



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



Selectie van relevante ecosysteemdiensten in relatie tot sedimentbeheer in de Scheldedelta om op te nemen in de ecosysteemdienstentool

Smartsediment WP4 Ecosysteemdiensten: Deeltaak 1.1

Auteurs: Annelies Boerema¹, Marcel Taal², Tom Ysebaert⁴, Jos Brils², Suzanne Van der Meulen², Gijsbert Van Holland³, Katrien Van der Biest¹, Tom Maris¹, Patrick Meire¹

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

Versie: Finaal, 30 januari 2018



Inhoud

1. Inleiding
 - 1.1. Situering van de opdracht
 - 1.2. Doelstelling van deze nota
 - 1.3. Ruimtelijke afbakening
 - 1.4. Temporele afbakening
2. Selectieproces
 - 2.1. Ecosysteemdiensten van het estuarium
 - 2.2. Rol van sediment en mogelijke effecten door sedimentbeheer op estuariene ecosysteemdiensten
 - 2.3. Selectie van ecosysteemdiensten voor het toepassingsgebied
 - 2.4. Prioritaire selectie van ecosysteemdiensten om te implementeren in de tool
3. Bespreking ecosysteemdiensten
 - 3.1. Voorzienende diensten
 - 3.1.1. Voedselproductie voor menselijke consumptie
 - 3.1.2. Watervoorziening
 - 3.1.3. Voorziening van hulpbronnen
 - 3.2. Regulerende diensten
 - 3.2.1. Reguleren van water- en bodemkwaliteit (zuiveren)
 - 3.2.2. Regulering van luchtkwaliteit (zuiveren)
 - 3.2.3. Reguleren van overstromingsrisico
 - 3.2.4. Klimaatregulering
 - 3.3. Culturele diensten
 - 3.4. Habitat- en soortendiversiteit
4. Samenvatting van de geselecteerde ecosysteemdiensten voor de tool
5. Vervolg stappen

1 Inleiding

1.1 Situering van de opdracht

Het doel van Smartsediment is om door innovatief sedimentbeheer de biodiversiteit en de ecosysteemdiensten in de grensoverschrijdende Scheldedelta te beschermen en te optimaliseren. Dit omvat onder meer het inzichtelijk maken van de relatie tussen sedimentbeheer en ecosysteemdiensten en het evalueren van de effecten van sedimentstrategieën op ecosysteemdiensten. Deze innovatie laat toe om toekomstige sedimentbeheerstrategieën ook te richten op het bevorderen of optimaliseren van ecosysteemdiensten. Voor de praktische uitwerking worden twee stappen doorlopen: (1) opstellen van een generiek conceptueel model en (2) ontwikkelen van een ruimtelijke tool die de effecten van sedimentbeheer koppelt aan de levering van ecosysteemdiensten in de Scheldedelta. Vervolgens worden met behulp van de ruimtelijke tool effecten van huidige en toekomstige sedimentbeheerstrategieën (scenario-analyse) op levering van ecosysteemdiensten geëvalueerd.

De tool die in het kader van deze opdracht wordt ontwikkeld moet beschouwd worden als een prototype, die in eventueel vervolprojecten en met verdere toekomstige kennisontwikkelingen nog verder ontwikkeld kan worden.

1.2 Doelstelling van deze nota

Het doel van deze nota is ecosysteemdiensten te selecteren die in het conceptuele model en in de ruimtelijke tool worden geïmplementeerd. De selectieprocedure start van een uitgebreide lijst van ecosysteemdiensten van estuaria. Vervolgens wordt stilgestaan bij de ecosysteemdiensten die afhankelijk zijn van sediment en die beïnvloed kunnen worden door sedimentbeheer. De mogelijke invloeden van sedimentbeheer op de diensten worden in deze nota geïllustreerd, maar dit is geenszins bedoeld als een volledige uiteenzetting. Dit zal wel in meer detail aan bod komen bij de uitwerking van het conceptueel model en de tool. Als laatste stap in de selectie, en met het oog op de ontwikkeling van de tool, worden enkel ecosysteemdiensten geselecteerd die relevant zijn voor de Scheldedelta (Zeeschelde, Westerschelde, Oosterschelde).

1.3 Ruimtelijke afbakening

Het Smartsediment project richt zich op de Vlaams-Nederlandse Scheldedelta – bestaande uit de Oosterschelde (N2000-gebied NL3009016), de Westerschelde (NL9802026) en de Boven- & Beneden Zeeschelde (BE2300006). Bij de selectie van ecosysteemdiensten en de ontwikkeling van de tool wordt wel gelet op de toepassingsmogelijkheden voor andere Noordwest-Europese estuaria. De ontwikkeling van de tool wordt beperkt tot de ecosysteemdiensten die in het estuarium tussen de waterkerende dijken geleverd worden. Een uitbreiding van het areaal van het estuarium tussen de dijken zal resulteren in een toename van estuariene ecosysteemdiensten. De tool levert dus geenszins een volledige

afweging van de effecten van ingrepen aangezien de mogelijks verloren gegane diensten buiten de dijken (niet estuarium) niet worden meegenomen (in geval van een dijkverplaatsing landinwaarts). In een volledige effect evaluatie moet dit uiteraard wel worden meegenomen.

1.4 Temporele afbakening

De tool zal de levering van ecosysteemdiensten in het estuarium zonder en met een type sedimentbeheer vergelijken. De toestand met sedimentbeheer wordt beschouwd als het eindresultaat (rekening houdend met een afgesproken termijn). Echter, de effecten van een ingreep zijn niet constant over de tijd (bijvoorbeeld door successie op slikken en schorren). Aangezien het niet mogelijk is om met de tool een trend te modelleren, zullen scenario's van de toestand van het ecosysteem na het invoeren van het sedimentbeheer voor verschillende tijdstappen beschreven moeten worden. De tool zal deze beoordelen (levering van diensten, bijvoorbeeld, gegeven de scenario's van de toestand 1 jaar na de ingreep en na 5, 10, 20 jaar). De vooropgestelde termijn van het sedimentbeheer vormt hier de afbakening. Dit betekent dat niet noodzakelijk een nieuwe evenwichtssituatie bereikt zal zijn binnen de periode die met de tool wordt geëvalueerd. Dit betekent ook dat tijdelijke effecten tijdens de uitvoeringsfase niet worden meegenomen (tenzij de gevolgen nog verwacht worden na de eerste tijdstap bijvoorbeeld na 1 jaar). De tool heeft niet tot doel een volledige milieueffecten beoordeling te kunnen maken, maar zal de effecten in termen van ecosysteemdiensten binnen de waterkerende dijken laten zien.

2 Selectieproces

2.1 Ecosysteemdiensten van het estuarium

Voor de inventarisatie en selectie van relevante ecosysteemdiensten wordt vertrokken van de algemene lijsten van ecosysteemdiensten volgens de Millenium Ecosystem Assessment (MEA 2005), The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB 2010) en de Common International Classification of Ecosystem Services CICES (Haines-Young and Potschin 2013). Dit overzicht werd aangevuld met ecosysteemdiensten die specifiek voor het estuariene en het mariene milieu worden geïdentificeerd (Barbier et al. 2011a, Barbier et al. 2011b, Böhnke-Henrichs et al. 2013, Jacobs et al. 2013, Liquete et al. 2013, Jacobs et al. 2015, Turner and Schaafsma 2015). Daarnaast wordt verder gebouwd op de expertise die werd vergaard over ecosysteemdiensten in het kader van sedimentbeheer, baggerprojecten en havenactiviteiten (Apitz 2012, Brils et al. 2014, Boerema et al. 2016, PIANC 2016, van der Meulen et al. 2016).

De lijst in tabel 1 omvat enkel ecosysteemdiensten die relevant zijn voor estuaria, en is dus al een selectie uit de generieke lijst. Een toelichting bij de ecosysteemdiensten in tabel 1 komt aan bod in Hoofdstuk 3.

Tabel 1. Ecosysteemdiensten van het estuarium (generiek)

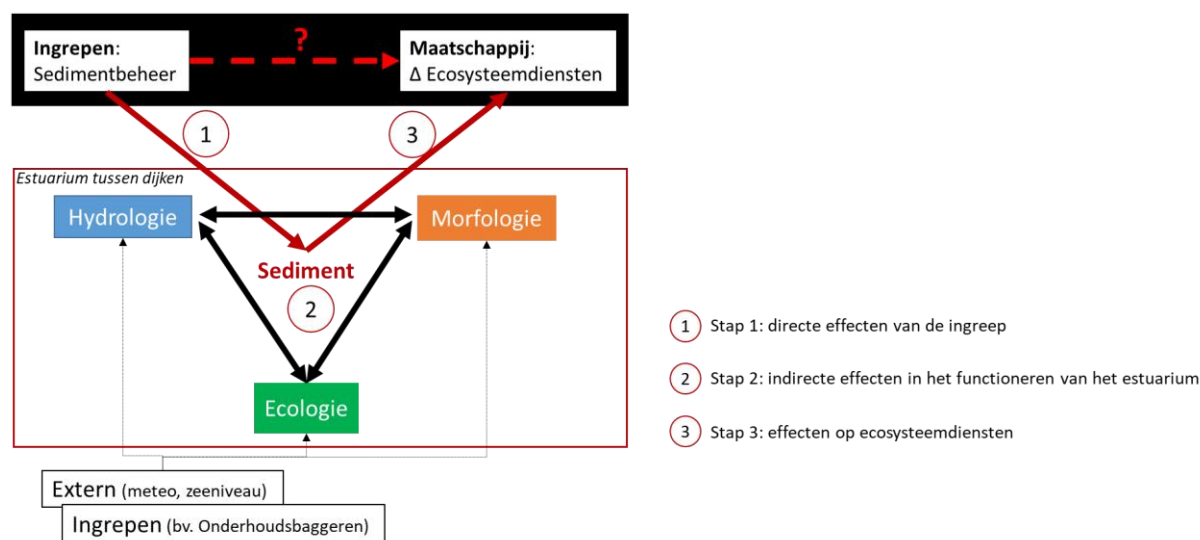
| Classificatie | ESD hoofdcategorieën | ESD sub-categorieën | | | |
|---|---|--|--|--|------------------------------|
| Voorzienende diensten | Voedsel voorziening voor menselijke consumptie | Plantaarlijk | Terrestrisch | Graan, fruit, groenten | |
| | | | Zoetwater, brak en marien | Eetbare zoetwater planten (bv. water munt), zilte planten (bv. zeeaster, zeekraal, kelp) | |
| | | Dierlijk | Terrestrisch | Vee | Vogels |
| | | | | Zoetwater, brak en marien | Vis, schelp- en schaaldieren |
| | | | Vee | Vogels | |
| | Watervoorziening | Water voor irrigatie, drinkwater | | | |
| | | (zee)water (kwantiteit) gebruikt voor scheepvaart | | | |
| | Voorziening van hulpbronnen | (zee)water (kwantiteit, kwaliteit) gebruikt voor industrieel koelwater, ontzilting, aquacultuur | | | |
| | | Abiotische grondstoffen: zand, slib, grind, klei | | | |
| | | Biotische materialen: bv. riet, hout, stro, mest, schors | | | |
| Ornamentale grondstoffen: schelpen, aquarium vis, parels, koraal | | | | | |
| Genetische grondstoffen (gebruik van genetisch materiaal in de industrie) | | | | | |
| Medische grondstoffen (gebruik van materiaal voor farmaceutische en gezondheidsdoeleinden zoals modderbaden of maskers) | | | | | |
| Energiebronnen: hernieuwbare biobrandstoffen, getijde-energie, stromingsenergie, golfenergie | | | | | |
| Regulerende en ondersteunende diensten | Reguleren water- en bodemkwaliteit (zuiveren) | Verdunnen en vastleggen van nutriënten/polluenten uit het water, en biologische processen die verontreinigende stoffen afbreken | | | |
| | Reguleren luchtkwaliteit (zuiveren) | Verdunnen en vastleggen van polluenten uit de lucht | | | |
| | Reguleren overstromingsrisico | Reguleren van overstromingsrisico: reguleren van hoogwater niveau en extreme debieten, bufferen en afremmen van stormtij (frictie, afremmen van golfenergie) | | | |
| | | Beschermen en verstevigen van natuurlijke buffers tegen golfslag: oever stabilisatie, zand duinen formatie en stabilisatie, erosiepreventie voorlanden, stabiliteit dijken | | | |
| | Klimaatregulering | Globaal klimaat: Regulering koolstofcyclus en broeikasgassen (Opslag koolstof in bodem organisch materiaal en waterkolom, methaan uitstoot) | | | |
| Lokaal klimaat: Temperatuur en vocht regulering (bufferend effect van waterlichamen en vegetatie) | | | | | |
| Culturele diensten | Recreatie en toerisme | Mogelijkheden voor recreatie: bv. wandelen, fietsen, ontspanning, sociale relaties | | | |
| | Symbolische en esthetische waarden, archief functie | Spirituele ervaring, cultureel erfgoed, culturele diversiteit, gevoel van plaats | | | |
| | | Esthetiek, erfgoed, archeologische waarde, inspiratie voor cultuur, kunst en design | | | |
| | Aangenaam wonen | Mensen gaan ergens special wonen omwille van de aangename omgeving (nabij open water, natuurgebieden, etc.) | | | |
| Habitat- en biodiversiteit <i>(extra te bekijken naast ESD)</i> | Habitatdiversiteit | Habitatdiversiteit (bescherming, onderhoud, stabilisatie) | | | |
| | | Kraamkamerfunctie | | | |
| | Soortendiversiteit | Soortenrijkdom en bescherming van de genen pool | Vegetatie | | |
| | | | Primaire productie (pelagisch, bentisch) | | |
| | | | Vis, schelp- en schaaldieren | | |
| Vogels | | | | | |
| Zeezoogdieren (bv. zeehonden) | | | | | |
| Bestuiving | | | | | |
| Plagbestrijding, ziekte bestrijding | | | | | |

2.2 Rol van sediment en mogelijke effecten door sedimentbeheer op estuariene ecosysteemdiensten

Voor de evaluatie van effecten van sedimentbeheer op ecosysteemdiensten in het estuarium moeten drie typen effecten worden onderzocht / berekend (figuur 1):

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

Enkel ecosysteemdiensten die zo door sedimentbeheer worden beïnvloed zijn relevant om te selecteren voor de tool.



Figuur 1. Conceptueel schema van de koppeling van ingrepen naar maatschappelijke effecten (sedimentbeheer, ecosysteemstructuren en -functies hydrologie-morfologie-ecologie, en ecosysteemdiensten voorstelt).

2.3 Selectie van ecosysteemdiensten voor het toepassingsgebied

Voor de verdere selectie van ecosysteemdiensten wordt gekeken naar de relevantie voor het toepassingsgebied; de Scheldedelta en bij uitbreiding ook andere Noordwest-Europese estuaria. Hierbij wordt bijvoorbeeld rekening gehouden met de maatschappelijke vraag naar de ecosysteemdiensten in het toepassingsgebied.

2.4 Prioritaire selectie van ecosysteemdiensten om te implementeren in de tool

Het overzicht in deze nota geeft aan welke diensten potentieel interessant zijn, maar niet alle diensten en hun relatie tot sedimentbeheer zullen in het prototype van de tool worden opgenomen (bijvoorbeeld omwille van de beperkte huidige kennis en methoden om de effecten te berekenen). Dit wordt in de toelichting per ecosysteemdienst verduidelijkt.

3 Bespreking ecosysteemdiensten

3.1 Voorzienende diensten

De groep van voorzienende diensten omvat de voorziening van natuurlijke grondstoffen die direct gebruikt of geconsumeerd kunnen worden door mensen. Belangrijke voorbeelden zijn voedselvoorziening (bv. vis), watervoorziening (bv. drinkbaar water), en voorziening van hulpbronnen (bv. zand). De selectie van voorzienende diensten voor de tool is samengevat in tabel 2 en wordt nadien in meer detail toegelicht.

Tabel 2. Samenvatting van de selectie van voorzienende diensten

| ESD hoofdcategorieën | ESD sub-categorieën | | Sedimentbeheer? | Toepassingsgebied? | Selectie? | |
|---|---|----------------|--|--------------------|-----------|---|
| Voedselvoorziening voor menselijke consumptie | Plantaardig | Terrestrisch | Graan, fruit, groenten | | | |
| | | Zoetwater | Eetbare zoetwater planten (bv. water munt) | X | | |
| | | Brak en marien | Eetbare zilte planten (bv. zeeaster, zeekraal, kelp) | X | X | |
| | Dierlijk | Terrestrisch | Vee | X | | |
| | | | Vogels | X | | |
| | | Zoetwater | Vis, schelp- en schaaldieren | X | | |
| | | | Vee | X | X | |
| | | | Vogels | X | | |
| | | Brak en marien | Vis, schelp- en schaaldieren | X | X | X |
| | | | Vee | X | X | |
| | | Vogels | X | | | |
| Watervoorziening | Water voor irrigatie, drinkwater | | | | | |
| | (zee)water (kwantiteit) gebruikt voor scheepvaart | | X | X | X | |
| | (zee)water (kwantiteit, kwaliteit) gebruikt voor industrieel koelwater, ontzilting, aquacultuur | | X | X | | |
| Voorziening van hulpbronnen | Abiotische grondstoffen: zand, slib, grind, klei | | X | X | X | |
| | Biotische materialen: bv. riet, hout, stro, mest, schors | | X | | | |
| | Ornamentale grondstoffen: schelpen, aquarium vis, parels, koraal | | X | | | |
| | Genetische grondstoffen (gebruik van genetisch materiaal in de industrie) | | X | | | |
| | Medische grondstoffen (gebruik van materiaal voor farmaceutische en gezondheidsdoeleinden zoals modderbaden of maskers) | | X | | | |
| | Energiebronnen: hernieuwbare biobrandstoffen, getijde-energie, stromingsenergie, golfenergie | | X | | | |

3.1.1 Voedselvoorziening voor menselijke consumptie

Toelichting

Voedselproductie is een directe baat die estuaria leveren en omvat zowel plantaardig als dierlijk voedsel. Voor de dienst voedselproductie in estuaria wordt een opdeling gemaakt tussen terrestrisch (akkers en weide in de polders en op dijken), zoetwater en brak/marien habitat (in de waterkolom en op de bodem). Gegeven de afbakening in deze studie van het estuarium tussen de waterkerende dijken worden mogelijkheden voor terrestrisch voedsel niet bekeken. De levering van dierlijk en plantaardig voedsel in het estuarium is afhankelijk van het areaal en de kwaliteit van specifieke habitats in intertidaal (slikken, zandplaten, schorren) en subtidaal. Voor vis zijn bijvoorbeeld specifieke ondiepe en laagdynamische habitats belangrijk als kraam- en/of kinderkamer (voortplantings- en opgroefunctie). Voor migrerende soorten zoals diadrome vissen is ook de samenhang en connectiviteit van de verschillende habitats van belang.

Rol van sediment en mogelijke impact van sedimentbeheer?

Vis, schaal- en schelpdieren: Sedimentbeheer kan een invloed hebben op de waterkwaliteit door meer sediment in suspensie te brengen. Dit heeft rechtstreekse en onrechtstreekse effecten op de mogelijkheden voor voedselopname en voedselaanvoer (primaire productie) voor vissen, schaal- en schelpdieren en vogels. Sedimentbeheer heeft ook een invloed op het areaal en de kwaliteit van belangrijke habitat types (ondiep en laagdynamisch habitat, slikken, schorren, platen).

Begrazing op schorren: Ontwikkeling van schor gebied biedt mogelijkheden voor veeteelt aangezien schapen en koeien kunnen ingezet worden als natuurbeheer. Echter, een hoge overstromingsfrequentie kan veel slib afzetten op schorren waardoor begrazing moeilijk wordt (zeker indien het slib vervuild is).

Overige vormen van dierlijk voedsel: Andere dieren in schorren zoals konijnen en eenden kunnen potentieel voor voedselvoorziening zorgen als erop gejaagd mag worden.

Plantaardig voedsel: Voor het zoetwater en brak/marien gebied in het estuarium dient sediment als basis voor schorhabitat waarin eetbare zoetwaterplanten voorkomen (bv. watermunt) en eetbare zilte planten (bv. zeewier, lamsoor, zeekraal). Sedimentbeheer kan het areaal en kwaliteit van deze habitat types wijzigen.

Ecosysteemdienst in het toepassingsgebied (Scheldedelta)?

Vis, schaal- en schelpdieren: Er is commerciële visserij in de Westerschelde (garnalen, tong, paling en kokkels) en Oosterschelde (mosselen, oesters, paling, kreeft). Consumptie van zoetwatervis en schaal- en schelpdieren zoals paling en krabben uit de Zeeschelde is verboden vanwege een te slechte kwaliteit (te veel metalen en pcb).

Begrazing op schorren: In de Scheldedelta worden schorren (bv. Land van Saeftinghe, Polders van Kruikeke) begraasd als onderhoudsmaatregel om de begroeiing laag te houden.

Overige vormen van dierlijk voedsel: Vogels in de Scheldedelta worden beschermd waardoor jacht op vogels verboden is.

Plantaardig voedsel: In de brakke en mariene zone van de delta wordt in erg beperkte mate lamsoor en zeekraal geoogst en verkocht (bv. Land van Saeftinghe). In de Oosterschelde worden momenteel experimenten opgezet voor commerciële zeewierkweek. Zoetwater eetbare planten zoals watermunt worden eigenlijk niet voor menselijke consumptie geoogst (niet commercieel en vanwege een slechte chemische water- en bodemkwaliteit).

Prioritaire selectie voor de tool?

Dierlijk voedsel: Voedselvoorziening van vis en schelpdieren wordt in belangrijke mate commercieel benut in de brakke en mariene zones van de Scheldedelta. Daarom worden deze types van voedselvoorziening geselecteerd voor de tool.

Plantaardig voedsel: Voedselvoorziening van eetbare zilte gewassen is momenteel erg kleinschalig en niet commercieel. Daarom wordt deze dienst niet prioritair geselecteerd voor de tool. Deze dienst kan in de toekomst wel aan belang winnen gezien globale trends.

3.1.2 Watervoorziening

Toelichting

De beschikbaarheid van water in het estuarium biedt vele directe baten: water als drager voor scheepvaart en water als industrieel koelwater, spoelwater, voor irrigatie en als drinkwater. Voornamelijk de beschikbaarheid van water speelt hierbij een rol, maar ook de kwaliteit is van belang (zoutwater is bijvoorbeeld meer corrosief wat voor problemen kan zorgen in industriële installaties). Daarnaast kan de zoutdoordringing door het estuarium een negatief effect hebben op watervoorziening voor landbouw en drinkwater (zoetwater, aanvulling grondwater reservoirs).

Rol van sediment en mogelijke impact van sedimentbeheer?

Sedimentbeheer beïnvloedt de sedimentdynamiek wat een effect kan hebben op stroming, watervolumes en vaardiepte en zo de watervoorziening voor scheepvaart (positief of negatief als er een belemmering wordt gevormd of beperkt met betrekking tot vaardiepte en stroomsnelheid). Er is ook een mogelijke invloed op zoutindringing wat nadelig kan zijn op toepassingen voor bijvoorbeeld landbouw en drinkwater.

Ecosysteemdienst in het toepassingsgebied (Scheldedelta)?

Het Schelde-estuarium vormt een belangrijke transportroute voor verschillende havens (Zeeland Seaports in Vlissingen en Terneuzen, Haven van Antwerpen en Haven van Gent). Er wordt Scheldewater gebruikt voor industriële toepassingen (bv. koelwater voor kerncentrale Doel). Oosterscheldewater wordt gebruikt voor het zuiveren van oesters in oesterputten of voor aquacultuur op land.

Prioritaire selectie voor de tool?

Watervoorziening voor scheepvaart wordt prioritair opgenomen in de tool vanwege het economisch belang van deze dienst en de zeer directe invloed van het sedimentbeheer.

3.1.3 Voorziening van hulpbronnen

Toelichting

Een estuarium biedt een verscheidenheid aan hulpbronnen: biotische en abiotische grondstoffen, energiebronnen, ornamentale, genetische en medische grondstoffen, en biologische chemicaliën.

Rol van sediment en mogelijke impact van sedimentbeheer?

Zandwinning biedt nuttige grondstoffen voor bijvoorbeeld het ophogen van land, aanleggen van dijken of het creëren van habitats.

Verder is sediment de basis van alle habitat types, die andere grondstoffen kunnen voortbrengen, zoals biotische materialen (bv. riet), ornamentale materialen (bv. schelpen), genetisch materiaal, en materiaal voor farmaceutische en gezondheidsdoeleinden. Sedimentbeheer kan dit beïnvloeden als het resulteert in meer habitat met bijvoorbeeld schelpdieren.

Het estuarium biedt ook mogelijkheden als energiebron (hernieuwbare biobrandstoffen, getijde-energie, stromingsenergie, golfenergie, thermische energie). Dit kan beïnvloed worden door sedimentdynamiek (direct of indirect).

Ecosysteemdienst in het toepassingsgebied (Scheldedelta)?

Zandwinning vindt plaats in de Scheldedelta alhoewel dit op grote schaal werd afgebouwd omwille van negatieve effecten (zand balans, lange termijn veiligheid door voldoende zand). Voor sedimentbeheer zoals suppleties wordt geregeld wel specie uit de onmiddellijke omgeving gehaald (dus uit het estuarium) waardoor het niet van elders (bv. Noordzee) moet worden aangevoerd.

De andere vormen van hulpbronnen worden in de Scheldedelta niet actief benut.

Prioritaire selectie voor de tool?

Zandwinning is een relevant gegeven in het kader van sedimentbeheer en wordt daarom opgenomen in de tool.

3.2 Regulerende diensten

De groep van regulerende diensten omvat de natuurlijke instandhouding (regulering) van het functioneren van het ecosysteem dat resulteert in een maatschappelijk nut. Belangrijke voorbeelden zijn het verbeteren van de water- en bodemkwaliteit, verbeteren van de luchtkwaliteit, overstromingspreventie en klimaatregulering. De selectie van regulerende diensten voor de tool is samengevat in tabel 3 en wordt nadien in meer detail toegelicht.

Tabel 3. Samenvatting van de selectie van regulerende diensten

| ESD categorieën | hoofd | ESD sub-categorieën | Sedimentbeheer? | Toepassingsgebied? | Selectie? |
|---|-------|--|-----------------|--------------------|-----------|
| Reguleren water- en bodemkwaliteit (zuiveren) | | Verdunnen en vastleggen van nutriënten/polluenten uit het water, en biologische processen die verontreinigende stoffen afbreken | X | X | X |
| Reguleren luchtkwaliteit (zuiveren) | | Verdunnen en vastleggen van polluenten uit de lucht | X | X | |
| Reguleren overstromingsrisico | | Reguleren van overstromingsrisico: reguleren van hoogwater niveau en extreme debieten, bufferen en afremmen van stormtij (frictie, afremmen van golfenergie) | X | X | X |
| | | Beschermen en verstevigen van natuurlijke buffers tegen golfslag: oever stabilisatie, zand duinen formatie en stabilisatie, erosiepreventie voorlanden, stabiliteit dijken | X | X | X |
| Klimaatregulering | | Globaal klimaat: Regulering koolstofcyclus en broeikasgassen (Opslag koolstof in bodem organisch materiaal en waterkolom, methaan uitstoot) | X | | X |
| | | Lokaal klimaat: Temperatuur en vocht regulering (bufferend effect van waterlichamen en vegetatie) | | | |

3.2.1 Reguleren van water- en bodemkwaliteit (zuiveren)

Toelichting

Intergetijdengebieden dragen bij aan water- en bodemzuivering in het estuarium. De water- en bodemkwaliteit worden verbeterd door het verdunnen en vastleggen van verontreinigende stoffen, en door omzetting door biologische processen. Bioremediatie, bioturbatie en bioirrigatie zijn biogeochemische processen waarbij organismen koolstof, nutriënten en verontreinigende stoffen kunnen omzetten (bv. door denitrificatie). Filtrerende organismen (bv. schelpdieren) filteren water en hebben daardoor een belangrijk effect op de bentisch-pelagische koppeling en bijv. het doorzicht in de waterkolom. Daarnaast kunnen verontreinigende stoffen ook (tijdelijk) vastgelegd worden in gewassen of biota, of door (lange termijn) begraving.

Rol van sediment en mogelijke impact van sedimentbeheer?

Fijn slib houdt pollutanten vast en maakt ze minder biobeschikbaar waardoor het de bodemkwaliteit regelt. Sediment vormt een habitat voor organismen die aan waterzuivering doen door filtering, afbraak en/of vastlegging van verontreinigingen.

Sedimentbeheer beïnvloedt het areaal en de kwaliteit van de verschillende habitats en daarmee de aanwezige soorten die een bijdrage kunnen leveren aan het zuiveren van water- en bodemkwaliteit.

Sedimentbeheer kan ook een invloed hebben op de (toekomstige) beschikbaarheid van slib voor landbouw en vloeimeersen. Processen als bioturbatie en bio-irrigatie van sediment hebben hier zeker effect op. Dit valt echter buiten de begrenzing van het estuarium tussen de dijken (tenzij de dijk naar de rivier verplaatst wordt en er dus een inpoldering plaatsvindt).

Ecosysteemdienst in het toepassingsgebied (Scheldedelta)?

In diverse studies werd reeds aangetoond dat intergetijdengebieden en mossel- en oesterbedden een belangrijke bijdrage leveren aan water- en bodemzuivering. Dit werd bijvoorbeeld uitvoerig bestudeerd in het pilootproject Lippenbroek (Beauchard et al. 2013, Teuchies et al. 2013) en in mossel- en oesterbedden in de Oosterschelde (Dame et al. 1991).

Prioritaire selectie voor de tool?

Deze dienst wordt prioritair opgenomen in de tool omdat de vraag naar deze dienst groot is (waterkwaliteit voldoet niet overal aan de normen van de kaderrichtlijn water) en omdat sedimentbeheer hierop een positieve en negatieve invloed kan uitoefenen.

3.2.2 Reguleren van luchtkwaliteit (zuiveren)

Toelichting

Estuariene ecosystemen kunnen beperkt bijdragen in het verdunnen en vastleggen van bijvoorbeeld fijnstof waardoor polluenten verwijderd worden uit de lucht. Dat vindt plaats in begroeide gebieden.

Rol van sediment en mogelijke impact van sedimentbeheer?

Sediment vormt habitat voor vegetatie en op hoge schorren kan hogere vegetatie ontwikkelen. Sedimentbeheer kan de vorming van dit habitat beïnvloeden.

Ecosysteemdienst in het toepassingsgebied (Scheldedelta)?

Deze dienst wordt maar in beperkte mate geleverd door de beperkte aanwezigheid van hogere vegetatie (op schorren in het zoetwatergetijdengebied van de Zeeschelde).

Prioritaire selectie voor de tool?

Omwille van de kleine omvang en beperkte link met sedimentbeheer wordt deze dienst niet geselecteerd voor de tool.

3.2.3 Reguleren van overstromingsrisico

Toelichting

Het estuarium (geulen en intergetijdengebied) levert een bijdrage aan het reguleren van overstromingsrisico. Diepe, brede geulen resulteren in hogere vloedgolven waardoor het overstromingsrisico groter wordt. Een groot areaal aan intergetijdengebied in het estuarium zorgt voor minder overstromingsrisico door onder meer het afremmen van golven en omdat er meer ruimte is om stormwater te bufferen. Intergetijdengebieden zorgen daardoor voor bescherming van dijken en achterland.

Rol van sediment en mogelijke impact van sedimentbeheer?

Het sedimentbeheer is langs vele kusten en delen van estuaria een belangrijke manier om het achterland te beschermen of minder kwetsbaar te maken voor overstromingen. Het kustbeheer via zandsuppleties is het bekendste voorbeeld. Hier zorgt de natuur met het aangebrachte sediment voor voldoende sterke duinen. Sedimentbeheer kan ook worden ingezet bij andere waterkeringen, om de belasting op die keringen te beperken. Extra sediment vóór de waterkering leidt ertoe dat golven al in intensiteit verminderen voordat ze de kering bereiken. Dit sediment kan subtidaal (ondiepwatergebieden) liggen, of intertidaal (slikken en laaggelegen schorren) of supratidaal (hooggelegen schorren). Een lagere belasting leidt tot minder hoge investeringen in waterkeringen.

In getijdebekkens kan via het sedimentbeheer ook de waterstand langs de oevers beïnvloed worden. In de afgelopen decennia is dat vooral in het negatieve gebeurd. De relatie is grofweg zo dat bij afname van de sedimentvoorraden de weerstand voor de in- en uitstromende

getijgolf afneemt en de getijgolf verder binnen kan dringen. Dat leidt tot toename van getijslag, met zowel lagere laagwaterstanden als hogere hoogwaterstanden. Meer precies gaat het om de gemiddelde diepte van de geulen (hoofd- en nevengeul samen in een meergeulensysteem).

Tenslotte kan met sedimentbeheer ook invloed uitgeoefend worden op de sterkte van geulwanden. Uitbochtende geulen kunnen een bedreiging zijn voor waterkeringen, welke wordt bestreden met zogenaamde geulwandbeschermingen. Met sediment aanbrengen langs een geulwand kan de noodzaak van een stenen bescherming worden voorkomen.

Ecosysteemdienst in het toepassingsgebied (Scheldedelta)?

Overstromingsrisico is een belangrijk maatschappelijk probleem in de Scheldedelta en de invloed van sedimentbeheer op de bodemligging en vandaar op overstromingsrisico is dus relevant. Als illustratie: in het oosten van de Westerschelde hebben vaarwegverdiepingen en het onderhoud ervoor, al dan niet in combinatie met zandwinning, geleid tot toename van de getijslag in de laatste decennia.

Prioritaire selectie voor de tool?

Overstromingspreventie is een erg belangrijke dienst in het licht van klimaatverandering (zeespiegelstijging, intensiteit van stormen) en wordt daarom geselecteerd voor de tool. Dit omvat zowel de beïnvloeding van het hoogwaterniveau en vloedgolven, als de bescherming van oevers en dijken.

3.2.4 Klimaatregulering

Toelichting

Globaal klimaat: Een estuarium heeft invloed op de regulering van de koolstofbalans. In intergetijdengebieden kan CO₂ worden vastgelegd in vegetatie en in het organisch materiaal in slib. Daarnaast kan ook koolstof worden vastgehouden in de waterkolom (in zwevend stof en via primaire productie). De opslag van koolstof kan gedeeltelijk worden te niet gedaan doordat er ook uitstoot van broeikasgassen plaats vindt in estuaria. De omvang hiervan is afhankelijk van lokale condities zoals het zoutgehalte. Vooral zoetwater slikken kunnen een belangrijke bron zijn van methaan uitstoot.

Lokaal klimaat: De aanwezigheid van waterlichamen zorgt voor een afkoeling van de temperatuur in de omgeving van het waterlichaam. In een stedelijke omgeving, gekenmerkt door het heat island effect, kan dit een aanzienlijk voordeel opleveren. Omgekeerd zal in de winter een waterrijke vallei ook warmer blijven. Dit is echter niet aan de orde aangezien de tool wordt beperkt tot het in kaart brengen van effecten in het estuarium tussen de waterkerende dijken.

Rol van sediment en mogelijke impact van sedimentbeheer?

Sediment vormt de basis van intergetijdengebieden die de koolstofcyclus reguleren. Dit is echter afhankelijk van het type van sediment. Vooral slibrijk habitat zorgt voor het vastleggen van CO₂. Dit is minder op locaties waar het sediment voornamelijk zand is. Het uitvoeren van sedimentbeheer zal echter ook zorgen voor een verhoogde emissie van broeikasgassen zoals methaan.

Sedimentbeheer kan voor vertroebeling zorgen waardoor de koolstof opslag capaciteit en primaire productie in de waterkolom afneemt.

Ecosysteemdienst in het toepassingsgebied (Scheldedelta)?

Net als alle andere estuaria heeft de hele Scheldedelta een rol in de klimaatregulering. Deze rol kan belangrijk worden beïnvloed door sedimentbeheer via de aanwezigheid van intergetijdengebieden.

Prioritaire selectie voor de tool?

De estuariene bijdrage in klimaatregulering (vastleggen van koolstof en het beperken van broeikasgassen) is een belangrijke dienst (zie bijvoorbeeld actuele ontwikkelingen rond coastal blue carbon). Ook is er een mogelijkheid om deze via sedimentbeheer te beïnvloeden. Het wordt daarom opgenomen in de tool.

3.3 Culturele diensten

Culturele diensten zijn de immateriële voordelen die mensen halen uit ecosystemen door geestelijke verrijking, cognitieve ontwikkeling, recreatie en esthetische beleving. De selectie van culturele diensten voor de tool is samengevat in tabel 4 en wordt nadien in meer detail toegelicht.

Tabel 4. Samenvatting van de selectie van culturele diensten

| ESD categorieën | hoofd | ESD sub-categorieën | Sedimentbeheer? | Toepassingsgebied? | Selectie? |
|---|-------|---|-----------------|--------------------|-----------|
| Recreatie toerisme | en | Mogelijkheden voor recreatie: bv. wandelen, fietsen, ontspanning, sociale relaties | X | X | X |
| Symbolische esthetische waarden, archieffunctie | en | Spirituele ervaring, cultureel erfgoed, culturele diversiteit, gevoel van plaats | X | | |
| | | Esthetiek, erfgoed, archeologische waarde, inspiratie voor cultuur, kunst en design | X | X | |
| Cognitieve effecten | | Informatie voor cognitieve ontwikkeling, educatie, wetenschappelijk onderzoek | | | |
| Aangenaam wonen | | Mensen gaan ergens special wonen omwille van de aangename omgeving (nabij open water, natuurgebieden, etc.) | | X | |

Toelichting

Estuaria bieden heel uiteenlopende mogelijkheden voor recreatie en toerisme. Er zijn mogelijkheden voor gemeenschapsactiviteiten, ontspanning en het onderhouden van sociale relaties.

Een estuarium heeft bijna altijd ook een symbolische, esthetische en erfgoed waarde (bv. waardevol landschap, verdronken dorpen, duinvorming). De historische aanwezigheid van

afwisselend en dynamisch gebied of een specifieke landschapsinrichting kan onderdeel worden van streekgebonden cultuur. Mensen kunnen het estuarium esthetisch waarderen. Dit komt bijvoorbeeld tot uiting in kunst en cultuur (bv. kunstwerken geïnspireerd op het getij, sediment en water).

Een estuarium biedt mogelijkheden voor cognitieve ontwikkeling in de vorm van wetenschappelijk onderzoek met onderzoeksprojecten en publicaties, en educatieve mogelijkheden voor lesmateriaal en excursies.

Verder biedt het een ruimte voor aangenaam wonen. Mensen gaan ergens speciaal wonen omwille van de omgeving, bijvoorbeeld in de nabijheid van een estuarium en bijhorende natuurgebieden.

Rol van sediment en mogelijke impact van sedimentbeheer?

Sedimentbeheer kan op vele manieren de culturele diensten van een estuarium verhogen, zoals bijvoorbeeld de creatie van stranden (recreatie) of waardevolle habitats (esthetiek en recreatie). Sediment vormt op veel plaatsen een belangrijk historisch archief.

Ecosysteemdienst in het toepassingsgebied (Scheldedelta)?

De Scheldedelta heeft meerdere gebruiksfuncties zoals onder meer recreatie zoals wandelen, fietsen, vogels kijken, kitesurfen, pleziervaart en duiken. Daarnaast liggen er op vele plekken historische voorwerpen begraven (bv. verdrinken land van Saefthinghe).

Prioritaire selectie voor de tool?

Culturele diensten hangen veel meer af van de sociale context en persoonlijke perceptie waardoor het moeilijk is om dit te kwantificeren. Toch kan recreatie in het estuarium niet ontbreken en zal daarom worden geïmplementeerd in de tool.

3.4 Habitat- en soortendiversiteit

Habitat- en soortendiversiteit *an sich* worden niet beschouwd als ecosysteemdienst maar komen in de systematiek naar voren als drager voor diverse ecosysteemdiensten (bv. diversiteit aan vis voor voedselvoorziening en diversiteit aan habitat voor culturele diensten).

Er wordt echter bewust gekozen dit onderwerp niet impliciet, maar expliciet mee te nemen in de tool, in het bijzonder omdat het belangrijk is in de evaluatie van beheer, gericht op halen van natuurdoelstellingen. De voornaamste aspecten en de selectie ervan zijn samengevat in tabel 5.

Tabel 5. Samenvatting van de selectie van habitat- en biodiversiteit

| Extra categorieën | Sub-categorieën | Sedimentbeheer? | Toepassingsgebied? | Selectie? | |
|--------------------------------------|---|--|--------------------|-----------|---|
| Habitatdiversiteit | Habitatdiversiteit (bescherming, onderhoud, stabilisatie) | X | X | X | |
| | Kraamkamerfunctie | X | X | | |
| Soortendiversiteit | Soortenrijkdom en bescherming van de genen pool | Vegetatie | X | X | X |
| | | Primaire productie (pelagisch, bentisch) | | | |
| | | Vis, schelp- en schaaldieren | | | |
| | | Vogels | | | |
| | Zeehonden | | | | |
| | Bestuiving | X | X | | |
| Plaagbestrijding, ziekte bestrijding | X | X | | | |

Toelichting

Habitatdiversiteit: Een estuarium is een apart habitat type dat beschermd wordt onder de Europese habitatrichtlijn. De diversiteit aan habitats in estuaria wordt gevormd door onder meer het getij en de morfologie (gradiënt van subtidaal en intertidaal), en een zoet-brak-zoutwater gradiënt. Diverse habitattypes zijn nodig voor het onderhouden van soorten en zorgen voor paaiplaats, kraamkamerfunctie, voedselbron, rustplaats, broedplaats.

Soortendiversiteit: Biodiversiteit in het estuarium zorgt voor de bescherming in de genen pool van soorten die specifiek zijn voor dit ecosysteem. Een estuarium biedt de nodige ondersteuning voor complexe voedselketens. Gezonde populaties zorgen voor resilience tegen verstoringen en dus ook voor het behoud, stabiliteit en goed functioneren van het ecosysteem. Dit heeft betrekking op vegetatie, primaire productie (pelagisch, bentisch), benthos, vis, vogels en zeezoogdieren.

Bestuiving: Begroeide gebieden (schorren) bieden habitat voor bestuivers.

Plaagbestrijding, ziektebestrijding: Biodiversiteit in het estuarium kan zorgen voor de verspreiding van plagen en ziektes, maar kan ook zorgen voor een natuurlijke bestrijding van plagen en ziektes.

Rol van sediment en mogelijke impact van sedimentbeheer?

Habitatdiversiteit: Sedimentbeheer verandert de morfologie waardoor de aanwezigheid van habitat types (subtidaal en intertidaal) zal wijzigen. Suppletie van een ander sedimenttype kan ook de kwaliteit van een habitat wijzigen.

Soortendiversiteit: Dit heeft betrekking op voedselketens: primaire productie (benthisch-pelagische koppeling en effect van turbiditeit), vegetatie (grond voor vegetatie en vegetatie houdt ook sediment vast), benthos (voedsel voor vogels en vissen en belangrijk voor bodemprocessen), vis (heeft laagdynamische gebieden en kraamkamer gebieden nodig), vogels (hoger gelegen gebieden met een langere droogvalduur om te foerageren en te rusten), zeezoogdieren (hoger gelegen gebieden om te rusten).

Bestuiving: De creatie van schorren door sedimentbeheer draagt bij aan het creëren van geschikt habitat voor bestuivers.

Plaagbestrijding, ziektebestrijding: Sediment (slib) herbergt het grootste deel van de levenscyclus van muggenlarven. Dit zorgt voor ongerustheid bij burgers aangezien ook ziekte overdragende muggensoorten zich nestelen in slib (bv. tijgermuggen). Een andere plaag die mogelijk is in het estuarium is de bloei van toxische blauwalgen. Sedimentbeheer kan condities creëren die deze bloei stimuleren (aanvoer van nutriënten waaronder vooral fosfor, en veranderen van het licht klimaat in de waterkolom). De aanwezigheid van deze algen is nefast voor bijvoorbeeld de mosselkweek aangezien de mosselen hierdoor niet meer voor consumptie geschikt zijn.

Ecosysteemdienst in de Scheldedelta?

Habitatdiversiteit en soortenrijkdom: De Scheldedelta valt (gedeeltelijk) onder de Europese habitatrichtlijn en vogelrichtlijn. Habitatdiversiteit voor estuariene natuurtypes en soortendiversiteit zijn dus erg belangrijk in de delta.

Plagen en ziekten: In de Beneden Zeeschelde (richting Gent) werd er reeds gebaggerd met onder andere als concrete reden om muggenlarven te verwijderen. In de omgeving van de mossel- en oesterkwekerijen in de Oosterschelde is het risico op de bloei van toxische blauwalgen een reëel probleem.

Prioritaire selectie voor de tool?

Aangezien een groot deel van de Scheldedelta Natura 2000 gebied is, worden habitat- en soortendiversiteit geselecteerd voor de tool. Het risico op toxische algen voor mossel- en oesterkwekerijen vormt een variabele in de dienst voedselvoorziening en zal aldus daar behandeld worden.

4 Samenvatting van de geselecteerde ecosysteemdiensten voor de tool

De focus van de tool ligt op het ruimtelijk in kaart brengen van de effecten van sedimentbeheer op ecosysteemdiensten in Noordwest-Europese estuaria in het algemeen en de Scheldedelta (tussen de waterkerende dijken) in het bijzonder. In het voorgaande deel werd dit per ecosysteemdienst besproken. Op basis van deze inventarisatie werden 9 diensten (inclusief habitat- en soortendiversiteit en met in sommige gevallen enkele extra onderverdelingen) geselecteerd om te implementeren in de tool (tabel 6).

Tabel 6. Lijst van geselecteerde ecosysteemdiensten voor de tool

| Classificatie | ESD hoofdcategorieën | ESD sub-categorieën | | |
|--|---|--|----------------|---------------------|
| | | Dierlijk | Brak en marien | Vis |
| Voorziende diensten | Voedselvoorziening voor menselijke consumptie | | | Vis Schelpdieren |
| | 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 | | |
| | | Primaire productie (pelagisch, bentisch) | | |
| | | Vis, schelp- en schaaldieren | | |
| | | Vogels | | |
| Zeezoogdieren | | | | |

5 Vervolg stappen

Voor de prioritair geselecteerde ecosysteemdiensten worden in de volgende stap conceptuele modellen opgesteld. Dit moet inzicht geven in de effecten van sedimentbeheer op deze ecosysteemdiensten. Hierbij wordt de logica gevolgd die in figuur 1 kort werd toegelicht: rechtstreekse effecten van de ingreep op het ecosysteem, onrechtstreekse gevolgen voor het functioneren van het ecosysteem (hydrologie, morfologie, ecologie), en de gevolgen hiervan voor de geselecteerde ecosysteemdiensten. Daarna worden deze effectketens – indien de huidige kennis het toelaat – gekwantificeerd om tot slot te implementeren in de ruimtelijke tool. De tool maakt het mogelijk om de lokale en systeem-brede effecten van sedimentingrepen op de geselecteerde ecosysteemdiensten ruimtelijk expliciet te visualiseren.

6 Referenties

- Apitz, S. E. 2012. Conceptualizing the role of sediment in sustaining ecosystem services: Sediment-ecosystem regional assessment (SEcoRA). *Science of the Total Environment* **415**:9-30.
- Barbier, E. B., S. D. Hacker, C. J. Kennedy, E. W. Koch, A. C. Stier, and B. R. Silliman. 2011a. The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs* **81**:169-193.
- Barbier, E. B., S. D. Hacker, E. W. Koch, A. C. Stier, and B. R. Silliman. 2011b. 12.06 - Estuarine and Coastal Ecosystems and Their Services. Pages 109-127 in E. Wolanski and D. McLusky, editors. *Treatise on Estuarine and Coastal Science*. Academic Press, Waltham.
- Beauchard, O., S. Jacobs, T. Ysebaert, and P. Meire. 2013. Sediment macroinvertebrate community functioning in impacted and newly-created tidal freshwater habitats. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **120**:21-32.
- Boerema, A., K. Van der Biest, and P. Meire. 2016. Ecosystem services: towards integrated maritime infrastructure project assessments. ECOBE report 016-R190. University of Antwerp. Commissioned by International Association of Dredging Companies, Antwerp.
- Böhnke-Henrichs, A., C. Baulcomb, R. Koss, S. S. Hussain, and R. S. de Groot. 2013. Typology and indicators of ecosystem services for marine spatial planning and management. *Journal of Environmental Management* **130**:135-145.
- Brils, J., P. de Boer, J. Mulder, and E. de Boer. 2014. Reuse of dredged material as a way to tackle societal challenges. *Journal of Soils and Sediments* **14**:1638-1641.
- Dame, R., N. Dankers, T. Prins, H. Jongsma, and A. Smaal. 1991. The influence of mussel beds on nutrients in the Western Wadden Sea and Eastern Scheldt estuaries. *Estuaries* **14**:130-138.
- Haines-Young, R., and M. Potschin. 2013. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on Version 4, August-December 2012. EEA Framework Contract No EEA/IEA/09/003 (Download at www.cices.eu or www.nottingham.ac.uk/cem.)
- Jacobs, S., W. Vandenbruwaene, D. Vrebos, O. Beauchard, A. Boerema, K. Wolfstein, T. Maris, S. Saathoff, and P. Meire. 2013. Ecosystem service assessment of TIDE estuaries. Study report in the framework of the Interreg IVB project TIDE. ECOBE, UA, Antwerp, Belgium.
- Jacobs, S., K. Wolfstein, W. Vandenbruwaene, D. Vrebos, O. Beauchard, T. Maris, and P. Meire. 2015. Detecting ecosystem service trade-offs and synergies: A practice-oriented application in four industrialized estuaries. *Ecosystem Services* **16**:378-389.
- Liquete, C., C. Piroddi, E. G. Drakou, L. Gurney, S. Katsanevakis, A. Charef, and B. Egho. 2013. Current Status and Future Prospects for the Assessment of Marine and Coastal Ecosystem Services: A Systematic Review. *Plos One* **8**:e67737.
- MEA. 2005. Ecosystems and Human well-being: current state and trends. Millenium Ecosystem Assessment. Page 155. Island press, Washington.
- PIANC. 2016. PIANC Orientation Paper: Opportunities to apply the concept of Ecosystem Services (ES) to the Waterborne Transport Infrastructure (WTI) sector. PIANC-EnviCom Environment Commission.
- TEEB. 2010. The Economics of Ecosystems and Biodiversity: The Ecological and Economic Foundations.
- Teuchies, J., S. Jacobs, L. Oosterlee, L. Bervoets, and P. Meire. 2013. Role of plants in metal cycling in a tidal wetland: Implications for phytoremediation. *Science of the Total Environment* **445**:146-154.
- Turner, K., and M. Schaafsma. 2015. Coastal zones ecosystem services. From Science to Values and Decision Making. *Studies in Ecological Economics*. Springer, Switzerland.
- van der Meulen, E. S., L. C. Braat, and J. M. Brils. 2016. Abiotic flows should be inherent part of ecosystem services classification. *Ecosystem Services* **19**:1-5.