



Koninklijk Nederlands Instituut voor onderzoek der Zee

# De Westerscheldenatuur: Een mooie toekomst vraagt keuzes nu!

**T.J. Grandjean, J. van Belzen, G.S. Fivash,  
S. Temmerman, M.G. Kleinhans en T.J. Bouma**

NIOZ Rapport 2026-01



*Dit rapport is opgedragen aan de volgende generaties Zeeuwen.*

***De keuzes van het sedimentbeheer nu,  
bepaalt het leven in de Delta van de toekomst.***

## **Auteurs**

Tim J Grandjean (NIOZ)  
Jim van Belzen (NIOZ & WMR)  
Greg Fivash (UA)  
Stijn Temmerman (UA)  
Maarten Kleinhans (UU)  
Tjeerd J Bouma (NIOZ & UU)

## **Correspondentie**

*Tim J. Grandjean*

E-mail: tim.grandjean@nioz.nl

## **Instellingen**

*Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ)*

Departement voor Estuarine en Delta Systemen (EDS)

Korringaweg 7, 4401 NT Yerseke, Nederland

*Wageningen Marine Research (WMR)*

Korringaweg 7, 4401 NT Yerseke, Nederland

*Universiteit Antwerpen (UA)*

Department of Biology - Ecosphere Group

Universiteitsplein 1, 2610 Wilrijk, België

*Universiteit Utrecht (UU)*

Faculty of Geosciences

Vening Meinesz Building A, Princetonlaan 8A, 3584 CB Utrecht, Nederland

## **Financiering**

Het rapport is geïnitieerd vanuit de afdeling Estuarine en Delta Systemen (EDS) van NIOZ in Yerseke, met als primair doel om in het kader van DeltaENIGMA en lopende onderzoeksprojecten in samenwerking met de Provincie Zeeland (Zuidgors, Buitendijkse maatregelen: Baalhoek, Knuitershoek, Bath, Ossenisse en Zimmerman), inzichten te verkrijgen in de lange termijnontwikkeling van de intergetijde gebieden in de Westerschelde. Tijdens dit onderzoek was Tim Grandjean aangesteld bij NIOZ in het kader van het CoE-Zuidgors project, dat werd gefinancierd door de Provincie Zeeland.

## **Citeren**

*Grandjean, T.J., van Belzen, J., Fivash, G.S., Temmerman, S., Kleinhans, M.G. & Bouma, T.J., (2026). De Westerscheldenatuur: Een mooie toekomst vraagt keuzes nu! NIOZ Report 2026-01. NIOZ Royal Netherlands Institute for Sea Research: 38 pp. doi: 10.25850/nioz/7b.b.fk*

# Samenvatting

## De Westerschelde onder druk

De antropogene ontwikkeling van het Scheldebekken, met onder andere inpolderingen, vaargeulverdiepingen (⇔ verruiming) en het bagger- en stortbeheer, heeft vanaf 1300 geresulteerd in geleidelijke maar ingrijpende veranderingen in de Westerschelde. Inmiddels zijn de morfologische veranderingen in de Westerschelde dusdanig duidelijk, waaronder de recent sterk zichtbare verschorring, dat een inschatting van de langetermijnontwikkeling van de natuurwaarden dringend noodzakelijk is. Het doel van dit rapport is dan ook om de maatschappij en haar bestuurders inzicht te geven in deze ontwikkeling.

## Ontwikkeling van ecotopen

Analyses van publiek beschikbare bodemhoogtedata (1955–heden) en ecotoopkaarten (1996–heden) tonen een structurele verschuiving van intergetijdengebieden naar hogere ecotopen. Het areaal hoogdynamisch slik neemt gestaag af, terwijl laagdynamisch slik, pionierzone en schor toenemen. Deze langetermijntrend duidt op een systematische opwaartse ontwikkeling die een ecologische cascade in gang zet. Deze verschuiving vormt een risico voor het behouden van de Natura 2000-doelstellingen.

## Oorzaken van structurele veranderingen

Substantiële veranderingen in de hoogteontwikkeling vallen samen met de eerste verdieping (1973–1976) en de sterke toename van het jaarlijkse baggervolume: van minder dan 0.5 miljoen m<sup>3</sup> vóór 1950 tot circa 7–10 miljoen m<sup>3</sup> per jaar sinds de eerste verdieping. Hoewel slikhoogte-toename vaak wordt toegeschreven aan autonome processen, wijzen onze analyses erop dat een Westerschelde-brede autonome ophogingstrend veel beperkter is dan vaak wordt aangenomen. De lokale toename in slikhoogte toont echter een sterke correlatie met het nabij gestorte baggervolume. Dit duidt erop dat bagger- en stortbeheer een belangrijke sturende rol spelen in de recente morfologische ontwikkeling, in tegenstelling tot de vaak genoemde historische effecten

van inpoldering. De verdiepingen hebben daarmee gezorgd voor een blijvende verstoring van de sedimentbalans.

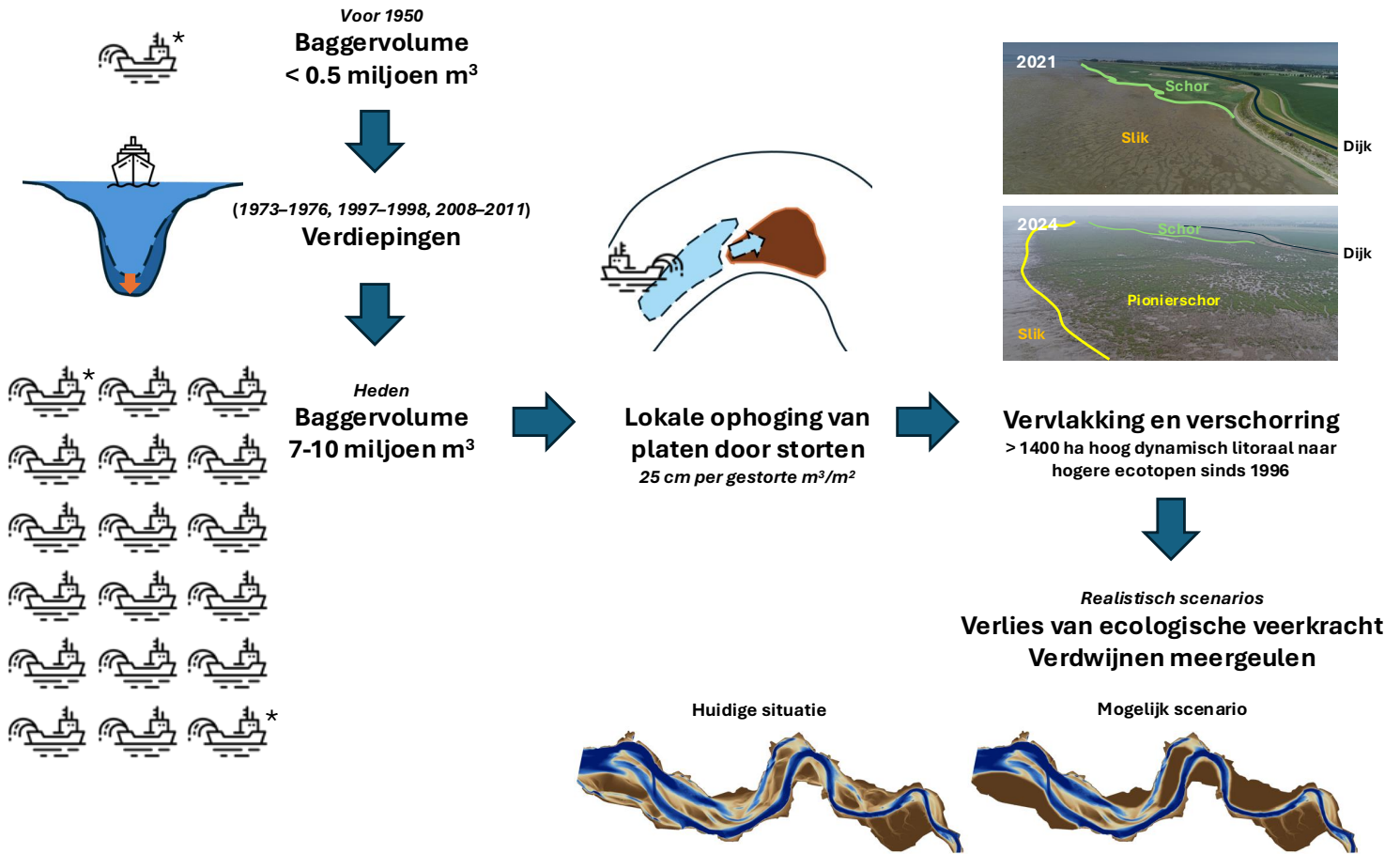
### **Gevolgen en risico's**

Op basis van de resultaten van dit rapport concluderen wij dat de Westerschelde structureel ophoogt en verstart, een ontwikkeling die wordt versterkt door de eerdere verdiepingen en het huidige bagger- en stortbeheer. Hierdoor verschuiven intergetijdengebieden naar hoger gelegen ecotopen, wat leidt tot een ecologische cascade richting verschorring en verlies van belangrijke NATURA-2000 gebieden en vogelvoerageergebieden. Dit raakt in het bijzonder de doelstellingen voor het herstel van de estuariene natuur, dat ondanks herstelmaatregelen per saldo onder druk blijft staan. Tegelijkertijd wijst literatuur erop dat de geobserveerde afvlakking van het systeem het estuarium gevoeliger maakt voor zeespiegelstijging, waardoor de ecologische veerkracht afneemt.

### **Beleidsimplicaties en kansen**

Onze resultaten tonen aan dat zonder koerswijziging het verlies van natuurwaarden in de Westerschelde een groot risico is. Daarom is het noodzakelijk de sediment- en stortstrategie te herzien, omdat deze, ondanks bestaande ecologische uitgangspunten, in de praktijk leidt tot een ontwikkeling die niet wenselijk is voor de Natuurlijkheid van de Westerschelde. Tegelijkertijd liggen er kansen om het beschikbare sediment te benutten als een strategische hulpbron voor meegroeivermogen van mens en natuur, mits zorgvuldig ingezet. Deze herziening vraagt om doelgerichte keuzes in het heden, met het oog op het veiligstellen van de ecologische en maatschappelijke functies van het estuarium voor de toekomstige generaties Zeeuwen.

# Grafische samenvatting



\* De uitvoering van baggeren is niet primair via rainbowen.

Zie hoofdstuk **“Zorgen en kansen: de Westerschelde vraagt keuzes nu!”** pagina 32 voor verdere toelichting bij de grafische samenvatting.

# Inhoudsopgave

<b>Samenvatting</b>	4
<b>Inleiding</b>	8
<b>1. Verschuiving van ecotopen: wat verandert er?</b>	12
<b>2. Toename van hoogte: waarom verandert het areaal ecotopen?</b>	15
<b>3. Sturing door ingrepen: welke mechanismen sturen de ontwikkeling?</b>	19
<b>4. Cascade tot ophoging: verschoort de Westerschelde?</b>	27
<b>5. Zorgen en kansen: de Westerschelde vraagt keuzes nu!</b>	32
<b>Referenties</b>	37
<b>Data en code beschikbaarheid</b>	38

# Inleiding

## Natuurlijke en antropogene ontwikkeling van de Westerschelde

De Westerschelde is een complex estuarium. Van nature wordt de dynamiek bepaald door getijstroom, rivierafvoer en golven, in wisselwerking met ecologische processen die samen sedimenttransport, sedimentatie en erosie sturen. Eeuwenlange inpolderingen en recente vaargeulverruiming (ook wel ‘verdiepingen’ genoemd) hebben geleid tot langdurige veranderingen in de morfodynamiek, waardoor onderdelen van het systeem duidelijker zijn gefixeerd dan voorheen. Hierdoor wordt het estuarium tegenwoordig sterker beïnvloed door beheerkeuzes dan door louter natuurlijke processen.

## Functies en beheerdoelen van de Westerschelde

Vandaag vervult de Westerschelde drie hoofdfuncties: (I) economische toegangspoort tot de havens van Vlaanderen en Nederland, (II) onderdeel van het waterveiligheidssysteem en (III) internationaal belangrijke natuurwaarden (o.a. foerageergebied voor trekvogels). De Vlaams-Nederlandse Scheldec commissie (VNSC) hanteert daarom drie pijlers: veiligheid, toegankelijkheid en natuurlijkheid. Hoewel deze doelen essentieel zijn, zijn ze in de praktijk niet altijd volledig in lijn met elkaar. Maatregelen ter bevordering van scheepvaart of veiligheid kunnen onbedoeld veranderingen in natuurwaarden veroorzaken. Dit maakt het voeren van beleid lastig, zeker omdat het estuarium is aangewezen als waardevol Natura 2000-gebied en een sleutelpositie inneemt in de Oost-Atlantische trekroute. Dit benadrukt het belang van inzicht in hoe huidige en toekomstige beheerkeuzes de ontwikkeling van de Westerschelde beïnvloeden.

## Ecotopen als beoordelingskader in een veranderde Westerschelde

Binnen de Westerschelde vormen ecotopen het centrale beoordelingskader voor de natuurkwaliteit. Ecotopen worden hierbij opgevat als ruimtelijke eenheden, onderscheiden op basis van hoogte, hydrodynamiek en vegetatie, die kenmerkende ecologische functies vervullen. Beleidsdoelen worden dan ook vaak vertaald in veranderingen van ecotooparealen.

De ecologische veranderingen in de intergetijdengebieden worden de laatste decennia steeds duidelijker zichtbaar. Sinds het begin van deze eeuw is in alle delen van de Westerschelde een duidelijke toename van schorvorming waarneembaar. Slikken ontwikkelen zich geleidelijk of soms opvallend snel tot begroeide schorren. De waargenomen snelheid en schaal van deze verschoring suggereren bovendien dat het om een structurele systeemverandering lijkt te gaan, en niet om een tijdelijke fluctuatie. Dat roept de vraag op welke factoren deze ontwikkeling sturen. Figuur 1 illustreert dit proces: binnen één jaar kan een kaal slik grotendeels doorontwikkelen tot een begroeid schor (verschoring), waardoor natuurlijke dynamiek afneemt en foerageergebied voor steltlopers verloren gaat.



**Figuur 1. Ontwikkeling van Zuidgors Oost tussen 2021 (boven) en 2022 (onder). Binnen één jaar is een kaal slik grotendeels doorontwikkeld naar een begroeid schor. Deze snelle verschoring illustreert hoe extra ophoging en vastlegging van het systeem de natuurlijke dynamiek van intergetijdengebieden beperkt en foerageergebied voor steltlopers laat verdwijnen. Voor meer details zie Fivash et al. (2023).**

## Oorzaken van ecotoopverandering: menselijk versus autonoom

Veranderingen in ecotopen kunnen verschillende oorzaken hebben. Ten eerste, antropogene oorzaken zoals de nalatenschap van historische inpolderingen (sinds 1300, waarvan meer dan 95% was ingepolderd voor 1950), grootschalige vaargeulverruiming (1973–1976, 1997–1998, 2008–2011) en de bagger- en stortstrategieën die sinds de eerste verdieping structureel zijn toegenomen van 0.5 miljoen m<sup>3</sup> begin 20<sup>e</sup> eeuw naar 7-10 miljoen m<sup>3</sup>.

Ten tweede, zijn er autonome processen, waarbij terugkoppelingen tussen bodemhoogte, wrijving en getijdedynamiek leiden tot verdere bodemophoging, bijvoorbeeld via toegenomen vloeddominantie mede veroorzaakt door de verdiepingen of inpolderingen. Dit betekent dat het water in de Westerschelde iets sneller oostwaarts dan westwaarts. Hierdoor wordt bij vloed meer sediment aangevoerd dan bij eb wordt afgevoerd. Dit leidt tot een netto oostwaarts sedimenttransport, vooral van fijn materiaal, dat neerslaat in ondiepe en relatief hydrodynamisch rustige gebieden zoals de hogere delen van platen en slikken (ondieper bij hoogwater). Als autonome processen dominant zijn, mag men vergelijkbare ontwikkelingen door de hele Westerschelde verwachten.

## Onzekerheden, systeemcomplexiteit en voorzorgsprincipe

Het samenspel van factoren beïnvloedt de sedimentbalans in de Westerschelde en daarmee direct de ecotoopontwikkeling, gezien dit hoogteafhankelijk is. De diversiteit aan maatregelen en de langdurige doorwerking van de effecten maakt het moeilijk om afzonderlijke oorzaken eenduidig vast te stellen. Het sturen op beleidsdoelen en het evalueren van effecten is complex.

Juist vanwege deze complexiteit, de potentiële onomkeerbaarheid van systeemverandering en de centrale veiligheids- en natuurfunctie van de Westerschelde, is het toepassen van het voorzorgsprincipe noodzakelijk: wanneer aanwijzingen bestaan dat recente beheerkeuzes bijdragen aan ongewenste ontwikkelingen, zou het beleid actief moeten sturen op het voorkomen van verdere veranderingen. Omdat we het verleden niet kunnen terugdraaien, richt dit rapport zich in het bijzonder op recente en toekomstige beheerkeuzes.

## Doelstelling en onderzoeksvragen

Dit rapport richt zich op de vraag wat er gebeurt met de ecotopen bij voortzetting van het huidige beleid, en welk onderdeel van het beleid sturend is voor de ontwikkeling. Wij kiezen bewust voor een compacte, leesbare rapportage, met nadruk op de ontwikkeling van intergetijdengebieden in termen van ecotopen en hoogtezones.

1. Hoe ontwikkelen intergetijden-ecotopen zich?
2. Hoe sturen morfologische veranderingen deze ontwikkeling?
3. Welke rol spelen de vaargeulverdiepingen (1<sup>e</sup> verdieping 1973-1976; 2<sup>e</sup> verdieping 1997-1998; 3<sup>e</sup> verdieping 2008-2011) en het baggerbeheer?
4. Wat zijn de implicaties van voortzetting van het huidige beleid voor de ecotopen?
5. Welke kansen biedt aangepast beheer om natuur en veiligheid te versterken?

Het doel van het rapport is om de maatschappij en haar bestuurders inzicht te geven in de langetermijnontwikkeling van de intergetijdengebieden in de Westerschelde, waarmee nu op lokaal, regionaal en nationaal niveau beleidskeuzes gemaakt kunnen worden voor een gezonde en duurzame delta voor de volgende generaties Zeeuwen.

## Data en benadering

Voor bovenstaande vragen gebruiken wij uitsluitend analyses van uitgebreide meetdata (bodemhoogtekaarten sinds 1955; ecotoopkaarten sinds 1996) die door Rijkswaterstaat zijn verzameld. Wij kiezen nadrukkelijk voor een empirische, data-gedreven benadering: we onderzoeken de ontwikkeling op basis van zes decennia aan daadwerkelijke metingen, zonder afhankelijk te zijn van modelmatige aannames. De kracht van deze aanpak ligt in het zichtbaar maken van de grote lijnen en de momenten van structurele veranderingen, en daarbij in kaart brengen hoe deze samenhangen met de recente ingrepen van de afgelopen decennia (verdiepingen en het structurele baggeren en stortbeheer). Technische details van de analyses zijn per hoofdstuk opgenomen in de Data en code beschikbaarheid (see page 36).

# 1. Verschuiving van ecotopen: wat verandert er?

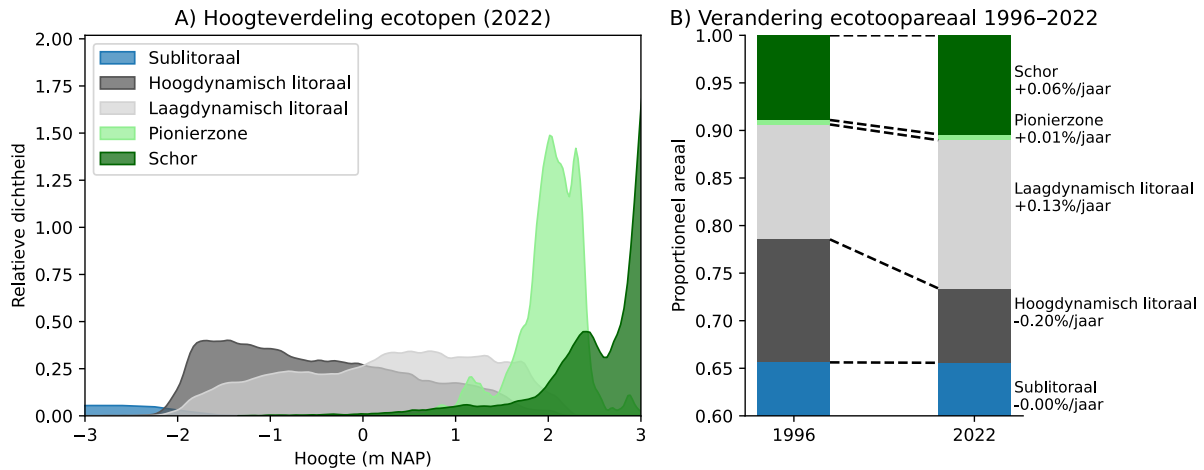
## 1.1 Hoogdynamisch slikareaal neemt structureel af

Het ecologisch meest relevante venster voor bodemdieren en foeragerende (trek)vogels ligt tussen -2 en +2 m NAP (Figuur 2A). Deze hoogteligging, waar platen en slikken droogvallen bij laagwater, omvat voornamelijk hoog- en laagdynamisch slik. Hoogdynamisch slik wordt gekenmerkt door frequente beïnvloeding door stroming en golven en bevindt zich veelal onder 0 m NAP. Laagdynamisch slik wordt gekenmerkt door een geringere hydrodynamische belasting en een stabielere sedimentoppervlak, en ligt vaak boven 0 m NAP.

Tussen 1996 en 2022 is het hoogdynamisch areaal afgenomen met 5.1 % ( $\approx -0.20\%/jaar$ ), wat duidt op een geleidelijke neerwaartse trend in dynamische slikzones (Figuur 2B). Tegelijkertijd nam het laagdynamisch slik toe met 3.5 % ( $\approx +0.13\%/jaar$ ) en groeiden zowel de pionierzone ( $+0.1\%$ ;  $\approx +0.01\%/jaar$ ) als het schor ( $+1.5\%$ ;  $\approx +0.06\%/jaar$ ). Het areaal sublitoraal bleef nagenoeg onveranderd (65.6% in beide jaren). Dit patroon wijst erop dat het verlies van hoogdynamisch slik vooral samenhangt met opslibbing en de ontwikkeling van hogere ecotopen, in plaats van netto erosie van het sublitoraal. De verschuiving laat een ontwikkeling zien richting meer schor en minder dynamische intergetijdengebieden, waardoor de geleidelijke gradiënt in hoogte lijkt te verdwijnen.

## 1.2 Schor breidt zich Westerschelde-breed substantieel uit

De verschuiving is ook duidelijk zichtbaar in de substantiële uitbreiding van schorren. Tussen 1996 en 2022 groeide het schorareaal gemiddeld met ongeveer 18 hectare per jaar. Deze toename is breed en structureel, en is waarneembaar van Hooge Platen (westen) tot Plaat van Valkenisse (oosten) (Figuur 3). Dit ondersteunt dat de trend naar hogere ecotopen een dominante en richtinggevende ontwikkeling is in de gehele Westerschelde.



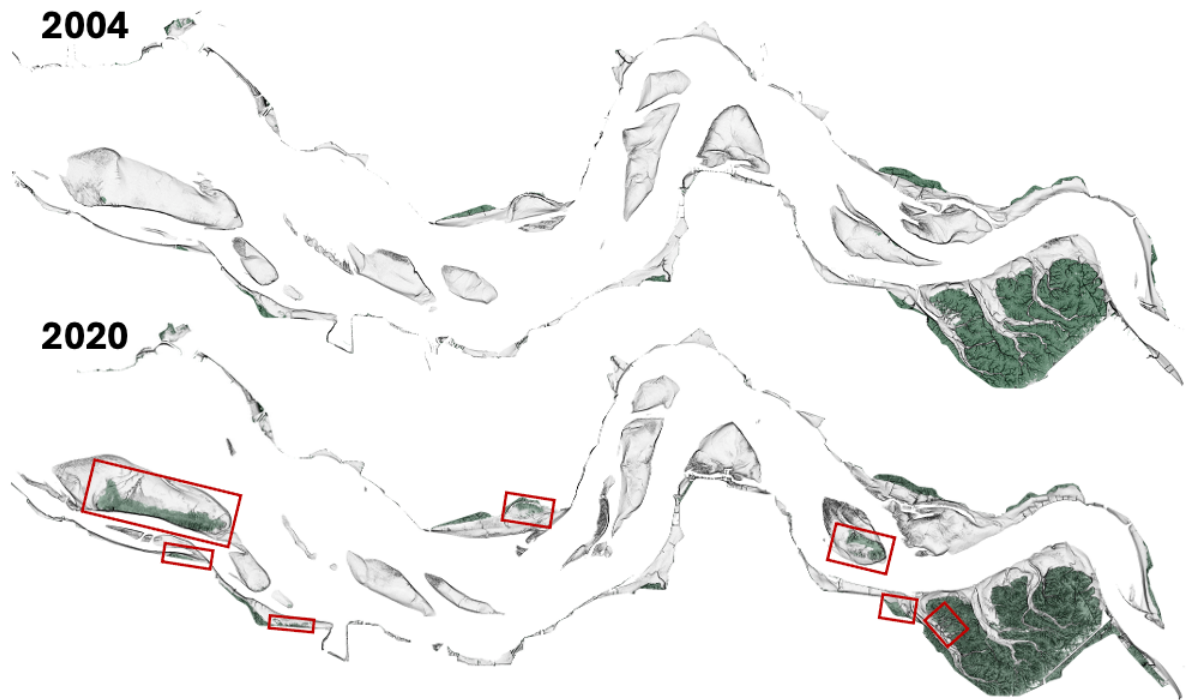
**Figuur 2. Hoogteprofiel en ontwikkeling van ecotopen in de Westerschelde.** (A) De zone tussen  $-2$  en  $+2$  m NAP vormt het ecologisch relevante venster voor bodemdieren en (foerageer)vogels waar slikken en platen droogvallen. (B) Sinds 1996 neemt het hoogdynamisch areaal substantieel af, terwijl laagdynamisch en schorareaal substantieel toenamen; de veranderingen in het sublitoraal zijn minimaal.

### 1.3 Verlies van hoogdynamische slikken roept zorgen op

Hoewel de kortetermijn groei van laagdynamisch slik tijdelijk extra foerageergebied kan bieden voor vogels, wijst de combinatie van afnemende dynamiek en toenemende vegetatie-opbouw (schorvorming) op een trend richting steeds hogere ecotopen. Dit roept de cruciale vragen op:

1. Wordt dit proces gestuurd en/of versterkt door onderliggende morfologische veranderingen?
2. Bestaan er verbanden met recente beheermaatregelen?
3. Vormt de toename van laagdynamisch areaal het begin van een verschorring van het intertidaal?

Deze vragen, die de rol van autonome morfodynamische processen versus recente beheerskeuzes onderzoeken, staan centraal in de volgende hoofdstukken (respectievelijk Hoofdstuk 2 over de hoogteveranderingen, Hoofdstuk 3 over de autonome processen en het baggerbeheer, en Hoofdstuk 4 over een mogelijke cascade richting verschorring van het intertidaal).



**Figuur 3. Ruimtelijke ontwikkeling van schorren in de Westerschelde tussen 2004 en 2020 (overgenomen van Fivash et al., 2023).** De groene gebieden geven het schorareaal weer, waarbij de rood omliggende kaders gebieden markeren waar een duidelijke uitbreiding van schorvegetatie heeft plaatsgevonden in 2020 ten opzichte van 2004.

## 2. Toename van hoogte: waarom verandert het areaal ecotopen?

Ecotopen zijn sterk gekoppeld aan de morfologie van een estuarium. Bodemhoogte en hydrodynamische blootstelling bepalen hoe vaak gebieden overstroomd en in hoeverre hun bodem wordt omgewoeld door stroming en golven, en daarmee of zij dynamisch blijven of begroeien. Veranderingen in de morfologie vertalen zich dus direct door in veranderingen van ecotopen. Het begrijpen van deze hoogtedynamiek is essentieel om de ecotoopverschuivingen uit Hoofdstuk 1 in hun systeemcontext te plaatsen.

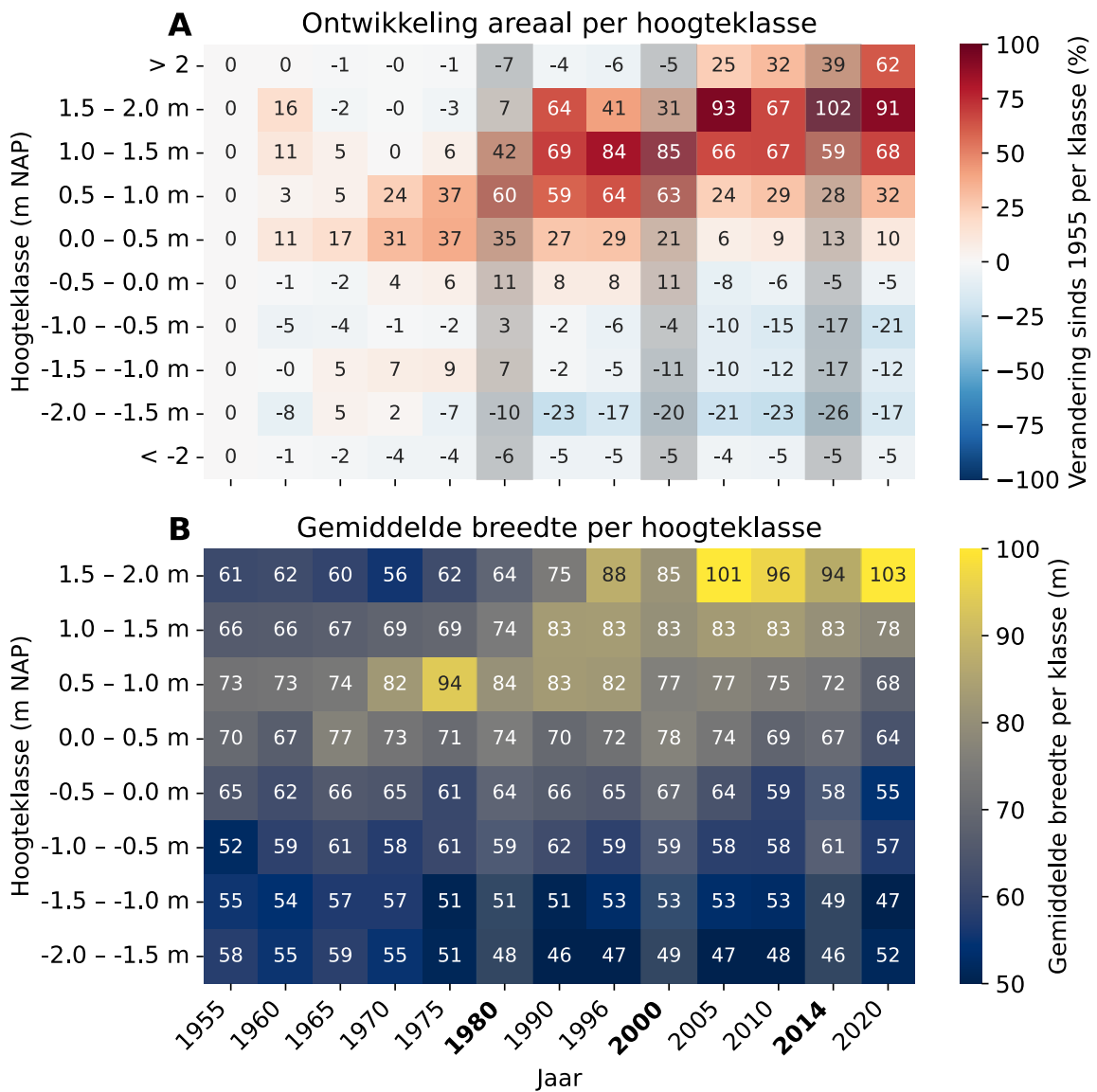
### 2.1 Hogere zones breiden uit en vervlakken, lagere zones raken in de verdrukking

Analyse van hoogtedata sinds 1955 laat op systeem-schaal zien dat het zwaartepunt van de hoogteverdeling van gebieden tussen -2 en 2 m significant stijgt met  $4.6 \pm 0.9$  mm per jaar ( $p < 0.001$ ,  $R^2 = 0.71$ )<sup>1</sup>. Dit betekent dat het intergetijdengebied als geheel verschuift naar hogere posities. Deze algehele ophoging volgt uit een systeem-brede analyse die het resultaat kan zijn van een complexe wisselwerking tussen: (1) de nalatenschap van historische inpolderingen, (2) structurele vaargeulverdiepingen, (3) actieve bagger- en stortbeheer, en (4) autonome morfodynamische processen.

Vanaf de eerste verdieping zien we een duidelijke herverdeling van hoogtezones (Figuur 4A). Vanaf 1980 nam het areaal boven 0 m NAP (inclusief schor) met 23% toe, terwijl het areaal tussen -2 en 0 m NAP met 16% afnam (situatie in 2020). Vooral de hogere zones van het intergetijdengebied (+0.5 tot +2.0 m NAP) namen sterk toe in oppervlakte en breedte, terwijl de lagere zones (-2.0 tot -1.5 m NAP) juist afnamen (Figuur 4A). Hierdoor werden de hogere slikzones gemiddeld breder en de lagere zones smaller (Figuur 4B).

<sup>1</sup> Deze waarde wijkt af van de resultaten van Fivash et al. (2023), die een sterkere toename van 1.4 cm/jaar rapporteerden voor de periode 2004–2020. Dit verschil is grotendeels te verklaren door methodologische keuzes: Fivash et al. analyseerden uitsluitend gebieden boven het gemiddeld hoogwaterniveau (NHWL) in het eerste jaar en maskeerden vegetatie alleen in dat eerste jaar, waardoor de nadruk lag op reeds ontwikkelde slikoppervlakken. In de huidige analyse worden daarentegen alle geldige pixels binnen het bereik -2,0 tot +2,0 m NAP meegenomen, inclusief nieuwgevormde intergetijdenvlakten en gebieden onder NHWL, zodat ook de langetermijnevolutie van het volledige intergetijdengebied wordt gerepresenteerd.

Dit patroon wijst op een structurele asymmetrische verandering: sedimentatie concentreert zich in de hogere delen, die minder dynamisch zijn, terwijl de lagere, dynamische zones relatief steiler worden en terrein verliezen. Dit is kenmerkend voor een estuarium dat richting verschorring beweegt.



**Figuur 4. (A) Percentuele verandering van het oppervlak van hoogtezones in de Westerschelde ten opzichte van 1955. (B) Ontwikkeling van de gemiddelde afstand tot de dichtstbijzijnde lagere hoogteklasse (in meters en procentuele verandering t.o.v. 1955). Beide grafieken laten een structurele toename zien van oppervlak (A) en breedte (B) van hogere zones (+0.5 tot +2.0 m NAP) en een afname van oppervlak (A) en breedte (B) van lagere zones (-1.5 tot -2.0 m). De grijs gearceerde vlakken markeren de eerste metingen na de drie grote vaargeulverdiepingen: 1e verdieping 1973–1976, 2e verdieping 1997–1998, en 3e verdieping 2008–2011 (met name 2010).**

## 2.2 Verdiepingen veranderen het patroon van hoogteontwikkeling in het estuarium

Om de invloed van de vaargeulverdiepingen ofwel verruiming (1973–1976, 1997–1998 en 2008–2011) te onderzoeken, is het essentieel om te kijken naar statistisch significante veranderingen in de langetermijntrends die samenvallen met deze ingrepen. Het doel is vast te stellen of de ontwikkeling van de Westerschelde is omgeslagen van een langzame, mogelijk autonome ontwikkeling naar een meer beheergestuurde verandering.

Om dit te toetsen, vergelijken we de trends in hoogteontwikkeling over twee periodes, waarbij het jaar 1980 gekozen is als eerste meting volgend op de eerste grote verdieping (1973–1976):

- (1) Periode vóór 1980 (circa 20 jaar): Een periode die nog relatief weinig beïnvloed is door de grote, structurele verdiepingen en de intensivering van het actieve baggerbeheer. Dit geeft inzicht in de ontwikkeling onder de nalatenschap van eerdere inpolderingen.
- (2) Periode vanaf 1980 (circa 40 jaar): Een periode die volgt op de eerste grote verdieping (1973–1976) en wordt gekenmerkt door zowel twee verdiepingen (1997-1998 en 2008-2011) en een structureel toegenomen volume van bagger- en stortactiviteiten.

De analyse van de hoogtepercentielen (P10, P50 en P90) – die de verdeling van hoogtes in het intergetijdengebied beschrijven – toont aan dat de ontwikkeling van de hoogtes vóór en na 1980 duidelijk verschilt ( $p < 0.01$ ). Hieruit kunnen we concluderen dat vanaf de eerste verdieping de ontwikkeling van de Westerschelde structureel is veranderd.

Vóór 1980 namen zowel lage als middelhoge delen toe in hoogte, maar na 1980 treedt selectieve ophoging op: alleen de hoogste zones (P90) groeien, terwijl P10 en P50 stabiliseren of licht teruglopen. Dit duidt op vervlakking van het getijdenlandschap (Tabel 1).

Dit patroon vertaalt zich direct naar de ecotopen: na de tweede verdieping (1997–1998) nam het oppervlak boven +2 m NAP tussen 2000 en 2020 toe met 72%. Dit bevestigt de versnelde uitbreiding van de schorzones (zie Hoofdstuk 1).

De temporele samenloop van verdiepingen en omslag in hoogteontwikkeling intensiveert de vraag welke mechanismen deze verschuivingen aansturen. Hoofdstuk 3 onderzoekt de oorzaken verder.

**Tabel 1. Ontwikkeling van de hoogtepercentielen in het intergetijdengebied van de Westerschelde vóór en na 1980.** De analyse van lineaire trends toont een structurele verschuiving in de hoogteverdeling vanaf de eerste vaargeulverdieping (1973–1976): ophoging verschuift van breed (P10 en P50) naar selectief in de hogere zones (P90), wat duidt op verstarring van het systeem.

Hoogtezone	Beschrijving	Trend vóór 1980 (Lage intensiteit)	Trend ná 1980 (Hoge intensiteit)	Resultaat: Verandering in Dynamiek
P10	Laagste slikdelen	Significant ophoging (+4.40 mm/jaar, p = 0.043, R <sup>2</sup> = 0.79)	Geen significante trend (- mm/jaar, p = 0.065, R <sup>2</sup> = 0.46)	Stagnatie en verlies van dynamiek
P50	Midden slikgebied	Significant ophoging (+8.40 mm/jaar, p = 0.047, R <sup>2</sup> = 0.78)	Geen significante trend (- mm/jaar, p = 0.851, R <sup>2</sup> = 0.01)	Stagnatie
P90	Hoogste slikdelen / Pionierzone	Geen significante trend (- mm/jaar, p = 0.634, R <sup>2</sup> = 0.09)	Significante ophoging (+2.85 mm/jaar, p = 0.009, R <sup>2</sup> = 0.70)	Selectieve en versnelde groei

## 3. Sturing door ingrepen: welke mechanismen sturen de ontwikkeling?

### 3.1 Morfologische aanpassingen verstoren de sedimentbalans

De morfologische ontwikkeling van de Westerschelde wordt al eeuwenlang door menselijke ingrepen beïnvloed. Vanuit Hoofdstuk 2 lijkt het aannemelijk dat meer recente ontwikkelingen zoals de vaargeulverruiming en verdiepingen sinds de jaren '70 de sedimentbalans ingrijpend hebben gewijzigd. Diepere hoofdgeulen trekken structureel meer sediment aan, wat leidt tot een sterk toegenomen onderhoudsbaggerbehoefte. Voor 1950 bedroeg deze minder dan 0.5 miljoen m<sup>3</sup> per jaar, terwijl dit sinds de eerste verdieping is opgelopen tot circa 7–10 miljoen m<sup>3</sup> per jaar (Elias et al., 2023). Dit hangt samen met het feit dat de hoofdgeul inmiddels tot ver voorbij de natuurlijke evenwichtsdiepte (ca. 8–10 m) is verdiept (Elias et al., 2023).

Historisch gezien zijn de grootschalige inpolderingen die sinds de Middeleeuwen tot de 19e eeuw plaatsvonden, de belangrijkste oorzaak geweest van de fundamentele verandering van de Westerschelde. Door de drastische vermindering van de komberging zorgden deze inpolderingen voor een toename van de getijslag en hogere stroomsnelheden in het estuarium op de lange termijn. Deze processen vormen de autonome basis waarbij de Westerschelde van nature ophoogt. Echter, door de verdiepingen is het estuarium structureel afhankelijk geworden van grootschalig onderhoudsbaggeren, waardoor het is veranderd in een door baggerbeheer gedomineerd systeem. Belangrijk hierbij is dat gebaggerd sediment niet buiten het systeem mag worden gebracht, zodat het beschikbaar blijft als bouwsteen voor natuur en klimaatadaptatie.

De centrale onderzoeksvraag is of de waargenomen ophoging van slikken en platen primair wordt veroorzaakt door: (1) langetermijneffecten van historische inpolderingen, (2) sedimentdynamiek als gevolg van verdiepingen sinds de jaren '70, of (3) secundaire, lokaal gestuurde effecten van baggeren en stortingspraktijken. Het onderscheid is daarbij cruciaal: inpolderingen en verdiepingen sturen systeembrede bodemhoogteontwikkelingen, terwijl stortstrategieën lokaal sedimentaccumulatie kunnen veroorzaken.

### 3.2 Lokaal versterkte ophoging van de morfologie

Om de morfologische respons verder te onderzoeken, is de totale intergetijdenzone gesegmenteerd in twee groepen:

1. Stroomopwaartse gebieden van stortzones ( $\pm 3000$  ha): plaatcomplexen waarin potentieel effecten van de baggerstortstrategieën worden verwacht (Figuur 5, blauwe zones).
2. Overige intergetijdengebieden ( $\pm 6000$  ha): representatief voor de systeembrede bodemhoogteontwikkeling (Figuur 5, oranje zones).

Deze zones zijn geanalyseerd per hoogtezone-interval van 0,5 m binnen  $-2$  tot  $+2$  m NAP. Binnen de stroomopwaarts gelegen gebieden van de stortingslocaties is een duidelijk en aanhoudend opwaarts patroon zichtbaar in het areaal, dat significant afwijkt van de trend van de overige intergetijdengebieden (Figuur 5).

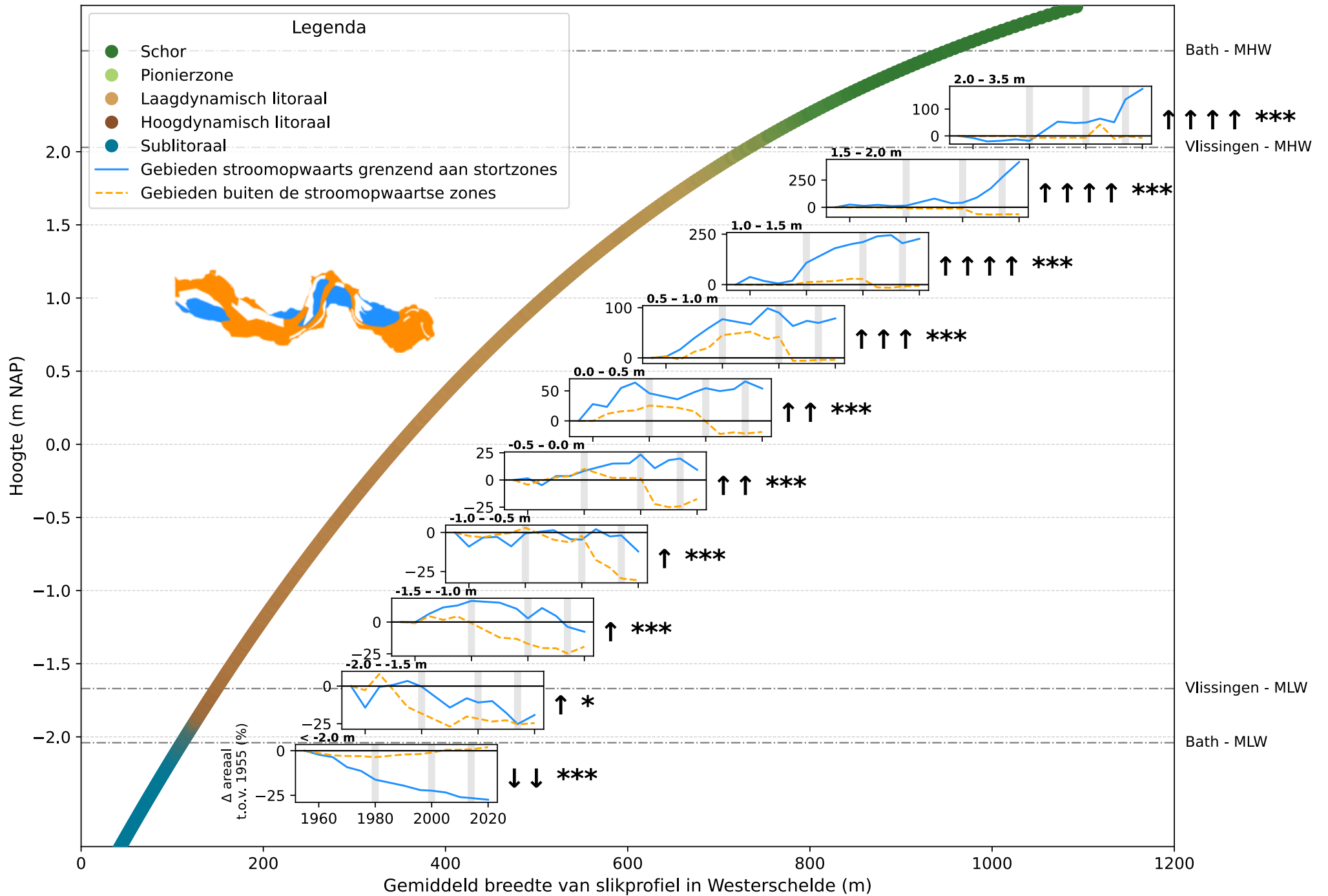
- Lagere hoogtezones ( $< -2$  m) nemen in areaal af (versteiling).
- Hogere hoogtezones ( $> 0,5$  m) nemen structureel meer toe (vervlakking en verstarring)

Daarentegen vertonen de gebieden buiten deze zones een veel vlakker signaal of zelfs een afname in hoogteareaal. Dat dit significant afwijkende patroon niet zichtbaar is in de grotere, overige gebieden, suggereert dat in de stroomopwaartse gebieden van stortzones ( $\pm 3000$  ha) lokale factoren een versterkende rol spelen, bovenop mogelijke autonome processen. Aangezien verdiepingen en historische inpolderingen vooral de autonome ontwikkeling beïnvloeden, resteert de vraag in hoeverre het baggerstorten een aanvullend, versterkend effect heeft.

### 3.3 Hoogteontwikkeling wordt gestuurd door de baggerstortstrategie

Voor het vervolg van de analyse is de relatie tussen stortvolumes en morfologische respons gekwantificeerd. De focus ligt hierbij op plaatcomplexen stroomopwaarts van en aangrenzend aan de stortzones, waar op basis van de dominante sedimenttransportrichting een directe sedimentafzetting aannemelijk is. In dit rapport zijn de vijf zones met de grootste gestorte volumes in de periode 2008-2019 geselecteerd (Figuur 6A). Rond deze stortzones zijn de 'stroomopwaartse gebieden van stortzones' gedefinieerd (Figuur 6B). Deze zones liggen in de dominante sedimenttransportrichting en omvatten zowel de subtidale als intertidale delen.

*(Volgende pagina) **Figuur 5. Percentuele verandering van het oppervlak van afzonderlijke hoogtezones (subplots) ten opzichte van 1955, uitgezet langs het gemiddelde slik- en schorprofiel van de Westerschelde (hoofdplot).** Elke subplot toont de ontwikkeling van één hoogteklasse (-2 m tot +2 m NAP in intervallen van 0,5 m, aangevuld met <-2 m en >+2 m). Binnen elke klasse zijn twee tijdreeksen weergegeven: de gebieden stroomopwaarts van de stortzones (blauwe lijn, blauwe zones in inzetkaart) en de overige slik- en schorgebieden buiten deze zones (oranje lijn, oranje zones in inzetkaart). De verticale grijs gearceerde vlakken markeren de eerste beschikbare metingen na de drie grote vaargeulverdiepingen (1973-1976, 1997-1998 en 2008-2011). De symbolen naast de subplots geven de richting en relatieve sterkte van het verschil in ontwikkelingsverloop tussen beide gebiedstypen weer. Een asterisk (\*) duidt op een statistisch significant verschil in de volledige curves. Het aantal pijlen visualiseert de orde van grootte van het verschil in percentuele ontwikkeling. Over vrijwel het gehele profiel vertonen de hoogtezones in de stroomopwaartse zones een sterker positieve areaalontwikkeling dan de referentiegebieden daarbuiten, met de grootste verschillen vanaf 0,5 m NAP.*

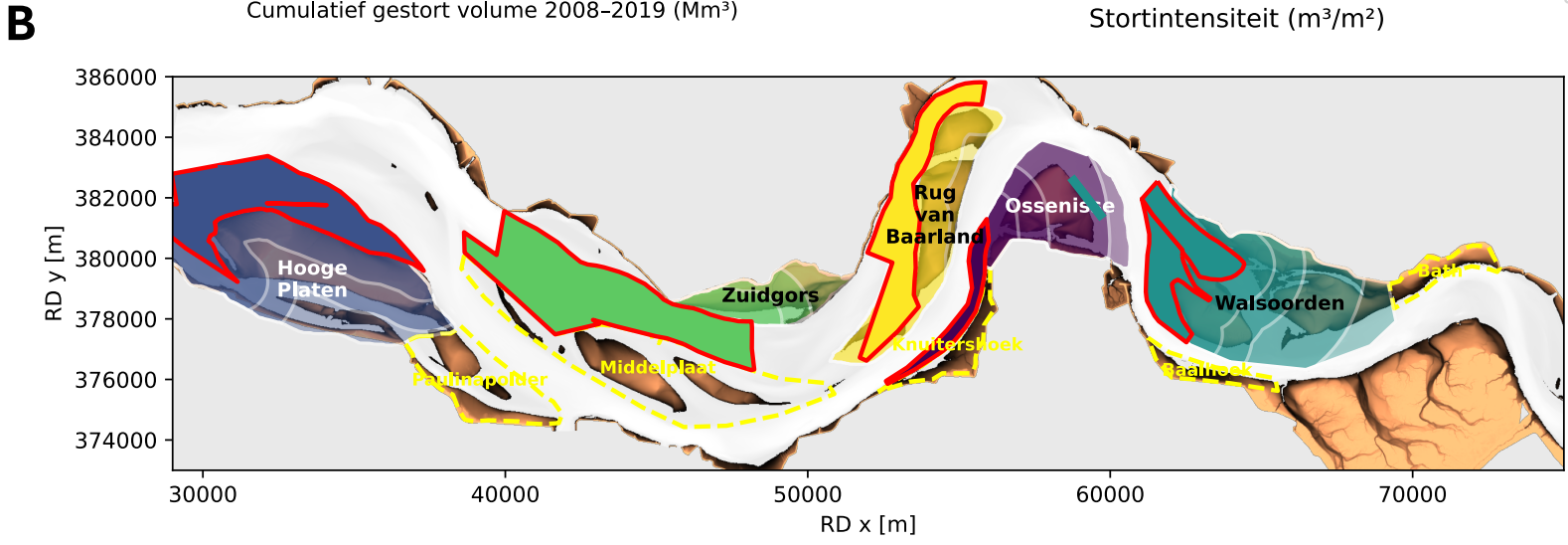
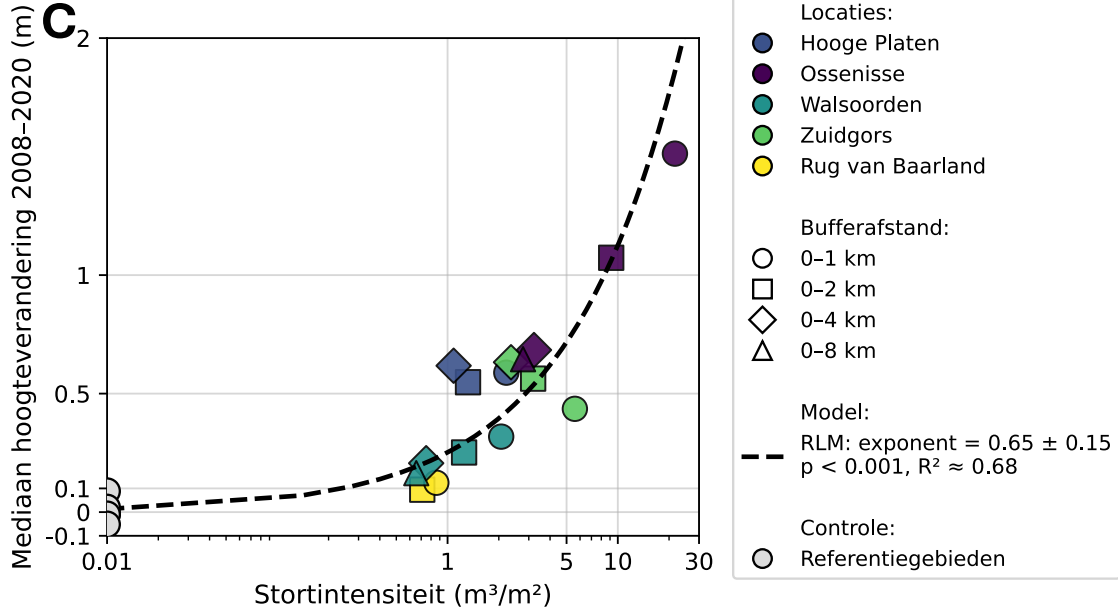
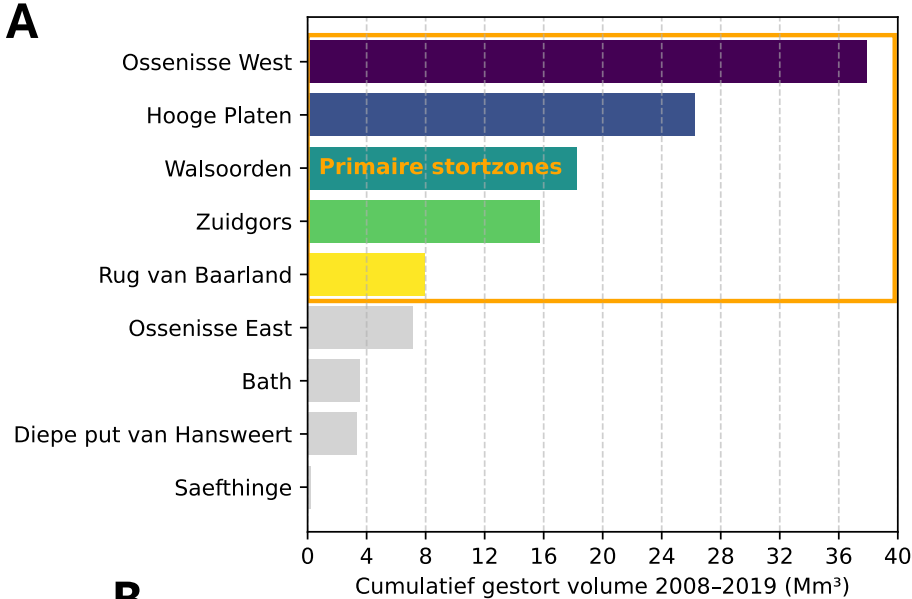


Om de robuustheid van de relatie tussen storting en ophoging over verschillende ruimtelijke schalen te testen, is voor de gebieden stroomopwaarts grenzend aan stortzones gewerkt met meerdere bufferafstanden ten opzichte van de stortingszone (0–1 km, 0–2 km, 0–4 km en 0–8 km). Alle datapunten afkomstig van deze verschillende bufferafstanden zijn gezamenlijk meegenomen in een regressieanalyse, waarbij elke afstand voor elke stortzone een unieke observatie vormt (zie Figuur 6C).

De responsmaat, stortingsintensiteit ( $S$ ), is gedefinieerd als het gestorte sedimentvolume gedeeld door het oppervlak van het ontvangende gebied, wat neerkomt op een gemiddelde potentiële laagdikte van het gestorte sediment ( $S$  in  $\text{m}^3/\text{m}^2$ ). Voor alle gebieden stroomopwaarts grenzend aan stortzones is de mediane hoogteverandering ( $dZ$ ) berekend als maat voor de morfologische respons. De mediaan is gekozen om de invloed van lokale uitschieters (meetartefacten of zeer lokale, extreme erosie/sedimentatie) te minimaliseren, wat resulteert in een robuustere karakterisering van de gebiedsdekkende respons.

Daarnaast zijn vijf referentiegebieden zonder stortingsintensiteit opgenomen (gele gebieden in Figuur 6B). Deze gebieden zijn toegevoegd om de autonome sedimentdynamiek visueel te contrasteren met stortingsgerelateerde ophoging. Ze functioneren uitsluitend als referentie en zijn uitgesloten van de regressieanalyse; zij dragen niet bij aan de kwantificering van de stortingsrespons.

*(Volgende pagina) **Figuur 6. Relatie tussen stortzones, gestort volume en morfologische respons in de Westerschelde.** (A) Cumulatief gestort volume per stortzone in de periode 2008–2019. De vijf primaire stortzones zijn aangeduid en vormen de focus van de analyse. (B) Ruimtelijke ligging van deze primaire stortzones (rood omlijnd) en de stroomopwaartse gebieden van de stortzones met bufferafstanden van 0–1 km, 0–2 km, 0–4 km en 0–8 km (wit omlijnd), geprojecteerd op het hoogtebestand van 2020. (C) Verband tussen stortingsintensiteit en mediane hoogteverandering binnen de gebieden stroomopwaartse grenzend aan stortzones (gekleurd) en controlegebieden (wit) over de periode 2008–2020. Punten representeren afzonderlijke stortzones; kleuren corresponderen met de legenda en witte punten representeren de controlegebieden. De regressielijn is uitsluitend gebaseerd op de stortzones en beschrijft de machtsfunctie die de respons van hoogteverandering op stortingsintensiteit karakteriseert.*



De resultaten tonen een duidelijke en consistente positieve relatie tussen stortingsintensiteit ( $S$ ) en de mediane hoogteverandering ( $dZ$ ) binnen de gebieden stroomopwaarts grenzend aan stortzones (Figuur 6C). De relatie wordt goed beschreven door een machtsfunctie:

$$dZ = \alpha \cdot S^\beta, \text{ met } \alpha = 0.252 \text{ m}, \beta = 0.65 \pm 0.12.$$

Het robuuste regressie model is significant ( $p < 0.001$ ) en heeft een goede fit ( $R^2 = 0.68$ ). Dit betekent in globale termen dat een stortingsintensiteit van  $1 \text{ m}^3/\text{m}^2$  samenhangt met een mediane netto ophoging van circa 0.25 m van het slik, wat een systeemrespons weergeeft en geen directe massabalans tussen gestort en afgezet sediment.

De vijf referentiegebieden vertonen vrijwel geen mediane hoogteverandering (Figuur 6C). We hebben dit statistisch getoetst door de referentiegebieden als controlepunten op een vaste lage stortingswaarde ( $S = 0.01$ ) in een uitgebreid model mee te nemen. Geen van deze referentiegebieden valt binnen de betrouwbare voorspellingsband van het model, wat bevestigt dat zij niet hetzelfde verband volgen als de stortzones.

Daarentegen vertonen alle gebieden nabij de stortingsgebieden een duidelijke en systematische toename in hoogteontwikkeling, toenemend met de stortingsintensiteit. Dit patroon volgt nauwkeurig de grootte van de stortvolumes. Daarbij is ook duidelijk zichtbaar in drie van de vijf gebieden (Rug van Baarland, Walsoorden en Ossenissee) dat hoe dichter de bufferzone bij de stortingslocatie ligt (corresponderend met een kleiner gebied), hoe sterker de ophoging optreedt (zie positie van de bufferzones in Figuur 6C). De aanwezigheid van het nabijheidseffect in combinatie met de stortingsintensiteit en de afwezigheid van ophoging in de referentiegebieden wijst op een sterke functionele relatie met het storten, zonder dat hiermee wordt verondersteld dat het afgezet sediment uitsluitend uit het gestorte materiaal afkomstig is.

Er is ons vaak gesuggereerd dat de ophoging van de Hooge Platen een naijleffect zou zijn van de inpoldering van de Braakman. Het plaatcomplex Hooge Platen, lijkt inderdaad een sterker lokaal ophogingspatroon te vertonen in verhouding tot de stortingsintensiteit (zie Figuur 6C). Indien deze specifieke locatie uit de regressie wordt verwijderd, blijft het Westerschelde-brede model zeer significant ( $R^2 = 0.84$ ).

### 3.4 De gevonden correlaties zijn belangrijke waarschuwingssignalen

De gevonden relaties tussen stortingsintensiteit en hoogteontwikkeling zijn correlatief van aard en kunnen op zichzelf principieel geen directe causaliteit aantonen. Toch wijst het consistente patroon in observaties op een substantiële rol van het bagger- en stortbeheer:

1. Gedifferentieerde areaalontwikkeling: De sterke opwaartse trend in het areaal is significant groter in de stroomopwaarts gelegen gebieden nabij stortlocaties dan in de overige intergetijdengebieden.
2. Gekwantificeerde lokale respons: (A) Hoe meer gestort wordt, hoe meer ophoging plaatsvindt; en (B) hoe dichterbij de stortingslocatie, hoe sterker de ophoging.

Wij interpreteren de ruimtelijke consistentie van dit patroon als een aanwijzing dat bagger- en stortactiviteiten als gevolg van de verdiepingen de belangrijkste sturende factor vormen in de huidige morfologische evolutie van deze plaatcomplexen, en dus niet de langetermijneffecten van inpolderingen. Dit sluit aan bij bekende mechanismen van sedimenttransport en wordt ondersteund door modellering (Van Dijk et al. 2021).

## 4. Cascade tot ophoging: verschort de Westerschelde?

De voorgaande analyses tonen aan dat de Westerschelde de afgelopen decennia structureel is opgehoogd. De directe correlatie tussen de ruimtelijke variatie in ophoging en de stortintensiteit (Hoofdstuk 3) geeft naar ons inzicht aan dat het gevoerde baggeren stortbeheer een meetbare, sturende invloed heeft. Het systeem ontwikkelt zich in toenemende mate richting hogere, stabielere intergetijdenzones (Hoofdstuk 2). Indien de huidige praktijken worden voortgezet, zal de waargenomen ophoging naar verwachting blijven versterken, ongeacht het autonome aandeel in deze trend.

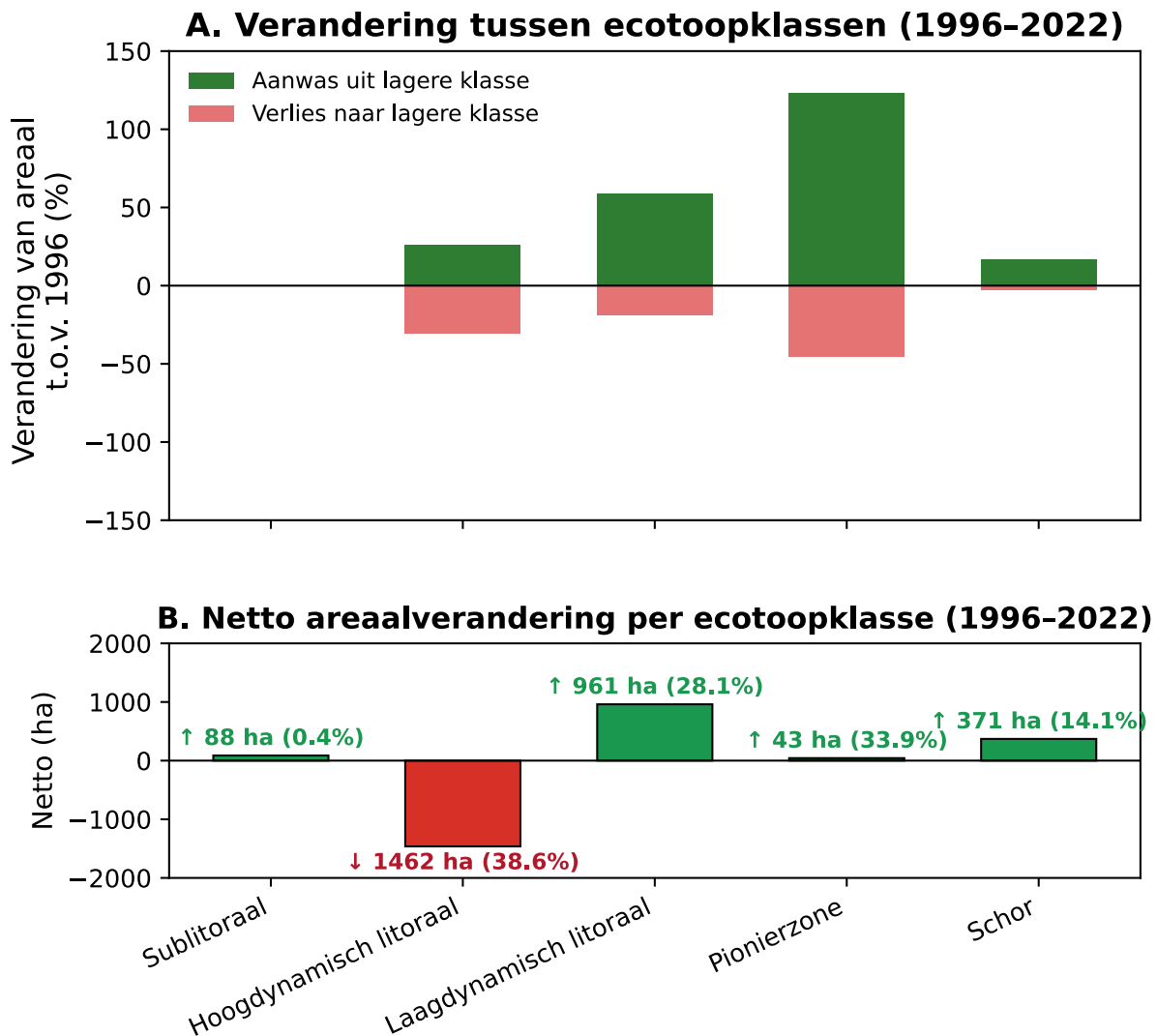
In dit hoofdstuk onderzoeken we de ecologische consequenties. ***De kernvraag is of het toenemende areaal van laagdynamische intergetijdengebieden uiteindelijk zal doorgroeien tot schor, wat ingrijpende ecologische implicaties heeft voor de Westerschelde als Natura 2000-gebied en het beschikbare foerageergebied van (trekkende) vogels.***

### 4.1 Opwaartse morfologische cascade: Ecotopen schuiven door naar hogere klassen

De structurele ophoging manifesteert zich als een duidelijke opwaartse morfologische cascade in de ecotoopdata tussen 1996 en 2022. Ecotopen verschuiven gestaag van hoogdynamische slikken naar laagdynamische slikken, pionierzones en uiteindelijk schorren. Dit weerspiegelt een langdurige morfologische reorganisatie waarin lagere, dynamische zones disproportioneel terrein verliezen en hogere, stabielere zones dominantier worden.

De analyse van de netto verandering (Figuur 7A) toont aan dat de opwaartse bijdragen procentueel domineren: meer areaal komt bij vanuit lagere klassen dan er verloren gaat aan hogere klassen. De laagdynamische litoraalzone fungeert hierbij als een cruciale schakel in de keten; deze ontvangt aanzienlijk areaal vanuit lageregelegen hoogdynamische slikken en subtidale gebieden, maar draagt zelf substantieel bij aan de vorming van pionierzones en schorren. Deze rol als transitiegebied maakt het de cruciale verbindende schakel in de ophogingscascade. Enkel de hoogdynamische litoraalzone

vertoont een netto neerwaartse verandering, wat duidt op erosie en herverdeling van sediment naar omliggende zones.



**Figuur 7. Morfologische cascade van ecotopen in de Westerschelde tussen 1996 en 2022.** (A) Veranderingen tussen ecotoopklassen, weergegeven als percentage van het areaal in 1996. Groene balken tonen de opwaartse verandering (aanwas uit lagere klasse), rode balken de neerwaartse verandering (verlies naar lagere klasse). (B) Netto areaalverandering per ecotoopklasse in hectares, met tussen haakjes de relatieve verandering ten opzichte van 1996. De toename van laagdynamische slikken, pionierzones en schorren illustreert de opwaartse, accumulatieve ontwikkeling van het estuariene systeem.

De nettoarealen (Figuur 7B) bevestigen deze opwaartse verschuiving. Laagdynamische slikken, pionierzones en schor zijn sterk toegenomen; hoogdynamische slikken namen met ruim 1400 ha af. Dit benadrukt dat het systeem gericht evolueert naar stabiele slikken met potentieel voor vegetatie, met ~1600 ha netto-opbouw sinds 1996. Dit vormt

de kern van de ophogingscascade: een blijvende opwaartse verschuiving in ecotopen en structurele afname van dynamische zones.

## 4.2 Cascade richting schorontwikkeling lijkt onvermijdelijk

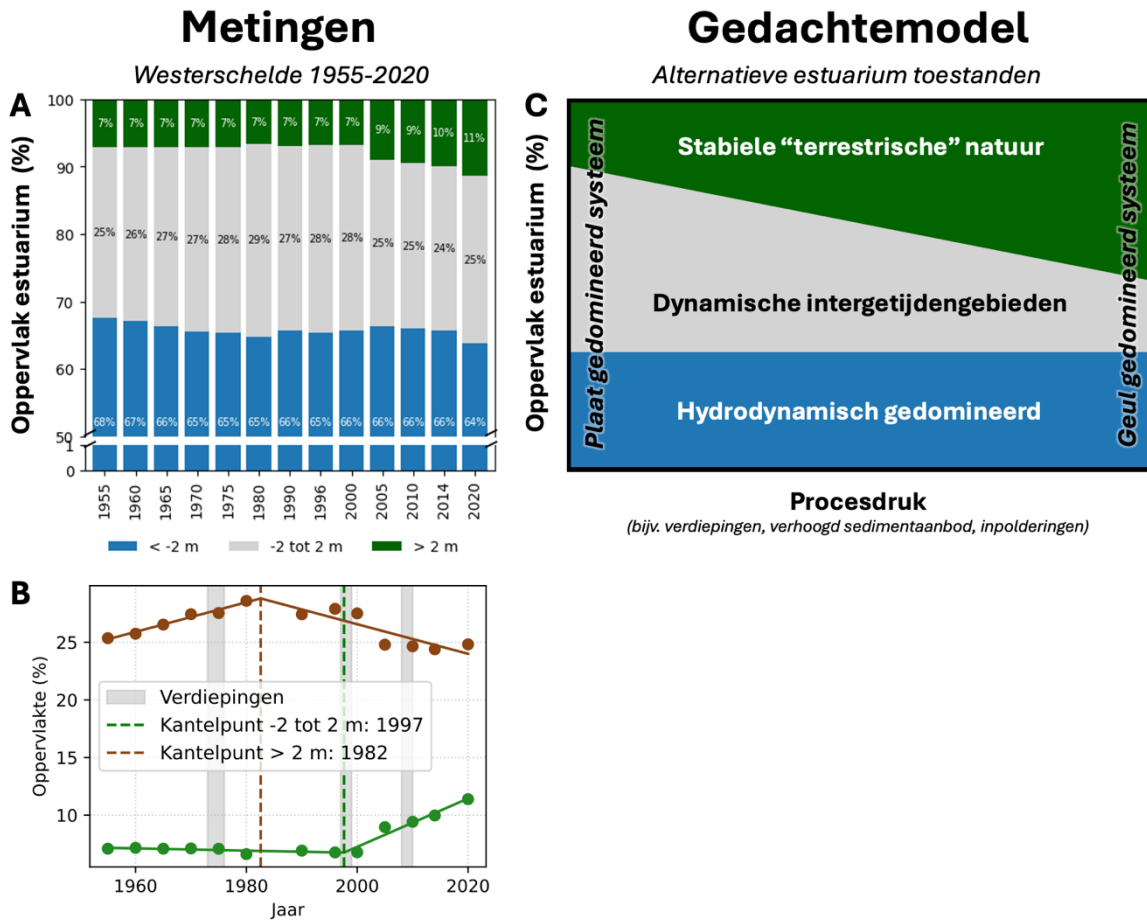
De ophogingscascade ontwikkelt zich vooral sinds de jaren '80, volgend op de eerste verdieping (zie Hoofdstuk 2). Analyse van hoogtezones (Figuur 8A en B) laat zien:

- De intergetijde zone (-2 tot 2 m, vaak gelijk aan slikken) groeide tot circa 1980, stagneerde vervolgens en daalt nu geleidelijk.
- Vanaf de tweede verdieping (circa 1997–1998) neemt het areaal  $> + 2$  m (schorhoogte) significant toe ( $p < 0.05$ ).

Dat deze omslagen in ontwikkeling volgen en samenvallen met de verdiepfases maakt een louter autonome hypothese onwaarschijnlijk. Hoewel de verhoging van het getij in de Westerschelde in deze periode relatief beperkt bleef (vanaf jaren '70; Weisscher et al., 2022), kan de groei van schorareaal worden verklaard door een samenspel van (1) toename in baggervolume, (2) structurele ophoging die werd ingezet door de eerste verdieping en (3) autonome ophoging. De gecombineerde patronen wijzen op een blijvende opwaartse verschuiving: terugval naar lagere, dynamische zones wordt steeds minder waarschijnlijk, terwijl opbouw en stabilisatie dominant zijn geworden. Binnen dit kader lijkt verdere schorontwikkeling, gegeven de constante ophoging van slikken, het meest waarschijnlijke eindstadium.

## 4.3 Menselijke sturing en onzekerheden

Figuur 8C toont dit kader conceptueel: om grote oppervlakten intergetijdengebied dynamisch te houden, moet getij-energie niet te sterk gekanaliseerd worden. Verdieping kanaliseert die energie juist — minder plaatoppervlak blijft onder invloed van hydrodynamische krachten, waardoor platen verstarren en uiteindelijk verschorren. Het estuarium kanaliseert en stabiliseert, met verlies van de natuurlijke morfologische variabiliteit. Het verlies van een meergeulensysteem is daarbij aannemelijk (Van Dijk et al. 2021).



**Figuur 8. Ontwikkeling en conceptuele duiding van de hoogtezoning in de Westerschelde tussen 1955 en 2020.** (A) Langjarige ontwikkeling van de areale verdeling over drie hoogtezones (< -2 m NAP, -2 tot 2 m NAP en > 2 m NAP). Het aandeel schor (> 2 m NAP) bleef tot circa 2000 stabiel rond 7%, terwijl de intergetijdenezone (-2 tot 2 m NAP) en de subtidale zone (< -2 m NAP) hun onderlinge verhouding grotendeels behielden. (B) Tijdreeks van de relatieve oppervlaktes van de drie zones met aanduiding van verdiepingsmomenten en afgeleide kantelpunten. Voor de hoogste zone (> 2 m NAP) wordt een omslagpunt rond 1982 geïdentificeerd, terwijl de intergetijdenezone (-2 tot 2 m NAP) een trendbreuk toont rond 1997. (C) Conceptueel denkkader waarin de verdeling tussen hydrodynamisch gedomineerde, dynamische intergetijdengebieden en stabiele schorren wordt weergegeven, gestuurd door procesdruk zoals bijvoorbeeld verdiepingen, verhoogd sedimentaanbod en inpolderingen.

Onze analyses tonen dat de recente ontwikkeling wordt gedomineerd door ophoging en verschorring van het intertidaal, sterk versterkt door verdiepingen en stortbeheer. Onze bevindingen tonen aan dat de Westerschelde begonnen is te verschorren, wat naar ons inzicht sterk versneld en gestuurd wordt door menselijk handelen. Dit vormt een reëel risico voor het behouden van de Natura 2000-doelstellingen van de Westerschelde en haar functie als internationaal foerageergebied.

De vraag is daarmee beleidsmatig: welke ingrepen zijn nodig om verdere verschorring te remmen? En welke alternatieve stortstrategieën kunnen dynamiek behouden of herstel mogelijk maken?

## 5. Zorgen en kansen: de Westerscheldenatuur vraagt keuzes nu!

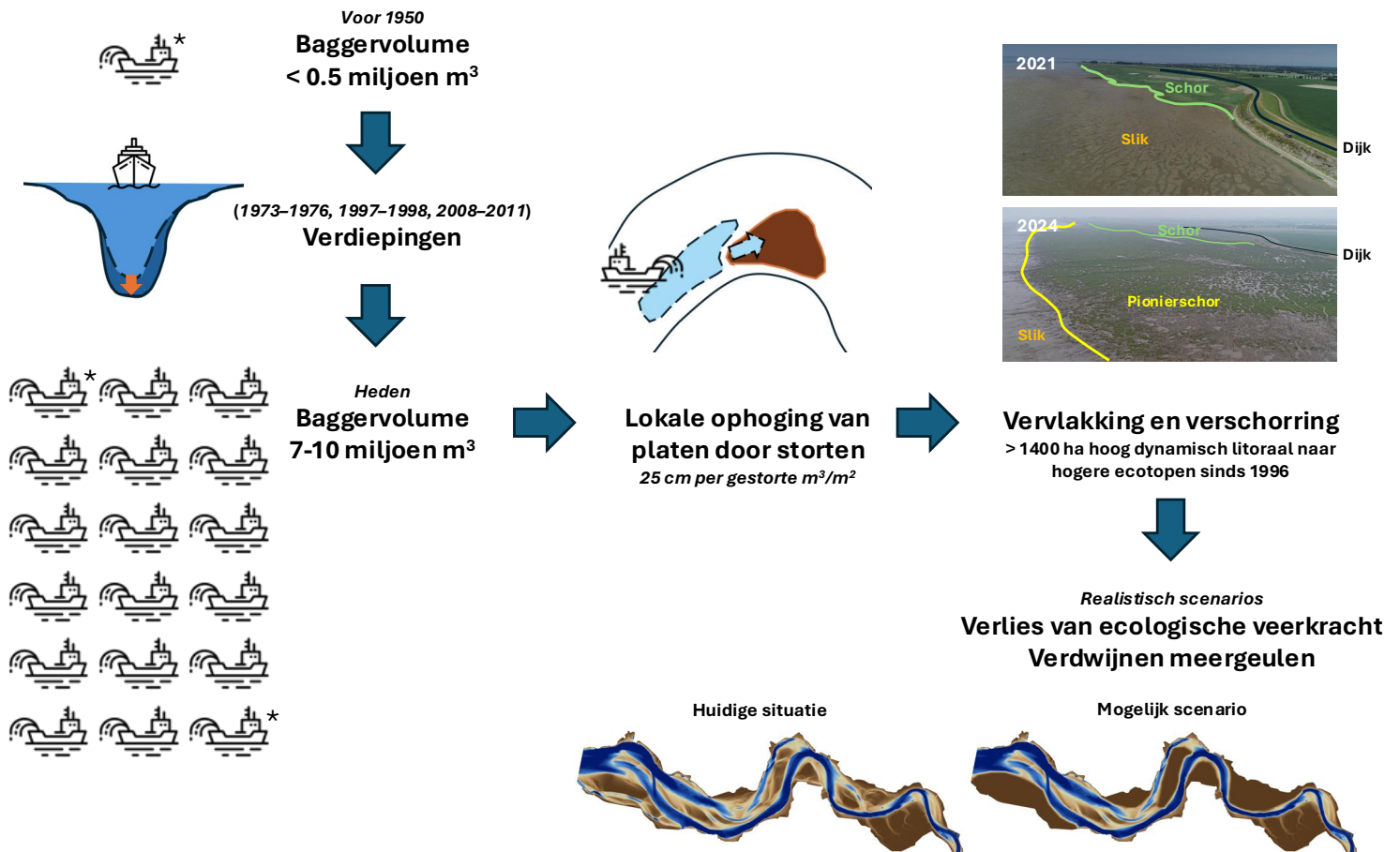
### 5.1 Baggeren als primaire sturende kracht van versnelde hoogtegroeï van ecotopen

De totale analyse in dit rapport en daarbij getoonde correlaties geven een bijzonder sterke indicatie dat de recente, structurele hoogteontwikkeling in de Westerschelde wordt gestuurd door het sinds de verdiepingen toegenomen baggervolume en het baggerstortbeheer. De langetermijneffecten van inpolderingen en geulverdiepingen creëren weliswaar de basis voor opslibbing (via toename van het getij), maar komen niet naar voren als dominante drijvende kracht in de huidige ruimtelijke patronen van ophoging. Onze bevindingen zijn schematisch weergegeven in Figuur 9.

### 5.2 Lange termijn consequenties voor de Westerscheldenatuur

De Westerschelde hoogt op en verstart structureel. Deze ontwikkeling wordt versterkt door de verdiepingen en het bagger- en stortbeheer. Het huidige beheer richt zich sterk op korte termijn nautische bereikbaarheid, waardoor de langetermijnrisico's van natuurlijkheid en veiligheid sterk onder druk komen te staan. De belangrijkste zorgpunten zijn:

- I. **Ecologische cascade naar verschorring:** Intergetijdenzones schuiven systematisch door naar hoger gelegen ecotopen, een proces dat moeilijk omkeerbaar is. Bij doorgaande verschorring verliezen we grote delen van het intergetijden, welke belangrijk zijn als foerageergebieden voor vogels.
- II. **Verlies van ecologische veerkracht voor zeespiegelstijging:** Gebaseerd op literatuur zijn vlakkere estuaria gevoeliger voor zeespiegelstijging (Kirwan en Megonigal, 2013). We zien een persistente trend dat de Westerschelde ophooft en afvlakt, wat suggereert dat het systeem gevoeliger wordt voor toekomstig zeespiegelstijging.



\* De uitvoering van baggeren is niet primair via rainbowen.

**Figuur 9. Schematische samenvatting van onze interpretatie op de langetermijneffecten van vaargeulverdieping en baggerstort in de Westerschelde.** Voor 1950 waren de jaarlijkse baggervolumes beperkt (< 0,5 miljoen m<sup>3</sup>). Grootschalige vaargeulverdiepingen in de perioden 1973–1976, 1997–1998 en 2008–2011 leidden tot een sterke toename van het baggervolume tot circa 7–10 miljoen m<sup>3</sup> per jaar. Door het grootschalig storten van sediment op platen (circa 25 cm ophoging per gestort m<sup>3</sup> per m<sup>2</sup>) vindt lokale ophoging plaats, wat resulteert in vervlakking en versnelde verschorring. Sinds 1996 is hierdoor meer dan 1400 ha hoogdynamisch litoraal verdwenen ten gunste van hogere ecotopen. Deze ontwikkeling gaat gepaard met verlies aan ecologische veerkracht en het verdwijnen van meergeulen, zoals geïllustreerd door de vergelijking tussen de huidige situatie en een mogelijk toekomstscenario.

### 5.3 Kansen voor een ecologisch robuust, veilig en toegankelijk estuarium

De auteurs van dit rapport zien perspectief in herziening van de stortstrategie, zodat *Toegankelijkheid* behouden blijft, terwijl effecten op *Natuurlijkheid* en *Veiligheid* worden verminderd. De kansen liggen in een heroriëntatie van het beheer:

- A. Herziening van beleidsprioriteit:** Erken het hoogdynamisch slik expliciet als kritieke ecologische pijler en sturende parameter om grootschalige verschoring te voorkomen.
- B. Herontwikkeling sedimentbeheer richting klimaatadaptie:** Gebruik de verhoogde sedimentbeschikbaarheid als gevolg van baggerwerkzaamheden voor het laten meegroeien van omliggende gebieden met zeespiegelstijging.
- C. Vasthouden aan behoud van sediment binnen Westerschelde delta:** Sediment is de fundamentele bouwsteen van een laaggelegen delta onder zeespiegelstijging. Structurele afvoer van sediment uit het systeem ondermijnt zowel de ecologische veerkracht als de veiligheid. Een klimaatadaptieve stortstrategie vergt daarom dat sediment primair binnen het estuarium wordt benut voor meegroeivermogen van mens en natuur.

Het combineren van deze maatregelen vraagt nieuwe kennis om naast *Toegankelijk* en *Veiligheid* ook *Natuurlijkheid* te versterken. De wetenschap kan helpen deze kennis en inzichten te vergaren, maar uiteindelijk ligt de keuze bij de samenleving via de politiek.

### 5.4 Beleidsdoelen versus systeembrede ontwikkeling

De afgelopen decennia hebben laten zien dat een natuurbeleid dat primair is gericht op lokale, projectmatige ingrepen onvoldoende is om duurzaam natuurherstel op de schaal van de gehele Westerschelde te realiseren. Dit wordt expliciet zichtbaar wanneer onze systeemanalyse wordt geplaatst in het kader van de formele beleidsdoelstellingen voor estuariene natuurontwikkeling.

In het rapport *Voorstel voor natuurontwikkelingsmaatregelen* (Van den Bergh et al., 2003) is voor de Nederlandse zijde vastgesteld dat de extra ruimte die nodig is voor de Westerschelde een ordegrootte heeft van 3000 hectare. Deze ordegrootte vormt

de taakstelling voor 2030 zoals vastgelegd in de *Ontwikkelingsschets 2010 Schelde-estuarium* (2005).

Politiek-bestuurlijk is vervolgens, op basis van kosten en maatschappelijk draagvlak, besloten om hiervan een minimumpakket van 600 hectare estuariene natuur te realiseren vóór 2010 (MLNV, 2005). Binnen dit beleidskader is estuariene natuur primair gedefinieerd via de Vogel- en Habitatrichtlijn, met name habitat 1130 (Estuaria, inclusief 1110 en 1140: ondiep water en slikken), aangevuld met 1310 (pioniervegetatie) en 1330 (schorren). Cruciaal daarbij is dat voor habitat 1130 de instandhoudingsdoelstelling bestaat uit uitbreiding van oppervlakte én verbetering van kwaliteit, terwijl voor habitat 1330A uitsluitend behoud van oppervlakte en verbetering van kwaliteit geldt. Een omzetting van slik naar schor kan daarom binnen het Natura-2000-kader niet als natuurwinst worden beschouwd, maar juist als verlies van het prioritaire estuariene habitat.

Twee voorbeelden illustreren waarom deze minimale opgave met het huidige beleid niet wordt gehaald en deels zelfs weer ongedaan wordt gemaakt. Ten eerste de verschorringscascade, waarbij de huidige ‘gunstige staat’ – gekenmerkt door een toename van laagdynamische slikken – slechts een tijdelijk tussenstadium blijkt, waarna aanzienlijke oppervlakten door kunnen ontwikkelen naar schor. Ten tweede is in dezelfde periode waarin circa 600 hectare intergetijdengebied via het Natuurpakket Westerschelde werd hersteld tot waardevol vogelgebied, elders in het estuarium circa 500 hectare intergetijdengebied verloren gegaan als gevolg van het bagger- en stortbeheer (414 hectare naar pionierzone en schor, en 88 hectare naar sublitoraal; zie Figuur 7B).

Gezamenlijk maken deze bevindingen duidelijk dat (1) zonder richtinggevende keuzes, gebaseerd op grondige integrale langetermijnsysteem analyses van de gehele Westerschelde, duurzaam natuurherstel niet mogelijk is en (2) dat toekomstige doelen voor natuurontwikkeling, sedimentbeheer en hoogwaterbescherming onvermijdelijk in samenhang moeten worden vastgesteld.

## 5.5 Conclusie: Een mooie toekomst vraagt keuzes nu!

De relatie tussen Nederland en Vlaanderen is zowel een vloek als een zegen voor de Westerscheldenatuur. Als er geen landsgrens was geweest, dan zou de haven van Antwerpen mogelijk lang geleden tot aan de monding van de Westerschelde zijn uitgebreid (zie ontwikkeling Rotterdamse haven), waarbij de ecologische waarde sterk verminderd zou zijn. Tegelijkertijd, zonder de haven van Antwerpen zou, bij uitvoering van het Deltaplan, de Westerschelde waarschijnlijk zijn afgesloten, waarbij de ecologische waarde sterk veranderd zou zijn (zie Grevelingen en Oosterschelde).

De Westerschelde staat op een scharnierpunt. De wetenschap maakt inzichtelijk welke ontwikkelingen bepalend zijn. Een toekomstbestendige Westerscheldenatuur vraagt om actieve keuzes door de maatschappij, via bestuurders, die op korte termijn moeten worden gemaakt voor de toekomstige generaties Zeeuwen.

# Referenties

Elias, E. P., Van der Spek, A. J., Wang, Z. B., Cleveringa, J., Jeuken, C. J., Taal, M., & Van der Werf, J. J. (2023). Large-scale morphological changes and sediment budget of the Western Scheldt estuary 1955–2020: the impact of large-scale sediment management. *Netherlands Journal of Geosciences*, 102, e12.

Fivash, G. S., Temmerman, S., Kleinhans, M. G., Heuner, M., van der Heide, T., & Bouma, T. J. (2023). Early indicators of tidal ecosystem shifts in estuaries. *Nature Communications*, 14(1), 1911.

Grandjean, T. J., Weenink, R., van der Wal, D., Addink, E. A., Hu, Z., Liu, S., Wang, Z.B., Yuan, L. & Bouma, T. J. (2024). Critical turbidity thresholds for maintenance of estuarine tidal flats worldwide. *Nature Geoscience*, 17(6), 539-544.

Kirwan, M. L., & Megonigal, J. P. (2013). Tidal wetland stability in the face of human impacts and sea-level rise. *Nature*, 504(7478), 53-60.

Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit - directie Regionale Zaken (2005). Natuurprogramma Westerschelde. 50 pagina's.

Projectdirectie ontwikkelingsschets Schelde-estuarium (2005). Ontwikkelingsschets 2010 Schelde-estuarium - *Besluiten van de Nederlandse en Vlaamse regering*. 84 pagina's.

Van den Bergh, E., S. van Damme, J. Graveland, D.J. de Jong, I. Baten & P. Meire, 2003. Voorstel voor natuurontwikkelingsmaatregelen ten behoeve van de Ontwikkelingsschets 2010 voor het Schelde-estuarium. Rijksinstituut voor Kust en Zee, Instituut voor Natuurbehoud & Universitaire Instelling Antwerpen. Werkdocument RIKZ/2003.825x


Van Dijk, W., Cox, J., Leuven, J., Cleveringa, J., Taal, M., & Kleinhans, M. (2021). The vulnerability of tidal flats and multi-channel estuaries to dredging and disposal. *Anthropocene Coasts*, 4(1), 36-60.

Vlaamse-Nederlandse Scheldec commissie (z.j.). Natuurpakket Westerschelde. <https://vnsc.eu/projecten/natuurpakket-westerschelde/> Geraadpleegd op 10 december 2025.

Weisscher, S. A., Baar, A. W., Van Belzen, J., Bouma, T. J., & Kleinhans, M. G. (2022). Transitional polders along estuaries: Driving land-level rise and reducing flood propagation. *Nature-Based Solutions*, 2, 100022.

## Data en code beschikbaarheid

Alle bijbehorende analyses voor hoofdstuk 1 tot 4, zijn systematisch geordend per hoofdstuk en samen met de onderliggende en benodigde datasets van Rijkswaterstaat beschikbaar gesteld via de NIOZ Dataverse. Hiermee wordt de volledige reproduceerbaarheid van de resultaten uit Hoofdstuk 1 tot en met 4 gewaarborgd, en kunnen de analyses getraceerd worden. De codes zijn opgemaakt in Python en beschikbaar via de bijbehorende Jupyter Notebooks. De dataset is vrij toegankelijk via de volgende DOI: [10.25850/nioz/7b.b.fk](https://doi.org/10.25850/nioz/7b.b.fk)



Sea research  
from climate  
to biodiversity