waarschijnlijk wordt de geschiktheid van een gebied voor jonge garnaal meer bepaald door **turbulentie** dan door stroomsnelheden (Lievaert and Pouwer 2003).

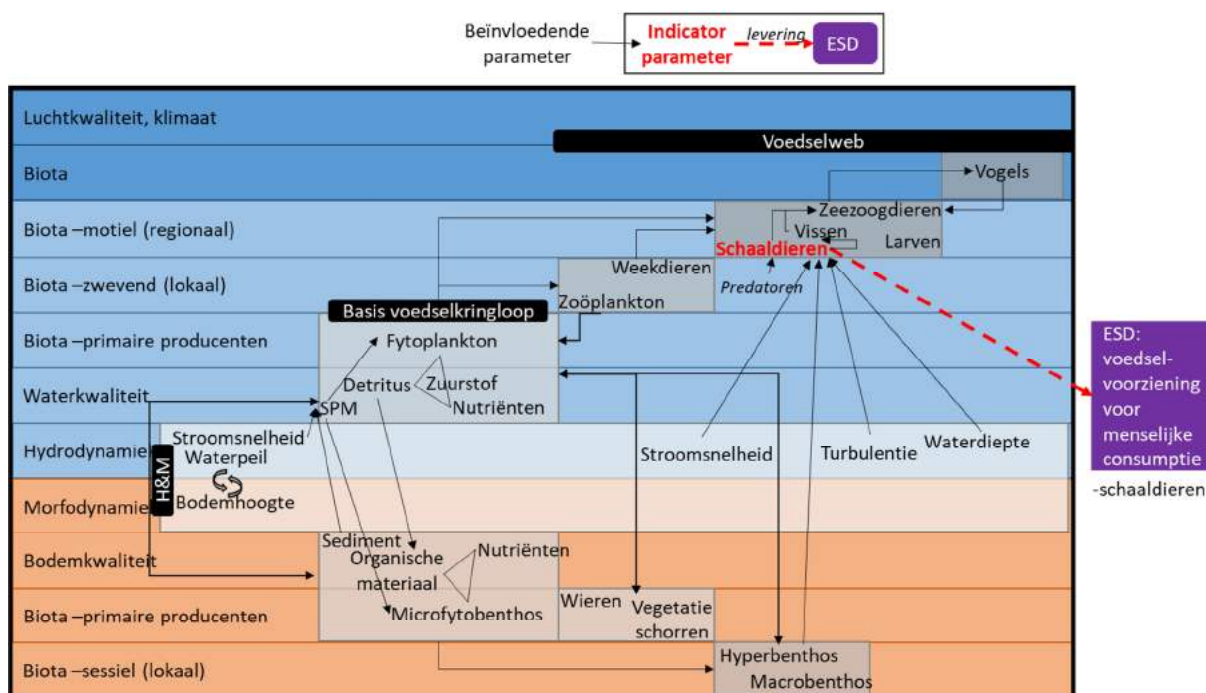
Basis voedselkringloop en voedselweb

De basis voedselkringloop en voedselweb bepalen het **voedselaanbod** voor vissen. Het voedselaanbod bepaalt in belangrijke mate de groei van schaaldieren en dus de oogstbare biomassa. Een grote groep van garnalen komt zowel benthisch als ook hyperbenthisch voor. De voedselpreferentie van de garnaal is erg gevarieerd van detritus tot glasaal en schollarven (Lievaert and Pouwer 2003). In de Westerschelde is er een piek van meer garnaal (en ook meer vis) op de scheiding zoet/zout (in het oostelijke deelgebied). Door het speciale zoet-zout gehalte sterft er veel

plankton en is er een verhoging van het organisch detritus (Lievaert and Pouwer 2003). Voedselaanbod is een dominante factor voor kinderkamer voor garnalen: hoeveelheid en diversiteit van fytoplankton, detritus, fyto-benthos en macrobenthos (Lievaert and Pouwer 2003).

Het voortbestaan van een soort wordt in eerste instantie bepaald door het reproductie succes (hoeveelheid en kwaliteit van larven).

Naast groei en reproductie, kan sterfte en commercieel verlies (niet consumeerbare schaaldieren) de ecosysteemdienst beïnvloeden. De **water- en bodemkwaliteit** (nutriënten, pollutie, saliniteit) is bepalend voor het voorkomen van bepaalde soorten en de **toxiciteit** (grenswaarden voor menselijke consumptie). Tot slot kan ook nog **predatie** plaatsvinden door vogels, andere vissen en zoogdieren waardoor ook de jaarlijkse productiviteit van de commerciële soorten kan beïnvloed worden.



Figuur 13. Conceptueel schema van de levering van de dienst voedselvoorziening voor menselijke consumptie (schaaldieren). De indicator parameters (vetgedrukte rode termen) voor de levering van deze ecosysteemdienst zijn een verandering in jaarlijkse biomassa aangroei van commercieel geoogste soorten. Alle onderdelen van het functioneren van het ecosysteem die de jaarlijkse biomassa aangroei van commerciële soorten kunnen beïnvloeden zijn in de figuur weergegeven door zwarte pijlen (beïnvloedende parameters).

3.1.3.2 Ingreep-effect relaties

De schematische voorstelling van de rechtstreekse en onrechtstreekse effecten van de uitvoeringsprojecten (figuur 5) wordt nu gecombineerd met de schematische voorstellingen van de levering van de dienst voedselvoorziening voor menselijke consumptie: schaaldieren (figuur 13). Dit laat toe om effectketens van ingreep tot ecosysteemdienst te identificeren. Dit omvat een reeks effecten die hieronder kort worden beschreven en schematisch staan weergegeven in figuur 14.

1. Impact op habitat

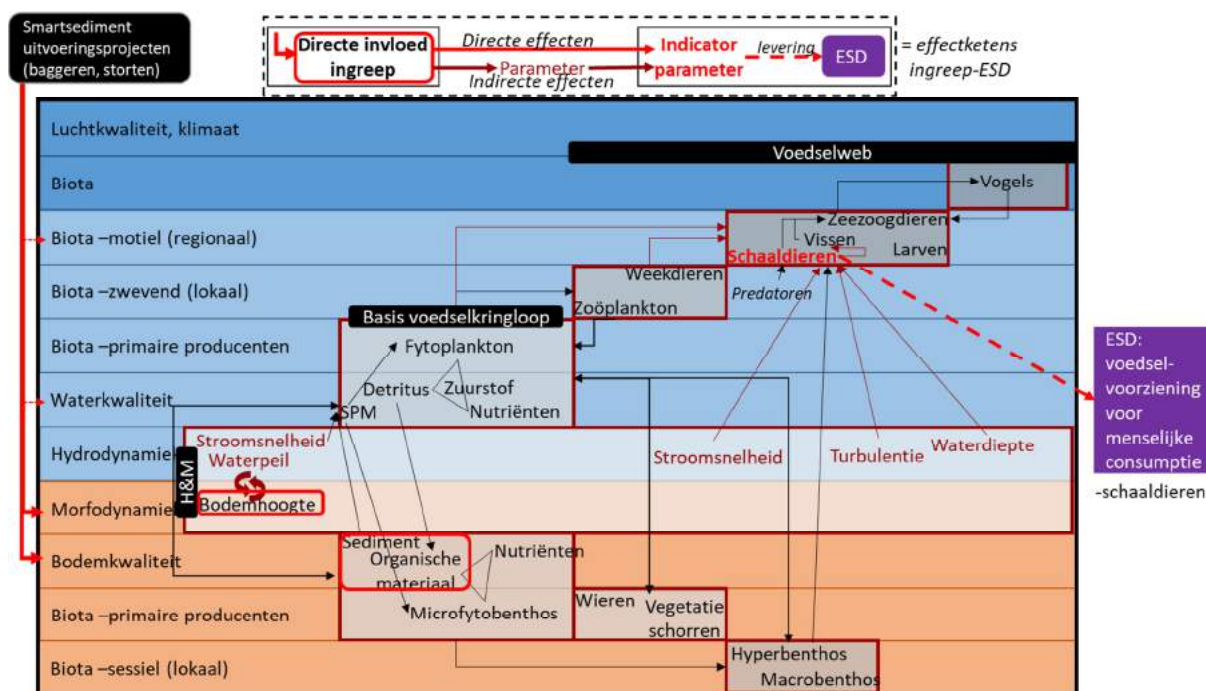
→ **Effect**: verandering hydromorfologische interacties en bodemsamenstelling (sedimenteigenschappen) → verandering **habitat karakteristieken** (substraat, water diepte, stroomsnelheid, turbulentie)

2. Impact op voedsel

→ Effect: verandering hydromorfologische interacties en bodemsamenstelling (sedimenteigenschappen) → verandering volledige **voedselweb**: pelagisch (SPM → algen), bentisch (begroeiing, sedimentsamenstelling) → verandering van **voorkomen van voedsel** voor commercieel gevangen schaaldieren

3. Impact op sterfte

→ Effect: verandering hydromorfologische interacties en bodemsamenstelling (sedimenteigenschappen) → verandering volledige **voedselweb**: pelagisch (SPM → algen), bentisch (begroeiing, sedimentsamenstelling) → verandering van **voorkomen van predatoren**



Figuur 14. Conceptueel schema van effectketens van sedimentbeheer op de ecosystemedienst schaaldierproductie als voedselvoorziening (menselijke consumptie) met aanduiding van onrechtstreekse effectketens (donkerrode pijlen).

3.2 Voorziening van ruimte (water) voor scheepvaart

3.2.1 Levering van de dienst door het estuarium

Het estuarium zorgt ervoor dat er ruimte (water) is dat scheepvaart mogelijk maakt. Ingrepen zoals verruiming en onderhoudsbaggerwerken zorgen ervoor dat deze dienst benut kan worden. Hierbij is toegankelijkheid die onafhankelijk is van het getij een belangrijke meerwaarde. Vooral voor diepliggende zeeschepen is er dus nood aan ingrepen (Westerschelde tot aan de haven van Antwerpen). Maar ook voor binnenvaart kunnen ingrepen nodig zijn zoals het onderhoud van bochten (Zeeschelde).

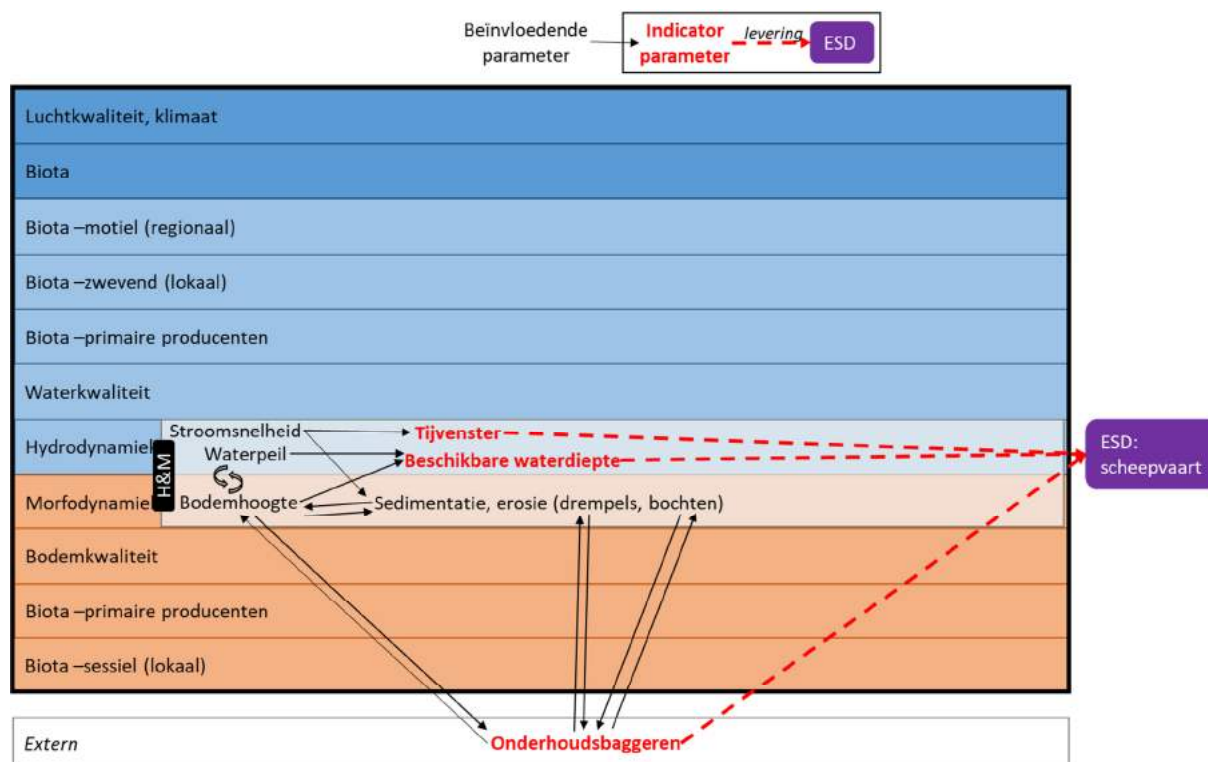
Onderhoudsbaggerwerken (in m³/jaar) in het Schelde-estuarium (Westerschelde, Zeeschelde), inclusief de havens, zijn noodzakelijk voor de toegankelijkheid voor de scheepvaart (zeevaart en binnenvaart). De omvang van onderhoudsbaggerwerken wordt enerzijds bepaald door de afspraken (en vergunningen) over gegarandeerde diepte en anderzijds door de natuurlijke processen (bijvoorbeeld aanzanding van drempels en havenbekkens). Dit is schematisch voorgesteld in figuur 15.

1. De overeengekomen minimale **geuldimensies** (relatief tot een vastgesteld waterniveau) bepalen de toegankelijkheid. Hierin is een laagwaterstand besloten waaronder scheepvaart niet meer veilig is. Vooral drempels in de vaargeul vormen een kritiekpunt met betrekking tot deze minimale laagwaterstand. Als zulke laagwaterstanden vaker voorkomen dan bij de vaststelling van de dimensies het geval was, wordt de toegankelijkheid vaker toch niet gehaald. Toegankelijkheid wordt verder (in het bijzonder in de Zeeschelde) ook bepaald door de afstand die onder bruggen beschikbaar blijft bij hoogwater.

Geulen veranderen mee met het systeem. Wanneer **drempels** in de vaargeul sneller aanzanden of platen opschuiven in de richting van de vaargeul leidt dat tot meer noodzakelijke onderhoudsbaggerwerken. Sturend hierbij is het proces van **sedimentatie en erosie**. Dit wordt weer gestuurd door de hydrodynamiek (snelheid en richting van stroming, zelf weer afhankelijk van het getij, en ook de golven), door **sedimenteigenschappen** en de **beschikbaarheid van sediment** in enerzijds de nabije omgeving (zandig sediment) en anderzijds een groter deel (slib).

2. Het **tijvenster** bepaalt ook de mogelijkheden voor scheepvaart. Dit is de tijd tijdens een getij dat er voldoende beschikbare diepte is voor getijafhankelijke scheepvaart. Dit wordt zelf weer bepaald door de **looptijd tijdens hoog- en laagwater** (afhankelijk van de voortplantingssnelheid van de hoog- en laagwatergolf die zelf weer wordt bepaald door allerlei soorten frictie (geometrie, bathymetrie, bodem ruwheid).

3. De **stroomsnelheid, -richting en dwarsstroming** kunnen de mogelijkheden voor scheepvaart bijkomend beïnvloeden. Een hoge stroomsnelheid kan moeilijke manoeuvres bemoeilijken, sterke dwarsstromingen kunnen scheepvaart in gevaar brengen, maar anderzijds kan net van de stroming gebruik worden gemaakt om schepen te laten draaien (om bijvoorbeeld het Deurganckdok in te varen).



Figuur 15. Conceptueel schema van de levering van de dienst voorziening van ruimte (water) voor scheepvaart. Indicator parameters (vetgedrukte rode termen) voor de levering van deze ecosystemedienst zijn beschikbare diepte, tijvenster en de omvang van noodzakelijke onderhoudsbaggerwerken. Alle onderdelen van het functioneren van het ecosysteem die de beschikbare diepte, tijvenster en de omvang van noodzakelijke onderhoudsbaggerwerken kunnen beïnvloeden zijn in de figuur weergegeven door zwarte pijlen (beïnvloedende parameters).

3.2.2 Ingreep-effect relaties

De schematische voorstelling van de rechtstreekse en onrechtstreekse effecten van de uitvoeringsprojecten (figuur 5) wordt nu gecombineerd met de schematische voorstellingen van de levering van de ecosystemedienst ruimte en water voor scheepvaart (figuur 15). Dit laat toe om effectketens van ingreep tot ecosystemedienst te identificeren. Dit omvat een reeks effecten die hieronder kort worden beschreven en schematisch staan weergegeven in figuur 16.

1. **Ingreep: verandering in bodemhoogte (vaargeul)**

→ **Effect:** directe verandering op beschikbare diepte vaargeul (baggeren)

→ **Effect:** verandering van de stroming – waterpeil – bodemhoogte in de vaargeul (hydromorfologische interacties) → invloed op beschikbare diepte vaargeul (waterpeil bij hoog- en laagwater), en tijvenster (looptijd tijdens hoog- en laagwater).

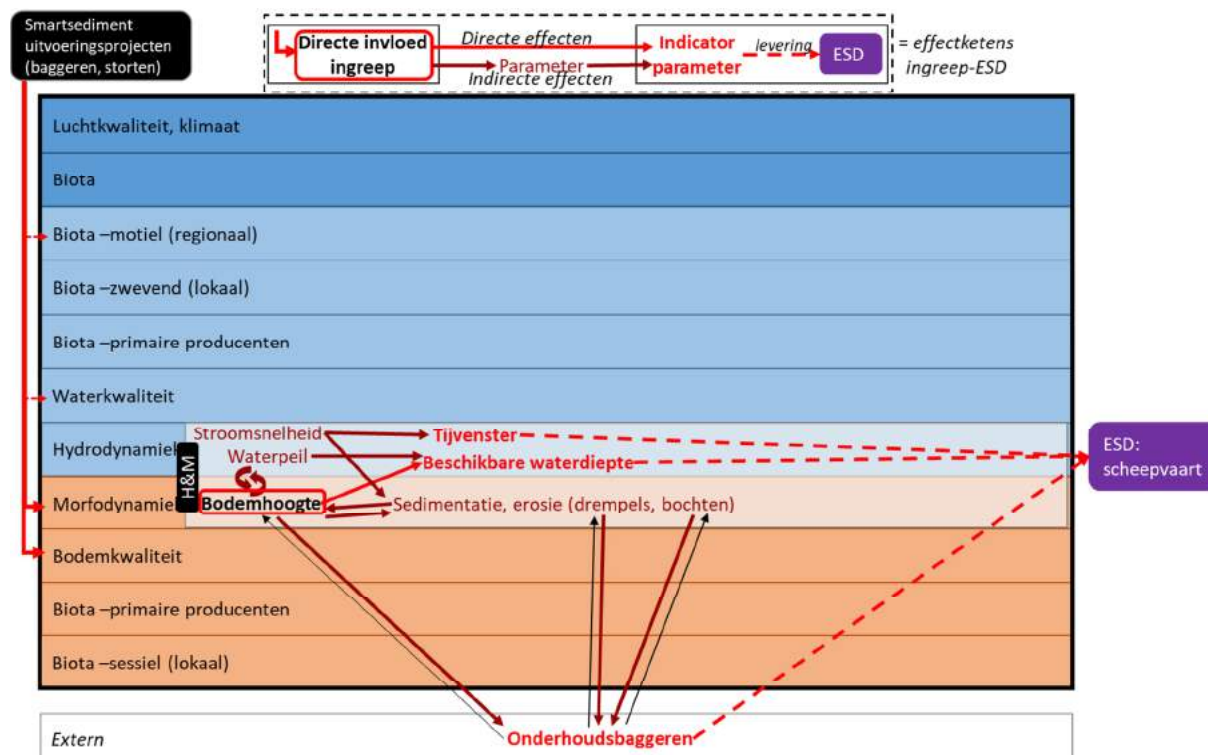
2. **Ingreep: verandering in bodemhoogte (niet vaargeul)**

→ **Effect:** verandering van de stroming – waterpeil – bodemhoogte buiten de vaargeul (hydromorfologische interacties) → mogelijk ook verandering van de stroming – waterpeil – bodemhoogte in de vaargeul (hydromorfologische interacties) → mogelijke invloed op beschikbare diepte vaargeul (waterpeil bij hoog- en laagwater), en tijvenster (looptijd tijdens hoog- en laagwater).

3. **Ingreep: verandering in bodemhoogte, en sedimenteigenschappen**

→ **Effect:** verandering hydromorfologische interacties → andere sedimentatie en erosie fluxen → verandering sedimenttransport en sedimentatiesnelheid → mogelijke verandering

bodemhoogte en omvang van noodzakelijke onderhoudsbaggerwerken (beschikbare diepte vaargeul, zeker op drempels)



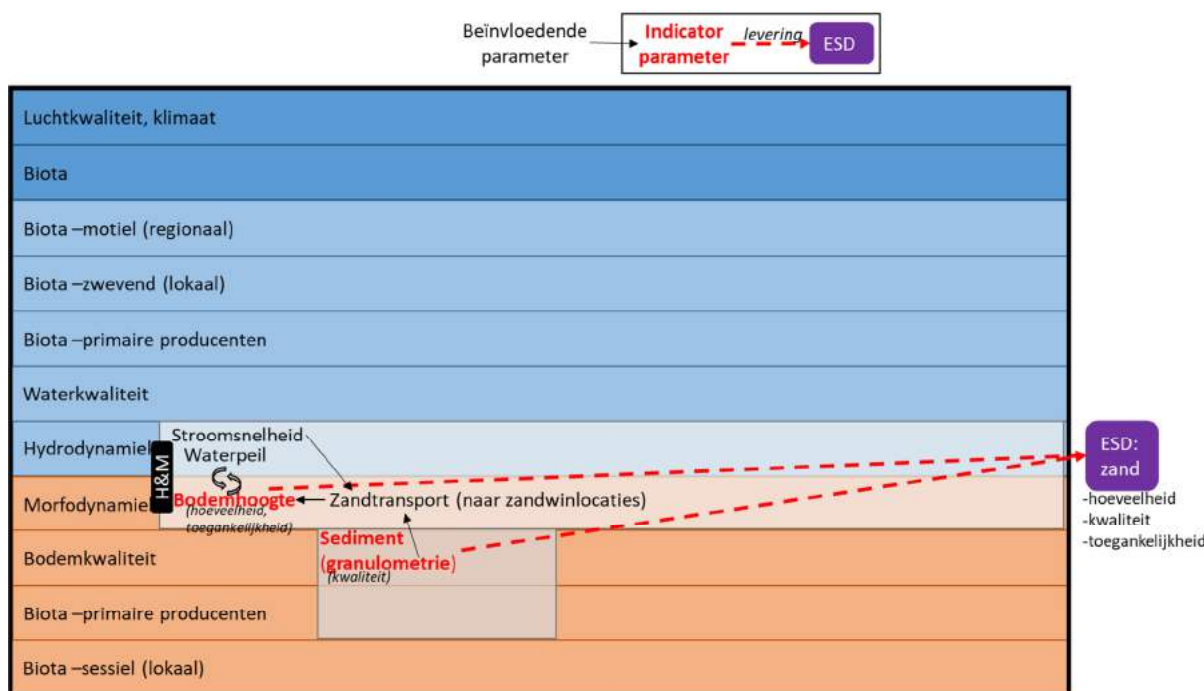
Figuur 16. Conceptueel schema van effectketens van sedimentbeheer op de ecosysteemdienst voorziening van ruimte (water) voor scheepvaart met aanduiding van rechtstreekse effectketens (lichtrode pijlen) en onrechtstreekse effectketens (donkerrode pijlen) tussen de direct beïnvloede parameters door de ingreep (rood kader) en de indicator parameters (vetgedrukte rode termen).

3.3 Voorziening van hulpbronnen (zand)

Momenteel is er in de Scheldedelta enkel zandwinning aan de Schaar van Ouden Doel, in het oosten van de Westerschelde (rond de plaat van Walsoorden) en op verschillende plaatsen in de Boven-Zeeschelde. Het zand aan Schaar van Doel is afkomstig van onderhoudsbaggerwerken op de drempels en wordt gestort aan de Schaar van Doel. Omdat netto zandwinning in de Westerschelde niet meer is toegestaan staat tegenover de winning in het oosten van de Westerschelde nu een gelijk volume Noordzeezand dat door de zandwinners in het westen van de Westerschelde wordt gebracht. Op deze manier kan men het hoogkwalitatieve (grove) zand van de Westerschelde blijven winnen zonder netto zandverlies.

3.3.1 Levering van de dienst door het estuarium

De levering van deze dienst heeft betrekking op de **hoeveelheid** beschikbaar zand van een gewenste **kwaliteit** (korrelgrootte D50), op een **toegankelijke** locatie (met toelating voor zandwinning). Het gewenste zandgehalte is afhankelijk van de toepassing (grover of fijner zand). Natuurlijke processen kunnen zorgen voor een aanvulling van geschikt zand op de geschikte locatie. Er is zandaanvulling op systeemniveau via de uitwisseling met de monding. Op kleinere schaal bepalen lokale **stroomsnelheid en –richting** welk **zandtransport** er is naar de zandwinlocatie. Dit is schematisch weergegeven in figuur 17.



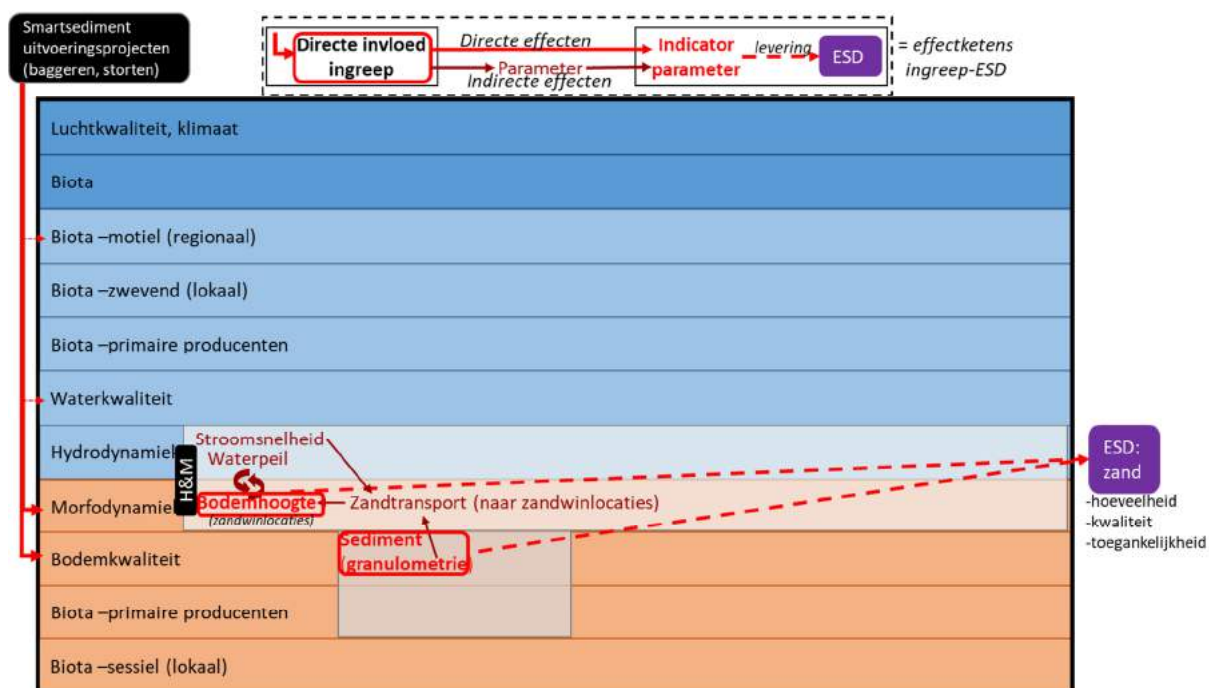
Figuur 17. Conceptueel schema van de levering van de dienst voorziening van hulpbronnen: zand. De indicator parameters voor deze dienst (vetgedrukte rode termen) zijn bodemhoogte (hoeveelheid en toegankelijkheid van zand op zandwinlocaties) en sediment korrelgrootte (kwaliteit van zand). Alle onderdelen van het functioneren van het ecosysteem die de kwaliteit of hoeveelheid zand kunnen beïnvloeden zijn in de figuur weergegeven door zwarte pijlen.

3.3.2 Ingreep-effect relaties

De schematische voorstelling van de rechtstreekse en onrechtstreekse effecten van de uitvoeringsprojecten (figuur 5) wordt nu gecombineerd met de schematische voorstellingen van de levering van de ecosysteemdienst voorziening van hulpbronnen: zand (figuur 17). Dit laat toe om effectketens van ingreep tot ecosysteemdienst te identificeren. Dit omvat een reeks effecten die hieronder kort worden beschreven en schematisch staan weergegeven in figuur 18. Voor de ingreep-effect relatie wordt nagegaan of de hoeveelheid en kwaliteit van zand op de winlocaties verandert.

Ingreep: verandering in bodemhoogte en sedimenteigenschappen

→ **Effect**: verandering in stroming – waterpeil – bodemhoogte (hydromorfologische interacties) → verandering in zandtransport (eventueel met verandering in sedimenteigenschappen) → herverdeling van slib en zand in het systeem → mogelijke verandering in hoeveelheid en kwaliteit zand op locaties met zandwinning (met gewenste D50 waarde)



Figuur 18. Conceptueel schema van effectketens van sedimentbeheer op de ecosysteemdienst voorziening van hulpbronnen (zand) met aanduiding van effectketen tussen de direct beïnvloede parameters door de ingreep (rood kader) en de indicator parameters (vetgedrukte rode termen).

3.4 Reguleren van waterkwaliteit

3.4.1 Levering van de dienst door het estuarium

Voor de beoordeling van de regulering van waterkwaliteit is een opdeling gemaakt voor verschillende componenten die mee de kwaliteit bepalen (fysische, chemische en biotische kwaliteit, en pelagische en benthische kwaliteit). We volgen hier de 4 toetsparameters die in de evaluatiemethodiek voor de Schelde voor de pelagische waterkwaliteit werden geselecteerd: zuurstof, nutriënten, algen en toxische stoffen (Maris et al. 2014). Onderzoek over de benthisch-pelagische koppeling maakt duidelijk dat ook functies van de waterbodem een rol kunnen spelen voor de pelagische waterkwaliteit (bijvoorbeeld filteren van water door filterfeeders).

Het reguleren van waterkwaliteit houdt in dat de **concentratie van zuurstof/nutriënten/algen/toxische stoffen** veranderen als gevolg van natuurlijke processen in het estuarium. Deze verandering is het netto-effect van **productie en aanvoer processen** enerzijds en **consumptie en afvoer processen** anderzijds. Per onderdeel (zuurstof, nutriënten, algen, toxische stoffen) worden deze processen besproken en schematisch weergegeven met behulp van het basis conceptueel schema (figuur 19).

Verandering netto zuurstofconcentratie opgelost in de waterkolom

Productie en aanvoer van zuurstof: Zuurstof in de waterkolom wordt geproduceerd door **algen** (primaire productie). Dit is vooral onderhevig aan SPM aangezien dit het **lichtklimaat** bepaalt dat bepalend is voor de mogelijkheid voor primaire productie. Bijkomend speelt ook **verblijftijd** een rol omdat dit bepalend is voor de mogelijkheid voor **biomassa opbouw**. Zuurstof wordt daarnaast ook aangevoerd door organismen (via **plantenwortels**, via **benthos** die zuurstof in de bodem brengen) en door fysische processen (**oppervlaktebeluchting**). Bij oppervlaktebeluchting speelt oppervlak en diepte een rol, als ook wind, golven, zuurstofconcentratie, zout en temperatuur.

Consumptie en afvoer van zuurstof: Zuurstof wordt geconsumeerd tijdens ademhalingsprocessen (bijvoorbeeld respiratie door fytoplankton, vissen, etc.).

Verandering netto nutriëntenconcentratie in de waterkolom

Productie en aanvoer van nutriënten:

- Stikstof (NH₄): remineralisatie van detritus (door bacteriën)
- Stikstof (NO₃): nitrificatie NH₄->NO₃ (als functie van zuurstof)
- Fosfor: remineralisatie uit detritus door bacteriën
- Silicium: vrijzetting uit detritus (oplossing, geadsorbeerd, particulier)

Consumptie en afvoer van nutriënten:

- Stikstof (NH₄): opname door diatomeeën en groenalgen, en nitrificatie NH₄->NO₃ (als functie van zuurstof)
- Stikstof (NO₃): denitrificatie (als functie van zuurstof), en opname door diatomeeën en groenalgen
- Fosfor: opname door diatomeeën en groenalgen
- Silicium: vrijzetting en opname door diatomeeën
- Alle nutriënten: Afzetting in schorren en begraving in sediment

Verandering algenbloei (Phytoplankton: diatomeeën, groenalgen)

Groei van algenbloei: lokale groei van algen, en import van algen via advectief transport

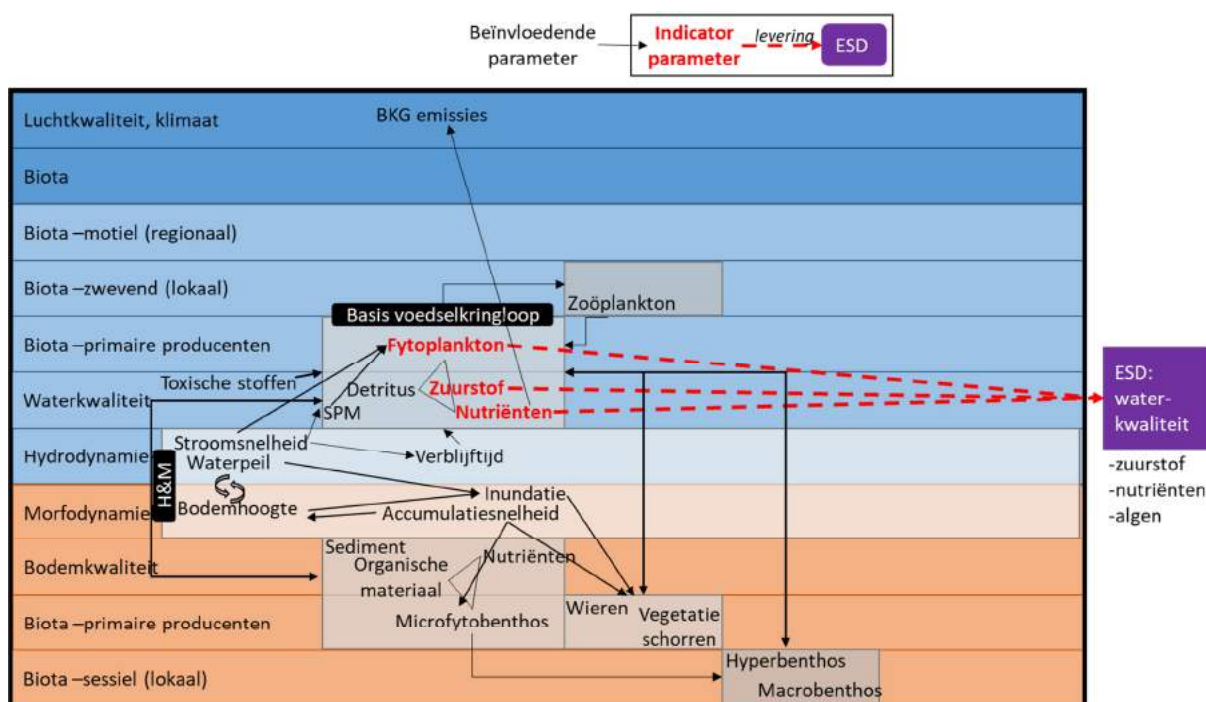
Sterfte van algenbloei: sterfte (wordt detritus), begrazing door zoöplankton, uitspoeling

Beïnvloedende factoren voor de groei van algen:

- Licht doordringing (Ratio fotsche diepte en mengdiepte): PAR en SPM
- Opname van nutriënten (NH₄⁺, NO₃⁻, PO₄(3-)). Diatomeeën (niet groenalgen): ook opname en vrijzetting van Si
- Toxische stoffen
- Verblijftijd is bepalend voor de mogelijkheden voor biomassa opbouw

Verandering toxische stoffen

Sedimentingrepen zijn onderhevig aan een wettelijk kader met betrekking tot de toxiciteit van de specie. Ingrepen zijn niet toegelaten in geval van toxische verontreiniging. Ofwel moet voldaan worden aan een gecontroleerde verwijdering met minimaal risico voor de omgeving. Dus we kunnen het luikje over toxische stoffen weglaten aangezien er –normaalgesproken- geen effecten zullen zijn van de ingrepen op toxische stoffen.



Figuur 19. Conceptueel schema van de levering van de dienst reguleren van water- en waterbodembodemkwaliteit. De indicator parameters (vetgedrukte rode termen) zijn zuurstof, nutriënten en algen in de waterkolom. Alle onderdelen van het functioneren van het ecosysteem die zorgen voor productie/aanvoer enerzijds en consumptie/afvoer anderzijds van zuurstof/nutriënten/algen in de waterkolom zijn in de figuur weergegeven door zwarte pijlen.

3.4.2 Ingreep-effect relaties

De schematische voorstelling van de rechtstreekse en onrechtstreekse effecten van de uitvoeringsprojecten (figuur 5) wordt nu gecombineerd met de schematische voorstellingen van de levering van de dienst Reguleren van water- en bodemkwaliteit (figuur 19). Dit laat toe om effectketens van ingreep tot ecosysteemdienst te identificeren. Dit omvat een reeks onrechtstreekse effecten die hieronder kort worden beschreven en schematisch staan weergegeven in figuur 20.

Impact of zuurstofconcentratie in de waterkolom:

1. Ingreep: verandering in bodemhoogte

→ Effect: verandering hydromorfologische interacties → andere sedimentatie en erosie fluxen en verandering netto SPM concentratie (eventueel in combinatie met verandering sedimenteigenschappen) → invloed op primaire productie bij langdurige verandering in **SPM** en zeker indien **algen** licht gelimiteerd zijn (Westerschelde) → invloed op zuurstofproductie (minder algen betekent minder zuurstofproductie)

2. Ingreep: verandering in bodemhoogte en sedimenteigenschappen

→ Effect: verandering hydromorfologische interacties en bodemsamenstelling (sedimenteigenschappen) → verandering **habitattypes** (platen, slikken, schorren) → verandering mogelijkheden voor **benthos, schorre vegetatie en wieren** → invloed op zuurstofconcentratie

Impact op nutriëntenconcentratie in de waterkolom:

1. Ingreep: verandering in bodemhoogte

→ Effect: verandering hydromorfologische interacties → andere sedimentatie en erosie fluxen en verandering netto **SPM** concentratie (eventueel in combinatie met verandering sedimenteigenschappen) → kan resulteren in bijkomende nutriënten (geadsorbeerde stoffen aan partikels) in de waterfase

→ Effect: verandering hydromorfologische interacties → andere sedimentatie en erosie fluxen en verandering netto SPM concentratie (eventueel in combinatie met verandering sedimenteigenschappen) → invloed op primaire productie bij langdurige verandering in **SPM** en zeker indien **algen** licht gelimiteerd zijn (Westerschelde) → invloed op pelagisch voedselweb (bijvoorbeeld begrazing door zoöplankton) en nutriëntencyclering (opname en remineralisatie en vrijzetting).

2. Ingreep: verandering in bodemhoogte en sedimenteigenschappen

→ Effect: verandering hydromorfologische interacties en bodemsamenstelling (sedimenteigenschappen) → verandering **habitattypes** (platen, slikken, schorren) → verandering mogelijkheden voor **benthos, schorre vegetatie en wieren** → invloed op nutriëntenconcentratie (filteren, bioturbatie, bioirrigatie, etc.)

Impact op algenbloei:

1. Ingreep: verandering in bodemhoogte

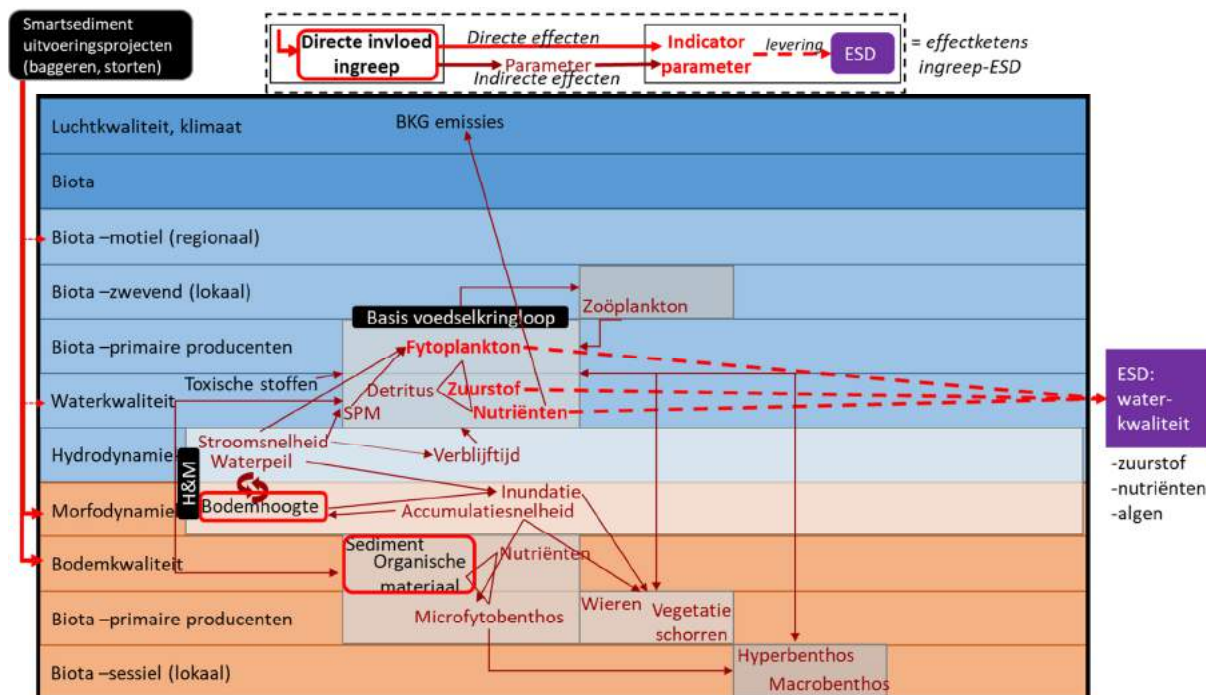
→ Effect: verandering hydromorfologische interacties → andere sedimentatie en erosie fluxen en verandering netto SPM concentratie (eventueel in combinatie met verandering

sedimenteigenschappen) → bij langdurige verandering in **SPM**: invloed op **algenbloei** (zeker indien algen licht gelimiteerd zijn zoals in de Westerschelde)

→ **Effect**: verandering hydromorfologische interacties → verandering in verblijftijd → invloed op algengroei (opbouwen van biomassa)

2. Ingreep: verandering in bodemhoogte en sedimenteigenschappen

→ Effect: [...] → veranderingen in nutriëntenconcentratie en zuurstofconcentratie → invloed op algenbloei



Figuur 20. Conceptueel schema van effectketens van de Smartsediment uitvoeringsprojecten op de ESD reguleren van waterkwaliteit met aanduiding van effectketens (donkerrode pijlen) tussen de direct beïnvloede parameters door de ingreep (rood kader) en de indicator parameters (vetgedrukte rode termen).

3.5 Reguleren van overstromingsrisico

3.5.1 Levering van de dienst door het estuarium

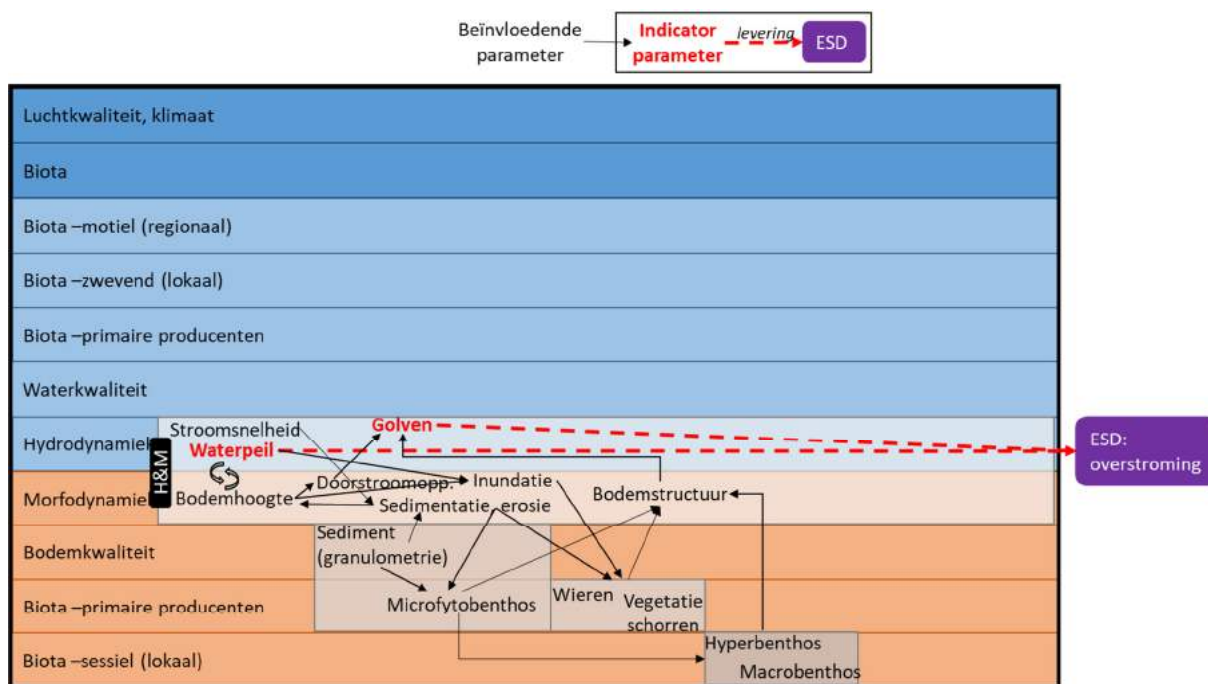
De levering van de dienst reguleren van overstromingsrisico wordt onderverdeeld in het reguleren van hoogwater en het reguleren van golven. Diverse processen in het estuarium kunnen dit beïnvloeden. Dit is schematisch voorgesteld in figuur 21.

i. Het overstromingsrisico is verbonden met de belastingen op de waterkeringen (naast de sterkte ervan). Het hoogwaterniveau tijdens extreme gebeurtenissen is daar een relevante factor in. Het hoogwaterniveau is het resultaat van de waterstanden op zee, de zoetwaterafvoer en de morfologie (stroomvoerend bed). Het astronomisch getij is een variatie door beweging van de aarde en hemellichamen (maan en zon) en uit zich onder meer in de doortij-springtij cyclus. Stormen op de Noordzee en vanuit het Kanaal kunnen zorgen voor een opstuwning van water (opzet) en leveren, bovenop het astronomisch getij, een verhoogde waterstand op. Het **doorstromingsoppervlak** (voor het grootste deel bepaald door de geulen, voor een kleiner deel door de intergetijdengebieden), bepaalt de wijze hoe de getijgolf zich voortplant door het estuarium. Een parameter die goed weerspiegelt hoe morfologische veranderingen de waterstanden beïnvloeden is de **getijslag**. Deze is gecorreleerd met het hoogwaterniveau. Het doorstromingsoppervlak kan veranderen door ingrepen in de bathymetrie (bv. baggeren van geulen, ontpolderen voor creatie van intergetijdengebied). Eenvoudig gesteld heeft meer of minder **sediment** invloed op het doorstromingsoppervlak, wat de **weerstand (frictie)** bepaalt op het getij.

Een hoge afvoer leidt met name in de opwaartse delen van het estuarium tot verhoogde waterstanden. Het effect van een afvoerevent neemt af naarmate het estuarium **breder** wordt en de **getijvolumes toenemen in belang**.

Daarnaast heeft de geometrie invloed op de getijslag. De creatie van meer intergetijdengebied betekent bijvoorbeeld een vermindering van de getijslag (het water stroomt ook 'opzij').

ii. het tweede aspect van de belasting op een waterkering zijn de golven. De **afstand** die door een storm opgewekte golven moet overbruggen tussen geul en de oever, in combinatie met de **karakteristieken van de bodem (diepte, bodemruwheid)**, bepalen de intensiteit waarmee de golven de waterkering bereiken. Meer **sediment** in die zone zorgt voor meer afremming van de golven en resulteert in minder dijkbelasting (lagere onderhoudskosten en mogelijkheid om toekomstige dijkversterkingen te kunnen uitstellen). Dit wordt versterkt door de aanwezigheid van **vegetatie en schelpdierbanken**. Door **frictie** van stromend water langs bladeren, stengels, schelpen worden golven gedempt. Deze structuren zijn ook belangrijk voor de ontwikkeling van het 'voorland', want tijdens reguliere omstandigheden vergroten ze **sedimentstabiliteit** en zal meer **sediment vastgehouden** worden. Ophoging van intergetijdegebieden die belangrijk bijdragen aan het waterbergend vermogen zijn negatief voor de veiligheid. Er moet wel beseft worden dat het waterbergend vermogen van het voorland van de waterkeringen hier zeker niet de belangrijkste factor in is. Bij deze beschouwing gaat het bijvoorbeeld om de hoogte van het land van Saeftinghe of van een GOG.



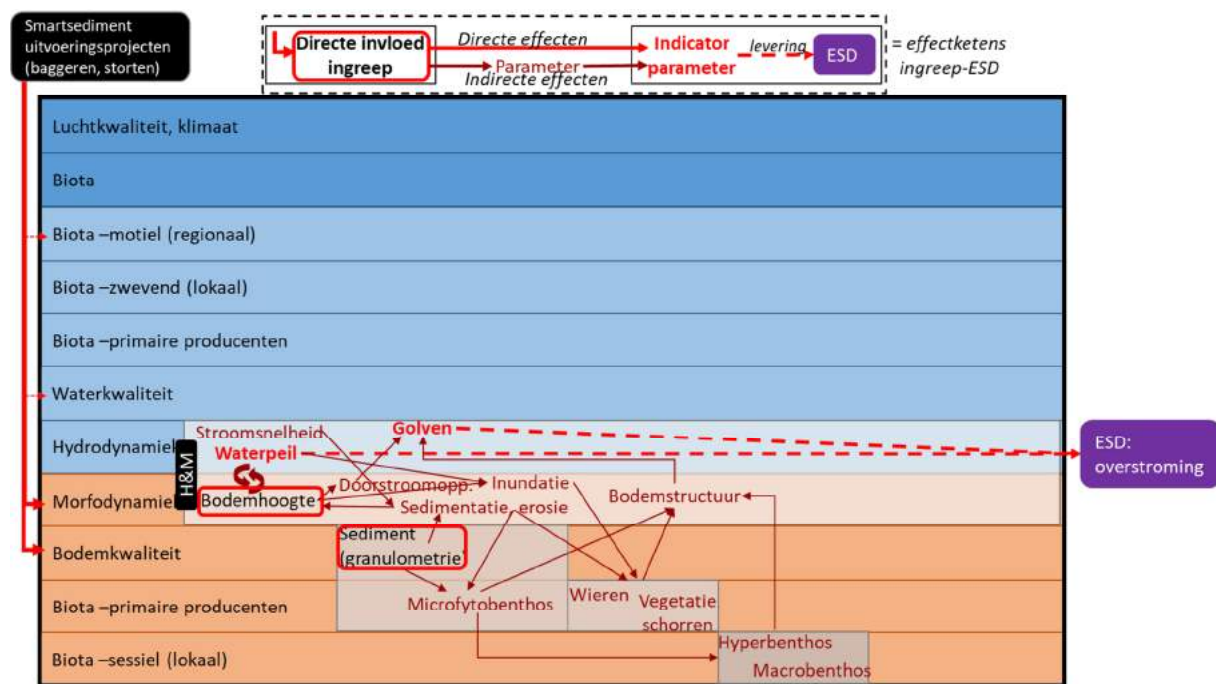
Figuur 21. Conceptueel schema van de levering van de dienst reguleren van het overstromingsrisico. De indicator parameters voor deze dienst (vetgedrukte rode termen) zijn waterpeil (maximaal hoogwaterniveau) en golven. Alle onderdelen van het functioneren van het ecosysteem die zorgen voor lagere maximaal hoogwaterniveau en/of lagere en minder krachtige golven zijn in de figuur weergegeven door zwarte pijlen (beïnvloedende parameters).

3.5.2 Ingreep-effect relaties

De schematische voorstelling van de rechtstreekse en onrechtstreekse effecten van de uitvoeringsprojecten (figuur 5) wordt nu gecombineerd met de schematische voorstellingen van de levering van de ecosystemedienst reguleren van overstromingsrisico (figuur 21). Dit laat toe om effectketens van ingreep tot ecosystemedienst te identificeren. Dit omvat een reeks effecten die hieronder kort worden beschreven en schematisch staan weergegeven in figuur 22.

1. **Ingreep: verandering in bodemhoogte (creatie van platen, slikken, schorren)**

- **Effect:** verandering van de stroming – waterpeil – bodemhoogte (hydromorfologische interacties) → verandering frictie en waterberging (met platen, slikken, schorren) → invloed op maximaal hoogwaterpeil en golven (hoogte, energie)
- **Effect:** verandering mogelijkheden voor benthos, vegetatie schorren (hangt ook samen met sedimenteigenschappen, sedimentatie en erosie) → invloed op bodemstructuur → invloed op stroming en invloed op golven (hoogte, energie)



Figuur 22. Conceptueel schema van effectketens van de Smartsediment uitvoeringsprojecten op de ESD reguleren van het overstromingsrisico met aanduiding van effectketens (donkerrode pijlen) tussen de direct beïnvloede parameters door de ingreep (rood kader) en de indicator parameters (vetgedrukte rode termen).

3.6 Klimaatregulering (koolstofbalans)

3.6.1 Levering van de dienst door het estuarium

Koolstofvastlegging vindt plaats in het pelagisch en bentisch compartiment van het estuarium en kan zowel biotisch (opslag in biomassa zoals vegetatie, algen en benthos) als abiotisch (opslag in bodem) gebeuren. Voor het bentisch deel wordt nog een onderscheid gemaakt tussen de rivierbodembodem, platen, slikken en schorren. De belangrijkste processen die zorgen voor koolstoffluxen zijn fotosynthese, respiratie, aërobe en anaërobe afbraak, methanogenese, en accumulatie van organisch materiaal. Daarnaast moet echter nog gecorrigeerd worden voor natuurlijke broeikasgasemissies. Natuurlijke processen kunnen immers ook zorgen voor de uitstoot van broeikasgasemissies vanuit ecosystemen (bijvoorbeeld methaan emissies van slikken of distikstofmonoxide (lachgas) bij onvolledige denitrificatie).

De verschillende onderdelen van het functioneren van het systeem die de netto koolstofvastlegging (in CO₂-equivalent) beïnvloeden staan hieronder bondig beschreven en zijn schematisch weergegeven in figuur 23.

Lange termijn koolstofvastlegging in de bodem

Netto sedimentatie zorgt voor de meest structurele en lange termijn koolstofvastlegging in de bodem. Dit is een functie van de hoeveelheid **organische koolstof (particulair, in SPM)**, de **hoeveelheid sediment in het water (SPM)** en de **overstromingskarakteristieken** in het gebied (overstromingshoogte, -duur). Organische koolstof in de bodem daalt met stijgende **saliniteit**: 21,66 ± 0,71 kg OC m⁻² in schorren in de oligohaliene zone van het Schelde-estuarium en slechts 9,93 ± 0,34 kg OC m⁻² in schorren in de polyhaliene zone (Van de Broek et al. 2016). Dit is een paradox aangezien decompositie daalt met saliniteit, maar dit kan verklaard worden door de oorsprong van de organische koolstof en de sedimentatiesnelheid (Van de Broek et al. 2016). De hoeveelheid koolstof in de bodem zegt echter niets over de ecosysteemdienst. Hiervoor moet gekeken worden naar de jaarlijkse opslag, namelijk hoeveel het ecosysteem jaarlijks bijdraagt tot klimaatregulatie door het opslaan van koolstof. Dit kan berekend worden door het jaarlijkse sedimentatie volume (m³/ha/j) te vermenigvuldigen met de particuliere organische koolstof concentratie (%). Het jaarlijks sediment volume kan berekend worden met de **jaarlijkse sedimentatie snelheid (m/j)**, **bodem dichtheid (g/m³)** en oppervlakte-eenheid (m²/ha). De particuliere organische koolstof concentratie wordt berekend met de **opgeloste particuliere massa SPM (g/l)**, **particulair organische koolstof in de rivier (mol/L)** en de moleculaire massa van koolstof (g/mol).

Koolstofvastlegging door primaire productie (van tijdelijke aard)

i. Pelagisch. Door **fotosynthese** legt **fytoplankton** anorganische koolstof vast in organisch materiaal. **Lichtdoordringing** in het water is hierbij een cruciale factor en dit staat in directe relatie tot de hoeveelheid **zwevend stof** in het water (**turbiditeit**). Fotosynthese door fytoplankton is slechts mogelijk tot op de eufotische diepte. Dit is de diepte waarin nog 1% van het invallend licht doordringt. De ratio tussen eufotische diepte en mengdiepte wordt gebruikt als indicator waar primaire productie al dan niet mogelijk is. Er wordt een kritische ratio van 0,2 gehanteerd (Maris and Meire 2017). Een lagere ratio waarde betekent dat er lichtlimitatie is voor fytoplankton (primaire productie is dan eventueel wel nog mogelijk in de ondiepe zone). Turbiditeit en lichtdoordringing

wordt bepaald door de **aan- en afvoer van sediment** wat onderhevig is aan de **waterstroming** (debiet, getij) en wat gelinkt is aan **neerslag** en **geomorfologie**. Andere systeem variabelen die dit kunnen beïnvloeden zijn hoog **debiet** (mogelijke uitspoeling van fytoplankton) en begrazing door **zoöplankton**.

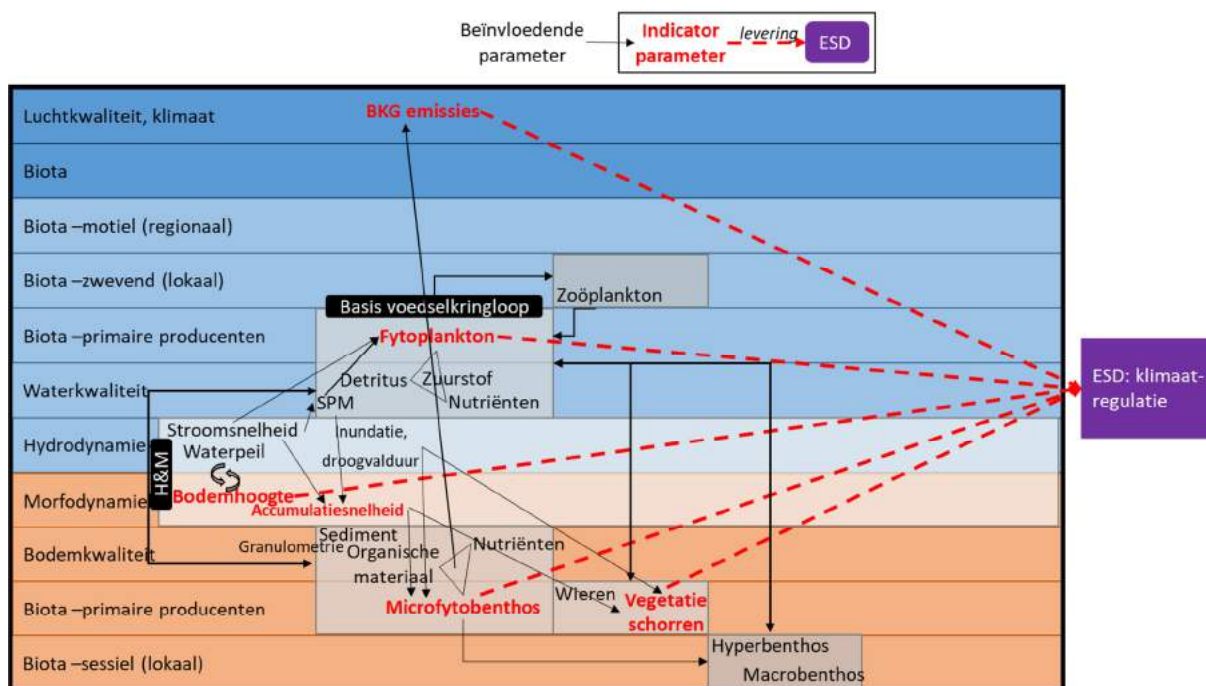
ii. **Benthisch**. Koolstofvastlegging via **microfytobenthos** (primaire productie) is van tijdelijke aard aangezien microfytobenthos makkelijk afbreekbaar is. Koolstofvastlegging via **schorre vegetatie** (primaire productie) is meer structureel van aard omdat schorre vegetatie moeilijk afbreekbaar is. Benthische primaire productie is een functie van de **inundatie** en **droogvalduur** van het gebied wat een resultante is van de **hoogteligging** van het gebied in relatie tot de **waterstand**. Hoger gelegen gebieden worden minder overstroomt en kennen een langere droogvalduur waardoor meer fotosynthese mogelijk is (Maris and Meire 2017). Echter, een te lange droogvalduur zorgt voor uitdroging waardoor er minder productie zal plaatsvinden.

Daarnaast heeft het risico op **erosie** een negatief effect op mogelijke koolstof sequestratie aangezien het microfytobenthos en vegetatie, beide verantwoordelijk voor fotosynthese, hierdoor kunnen verdwijnen.

Correctie: broeikasgasemissies uit het ecosysteem

Andere processen in het ecosysteem kunnen ook resulteren in de emissie van broeikasgassen wat nadelig is voor de dienst klimaatregulering. Bacteriële afbraak van opgeloste organische koolstof (DOC) kan plaatsvinden waarbij **zuurstof** geconsumeerd wordt (biochemische zuurstofvraag cBOD) en **CO₂ geproduceerd** wordt.

Mineralisatie van organisch materiaal tot **methaan (CH₄)** is een proces dat sterk omgekeerd evenredig is met **sulfaat**, wat sterk correleert met **saliniteit** (Borges and Abril 2011). Methaan uitstoot komt daarom vooral voor in zoetwater slikken in het estuarium.



Figuur 23. Conceptueel schema van de levering van de dienst klimaatregulering (koolstofbalans). De indicatorparameters (vetgedrukte rode termen) zijn veranderingen in de koolstofbalans via fytoplankton, microfytobenthos, schorrevegetatie, door sediment accumulatie en gecorrigeerd voor broeikasgasemissies uit het ecosysteem. Alle onderdelen van het functioneren van het ecosysteem die zorgen voor koolstofopslag zijn in de figuur weergegeven door zwarte pijlen.

3.6.2 Ingereep-effect relaties

De schematische voorstelling van de rechtstreekse en onrechtstreekse effecten van de uitvoeringsprojecten (figuur 5) wordt nu gecombineerd met de schematische voorstellingen van de levering van de ecosystemedienst klimaatregulering (figuur 23). Dit laat toe om effectketens van ingreep tot ecosystemedienst te identificeren. Dit omvat een reeks effecten die hieronder kort worden beschreven en schematisch staan weergegeven in figuur 24.

Lange termijn koolstofvastlegging in de bodem

1. Ingereep: verandering in bodemhoogte

→ Effect: verandering hydromorfologische interacties → andere sedimentatie en erosie fluxen → verandering **accumulatiesnelheid** (op platen, slikken, schorren) → in geval van netto accumulatie: koolstofvastlegging (functie van hoeveelheid organische koolstof in het gesedimenteerde materiaal)

Primaire productie pelagisch

2. Ingereep: verandering in bodemhoogte en sedimenteigenschappen

→ Effect: verandering hydromorfologische interacties → andere sedimentatie en erosie fluxen en verandering netto SPM concentratie (eventueel in combinatie met verandering sedimenteigenschappen) → invloed op primaire productie bij langdurige verandering in **SPM** en zeker indien **algen** licht gelimiteerd zijn (Westerschelde)

→ Effect: verandering hydromorfologische interacties → verandering **waterstroming** → mogelijkheid van wegspoelen van fytoplankton

Primaire productie bentisch

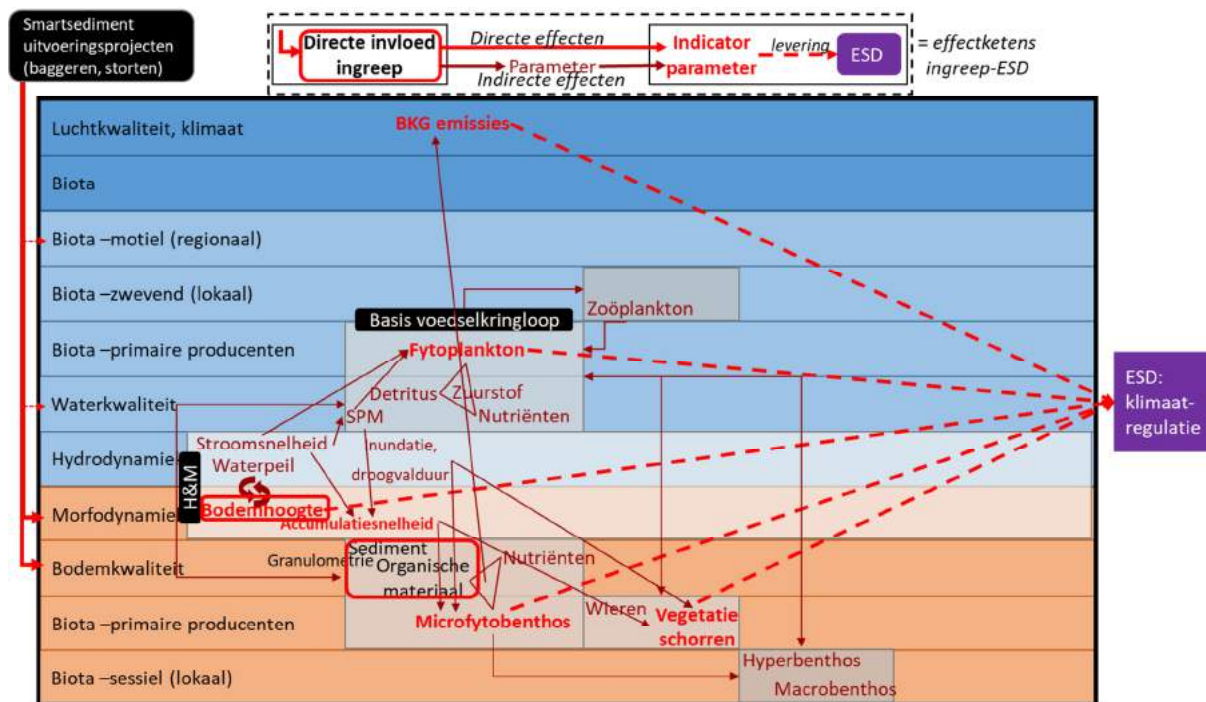
3. Ingereep: verandering in bodemhoogte en sedimenteigenschappen

→ Effect: verandering hydromorfologische interacties en bodemsamenstelling (sedimenteigenschappen) → verandering **habitattypes** (platen, slikken, schorren) → verandering mogelijkheden voor **benthos, schorre vegetatie en wieren** → invloed op fotosynthese fyto**benthos** en vegetatie (koolstofvastlegging)

Correctie voor natuurlijke broeikasgasemissies

4. Ingereep: verandering in bodemhoogte en sedimenteigenschappen

→ Effect: [...] verandering aanwezigheid slikken in de zoetwaterzone (methaan uitstoot)



Figuur 24. Conceptueel schema van effectketens van de Smartsediment uitvoeringsprojecten op de ESD klimaatregulering met aanduiding van effectketens (donkerrode pijlen) tussen de direct beïnvloede parameters door de ingreep (rood kader) en de indicator parameters (vetgedrukte rode termen).

3.7 Recreatie

3.7.1 Levering van de dienst door het estuarium

De levering van de ESD recreatie wordt in belangrijke mate bepaald door antropogene factoren (bereikbaarheid en recreatie infrastructuur), maar ook door kenmerken van het ecosysteem zoals habitattypes, biodiversiteit en abiotische kenmerken zoals waterkwaliteit. In de Scheldedelta komen diverse vormen van recreatie voor die afhankelijk zijn van verschillende factoren. Tabel 2 geeft een overzicht van de diverse recreatievormen in de Oosterschelde, Westerschelde en Zeeschelde (met een indicatie van welke informatie hierover beschikbaar is).

Tabel 2. Verschillende recreatievormen in de Scheldedelta toegelicht voor de Oosterschelde, Westerschelde en Zeeschelde

Recreatievormen	Oosterschelde	Westerschelde	Zeeschelde
Vaaractiviteiten (boten, zeilen, surfen, kitesurfen)	<ul style="list-style-type: none"> Vaarroutes OS (vaarvakken). Kaart met vaarintensiteit (data van gemiddeld aantal boten/dag in hoogseizoen per vaarvak) Locaties voor snelle motorboten Surflocaties (op kaart) Fiets- en voetgangerveerpont (juli-augustus) Toegankelijke stranden (op kaart) 	<ul style="list-style-type: none"> Vaarroutes, ligplaatsen. Kaart met vaarintensiteit op vaarroutes, aantal ligplaatsen en aantal sluispassages Jetskillocatie (op kaart) Zones zeilwedstrijdgebied (op kaart) Surflocaties (op kaart) Kanogebieden (op kaart) Fiets- en voetgangerveerpont (juli-augustus) Gemiddeld aantal vaartuigen geteld per dag: 170 in 1990, 100 in 2005, 140 in 2012 (Provincie Zeeland 2012) Toegankelijke stranden. Kaart: Aanduiding aantal strandrecreanten 	<ul style="list-style-type: none"> Gemotoriseerde recreatievaart Toervaart Snelvaartzones, waterskizones, jetskizones Zeilzones Vlaanderen Zones voor kano, kajak, roeien Passagiersvaart
Zwemmen en duiken	<ul style="list-style-type: none"> Zwemwaterlocaties (officiële en gedoogde zwemlocaties) (op kaart) Duikplaatsen en locaties verboden te duiken (op kaart) 	<ul style="list-style-type: none"> Zwemwaterlocaties (op kaart) Duikplaatsen (op kaart) 	<ul style="list-style-type: none"> Zwemwater in het bekken (niet in de Zeeschelde zelf): De Ster te Sint-Niklaas, het Recreatiedomein Nieuwdonk te Berlare en de Diepvennen te Londerzeel
Wildlife watching	<ul style="list-style-type: none"> Zones op platen met plaatbezoek (op kaart) Voorkomen bruinvissen en zeehonden (op kaart). Kaart met habitat zeehond en zeehonden ligplaatsen 	<ul style="list-style-type: none"> Zones platen met plaatbezoek (op kaart) Waargenomen zeehonden op de Platen van Valkenisse, Rug van Baarland/Molenplaat en de Middelpaai 	
Wandelen, hond uitlaten, joggen	<ul style="list-style-type: none"> Wandelroutes. Kaart met wandelkwaliteit (score 0-10) 	<ul style="list-style-type: none"> Recreatie op zeedijken (aanduiding op kaart) Gemiddeld aantal recreanten geteld per dag: 460 in 1990, 200 in 2005, 240 in 2012 (Provincie Zeeland 2012) 	<ul style="list-style-type: none"> Jaagpaden (verbindingen met veerdiensten) Knooppunten netwerk wandeltoerisme Bewegwijzerde lusvormige wandelroutes
Fietsen	<ul style="list-style-type: none"> Fietsroutes. Kaart met fietskwaliteit (score 0-10) en fietsdruk (aantal fietsers op fietspaden) 	<ul style="list-style-type: none"> Recreatie op zeedijk (aanduiding op kaart) 	<ul style="list-style-type: none"> Jaagpaden Fietsroutes, incl. fietsknooppuntennetwerk (op kaart)
Paardrijden		<ul style="list-style-type: none"> Ruiterpaden (op kaart) Tellingen (Provincie Zeeland 2012) 	
Sportvissen		<ul style="list-style-type: none"> Sportvislocaties (op kaart) Recreatie op zeedijk, met indicatie sportvisserij toegestaan (op kaart) Gemiddeld aantal sportvissers geteld per dag (monitoring recreatie): 35 in 2012. Er is een daling in het aantal sportvissers (Provincie Zeeland 2012) 	<ul style="list-style-type: none"> Hengelen, magneetvissen
Vogels kijken	<ul style="list-style-type: none"> Vogeluitkijkpunten (op kaart) 	<ul style="list-style-type: none"> Vogeluitkijkpunten (op kaart) 	

Antropogene factoren die het recreatie potentieel mee bepalen

Mogelijkheden voor recreatie worden vooral bepaald door antropogene factoren zoals de vraag, aanwezigheid stadskernen, beschikbare infrastructuur (bijvoorbeeld geschiktheid voor watersport, aanlegplaatsen, trailerhelling, sanitaire faciliteiten, aangeduide wandelpaden), bereikbaarheid en de toegankelijkheid van het gebied. De **reistijd**, en ook de **reiskosten**, worden aanzien als erg belangrijke parameters voor het kiezen van een geschikte locatie voor tal van recreatie activiteiten (Ruiz-Frau et al. 2013). Afhankelijk van het transport type verplaatsen recreanten zich 1 tot 20 km

per auto of 0 tot 6 kom te voet of met de fiets (Lankia et al. 2017). Joggers en mensen die hun hond uit laten zijn het meest gevoelig voor de af te leggen afstand (in vergelijking met wandelaars en fietsers) (De Valck et al. 2017). Voor vaaractiviteiten moet de publieke weg zich op minder dan 200 meter bevinden (Matthews et al. 2018).

Ook de factor **stilte** wordt als belangrijk kenmerk beschouwd door veel recreanten (De Valck et al. 2017, Komossa et al. 2018). Versturende elementen zoals de nabijheid van **niet-attractieve kenmerken** met geluid en visuele hinder en **versturende landgebruiken** (industrie of urbaan gebied) worden dan weer als negatief ervaren (Paracchini et al. 2014, Rabe et al. 2018).

Ecosysteem factoren die het recreatie potentieel mee bepalen

Maar ook ecosysteem karakteristieken kunnen voor specifieke recreatievormen cruciaal zijn. Hierbij wordt afzonderlijk gekeken naar habitattypes, biodiversiteit, en abiotische systeemkenmerken (figuur 25).

-1- Habitattypes

Vooraf de aanwezigheid van bepaalde habitattypes is bepalend zijn diverse specifieke recreatie vormen.

Algemeen geven wandelaars, joggers en fietsers de voorkeur aan open, natuurlijke en diverse landschappen boven gesloten en uniforme landschappen (De Valck et al. 2017). De esthetische waarde is hierbij belangrijk en het kunnen genieten van het natuurschoon staat centraal voor wildlife excursies (Ruiz-Frau et al. 2013, Sugiyama et al. 2014).

Watergebieden zijn cruciaal voor recreatie vaartuigen en de beschikbaarheid van oppervlakte water dat geschikt is voor vis is bepalend voor sportvissers (Butler et al. 2009, Villamagna et al. 2014). De aanwezigheid van beschermde zeegebieden (verondersteld met hoge habitat kwaliteit) en de aanwezigheid van wrakken als kunstmatig rif (met meestal hoge biodiversiteit met veel rif soorten) geven een grote meerwaarde voor duikers (Ruiz-Frau et al. 2013). Een veilige onderwaterbodem is belangrijk voor de locatiekeuze door duikers en ondiepe water zones (zonder scherpe stenen en riffen) zijn belangrijk voor surfers en kitesurfers. Daarnaast vormt de aanwezigheid van water (rivieren, kanalen, meren, plassen) een meerwaarde voor wandelaars, joggers en mensen die hun hond uitlaten en fietsers hechten meer waarde specifiek aan lineaire water elementen zoals rivieren en kanalen (De Valck et al. 2017).

Platen liggen vaak op de route van recreatie vaartuigen. Platen bieden een belangrijke mogelijkheid als ligplaats voor zeehonden wat resulteert in een hoge recreatie aantrekkelijkheid. Er zijn diverse kennisregels die mede bepalen of een locatie gunstig is als ligplaats voor zeehonden: droogvalduur (minimaal twee uur), afstand tot laagwaterlijn (100 à 200 meter), goed bereikbaar (geen grote hindernissen, mag wel steil zijn), hoeft niet onder water te komen (kan ook op vloten of pontons), bij voorkeur zand (maar slik kan ook, inclusief oesterbanken), in gebied waar zeehonden voorkomen (in gehele Oosterschelde), dichtbij al gebruikte ligplaatsen.

Stranden bieden een zachte overgang van land naar water wat zorgt voor geschikte locaties voor surfers en kitesurfers en ook voor duikers, zwemmers en strandrecreanten. Een goede strandkwaliteit is hierbij belangrijk (zandstrand, ruim strand).

Diverse habitattypes in het estuarium zijn geschikt voor **vogels** (water ondiep, platen, intergetijdengebied) wat ze ook aantrekkelijk maakt voor recreanten. Enerzijds is hierbij het substraat belangrijk (zand/slikgehalte) en anderzijds het voedselaanbod dat aanwezig is (pelagisch, bentisch).

-2- Biodiversiteit

De aanwezigheid van bepaalde biota kan ook bevorderend zijn voor specifieke recreatie vormen. Over het algemeen geldt een hogere preferentie voor meer eigenaardige en ongewone soorten (Paracchini et al. 2014). **Onderwaterfauna en –flora** en de level van **mariene biodiversiteit** is belangrijk voor tal van recreatie activiteiten zoals duiken, kajakken en wildlife excursies (Ruiz-Frau et al. 2013). De aanwezigheid en diversiteit van **vissen** is bepalend voor de sportvisserij (Butler et al. 2009, Villamagna et al. 2014, Pita et al. 2017). Beheerstrategieën met een verbod op het vissen van bepaalde soorten is vaak effectief voor het doen toenemen van de stock van die soorten maar dat zorgt vaak voor een afname van andere soorten (Metcalf et al. 2010). De aanwezigheid en diversiteit van **(zee)vogels**, en dan meer bepaald ook van zeldzame soorten, is van groot belang voor wildlife excursies (Ruiz-Frau et al. 2013). Het voorkomen van **zeehonden** en **bruinvissen** zorgen voor een toegevoegde waarde voor recreatie in het gebied. Het voorkomen van **zeldzame planten** creëert ook een troef voor wildlife excursies.

Er treden echter ook conflicten op tussen recreatie en biodiversiteit. Vogels worden makkelijk verstoord door bijvoorbeeld fietsers, wandelaars, sportvisserij en vaarrecreatie. Recreatie op **dijken** kan een probleem veroorzaken voor de foerageermogelijkheden van vogels zoals de steltlopers en niet-broedvogels door het verstorend effect nabij (reeds zeldzaam wordende) hoogwatervluchtplaatsen (slikgebieden langs dijken). Op hoogwatervluchtplaatsen komen tijdens de hoogwaterperioden grote aantallen vogels de volgende foerageerperiode met laagtij afwachten. **Strandrecreatie** kan verstorend zijn voor strandbroeders. Vrije toegang op stranden tijdens enkele dagen van het broedseizoen kan al voldoende zijn om het broedsucces tot nul reduceren.

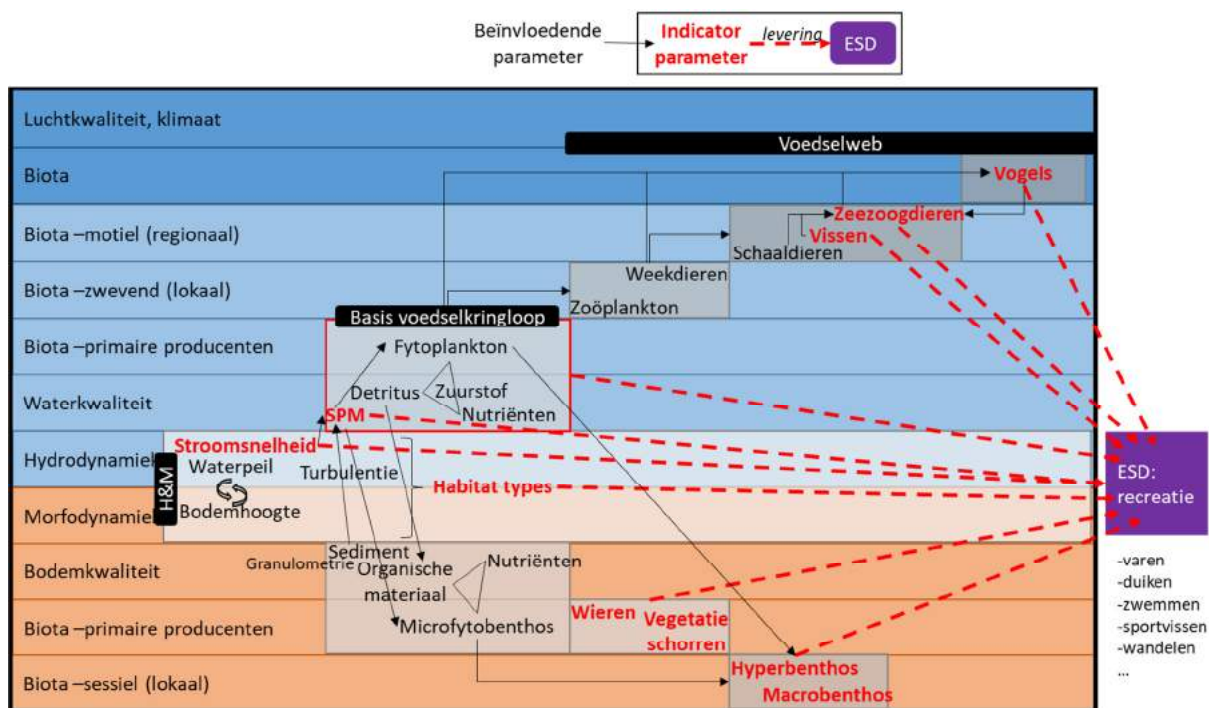
-3- Abiotische systeemkenmerken

Daarnaast kunnen er ook nog andere abiotische systeemkenmerken bepalend zijn of alleszins een invloed hebben op de mogelijkheden voor bepaalde recreatie vormen.

Waterkwaliteit vormt een belangrijke kwaliteitsindicator voor motorboot, zeilen, en surfen. De meerderheid van surfers vind water pollutie een risico en gaat niet surfen als er een waarschuwing is gegeven voor slechte waterkwaliteit (Scott and Rogers 2018). Waterkwaliteit van zwemlocaties is gereguleerd. Zwemmers en duikers percipiëren de waterkwaliteit als goed als er een goed water doorzicht is en als er geen slijm aanwezig is op pieren en stenen (Lankia et al. 2017). Voor sportvissers moet de waterkwaliteit voldoende zijn om de aanwezigheid van de gewenste soorten mogelijk te maken (Villamagna et al. 2014).

Stroomsnelheid mag niet te hoog zijn voor zwemmers en duikers.

Weercondities en wind zijn belangrijk voor het kiezen van een locatie voor zeilen, surfen, kitesurfen, en kajakken (Ruiz-Frau et al. 2013).



Figuur 25. Conceptueel schema van de levering van de dienst recreatie waarbij rekening is gehouden met de systeemkenmerken die relevant zijn voor diverse recreatie vormen (vaarrecreatie, zwemmen, duiken, excursies, vogels spotten, wandelen, fietsen, sportvissen). De indicator parameters (vetgedrukte rode termen) hebben betrekking op habitattypes, biodiversiteit (vogels, zeezoogdieren, vissen, wieren en schor vegetatie, hyper- en macrobenthos) en abiotische systeemkenmerken (SPM dat het doorzicht bepaald, waterkwaliteit in het algemeen, en stroomsnelheid dat gewenst is voor varen maar in sterke mate ongewenst voor duiken en zwemmen). Alle onderdelen van het functioneren van het ecosysteem die het recreatie potentieel (via habitat, biodiversiteit, abiotische systeemkenmerken) kunnen beïnvloeden zijn in de figuur weergegeven door zwarte pijlen.

3.7.2 Ingreep-effect relaties

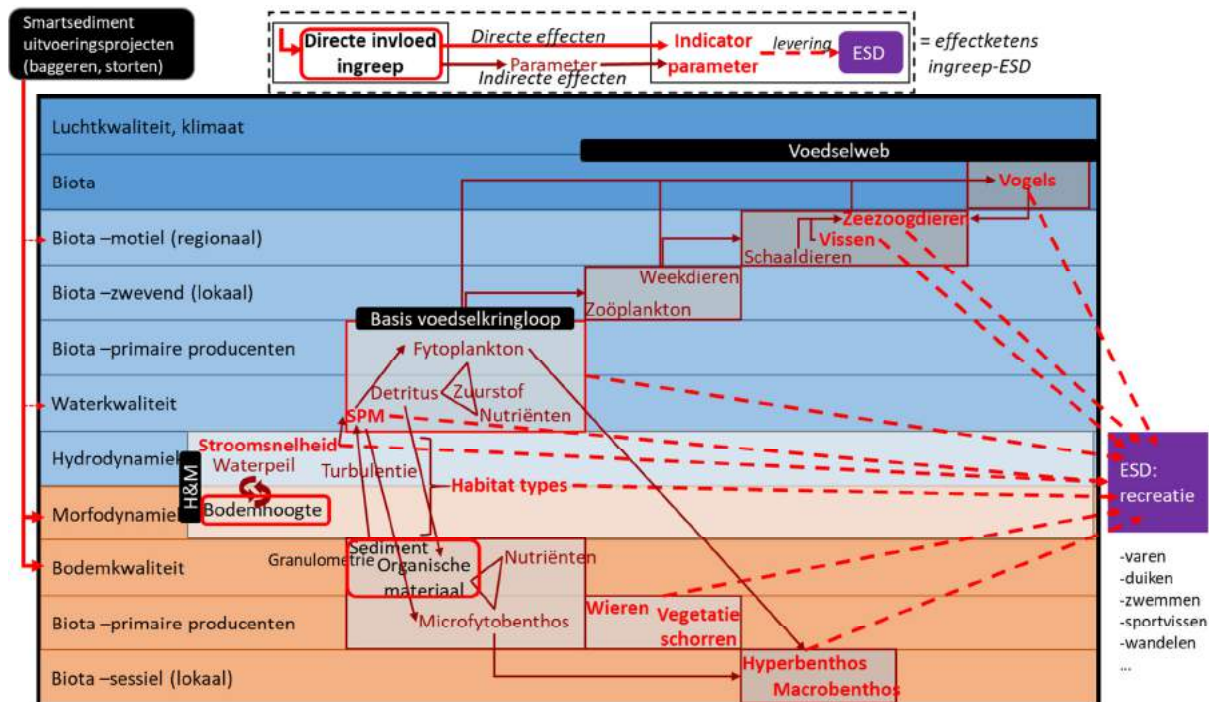
De schematische voorstelling van de rechtstreekse en onrechtstreekse effecten van de uitvoeringsprojecten (figuur 5) wordt nu gecombineerd met de schematische voorstellingen van de levering van de ecosystemedienst recreatie (figuur 25). Dit laat toe om effectketens van ingreep tot ecosystemedienst te identificeren. Dit omvat een reeks rechtstreekse en onrechtstreekse effecten die hieronder kort worden beschreven en schematisch staan weergegeven in figuur 26.

→ Effecten op habitattypes: De veranderde hydromorfodynamiek, in combinatie met een eventuele verandering in slibgehalte, kan resulteren in een verandering van het **voorkomen van habitattypes** op de ingreep locatie en op andere locaties in het systeem.

→ Effecten op biodiversiteit: Baggeren en storten kan resulteren in het verwijderen of begraven van soorten (vegetatie, benthos). Het verwijderen of begraven van benthos kan de beschikbaarheid van voer voor andere soorten zoals zeevogels beïnvloeden. Verandering in habitat condities (andere hydromorfodynamiek) met eventueel een verandering in slibgehalte, kan resulteren in een verandering in het **voorkomen van soorten** zoals bijvoorbeeld zeehonden (ligplaats condities zoals droogvalduur en laagwaterlijn) en zeevogels.

→ Effecten op abiotische systeemkenmerken: De veranderde hydromorfodynamiek kan resulteren in een verandering van de **stroomsnelheid**. Veranderingen in hydromorfodynamiek kan resulteren in

andere sedimentatie-erosiefluxen en andere SPM concentraties wat gevolgen heeft voor de **waterkwaliteit** (bijvoorbeeld **doorzicht** voor duikers).



Figuur 26. Conceptueel schema van effectketens van de Smartsediment uitvoeringsprojecten op de ESD recreatie met aanduiding van effectketens tussen de direct beïnvloedde parameters door de ingreep (rood kader) en de indicator parameters (vetgedrukte rode termen).



3.8 Habitat- en soortendiversiteit

Habitat- en soortendiversiteit heeft enerzijds een ondersteunende rol voor de levering van tal van ecosystemendiensten (bijvoorbeeld voedselvoorziening, regulering van water- en bodemkwaliteit, klimaatregulering, en recreatie) en anderzijds kan het ook aanzien worden als een dienst voor de maatschappij an sich gelet op de vele beleidsdoelstellingen die gehaald moeten worden (bijvoorbeeld bescherming van bepaalde habitattypes, vogelsoorten en rode lijstsoorten). De opmaak van beleidsdoelstellingen is echter geen doel op zich maar een vertaling om te specificeren welke ecosystemen beschermd en hersteld moeten worden. Het belang hiervan zit vervat in de diverse ecosystemendiensten die het kan leveren.

Voor de uitwerking van de ecosystemendiensten tool zal daarom de focus liggen op de ecosystemendiensten (3.2.1-3.2.8) en zal habitat- en soortendiversiteit als achterliggende variabelen worden meegenomen (als ondersteuning voor de levering van ecosystemendiensten). Het positieve effect van de diversiteit aan habitattypes en soorten komt hierbij automatisch aan bod en dit gaat veel ruimer dan wat in beleidsdoelstellingen zit vervat.

4 Synthese

Een uitgebreide set van ecosysteemkenmerken speelt een rol bij de levering van de beschouwde ecosysteemdiensten. Figuur 27 geeft een synthese van de meest voorkomende systeemkenmerken die aan bod kwamen. Onderaan de figuur is aangeduid welke onderdelen van het ecosysteem functioneren bepalend zijn voor de levering van de dienst. Hierbij valt duidelijk op dat voor sommige diensten de 'vereisten' van het systeem beperkter zijn, maar dat voor andere diensten eigenlijk het volledige ecosysteem functioneren vereist is (om de ecosysteemdienst te leveren). Hierbij kan een zekere hiërarchie onderscheiden worden:

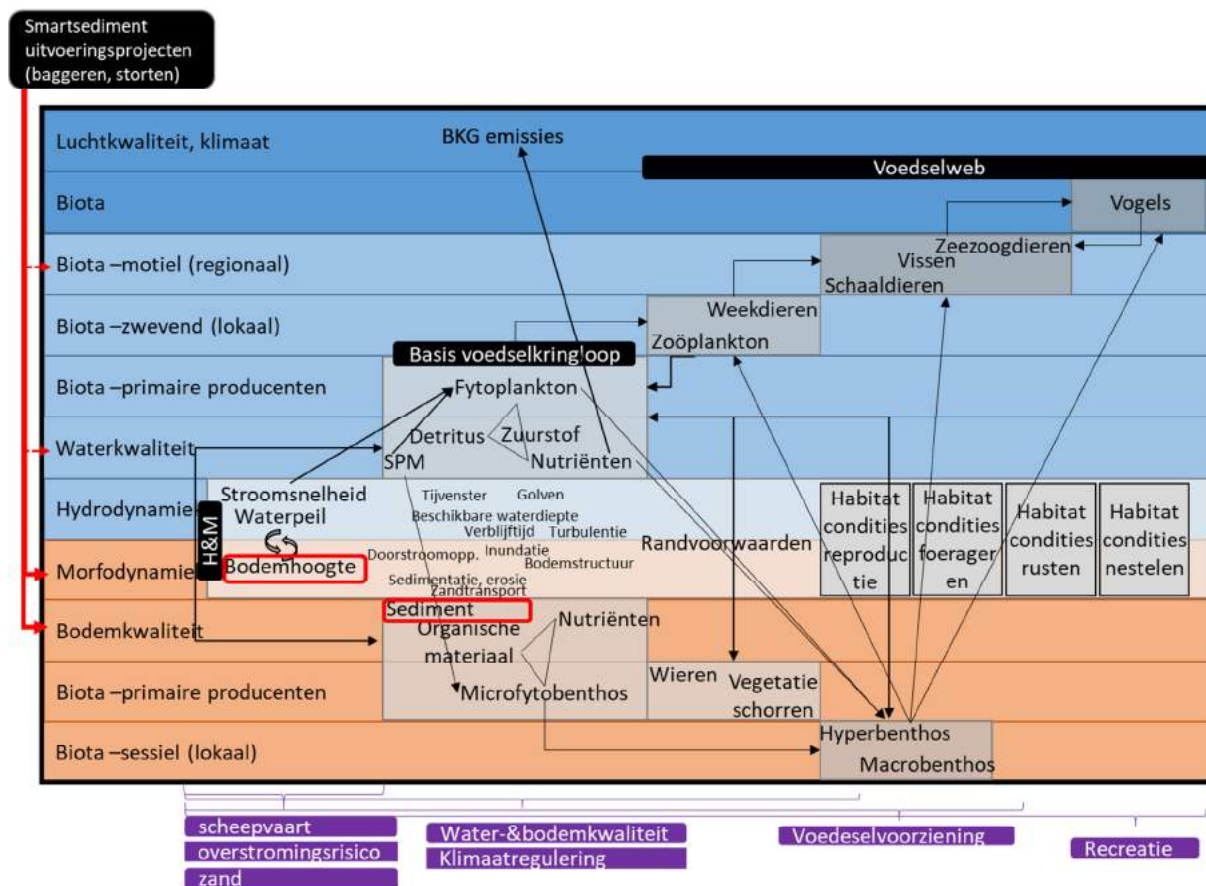
Sommige diensten worden strikt genomen louter geleverd door de **hydromorfodynamische eigenschappen** van het estuarium; zijnde: ruimte (water) voor scheepvaart, reguleren van overstromingsrisico en voorziening van hulpbronnen (zand).

Een andere set van diensten (reguleren van waterkwaliteit en klimaatregulering) worden in hoofdzaak geleverd door de **basis voedselkringloop** bestaande uit water- en waterbodempkwaliteit, en pelagische en benthische primaire producenten. Dit wordt ondersteund door de hydromorfodynamische eigenschappen van het estuarium.

De ecosysteemdienst voedselvoorziening gaat nog verder en vereist een **voedselweb** dat de commercieel interessante soorten ondersteunt. Dit wordt ondersteund door de basisvoedselkringloop en de hydromorfodynamische eigenschappen van het estuarium.

De ecosysteemdienst recreatie, met inbegrip van een grote variëteit aan recreatie vormen, is het meest veeleisend aan het systeem (diversiteit aan habitattypes en soorten, en specifieke abiotische karakteristieken zoals bijvoorbeeld een geschikte stroomsnelheid of waterkwaliteit).

De parameters die direct beïnvloed worden door sedimentingrepen zijn bodemhoogte en sedimenteigenschappen. Dit zorgt voor een verandering van de hydromorfodynamische eigenschappen van het estuarium en dus potentieel ook de levering van al de beschouwde ecosysteemdiensten. De omvang van de ingreep, alsook de ruimtelijke en temporele aspecten van de ingreep, zijn bepalend voor de mate van veranderingen (en de locatie en duurtijd). Dit is doorslaggevend om te bepalen in welke mate de levering van de ecosysteemdiensten daadwerkelijk beïnvloed zal worden. Hiervoor is een kwantitatieve benadering nodig. Dit vormt het voorwerp van het vervolg rapport (WP4 deel 1.3).



Figuur 27. Synthese van het conceptueel schema dat in dit rapport ontwikkeld en gebruikt wordt om de levering van ecosystemendiensten en de afhankelijkheid van ecosysteme kenmerken te visualiseren. De direct beïnvloede parameters door sedimentingrepen zijn aangeduid met een rood kader.

4.1 Lijst relevante variabelen

Op basis van de conceptuele analyse werden een reeks systeemvariabelen opgesteld die relevant zijn om een uitspraak te kunnen doen over effecten op de geselecteerde ecosysteemdiensten (tabel 3). Deze lijst zal in het vervolgrapport nog verder verfijnd worden.

Tabel 3. Relevante systeemvariabelen voor de geselecteerde ecosysteemdiensten

Subgroep	Variabelen
Hydrodynamiek	<ul style="list-style-type: none"> • Waterpeil • Stroomsnelheid Afgeleide variabelen: <ul style="list-style-type: none"> • Inundatie, droogvalduur • Verblijftijd • Tijdenster • Beschikbare waterdiepte • Golven • Turbulentie
Morfodynamiek	<ul style="list-style-type: none"> • Bodemhoogte Afgeleide variabelen: <ul style="list-style-type: none"> • Accumulatiesnelheid, sedimentatie en erosie • Zandtransport • Doostroomoppervlak • Bodemstructuur
Fysisch-chemisch (Water- en bodemkwaliteit) + primaire producenten pelagiaal en bentisch	Pelagisch: <ul style="list-style-type: none"> • SPM • Zuurstof • N • P • C • Si • Fytoplankton Bentisch: <ul style="list-style-type: none"> • Sediment granulometrie, slibgehalte, gehalte organisch materiaal • N • P • C • Si • Microfytobenthos Extra: <ul style="list-style-type: none"> • Broeikasgasemissies
Soorten (voedselweb)	Bentisch: <ul style="list-style-type: none"> • Hyperbenthos, macrobenthos: soorten, biomassa • Wieren en vegetatie schorren: soorten, biomassa Pelagisch: <ul style="list-style-type: none"> • Zoöplankton: soorten, biomassa • Weekdieren: soorten, biomassa • Schaaldieren: soorten, biomassa • Vissen: soorten, biomassa • Zeezoogdieren: soorten, aantallen Extra-estuariën, lucht: <ul style="list-style-type: none"> • Vogels: soorten, aantallen

5 Vervolgstappen

Dit rapport vormt een theoretische/conceptuele basis voor de uiteindelijke kwantificering van de effecten van sedimentingrepen op ecosysteemdiensten. Dit is een noodzakelijk stap die vervolgens nog vertaald zal worden in concrete rekenregels die geïmplementeerd kunnen worden in de ruimtelijk expliciete Smartsediment ESD-tool. Het kwantificeren van de effectketens en het opstellen van rekenregels vormt het onderwerp van rapport 3 (WP4 deel 1.3).

Volgende stappen worden voorzien om het conceptueel inzicht in de vele complexe relaties op een systematische wijze te vereenvoudigen om te kunnen komen tot een werkbare ruimtelijk expliciete tool:

1. **Expertscreening:** welke conceptuele effecten zijn verwaarloosbaar, of kunnen inderdaad een substantieel effect geven? Hierbij ook een onderscheid maken tussen lokale/brede effecten en korte/lange termijn en uitgestelde effecten. In deze stap zullen sommige effecten die met het conceptueel model uit dit rapport (WP4 deel 1.2) zijn geïdentificeerd, geschrapt worden (mits motivatie).
2. **Impactzone** ruimtelijk en temporeel definiëren. Ruimtelijk: (1) lokaal op de plek van de ingreep en (2) globaal voor het ecosysteem. Temporeel: korte termijn onmiddellijk na de ingreep (na 1 maand) en op langere termijn na de ingreep (na 1-5-10 jaar).
3. **Kwantificeren van effectketens:** op basis van het beschikbaar instrumentarium (modellen, gekende regressie functies, stapfunctie, kengetallen, semi-kwantitatief met scores, ...). Eventueel aangeven welke instrumenten zouden helpen om deze effecten beter te kunnen kwantificeren (bijvoorbeeld op basis van beschikbaar instrumentarium in andere estuaria). In deze stap zullen sommige effecten, die geïdentificeerd zijn in dit rapport (WP4 deel 1.2), geschrapt worden (mits motivatie).
4. Vertalen van de weerhouden effecten naar **rekenregels** om te implementeren in de ruimtelijk expliciete **Smartsediment ESD-tool** (regressie functies, trapfuncties, opzoektabelen, kengetallen...).

6 Referenties

- Adams, R., M. De Beukelaer-Dossche, and S. Bosmans. 2017. Presentation: "Sustainable Management of the Upper Sea Scheldt, Self-dredging: tidal river training and nature conservation put in practice". Smart Rivers conference 2017 in Pittsburgh PA. IMDC, Antwerp.
- Boerema, A., M. Taal, T. Ysebaert, J. Brils, S. Van der Meulen, G. Van Holland, K. Van der Biest, T. Maris, and P. Meire. 2018. Smartsediment WP4 Ecosysteemdiensten: Deeltaak 1.1: Selectie van relevante ecosysteemdiensten in relatie tot sedimentbeheer in de Scheldedelta om op te nemen in de ecosysteemdienstentool. Rapport ECOBE-018-R222. Universiteit Antwerpen ECOBE, Deltares, IMDC, NIOZ Antwerpen.
- Booij, K., B. N. Zegers, and J. P. Boon. 2002. Levels of some polybrominated diphenyl ether (PBDE) flame retardants along the Dutch coast as derived from their accumulation in SPMDs and blue mussels (*Mytilus edulis*). *Chemosphere* **46**:683-688.
- Borges, A. V., and G. Abril. 2011. Carbon Dioxide and Methane Dynamics in Estuaries. *Treatise on Estuarine and Coastal Science, Volume 5(Biogeochemistry)*.119–161.
- Boudewijn, T. J. 2016. Passende Beoordeling Zandsuppletie Roggenplaat. Toetsing in het kader van de Natuurbeschermingswet 1998 en Natuurnetwerk Nederland. Bureau Waardenburg Ecologie & landschap, Nederland.
- Butler, J. R. A., A. Radford, G. Riddington, and R. Laughton. 2009. Evaluating an ecosystem service provided by Atlantic salmon, sea trout and other fish species in the River Spey, Scotland: The economic impact of recreational rod fisheries. *Fisheries Research* **96**:259-266.
- Capelle, J. J. 2017. Production efficiency of mussel bottom culture. Wageningen University, Wageningen, Netherlands.
- De Valck, J., D. Landuyt, S. Broekx, I. Liekens, L. De Nocker, and L. Vranken. 2017. Outdoor recreation in various landscapes: Which site characteristics really matter? *Land Use Policy* **65**:186-197.
- Kleijberg, R. J. M., W. Stempher, J. Cleveringa, L. M. Hamelink, and B. J. Kater. 2015. Passende beoordeling en natuurtoets gebruik proefstortlocaties vaargeulonderhoud Westerschelde. Arcadis Nederland BV, in opdracht van Afdeling Maritieme Toegang, Apeldoorn.
- Komossa, F., E. H. van der Zanden, C. J. E. Schulp, and P. H. Verburg. 2018. Mapping landscape potential for outdoor recreation using different archetypical recreation user groups in the European Union. *Ecological indicators* **85**:105-116.
- Lankia, T., M. Neuvonen, and E. Pouta. 2017. Effects of water quality changes on the recreation benefits of swimming in Finland: Combined travel cost and contingent behavior model. *Water Resources and Economics*.
- Lievaert, M., and A. Pouwer. 2003. MOVE de Westerschelde als kraam- en kinderkamer voor vis en garnaal in relatie tot de verruiming. RIKZ/AB/2003.810x. RIKZ Zeemove.
- Maris, T., A. Bruens, L. van Duren, M. de Jonge, S. van Damme, and P. Meire. 2014. Evaluatiemethodiek Schelde-estuarium : update 2014. University of Antwerp, Antwerpen.
- Maris, T., and P. Meire. 2017. OMES rapport 2016. Onderzoek naar de gevolgen van het Sigmaplan, baggeractiviteiten en havenuitbreiding in de Zeeschelde op het milieu.

- Report Ecosystem Management Research Group ECOBE, 017-R206. Page 158 pp. Universiteit Antwerpen, Antwerpen.
- Matthews, Y., R. Scarpa, and D. Marsh. 2018. Cumulative attraction and spatial dependence in a destination choice model for beach recreation. *Tourism Management* **66**:318-328.
- Maximova, T., S. Smolders, G. Schramkowski, T. Verwaest, and F. Mostaert. 2016a. Verkennende studie kribben Fort Filip: deelrapport 2. Aanvullende scenario's. Versie 5.0. WL Rapporten, 15_042. Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen.
- Maximova, T., S. Smolders, G. Schramkowski, T. Verwaest, and F. Mostaert. 2016b. Verkennende studie kribben Fort Filip: deelrapport 2. Aanvullende scenario's. Versie 5.0. WL Rapporten, 15_042. Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen.
- Metcalf, S. J., K. Moyle, and D. J. Gaughan. 2010. Qualitative analysis of recreational fisher response and the ecosystem impacts of management strategies in a data-limited situation. *Fisheries Research* **106**:289-297.
- Paracchini, M. L., G. Zulian, L. Kopperoinen, J. Maes, J. P. Schägner, M. Termansen, M. Zandersen, M. Perez-Soba, P. A. Scholefield, and G. Bidoglio. 2014. Mapping cultural ecosystem services: A framework to assess the potential for outdoor recreation across the EU. *Ecological indicators* **45**:371-385.
- Pita, P., I. Artetxe, H. Diogo, P. Gomes, A. Gordoia, K. Hyder, J. Pereira, C. Pita, M. Rangel, J. Garcia-Rodrigues, O. Sagué, P. Veiga, J. Vingada, and S. Villasante. 2017. Research and management priorities for Atlantic marine recreational fisheries in Southern Europe. *Marine Policy* **86**:1-8.
- Plancke, Y., A. Van Braeckel, T. Cox, T. Verwaest, and F. Mostaert. 2016. Sedimentstrategie Beneden-Zeeschelde: Deelrapport 8 – Samenvatting. Versie 4.0. WL Rapporten, 14_025. Waterbouwkundig Laboratorium, Antea Group, INBO en Universiteit Antwerpen, Antwerpen, België.
- Provincie Zeeland. 2012. Recreatietellingen Westerschelde 2012. Provincie Zeeland, Zeeland.
- Rabe, S.-E., R. Gantenbein, K.-F. Richter, and A. Grêt-Regamey. 2018. Increasing the credibility of expert-based models with preference surveys – Mapping recreation in the riverine zone. *Ecosystem Services*.
- Ruiz-Frau, A., H. Hinz, G. Edwards-Jones, and M. J. Kaiser. 2013. Spatially explicit economic assessment of cultural ecosystem services: Non-extractive recreational uses of the coastal environment related to marine biodiversity. *Marine Policy* **38**:90-98.
- Schellekens, T. 2017. Monsterverslag Veldcampagne Plaatrandstudie Suikerplaat 2017. eCoast Marine Research.
- Scott, S. Q., and S. H. Rogers. 2018. Surf's up? How does water quality risk impact surfer decisions? *Ocean & Coastal Management* **151**:53-60.
- Smaal, A. C., T. Schellekens, M. R. van Stralen, and J. C. Kromkamp. 2013. Decrease of the carrying capacity of the Oosterschelde estuary (SW Delta, NL) for bivalve filter feeders due to overgrazing? *Aquaculture* **404-405**:28-34.
- Sugiyama, T., C. Paquet, N. J. Howard, N. T. Coffee, A. W. Taylor, R. J. Adams, and M. Daniel. 2014. Public open spaces and walking for recreation: Moderation by attributes of pedestrian environments. *Preventive Medicine* **62**:25-29.



- Van de Broek, M., S. Temmerman, R. Merckx, and G. Govers. 2016. Controls on soil organic carbon stocks in tidal marshes along an estuarine salinity gradient. *Biogeosciences* **13**:6611-6624.
- Van den Broeck, H., H. De Wolf, T. Backeljau, and R. Blust. 2007. Effects of environmental stress on the condition of *Littorina littorea* along the Scheldt estuary (The Netherlands). *Science of the Total Environment* **376**:346-358.
- van der Werf, J., M. Boersema, T. Bouma, R. Schrijvershof, J. Stronkhorst, L. de Vet, and T. Ysebaert. 2016. Definitief ontwerp Roggenplaat suppletie. Centre of expertise Delta Technology, Delft, Vlissingen, Yerseke.
- van Leeuwen, S. P. J., and J. de Boer. 2008. Brominated flame retardants in fish and shellfish - levels and contribution of fish consumption to dietary exposure of Dutch citizens to HBCD. *Molecular Nutrition & Food Research* **52**:194-203.
- Villamagna, A. M., B. Mogollón, and P. L. Angermeier. 2014. A multi-indicator framework for mapping cultural ecosystem services: The case of freshwater recreational fishing. *Ecological indicators* **45**:255-265.
- Vis, H. 2016. Eerstelijnsrapportage monitoring zandspiering Suikerplaat, voorjaar 2016. Projectnummer VA2015_30. VisAdvies BV, Nieuwegein.
- Wepener, V., L. Bervoets, V. Mubiana, and R. Blust. 2008. Metal exposure and biological responses in resident and transplanted blue mussels (*Mytilus edulis*) from the Scheldt estuary. *Marine Pollution Bulletin* **57**:624-631.
- Wijsman, J. W. M., and M. Kraan. 2017. Plan van aanpak risicomonitoring Roggenplaat suppletie. Monitoring effecten op de nabijgelegen mosselkweekpercelen. Rapport C037.17. Wageningen University & Research.
- WUR. 2017. Laagste opbrengst consumptiemosselen sinds jaren. www.agrimatie.nl. Wageningen university & research.
- Ysebaert, T., J. van der Werf, M. Boersema, R. Schrijvershof, J. Stronkhorst, L. de Vet, A. Debrot, and T. Bouma. 2016. T-0 Rapportage Roggenplaat Suppletie. Centre of expertise Delta Technology.
- Ysebaert, T., J. Van der Werf, L. de Vet, and T. Bouma. 2017. Monitoringsplan Roggenplaat suppletie. Centre of Expertise Delta Technology, Yerseke, Delft, Vlissingen.