

## De Schelde, op weg naar een mooie toekomst?



## De Schelde, op weg naar een mooie toekomst?

### Auteur(s)

Peter Herman

# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Recente toename van het macrobenthos in de Westerschelde</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Een zijstap. Ecologische ontwikkeling in de Zeeschelde</b>	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>Zwevend stof in de Zeeschelde. Wel of niet eindbestemming Eems?</b>	<b>15</b>
<b>5</b>	<b>En verder, de morfologie natuurlijk.</b>	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>Microtuinieren</b>	<b>19</b>
<b>7</b>	<b>Morfologische veranderingen</b>	<b>20</b>
<b>8</b>	<b>Vervuiling?</b>	<b>26</b>
<b>9</b>	<b>Wie komt in de open niches als vervuiling afneemt?</b>	<b>27</b>
<b>10</b>	<b>Conclusies.</b>	<b>28</b>
	<b>Dankwoord</b>	<b>30</b>
	<b>Referenties</b>	<b>31</b>

# 1 Inleiding

De afgelopen veertig jaar was ik op een of andere manier altijd betrokken bij de wetenschappelijke studie en het beheer van de Schelde, vooral de Westerschelde. Er heeft zich in die periode een grote verandering voltrokken, niet alleen in het ecosysteem zelf maar ook in het menselijk gebruik en in de instituties voor het beheer.

Deze notitie is een reflectie over de toestand van het estuarium en belangrijke punten voor de ontwikkeling in het komende decennium. Hoe staat het systeem er nu voor? Waar is aandacht voor nodig, waar zijn kennislacunes, waar liggen onbenutte mogelijkheden om beter te leren van alle veranderingen? Daar gaat deze tekst over, en ook over kleine ergernissen en grote vreugde.

De notitie is schaamteloos onvolledig. Een belangrijk onderdeel van het beheer van de Schelde is dat er intensief wordt gemonitord en dat de resultaten daarvan periodiek zeer grondig en volledig worden gerapporteerd. Dat is de aangewezen bron voor uitputtende informatie. In de plaats daarvan ga ik in op belangrijke ontwikkelingen, en probeer aan de hand daarvan te schetsen waar verder wetenschappelijk onderzoek of maatschappelijke discussie noodzakelijk is ter ondersteuning van het beleid.

Hoewel het tegenwoordig populair is te reflecteren op de verre toekomst met meters zeespiegelstijging en een volledig ontspoord klimaat, heb ik mij daar verre van gehouden. Er is nog hoop dat het niet zover komt, maar mocht het onverhoopt toch gebeuren, dan ontstaat er een kluwen van problemen die het regionale beheer van een enkel estuarium ver overstijgen. Het is goed dat daar in breder kader over wordt nagedacht, maar het mag niet verhinderen dat intussen verder wordt gewerkt aan het beheer van het systeem zoals het nu is en zich in de komende decennia zal ontwikkelen.

In de afgelopen halve eeuw is er heel veel ten goede gekeerd in en om de Schelde. Het allerbelangrijkste aspect daarvan is dat de regeringen die verantwoordelijk zijn voor het beheer (in de eerste plaats de Vlaamse en Nederlandse, daarnaast ook de Franse, Waalse en Belgische regeringen) het eens zijn geworden over een langetermijnvisie waarin de krachtlijnen voor het toekomstig beheer zijn vastgelegd. Door overeen te komen aandacht te willen besteden aan Veiligheid, Toegankelijkheid en Natuurlijkheid hebben zij een principiële grondslag gegeven waarop instituties konden worden gebouwd die concrete invulling hebben gegeven aan die principes.

Mede als gevolg van het sterk verbeterde beheer, hebben we in het veld kunnen waarnemen hoe grote delen van het estuarium opnieuw tot leven zijn gekomen, nu er weer overall zuurstof in het water is. Er is met het Sigmaplan een groene ader in Vlaanderen gecreëerd, die al merkbaar effect heeft op belangrijke natuurwaarden. Ook in de Westerschelde zien we positieve tendensen. De natuur in de Schelde is mooier dan ze sinds lang is geweest. Ondertussen bloeit de haven, en is de veiligheid langs de Zeeschelde veel verbeterd. Dat alles is geen reden om tevreden terug te leunen, maar motivatie om verder te gaan en oog te hebben voor wat er verkeerd zou kunnen gaan, of beter zou kunnen worden gedaan. Het is vanuit die positief gestemde, maar voorzichtige en ambitieuze optiek dat deze notitie is opgesteld.

## 2 Recente toename van het macrobenthos in de Westerschelde

Ik wil deze reflectie starten vanuit een merkwaardige waarneming. Het macrobenthos, dat zijn de grotere bodemdieren die op een 1 mm zeef worden bemonsterd<sup>1</sup>, wordt al sinds de jaren 1980 regelmatig bemonsterd in de Westerschelde. Sinds begin jaren 1990 wordt de monitoring op een regelmatige basis uitgevoerd, maar er is een methodologische breuk in 2009. Sinds dat jaar worden monsters anders verdeeld over dieptes, zoutklassen en bodemtypes dan voorheen, zodat men niet zomaar conclusies kan trekken uit verschillen in gemiddelden van alle monsters. De methodologische verandering heeft er anderzijds toe geleid dat sinds 2009 de aanpak vergelijkbaar is in de Westerschelde en Zeeschelde, wat voorheen niet het geval was.

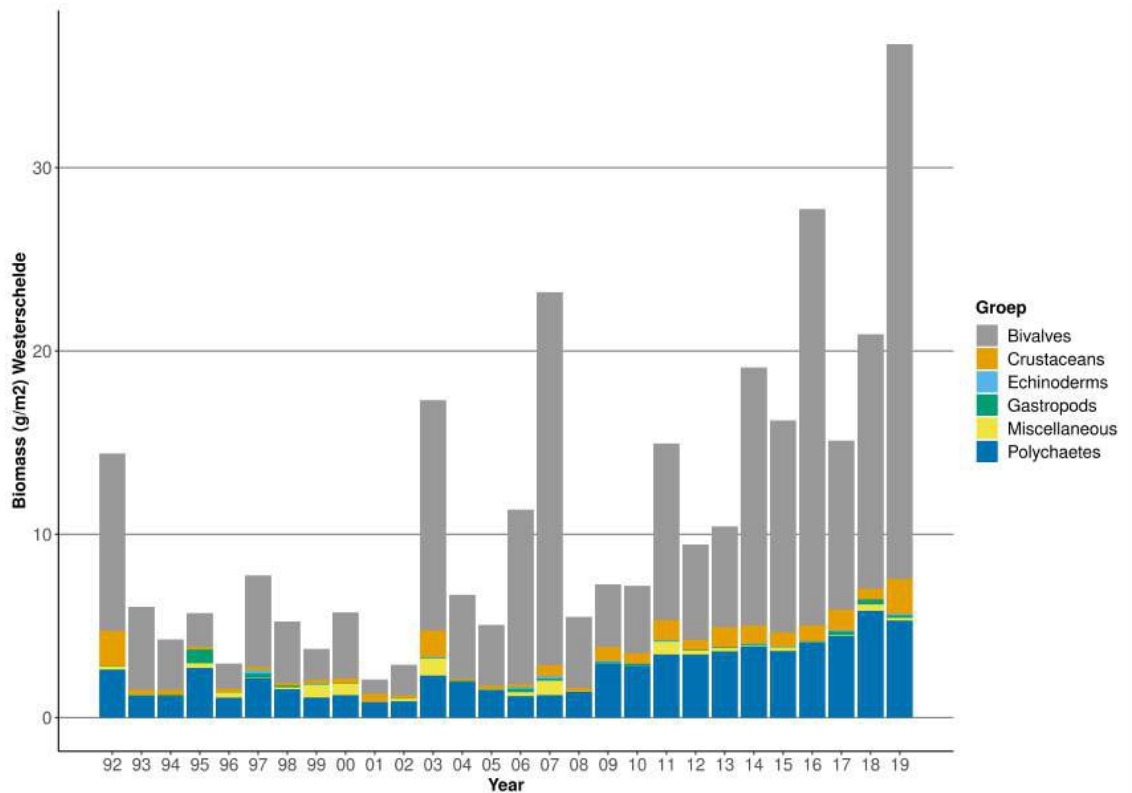


*Figuur 1. Met een schop opengewerkte bodem in de Schelde. Te zien zijn een groot aantal gangen van wormen en een slijkgaper die werd blootgelegd door het sediment te breken.*

---

<sup>1</sup> In de Zeeschelde, waar veel kleine Oligochaeten in het benthos voorkomen, wordt ook een fractie tussen 0,5 en 1 millimeter onderscheiden. Dat is in de Westerschelde nooit gebeurd.

Over de laatste jaren is de biomassa (gewicht levende massa zonder de schelpen) van de bodemdieren aanzienlijk toegenomen. *Figuur 2*, overgenomen uit Kruijt et al. (2020) toont de bruto<sup>2</sup> tijdserie over de volledige MWTL<sup>3</sup> bemonsteringsperiode. De toename is fors, van een gemiddelde niveau lager dan 5 g AFDW (asvrij drooggewicht) m<sup>-2</sup> in de jaren 1990, naar ruim 20 g AFDW m<sup>-2</sup> in de afgelopen jaren. De stijging heeft vooral plaatsgevonden na 2009, maar lijkt niet gelinkt aan de methodologische breuk op dat moment. De meeste stijging is immers in de jaren daarna geleidelijk gekomen. Hoewel er een zekere toename is van Polychaete wormen, is de belangrijkste stijging te vinden bij de schelpdieren, in het bijzonder de tweekleppigen (Bivalvia).



*Figuur 2* Bruto tijdserie van gemiddelde biomassa over alle MWTL monsters in de Westerschelde. Overgenomen uit Kruijt et al. (2020)

<sup>2</sup> Bruto omdat het een gemiddelde betreft van alle genomen monsters, maar de monsters zijn niet gelijkmatig over de ruimte verdeeld. Om een ruimtelijk gewogen gemiddelde te berekenen zou rekening moeten worden gehouden met de relatieve oppervlaktes van de verschillende diepestrata

<sup>3</sup> Monitoring van de Waterstaatkundige Toestand van het Land, het monitoringprogramma van Rijkswaterstaat. Binnen dit programma worden bodemdieren sinds de jaren 1990 systematisch gemonitord.

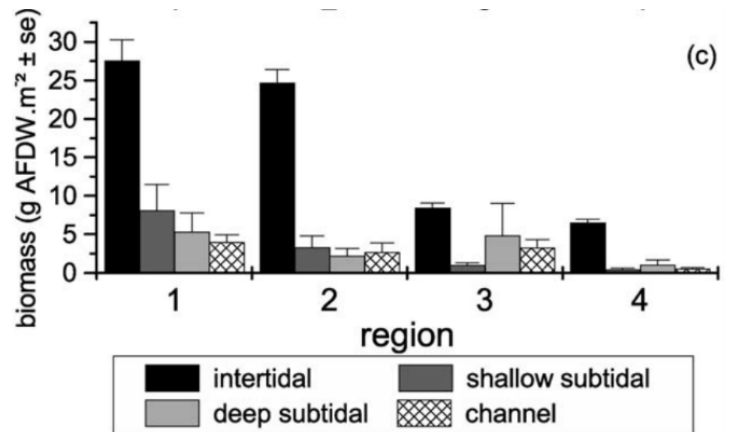


De ruimtelijke verdeling van de biomassa in de monsters genomen vóór 2000 is geanalyseerd door Ysebaert et al. (2003) – zie Figuur 3. In deze figuur loopt zone 1 van de monding tot Terneuzen, gevolgd door zone 2 tot Hansweert, zone 3 tot Bath en zone 4 tot Lillo.

Het meest opvallend aan deze figuur is dat de gemiddelde biomassa overal heel laag is (minder dan 5 g/m<sup>2</sup>), behalve in het litoraal<sup>4</sup> van de zones zeewaarts van Hansweert. Verder vond de studie dat de hogere biomassa in het litoraal van zones 1 en 2 vooral *filter feeders* betreft (soorten die hun voedsel uit het water filteren, zoals de kokkel), terwijl in de brakkere zones de biomassa werd gedomineerd door *deposit feeders*, soorten die hun voedsel zoeken in het sediment waarin het werd afgezet of groeide.

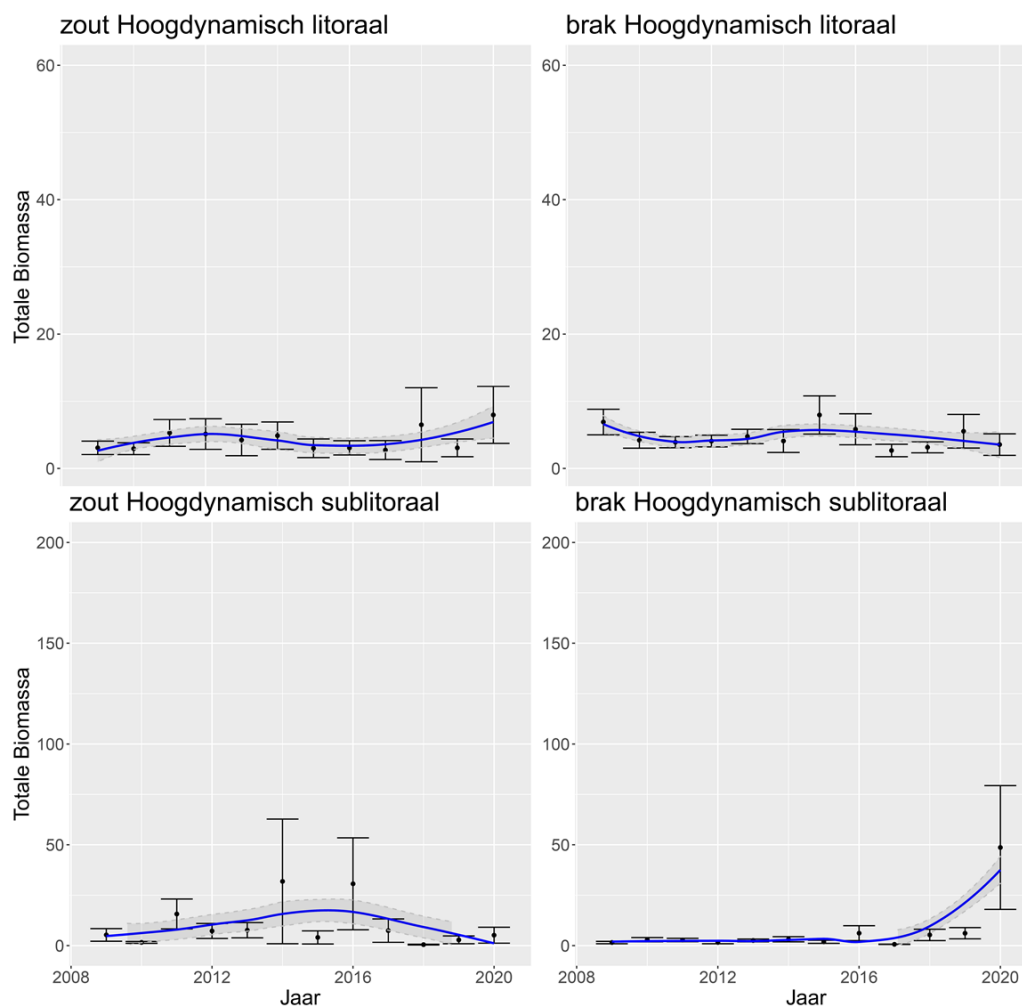
Uit een vergelijking van Figuur 2 en Figuur 3 leren we dat een gemiddeld station in de Westerschelde nu ongeveer evenveel biomassa heeft als een station in de optimale litorale zones in de jaren 1990. Het is interessant te weten te komen of de relatieve verdeling over de zones nog altijd dezelfde is gebleven, bijvoorbeeld omdat de biomassa overal met een factor vier is toegenomen. Het alternatief is dat bepaalde zones heel veel verrijkt zijn, terwijl andere zones arm zijn gebleven of geworden.

Ik heb de primaire gegevens aangeleverd gekregen door Rijkswaterstaat in een staat vóór definitieve kwaliteitscontrole. Het vergde enige soepelheid om deze gegevens in een gemeenschappelijk formaat te kneden, maar met die database kon de bovenstaande vraag beantwoord worden. De analyse is beperkt tot de periode na 2008, d.i. onder het nieuwe bemonsteringsregime, en tot de najaarsmonsters.



Figuur 3. Gemiddelde biomassa van het macrobenthos per zone en hoogtestratum. Uit Ysebaert et al. (2000)

<sup>4</sup> Litoraal: de zone tussen laagwater en hoogwater. Dit betreft dus de slikken en platen. In met planten begroeide schorren is de bodemdierbiomassa meestal laag en wordt ze ook niet gemonitord.



Figuur 4. Biomassa-ontwikkeling tussen 2009 en 2020 in het hoogdynamisch litoraal (boven) en hoogdynamisch sublitoraal (onder) van de zoute (links) en brakke (rechts) delen van de Westerschelde. Let op het verschil in y-as tussen de bovenste en onderste figuren. De y-assen hebben dezelfde schaal voor litoraal en sublitoraal als in Figuur 5.

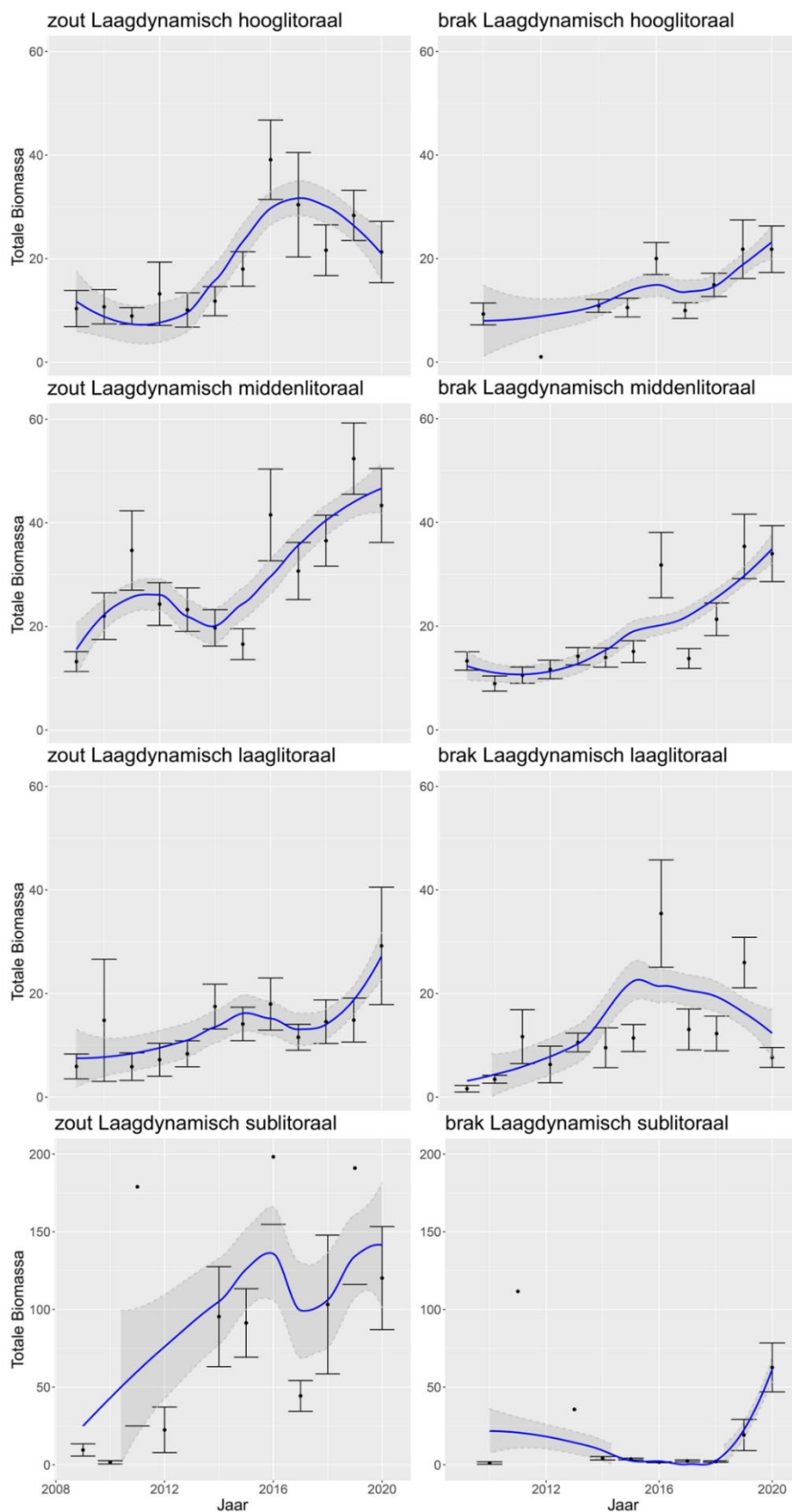
Zowel in de zoute wateren (regio's 1 en 2 van Ysebaert et al.) als in de brakke wateren (grootweg tussen Hansweert en de grens) was er geen duidelijke toename van de biomassa in de hoogdynamische litorale en sublitorale zones (Figuur 4). Hoogdynamische zones zijn plaatsen waar het water zeer snel stroomt en het zand tijdens de getijstroom sterk in beweging komt. Er zijn maar weinig soorten die hier gemakkelijk in kunnen leven, en de aangepaste soorten zijn klein en mobiel. Daardoor is de biomassa in deze zones laag, en is ze recent ook niet systematisch toegenomen, al was er in het laatste jaar een uitschieter in de brakke zone, door het voorkomen van hoge dichtheden mosselen en Japanse oesters in enkele monsters. Het is onduidelijk of dit een toevalstreffer is of een indicatie voor de ontwikkeling van schelpdierbanken in het gebied. De invasieve brakwaterschelp *Potamocorbula amurensis*, die in de Zeeschelde verschijnt in 2019 en daar als enige soort verantwoordelijk is voor een sterke stijging in biomassa, kwam in deze hoogdynamische brakke sublitorale zone niet voor, maar werd in 2020 wel aangetroffen in het laagdynamische gebied.

Binnen de laagdynamische ecotopen was de toename echter overal duidelijk te zien (Figuur 5). In de verschillende litorale zones is de biomassa grootweg verdubbeld gedurende de



periode 2009-2020. Het betreft toenames van sommige wormen, maar vooral van schelpdieren. De slijkgaper *Scrobicularia plana*, een soort die in de Westerschelde altijd onverwacht zeldzaam was gebleven, is in de laatste jaren spectaculair in aantallen en biomassa toegenomen. Deze soort heeft een brede verspreiding over de saliniteitsgradiënt. In de laagdynamische sublitorale zone zien we de spectaculairste toename. Dit betreft voorkomens van de strandgaper *Mya arenaria*, mosselbedden en occasioneel Japanse oesters. Per soort genomen zijn deze voorkomens erratisch, maar over de hele gemeenschap volgen ze elkaar geregeld op. Op systeemschaal dragen ze niet heel veel bij aan de ruimtelijk gemiddelde biomassa, omdat het totale areaal laagdynamisch sublitoraal klein is in vergelijking met het areaal van de hoogdynamische geulen. Maar wat hier vooral de aandacht trekt is dat soorten die in de Westerschelde verwacht kunnen worden maar er tot nu toe niet vaak voorkwamen, nu ook daadwerkelijk vaker worden gezien. Er is in het verleden wel eens een vestiging van een mosselbank waargenomen, maar in vergelijking met de brakke delen van de Waddenzee was dit een uiterst zeldzame gebeurtenis.

Het lijkt er op dat het bodemdierleven in de Westerschelde is opgeleefd. We zien die opleving in de verschillende zoutklassen op ongeveer gelijke manier optreden. De stijging wordt ook waargenomen binnen elk (laagdynamisch) ecotooptype. Ze wordt dus niet veroorzaakt doordat slikken of platen zijn veranderd van ecotooptype en lijkt dus ook niet gerelateerd aan het ruimtelijk beheer van het systeem. Ruimtelijk zijn er wel degelijk verschuivingen geweest in de ecotopen, waaronder een relatieve toename van laagdynamisch areaal in bepaalde gebieden. Dat wordt verderop besproken en heeft ook gevolgen voor de systeembrede gemiddelde biomassa aan bodemdieren. De ecotopenkaarten worden regelmatig gereviseerd en de bemonstering gebeurt binnen actuele ecotooptypes. Als dan een toename binnen de ecotopen wordt waargenomen, is dat te wijten aan iets dat verandert binnen dat type, niet aan een ruimtelijke verschuiving tussen ecotooptypes. Vraag is dan natuurlijk welke factoren wel een rol spelen.



*Figuur 5. Biomassa-ontwikkeling tussen 2009 en 2020 in het laagdynamisch litoraai (bovenste rij: hoog; tweede rij: midden; derde rij: laag) en sublitoraai (onderste rij) van de zoute (links) en brakke (rechts) delen van de Westerschelde. Let op het verschil in y-as tussen de bovenste 3 rijen en de onderste rij.*

### 3 Een zijstap. Ecologische ontwikkeling in de Zeeschelde

De toename van biomassa bodemdieren in de Westerschelde is natuurlijk uiterst beperkt als we het vergelijken met wat zich de afgelopen vijftig jaar in de Zeeschelde heeft afgespeeld. In de jaren 1980-1990 was in de Zeeschelde weliswaar een zeer bijzondere microbiële gemeenschap te vinden, maar geen meercellige fauna. Daarvoor waren de omstandigheden te bar: vrijwel volledig en permanent zuurstofloos en zwaar chemisch vervuild.

Vanuit die toestand heeft het ecosysteem van de Zeeschelde zich spectaculair ontwikkeld. In de waterkolom is een systeemovergang beschreven doordat algen minder zuurstofbeperkt zijn geworden en daardoor zelf de zuurstofvoorziening verder kunnen bevorderen (Cox et al. 2009). Daarnaast is er een sterke areaaluitbreiding van estuarien zoöplankton opgetreden. Was de dominante soort *Eurytemora affinis* voorheen beperkt tot de zone rond de Belgisch-Nederlandse grens, dan is ze nu vooral stroomopwaarts te vinden. In de laatste jaren is de dominantie van deze soort afgenomen ten opzichte van ander mesozoöplankton, terwijl de totale biomassa van mesozoöplankton een afgaande trend vertoont (Maris et al. 2021). Het is mogelijk dat de snel gestegen vispopulaties (Breine et al. 2021) nu meer invloed uitoefenen op het zoöplankton dan enkele jaren geleden. Op zijn beurt begraast het zoöplankton in sterke mate het fytoplankton (de microscopische algen), waardoor die graas een belangrijke factor is geworden voor de ontwikkeling van de algen.

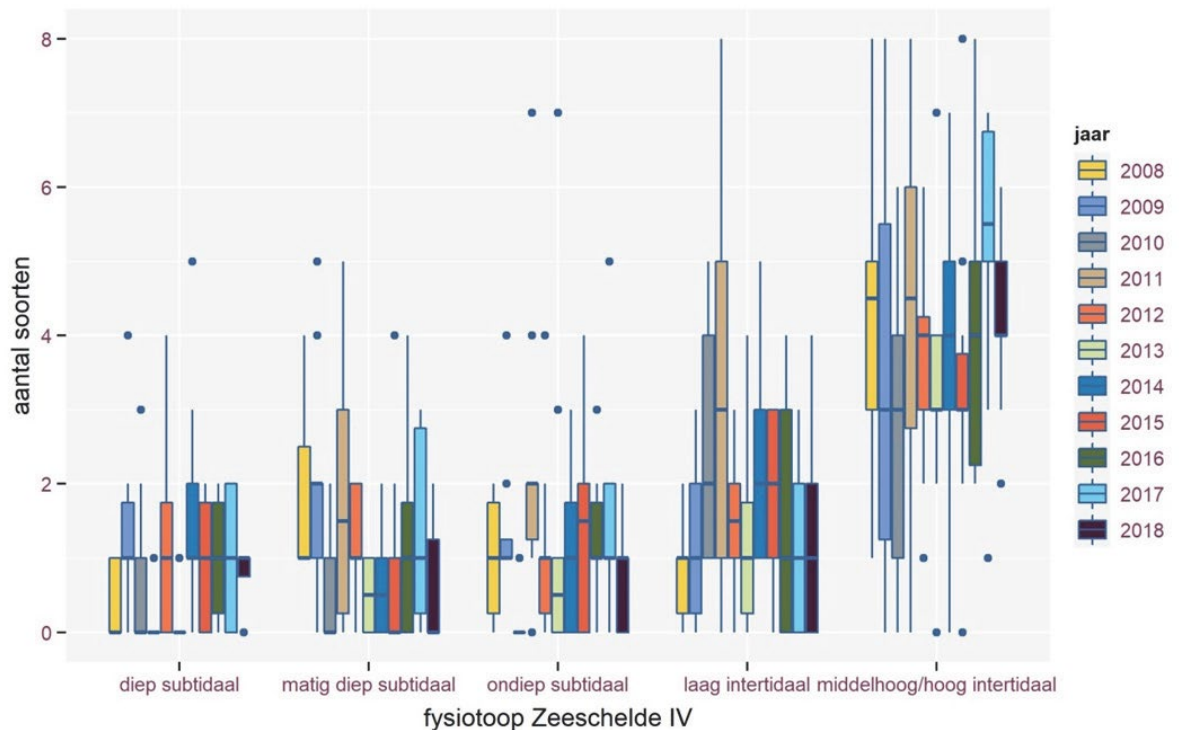
We zien in het ecosysteem van de Zeeschelde verschillende tendensen die enerzijds te maken hebben met het herstel van het ecosysteem na een lange periode van extreme verstoring en vervuiling. Cruciaal daarvoor is dat er nu opnieuw overal zuurstof in het water aanwezig is gedurende het hele jaar. Daardoor kunnen hogere organismen overal overleven, wat vroeger niet het geval was. Naarmate de verschillende groepen terugkomen, gaan ze ook onderlinge relaties uitbouwen, waardoor de verhoudingen in het ecosysteem voortdurend veranderen als respons op het doorgaande herstel.

Tegelijk wordt het beeld ingewikkelder doordat in de tussentijd de omstandigheden veranderen als gevolg van klimaatverandering. Het voorkomen van opvallend veel droge zomers in de laatste jaren is daar waarschijnlijk een voorbeeld van. In jaren van zeer lage zoetwaterafvoer tijdens de zomer veranderen veel waterkwaliteitsparameters van gedrag. De toenemende verzilting zorgt voor een inkrimping van de zoetwatergetijdenzone en het verder stroomopwaarts voorkomen van zouttolerante soorten. Door de geringere uitspoeling is er bovendien een tendens tot accumulatie van zwevend stof in de stroomopwaartse delen van het (zoetwater)estuarium. Voor fytoplankton vermindert het belang van uitspoeling als regulerende factor, maar neemt het belang van nutriënten- en lichtbeperking toe. Het samenspel van deze tendensen leidt tot voortdurende veranderingen van de fundamentele correlaties in het ecosysteem (Cox et al. 2019, Maris et al. 2021) – de zoetwaterdelen van de Schelde blijven een moeilijk voorspelbaar ecosysteem.

Het bodemdierleven in de Zeeschelde werd gekenmerkt door een sterke biomassaontwikkeling van Oligochaeten toen er lage concentraties zuurstof in het water kwamen. Op die biomassaontwikkeling hebben eenden gereageerd, die in sommige jaren massaal aanwezig waren in de Zeeschelde. Die piek van Oligochaeten was van voorbijgaande aard. Het is nog steeds niet helemaal duidelijk waarom de biomassa weer is verminderd. Misschien zijn predatoren talrijker geworden, of is een stock aan gemakkelijk

verteerbaar voedsel, dat ongebruikt in het sediment aanwezig bleef tijdens de periode van zuurstofloosheid, inmiddels opgebruikt. In elk geval is de biomassa van de bodemdieren na die aanvankelijke piek weer verminderd. Een patroon van een aanvankelijke piek en stabilisering achteraf lijkt als een golf over de Zeeschelde gegaan te zijn. Begonnen in het brakke deel van het estuarium, heeft ze zich geleidelijk naar de zoetere stroomopwaartse delen uitgebreid.

Opmerkelijk is dat sinds die eerste golf, de soortendiversiteit van de bodemdieren zeer beperkt is gebleven. Er is een aanzienlijk aantal soorten in de Zeeschelde gekomen die bovenop het sediment leven, of half in de waterkolom en half in het sediment (hyperbenthos genaamd). Voorbeelden zijn aasgarnalen en garnalen. Het aantal soorten dat gravend in het sediment leeft is echter nog steeds beperkt tot niet meer dan 2-4 soorten per monster, en ook beperkte variatie tussen monsters (Van Ryckegem et al. 2020). Dat is veel minder dan in vergelijkbare zoetwatergebieden elders. Het is onduidelijk waarom dit het geval is. Misschien zijn de chemische omstandigheden in de bodem nog steeds beperkend, of is er toch effect van de (nog steeds) wisselende zuurstofconcentraties in het water. Een beter begrip van de factoren die de ontwikkeling van het bodemdierleven in de weg staan, zou zeer helpen om de verdere ecosysteemontwikkeling in de Zeeschelde beter te kunnen voorspellen.



*Figuur 6 Aantal soorten per monster in macrobenthosmonsters in verschillende fysiotopen van de Beneden-Zeeschelde (BE-NL Grens tot Antwerpen). Overgenomen uit Van Ryckegem et al. (2020)*

Deze summier samenvatting doet de bestaande kennis over de Zeeschelde geen recht aan, maar het is aan anderen om dieper in te gaan op de trends en ontwikkelingen. Hier wil ik de nadruk leggen op het feit dat het herstel van het ecosysteem in volle gang is maar zeker niet beëindigd, en dat het beeld complex is omdat het ecosysteem niet alleen reageert op de afgenomen vervuiling, maar daarnaast ook op nieuwe fysische, meteorologische en menselijke drivers die meer en meer buiten de historische grenzen vallen. De snelheid waarmee de biodiversiteit van verschillende groepen reageert op de veranderingen is zeer verschillend. Het fytoplankton toont een snelle respons. Het is waarschijnlijk dat de respons op veranderend klimaat dominant is in de evolutie van de laatste jaren. Zoöplankton,

hyperbenthos en vis reageren trager. We zien het herstel van vispopulaties nog steeds opschuiven naar meer stroomopwaartse gebieden. Waarschijnlijk beïnvloeden de veranderingen in vispopulaties ook het zoöplankton, een belangrijke voedselbron voor de vis in de Schelde, en oefenen die weer invloed uit op het fytoplankton. Endobenthos, de bodemdieren die in het sediment leven, reageren traag op de veranderingen ook al waren bodemdieren bij de eersten om opnieuw te verschijnen na de verbetering van de zuurstofconcentratie. Wellicht wordt die paradox veroorzaakt doordat het herstel van zuurstof in waterkolom en sediment zeer snel is gegaan, terwijl herstel van andere chemische omstandigheden net zeer traag is. De verblijftijd van zuurstof in sediment is heel kort (minuten), maar de verblijftijd van chemische vervuiling die zich bindt aan sediment is vele jaren. De gegevens suggereren dat biomassa vooral heeft gereageerd op het snelle herstel van zuurstofcondities, maar dat volle biodiversiteit langdurig wordt geremd door overblijvende of nieuw ontwikkelende stressfactoren. Dat zou overblijvende vervuiling kunnen zijn, maar ook veranderingen in de habitats of in waterkwaliteit als gevolg van klimaatverandering.

## 4 Zwevend stof in de Zeeschelde. Wel of niet eindbestemming Eems?

Een bijzondere rol in het samenspel van menselijke, fysische en ecologische processen wordt gespeeld door het zwevend stof, het slib in suspensie in het water van de Schelde. Zwevend stof is ecologisch belangrijk omdat het bepalend is voor het lichtklimaat en daardoor voor de primaire productie in de waterkolom. Daarnaast is zwevend stof belangrijk in de adsorptie van organische stof en nutriënten, en in het binden van vervuilende stoffen.

In twee spraakmakende artikelen brachten Winterwerp and Wang (2013) en Winterwerp et al. (2013) de hypothese naar voren dat verdere verdieping van de Schelde zou kunnen leiden tot een systeemomslag met hyperturbide omstandigheden. Gebaseerd op voorbeelden in de Eems en de Loire, toonden zij aan dat verdieping kan leiden tot meer sedimentimport, verandering van de bodemruwheid als gevolg van de sedimentimport, en daardoor een versterking van die sedimentimport. De positieve feedback in het systeem leidt tot een omslag, waarbij zeer hoge sedimentconcentraties kunnen voorkomen. Concentraties van meer dan 1 gram per liter zijn in de Eemsrivier niet ongebruikelijk. Bij dergelijke concentraties dringt het licht maar centimeters door in de waterkolom en is primaire productie in die waterkolom niet mogelijk. In de mate dat dit een gevolg is van verdieping, vooral in de rivier en het stroomopwaartse deel van het estuarium, zou dit ook voor de Schelde een bedreigend toekomstbeeld kunnen zijn.

Observaties hebben aangetoond dat er in de laatste decennia inderdaad een toename van het gesuspendeerde slib is opgetreden in bepaalde delen van het estuarium. Vooral het deel tussen Antwerpen en de grens heeft in de jaren 2010 een forse toename gezien, die ook samenhangt met de opening van het Deurganckdok. Dit getijdendok vangt veel slib in. Het slib wordt teruggestort in de Schelde en zorgt daarmee voor een inputterm die veel groter is dan de natuurlijke aanvoer van slib uit de rivier. Verder zijn ook toenames waargenomen in de concentraties slib in de bovenstroomse delen van de Schelde. Die toenames hangen samen met jaren met beperkte rivierafvoer – in droge periodes is de uitspoeling gering en neemt de concentratie toe. Hyperturbide situaties zoals in de Eems zijn nog niet waargenomen, maar de belangrijke vraag is hoe de observaties van stijgende concentraties naar de toekomst te extrapoleren.

Cox et al. (2019) maakten een statistische analyse van de gegevens en concluderen dat er sinds 2008 een nieuwe zone van maximale turbiditeit (MTZ) is opgetreden in de Schelde. Deze MTZ verschijnt ver stroomopwaarts, in zomers met beperkte rivierafvoer. De auteurs stellen dat de relatie tussen rivierafvoer en sedimentconcentratie van aard is veranderd na 2008, en suggereren dat dit verband kan houden met de verbetering van de waterkwaliteit. In deze interpretatie is de huidige toestand een 'flikkering' tussen twee toestanden, maar bestaat er een reële kans op omslag naar een permanentere toestand van hoge turbiditeit.

Op basis van een gelineariseerd procesmodel komen Dijkstra et al. (2019) tot een heel andere conclusie. Het gebruikte model was in staat om voor de Eems de omslag naar hyperturbiditeit correct te reproduceren, maar voorspelt voor de Schelde geen vergelijkbare omslag. De reden voor het verschil is technisch ingewikkeld en ligt in de andere harmonische structuur van het getij. Verdieping leidt in de Schelde niet tot dezelfde vorm van getij-asymmetrie, en daarom ook niet tot een omslag naar hoge troebelheid. Het model is anderzijds wel in staat om de (al bij al beperkte) toename van het gesuspendeerd slib na de opening van het Deurganckdok weer te geven.



Wang et al. (2019) analyseerden getijgegevens van de Zeeschelde om sporen terug te vinden van een systeemomslag. Zij constateerden dat het systeem op dit ogenblik reageert als een normaal modderig systeem en dat er eerder een afname dan een toename is van vloeddominantie in het getij. Verdieping heeft echter wel geleid tot opslinging van het getij, en dat blijft een risico voor een toename van de capaciteit van het estuarium om slib stroomopwaarts te pompen. Zij vinden een overeenkomst tussen hun resultaten en die van Dijkstra et al. (2019), maar zijn minder zeker van de uitkomsten op langere termijn. Een verdere bevestiging door analyse van concentraties gesuspendeerd slib lijkt noodzakelijk.

De discussie over dit belangrijke onderwerp is dus nog niet gesloten. Als naast het Deurganckdok een tweede groot getijdendok wordt geconstrueerd in de Antwerpse haven, is het van het grootste belang om correct te voorspellen welk effect dit zal hebben op de slibconcentratie, en of dat wel of niet een factor kan zijn die leidt tot een systeemomslag. Ook mogelijke verruimingen in de boven-Zeeschelde moeten kritisch worden onderzocht op dit aspect. Het belang van deze discussie overstijgt sterk het belang van vele andere kwesties in het beheer van het estuarium, omdat een omslag naar hypertroebelheid zo goed als alle leven in het estuarium uitsluit. Het is echter niet gemakkelijk een antwoord te vinden op de vraag in welke richting het estuarium evolueert. Validatie van de vereenvoudigde modelresultaten met grote, procesgebaseerde modellen is nu noodzakelijk. Daarnaast zou het goed zijn statistische modellen te ondersteunen met procesgebaseerde modellen, zodat een nauwkeurige formulering van de (niet-lineaire) verbanden kan onderzocht worden op overeenkomst met de gegevens. Hopelijk kan hierdoor een duidelijker onderscheid worden gemaakt tussen verschillende processen en de patronen die zij genereren. Geen van deze opdrachten is onmogelijk, want we beschikken over de modellen en de specialisten om dit uit te voeren.

## 5 En verder, de morfologie natuurlijk.

Eén van de merkwaardigste conclusies uit de analyse van de toename van bodemdierbiomassa (Figuren 3 en 4) is dat de onderverdeling tussen laag- en hoogdynamische ecotopen pas nu een echte validatie heeft gekregen. Rond 2009 was de gemiddelde biomassa van de bodemdieren in de brakke laag- en hoogdynamische litorale ecotopen ongeveer gelijk, waardoor kon worden getwijfeld aan de waarde van de onderverdeling. Sindsdien heeft ze zich echter in beide zones heel verschillend ontwikkeld. Bij de zoute ecotopen was dat patroon minder uitgesproken, omdat hier ook in 2009 al een uitgesproken verschil in biomassa bestond tussen beide klassen. Dat verschil is ook toegenomen in de tijd. Bij de sublitorale ecotopen zijn de verschillen nog meer uitgesproken. Dynamiek heeft overduidelijk een heel sturende invloed op het bodemdierleven, en het is interessant te zien dat deze invloed nu over de hele zoutgradiënt duidelijk is geworden.

Deze 'validatie achteraf' is een bevestiging dat het een goede keuze is geweest om 'dynamiek' als een leidraad te gebruiken bij beslissingen over de inrichting en het beheer van het estuarium. Maatregelen die te maken hebben met de verruiming en de natuurcompensatie zijn afgewogen op basis van hun effect op de dynamiek van platen en geulen. De maatregelen overspannen meerdere schalen, van 'microtuinieren' tot systeembreed zandbeheer en inrichting rond de verruiming.

In het afgelopen decennium is er een duidelijk succes geboekt in het grootschalig zandbeheer van de Westerschelde. Nadat uit analyse duidelijk was geworden dat de opslinging van het getij in de zone Bath-Hansweert zeer sterk gecorreleerd was met de netto zandonttrekking uit dit compartiment, is besloten de zandwinning stop te zetten. Deze zandwinning was aanzienlijk (orde 2.5 miljoen m<sup>3</sup>/j), maar wel veel kleiner dan de bruto jaarlijks gebaggerde volumes (orde 10 miljoen m<sup>3</sup>/j). Niettemin was zandonttrekking een veel betere voorspeller voor getijverschil dan bruto gebaggerde volumes. Nu de zandwinning is gestopt, lijkt de stijgende trend in getijverschil ook tot stilstand te zijn gekomen. Het is misschien nog net iets te vroeg om daarover al zekerheid te hebben, gezien de meerjarige variabiliteit van getijverschillen, maar het visuele beeld is duidelijk. In de Westerschelde lijkt daarmee een groeiend probleem onder controle gekomen te zijn. Diezelfde indruk bestaat niet voor de Zeeschelde. Hier wordt de interpretatie van de hoogwaters en laagwaters bemoeilijkt omdat het referentieniveau in een aantal stations is veranderd, zonder dat de oude data naar de nieuwe referentie zijn teruggerekend, maar voor getijverschillen is dat probleem beperkt. De curves lijken hun stijgende trend te behouden in recente jaren en niet dezelfde trendbreuk te vertonen als de stations in de Westerschelde. Gezien het veiligheidsprobleem dat gepaard gaat met stijgende getijverschillen, zou het zeer de moeite waard lonen om ook voor de Zeeschelde een kritische analyse van de relatie met zandwinning te maken. Daarnaast kan in de Zeeschelde ook netto stroomafwaarts transport een rol spelen, omdat afwaarts vanaf Antwerpen tot veel grotere diepte is gebaggerd dan stroomopwaarts van Antwerpen, waardoor een longitudinale dieptegradiënt ontstaat.

Een tweede belangrijk aspect van grootschalig zandbeheer betreft de keuze van stortplaatsen. Er zijn in de afgelopen vijftig jaar een aantal verschillende strategieën voor het storten van zand gebruikt. Storten in de nevengeulen heeft een maximum capaciteit, wil men vermijden dat de nevengeul verstopt en het systeem omkapt van een meergeuls- naar een ééngelusestuarium. De eerste oplossing voor dit probleem was de oost-west strategie, waarbij zand uit het oosten van de Westerschelde werd gedumpt in de westelijke helft. Dit leidde tot versnelde opslinging van het getij in het oostelijk deel, en tot export van zand vanuit het westelijke deel naar de Noordzee.

Na de laatste verruiming is overgegaan op de strategie van plaatrandstortingen, waarbij zand wordt gestort langs plaatranden, met de bedoeling de plaat te laten uitbreiden en de bredere platen daarbij om te vormen tot laagdynamisch litoraal. De hoge ecologische waarde van laagdynamisch litoraal speelde een belangrijke rol bij het aannemen van deze strategie. De plaatrandstortingen hebben gemengde resultaten opgeleverd. In alle gevallen waar de strategie is toegepast, was het gestorte zand relatief stabiel. De geringe terugkeersnelheid heeft waarschijnlijk een positieve invloed gehad op de baggercijfers. In één geval, rond de plaat van Baarland, is gestopt met de plaatrandstorting omdat de hele omringende zone versneld aanzandde. Het is onwaarschijnlijk dat de plaatrandstortingen dit in gang hebben gezet, maar tegelijk was het onwenselijk door de stortingen deze verstopping van het Middellandse Zee verder te bevorderen. Plaatrandstortingen bij de Hooge Platen zijn beperkt tot de westelijke zijde, omdat stortingen bij de noordoever de verhoging van de plaat leken te bevorderen. Dit is, over het algemeen genomen, een probleem van plaatstortingen. Omdat het zand relatief stabiel ter plaatse blijft maar uiteindelijk meestal toch beweegt, en omdat er een energiegradiënt is tussen de stortplaats en de plaat, is een netto transport richting de plaat dat bijdraagt aan verhoging van de plaat, bijna niet te vermijden. Alleen golfwerking op de plaat kan dit proces tegenwerken, maar nadat er begroeiing op de plaat is gekomen blijft ook dat beperkt.

Door de verhoging neemt de dynamiek over het algemeen af, waardoor het areaal laagdynamisch litoraal toeneemt. De vraag is of deze toename altijd als positief kan worden geëvalueerd. Als vermindering van dynamiek een gevolg is van versnelde ophoging die in verschorring resulteert, dan kan het ook een teken zijn dat een plaat de ecologische functie als onbegroeide plaat aan het verliezen is. Die discussie is met name bij de Hooge Platen, een belangrijk foerageergebied voor vogels, van groot belang.

Om verdere problemen met plaatrandstortingen te vermijden, zijn een aantal testen uitgevoerd met stortingen in diepe putten. Ook deze kennen gemengd succes. Een uitgebreide goed gemonitorde test bij Hansweert wees uit dat het materiaal in de diepe putten zeer snel wordt verwijderd door de stroming. De 'uitruimcapaciteit' van de diepe put bij Hansweert is in de orde 10.000 m<sup>3</sup>/dag. Ook als men sneller stort dan het systeem kan uitruimen, is de verblijftijd van het sediment in de diepe put kleiner dan een jaar (Huisman et al. 2021). Men heeft weinig tot geen controle over de plaats waar het zand heen gaat: het wordt als het ware in de mixer gegooid en pas achteraf kan men constateren waar het heen is gegaan. Een punt van discussie is vervolgens of men niet beter die plaatsen rechtstreeks benut voor het storten, in plaats van de onzekerheid op te zoeken die voortkomt uit het storten in de diepe putten.

Het mag duidelijk zijn dat zandbeheer een cruciale, maar ook aartsmoeilijke opdracht is in het beheer van de Schelde. Mirakeloplossingen voor dit probleem zijn niet te verwachten, maar het is van het grootste belang er voldoende aandacht aan te blijven besteden, bij voorkeur in combinatie met verbeterde inzichten in de morfodynamiek, zoals ik verder zal betogen.

## 6 Microtuinieren

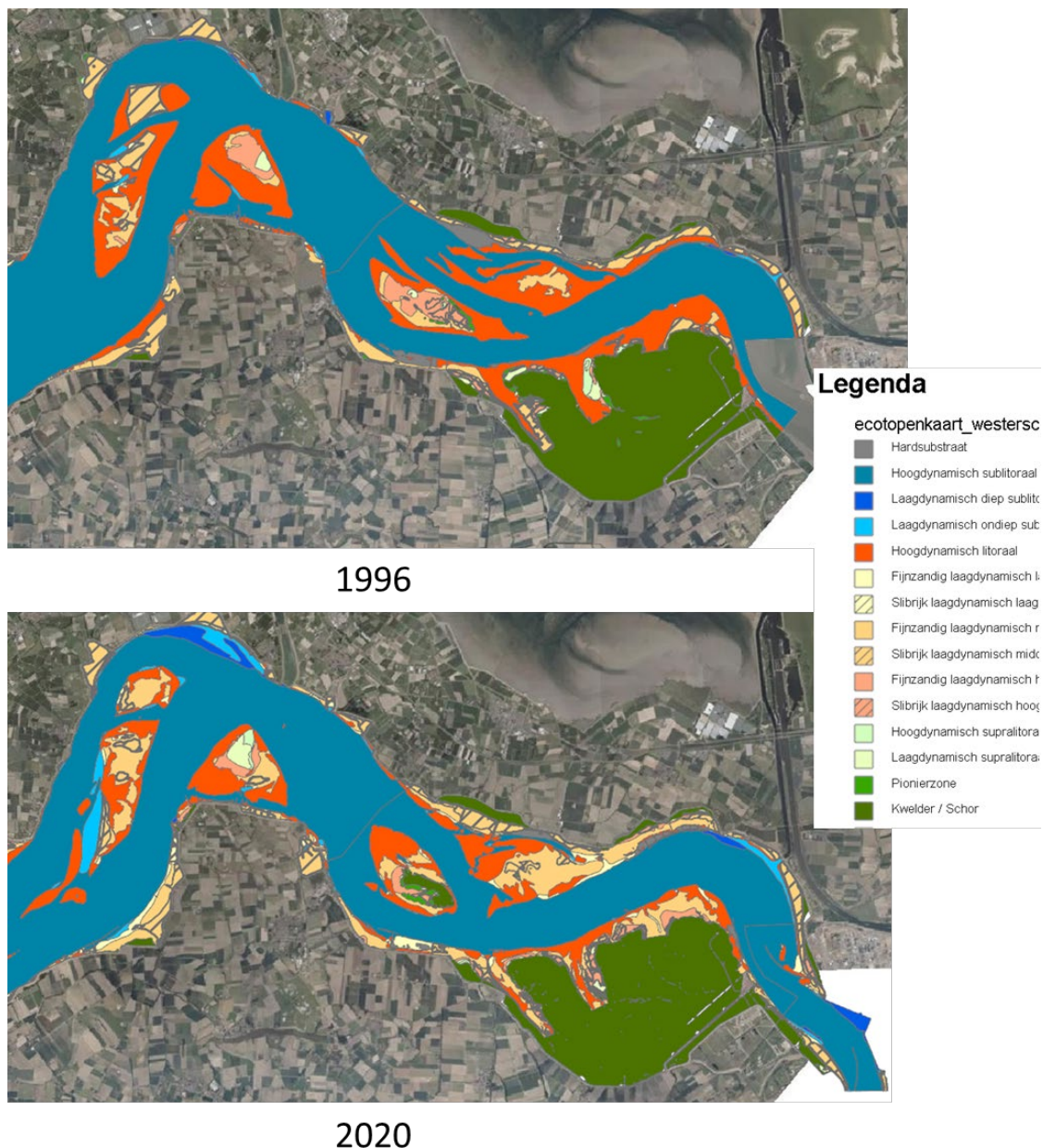
In sterk contrast met de grootschalige, belangrijke beslissingen over het zandbudget van de Westerschelde, staan de natuurgerichte kleinschalige ingrepen door middel van strekdammen, bijvoorbeeld op de platen bij Bath. Deze maatregelen zijn niet gericht op het systeem, maar pogen rechtstreeks en kleinschalig een bepaald habitatype – slibrijk laagdynamisch litoraal – te creëren op plaatsen waar de dynamiek te hoog is om dit op natuurlijke wijze te laten ontstaan. Het is een soort shortcut naar de Natura2000 doelen, waarin rechtstreeks de natuurtypes worden gemaakt waaraan gebrek is volgens die doelen. Bij Bath heeft dit geresulteerd in de constructie van stenen compartimenten, bedoeld als bezinkingsputten voor slib, die geconstrueerd zijn op de harde kleilaag (een voormalige polderbodem) die in de loop van de tijd door erosie bloot was komen te liggen. Het project bij Bath is een verderzetting van een aanpak waarin eerder twee lange strekdammen zijn geconstrueerd op het slik van Waarde. Het is interessant de morfologische evolutie rond deze strekdammen te bekijken. Een eerste waarneming is dat de maatregel over de laatste acht jaar geen enkele uitbreiding van het schor heeft veroorzaakt. De strekdammen hebben in het laaglitoraal de dynamiek, die voortkomt uit de getijdenstroom, gedeeltelijk weggehaald. Het is te zien dat die dynamiek naar stroomopwaarts van de dammen is verplaatst (Figuur 7). Op de dynamiek van het hogere deel van de plaat hebben de dammen kennelijk weinig invloed gehad. Die dynamiek hangt vooral af van golven, die weinig worden beïnvloed door dammen die in de richting van de dominante golven zijn georiënteerd. Een tweede waarneming is dat de dammen al meteen na hun constructie een grote invloed hebben uitgeoefend op de Zimmermangeul die de platen van Valkenisse scheidde van de noordoever. Die kreek is snel gedegeneroerd omdat de oostelijke dam tot in de kreek reikte. Het gevolg is dat de platen aan de wal zijn vastgegroeid (tenminste bij eb), waardoor, bijvoorbeeld, wandelaars met honden nu vrij baan hebben om de rustplaatsen van de zeehonden te verstoren. Uiteindelijk zien we dat de dammen behoorlijk veel invloed uitoefenen op het systeem, maar niet op de manier waarop ze bedoeld waren. Het opnieuw verwijderen van deze dammen zou dan ook morfologisch aangewezen zijn, al is het niet zeker of de veranderingen daarmee weer ongedaan kunnen worden gemaakt.

Voor de nieuwe dammen bij Bath kan men zich een gelijkaardig scenario voorstellen. De getijdynamiek die ervoor heeft gezorgd dat de plaat tot op de harde kleilaag werd geërodeerd, bestaat nog steeds. Door op één zone de getijstroom te beperken, moet die op andere plaatsen in sterkte toenemen, want het getijvolume wordt door deze maatregel niet veranderd. Plaatselijk lijkt de maatregel voorlopig nog weinig invloed te hebben gehad, maar zelfs als dat wel het geval is, dan is natuurwinst op systeemniveau onzeker omdat dynamiek uit getijstroom wel verplaatst, maar niet opgeheven kan worden.

In elk geval is duidelijk dat een systeembrede verandering zoals de toename van de biomassa van bodemdieren, een veel groter effect heeft op de natuurwaarde van de Westerschelde dan de kleine lokale ingrepen om dynamiek ruimtelijk een beetje te verplaatsen.

## 7 Morfologische veranderingen

In de analyse van de bodemdiergegevens heb ik de nadruk gelegd op de waarneming dat de biomassa bodemdieren *per ecotooptype* ongeveer verdubbeld is in een decennium, en dat dit voor alle laagdynamische ecotopen geldt. Er speelt echter nog een andere verandering, waardoor het effect nog toeneemt in belang. Het areaal laagdynamisch litoraal is, vooral in het brakke gebied, aanzienlijk toegenomen ten koste van hoogdynamisch litoraal (Figuur 7). Wellicht is dit tenminste gedeeltelijk het gevolg van de verhoging van de platen, al lagen sommige delen ook in 1996 al hoog. Op de plaat van Walsoorden was de vestiging van schor reeds begonnen in 1996, maar op de plaat van Valkenisse was dat nog niet het geval.

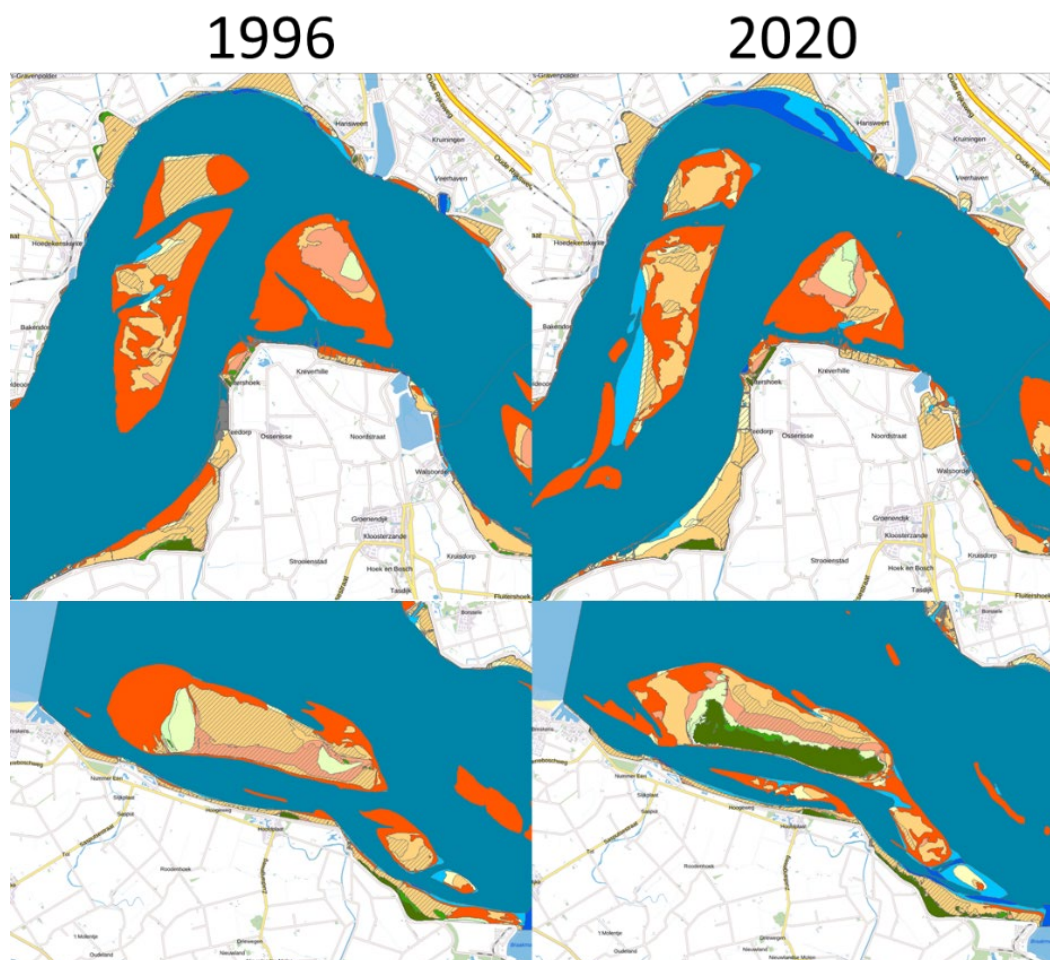


Figuur 7. Ecotopen in het midden en oosten van de Westerschelde, in 1996 en 2020.  
<https://maps.rijkswaterstaat.nl/gwproj55/index.html?viewer=Ecotopen>



De plaat van Ossenisse heeft in de tussentijd een beetje vegetatie gehad, maar dit is in 2020 weer verdwenen. Over het algemeen zien we dat schorren zich ontwikkelen op de platen, maar dat deze ontwikkeling niet ongeremd doorzet. Er is slechts een beperkt deel van de platen dat met schor bedekt geraakt, en soms helemaal geen.

Zoals eerder besproken is de plaat van Valkenisse zo goed als vastgegroeid aan de noordelijke oever. Het meergeulensysteem is daarom naar het westen teruggedrongen en begint pas rond de plaat van Walsoorden. Afwaarts Hansweert staat het eveneens sterk onder druk. Het Middelgat tussen de westelijke oever en Molenplaat/ Plaat van Baarland verzandt snel. Dat komt o.m. tot uiting in de vorming van aanzienlijke arealen laagdynamisch sublitoraal. Hier werden hoge biomassawaarden van bodemdieren aangetroffen, zij het met een grote jaar-tot-jaar variatie (Figuur 5, let op de andere schaal voor sublitoraal). Dergelijke uitgebreide arealen laagdynamisch sublitoraal zijn nieuw voor de Westerschelde. De ontwikkeling ervan lijkt verband te houden met verlies van het functioneel meergeulensysteem. Andere plekken waar het wordt aangetroffen zijn bij Hansweert en in de Bocht van Bath. Het is onduidelijk wat het lot op lange termijn is van deze arealen. Nog onduidelijker is hoe we vanuit ecologisch standpunt deze evolutie moeten waarderen. Is het ontstaan van laagdynamisch sublitoraal ecologische winst, of een tussenstap naar het verlies van een essentieel goed, namelijk een functioneel meergeulensysteem?

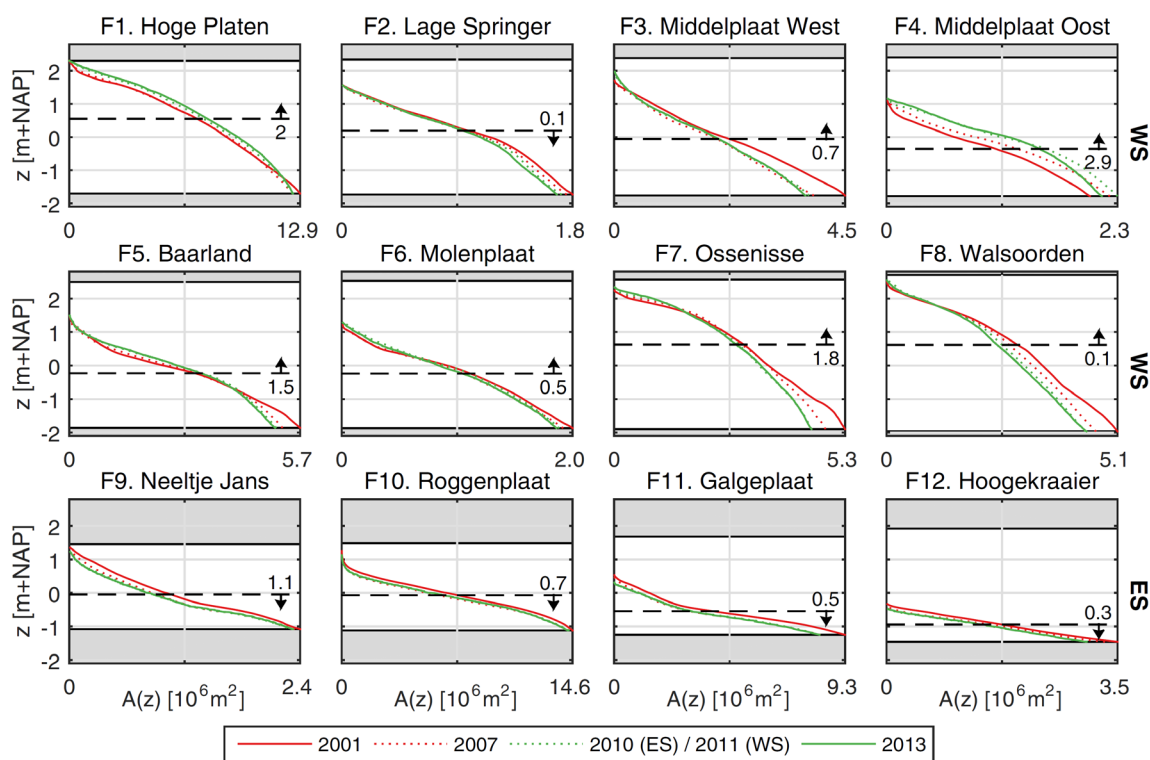


*Figuur 8. Vergelijking tussen de ecotopenkaarten van 1996 en 2020 voor het middendeel van de Westerschelde (boven) en de omgeving van de Hooge Platen (onder).  
<https://maps.rijkswaterstaat.nl/gwproj55/index.html?viewer=Ecotopen>*



Voor de verdere morfologische ontwikkeling van de Westerschelde is het van zeer groot belang dat we een beter begrip en voorspellingskracht ontwikkelen voor dit fenomeen. De Westerschelde is nu op een punt waar de belangrijkste functies van het meergeulenstelsel – de platen scheiden van de oevers en de platen verjongen door de dynamiek van kortsluitgeulen – niet meer overal vervuld worden. Vooral de verversing met kortsluitgeulen is een fenomeen dat nog nauwelijks is voorgekomen in de afgelopen decennia, op de Middelpaten na. Het complex van de platen van Valkenisse is zo goed als vastgegroeid aan de oever (Figuur 7). Het Middelgat dat de Plaat van Baarland scheidt van de oever degenerereert al lange tijd, maar was zo diep dat veel sedimenttransport en veel tijd nodig is om de plaat echt aan de oever te laten vastgroeien (Figuur 8). Of de Plaat van Ossenisse vrij blijft liggen van de zuidoever is de vraag, maar ook hier zou vastgroeien mogelijk zijn in de toekomst. Ecologisch is de belangrijkste vraag hoe de Hooge Platen in dit verband zullen evolueren (Figuur 8). De plaat verbindt zich in het zuidwesten met de Lage en Hoge Springer, die nog slechts door ondiep sublitoraal van Paulinapolder aan de zuidoever zijn gescheiden. De verhoging en schorvorming op het zuidelijke deel van de Hooge Platen houdt misschien verband met het functieverlies van de geul ten zuiden van de plaat.

Er zijn dus meerdere kleinere geulen in de Westerschelde die hun functie lijken te verliezen. Dat zou kunnen wijzen op een beweging richting ééngelstelsel voor grote delen van het estuarium. De vraag is wat de gevolgen hiervan zijn voor de morfologie en de ecologie.

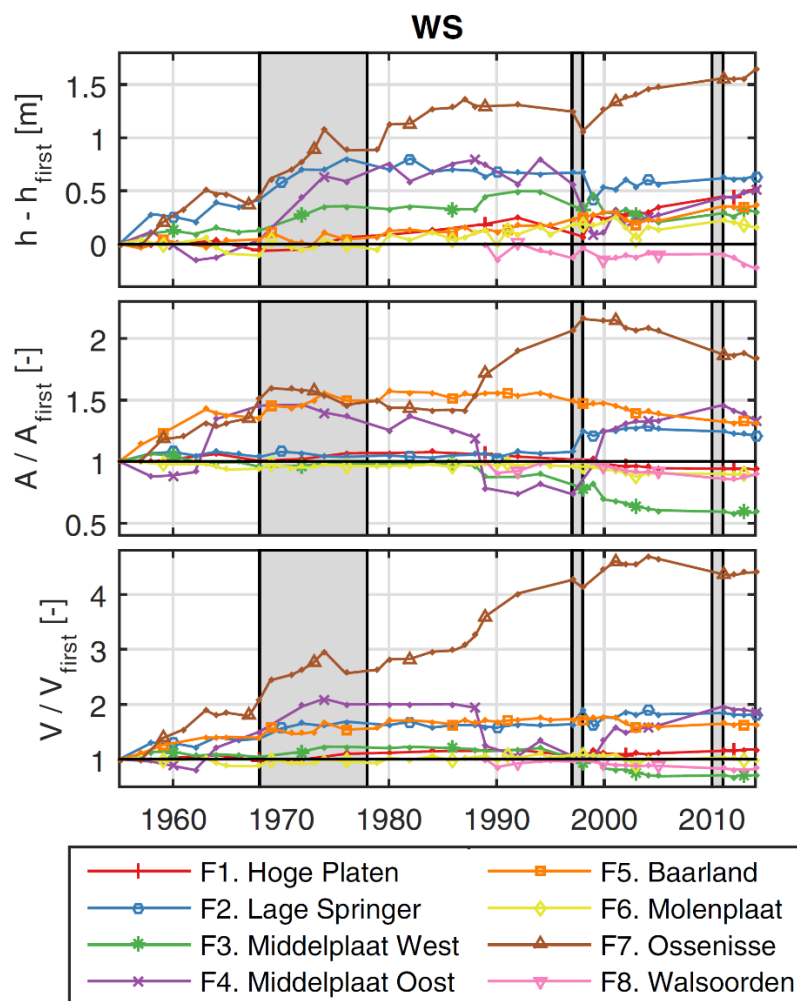


Figuur 9. Verandering in hypsometrie van een aantal platen in de Westerschelde. Uit: de Vet et al. (2017)

de Vet et al. (2017) hebben een gedetailleerde analyse gemaakt van hoogteligging, oppervlak, volume en steilheid van representatieve platen in de Westerschelde. Deze studie bevestigt en nuanceert het algemene beeld, dat baggeren en verruimen leidt tot versteiling en verhoging van de platen. In een gedetailleerde studie, op basis van LIDAR hoogtegegevens tussen 2001 en 2013, blijkt dat de gemiddelde hoogte van de platen toeneemt, het oppervlak afneemt en het volume gelijk blijft. Dat is een weerspiegeling van de evolutie in de hypsometrie (verdeling van oppervlakte over diepteklassen) zoals geïllustreerd

in Figuur 9. Bij de meeste platen zien we een areaalvermindering in de diepstgelegen delen van de plaat, terwijl er weinig veranderingen zijn in de delen boven gemiddeld zeeniveau. Twee platen wijken af van dit beeld: de Hooge Platen en Middelplaat Oost, die beide areaal winnen over de hele diepte gradiënt. Echter, ook bij deze platen is de toename in de diepste delen geringer dan in de hogere delen. Gecorrigeerd voor hun toename in oppervlakte, ontstaat daardoor een vergelijkbaar relatief beeld als bij de andere platen.

De hypsometrie bevestigt het visuele beeld uit de ecotopen: er is een verkleining van de laaggelegen, hoogdynamische rand van de platen. “Versteiling” van de platen speelt zich bijna uitsluitend daar af. De toename van laagdynamisch areaal in de tussenliggende zone wordt echter niet uit de hypsometrie verklaard. Misschien is de effectieve verbreding van de vaargeul, die verantwoordelijk is voor het verlies aan areaal in het diepste deel van de platen, ook mee verantwoordelijk voor de vermindering van dynamiek op de hogergelegen delen van de plaat. Het getijvolume heeft immers een hoger doorstroomoppervlak gekregen door verdieping en verbreding van de geul, waardoor verwacht kan worden dat de stroomsnelheid eerder afneemt dan toeneemt. Dit is met name het geval als het getij niet verder opslingert, wat in het afgelopen decennium tenminste voor de Westerschelde het geval was.



Figuur 10. Relatieve hoogte, oppervlakte en volume van acht platen in de Westerschelde, op basis van de vaklodingen. De variabelen hebben waarde 1 gekregen bij het begin van de tijdserie (1955, behalve voor plaat van Walsoorden – 1989). Grize stroken in de achtergrond zijn periodes van verruiming.

Op de langere tijdschaal en op basis van de vaklodingen valt vooral op hoe constant het volume van de platen is gebleven sinds de verdiepingen van de jaren 1970. Met uitzondering van de Plaat van Ossensisse, die sterk is gegroeid tussen 1955 en 1995, lijkt het volume zand in de platen al sinds de jaren 1970 vastgelegd. Platen boden aanvankelijk ruim plaats waar 'overtollig' zand een stabiele plek kon vinden om permanent aanwezig te blijven, maar na een snelle volumeverhoging werd een nieuwe grens bereikt. Er is nogal wat variatie in de Middelpaten en Lage Springer, die onderling soms stuivertje wisselen en tezamen eerder achteruitgaan in areaal, volume en hoogte. Ook de Plaat van Walsoorden lijkt recent wat achteruit te gaan in volume, maar deze variaties zijn relatief klein.

Qua hoogteontwikkeling worden tegengestelde trends gezien. Middelpaten en Plaat van Walsoorden zijn gemiddeld lager geworden in de laatste decennia. De plaatcomplexen in het oosten (Valkenisse), westen (Hooge Platen) en midden (Ossensisse, Baarland, Molenplaat) zijn in hoogte toegenomen. De snelheid en mate van toename is vooral groot in die platen die niet langer door een actieve geul van de oever zijn gescheiden. Voor Baarland en Molenplaat is de toename veel beperkter. De platen die in hoogte afnemen hebben gemeenschappelijk dat ze alle midden in het hard stromende deel van het estuarium liggen. Er lijkt dus een patroon te zijn dat verband houdt met verandering in het geulstelsel.

Alle ingrepen en veranderingen in het estuarium hebben ertoe geleid dat de platen in volume zijn toegenomen (maar reeds lang gestabiliseerd lijken) en hoger liggen dan in vergelijkbare systemen als Oosterschelde of Waddenzee. Er lijkt ook een tendens tot verdere verhoging, vooral in platen die aan de oever vastgroeien, terwijl platen in het midden van het estuarium lijken te verkleinen. Dat alles wijst op grote veranderingen en zou kunnen wijzen op een verderzettende erosie van de natuurlijkheid van het systeem. We zien dat voorlopig echter niet gebeuren. Er is een reductie in areaal van de laagstgelegen hoogdynamische delen, maar niet heel veel verandering en - globaal beschouwd - geen verlies van hogergelegen, laagdynamisch areaal. Het is nu nog niet duidelijk of het schor op de hoogste plekken een evenwichtsareaal bereikt, dan wel stelselmatig zal uitbreiden tot de platen een soort begroeide eilanden zijn geworden. Op de Plaat van Walsoorden en op de Hooge Platen is sprake van uitbreiding van het schorareaal, en ook gemiddeld over de Westerschelde is er sprake van een gestage toename van het schorareaal, maar het is onzeker of dat op vergelijkbare voet zal blijven doorgaan.

Ecologisch is de balans voorlopig positief. Een groter gedeelte van de platen is laagdynamisch litoraal geworden, terwijl het areaal schor nog steeds tamelijk beperkt is. Cruciaal voor het in stand houden van de functies voor foeragerende vogels is dat de tendens van schorvorming niet veel verderzet. Mochten alleen hooggelegen, steile en met vegetatie bedekte eilanden uiteindelijk stabiel zijn, dan zou zulks ten koste gaan van vele bestaande functies van de platen. Het is mogelijk dat de Schelde zich op een kantelpunt richting een ééngeulstelsel bevindt, waardoor de onzekerheid over de toekomstige morfodynamiek van het systeem groot is. Er is met hoge prioriteit behoefte aan een beter inzicht in hoe de Westerschelde, mogelijk gedeeltelijk als ééngeulstelsel, verder morfologisch en ecologisch zal evolueren. Als studieonderwerp zou dit hoog op de agenda dienen te staan. Sterk daarmee verbonden is de beheersvraag hoe sterk het behoud van het meergeulensysteem op de voorgrond van het sedimentbeheer moet staan. Het is goed mogelijk dat dit behoud niet mogelijk zal blijken. Dan moeten we weten hoe het alternatief er uit kan zien, hoe dat stabiel te houden is en wat het optimale zand- en baggerbeheer is om in die veranderde Westerschelde de ecologische functies van de platen te behouden of te versterken.

Bij dit alles lijkt het 'tuinieren' met projectjes die wat willekeurige strekdammen aanleggen zonder duidelijk beeld van de morfologische gevolgen, zonder duidelijke ecologische voordelen en zonder inbedding in de monitoring of in het zand- en morfologisch beheer van

het systeem als geheel, een soort permanente jeuk in het beheersysteem: irritant en zinloos maar helaas niet te stoppen. Ze doen grote afbreuk aan de landschappelijke integriteit van het systeem – wat is lelijker in een landschap van water, modder en zandplaten dan een stenen dijk – en ondermijnen door hun lokale verstoringen het grootschalige beheer dat moet gericht zijn op het bereiken van een min of meer stabiele morfologische toestand met voldoende ecologische ruimte en waarde. Het zijn steen geworden manifestaties van bestuurlijke onmacht en versnippering. Het is te hopen dat ze snel weer uit het gezicht verdwijnen.

## 8 Vervuiling?

Terugkomend op de bodemdieren van de Westerschelde, wil ik de hypothese naar voren brengen dat de toename van biomassa ook hier veroorzaakt kan zijn door de laatste stappen in verbetering van de waterkwaliteit. We hebben gezien dat de verhoging van de biomassa niet beperkt is tot één van de zoutklassen maar zich over het hele estuarium voordoet, zij het beperkt tot de laagdynamische ecotopen. Het is onwaarschijnlijk dat de toename is toe te schrijven aan fysische veranderingen in de ecotopen, omdat dan een factor moet worden gevonden die geldt vanaf het ondiep sublitoraal tot het hoogste litoraal. Versteiling bijvoorbeeld zou de geschiktheid voor bodemdieren van de laagste litorale ecotopen kunnen verhogen, maar zou een negatieve invloed uitoefenen op de hoogste klassen.

De veranderingen betreffen toenames van aantallen en voorkomens van soorten die tot de meest typische soorten voor brakke estuaria behoren: de slijkgaper *Scrobicularia plana*, de strandgaper *Mya arenaria*, de mossel *Mytilus edulis* en de Japanse oester *Crassostrea gigas*. Er is ook een toename bij een aantal wormensoorten, maar die zou secundair kunnen zijn, als gevolg van een verfijning van het sediment die veroorzaakt wordt door de schelpdieren. De toename lijkt consistent te zijn over alle subhabitats, ook al zijn er per ecotoop andere soorten verantwoordelijk voor de toename. Daarom is een oorzaak in de waterkwaliteit waarschijnlijker. Omdat de toename zich over het hele estuarium voordoet en niet beperkt blijft tot de meest brakke zone, kan de oorzaak niet in de zuurstofhuishouding liggen. Volledige zuurstofverzadiging in de zomermaanden is ook in het oosten van de Westerschelde (station Schaar van Ouden Doel) pas na 2010 bereikt. Er is echter in het zoute deel van de Westerschelde nooit een zuurstofprobleem geweest, waardoor deze verklaring afvalt.

Een mogelijk belangrijke factor zou de afname in tributyltin (TBT) kunnen zijn. Deze stof was in de Westerschelde altijd in zeer hoge concentratie aanwezig en is er ook langer in het water vrijgekomen omdat verbodsbepalingen aanvankelijk niet voor de commerciële zeevaart golden, wat in de Westerschelde de dominante bron was. Langston et al. (2015) beschrijven specifiek voor *Scrobicularia plana* dat TBT waarschijnlijk de belangrijkste factor was die de lage dichtheden en recente toename van de soort in Engelse estuaria kan verklaren. Verhaegen et al. (2012) beschrijven de concentratie van TBT in de Westerschelde en tonen aan dat de concentratie hier vele malen hoger lag dan in andere kustgebieden van de Noordzee. Zij verklaren een toename in de populatie garnalen in de kustzone als een respons op de afname in TBT tijdens de jaren 2000. Die afname zal waarschijnlijk pas later in de Westerschelde hebben plaatsgevonden. Tot ongeveer 2010-2015 waren de concentraties in bodem en water van de Westerschelde hoog in vergelijking met kritische niveaus.

Het is duidelijk dat meer gedetailleerd onderzoek nodig zou zijn om deze hypothese grondig te toetsen. Het is echter een heuglijke waarneming dat soorten, zoals *Scrobicularia* of de mossel, waarvan steeds onduidelijk bleef waarom deze in de Westerschelde zeldzaam waren, nu een normalere verschijning lijken te worden. Het is te hopen (en op de langere termijn te verwachten) dat ook in de Zeeschelde het gat in de biodiversiteit van bodemdieren zal worden opgevuld. Herstel van ernstige verstoring door verontreiniging blijkt een langduriger proces te zijn dan soms wordt gedacht. Het herstel van de zuurstofbalans is een vrij snel proces, maar herstel van vervuiling vereist de afname van grote hoeveelheden vervuilende stoffen in sedimenten, waar hun verblijftijd vele jaren kan beslaan.

## 9 Wie komt in de open niches als vervuiling afneemt?

Al lange tijd heb ik mij afgevraagd of herstel van vervuiling in de Schelde, net zoals in de Rijn (Leuven et al. 2009), gepaard zou gaan met een explosie van exotische en invasieve soorten. Bij het verdwijnen van belangrijke beperkingen zoals zuurstofloosheid, ontstaan er als het ware 'vacatures' (open niches) in het ecosysteem, die kunnen worden ingevuld door meerdere soorten. De soorten die historisch de rol vervulden zijn vaak niet meer aanwezig in het systeem en moeten met exotische invasieve soorten concurreren om zich voldoende snel te verspreiden en de niche te vullen. Dat leidde in de Rijn en andere systemen tot een sterke dominantie van de invasieve exoten, die immers 'invasief' worden genoemd omwille van hun verspreidingscapaciteit.

De verspreiding en dominantie van exoten leek in de Schelde nogal beperkt te blijven, maar neemt de laatste jaren een steeds grotere vorm aan. De Chinese wolhandkrab is al een tijd een zeer belangrijke soort in de Zeeschelde en bijrivieren. De driehoeksmossel breidt gestaag uit maar komt hier aan de rand van zijn tolerantiezone voor turbiditeit voor. De recente 'explosie' van de brakwaterkorfshelp *Potamocorbula* is zeer opvallend. In San Francisco Bay heeft deze soort een systeemomslag veroorzaakt. Recent is in de Zeeschelde waarschijnlijk een exotische algensoort ontdekt die zand vastlegt en daardoor de dynamiek van getijdenplaten kan veranderen. In de waterkolom is de Amerikaanse ribkwal *Mnemiopsis leidyi* al een aantal jaren van enig belang, maar de monitoring van (rib)kwallen is onvolledig.

In de meeste gevallen is het niet mogelijk door beheer de verspreiding van exoten te beïnvloeden. Het is echter wel belangrijk deze evoluties nauwkeurig te monitoren, zodat hun invloed op het ecosysteemfunctioneren correct kan worden ingeschat en de gevolgen voor de biodiversiteit kunnen worden geëvalueerd. Bovendien is het vanuit de ecologie zeer interessant om te volgen hoe de (her)kolonisatie van een nieuw vrijgefallen ecosysteem plaatsvindt. Dit punt verdient dan ook de nodige aandacht in de toekomst.



## 10 Conclusies.

In dit stuk heb ik het belang van een aantal studies over het systeem van de Schelde benadrukt. In de komende jaren zou duidelijkheid over deze kritische factoren zeer helpen om het beheer van het systeem te verbeteren. Ik vernoem daarbij uitdrukkelijk de volgende punten:

- Een beter inzicht in de dynamiek, en vooral de toekomstige dynamiek, van het slib in de Schelde. De grootste problemen stellen zich in de Zeeschelde en het maatschappelijk belang is vooral groot in relatie tot de mogelijke uitbreiding van de getijdendokken in de Antwerpse haven of verdieping in de Zeeschelde. Doel van een studie moet zijn om statistische en procesmatige benaderingen met elkaar te confronteren en te combineren tot een gedragen inzicht over toekomstige ontwikkelingen, inclusief de definitie van de meest kritische monitoringvariabelen.
- Een kennisleemte is ook geïdentificeerd rond de toekomstige morfologische ontwikkeling van de Westerschelde. In het bijzonder speelt de vraag hoeveel belang moet worden gehecht aan het behoud van het meergeulensysteem, en wat de verwachte toekomstige ontwikkeling van de platen is. Het is een belangrijke vraag of er een evenwichtsconditie voor de platen bestaat in een verdiepte Westerschelde, en hoe die evenwichtsconditie eruit ziet, bv. met betrekking tot hoogteverdeling. Ook van belang is te begrijpen of het vastgroeien van een plaat aan de wal de ontwikkeling van hoogte en areaal in een andere richting stuurt. Dit onderzoek ontleent zijn relevantie vooral aan het belang voor de zandstrategie van de Westerschelde. Er is dringendheid in verband met vergunningenbeleid.
- Het ontbreekt op dit ogenblik aan een geïntegreerd overzicht van alle ecologische veranderingen die zijn opgetreden in de Zeeschelde en de Westerschelde, na de eerste sanering van de waterkwaliteit in de Zeeschelde. De zeer grote veranderingen in de Zeeschelde zijn qua data goed gedocumenteerd, maar een samenvattend overzicht ontbreekt. Daarnaast is er, zeker voor zoöplankton en vis, een uitstralend effect naar de Westerschelde. Er is mogelijk een toenemend belang van exoten, die in sommige gevallen ecosysteemomslag kunnen veroorzaken. Een volledig overzicht van de veranderingen in de afgelopen twee decennia zou hier zeer op zijn plaats zijn. Daarbij moet de nadruk liggen op wat kan worden toegeschreven aan de sanering, en wat aan nieuwe trends, zoals het frequent voorkomen van lage afvoeren.
- Ons beeld van de ecotoxicologie van de Schelde is onvolledig. Er is een redelijke kans dat de recente ecologische toestandsverbetering in de Westerschelde met vermindering van toxiciteit te maken heeft, en het lijkt heel waarschijnlijk dat de biodiversiteit van het benthos in de Zeeschelde sterk achterblijft door vergelijkbare toxische effecten. Dat is een reden om, op dit punt waarop de kwaliteit aanzienlijk is verbeterd maar op punten nog onvoldoende is, met meer aandacht naar deze problematiek te kijken. Daarnaast is de recente problematiek van PFAS natuurlijk ook een reden, maar het zou een gemiste kans zijn alle inspanning op die factor te richten.

- In het beheer van de Schelde is het van belang om lokaal beleid (bv. baggeren in havens en storten in de Schelde, constructie van stenen dammetjes en veldjes, ingrepen in het Sigmaplan etc.) en nationaal beleid (bv. Natura2000, vergunningen, toxische stoffen) qua monitoring en evaluatie in te brengen in het gemeenschappelijk beheer. Dat is in sterke mate het geval voor het Sigmaplan, maar bijvoorbeeld helemaal niet voor de stenen modderveldjes van de provincie Zeeland, of strekdammen van Rijkswaterstaat. Er is soepelheid en creativiteit nodig om bij monitoring en evaluatie overzicht en volledigheid te bereiken, terwijl toch alle instanties hun eigen verantwoordelijkheden kunnen opnemen. De structuur voor het beheer van de Schelde is een aantal jaren oud en stabiel, maar zou met hernieuwde ambitie kunnen worden herbekeken na alle vorderingen van de afgelopen jaren.

# Dankwoord

Deze tekst is tot stand gekomen na een vraag van Joost Backx en Marcel Taal. Joost en Marcel gaven feedback tijdens het schrijven. Dank ook aan Gunther van Ryckegem voor waardevol commentaar op een eerdere versie. Een samenwerkdag van de onderzoeks- en monitoring groep was een uitstekende gelegenheid om de eerste gedachten over dit stuk te toetsen aan kritische en meedenkende collega's.

# Referenties

- Breine, J., A. De Bruyn, L. Galle, I. Lambeens, Y. Maes, T. Terrie, and G. Van Thuyne. 2021. Opvolgen van het visbestand in het Zeeschelde-estuarium. Viscampagnes 2020. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.
- Cox, T. J. S., T. Maris, K. Soetaert, D. J. Conley, S. Van Damme, P. Meire, J. J. Middelburg, M. Vos, and E. Struyf. 2009. A macro-tidal freshwater ecosystem recovering from hypereutrophication: the Schelde case study. *Biogeosciences* **6**:2935-2948.
- Cox, T. J. S., T. Maris, T. Van Engeland, K. Soetaert, and P. Meire. 2019. Critical transitions in suspended sediment dynamics in a temperate meso-tidal estuary. *Scientific Reports* **9**.
- de Vet, P. L. M., B. C. van Prooijen, and Z. B. Wang. 2017. The differences in morphological development between the intertidal flats of the Eastern and Western Scheldt. *Geomorphology* **281**:31-42.
- Dijkstra, Y. M., H. M. Schuttelaars, and G. P. Schramkowski. 2019. Can the Scheldt River Estuary become hyperturbid? *Ocean Dynamics* **69**:809-827.
- Huisman, B. J. A., Y. Huismans, and J. Vroom. 2021. Effecten van storten in diepe putten van de Westerschelde. Synthese van proefstortingen en modelanalyses. Deltares, Delft.
- Kruijt, D. B., O. Duijts, M. Japink, and R. P. Middelveld. 2020. Macrozoöbenthosbemonstering in de Zoute Rijkswateren, Hoofdrapport MWTL 2019. Waterlichamen: Westerschelde, Veerse Meer en Grevelingenmeer. Bureau Waardenburg, Culemborg.
- Langston, W. J., N. D. Pope, M. Davey, K. M. Langston, S. C. M. O' Hara, P. E. Gibbs, and P. L. Pascoe. 2015. Recovery from TBT pollution in English Channel environments: A problem solved? *Marine Pollution Bulletin* **95**:551-564.
- Leuven, R. S. E. W., G. Van Der Velde, I. Baijens, J. Snijders, C. Van Der Zwart, H. J. R. Lenders, and A. Bij De Vaate. 2009. The river Rhine: a global highway for dispersal of aquatic invasive species. *Biological Invasions* **11**:1989-2008.
- Maris, T., P. Gelsomini, D. Horemans, and P. Meire. 2021. Onderzoek naar de gevolgen van het Sigmaphan, baggeractiviteiten en havenuitbreiding in de Zeeschelde op het milieu. Geïntegreerd eindverslag van het onderzoek verricht in 2020., Universiteit Antwerpen, Antwerpen.
- Van Ryckegem, G., A. Van Braeckel, R. Elsen, J. Vanoverbeke, F. Van de Meutter, B. Vandevoorde, W. Mertens, J. Breine, J. Speybroeck, O. Bezdenjesnji, D. Buerms, J. De Beukelaer, N. De Regge, K. Hessel, J. Soors, and F. Van Lierop. 2020. MONEOS – Datarapport INBO: toestand Zeeschelde 2018-2019. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.

- Verhaegen, Y., E. Monteyne, T. Neudecker, I. Tulp, G. Smagghe, K. Cooreman, P. Roose, and K. Parmentier. 2012. Organotins in North Sea brown shrimp (*Crangon crangon* L.) after implementation of the TBT ban. *Chemosphere* **86**:979-984.
- Wang, Z. B., W. Vandenbruwaene, M. Taal, and H. Winterwerp. 2019. Amplification and deformation of tidal wave in the Upper Scheldt Estuary. *Ocean Dynamics* **69**:829-839.
- Winterwerp, J. C., and Z. B. Wang. 2013. Man-induced regime shifts in small estuaries—I: theory. *Ocean Dynamics* **63**:1279-1292.
- Winterwerp, J. C., Z. B. Wang, A. Van Braeckel, G. Van Holland, and F. Kösters. 2013. Man-induced regime shifts in small estuaries—II: a comparison of rivers. *Ocean Dynamics* **63**:1293-1306.
- Ysebaert, T., P. M. J. Herman, P. Meire, J. Craeymeersch, H. Verbeek, and C. H. R. Heip. 2003. Large-scale spatial patterns in estuaries: estuarine macrobenthic communities in the Schelde estuary, NW Europe. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **57**:335-355.

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

**Deltares**

[www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)