

Morfologisch onderzoek Kop van Schouwen

Een verdiepend onderzoek naar de sedimentuitwisseling tussen (diepe) vooroever, buitendelta en kust.



Morfologisch onderzoek Kop van Schouwen

Een verdiepend onderzoek naar de sedimentuitwisseling tussen (diepe) vooroever, buitendelta en kust.

Auteur(s)

Nienke Vermeer

Edwin Elias

Morfologisch onderzoek Kop van Schouwen

Een verdiepend onderzoek naar de sedimentuitwisseling tussen (diepe) vooroever, buitendelta en kust.

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	mevrouw L.B. Brakenhoff
Referenties	Hoofdstuk 6
Trefwoorden	Morfologie, Kop van Schouwen, buitendelta, Oosterscheldemonding, Banjaard, Krabbengat, Oosterscheldekering, Verklikkerplaat

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	20-12-2023
Projectnummer	11209263-004
Document ID	11209263-004-ZKS-0003
Pagina's	57
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Nienke Vermeer	
	Edwin Elias	

Samenvatting

Het onderzoeksprogramma Beheer & Onderhoud Kust (B&O Kust) ondersteunt Rijkswaterstaat bij het onderhoud en beheer van de kust. Om de eilandkusten langs zeegatsystemen zowel op de korte termijn te kunnen handhaven als op de langetermijn te laten meegroeien met zeespiegelstijging, is begrip van het morfologische systeem en de sedimentuitwisselingen tussen kust, zeegat en bekken belangrijk. In deze studie is de grootschalige morfodynamiek van de Oosterscheldemonding bestudeerd. Nadruk ligt hierbij op de morfodynamiek van het noordelijk deel van de Oosterscheldemonding, voor de Kop van Schouwen.

De Oosterscheldemonding is onderdeel van de Voordelta en ligt tussen de Kop van Schouwen en Walcheren/Noord-Beveland. Er zijn in de afgelopen decennia grote ingrepen in het gebied gedaan. Zo is het voormalige estuarium gedeeltelijk afgesloten door aanleg van de Oosterscheldekering (1976 – 1986). Deze ingrepen hebben de morfodynamiek van het gebied veranderd.

In deze studie is de 'actieve volumebalans methode' toegepast om een sedimentbalans op te stellen over de periode 1960-2022. De 'actieve sedimentlaag' wordt hierin uitgerekend door de sedimentdikte te berekenen als verschil tussen de gemeten bodem en de inactieve bodem. Vervolgens is deze sedimentbalans gebruikt voor de analyses. Er is hierbij gekeken naar de sedimenthuishouding van het gehele zeegat, van het bankencomplex de Banjaard en van individuele banken op de Banjaard-Landwaarts, de Verklikkerplaat en het Krabbengat.

De sedimentbalans laat zien dat het totale actieve sedimentvolume over de hele periode 1960 t/m 2022 in relatief kleine mate (4 miljoen m³) is afgenomen. Er hebben echter grote variaties plaatsgevonden binnen deze periode en binnen deelgebieden. Zo was er vóór aanleg van de Oosterscheldekering (1960 – 1980) een volumetoename in de monding van 89 miljoen m³. Deze toename in sedimentvolume werd veroorzaakt door de toename van het getijprisma als gevolg van ingrepen in het estuarium.

De bouw van de stormvloedkering verkleinde de natte dwarsdoorsnede van het zeegat, wat resulteerde in een reductie van het getijvolume. Bovendien werd de sedimentexport van het estuarium geblokkeerd door de kering. Door de afnemende getijdenstroming en het ontbreken van sedimentaanvoer uit het estuarium, begonnen golven de buitendelta te eroderen. Het bankencomplex de Banjaard, ten westen van het eiland Schouwen, erodeerde. Zo nam het volume tussen 1984 en 2010 met 15 miljoen m³ af voor het zeewaartse deel van de Banjaard en 39 miljoen m³ voor het landwaartse deel van de Banjaard. Het ondieper worden van het bankencomplex de Banjaard zorgde ervoor dat de getijdengeulen die dit gebied doorkruisten zich meer noord-zuid oriënteerden. De geul het Krabbengat, direct voor de westelijke oever van Schouwen, verlengde zich naar het noorden en vormde het vloedschild 'Bollen van het Nieuwe Zand'. Het Krabbengat nam tussen 1960 en 2022 in gemiddelde diepte toe (van -11 tot -15 m t.o.v. NAP) en het oppervlak nam in deze periode met 2 miljoen m² toe.

De erosie van het bankencomplex de Banjaard verminderde de golfdissipatie, wat mogelijk heeft geleid tot een aanhoudende golfaanval op de kust van Schouwen. Het volume van de kust van Schouwen ten zuiden van de Verklikkerplaat nam namelijk tussen 1980 en 2022 met 4 miljoen m³ toe, terwijl er in dezelfde periode ruim 11 miljoen m³ zand is gesuppleerd. Een deel van het gesuppleerde zand is waarschijnlijk door golfgedreven transport richting het noorden verplaatst, richting de Verklikkerplaat. Over de gehele periode 1960 t/m 2022 nam de Verklikkerplaat namelijk met 9 miljoen m³ in volume toe. Ruim 5 miljoen m³ van deze toename

vond plaats sinds 1990, het moment vanaf wanneer er frequent werd gesuppleerd. De data laten zien dat de Verklikkerplaat met name sterk in dikte toeneemt.

De geobserveerde volumeafname in de Oosterscheldemonding sinds de aanleg van de Oosterscheldekering lijkt zich sinds 2010 te hebben omgebogen in een volume toename. Met meer specifiek een volumetoename van 29 miljoen m³ tussen 2010 en 2022 in de gehele monding; Deze toename kwam enerzijds doordat de eroderende trend van het bankengebied Banjaard, die aanwezig was sinds de aanleg van de Oosterscheldekering, afnam. Het zeewaartse deel van de Banjaard nam tussen 2010 en 2022 zelfs met 6 miljoen m³ in volume toe. Het volume van het landwaartse deel van de Banjaard bleef sinds 2013 stabiel. Anderzijds kwam de grootschalige volumetoename door een volumetoename in met name het midden en zuiden van de monding (28 miljoen m³).

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Introductie	7
1.1	Aanleiding tot onderzoek	7
1.2	Doelstelling	7
1.3	Opbouw van het onderzoek	Error! Bookmark not defined.
2	Morfologie van de kust van Schouwen	8
2.1	Inleiding	8
2.2	De Oosterscheldemonding	8
2.3	De Oosterscheldekering	10
2.4	Morfologische processen in de Oosterscheldemonding	10
2.4.1	Grootschalig gedrag Oosterschelde buitendelta	10
2.4.2	Morfologische processen rondom de Kop van Schouwen	11
3	Data en methode	13
3.1	Methodiek	13
3.2	Bodemmetingen	15
3.3	Suppleties	15
4	Volumebalansen	17
4.1	Volumebalans van de Oosterscheldemonding	17
4.1.1	Volumes per deelgebied	17
4.1.2	Dikte van de actieve sedimentlaag	18
4.2	Volumebalans van de Banjaard	25
4.2.1	Banjaard-Zeewaarts	25
4.2.2	Banjaard-Landwaarts	30
4.3	Volumebalans van individuele elementen	36
4.3.1	Banken op de Banjaard-Landwaarts	37
4.3.2	Kustzone en de Verklikkerplaat	41
4.3.3	Krabbengat	46
5	Conclusies en aanbevelingen	50
5.1	Conclusies	50
5.2	Aanbevelingen	51
6	Referenties	52
A	Bodemopnamen	53

1 Introductie

1.1 Aanleiding tot onderzoek

In het onderzoeksprogramma B&O Kust worden kennis en tools door Deltares ontwikkeld die Rijkswaterstaat ondersteunen bij 1) verkrijgen van inzicht in de ontwikkeling van het zandig kuststelsysteem en 2) die ondersteunen in het beheer en onderhoud van het zandig kuststelsysteem. Het deelprogramma 'Systeemkennis Zeegaten' van het B&O Kust programma focust op de kennisontwikkeling van de zeegatsystemen en de aangrenzende zandige eilandkusten. Met name bij de zeegaten treden structurele zandverliezen en erosieproblemen op. Het beter begrijpen van het morfologische systeem en de sedimentuitwisselingen tussen kust, zeegat en bekken is een belangrijk doel van dit deelproject. Met de systeemkennis over de werking van zeegatsystemen wordt het beheer van en onderhoud aan eilandkoppes ondersteund.

1.2 Doelstelling

Eén van de locaties langs de Nederlandse kust waar aanvullend inzicht benodigd is, is de Kop van Schouwen. De Kop van Schouwen is van oudsher aan erosie onderhevig. De voorliggende geul Krabbengat is hier direct en indirect verantwoordelijk voor. Aan de zuidwest en westzijde van de kop grenst het Krabbengat direct aan de kust en is het strand smal. Ten gevolge hiervan zijn zes BKL-overschrijdingen gevonden in de laatste kustlijnbeoordeling terwijl de Kop van Schouwen in 2022 is gesuppleerd. Aan de noordwestzijde heeft zich bij de uitstroming van het Krabbengat een groot bankengebied gevormd (de Bollen van het Nieuwe Zand). Deze banken vertonen een grote dynamiek waarbij lokaal ook (sterke) kusterosie kan optreden.

Een beter begrip van de interactie tussen Krabbengat, de banken op de Banjaard-Landwaarts (de Bollen van het Nieuwe Zand) en de Kop van Schouwen is essentieel voor een efficiënt suppletiebeleid. Het uitgevoerde onderzoek is niet direct gekoppeld aan een directe behevingsvraag of probleem in het interessegebied, maar heeft als doel de morfologische kennis van de Kop van Schouwen te vergroten zodat Rijkswaterstaat ook in de toekomst het kustbeheer hier efficiënt kan uitvoeren. De huidige studie focust op de grootschalige sedimentbalans van het zeegat, met focus op het bankengebied de Banjaard. In 2024 zal een vervolgstudie worden uitgevoerd met focus op de sedimentuitwisseling tussen de buitendelta en de kust van Schouwen.

Om de doelstelling te bereiken zijn de volgende onderzoeksvragen opgesteld:

1. Hoe ziet de sedimenthuishouding van het gehele zeegat (vooroevers, buitendelta en kust) eruit?
2. Wat zijn de volumeontwikkelingen van de bankengebieden de Banjaard?
3. Wat zijn de volumeontwikkelingen van de individuele elementen zoals de banken op de Banjaard-Landwaarts (de Bollen van het Nieuwe Zand), de Verklipperplaat en het Krabbengat?

1.3 Opbouw van het onderzoek

In Hoofdstuk 2 wordt een overzicht gepresenteerd van de morfologie van de kust van Schouwen, en de invloed van de Oosterscheldekering. Hoofdstuk 3 geeft een overzicht van de gehanteerde data en methodiek. In Hoofdstuk 4 worden de uitkomsten van de volumeberekeningen gepresenteerd voor de gehele Oosterscheldemonding, de Banjaard en individuele elementen, zoals banken op de Banjaard-Landwaarts, de kustzone en de Verklipperplaat en het Krabbengat. De verkregen inzichten vormen de basis voor de conclusies en aanbevelingen in Hoofdstuk 5.

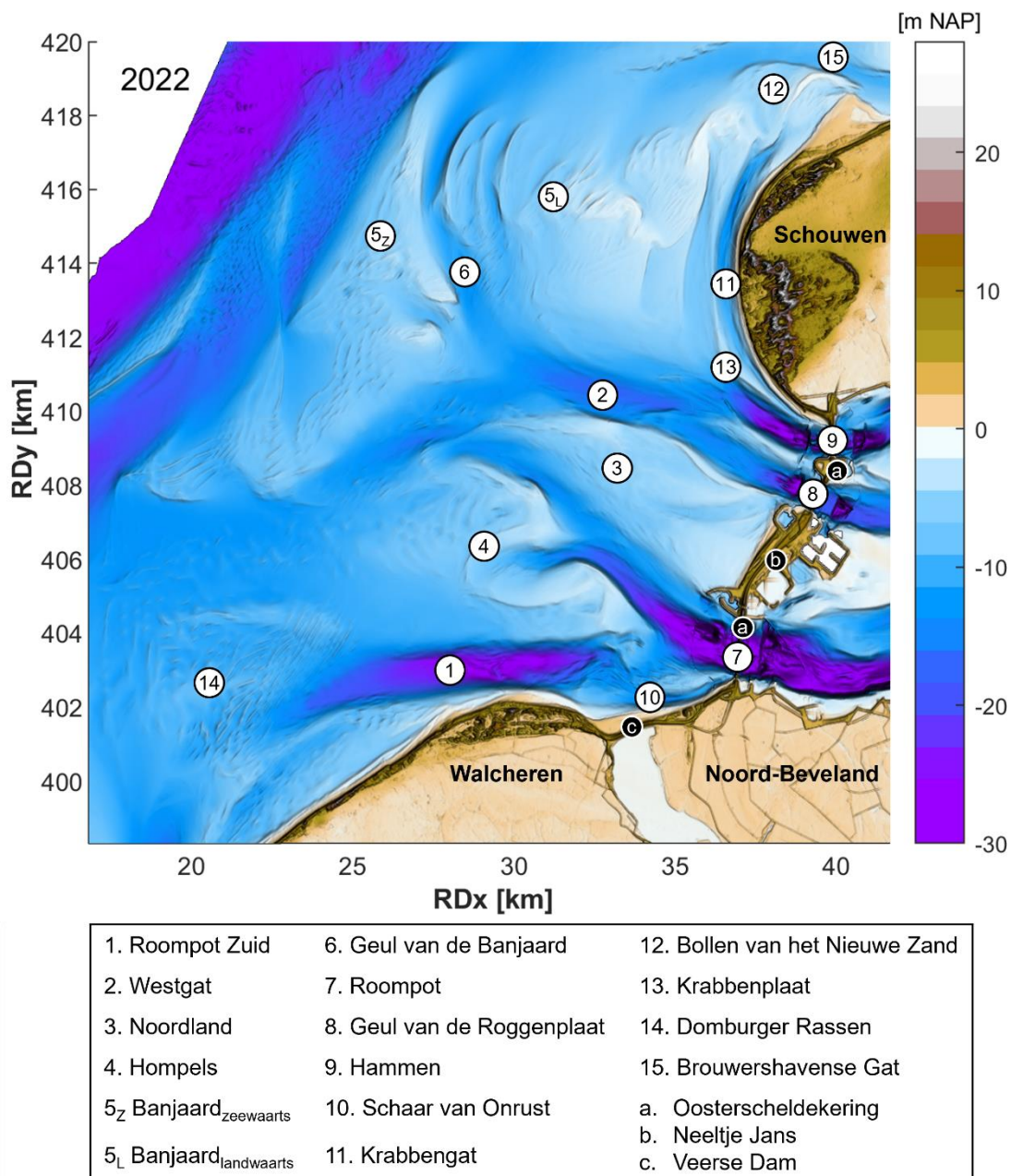
2 Morfologie van de kust van Schouwen

2.1 Inleiding

De vooroever van de kust van Schouwen maakt onderdeel uit van de Voordelta: een samenvloeiend systeem van de eb- en vloeddelta's van de estuaria in Zuidwest Nederland. De Voordelta strekt zich ongeveer 10 km zeewaarts uit en bestrijkt ongeveer 90 km van de kust. De gehele of gedeeltelijke afdamming van de estuaria, als onderdeel van het Deltaproject, had een enorme impact op de ebdelta's, hierna buitendelta's. De sterke vermindering van de zeewaarts gerichte getijdenstroming veroorzaakte een reeks morfologische veranderingen die tot op de dag van vandaag voortduren. Deze morfologische veranderingen op de Voordelta staan onder andere beschreven in Cleveringa (2008), Elias et al. (2016) en Lazar et al (2017). De vooroever van de Kop van Schouwen wordt gedomineerd door geulen en platen die onderdeel vormen van de buitendelta van de Oosterschelde. Paragraaf 2.2 geeft een overzicht van deze geulen en platen. Paragraaf 2.3 geeft een beknopte geschiedenis van de Oosterscheldekering. Vervolgens worden in Paragraaf 2.4 de grootschalige veranderingen in de bodemligging van de buitendelta als directe gevolg van de aanleg van de Oosterscheldekering beschreven en het effect op de morfologie rondom de Kop van Schouwen.

2.2 De Oosterscheldemonding

De Oosterscheldemonding strekt zich uit tussen de (voormalige) eilanden Walcheren-Noord-Beveland en Schouwen. Figuur 2-1 laat het complexe patroon van meerdere geulen en banken van de Oosterschelde buitendelta zien. In het noorden is de Oosterschelde buitendelta begrensd door een ondiep gebied, de Banjaard [5]. De Banjaard plaat is doorsneden door kleinere geulen. De hoofdgeulen Hammen [9] en Geul van de Roggenplaat [8] liggen ten noorden van de Middelplaat-Neeltje Jans [b], waar o.a het bediengebouw van de Oosterschelde Stormvloedkering, het J.W. Topshuis, zich bevindt. Richting zee vloeien deze geulen samen in het Westgat [2], dat weer een noordelijke en een zuidelijke uitstroming heeft. De noordelijke tak wordt de Geul van de Banjaard [6] genoemd en doorsnijdt, zoals de naam al aangeeft, de Banjaard plaat en verdeelt deze in een landwaarts [5L] en een zeewaarts [5Z] gelegen deel. Het zuidelijk deel van de Oosterschelde buitendelta wordt beheerst door de grote geul Roompot [7]. De in westelijke richting gelegen uitloper van de Roompot, die pal zeewaarts van de noordwestelijke kust van Walcheren ligt, wordt Roompot Zuid [1] genoemd; de hoofdtak loopt naar het westnoordwesten en heet Oude Roompot. Deze geul heeft een uitstroming naar het Westgat. Kleine zijtakken hebben voorliggende vloedchildjes gevormd naar het zuidwesten, dit gebied heet de Hompels [4]. Lokaal hebben deze geulen dieptes van meer dan 20 m t.o.v. NAP. De ontgrondingskuilen nabij de Oosterscheldekering hebben lokaal een diepte van meer dan 50 m t.o.v. NAP.



Figuur 2-1. Overzicht van de Oosterscheldemonding gebaseerd op de 2022-Vaklodingen. De eilanden zijn opgevuld met het AHN.

De Oosterscheldemonding kan worden onderverdeeld in een noordelijk deel (tussen het Brouwershavense Gat en het Westgat), een zuidelijk deel (ten zuiden van de Roompot Zuid) en een centraal deel (tussen het Westgat en de Roompot Zuid). Taal et al. (2023) beschrijven de sedimenthuishouding van (o.a.) de Oosterscheldemonding. Het noordelijke deel wisselt zand uit met de noordelijker gelegen buitendelta's van Grevelingen en Haringvliet. Het zuidelijk deel lijkt weinig actief en heeft niet veel interactie met de aangrenzende monding van de Westerschelde. Dit komt doordat het tussengelegen gebied (de Domburger Rassen) relatief diep is, waardoor sediment daar zal worden afgezet in plaats van toegevoegd te worden aan één van beide gebieden. Daarbij heeft de getijgeul Roompot Zuid, voor de noordwestkust van Walcheren, geen afzettingsgebied.

De geulen en platen in het centrale deel van de Oosterscheldemonding hebben weinig interactie met de aangrenzende kusten.

Deze studie focust op de Kop van Schouwen, waarvoor de noordzijde van de Oosterscheldemonding van belang is.

2.3 De Oosterscheldekering

Na de Watersnoodramp in 1953 werd het Deltaplan opgesteld, met als doel om overstromingen in de toekomst te voorkomen. De visie was destijds: 'hoe korter de kust, hoe gemakkelijker de verdediging.' Daarom werd besloten alle riviermondingen in het deltagebied volledig af te sluiten. In 1959 werd de Deltawet vastgesteld, die een uitgebreid verdedigingssysteem tegen hoogwater van de zee in Zeeland, Noord-Brabant en zuidelijk Zuid-Holland omvatte. Een jaar daarvoor was de stormvloedkering in de Hollandse IJssel in gebruik genomen, die de dichtbevolkte Randstad moest beschermen tegen overstroming. Daarna volgden de afdamming van het Veerse meer door de Veerse Gatdam (1961), het Haringvliet door de Haringvlietdam (1971) en de Grevelingen door de Brouwersdam (1972). Om deze afsluitdammen gefaseerd aan te kunnen leggen, waren er compartimenteringsdammen nodig: de Zandkreekdam (1960), Grevelingendam (1965) en Volkerakdam (1969).

Aanvankelijk zou de Oosterschelde volledig worden afgesloten van de zee door een dam. Door fel protest, onder meer vanuit de visserij en milieubeweging, werd uiteindelijk gekozen voor een halfopen stormvloedkering die sluit als de voorspelde waterstand op zee boven de +3 m NAP uitkomt. Hierdoor werd het zoutwatermilieu en de ecologische rijkdom grotendeels behouden. In 1976 werd gestart met de bouw van de Oosterscheldekering tussen Schouwen-Duiveland en Noord-Beveland. Met de afronding van de Oosterscheldekering (1986) en de twee compartimenteringsdammen Philipsdam (1987) en Oesterdam (1986) waren de Deltawerken gereed.

Door de aanleg van de kering en de nam het oppervlak van het zeegat waar water doorheen stroomt af van 80.000 tot 17.900 m². Daarbij nam de bekkenoppervlakte van de Oosterschelde af van 452 km² tot 351 km². Dit resulteerde in een afname van ca. 28% in getijprisma ten opzichte van vóór de aanleg (1983). Daarnaast verminderde de sedimentstroom van het estuarium naar zee (en vice versa) aanzienlijk.

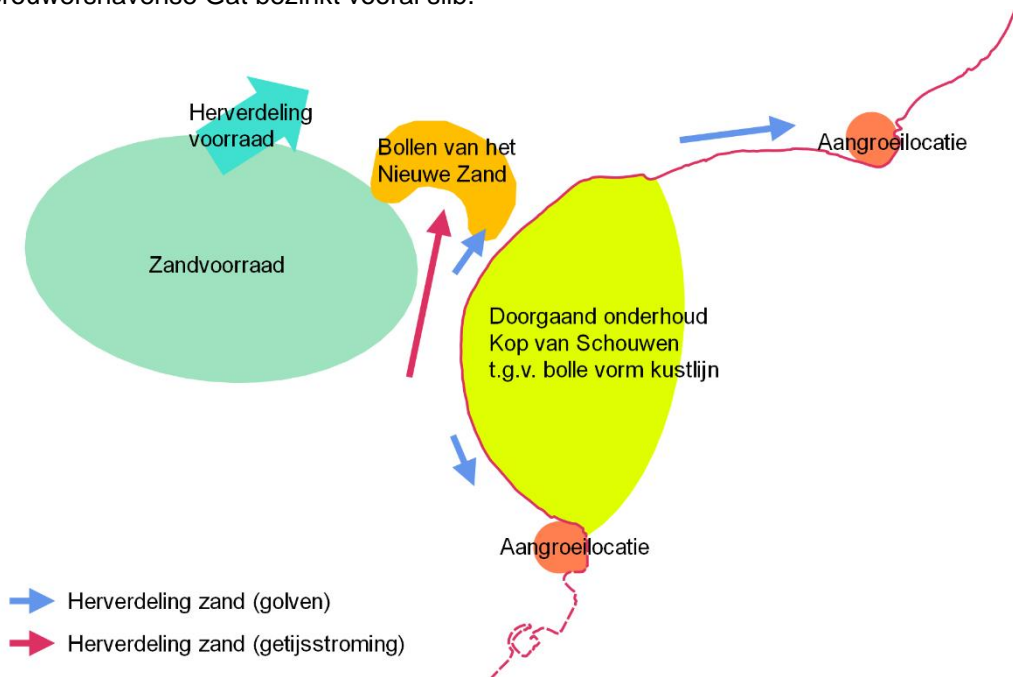
2.4 Morfologische processen in de Oosterscheldemonding

2.4.1 Grootschalig gedrag Oosterschelde buitendelta

Elias & Van der Spek (2014) beschrijven de grootschalige morfologische veranderingen in de Oosterscheldemonding tussen 1964 en 2013. Door de aanleg van de Oosterscheldekering zijn de debieten en sedimenttoevoer vanuit het Oosterschelde estuarium gereduceerd. Met doorgaande (golfgedreven) erosie resulteert dit in erosie (en opruimen) van het buitendelta front (Elias & Van der Spek, 2014). Daarbij verplaatst de uitstroom van de geul het Brouwershavense Gat landwaarts en verandert de geuloriëntatie richting het zuiden. Rond de geul vormt het sediment een ebschild. Tussen dit ebschild en de kust van Schouwen worden de ontwikkelingen gedomineerd door de verlenging van het Krabbengat (zie ook Paragraaf 2.4.2.) en de (ver)vorming van de Bollen van het Nieuwe Zand (het bankengebied liggend ten noorden voor het Krabbengat).

Taal et al. (2023) beschrijven het hedendaagse, grootschalige gedrag van de Oosterschelde buitendelta. Getijtransport brengt zand van de Oosterscheldemonding naar de Grevelingenmondning via het Krabbengat (Figuur 2-2). Dit zand wordt afgezet op de Bollen van het Nieuwe Zand voor de noordwestkust van Schouwen. Wellicht brengt de vloeddominante getijstrooming zand van de ondieptes van het bankencomplex de Banjaard naar de

Grevelingenmonding. Golven die breken op de ronde Kop van Schouwen verplaatsen zand in noordelijke en zuidelijke richting langs de kust waardoor suppleren hier noodzakelijk is. Golfgedreven transport langs de noordoever van Schouwen brengt zand naar het oosten waar het in de oksel van de Brouwersdam wordt afgezet. In de voormalige getijgeul Brouwershavense Gat bezinkt vooral slib.



Figuur 2-2. Grootschalig gedrag Oosterschelde buitendelta (op basis van Taal et al., 2023).

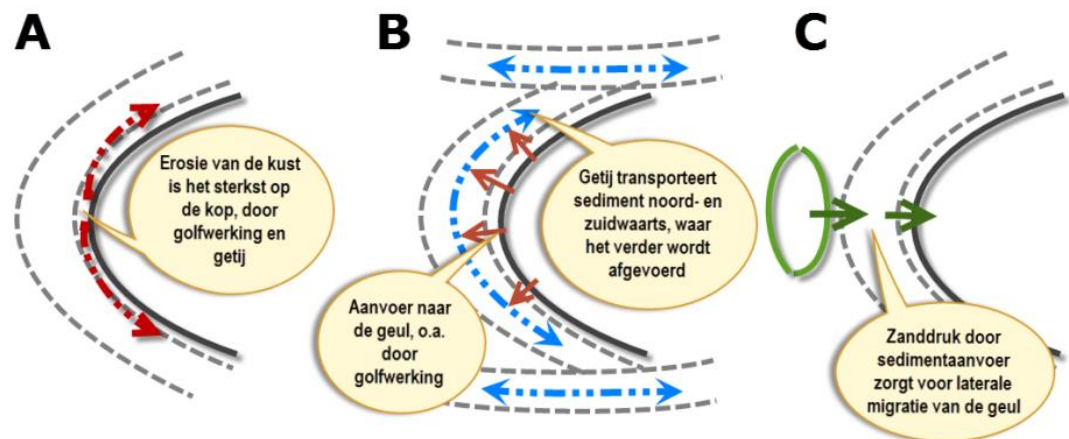
2.4.2 Morfologische processen rondom de Kop van Schouwen

Erosie langs de kust van Schouwen is een lang voortslepend probleem (Elias & Van der Spek, 2014). Elias & Vermaas (2014) concluderen dat “een kust met een oriëntatieverloop zoals die van de Kop van Schouwen, een zogenaamde “bolle” kust, onder invloed van invallende golven altijd zal eroderen”. Ze beschrijven drie processen die in het verleden hebben bijgedragen aan deze erosie (Figuur 2-3).

1. Erosie is het sterkst op het centrale deel en het zand wordt lateraal afgevoerd;
2. Dit effect wordt versterkt door de aanwezigheid van de geul het Krabbengat vóór de kust die de laterale transporten versterkt.
3. De netto kustwaartse golfgedreven stromingen op de ondiepte Banjaard zorgen ervoor dat de zeewaartse oever van de geul het Krabbengat uitbouwde in oostelijke, landwaartse richting. De rol van getijstrooming en windgedreven strooming in dit proces is nog niet duidelijk. Hierdoor wordt de geuldoorsnede kleiner, zullen de stroomsnelheden omhoog gaan en erodeert de geul zijn bodem en/of tegenoverliggende oever. Hierdoor werd de geul in zijn geheel in de richting van het eiland gedwongen. Dit proces wordt “zanddruk” genoemd.

Deze combinatie van factoren (golferosie en laterale verplaatsing van het Krabbengat) leidde tot een sterke erosie van de Kop van Schouwen, hetgeen aanleiding voor Rijkswaterstaat Zeeland was tot het besluit de geul uit de kust te verleggen. Deze verlegging, waarbij ca. 5 miljoen m³ zand is verplaatst, heeft in een aantal fasen plaats gevonden: in 1987, 1991 en tenslotte 1996. Hierbij is het op de zeewaartse zijde van de geul gewonnen zand in toenemende mate voor duin-, vooroever en strandsuppleties gebruikt. Door niet al het gewonnen zand op de tegenoverliggende geuloever aan te brengen is de geuldoorsnede ter plaatse van de winningsvakken vergroot. Hierdoor nam de erosie van met name het diepere deel van de onderwateroever van Schouwen af.

Tegelijkertijd werd de stormvloedkering in de Oosterschelde voltooid (1986) en begon de invloed van de afname van het getijdebiet van de Oosterschelde op de buitendelta merkbaar te worden. Een van de veranderingen was een afname van de min of meer radiale uitstroming van het ebdebiet, ten gunste van een toename van de meer noord-zuid gerichte stroming over de buitendelta. Dit heeft onder meer geleid tot structureel zandverlies op de Banjaard en aanpassing van de morfologie. De Banjaard is in zijn geheel dieper geworden en de noord-zuid gerichte hoofdgeulen Geul van de Banjaard en Krabbengat hebben zich verdiept. Ook is het Krabbengat langer geworden in noordelijke richting, waarbij de geul in vloedschild uitgebouwd heeft in de geul Brouwershavense Gat. De uitstroming van het Brouwershavense Gat heeft zich naar het zuiden verlegd, waarbij de geul een ebschild heeft opgebouwd op de Banjaard.



Figuur 2-3. Schematisch overzicht van de natuurlijke processen rondom de Kop van Schouwen (bron: Vermaas & Elias, 2014).

Het is aannemelijk dat deze erosie van het bankencomplex de Banjaard tot een afname van de zanddruk heeft geleid. Dit zou mogelijk ook de noordelijke uitbouw van het Krabbengat kunnen verklaren. Tegelijkertijd zou een diepere Banjaard tot minder golfdissipatie leiden. Dit zou betekenen dat er meer golferosie plaatsvindt op de Kop van Schouwen.

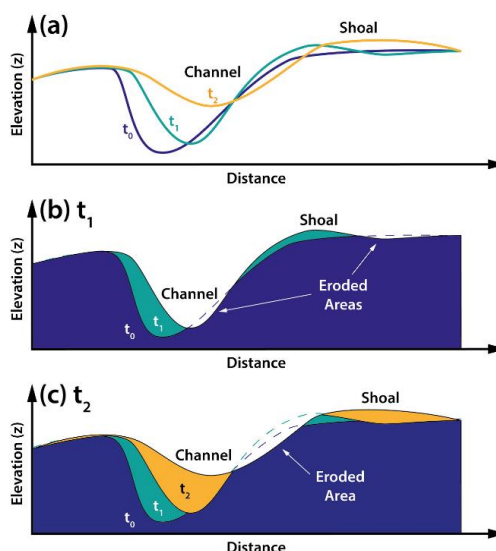
In de huidige studie worden deze ontwikkelingen verder gekwantificeerd middels het opstellen van een sedimentbalans om zo tot een beter begrip van het morfologisch systeem te komen.

3 Data en methode

De 'actieve volumebalans methode' vormt de basis van de analyses uitgevoerd binnen deze studie. De sedimentvolumes zijn daarvoor bepaald over verschillende tijd- en ruimteschalen, zodat de beschikbare bodemdata optimaal gebruikt wordt. De interactie van morfologische processen die over verschillende tijd- en ruimteschalen spelen maakt het soms moeilijk de morfologische ontwikkelingen goed te begrijpen en beschrijven. Daarom worden de sedimentvolumes in deze studie gekwantificeerd op afzonderlijke schaalniveaus. De grootste schaal is die van de gehele buitendelta en vooroever van de Oosterscheldemonding. Daarnaast zijn de sedimentvolumes op schaal van het bankencomplex de Banjaard gekwantificeerd. De kleinste schaal is die van de individuele elementen, zoals banken op de Banjaard-Landwaarts en de Kop van Schouwen.

3.1 Methodiek

Om de huidige morfologische veranderingen beter te begrijpen is een nieuwe methodiek toegepast: de actieve volumebalans (Pearson et al., 2022). De methode gebruikt het begrip actieve bodemlaag als basis. De actieve bodemlaag wordt bepaald aan de hand van de inactieve bodemligging: de grootste bodemdiepte in elk roosterpunt zoals waargenomen in de beschouwde periode (zie Figuur 3-1). Het sediment dat zich onder deze inactieve bodem bevindt is over de beschouwde periode niet veranderd en heeft dus niet deelgenomen aan de morfologische veranderingen (de inactieve bodemlaag). Alleen het deel van de bodem dat zich boven de inactieve bodemligging bevindt neemt deel aan de morfologische verandering (de actieve bodemlaag). De 'actieve sedimentvolume methode' wordt beschreven door Pearson et al. (2022) en is eerder toegepast voor de bepaling van de sedimentvolumes in de aanlandingsbanken van Schiermonnikoog (Elias, 2022a), Ameland (Elias et al., 2022), de Haringvlietmondning (Elias & Vermeer, 2023) en het Eierlandse Gat (Elias, 2022).



Figuur 3-1. Conceptuele weergave van de inactieve bodem en het actieve volume overgenomen uit Pearson et al (2022). Het donkerblauwe vlak geeft de inactieve bodem over de gehele tijdserie weer. De oranje en groene vlakken geven het actieve sedimentvolume weer.

In principe maakt het voor de berekening van volumeveranderingen niet uit of er een inactieve bodem of een ander vast referentie vlak gebruikt wordt. De volumeverandering blijft hierbij gelijk. De actieve volumebalans geeft echter aanvullende informatie. Zo kan o.a. een schatting gemaakt worden van de hoeveelheid zand die binnen het interessegebied verplaatst. Een voorwaarde hierbij is wel dat de metingen frequent genoeg zijn opgenomen om de morfologische enveloppe van het gebied goed op te lossen. Als dit niet het geval is dan worden de absolute volumes onderschat. Let ook op dat de inactieve bodem niet de totale hoeveelheid sediment in de bodem weergeeft. Bij een structureel eroderende kust is de inactieve bodem gelijk aan de huidige bodem en reduceert het actieve volume dus naar 0.

De gehanteerde methode wordt weergegeven in Figuur 3-2 en bestaat uit 5 stappen:

Stap 1 – Optimalisatie van de bodemdata

De Vaklodingen en jaarlijkse lodingen tussen 1960 en 2022 beschreven in paragraaf 3.2 zijn gebruikt als basis voor de bodemkaarten (Figuur 3-2A). Missende datapunten zijn daarbij zo veel mogelijk ingevuld door het gebruik van aanvullende datasets (bijv. JarKus of LiDAR) of door interpolatie. De totale tijdserie van alle kaarten en de tijdserie van de volledig gevulde kaarten zijn apart opgeslagen.

Stap 2 – Bepaling van de referentiebodem

Bij de bepaling van de inactieve bodem (Figuur 3-2B) is per rasterpunt van het bodembestand de laagst gemeten waarde beschouwd. Vervolgens is gekeken of er in alle jaren in de beschouwde periode een bodemwaarde aanwezig is. Als een waarde ontbreekt in één van de jaren is het punt niet meegenomen in de analyse.

Stap 3 – Afbakening van het studiegebied

Naast het elimineren van de missende datapunten moet ook een ruimtelijk begrenzing van het studiegebied worden vastgesteld (zoals weergegeven in Figuur 3-2D). Aan de zeezijde is de gemiddelde ligging van de -14 m NAP dieptecontour uit alle jaren gebruikt. De -14 m NAP contour is de diepst gelegen contour die nog te volgen is in alle metingen. De landwaartse grens van de actieve zone ligt op de top van de zeereep. De oostelijke en westelijke begrenzing is zodanig gekozen dat de buitendelta van de Oosterscheldemonding binnen het gebied ligt. Deze begrenzingen liggen vast voor alle uitgevoerde analyses.

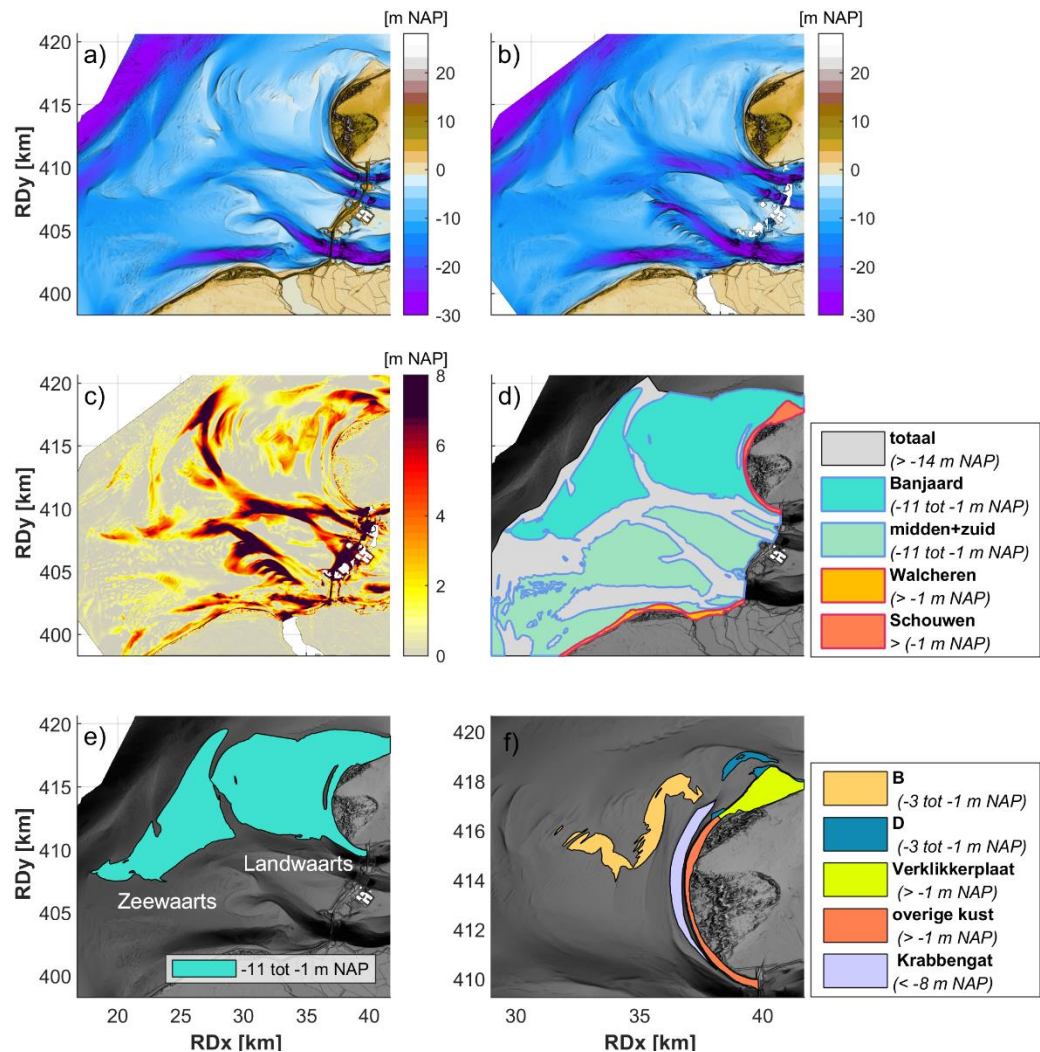
Stap 4 – Berekening dikte sedimentpakket

Voor iedere bodemkaart is het verschil tussen de gemeten bodem en de inactieve bodem berekend (Figuur 3-2C). Dit verschil representeert de dikte van de actieve sediment laag. Voor de verschillende deelpolygonen kan dan de sedimenthoeveelheid binnen de contour uitgerekend worden.

Stap 5 – Kwantificering van de volumes

Kwantificering van de volumes is gebaseerd op het maken van representatieve polygonen van de verschillende morfologische eenheden.

De indeling en afbakening van de morfologische eenheden is gebaseerd op contourlijnen. Op de grootste schaal is de -11 m NAP contourlijn gebruikt voor de afbakening voor het Banjaard platform en de platformen in het midden en zuiden van de monding (Figuur 3-2D). Deze contour is de diepste contour waarbij de Banjaard als platform te onderscheiden is. Daarom is deze contour ook gebruikt voor de analyse van de Banjaard-Landwaarts en Zeewaarts (Figuur 3-2E). De -1 m NAP contour, overeenkomend met de gemiddelde laagwaterlijn, is gebruikt voor de afbakening van de Zeeuwse eilanden Schouwen en Walcheren/Noord-Beveland. Kwantificering van individuele banken op de Banjaard-Landwaarts (Figuur 3-2F) is gebaseerd op de -3 en -1 m NAP contouren. Voor alle contouren geldt dat alleen de bankgebieden groter dan 2 km² (= 50 roosterpunten binnen het Vaklodingen rooster) individueel zijn gekwantificeerd.



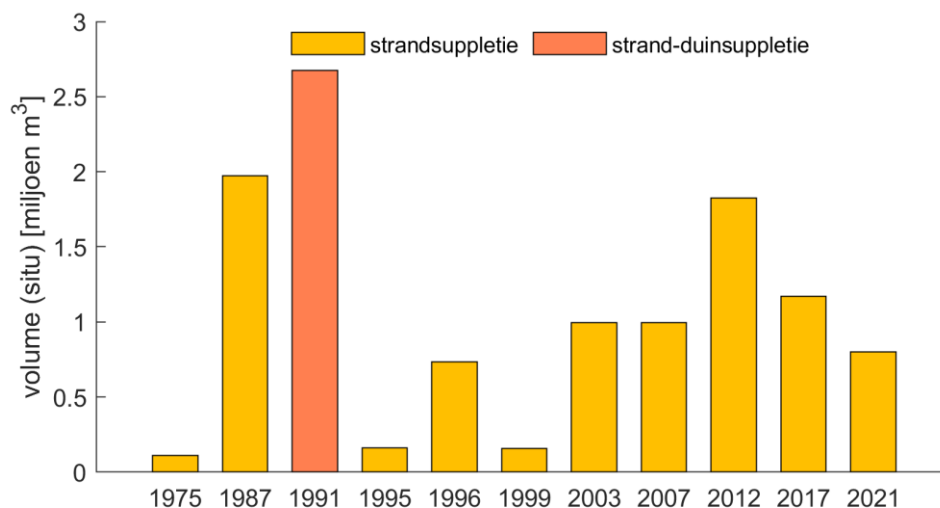
Figuur 3-2. Een overzicht van de methode ter berekening van de sedimentvolumes. (a) Gemeten bodemligging in 2022 (b) Inactieve bodemligging 1960-2022 (c) Berekende dikte van de sedimentlaag t.o.v. de inactieve bodemligging (2022-inactieve bodem) (d) Voorbeeld van deelpolygonen voor berekening van de volumes (2022) (e) Voorbeeld van de deelpolygonen van de Banjaard (2022) (f) Voorbeeld van de deelpolygonen voor de berekening van de volumes banken op de Banjaard-Landwaarts (B en D) en de Verklikkerplaat en de overige kust van Schouwen (2022).

3.2 Bodemmetingen

De analyse is uitgevoerd over de periode 1960 tot en met 2022. Een overzicht van de beschikbare, gebiedsdekkende bodemdata (beschikbaar gesteld door Rijkswaterstaat) is te vinden in Appendix A.

3.3 Suppleties

Er wordt sinds 1975 gesuppleerd voor de kust van Schouwen, waarvan vanaf 1990 frequent. Figuur 3-3 en Tabel 3-1 geven een compleet overzicht van alle uitgevoerde suppleties binnen het studiegebied (tussen raai 589 en 1800) met de gesuppleerde volumes. Vóór 1990 zijn strandsuppleties incidenteel uitgevoerd als maatregel om de kust en de duinen tegen erosie te beschermen. Vanaf 1990 zijn zandsuppleties de structurele beheermaatregel tegen verdere erosie van de kust, als onderdeel van het beleid sindsdien om de basiskustlijn dynamisch hand te haven.



Figuur 3-3. Suppletievolumes tussen 1975 en augustus 2023 in het kustvak Schouwen [13] per suppletietype: duinverzwareing, strandsuppletie en strand-duinsuppletie.

Tabel 3-1. Suppletieoverzicht Schouwen tussen raai 589-1800 (op basis van gegevens van Rijkswaterstaat t/m augustus 2023)

Locatie	Start	Einde	Begin raai	Eind raai	Lengte [m]	Type	Volume [10 ³ m ³]
Burgh en Westlandpolder	apr-1975	apr-1975	1700	1741	410	strandsuppletie	112
Kop van Schouwen	apr-1987	jun-1987	1320	1560	2400	strandsuppletie	1974
Westenschouwen	jul-1991	dec-1991	1184	1727	5430	strand-duinsuppletie	2673
Renesse	jan-1995	dec-1995	589	643	540	strandsuppletie	160
Kop van Schouwen	jan-1996	dec-1996	1158	1732	5740	strandsuppletie	733
Burgh- en Westlandpolder	jan-1999	dec-1999	1620	1720	1000	strandsuppletie	105
Noorderstrand	jan-1999	dec-1999	589	642	525	strandsuppletie	54
Westenschouwen-I	mrt-2003	jun-2003	1598	1728	1300	strandsuppletie	125
Westenschouwen-II	mrt-2003	jun-2003	994	1533	5390	strandsuppletie	870
West	jun-2007	jul-2007	1024	1742	7177	strandsuppletie	994
Schouwen Westkop	mrt-2012	sep-2012	1044	1719	6750	strandsuppletie	1825
Westkop noord	sep-2017	dec-2017	1044	1228	1840	strandsuppletie	370
Westkop zuid	sep-2017	dec-2017	1375	1719	3440	strandsuppletie	800
Strandopgang Schouwen zuidwest	aug-2021	nov-2021	1719	1742	230	strandsuppletie	40
Schouwen Westkop	sep-2021	nov-2021	1164	1548	3840	strandsuppletie	760
Totaal:							11595

4 Volumebalansen

In dit hoofdstuk worden de uitkomsten van de volumeberekeningen gepresenteerd voor de afzonderlijke schaalniveaus. Allereerst worden de sedimentvolumes op schaal van de gehele Oosterscheldemonding gekwantificeerd (paragraaf 4.1). Vervolgens wordt ingezoomd op schaal van het bankengebied de Banjaard (paragraaf 4.2). Tot slot worden de sedimentvolumes van de individuele elementen, zoals banken op de Banjaard-Landwaarts, de kustzone en de Verklipperplaat en het Krabbengat, gekwantificeerd (paragraaf 4.3).

4.1 Volumebalans van de Oosterscheldemonding

De grootschalige morfologie van de Oosterscheldemonding is in eerdere studies (bv. Cleveringa (2008), Elias et al. (2016) en Lazar et al. (2017)) uitgebreid beschreven (zie ook Hoofdstuk 2). Daarom zal dit in deze studie niet verder worden behandeld. Deze paragraaf zal zich focussen op de actieve sedimentvolumes. De Oosterscheldemonding is hiertoe onderverdeeld in vijf deelgebieden: de diepe vooroever (van -14 tot -11 m NAP), de 'natte' delen van de Banjaard en het midden en zuiden van de Oosterscheldemonding (van -11 tot -1 m NAP) en de Zeeuwse eilanden Schouwen, Walcheren en Noord-Beveland (Figuur 4-2 t/m Figuur 4-5). De bodemopnamen van de Oosterscheldemonding zijn te vinden in Appendix A.

4.1.1 Volumes per deelgebied

De totale volumes (tussen de -14 m NAP en de landwaartse grens van de actieve zone) namen tussen 1960 en 1980 met 89 miljoen m^3 toe (Figuur 4-1). Van den Berg (1984) en Eelkema (2013) geven aan dat er tussen 1965 en 1985 een toename van de sedimentexport optrad ten gevolge van de afsluitingen in het bekken (Volkerak) en van de Grevelingen (Grevelingendam). Deze dammen vergrootten het getijprisma en in combinatie met een sterke ebdominantie vergrootte dit de sedimentexport naar de buitendelta.

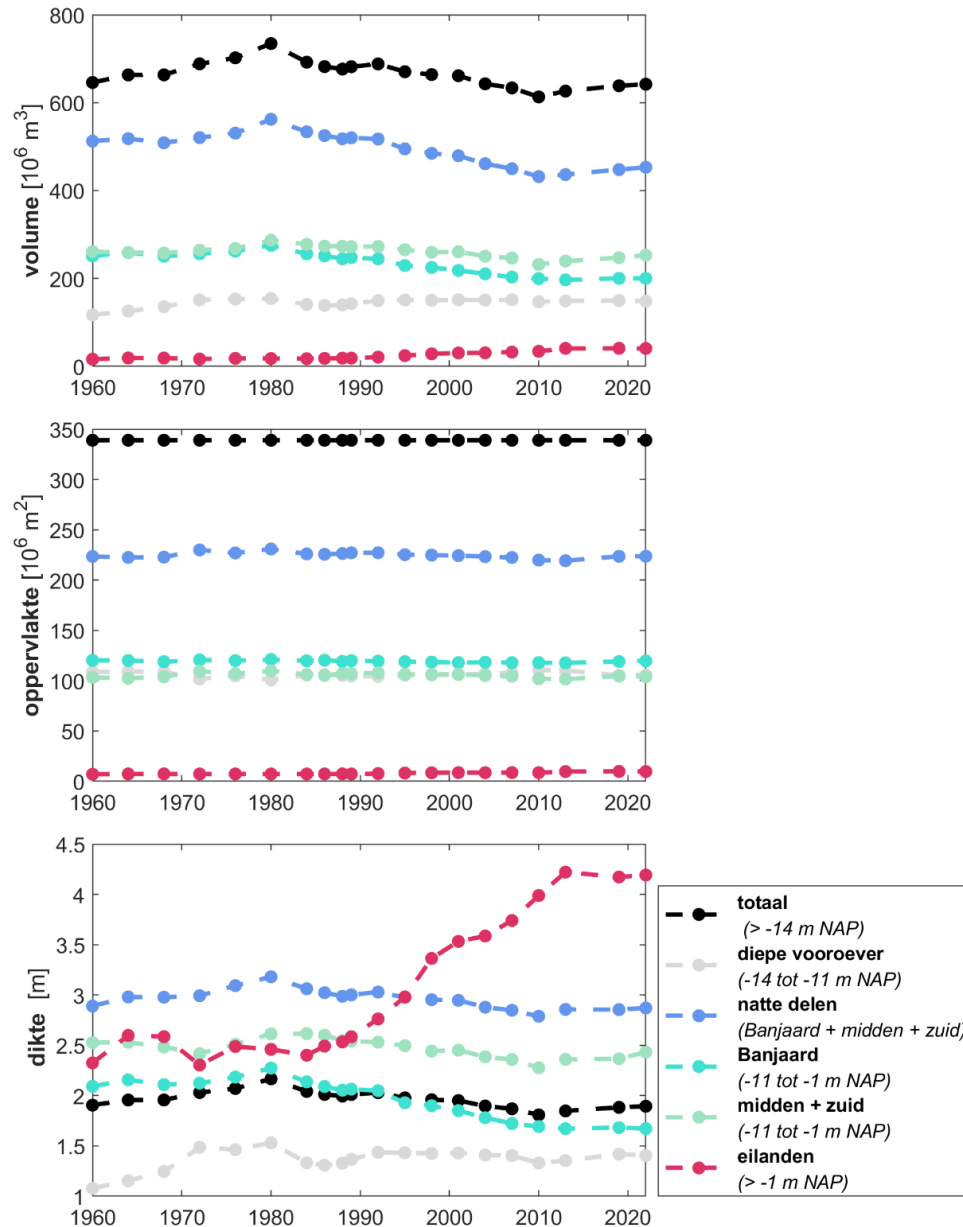
Tussen 1980 en 1984 nam het totale volume vervolgens met 42 miljoen m^3 af. Deze afname zat met name in het bankencomplex de Banjaard (19 miljoen m^3) en de diepe vooroever (13 miljoen m^3). De metingen uit 1980 zijn echter onbetrouwbaar, aangezien bij deze bathymetrie door Van den Berg (1986) een systematische fout was vastgesteld. Dit kan deze volumeafname mogelijk deels verklaren.

Vervolgens namen de volumes tussen 1992 en 2010 met 75 miljoen m^3 af. Deze volumeafname zat met name (86 miljoen m^3) in de diepteklasse tussen de -11 en -1 m NAP ('natte delen' in Figuur 4-1). Deze volumeafname hangt samen met de aanleg van de Oosterscheldekering en de compartimenteringsdammen: Door deze afname in getijstroming en het verdwijnen van de sedimenttoevoer vanuit het estuarium, begonnen golven de buitendelta te eroderen. Dit heeft onder meer geleid tot structureel zandverlies op de Banjaard. Het volume van de diepe vooroever bleef in deze periode daarentegen redelijk stabiel (ca. 150 miljoen m^3). De (voormalige) eilanden Schouwen en Walcheren (tussen de -1 m NAP en de landwaartse grens van de actieve zone) namen tussen 1992 en 2010 in volume toe: Schouwen met 4 miljoen m^3 en Walcheren met 9 miljoen m^3 . Mogelijk dat een deel van deze toename te verklaren is door de hier uitgevoerde suppleties. In dezelfde periode is er namelijk 3 miljoen m^3 gesuppleerd langs de kust van Schouwen.

Tussen 2010 en 2022 namen de totale volumes weer toe (29 miljoen m^3). Deze volumetoename kwam enerzijds doordat de erosie van de Banjaard afnam (Figuur 4-1), en anderzijds doordat met name het midden en zuiden van de monding in volume toenamen (28 miljoen m^3).

4.1.2 Dikte van de actieve sedimentlaag

De volumeontwikkelingen zijn niet te verklaren door veranderingen in oppervlakte van de deelgebieden (Figuur 4-1 – midden), maar met name door de toe- of afname in dikte van de actieve sedimentlaag (Figuur 4-1 – onder). De ontwikkeling van de dikte van de actieve sedimentlaag verschilt per deelgebied: tussen 1960 en 1980 nam de dikte overal toe (totale toename is 0,3 m). Tussen 1980 en 2010 nam de totale dikte vervolgens af (totale afname 0,4 m). Met name de Banjaard laat een sterke afname in dikte zien (0,6 m – 26%). De eilanden namen daarentegen sterk in dikte toe (1,5 m – 63%). Tussen 2010 en 2013 nam de dikte in vrijwel alle klassen toe, maar de laatste tien jaar is de dikte redelijk gelijk gebleven.



Figuur 4-1. Tijdsreeksen van het volume (boven), de oppervlakte (midden) en de dikte (onder) van de actieve sedimentlaag in de Oosterscheldemonding onderverdeeld in 5 deelgebieden (zie ook Figuur 4-2 tot Figuur 4-5): totaal (in de omhullende polygoon van -14 m NAP tot de landwaartse grens van de actieve zone), de 'diepe vooroever' tussen de -14 en de -11 m NAP, de 'natte' gebieden beneden -1 m NAP en deze gebieden onderverdeeld in het Banjaard platform en het midden en zuiden van de Oosterscheldemonding en de Zeeuwse eilanden Schouwen, Walcheren en Noord-Beveland (van -1 m NAP tot de landwaartse grens van de actieve zone).

Tabel 4-1. Actieve sedimentvolumes [10^6 m^3] voor de verschillende deelgebieden in de Oosterscheldemonding (zie Figuur 4-2 t/m Figuur 4-5).

	totaal	diepe vooroever	natte delen	Banjaard	midden+zuid	eilanden	
						Schouwen	Walcheren
1960	645.9	117.0	512.5	251.4	261.1	8.0	8.4
1964	663.2	125.9	518.2	258.9	259.3	8.1	11.0
1968	663.3	135.7	508.6	250.7	257.9	7.6	11.4
1972	688.3	151.1	520.5	256.2	264.3	8.1	8.7
1976	702	153.1	530.6	262.0	268.6	8.5	9.7
1980	734.5	154.3	562.3	275.3	287.0	8.5	9.4
1984	692.1	140.8	533.8	256.0	277.8	8.0	9.5
1986	682	138.7	525.2	251.5	273.7	8.3	9.9
1988	676.4	139.8	517.9	244.7	273.2	8.8	9.9
1989	681.8	142.8	520.1	247.7	272.5	9.2	9.7
1992	688.1	149.6	517.3	244.7	272.7	11.1	10.0
1995	670.4	151.1	494.8	229.4	265.4	11.5	13.0
1998	664	150.5	484.8	225.1	259.7	13.7	15.0
2001	661.3	151.5	479.2	218.3	260.9	13.1	17.4
2004	642.9	150.9	461.2	210.6	250.6	13.5	17.3
2007	633.6	151.4	449.7	203.3	246.4	13.3	19.3
2010	613	147.0	431.7	199.7	232.0	15.4	18.9
2013	626.3	148.9	436.5	196.8	239.7	20.6	20.3
2019	638.4	149.6	447.8	200.3	247.4	18.8	22.2
2022	642.1	148.3	453.0	200.2	252.8	18.2	22.5

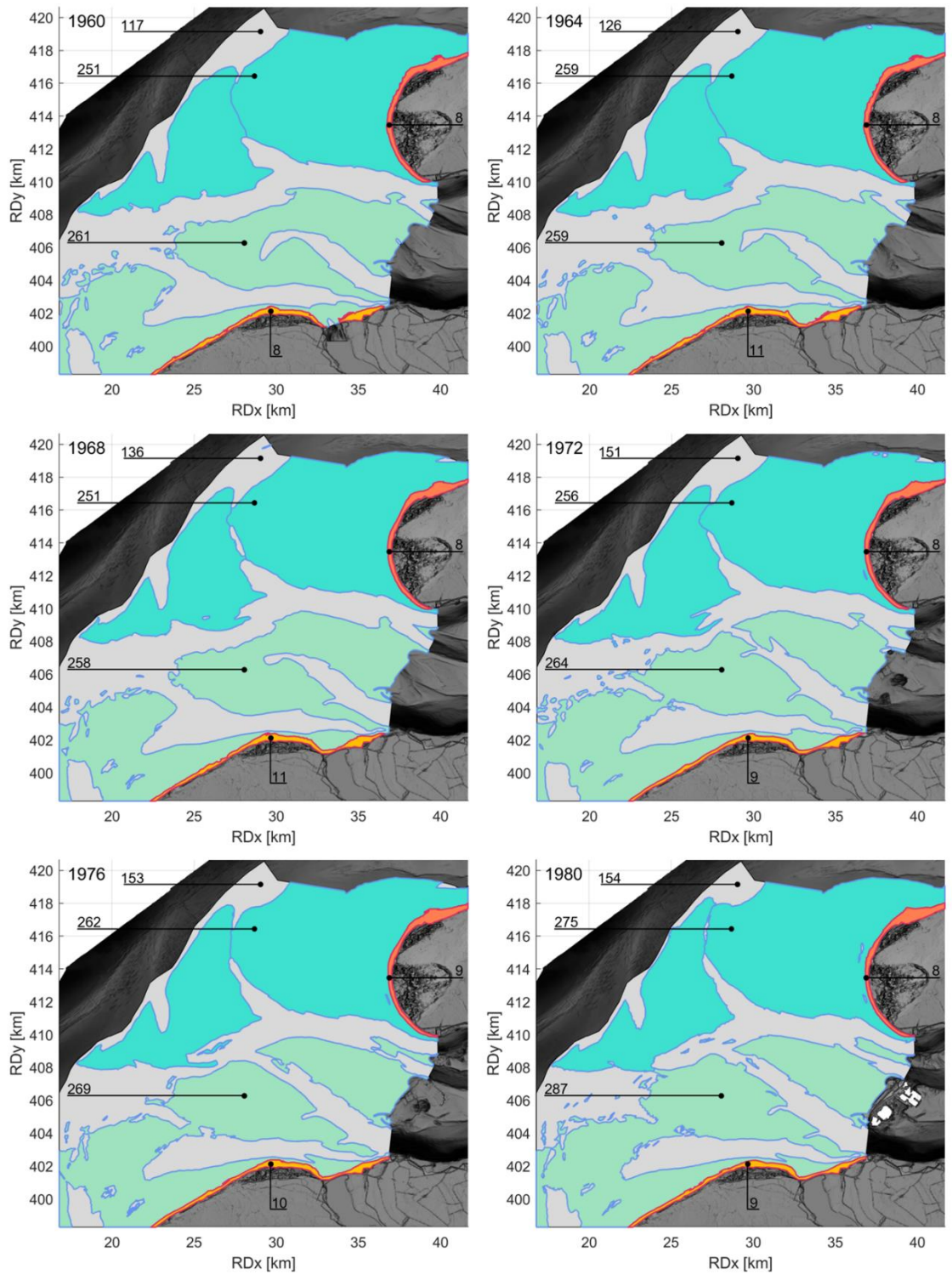
Tabel 4-2. Oppervlakte van de actieve sedimentlaag [10^6 m^2] van de verschillende deelgebieden in de Oosterscheldemonding (zie Figuur 4-2 t/m Figuur 4-5).

	totaal	diepe vooroever	natte delen	Banjaard	midden+zuid	eilanden	
						Schouwen	Walcheren
1960	339.0	108.5	223.5	120.1	103.3	3.4	3.6
1964	339.0	109.1	222.5	120.1	102.5	3.5	3.9
1968	339.0	108.9	222.7	118.9	103.9	3.5	3.8
1972	339.0	101.7	230.0	120.6	109.3	3.6	3.7
1976	339.0	104.7	227.0	120.0	107.0	3.7	3.6
1980	339.0	100.8	230.9	121.1	109.8	3.7	3.6
1984	339.0	105.7	226.0	119.8	106.2	3.7	3.6
1986	339.0	106.1	225.6	120.3	105.3	3.7	3.6
1988	339.0	105.2	226.4	119.2	107.2	3.8	3.6
1989	339.0	104.6	227.1	120.0	107.2	3.8	3.4
1992	339.0	104.2	227.2	119.4	107.7	4.1	3.6
1995	339.0	105.5	225.3	118.9	106.3	4.2	4.0

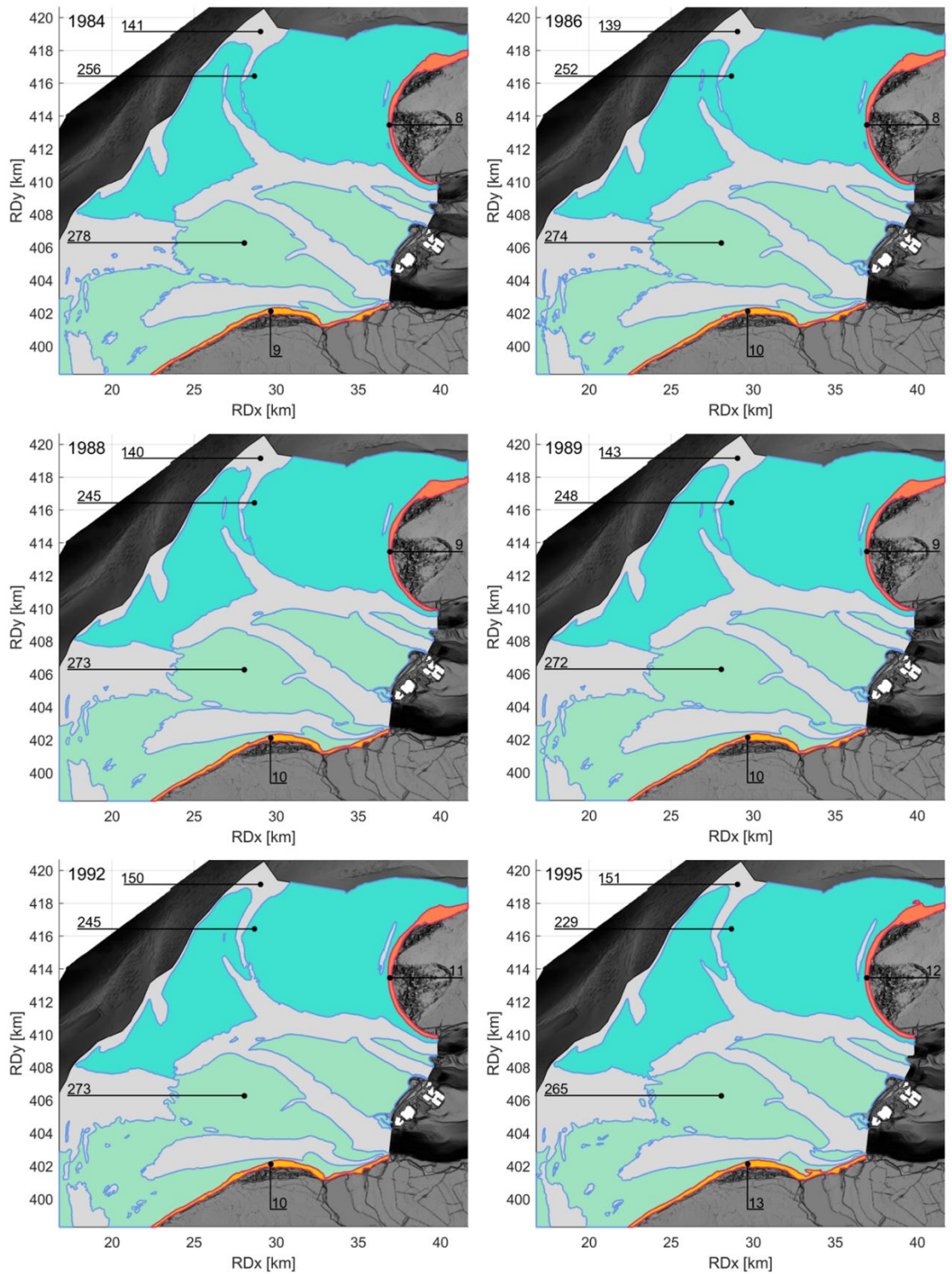
1998	339.0	105.6	224.8	118.5	106.3	4.4	4.2
2001	339.0	106.0	224.4	117.9	106.4	4.3	4.4
2004	339.0	107.1	223.3	118.3	105.0	4.3	4.3
2007	339.0	107.8	222.5	118.0	104.5	4.2	4.5
2010	339.0	110.5	219.8	117.9	101.9	4.4	4.2
2013	339.0	110.0	219.2	117.7	101.5	5.1	4.6
2019	339.0	105.5	223.6	119.1	104.5	5.0	4.8
2022	339.0	105.6	223.7	119.7	103.9	4.9	4.8

Tabel 4-3. Dikte van de actieve sedimentlaag [m] voor de verschillende deelgebieden in de Oosterscheldemonding (zie Figuur 4-2 t/m Figuur 4-5).

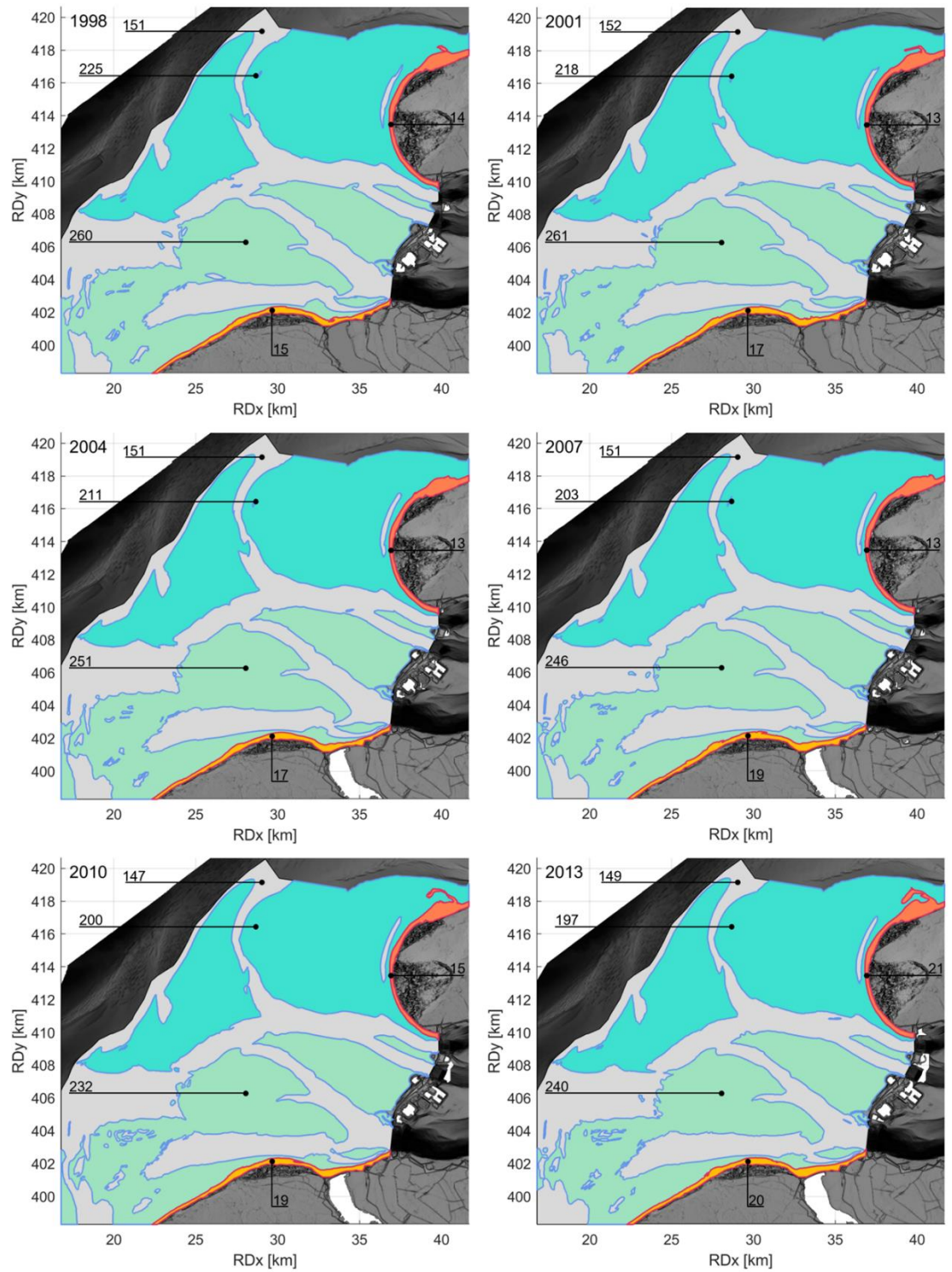
	totaal	diepe vooroever	natte delen	Banjaard	midden+zuid	eilanden	
						Schouwen	Walcheren
1960	1.9	1.1	2.3	2.1	2.5	2.3	2.3
1964	2.0	1.2	2.3	2.2	2.5	2.3	2.8
1968	2.0	1.2	2.3	2.1	2.5	2.2	3.0
1972	2.0	1.5	2.3	2.1	2.4	2.3	2.4
1976	2.1	1.5	2.3	2.2	2.5	2.3	2.7
1980	2.2	1.5	2.4	2.3	2.6	2.3	2.6
1984	2.0	1.3	2.4	2.1	2.6	2.2	2.7
1986	2.0	1.3	2.3	2.1	2.6	2.3	2.7
1988	2.0	1.3	2.3	2.1	2.5	2.3	2.8
1989	2.0	1.4	2.3	2.1	2.5	2.4	2.8
1992	2.0	1.4	2.3	2.0	2.5	2.7	2.8
1995	2.0	1.4	2.2	1.9	2.5	2.8	3.2
1998	2.0	1.4	2.2	1.9	2.4	3.1	3.6
2001	2.0	1.4	2.1	1.9	2.5	3.1	4.0
2004	1.9	1.4	2.1	1.8	2.4	3.2	4.0
2007	1.9	1.4	2.0	1.7	2.4	3.2	4.3
2010	1.8	1.3	2.0	1.7	2.3	3.5	4.5
2013	1.8	1.4	2.0	1.7	2.4	4.1	4.4
2019	1.9	1.4	2.0	1.7	2.4	3.7	4.6
2022	1.9	1.4	2.0	1.7	2.4	3.7	4.7



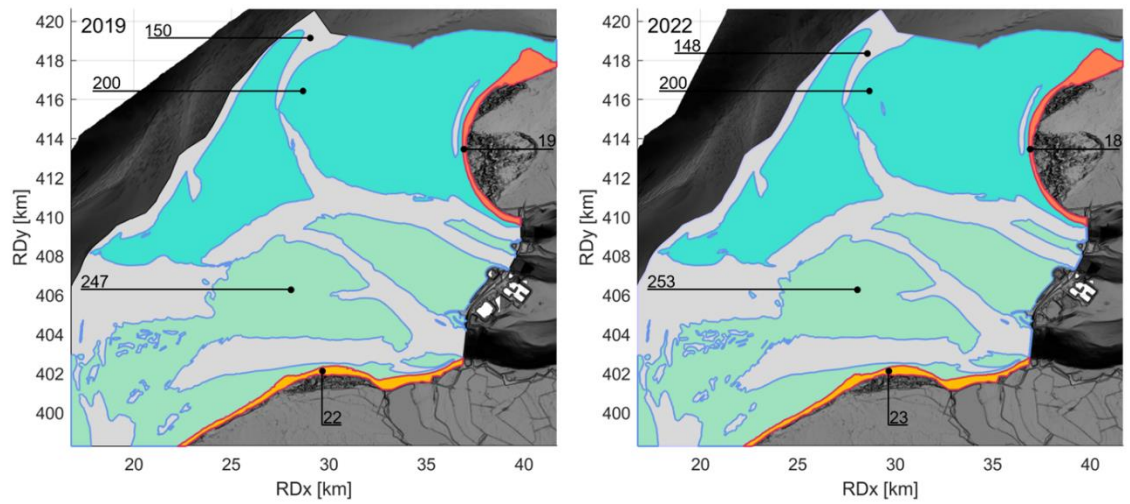
Figuur 4-2. Overzichtfiguren voor 1960-1980 van de 5 deelgebieden in de Oosterscheldedemonding en corresponderende actieve sedimentvolumes: de diepe vooroever van -14 tot -11 m NAP (grijs), de Banjaard van -11 tot -1 m NAP (turkoois), de Oosterscheldedemonding midden + zuid van -11 tot -1 m NAP (groen), de eilanden boven de -1 m NAP (Walcheren/Noord-Beveland in oranje en Schouwen in rood).



Figuur 4-3. Overzichtsfiguren voor 1984-1995 van de 5 deelgebieden in de Oosterscheldedemoning en corresponderende actieve sedimentvolumes: de diepe vooroever van -14 tot -11 m NAP (grijs), de Banjaard van -11 tot -1 m NAP (turkoois), de Oosterscheldedemoning midden + zuid van -11 tot -1 m NAP (groen), de eilanden boven de -1 m NAP (Walcheren/Noord-Beveland in oranje en Schouwen in rood).



Figuur 4-4. Overzichtsfiguren voor 1998-2013 van de 5 deelgebieden in de Oosterscheldedemonding en corresponderende actieve sedimentvolumes: de diepe vooroever van -14 tot -11 m NAP (grijs), de Banjaard van -11 tot -1 m NAP (turkoois), de Oosterscheldedemonding midden + zuid van -11 tot -1 m NAP (groen), de eilanden boven de -1 m NAP (Walcheren/Noord-Beveland in oranje en Schouwen in rood).



Figuur 4-5. Overzichtsfiguren voor 2019-2022 van de 5 deelgebieden in de Oosterscheldedemonding en corresponderende actieve sedimentvolumes: de diepe vooroever van -14 tot -11 m NAP (grijs), de Banjaard van -11 tot -1 m NAP (turkoois), de Oosterscheldedemonding midden + zuid van -11 tot -1 m NAP (groen), de eilanden boven de -1 m NAP (Walcheren/Noord-Beveland in oranje en Schouwen in rood).

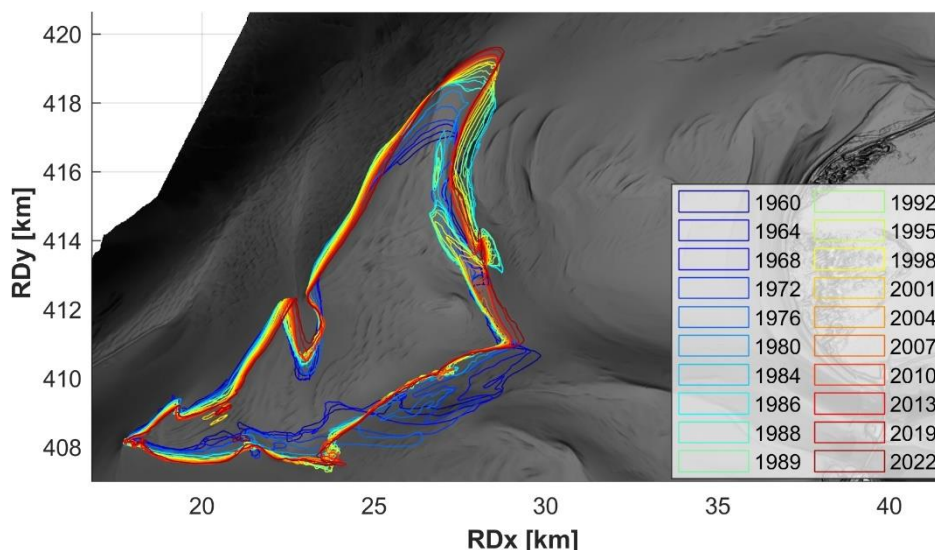
4.2 Volumebalans van de Banjaard

Hierboven is de grootschalige volumebalans van de Oosterscheldemonding gepresenteerd. Voor de Kop van Schouwen is het voorliggende bankengebied de Banjaard van belang. Daarom bestudeert de huidige paragraaf de volumeontwikkeling van de Banjaard in meer detail. De Banjaard is in deze studie gedefinieerd als het gebied binnen de -11 m NAP contour in het noordelijk deel van de Oosterscheldemonding (zie ook Figuur 4-2 t/m Figuur 4-5). Het bankengebied de Banjaard bestaat uit een zeewaarts en een landwaarts deel, en hun ontwikkeling wordt hieronder beschreven in respectievelijk paragraaf 4.2.1 en paragraaf 4.2.2.

4.2.1 Banjaard-Zeewaarts

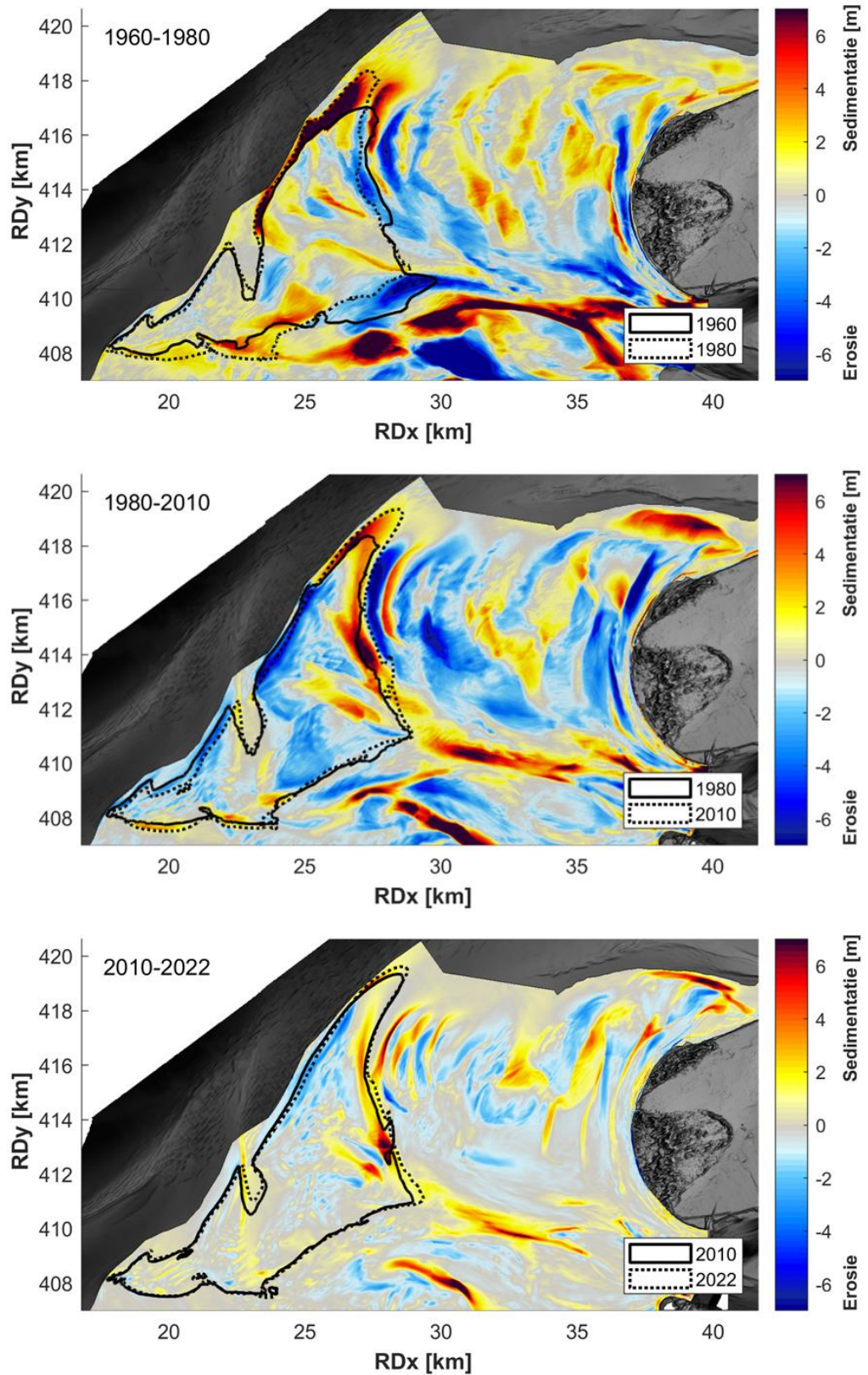
Figuur 4-6 laat de ontwikkeling van de Banjaard-Zeewaarts (gedefinieerd als de -11 m NAP contour) zien tussen 1960 en 2022. Zie Figuur 4-9 en Figuur 4-10 voor de bathymetrische opnames op basis van de vaklodingen, met daarop de polygoon van de Banjaard-Zeewaarts en het op dat moment bijbehorende volume weergegeven.

In de periode tussen 1960 en 2022 is de Banjaard-Zeewaarts uitgerekend en is de oriëntatie veranderd van west-oost naar meer zuidwest-noordoost. De zuidoostelijke rand is tussen 1960 en 1980 naar het noorden verschoven en is sindsdien min of meer stabiel. Over de hele periode 1960-2022 is het zuidwestelijke deel van de Banjaard-Zeewaarts verder naar het zuiden gemigreerd. Het noordoostelijke deel van de Banjaard-Zeewaarts is daarentegen juist naar het noordoosten gemigreerd.



Figuur 4-6. Ontwikkeling van de -11 m NAP contour van de Banjaard-Zeewaarts tussen 1960-2022 weergegeven op de 2022-Vaklodingen.

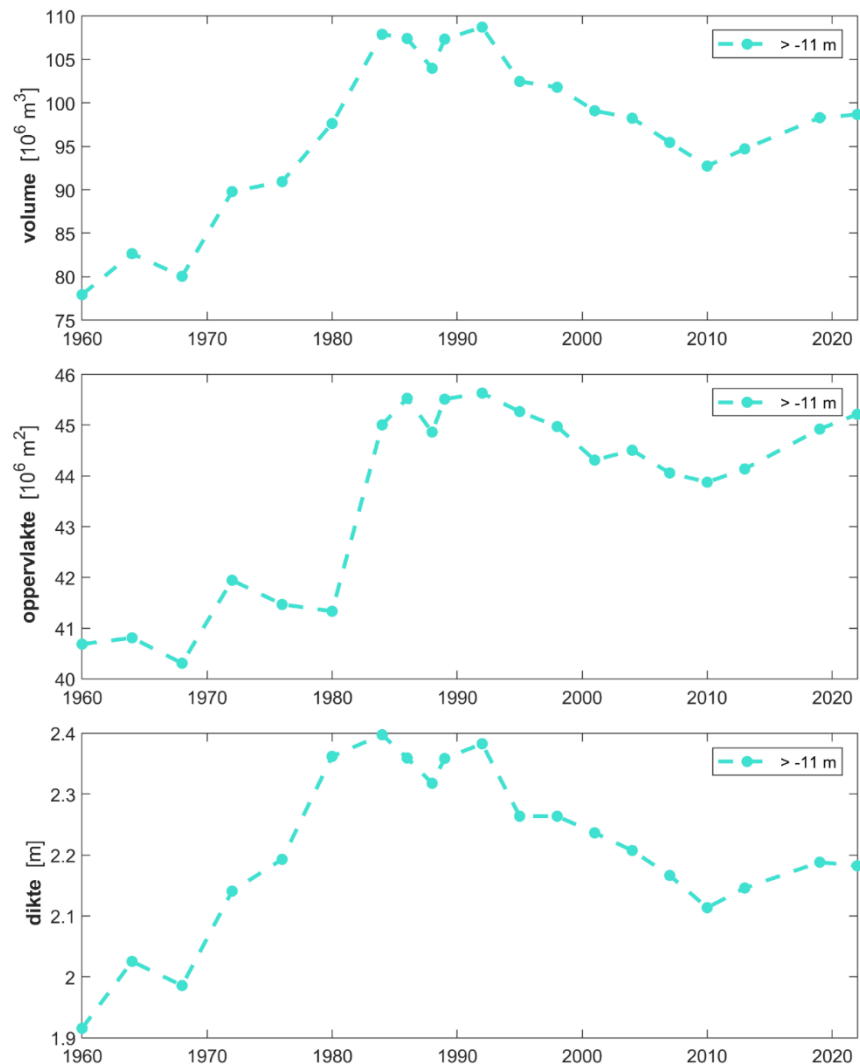
In paragraaf 4.1 staat beschreven dat de totale volumes in de Oosterscheldemonding in de periode 1960-1980 toenamen. Deze toename kwam vooral door aanzanding in het Westgat en sedimentatie op het zeewaartse deel van de Banjaard (Banjaard-Zeewaarts) (Figuur 4-7). De Banjaard-Zeewaarts nam in deze periode met 19,7 miljoen m³ toe (Tabel 4-4 en Figuur 4-8). De Banjaard-Landwaarts nam daarentegen 'slechts' met 4 miljoen m³ toe (zie ook paragraaf 4.2.2). Van den Berg (1984) en Eelkema (2013) geven aan dat er tussen 1965 en 1985 een toename van de sedimentexport optrad ten gevolge van de afsluitingen in het bekken (Volkerak) en van de Grevelingen (Grevelingendam). Deze dammen vergrootten het getijprisma in de Oosterschelde en in combinatie met een sterke ebdominantie vergrootte dit de sedimentexport naar de buitendelta. Het is niet geheel duidelijk of bovenstaande constatering een volledige verklaring geeft voor de opgetreden veranderingen.



Figuur 4-7. Overzicht van de morfologische veranderingen van de Banjaard-Zeewaarts 1960-1980, 1980-2010 en 2010-2022.

Het meest zeewaartse deel van de Banjaard-Landwaarts migreerde tussen 1960 en 1980 zeewaarts en dit volume valt sinds 1984 onder de Banjaard-Zeewaarts. Dit is terug te zien als een volumetoename van 11% tussen 1980 en 1984 (Figuur 4-8).

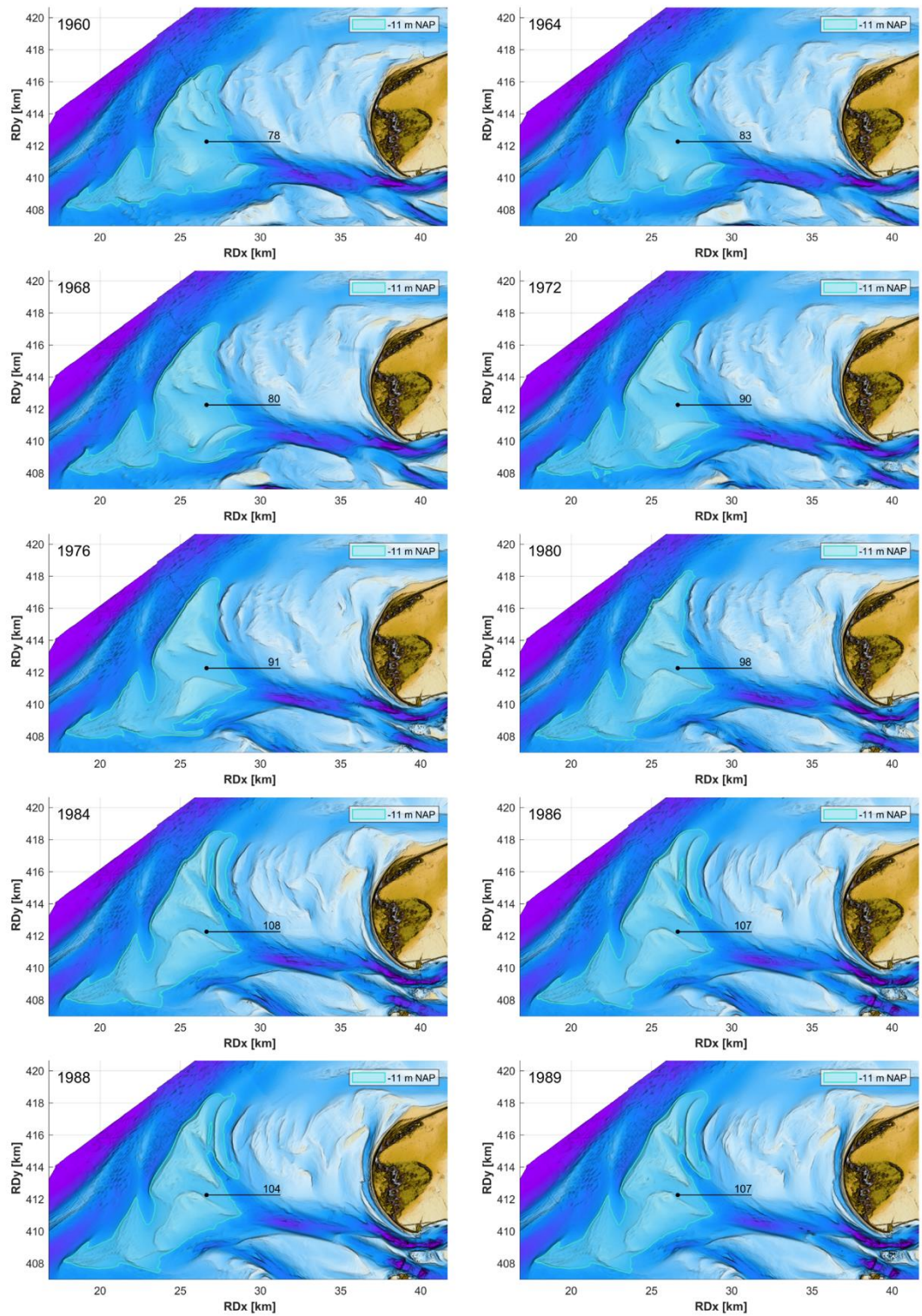
Door de aanleg van de Oosterscheldekering was er een volumeafname van de Banjaard-Zeewaarts van 15 miljoen m³ tussen 1984 en 2010. Tussen 2010 en 2022 namen de volumes, in tegenstelling tot de voorgaande periode, toe; in totaal met 6 miljoen m³. Deze volumetoename treedt vooral op in de oostelijke flank; de geul van de Banjaard sedimenteert. Naast dat het volume sinds 2010 weer toeneemt, laten de vaklodingen zien dat er een ondiep bankengebied van de Banjaard-Landwaarts zeewaarts migreert. Het is mogelijk dat dit gebied in de komende jaren voor een toename in volume van de Banjaard-Zeewaarts zal zorgen.



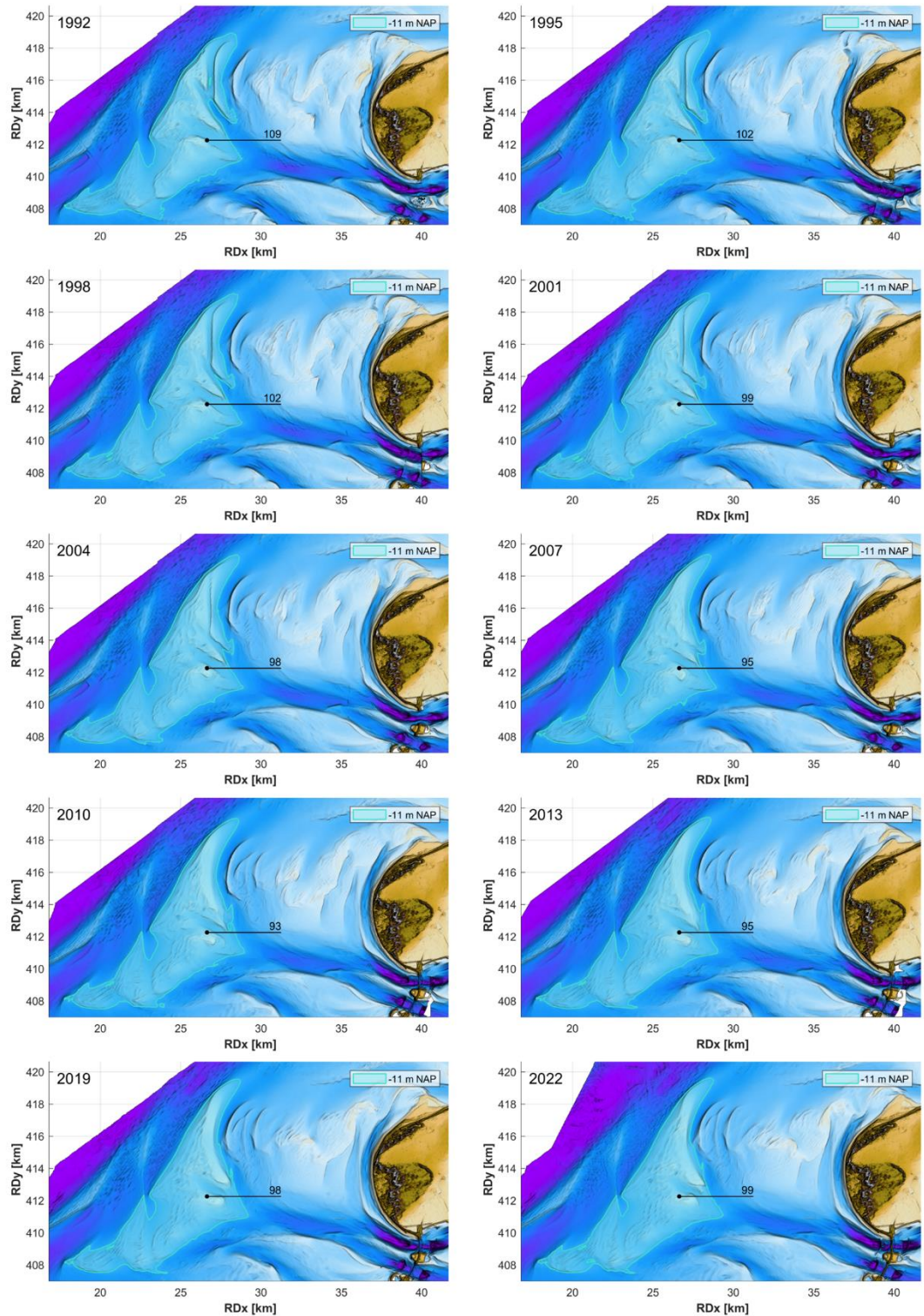
Figuur 4-8. Ontwikkeling van het volume (boven), de oppervlakte (midden) en de dikte (onder) van het actieve sediment van de Banjaard-Zeewaarts (gedefinieerd als de -11 m NAP contour) tussen 1960 en 2022.

Tabel 4-4. Volume, oppervlakte en dikte van het actieve sediment boven de -11 m NAP contour van de Banjaard-Zeewaarts.

	volume [10^6 m^3]	oppervlakte [10^6 m^2]	dikte [m]
1960	77.9	40.7	1.9
1964	82.7	40.8	2.0
1968	80.0	40.3	2.0
1972	89.8	41.9	2.1
1976	90.9	41.5	2.2
1980	97.6	41.3	2.4
1984	107.9	45.0	2.4
1986	107.4	45.5	2.4
1988	104.0	44.9	2.3
1989	107.3	45.5	2.4
1992	108.7	45.6	2.4
1995	102.5	45.3	2.3
1998	101.8	45.0	2.3
2001	99.1	44.3	2.2
2004	98.2	44.5	2.2
2007	95.5	44.1	2.2
2010	92.7	43.9	2.1
2013	94.7	44.1	2.1
2019	98.3	44.9	2.2
2022	98.7	45.2	2.2



Figuur 4-9. Overzichtfiguren voor 1960-1989 van de Banjaard-Zeewaarts (>-11 m NAP).

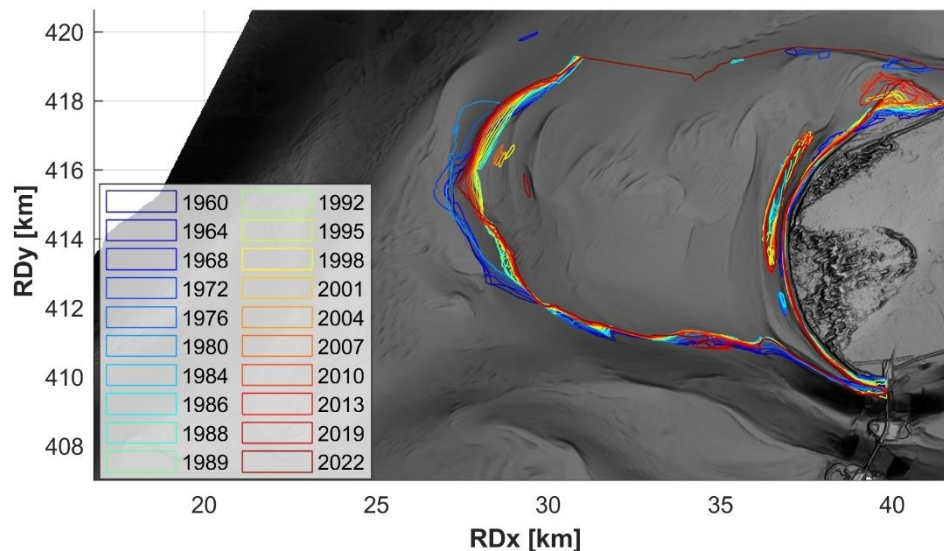


Figuur 4-10. Overzichtfiguren voor 1992-2022 van de Banjaard-Zeewaarts (>-11 m NAP).

4.2.2

Banjaard-Landwaarts

Figuur 4-11 laat de ontwikkeling van de Banjaard-Landwaarts (gedefinieerd als het gebied tussen de -11 en -1 m NAP contour) zien tussen 1960 en 2022 (zie Figuur 4-14 en Figuur 4-15 voor de vaklodingen met daarop de polygoon van de Banjaard-Landwaarts en het bijbehorende volume weergegeven).

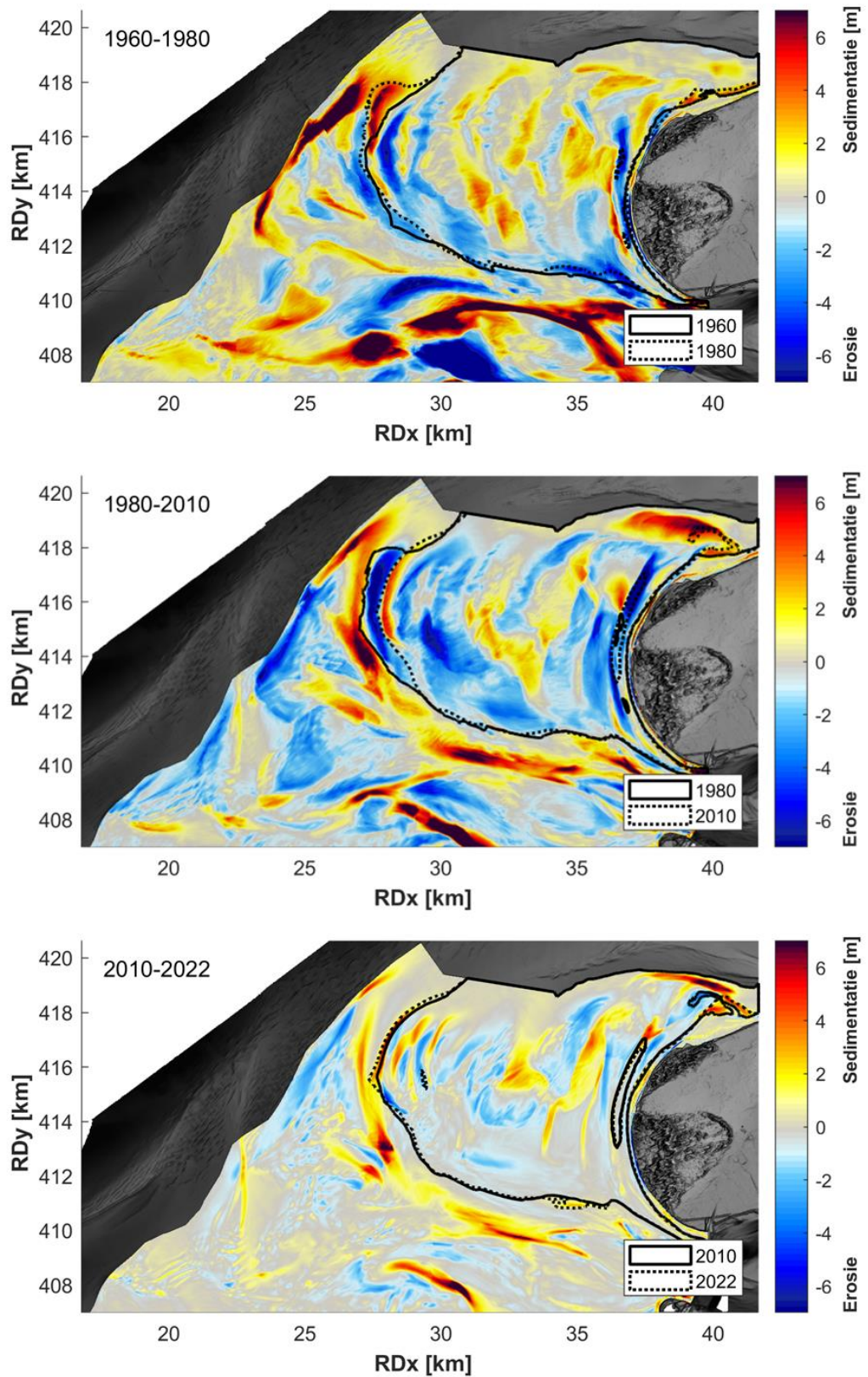


Figuur 4-11. Ontwikkeling van de -11 m NAP contour van de Banjaard-Landwaarts tussen 1960-2022 weergegeven op de 2022-Vaklodingen. De contouren hebben een vaste begrenzing in het noorden, overeenkomend met de zuidelijke oever van de geul Brouwershavense gat.

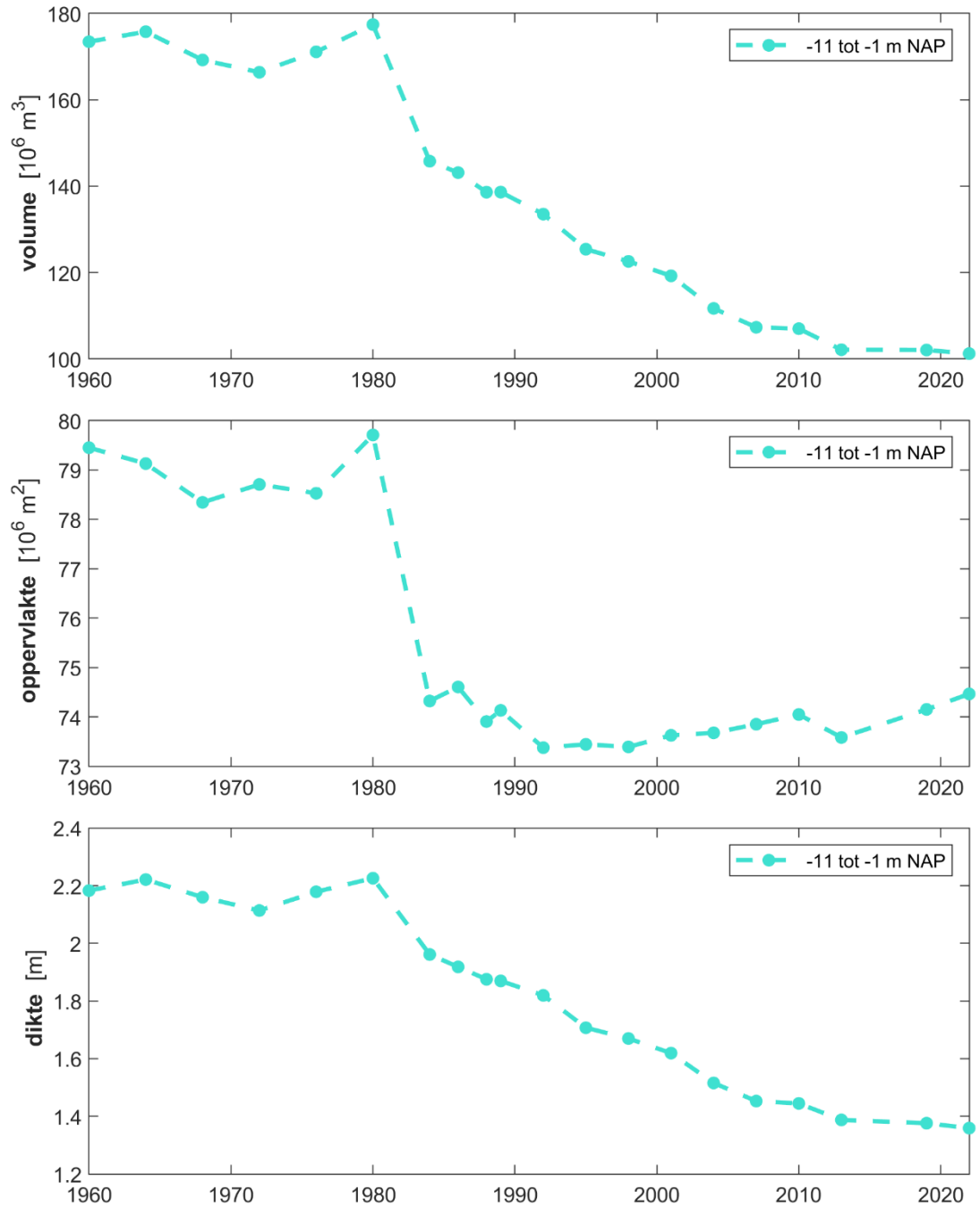
Gedurende de periode 1960-1980 vond er erosie van de geul van de Banjaard plaats en aanzanding noordwaarts en westwaarts hiervan (Figuur 4-7). In 1960 was er eigenlijk maar één duidelijke geul van de Banjaard te onderscheiden (Figuur 4-14). In de periode 1960-1980 vonden er significante veranderingen plaats. In 1980 waren er twee duidelijke, minder brede, maar diepere geulen te onderscheiden, gescheiden door een zandrug. Daarnaast was er landwaarts van deze geul op de Banjaard-Landwaarts een afwisseling te zien van gebieden met sedimentatie en erosie. Netto vond hierdoor in deze periode (1960-1980) 4 miljoen m³ sedimentatie plaats op de Banjaard-Landwaarts. In 1984 viel de zandrug niet meer binnen de Banjaard-Landwaarts polygoon (maar binnen de Banjaard-Zeewaarts, zie ook paragraaf 4.2.1). Dit verklaart de volumeafname van 18% tussen 1980 en 1984 (Figuur 4-13).

Na de aanleg van de Oosterscheldekering vond er tussen 1984 en 2010 netto 38,8 miljoen m³ erosie plaats van de Banjaard-Landwaarts. Dit structurele zandverlies van de Banjaard hangt samen met de aanleg van de kering: door de aanwezigheid van de kering was er een afname van de min of meer radiale uitstroming van het ebdebiet, ten gunste van een toename van de meer noord-zuid gerichte stroming over de buitendelta. Hierdoor is de Banjaard dieper geworden (zie ook Figuur 4-13) en hebben de noord-zuid gerichte hoofdgeulen geul van de Banjaard en Krabbengat zich verdiept (zie Figuur 4-7). Ook is het Krabbengat langer geworden in noordelijke richting (zie paragraaf 4.3.3), waarbij de geul een vloed Schild uitgebouwd heeft in de geul Brouwershavense Gat. De uitstroming van het Brouwershavense Gat heeft zich naar het zuiden verlegd, waarbij de geul een ebschild heeft opgebouwd op de Banjaard.

Tussen 2010 en 2022 was er op het bankengebied van de Banjaard een landwaartse verplaatsing van de banken en geulen te zien (Figuur 4-7). Dit resulteerde in elkaar afwisselende gebieden van sedimentatie en erosie. Netto vond er tussen 2010 en 2022 5,8 miljoen m³ erosie plaats van de Banjaard-Landwaarts. Deze erosie hangt mogelijk samen met de zuidwaartse verlegging van het Brouwershavense Gat. Deze banken op de Banjaard worden in paragraaf 4.3.1 in meer detail bestudeerd.



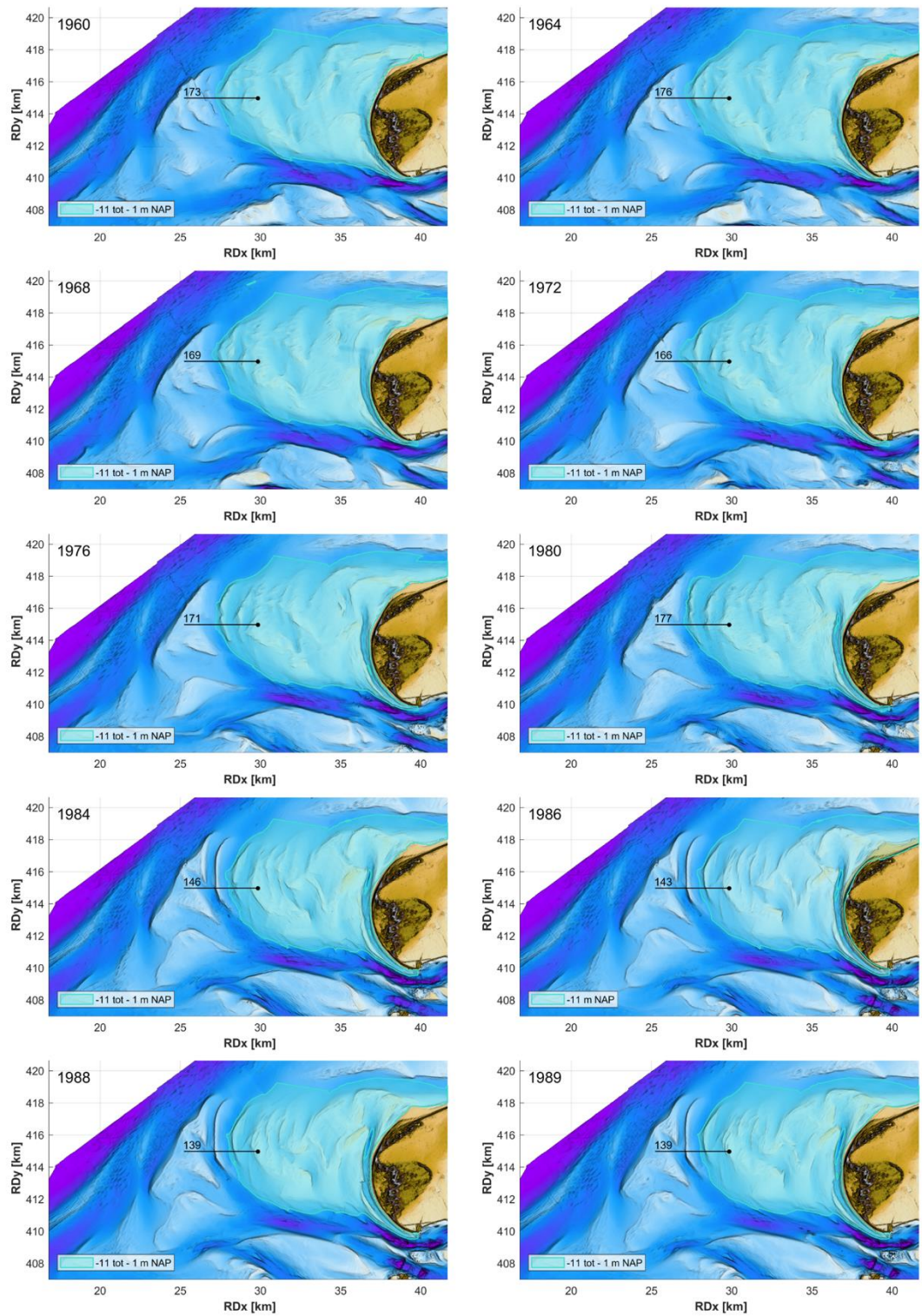
Figuur 4-12. Overzicht van de morfologische veranderingen van de Banjaard-Landwaarts 1960-1980, 1980-2010 en 2010-2022.



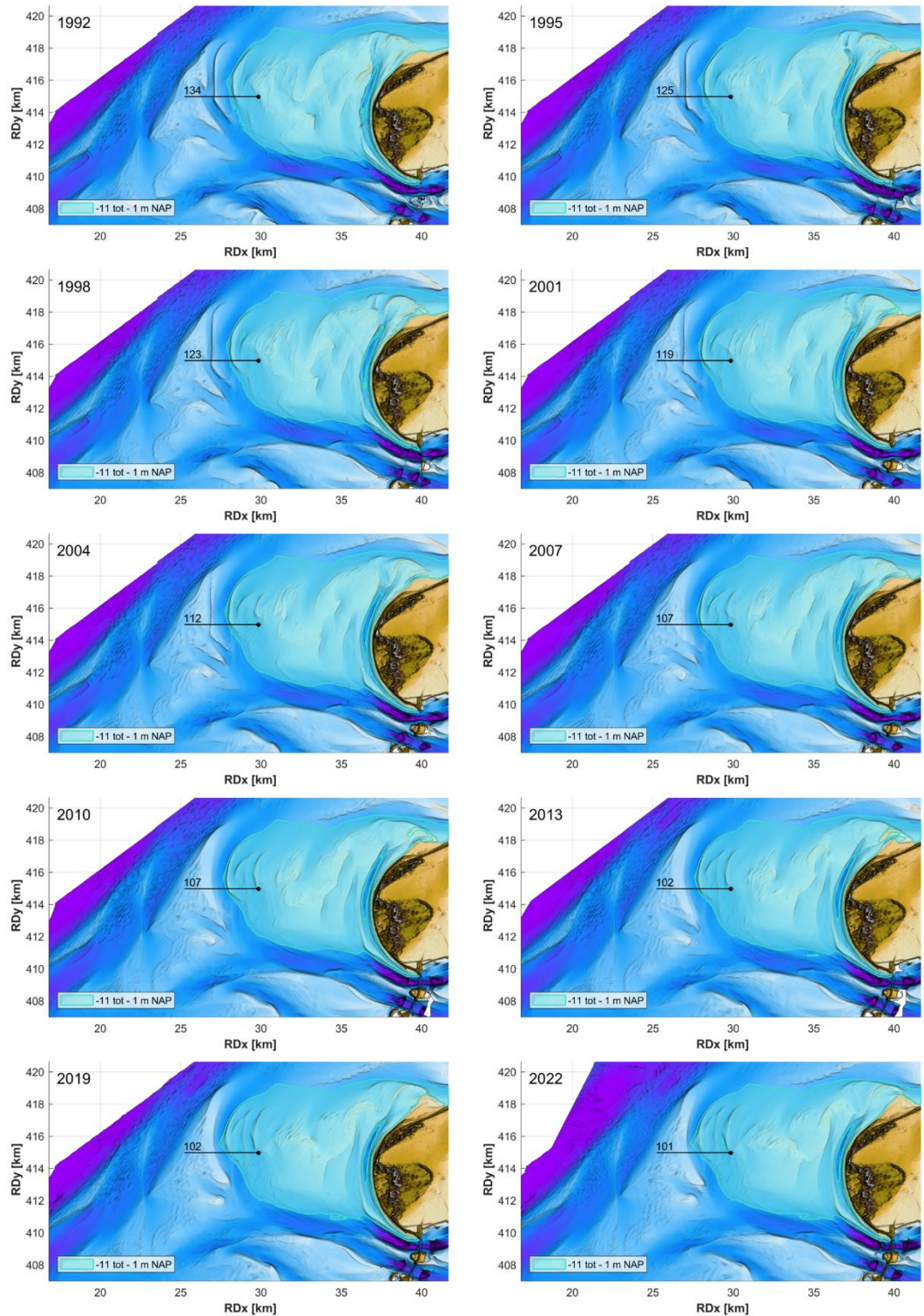
Figuur 4-13. Ontwikkeling van het volume (boven), de oppervlakte (midden) en de dikte (onder) van het actieve sediment van de Banjaard-Landwaarts (gedefinieerd als het gebied tussen de -11 en -1 m NAP contour) tussen 1960 en 2022.

Tabel 4-5. Volume, oppervlakte en dikte van het actieve sediment tussen de -11 en -1 m NAP contour van de Banjaard-Landwaarts.

	volume [10^6 m^3]	oppervlakte [10^6 m^2]	dikte [m]
1960	173.4	79.4	2.2
1964	175.8	79.1	2.2
1968	169.2	78.3	2.2
1972	166.4	78.7	2.1
1976	171.1	78.5	2.2
1980	177.4	79.7	2.2
1984	145.8	74.3	2.0
1986	143.1	74.6	1.9
1988	138.6	73.9	1.9
1989	138.6	74.1	1.9
1992	133.5	73.4	1.8
1995	125.4	73.4	1.7
1998	122.6	73.4	1.7
2001	119.2	73.6	1.6
2004	111.7	73.7	1.5
2007	107.3	73.9	1.5
2010	107.0	74.1	1.4
2013	102.1	73.6	1.4
2019	102.0	74.2	1.4
2022	101.2	74.5	1.4



Figur 4-14. Overzichtsfiguren voor 1960-1989 van de Banjaard-Landwaarts (-11 tot -1 m NAP).



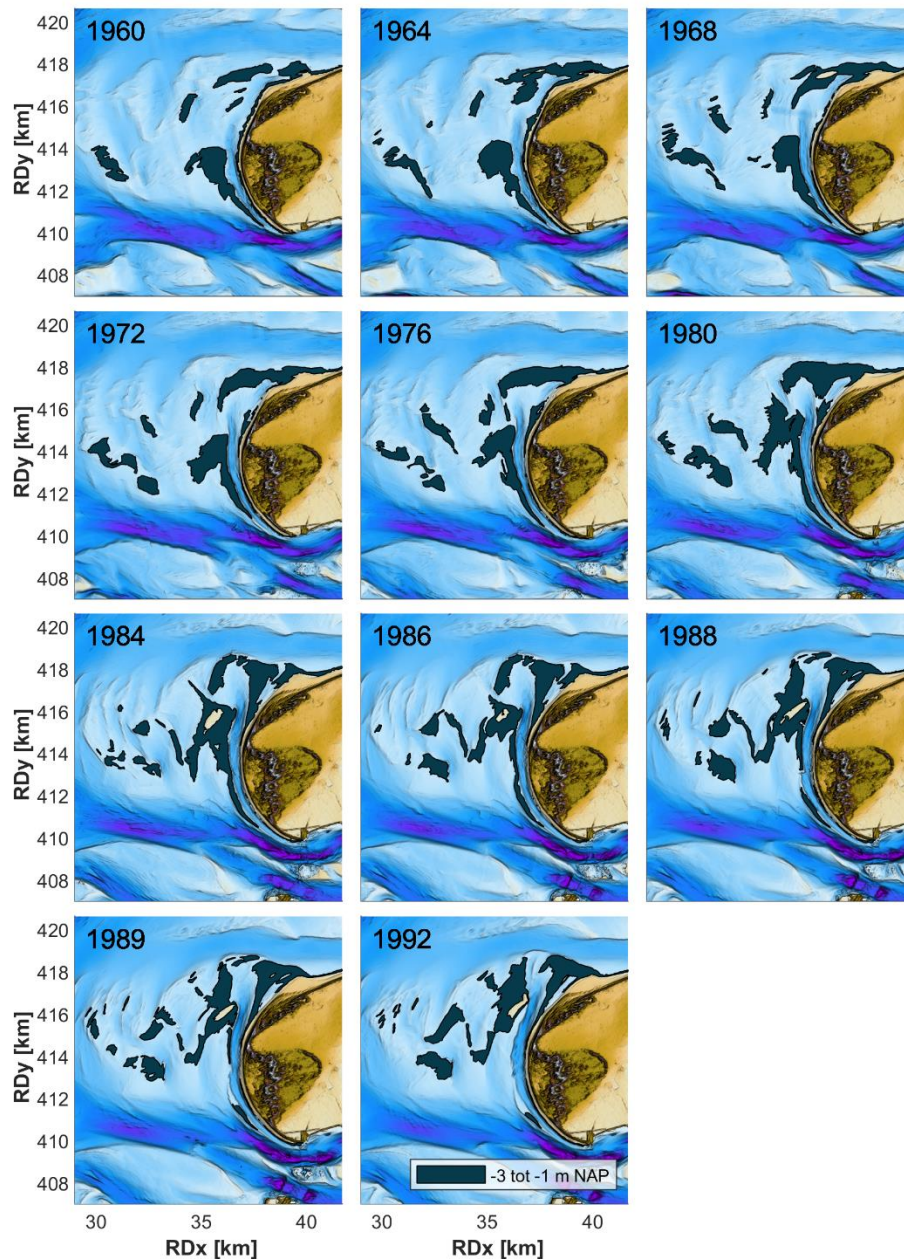
Figuur 4-15. Overzichtsfiguren voor 1992-2022 van de Banjaard-Landwaarts (-11 tot -1 m NAP).

4.3 Volumebalans van individuele elementen

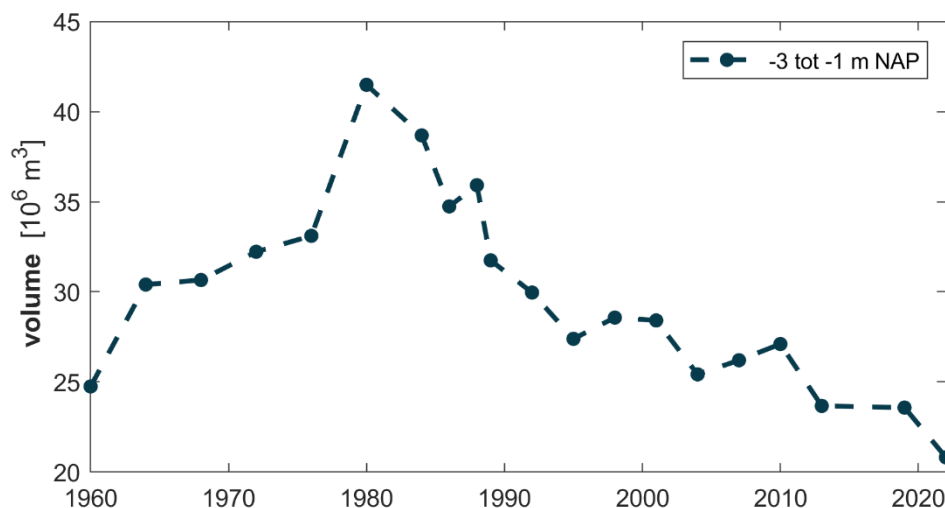
Zoals hierboven al benoemd, is de grootschalige morfologie van de Oosterscheldemonding in eerdere studies uitgebreid beschreven. De kleinschalige morfologie is daarentegen nog nooit in detail beschreven. In deze paragraaf ligt de focus op de kleinschalige morfologie van de individuele elementen, zoals banken op de Banjaard-Landwaarts, de kustzone en Verklikkerplaat en het Krabbengat.

4.3.1 Banken op de Banjaard-Landwaarts

In paragraaf 4.2.2 is beschreven hoe er tussen 1960 en 1980 netto aanzanding plaatsvond op de Banjaard-Landwaarts. Figuur 4-16 en Figuur 4-17 laten zien hoe de banken op de Banjaard-Landwaarts (gedefinieerd als het gebied tussen de -3 en -1 m NAP) in deze periode groeiden. Na aanleg van de Oosterscheldekering veranderde de morfologie op de Banjaard-Landwaarts. De noord-zuid gerichte stroming werd dominant en het Krabbengat verdiepte zich en werd langer in noordelijke richting, waarbij de geul een vloedschild (= Bollen van het Nieuwe Zand) uitbouwde. Dit vloedschild verplaatste zich, met de roterende uitstroom van het Krabbengat, richting het noordoosten. Sinds de aanleg van de kering is de Banjaard dieper geworden en neemt het volume van de banken op de Banjaard af. Het lager worden van de banken wijst erop dat het landwaarts gerichte zandtransport over de Banjaard sterk is afgenomen en dat de laterale zanddruk op het Krabbengat hierdoor mogelijk geen rol meer speelt. Paragraaf 4.3.3 zal hier verder op in gaan.



Figuur 4-16. Overzichtfiguren voor 1960-1992 van banken op de Banjaard-Landwaarts (gedefinieerd als het gebied tussen de -3 en 1 m NAP).



Figuur 4-17. Ontwikkeling van het volume van de banken op de Banjaard-Landwaarts 1960-2022.

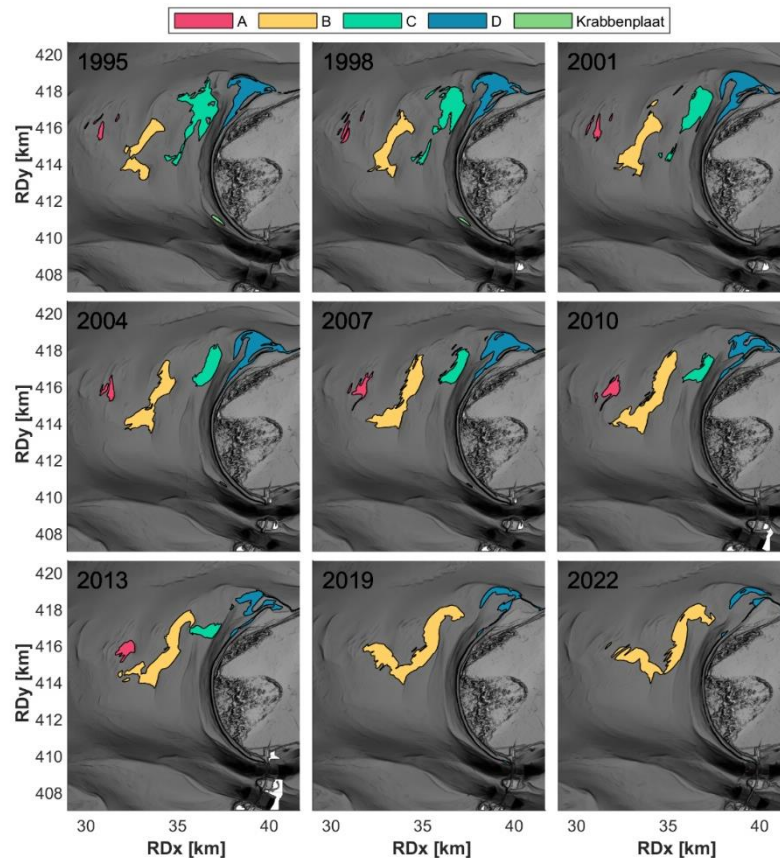
Tabel 4-6. Volume [10⁶ m³] tussen de -3 en -1 m NAP contour van de banken op de Banjaard-Landwaarts.

	Volume [10 ⁶ m ³]		Volume [10 ⁶ m ³]
1960	24.8	1992	30.0
1964	30.4	1995	27.4
1968	30.7	1998	28.6
1972	32.2	2001	28.4
1976	33.1	2004	25.4
1980	41.5	2007	26.2
1984	38.7	2010	27.1
1986	34.7	2013	23.7
1988	35.9	2019	23.6
1989	31.7	2022	20.8

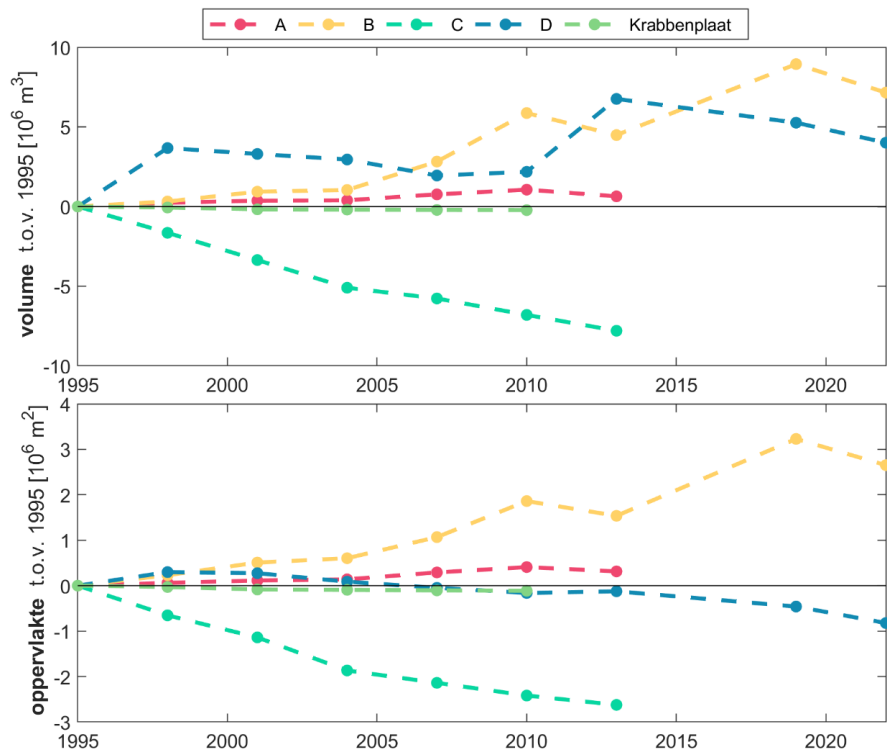
Op de Banjaard-Landwaarts zijn vanaf 1995 een paar banken te volgen (Figuur 4-18 – gedefinieerd als het gebied tussen de -3 en -1 m NAP). In 1995 waren het vijf banken-groepjes: groep A lag helemaal aan de zeewaartse rand van de Banjaard-Landwaarts, groep B ligt net iets ten westen van het midden, groep C lag net iets ten oosten van het midden, groep D correspondeert met het vloedchild van het Krabbengat (= Bollen van het Nieuwe Zand) en in mindere mate de overige kust van Schouwen en tot slot de Krabbenplaat in het zuidoosten van de Banjaard-Landwaarts.

De banken A, B en C, ten westen van het Krabbengat migreerden naar het oosten, oftewel landwaarts. Figuur 4-19 geeft de ontwikkeling van het volume en oppervlakte van deze banken weer. Bank A en B namen in volume (en oppervlakte) toe, terwijl bank C in volume en oppervlakte afnam. Dit valt mogelijk te verklaren doordat bank C aan het Krabbengat grenst, waardoor een westwaartse migratie in een verlies van sediment aan het Krabbengat resulteert. In 2013 lagen banken A, B en C heel dicht bij elkaar en in 2019 versmolten ze tot één bank, B genoemd. Dit verklaart de volumetoename van ruim 4 miljoen m³ van bank B tussen 2013 en 2019. Tussen 2019 en 2022 migreerde deze bank naar het oosten en nam het volume met bijna 2 miljoen m³ af. Mogelijk komt dit wederom door het verdwijnen van sediment in het Krabbengat.

Bank D, corresponderend met de Bollen van het Nieuwe Zand, toont spronggewijze toenames in volume, gevolgd door langere perioden van volumeafname. Allereerst was er een volumetoename van zo'n 4 miljoen m³ tussen 1995 en 1998. Deze toename in volume tussen 1995 en 1998 hangt mogelijk samen met de suppletie die hier is uitgevoerd als onderdeel van de verlegging van het Krabbengat in 1996 (zie ook Vermaas & Elias, 2014). Vervolgens nam het volume tussen 1998 en 2010 met ruim 1 miljoen m³ af. Tussen 2010 en 2013 was er wederom een grote volumetoename van bijna 5 miljoen m³, waarna het volume tot 2022 met zo'n 3 miljoen m³ afnam. De toename tussen 2010 en 2013 komt overeen met de aanlanding van een kleiner bankje. Mogelijk dat dit bankje gevoed is door het sediment dat van bank C in het Krabbengat verdween. Door de stroming wordt het sediment vervolgens richting het noordoosten verspreid, waardoor het volume afneemt.



Figuur 4-18. Overzichtsfiguren voor 1995-2022 van banken op de Banjaard-Landwaarts (gedefinieerd als het gebied tussen de -3 en 1 m NAP). Voor de analyse zijn deze banken opgesplitst in A, B, C, D en de Krabbenplaat.



Figuur 4-19. Ontwikkeling van het volume (boven) en oppervlakte (onder) (t.o.v. 1995) van de banken op de Banjaard-Landwaarts.

Tabel 4-7. Volume [10^6 m^3] tussen de -3 en -1 m NAP contour van de banken op de Banjaard-Landwaarts. Wanneer een vakje leeg is, was er geen polygoon meer van deze diepteklasse.

	A	B	C	D	Krabbenplaat
1995	1.1	7.0	10.9	21.2	0.2
1998	1.4	7.3	9.2	24.9	0.2
2001	1.5	7.9	7.5	24.5	0.1
2004	1.5	8.0	5.8	24.2	0.0
2007	1.9	9.8	5.1	23.2	0.0
2010	2.2	12.9	4.1	23.4	0.0
2013	1.8	11.5	3.1	28.0	
2019		15.9		26.5	
2022		14.2		25.2	

Tabel 4-8. Oppervlakte [10^6 m^2] tussen de -3 en -1 m NAP contour van de banken op de Banjaard-Landwaarts. Wanneer een vakje leeg is, was er geen polygoon meer van deze diepteklasse.

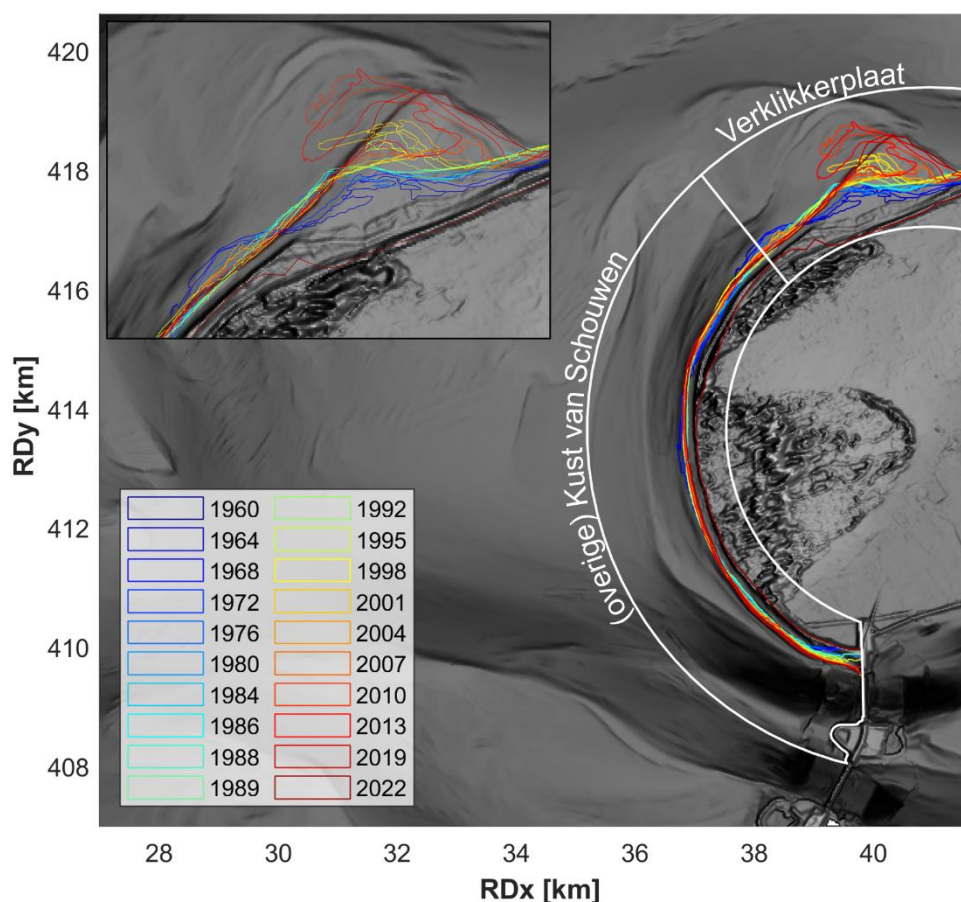
	A	B	C	D	Krabbenplaat
1995	0.3	2.2	3.4	7.1	0.1
1998	0.3	2.4	2.8	7.4	0.1
2001	0.4	2.7	2.3	7.4	0.0
2004	0.4	2.8	1.6	7.2	0.0
2007	0.6	3.3	1.3	7.1	0.0
2010	0.7	4.1	1.0	7.0	0.0

2013	0.6	3.7	0.8	7.0	
2019		5.4		6.7	
2022		4.9		6.3	

4.3.2 Kustzone en de Verklikkerplaat

Figuur 4-20 laat de ontwikkeling van de kust van de Kop van Schouwen zien, gedefinieerd als de -1 m NAP contour tot de landwaartse grens van de actieve zone, tussen 1960 en 2022. Zie Figuur 4-23 en Figuur 4-24 voor de vaklodingen met daarop deze polygonen van de kust en het bijbehorende volume weergegeven. Op de kop heeft de kust zich teruggetrokken, terwijl in het noorden en in het zuiden de kust is uitgebouwd (zoals beschreven in paragraaf 2.4.2).

In de data van 1960 was de Verklikkerplaat nog niet duidelijk te onderscheiden. Tussen 1960 en 1980 begon deze zandplaat zich te ontwikkelen. Vanaf 1984 begon de vorm duidelijk zichtbaar te worden. In de jaren daarna groeide de Verklikkerplaat naar het noordoosten. In 2010 landde er een bankje aan, waardoor de Verklikkerplaat een haak-vorm kreeg. Deze haak werd steeds meer opgenomen in de Verklikkerplaat tot deze in 2019 niet meer zichtbaar was.



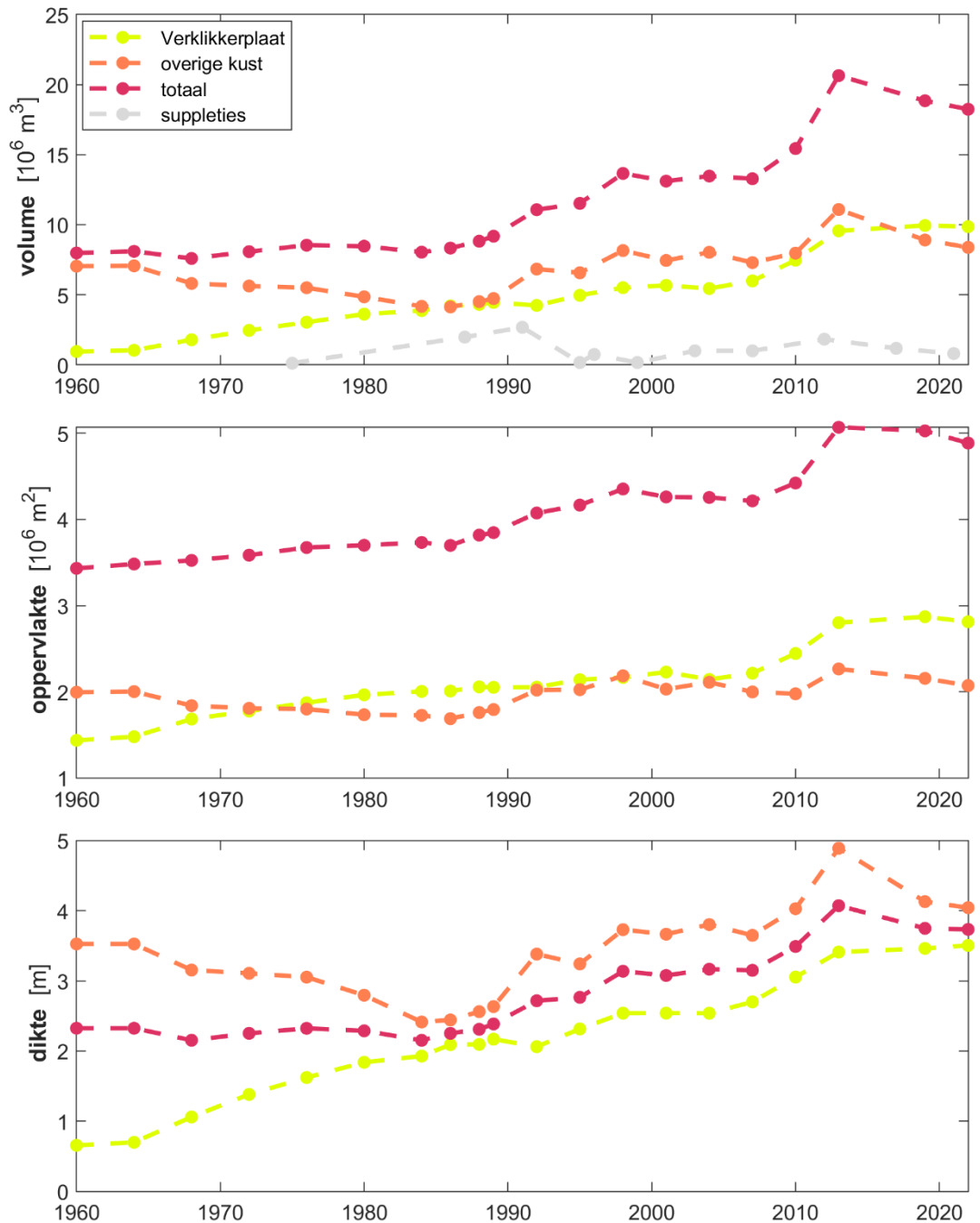
Figuur 4-20. Ontwikkeling van de -1 m NAP contour (tot de landwaartse grens van de actieve zone) van de kust van Schouwen tussen 1960-2022 weergegeven op de 2022-Vaklodingen. De inzet laat de ontwikkeling van de contour bij de Verklikkerplaat zien. De kust van Schouwen is opgedeeld in de Verklikkerplaat en de (overige) kust van Schouwen, de splitsing ligt bij raai 979.

Vervolgens zijn het volume, oppervlakte en dikte van de actieve sedimentlaag van de Verklikkerplaat en het overige deel van de kust van Schouwen bepaald. Deze gebieden zijn gedefinieerd als het gebied tussen de -1 m NAP en de landwaartse grens van de actieve zone (Figuur 4-21). De splitsing tussen de Verklikkerplaat en de overige kust van Schouwen ligt bij raai 979: de Verklikkerplaat bevindt zich tussen raai 598 en 979 en de overige kust van Schouwen bevindt zich tussen raai 982 en 1800 (zie ook Figuur 4-20).

Het totale volume van de totale kust van Schouwen nam tussen 1960 en 1980 met 0,5 miljoen m³ toe (Tabel 4-9). De Verklikkerplaat nam in deze periode in volume toe, terwijl de overige kust in volume af nam. Dit hangt samen met de zanddruk van het Krabbengat. Na de geulwandverleggingen (en uitgevoerde suppleties) vond er geen erosie plaats: het volume van de totale kust nam tussen 1980 en 2010 met 7 miljoen m³ toe. Tussen 2010 en 2022 nam dit volume nog eens met 3 miljoen m³ toe.

De sprongen in volumetoename van de overige kust van Schouwen komen grotendeels overeen met uitgevoerde suppleties. Zo was er bijvoorbeeld tussen 1989 en 1992 een volumetoename van de overige kust van 2,1 miljoen m³. Deze toename komt mogelijk door de strand-duinsuppletie van 2,7 miljoen m³ die hier in 1991 is uitgevoerd. Vervolgens was tussen 1995 en 1998 een toename van 1,6 miljoen m³. Hier is in 1996 een strandsuppletie van 0,7 miljoen m³ uitgevoerd. Ook de kleine toenames tussen 2001 en 2004, 2007 en 2010 en 2010 en 2013 kunnen naar suppleties worden herleid. Het is nog onduidelijk waarom er sinds 2013 een volumeafname is, terwijl er destijds wel suppleties zijn uitgevoerd. Een hypothese is dat de golfaanval op de Kop van Schouwen is toegenomen door de verdieping van de Banjaard.

Figuur 4-21 laat zien dat er een sterke toename in dikte van de Verklikkerplaat heeft plaatsgevonden: van 0,7 m in 1960 tot 3,5 m in 2022 (toename van 400%). Waarschijnlijk wordt het sediment van de Verklikkerplaat dus landwaarts (en naar het noordoosten) gestuwd door golfwerking en wind. Deze ontwikkeling is ook zichtbaar in satellietbeelden (Figuur 4-22).



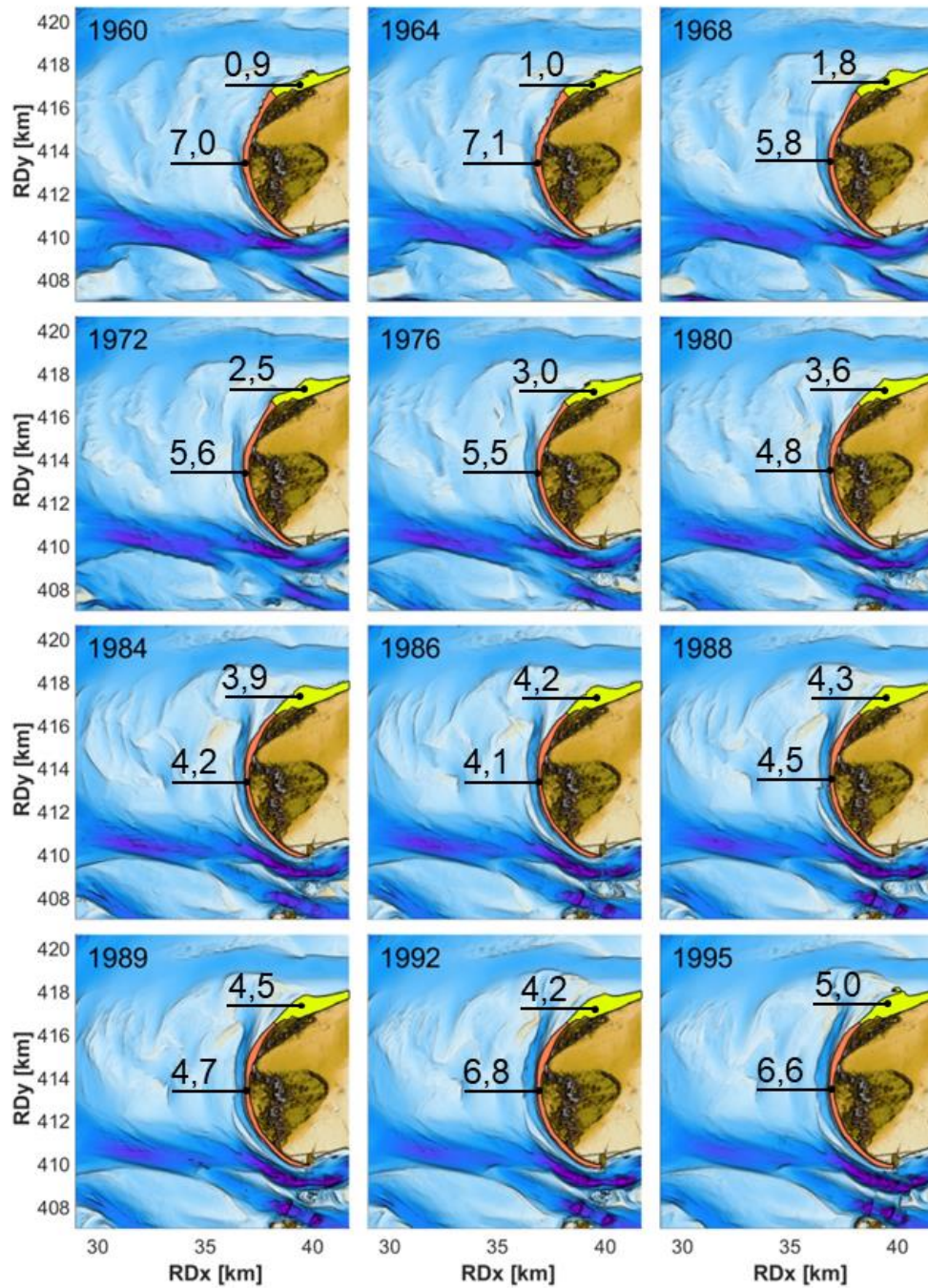
Figuur 4-21. Ontwikkeling van het volume (boven), de oppervlakte (midden) en de dikte (onder) van het actieve sediment van de kust van Schouwen (gedefinieerd als het gebied boven de -1 m NAP contour bij de kust van Schouwen) tussen 1960 en 2022. De gesuppleerde volumes langs de kust van Schouwen zijn ook weergegeven (zie ook Tabel 3-1).



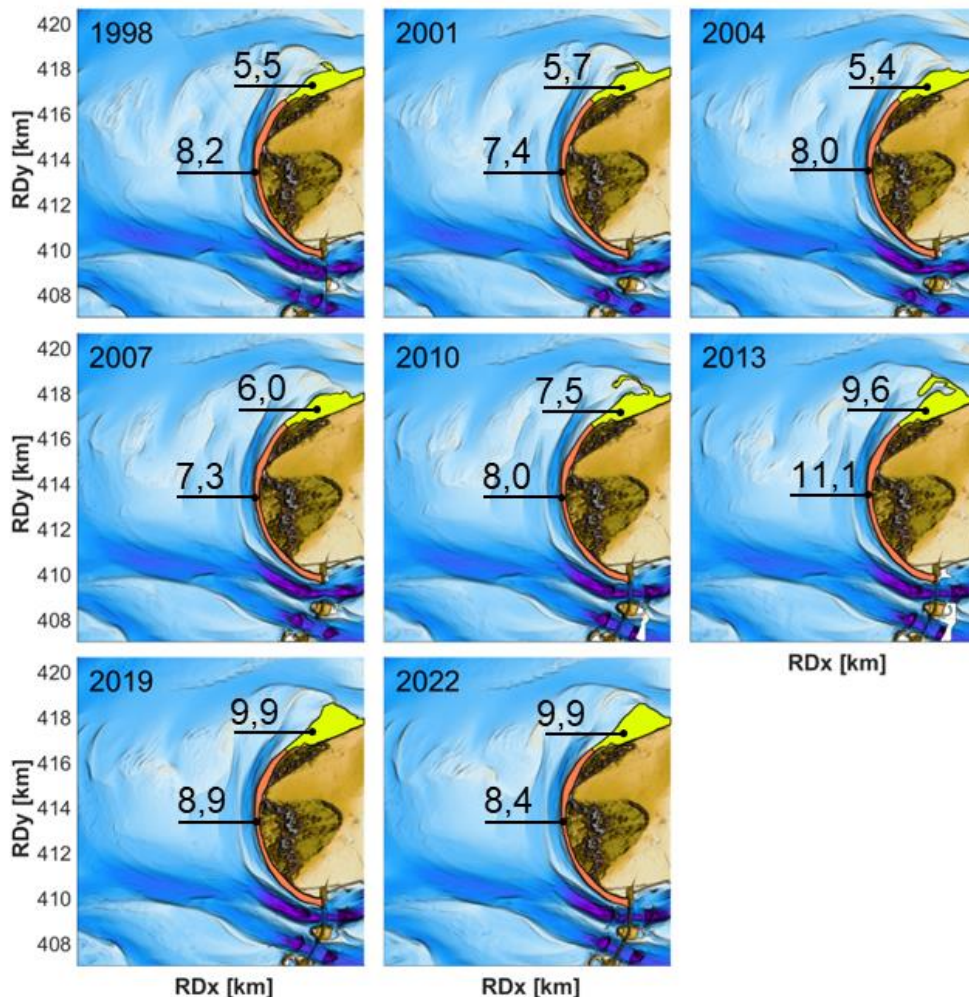
Figuur 4-22. Satellietdata van de Verklikkerplaat voor 2017 t/m 2022 (bron: Satellietdataportaal.nl) met voor 2019 en 2022 de -1 m NAP contour weergegeven.

Tabel 4-9. Volume, oppervlakte en dikte van het actieve sediment boven de -1 m NAP contour van de Verklikkerplaat, de overige kust van Schouwen en het totaal.

	volume [10^6 m^3]			oppervlakte [10^6 m^2]			dikte [m]		
	Verklikker	Overig	Totaal	Verklikker	Overig	Totaal	Verklikker	Overig	Totaal
1960	0.9	7.0	8.0	1.4	2.0	3.4	0.7	3.5	2.3
1964	1.0	7.1	8.1	1.5	2.0	3.5	0.7	3.5	2.3
1968	1.8	5.8	7.6	1.7	1.8	3.5	1.1	3.2	2.2
1972	2.5	5.6	8.1	1.8	1.8	3.6	1.4	3.1	2.3
1976	3.0	5.5	8.5	1.9	1.8	3.7	1.6	3.1	2.3
1980	3.6	4.8	8.5	2.0	1.7	3.7	1.8	2.8	2.3
1984	3.9	4.2	8.0	2.0	1.7	3.7	1.9	2.4	2.2
1986	4.2	4.1	8.3	2.0	1.7	3.7	2.1	2.4	2.3
1988	4.3	4.5	8.8	2.1	1.8	3.8	2.1	2.6	2.3
1989	4.5	4.7	9.2	2.1	1.8	3.8	2.2	2.6	2.4
1992	4.2	6.8	11.1	2.1	2.0	4.1	2.1	3.4	2.7
1995	5.0	6.6	11.5	2.1	2.0	4.2	2.3	3.2	2.8
1998	5.5	8.2	13.7	2.2	2.2	4.4	2.5	3.7	3.1
2001	5.7	7.4	13.1	2.2	2.0	4.3	2.5	3.7	3.1
2004	5.4	8.0	13.5	2.1	2.1	4.3	2.5	3.8	3.2
2007	6.0	7.3	13.3	2.2	2.0	4.2	2.7	3.6	3.2
2010	7.5	8.0	15.4	2.4	2.0	4.4	3.1	4.0	3.5
2013	9.6	11.1	20.6	2.8	2.3	5.1	3.4	4.9	4.1
2019	9.9	8.9	18.8	2.9	2.2	5.0	3.5	4.1	3.7
2022	9.9	8.4	18.2	2.8	2.1	4.9	3.5	4.0	3.7



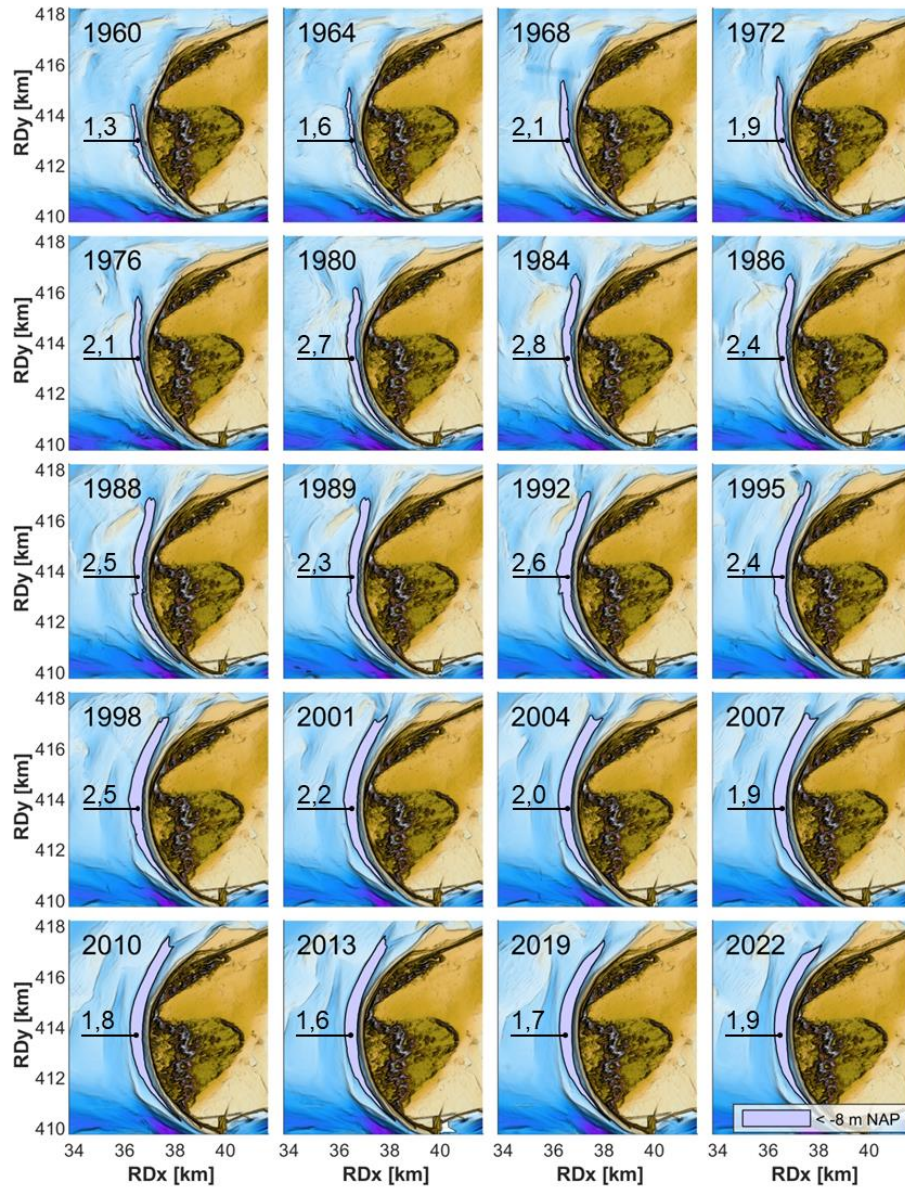
Figuur 4-23. Overzichtsfiguren voor 1960-1995 van de Kust van Schouwen (gedefinieerd als het gebied boven de -1 m NAP tot de landwaartse grens van de actieve zone) opgesplitst in de Verklipperplaat (groen) en het overige deel van de kust (oranje) en de corresponderende actieve sedimentvolumes [miljoen m³].



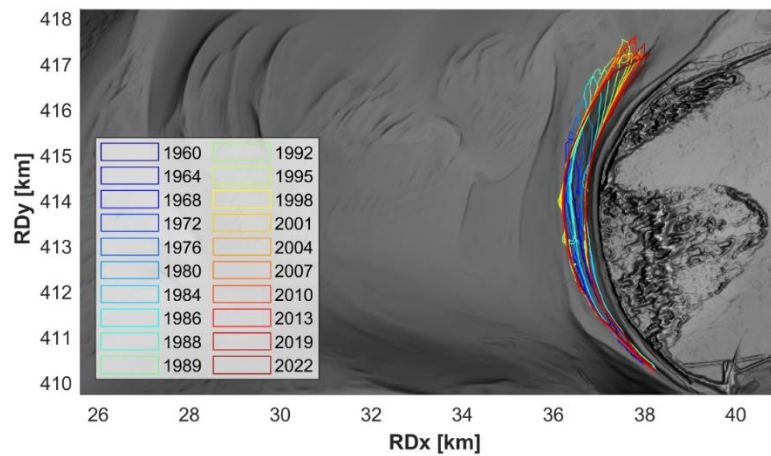
Figuur 4-24. Overzichtsfiguren voor 1998-2022 van de Kust van Schouwen (gedefinieerd als het gebied boven de -1 m NAP tot de landwaartse grens van de actieve zone) opgesplitst in de Verklikkerplaat (groen) en het overige deel van de kust (oranje) en de corresponderende actieve sedimentvolumes [miljoen m³].

4.3.3 Krabbengat

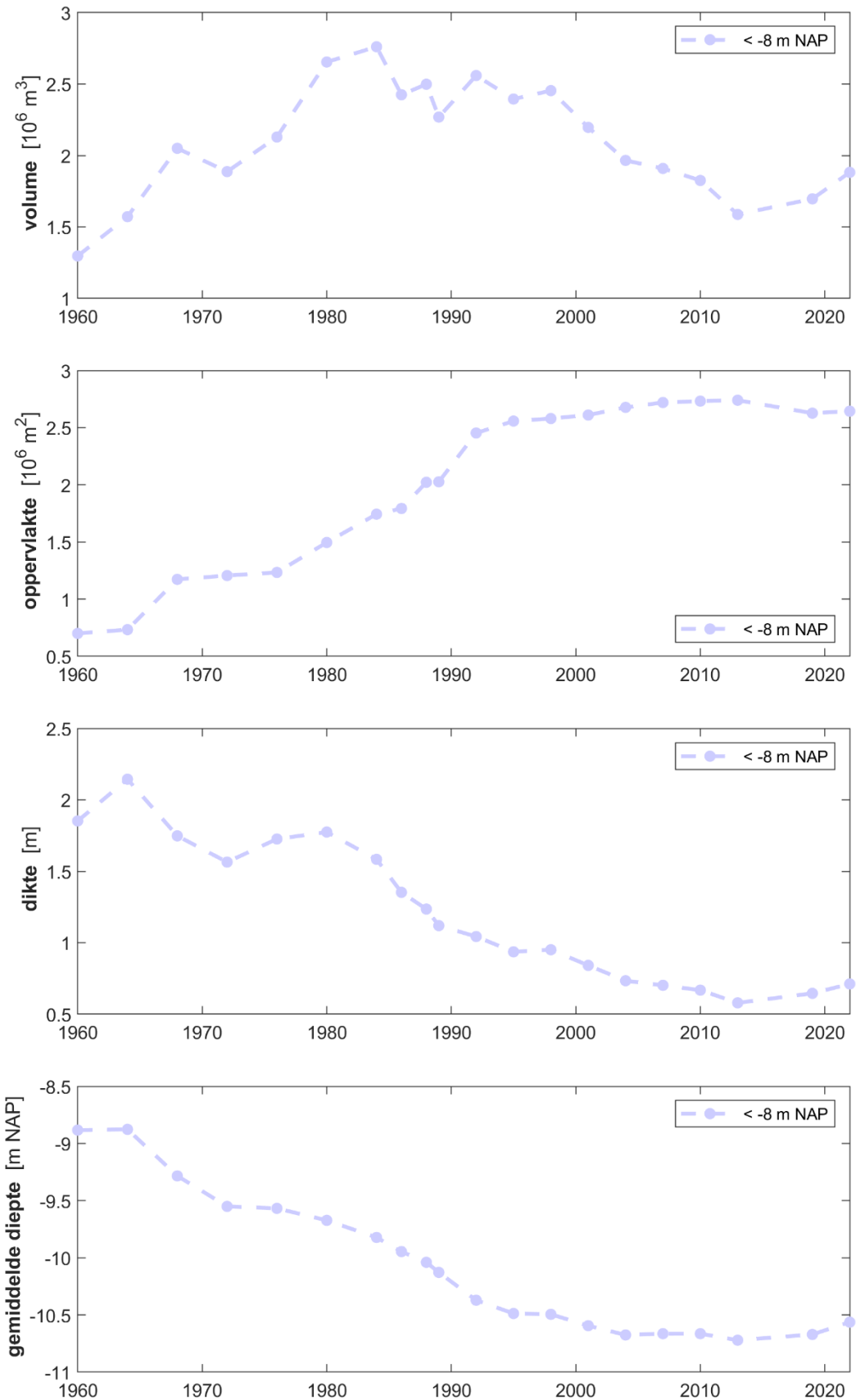
Figuur 4-25 laat de ontwikkeling van het Krabbengat (gedefinieerd als het deel dieper dan -8 m NAP) zien. De figuur laat zien dat het Krabbengat tussen 1960 en 2022 naar het noorden uitbouwde en in oppervlakte toenam (zie ook Figuur 4-26 en Figuur 4-27). Daarnaast nam ook de diepte toe van gemiddeld -11 m t.o.v. NAP in 1960 tot -15 m t.o.v. NAP in 2022. De noordelijke uitstroom van het Krabbengat migreerde tussen 1960 en 2022 steeds meer naar het noordoosten. Het lijkt erop dat de zeewaartse geulwandverleggingen van 1987 en 1992 (en in mindere mate 1996) hier invloed op hebben gehad. De geulwandverlegging in 1987 is terug te zien in de bodemdata van 1988 en de geulwandverlegging van 1991 is terug te zien in de data van 1992 (Figuur 4-14). In 2024 zal er door Deltares een verdiepend onderzoek uitgevoerd worden naar de uitwisseling tussen het Krabbengat en de kust van Schouwen.



Figuur 4-25. Overzichtfiguren voor 1960-2022 van het Krabbengat (<-8 m NAP) en corresponderende volumes [10^6 m^3].



Figuur 4-26. Ontwikkeling van de -8 m NAP contour van het Krabbengat tussen 1960-2022 weergegeven op de 2022-Vaklodingen.



Figuur 4-27. Ontwikkeling van het volume, de oppervlakte en de dikte van het actieve sediment van het Krabbengat (gedefinieerd als het gebied onder de -8 m NAP contour) en de gemiddelde diepte van het Krabbengat tussen 1960 en 2022.

Tabel 4-10. Volume, oppervlakte en dikte van het actieve sediment onder de -8 m NAP contour van het Krabbengat.

	volume [10 ⁶ m ³]	oppervlakte [10 ⁶ m ²]	dikte [m]	gemiddelde diepte [m NAP]
1960	1.3	0.7	1.9	-8.9
1964	1.6	0.7	2.1	-8.9
1968	2.1	1.2	1.7	-9.3
1972	1.9	1.2	1.6	-9.6
1976	2.1	1.2	1.7	-9.6
1980	2.7	1.5	1.8	-9.7
1984	2.8	1.7	1.6	-9.8
1986	2.4	1.8	1.4	-9.9
1988	2.5	2.0	1.2	-10.0
1989	2.3	2.0	1.1	-10.1
1992	2.6	2.5	1.0	-10.4
1995	2.4	2.6	0.9	-10.5
1998	2.5	2.6	1.0	-10.5
2001	2.2	2.6	0.8	-10.6
2004	2.0	2.7	0.7	-10.7
2007	1.9	2.7	0.7	-10.7
2010	1.8	2.7	0.7	-10.7
2013	1.6	2.7	0.6	-10.7
2019	1.7	2.6	0.6	-10.7
2022	1.9	2.6	0.7	-10.6

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

De doelstelling van deze rapportage is het vergroten van de morfologische kennis voor de Kop van Schouwen. Hiervoor is een grootschalige sedimentbalans van de Oosterscheldemonding opgesteld. De focus ligt hierbij op het voor de Kop van Schouwen gelegen bankengebied de Banjaard. Om deze doelstelling te bereiken zijn een drietal onderzoeksvragen opgesteld. Deze vormen de basis van de conclusies.

1. Hoe ziet de sedimenthuishouding van het gehele zeegat (vooroever, buitendelta en kust) eruit?

Over de hele periode 1960 t/m 2022 is het totale actieve sedimentvolume in relatief kleine mate (4 miljoen m³) afgenomen (Figuur 4-1). Binnen deze periode hebben echter grote variaties plaatsgevonden van meer dan 100 miljoen m³.

Zo was er tussen 1960 en 1980 een volumetoename 89 miljoen m³, veroorzaakt door een toename van de sedimentexport door veranderingen in het estuarium.

Na voltooiing van de Oosterscheldekering (1980-2010) nam het totale volume met 121 miljoen m³ af. Deze afname vond met name plaats in het gebied tussen de -11 en -1 m NAP (-131 miljoen m³). De (voormalige) eilanden Schouwen en Walcheren/Noord-Beveland namen in deze periode juist met in totaal 16 miljoen m³ in volume toe. Mogelijk valt een deel van deze toename te verklaren door de uitgevoerde suppleties (ca. 8 miljoen m³ tussen 1980 en 2010). Daarnaast laten de data zien dat de volumetoename met name in de dikte van de actieve sedimentlaag zit en niet in de oppervlakte. De sedimentbalans laat zien dat de diepe delen terugtrekken, terwijl de ondiepe delen juist sedimenteren. Deze ontwikkeling illustreert het effect van de afname van het getijdgebied van de Oosterschelde: de zeewaartse strekking van de buitendelta neemt af. De laatste jaren lijkt deze grootschalige volumeafname af te nemen.

Tussen 2010 en 2022 was er een stijging in de sedimentvolumes van 29 miljoen m³. Deze toename vond met name plaats in het midden en zuiden van de Oosterscheldemonding. De erosie van het bankencomplex de Banjaard die vóór 2010 plaatsvond, lijkt af te nemen. Tussen 2010 en 2022 bleef dit gebied in volume vrijwel gelijk. De eilanden Schouwen en Walcheren/Noord-Beveland namen beperkt in volume toe.

2. Wat zijn de volumeontwikkelingen van de bankengebieden de Banjaard?

In de periode 1960-1980 was het bankengebied de Banjaard nog vooral aanzandend. In 1960 was het volume van dit gebied 250 miljoen m³. Met name het zeewaartse deel (oorspronkelijk 78 miljoen m³) nam tussen 1960 en 1980 in volume toe (+19,7 miljoen m³, Figuur 4-8), het landwaartse deel (oorspronkelijk 173 miljoen m³) nam 'slechts' met 4 miljoen m³ toe (Figuur 4-13).

Sinds 1980 vindt hier vooral een herverdeling van sediment plaats (zie ook Elias et al., 2016). Het volume van de Banjaard-Zeewaarts nam tussen 1984 en 2010 met ca. 15 miljoen m³ af en het volume van de Banjaard-Landwaarts nam met 39 miljoen m³ af. De Banjaard nam in zijn geheel in diepte toe. Dit hangt samen met de verandering in hydrodynamica door aanleg van de Oosterscheldekering.

De morfologische veranderingen over de periode 2010-2022 lijken beperkt: de Banjaard-Zeewaarts kende een volumetoename van 6 miljoen m³, terwijl de Banjaard-Landwaarts met 6 miljoen m³ afnam.

3. Wat zijn de volumeontwikkelingen van de individuele elementen zoals de banken op de Banjaard-Landwaarts (de Bollen van het Nieuwe Zand), de Verklikkerplaat en het Krabbengat?

De banken op de Banjaard-Landwaarts namen tussen 1960 en 2022 met 4 miljoen m³ in volume af (Figuur 4-17). Tussen 1960 en 1980 namen de banken nog in volume toe (17 miljoen m³). Na aanleg van de kering (1980-2010) nam het volume met 14 miljoen m³ af. In recente jaren (2010-2022) is het volume van de banken met 6 miljoen m³ afgenomen. Een detailanalyse van de banken laat zien dat de banken landwaarts migreren, richting het Krabbengat (Figuur 4-18). Eenmaal bij het Krabbengat belandt, verdwijnt een deel van het bankvolume in het Krabbengat, waarna het mogelijk op het vloedschild terecht komt en zo uiteindelijk met de uitstroom van het Krabbengat mee roteert richting de Verklikkerplaat.

De totale kust van Schouwen (gedefinieerd als de -1 m NAP contour tot de landwaartse grens van de actieve zone) nam tussen 1960 en 2022 met 10 miljoen m³ in volume toe (Figuur 4-21): 9 miljoen m³ van deze toename bevond zich bij de Verklikkerplaat (tussen raai 598 en 979) en 1 miljoen m³ langs de overige kust van Schouwen (ten zuiden van raai 979). Tussen 1960 en 1980 was het volume van de totale kust redelijk stabiel. Na aanleg van de kering (1980-2010) nam het totale volume van de totale kust met 7 miljoen m³ toe. De Verklikkerplaat nam met 4 miljoen m³ toe en de overige kust met 3 miljoen m³. Tussen 2010 en 2022 is het volume van de totale kust toegenomen met 3 miljoen m³: deze toename bevond zich vrijwel volledig bij de Verklikkerplaat. De hier gepresenteerde toenames in sedimentvolumes komen enigszins overeen met de gesuppleerde volumes. Zo is er tussen 1960 en 2022 langs de kust van Schouwen ca. 12 miljoen m³ gesuppleerd. Hiervan is 8 miljoen m³ gesuppleerd tussen 1980 en 2010 en 4 miljoen m³ tussen 2010 en 2022.

Tot slot is de geul het Krabbengat beknopt meegenomen in de analyse. De belangrijkste observatie is dat het Krabbengat tussen 1960 en 2022 in gemiddelde diepte is toegenomen (van -11 tot -15 m t.o.v. NAP) en dat het oppervlak in deze periode met 2 miljoen m² is toegenomen (Figuur 4-27). In 2024 zal Deltares in meer detail naar de interactie tussen deze geul en de Kop van Schouwen kijken.

5.2 Aanbevelingen

Zoals in de introductie beschreven, is een beter begrip van de interactie tussen Krabbengat, de Bollen van het Nieuwe Zand en de Kop van Schouwen essentieel voor een efficiënt beheer en onderhoud van de Kop van Schouwen. In deze studie is hiertoe een eerste stap gezet, door de grootschalige sedimentbalans van de Banjaard in kaart te brengen. In 2024 zal een vervolgstudie worden uitgevoerd met focus op de sedimentuitwisseling tussen de buitendelta en de kust.

De in deze studie toegepaste methodiek geeft veel nieuwe inzichten in de sedimenthuishouding van (het noordelijk deel van) de Oosterscheldemonding. De data stellen ons in staat om de veranderingen in sedimentvolumes in kaart te brengen en te kwantificeren. Met de data alleen is het echter nog niet mogelijk om de geobserveerde veranderingen te verklaren. Het wordt daarom aanbevolen om hydrodynamische modellering (met bv. SedTRAILS) toe te passen om meer inzicht te geven in de sedimentuitwisselingen tussen de verschillende deelgebieden.

6 Referenties

Cleveringa, J., 2008. Morphodynamics of the Delta Coast (south-west Netherlands): Quantitative analysis and phenomenology of the morphological evolution 1964-2004. Alkyonrapport A1881; ook WL | Delft Hydraulics & Rijkswaterstaat RIKZ.

De Vriend, 1991. Mathematical modelling and large-scale coastal behaviour, Part 1: physical processes. *Journal of Hydraulic Research* 29, p. 727-740.

Eelkema, M. 2013. Eastern Scheldt Inlet Morphodynamics. Proefschrift TU Delft.

Elias, E.P.L. & van der Spek., 2014. Grootschalige morfologische veranderingen in de Voordelta 1964-2013. Deltares rapport: 1207724-001. 57 pp.

Elias, E.P.L., van der Spek, A.J.F. & Lazar, M., 2016. The 'Voordelta', the contiguous ebb-tidal deltas in the SW Netherlands: large-scale morphological changes and sediment budget 1965–2013; impacts of large-scale engineering, *Netherlands Journal of Geosciences, Geologie en Mijnbouw*.

Elias, E.P.L., Van der Spek, A.J.F., Pearson, S., Cleveringa, J., 2019. Understanding sediment bypassing processes through analysis of high-frequency observations of Ameland Inlet, the Netherlands. *Marine Geology* 415.

Elias, E.P.L. & Vermeer, N.P., 2023. Morfologisch onderzoek Haringvlietmonding. Deltares rapport 11209263-004. 72 pp.

Lazar, M., Elias, E.P.L. & Van der Spek, A.J.F., 2017. Coastal Maintenance and Management of the "Voordelta", the contiguous ebb-tidal deltas in the SW Netherlands, *Coastal Dynamics*, Paper no. 206.

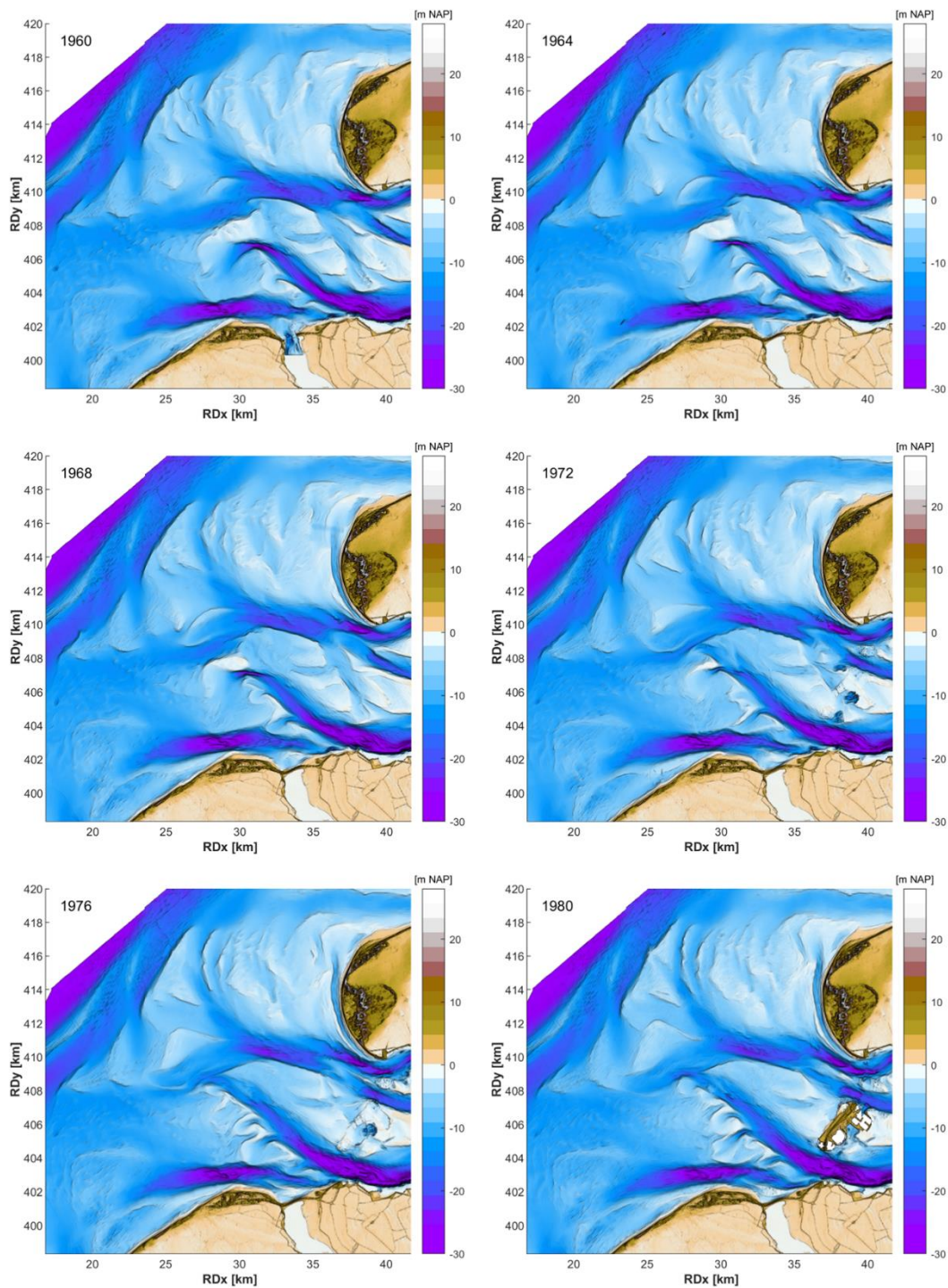
Taal, M., Quataert, E., Van der Spek, A.J.F., Huisman, B.A., Elias, E.P.L., Wang, Z.B., Vermeer, N.P., 2023. Sedimentbehoefte Nederlands kuststelsel bij toegenomen zeespiegelstijging. Deltares rapport: 11207897-002. 114 pp.

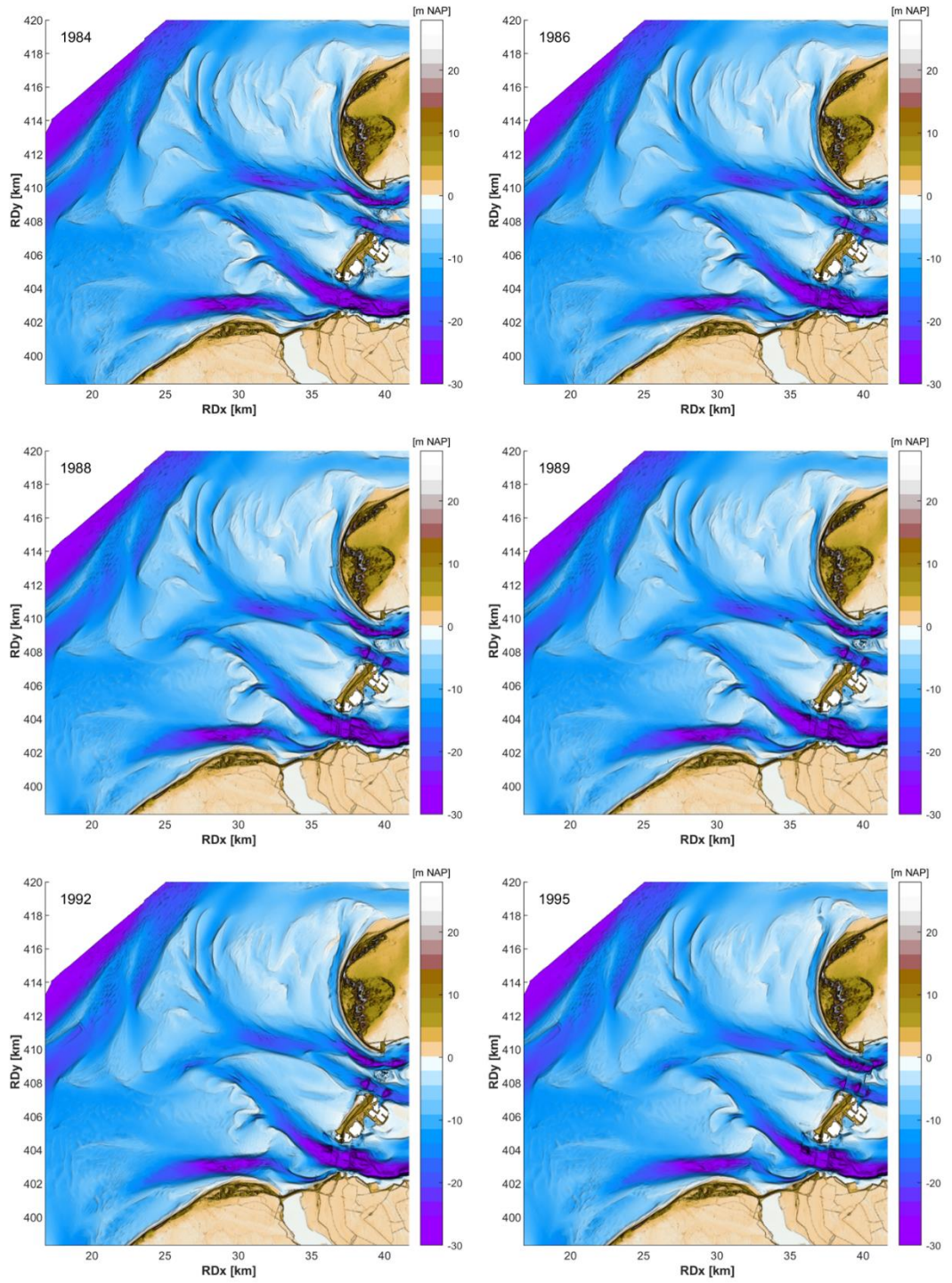
Van den Berg, J.H., 1984. Morphological changes of the ebb-tidal delta of the Eastern Scheldt during recent decades. *Geologie en Mijnbouw*, 63: 363-375.

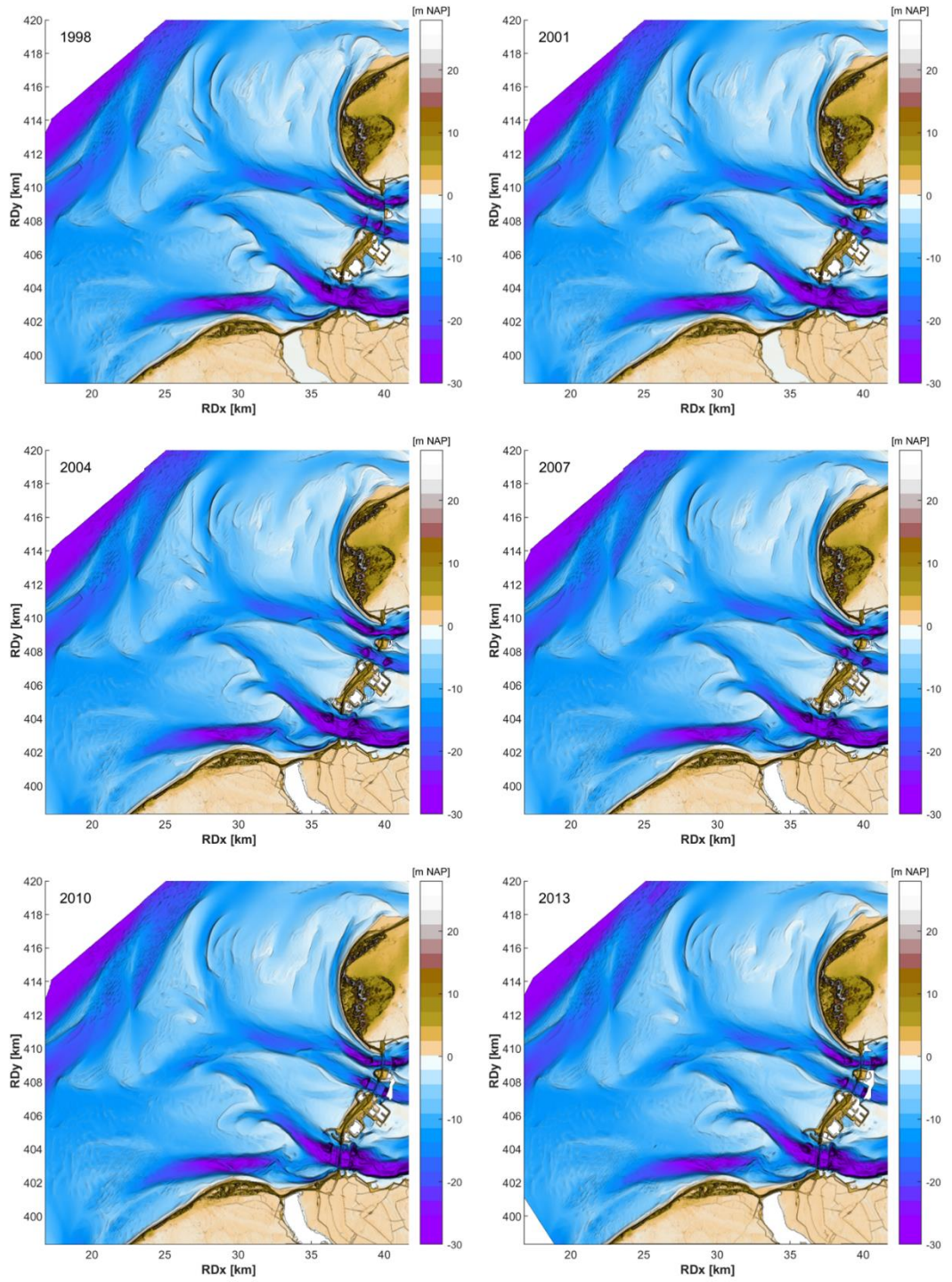
Van den Berg, J.H., 1986. Aspects of sediment- and morphodynamics of subtidal deposits of the Eastern Scheldt (the Netherlands). PhD Thesis. Utrecht University (Utrecht): 120 pp.

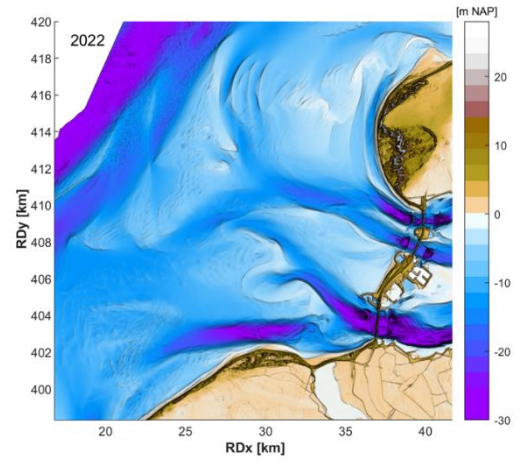
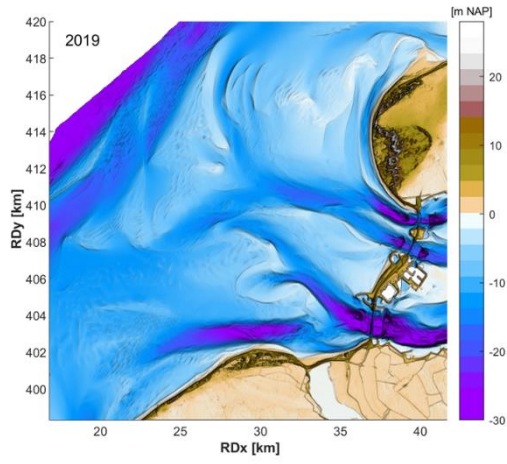
Vermaas, T., Elias, E.P.L., 2014. Evaluatie verlegging Krabbengat 1987/1991/1996. Deltares rapport: 1209381-008. 67 pp.

A Bodemopnamen









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