

Morfologisch onderzoek Haringvlietmondning

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



Morfologisch onderzoek Haringvlietmonding

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

Auteur(s)

Edwin Elias

Nienke Vermeer

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	Laura Brakenhoff
Referenties	Zie H6
Trefwoorden	Morfologie, Haringvlietmonding, vooroever, buitendelta, Hinderplaat, Tweede Maasvlakte

Documentgegevens

Versie	0.1
Datum	18-08-2023
Projectnummer	11209263-004
Document ID	11209263-004-ZKS-0001
Pagina's	72
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 lange termijn 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 Haringvlietmonding bestudeerd.

De Haringvlietmonding is onderdeel van de Voordelta en ligt ingeklemd tussen de kop van Goeree en de kust van Voorne. Er zijn in de afgelopen decennia grote ingrepen in het gebied gedaan. Zo zijn de voormalige estuaria afgesloten door aanleg van de Brielse Maasdam en de Deltawerken en hebben er landaanwinningen plaatsgevonden voor de zeewaartse uitbreiding van de Haven van Rotterdam in de vorm van de (Tweede) Maasvlakte. Deze menselijke 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 1963-2022. Vervolgens is deze sedimentbalans gebruikt voor de analyses. Er is hierbij gekeken naar de sedimenthuishouding van het gehele zeegat, van de individuele banken en van de kustzone van de Tweede Maasvlakte. Tot slot is gekeken naar de invloed van de menselijke ingrepen op de sedimenthuishouding.

De sedimentbalans laat zien dat de vooroever van de Grevelingen- en Haringvlietmonding sediment verliezen en de buitendelta's in sedimentvolume toenemen. Het verlies van de vooroevers (dieptezone -12 tot -5 m NAP) bedraagt -41 miljoen m³ en -31 miljoen m³ voor respectievelijk de Grevelingen- en Haringvlietmonding. De buitendelta (dieptezone -5 tot +3 m NAP) van de Grevelingen neemt met +35 miljoen m³ toe, waardoor deze totale volumebalans voor de Grevelingen bijna sluitend is. De buitendelta van het Haringvliet neemt met +111 miljoen m³ toe; het sedimentvolume boven de -12 m NAP is hier met 70 miljoen m³ toegenomen.

Het platencomplex van de Hinderplaat en Garnalenplaat laat een sterke stijging (+50 miljoen m³) in sedimentvolume zien. De spitvormige bank ten zuiden van de Maasvlakte (en Slufter) bouwt sterk uit sinds de aanleg van de Tweede Maasvlakte (+0,25 miljoen m³/jaar). Ook de Slikken van Voorne nemen in volume toe (met gemiddeld 0,096 miljoen m³/jaar tussen 2003 en 2019). De volumeontwikkeling van de Kust van Rockanje vertoont een grillig verloop. Tussen 2006 en 2012 was er een grote sprong in volumeontwikkeling (+0,8 miljoen m³), gerelateerd aan uitgevoerde suppleties. Sindsdien is het volume min of meer stabiel. Tot slot is het effect van de aanleg en aanwezigheid van de Eerste Maasvlakte, de Slufter en de Tweede Maasvlakte niet direct zichtbaar in de ontwikkeling van de sedimentvolumes op schaal van de gehele Haringvlietmonding. Op schaal van afzonderlijke elementen is de aanleg wel terug te zien in de ontwikkeling van de sedimentvolumes, bijvoorbeeld de uitbouw van de spit aan de zuidkant van de Maasvlakte na aanleg van de Tweede Maasvlakte.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Introductie	7
1.1	Aanleiding tot onderzoek	7
1.2	Doelstelling	7
1.3	Opbouw van het onderzoek	7
2	Morfologie van de Grevelingen- en Haringvlietmonding	8
2.1	Inleiding	8
2.2	De afsluiting van de Brielse Maas en het Brielse Gat	9
2.3	Morfologische veranderingen als gevolg van de Deltawerken	11
2.4	Aanleg van de Maasvlakte	13
3	Data en Methode	15
3.1	Methodiek	15
3.2	Bodemmetingen	18
3.2.1	Grootschalige analyse van de Grevelingen- en Haringvlietmonding	18
3.2.2	Kleinschalige analyse van de Haringvlietmonding	18
3.2.3	Kleinschalige analyse van de Tweede Maasvlakte	19
3.3	Suppleties	19
3.4	Bagger- en stortgegevens	20
4	Volumebalansen	23
4.1	Grootschalige analyse van de Grevelingen- en Haringvlietmonding	23
4.2	Kleinschalige analyse van de Haringvlietmonding	27
4.2.1	Hinderplaat en Garnalenplaat	27
4.2.2	Spit Maasvlakte-Zuid	31
4.2.3	Slikken van Voorne	34
4.2.4	Kust van Rockanje	36
4.3	Kleinschalige analyse van de Tweede Maasvlakte	37
5	Conclusies en aanbevelingen	40
5.1	Conclusies	40
5.2	Aanbevelingen	41
6	Referenties	42
A	Suppletietabellen	44
B	Bagger- en stortgegevens	47

C	Bodemopnamen	49
C.1	Grootschalig (1967 – 2022)	49
C.2	Kleinschalig (Haringvlietmonding)	51
C.3	Kleinschalig (Tweede Maasvlakte)	53
D	Grootschalige polygonen	54
D.1	Voor de Eerste Maasvlakte (1963)	54
D.2	De Eerste Maasvlakte (1967 – 1984)	55
D.3	De Eerste Maasvlakte en de Slufter (2000 – 2006)	55
D.4	De Tweede Maasvlakte (2009 – 2022)	56
E	Kleinschalige analyse van de Haringvlietmonding	57
E.1	Hinderplaat	57
E.1.1	Voor de Eerste Maasvlakte (1963)	57
E.1.2	De Eerste Maasvlakte (1967 – 1984)	58
E.1.3	De Eerste Maasvlakte en de Slufter (1990 – 2006)	59
E.1.4	De Tweede Maasvlakte (2009 – 2022)	61
E.2	Spit Maasvlakte-Zuid	62
E.2.1	De Eerste Maasvlakte en de Slufter (1990 – 2006)	62
E.2.2	De Tweede Maasvlakte (2012 – 2022)	64
E.3	Slikken van Voorne	65
E.3.1	De Eerste Maasvlakte en de Slufter (1990 – 2006)	65
E.3.2	De Tweede Maasvlakte (2012 – 2022)	67
E.4	Kust van Rockanje	68
E.4.1	De Eerste Maasvlakte en de Slufter (1990 – 2006)	68
E.4.2	De Tweede Maasvlakte (2012 – 2022)	70
F	Kleinschalige analyse van de Tweede Maasvlakte	71

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 het deelproject Zeegaten. Met de systeemkennis over de werking van zeegatsystemen wordt het beheer van en onderhoud aan eilandkoppen ondersteund.

1.2 Doelstelling

Eén van de locaties langs de Nederlandse kust waar aanvullend inzicht benodigd is, is de monding van het Haringvliet. Deze monding was de afgelopen decennia onderhevig aan grote veranderingen. In 1971 werd het binnenste deel van het Haringvliet estuarium afgesloten van de zee door de Haringvlietdam. In dezelfde periode werd de Maasvlakte aangelegd. Vervolgens vond er in 1986 een tweede landuitbreiding plaats door aanleg van het baggerdepot de Slufter en in 2013 werd de Tweede Maasvlakte officieel in gebruik genomen. De grootschalige morfologische veranderingen van de Grevelingen en Haringvliet estuaria en de effecten van grootschalige ingrepen zijn uitgebreid beschreven in Van der Spek en Elias (2021). Hieruit volgt dat bij de Grevelingen en het Haringvliet de buitendelta in zijn geheel landwaarts migreert. Er vindt grote erosie plaats aan de zeezijde en het sediment wordt landwaarts afgezet. Een goed inzicht in deze sedimentstromen is belangrijk voor het kustbeheer van de aangrenzende kustvakken (Maasvlakte, Voorne en Goeree). Het uitgevoerde onderzoek is niet direct gekoppeld aan een directe beheervraag of probleem in het interessegebied, maar heeft als doel de morfologische kennis van de Haringvlietmonding te vergroten zodat Rijkswaterstaat ook in de toekomst het kustbeheer hier efficiënt kan uitvoeren.

Om de doelstelling te bereiken zijn de volgende onderzoeksvragen opgesteld:

1. Hoe ziet de sedimenthuishouding van het gehele zeegat (vooroever, buitendelta en kust) eruit?
2. Wat zijn de volumeontwikkelingen van de banken in de Haringvlietmonding?
3. Wat is de volumeontwikkeling van de kustzone van de Tweede Maasvlakte?
4. Wat is de invloed van de menselijke ingrepen op de sedimenthuishouding?

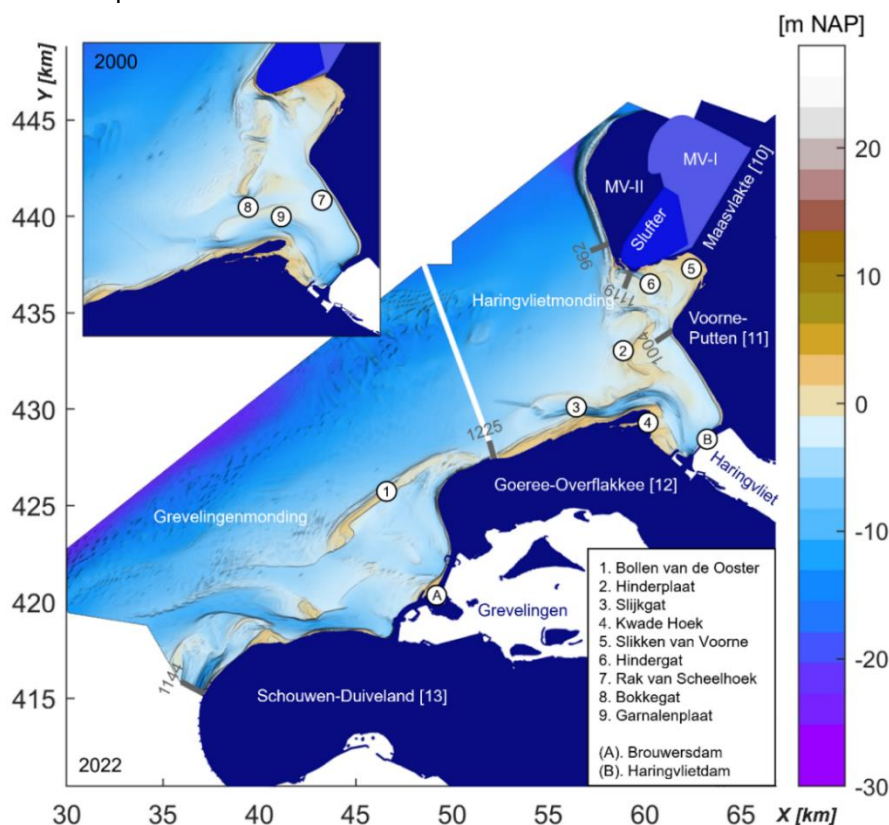
1.3 Opbouw van het onderzoek

In Hoofdstuk 2 wordt een overzicht gepresenteerd van de morfologie van de Haringvlietmonding. Hoofdstuk 3 geeft een overzicht van de gehanteerde data en methodiek. In Hoofdstuk 4 worden de uitkomsten van de volumeberekeningen gepresenteerd. De grootschalige analyse richt zich op de totale volumeveranderingen van de gehele buitendelta en vooroever van de Grevelingen- en Haringvlietmonding. Daarnaast zijn aanvullende kleinschalige analyses uitgevoerd voor individuele banken van de Haringvlietmonding en voor de kustzone van de Maasvlakte 2. De verkregen inzichten vormen de basis voor de conclusies en aanbevelingen in Hoofdstuk 5.

2 Morfologie van de Grevelingen- en Haringvlietmondning

2.1 Inleiding

Figuur 2-1 geeft een beeld van de mondingsgebieden van het Haringvliet en de zuidelijker gelegen Grevelingen. Het Slijkgat is de enige getijgeul die nog een directe (maar kleine) verbinding heeft met het achterliggende Haringvliet estuarium. Deze geul ligt langs de kust van Goeree en verbindt de uitwateringssluizen van het Haringvliet met de Noordzee. Voor de kust van Voorne liggen nog de overblijfselen van de oude hoofdgeul Rak van Scheelhoek. Deze geul is sinds de afsluiting van het Haringvliet voor een groot deel opgevuld met sediment (slib). Ten zuiden van het Slijkgat ligt de Kwade Hoek, een gebied bestaande uit (droogvallend) platen en duinen. Het grote, gedeeltelijk droogvallende plaatoppervlak dat zich vanaf de zuidwestzijde van de Maasvlakte zuidwaarts uitstrekt is eigenlijk een combinatie van verschillende platen die recentelijk samengegaan zijn. In deze studie refereren we aan dit platencomplex als de Hinderplaat. In het verleden, zie de bodemopname van 2000 (Figuur 2-1), waren de verschillende platen nog wel duidelijk te scheiden. Zo was de Hinderplaat de langgerekte, vrijwel rechte bank die zuidelijk van de Slufter de monding instak en overeenkomsten vertoont met de huidige Bollen van de Ooster in de Grevelingenmondning. Ten zuiden van de Hinderplaat, tussen het Bokkegat en Slijkgat, bevond zich de Garnalenplaat.



Figuur 2-1. Overzichtsfiguur van het studiegebied (op basis van de 2022-Vaklodningen) met de Grevelingenmondning in het zuidwesten en de Haringvlietmondning in het noordoosten. In het zuiden komt de grens van het studiegebied min of meer overeen met de Jarkusraai 1144 op Schouwen-Duiveland [kustvak 13] en de grens tussen de twee mondingsgebieden ligt bij raai 1225 op Goeree-Overflakkee [kustvak 12]. De inzet laat de morfologische situatie in de Haringvlietmondning voor 2000 (voor de MV-II uitbreiding) zien.

Het getij is dubbeldaags en propageert langs de kust richting het noorden. De gemiddelde getijslag neemt af van 2,50 m in de buitendelta van de Grevelingen tot 1,75 m bij Hoek van Holland in de monding van de Nieuwe Waterweg (Rijkswaterstaat, 2013). De meeste golven zijn wind-gedreven en hebben een gemiddelde significante golfhoogte van 1,3 m uit het westzuidwesten en een bijbehorende golfperiode van 5 seconden (Roskam, 1988; Wijnberg, 1995). Tijdens een storm kan de golfhoogte oplopen tot meer dan 6 m.

Samen met de mondingsgebieden van de Westerschelde en Oosterschelde vormen de Grevelingen- en Haringvlietmonding een aaneengesloten ondiepte die De Voordelta wordt genoemd (Elias & Van der Spek, 2014). De Voordelta is ontstaan als gevolg van de getijdestromingen in de voormalige zeegaten. Vroeger vormden de zeegaten namelijk een open verbinding tussen Noordzee en Rijn, Maas en Schelde. Bij vloed stroomde het water vanuit de Noordzee de zeegaten binnen en de ebstroom voorzag de buitendelta's van sediment dat door de rivieren werd aangevoerd. Samen met de golfwerking vanuit de Noordzee is er in de loop der eeuwen een patroon van geulen en banken ontstaan tot ruim 10 kilometer uit de kust. Door het afsluiten van de Brielse Maas (1950) en het (deels) afsluiten van de Oosterschelde (1986), de Grevelingen (1972) en het Haringvliet (1971) door de aanleg van de Deltawerken is dit kustgedeelte sterk aan veranderingen onderhevig geweest en de ontwikkelingen daarvan gaan nog steeds door. Ook de aanleg van Maasvlakte 1 (1974), de aanleg van het baggerspeciedepot Slufter (1987), en Maasvlakte 2 (2013) hebben effect gehad op de morfologie van het systeem.

2.2 De afsluiting van de Brielse Maas en het Brielse Gat

In de Haringvlietmonding lag in de 19^e eeuw het kleinere estuarium van de Brielse Maas (Figuur 2-2 – 1815). Het eiland Voorne scheidde het Haringvliet-estuarium van de Brielse Maas-estuarium. De Brielse Maas was een aftakking van de Nieuwe en de Oude Maas. Ter hoogte van de Vondelingenplaat kwamen de Oude Maas en de Nieuwe Maas samen en splitsten zich in de Brielse Maas en het Scheur. Het gebied ertussen was het eiland Rozenburg.

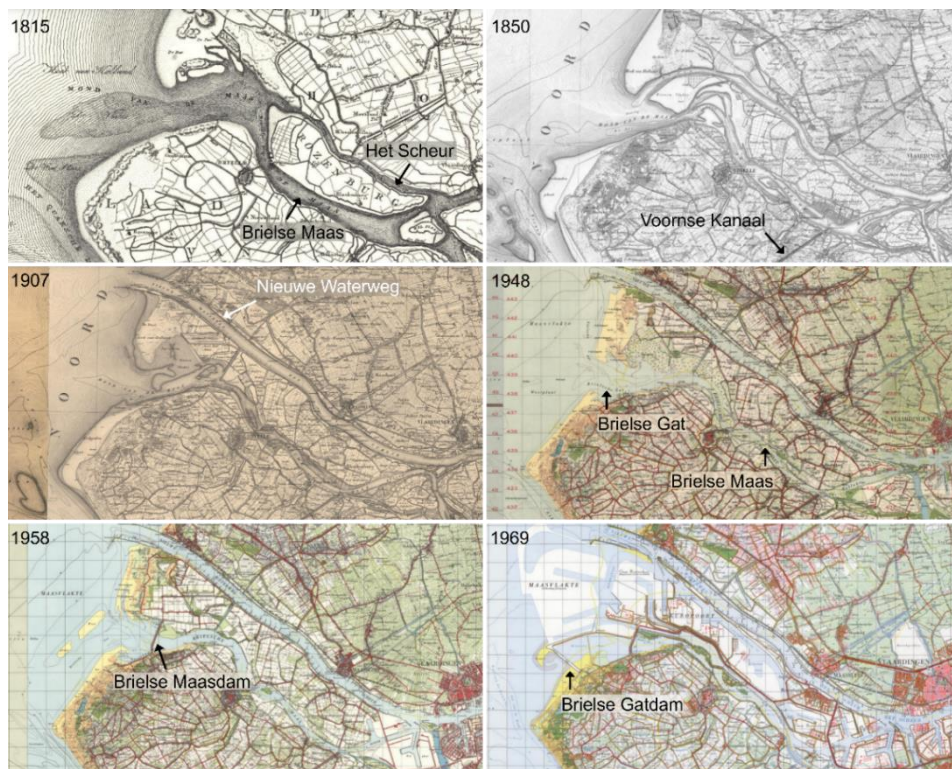
Door verzanding was de Maasmonding rond 1740 zo ondiep geworden, dat de meeste schepen moesten omvaren via het Haringvliet (en later zelfs via de Grevelingen of Oosterschelde). Deze verzanding kwam enerzijds door ontbossing sinds de 16^e eeuw (Stouthamer et al., 2015; Erkens & Cohen, 2009). Anderzijds was er een toename in sediment in het estuarium doordat de vorming van oeverswallen en de aanleg van dijken langs de rivier de afzetting van sediment in de uiterwaarden bovenstrooms verhinderde (Pierik et al., 2017). In 1731 werd voor het eerst voorgesteld om door de Hoek van Holland – een uitstulping aan het land in Zuidwestelijke richting – een kanaal te graven dat de rivier het Scheur met de zee verbindt. Dit plan werd niet uitgevoerd. In 1830 werd het Voornse Kanaal, dat loopt van Hellevoetsluis naar Nieuwesluis in gebruik genomen (Figuur 2-2 – 1850). In de periode daarna begon de stoomvaart zich te ontwikkelen en waren de sluisen te klein voor de grotere schepen. Bovendien begon de Haringvlietmonding ook te verzanden. In 1858 beval de Raad van den Waterstaat wederom aan om een kanaal door de Hoek van Holland te graven. Uiteindelijk voer in 1872 het eerste schip door de Nieuwe Waterweg (Figuur 2-2 – 1907).

De vroegste plannen voor de afdamming van de Brielse Maas komen uit 1858 en 1878 (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1937). Deze plannen hadden betrekking op het vergroten van de waterbeweging door het Scheur of door de mond van de Nieuwe Waterweg. In 1917, na de stormvloed van 1916, waren er plannen voor het afdammen van de Brielse Maas bij Oostvoorne om de hoogte van stormvloeden in de benedenrivieren te laten afnemen (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1937). In de jaren twintig en dertig

kwam er nog een nieuwe reden bij voor de afdamming: de verzilting van Zuidwest-Nederland. In 1937 had Johan van Veen een nota opgesteld over de afdamming van de Brielse Maas (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1937). Deze plannen hadden grote voordelen: de zoetwaterboezem die zou ontstaan (mede door de afsluiting van de achterliggende Botlek), zou de verzilting op Voorne, Putten en Rozenburg tegengaan. Bovendien zou het de stroomsnelheden in de Rotterdamse Waterweg laten toenemen (Van Veen, 1939), wat als gunstig werd gezien voor de bevaarbaarheid. Verder zou op goedkope wijze uitgestrekte landaanwinningen kunnen plaatsvinden en zouden verschillende nevenvoordelen voor het verkeer te land worden bereikt. De plannen werden doorontwikkeld in 1938 (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1939) en uiteindelijk geschiedde de afsluiting van de Brielse Maas door de Brielse Maasdam in 1950.

Het afdammen van de Brielse Maas beïnvloedde de morfologie van de Haringvlietmonding. Met name de getijdebewegingen werd beïnvloed door de afdamming. Rond 1960 hadden de geulen in de monding zich gevuld met modder en was hun oriëntatie verschoven van oost-west naar noord-zuid (Arcadis, 2022). Door de afsluiting werd de door golven gestuurde erosie van de buitendelta niet langer gecompenseerd door zand dat door het getij werd getransporteerd (zie ook H2.3). Hierdoor werd de buitendelta kleiner en breidde de Westplaat zich uit tot een zandbank. Cox et al. (2022) beschrijft de ontwikkeling van twee natuurlijke estuaria naar een dicht verstedelijkte delta in meer detail. Daarnaast wordt het effect van menselijke activiteiten op de morfologie door de tijd heen beschreven.

Door de aanleg van de Brielse Maasdam werd het Brielse Gat gescheiden van de rest van de Brielse Maas en werd het een soort baai van de Noordzee (Figuur 2-2 – 1958). In 1966 werd vervolgens het Brielse Gat afgesloten door de Brielse Gatdam. Tussen de Brielse Gatdam en de Brielse Maasdam ontstond het Oostvoornse Meer dat als zandwinningsgebied voor de aanleg van de Maasvlakte werd gebruikt.



Figuur 2-2. Topografische kaarten van het estuarium van de Brielse Maas vóór aanleg van de Brielse Maasdam (1815, 1850, 1907 en 1948), na aanleg van de Brielse Maasdam (1958) en na aanleg van de Brielse Gatdam (1969) (bron: Topotijdreis).

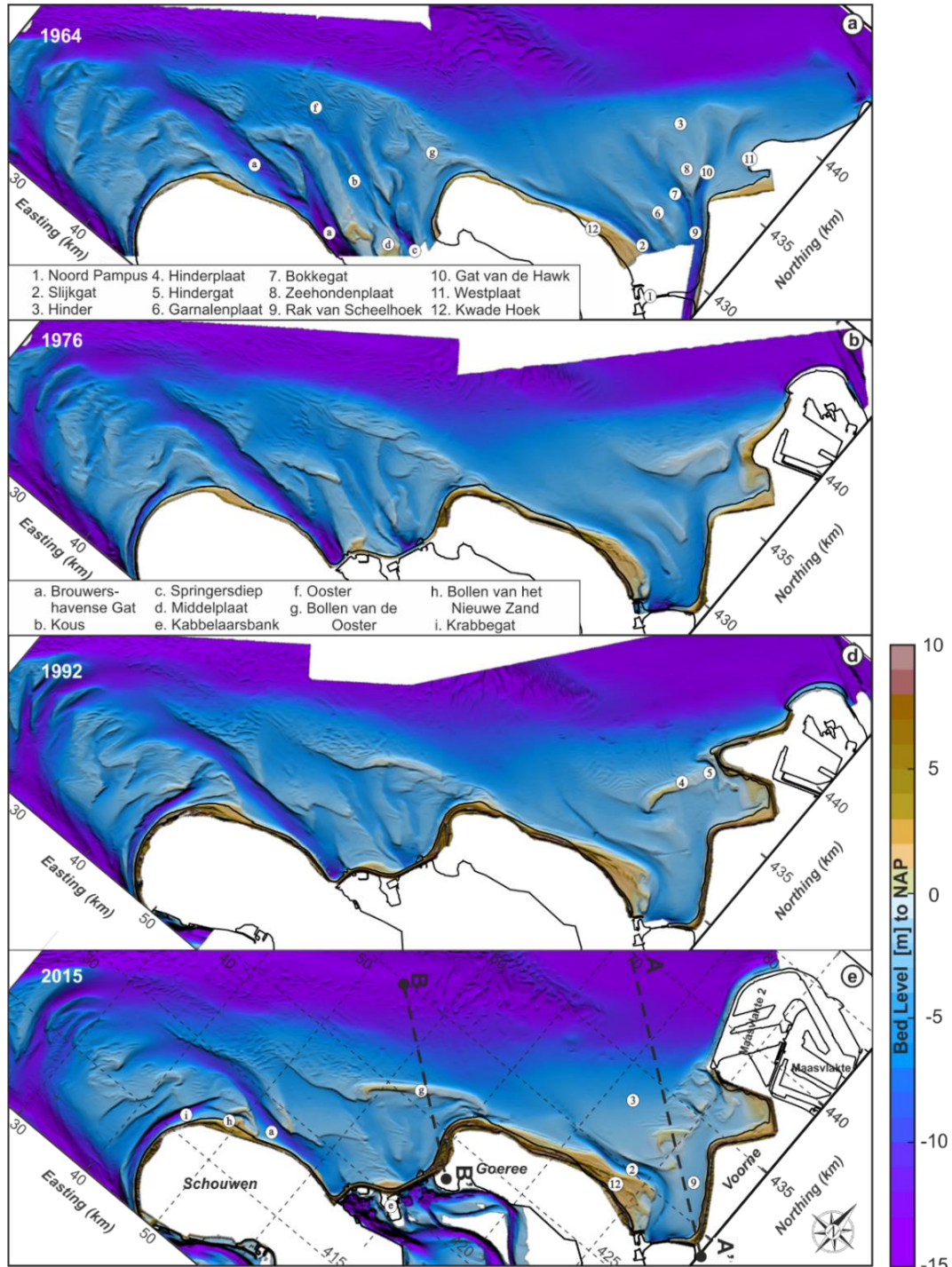
2.3 Morfologische veranderingen als gevolg van de Deltawerken

De grootschalige morfologische veranderingen van de Grevelingen en Haringvliet estuaria en de effecten van grootschalige ingrepen zijn uitgebreid beschreven in Van der Spek en Elias (2021). In deze studie worden de geobserveerde morfologische ontwikkelingen samengevat in een 3-fase conceptueel model (Figuur 2-3 en Figuur 2-4).

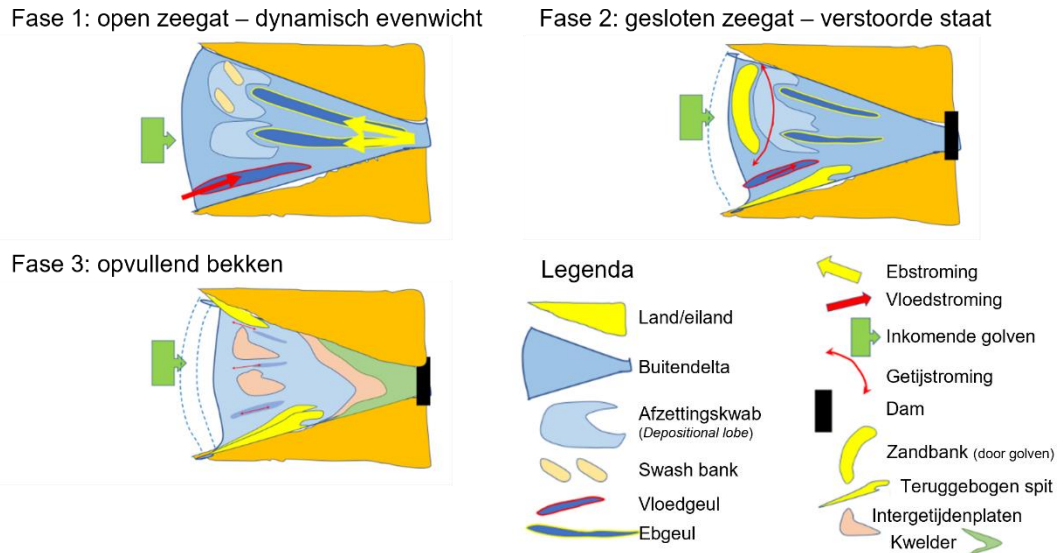
Getij- en golfgedreven transporten vormen de basis voor de morfologische ontwikkelingen. In de (deels) open Oosterschelde- en Westerscheldemonding bestaat het getij uit de interactie van het kustlangs getij op de Noordzee en het kustdwars getij in en uit het estuarium (dit noemen we in het vervolg estuarium-gedreven getij). De aanleg van de Haringvlietdam met spuisluizen (1971) en Brouwersdam (1972) hebben het Haringvliet en de Grevelingen vrijwel volledig van de voorliggende buitendelta afgesloten. Hierdoor is op deze buitendelta's alleen nog het kustlangse getij aanwezig. Dit kustlangs getij kan lokaal wel rondstroming veroorzaken maar deze rondstroming is significant kleiner dan het estuarium-gedreven getij dat voor afsluiting van de zeearmen aanwezig was. Door de gereduceerde getij-invloed overheersen hier de golfgedreven transporten. De invloed van dichtheidsgedreven sediment transporten is beperkt. Alleen in de monding van het Haringvliet zijn er (periodiek) duidelijke dichtheidsgradiënten in zoutgehalte te onderscheiden. Door de spuisluizen in de Haringvlietdam (met een maximale capaciteit van 25.000 m³/s) wordt zoet water vanuit de Nieuwe Waterweg en door het Haringvliet gespuid. Vooral bij hoge rivierafvoer kan dit tijdelijk (lokaal) een groot dichtheidsverschil veroorzaken.

Zowel bij de Grevelingen als het Haringvliet migreert de buitendelta in zijn geheel landwaarts. Er vindt grote erosie plaats aan de zeezijde en het sediment wordt landwaarts afgezet. De grootste afzettingen vinden plaats in de voormalige geulen die (gedeeltelijk) zijn opgevuld. Deze veranderingen zijn eigenlijk wel te verwachten: buitendelta's worden gevormd door de balans van zeewaarts transport door de getijstroming en landwaarts transport door golven (Fase 1, Figuur 2-4). Het is aannemelijk dat er voor uitvoering van de Deltawerken een dynamisch evenwicht aanwezig was. Met het totaal wegvallen van de getijstroming vanuit het Haringvliet en de Grevelingen is het dynamisch evenwicht van de buitendelta's verstoord. De nu dominante golfgedreven stroming zorgt ervoor dat het sediment netto landwaarts verplaatst: uit de buitendelta komt veel sediment vrij dat de geulen langzaam opvult, maar ook afgezet wordt langs de aanliggende kuststroken (Fase 2 en Fase 3, Figuur 2-4).

In de Haringvlietmonding is fase 3 van het conceptuele model al bereikt. Hier is de grote voorliggende bank (Hinderplaat) al doorbroken en verplaatst kleinere banken landwaarts. De Grevelingenmonding loopt morfologisch iets achter op de ontwikkeling van het Haringvliet.



Figuur 2-3. Morfologische veranderingen van de Haringvliet- en Grevelingenmondning tussen 1964 en 2015 (uit Van der Spek & Elias, 2021).



Figuur 2-4. Een generiek conceptueel model voor buitendelta ontwikkeling na afsluiting van het achterliggende estuarium (naar Van der Spek & Elias, 2021).

2.4 Aanleg van de Maasvlakte

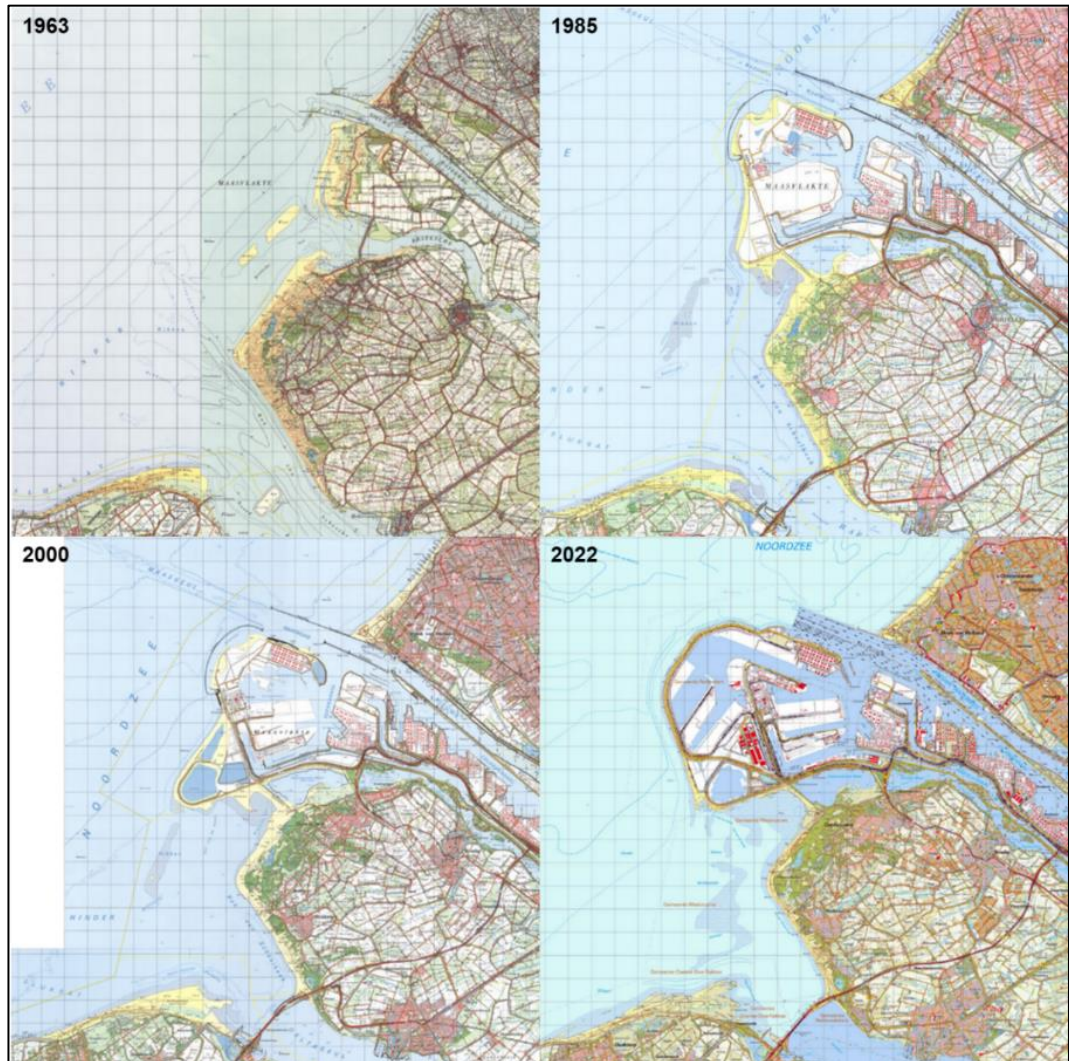
Begin jaren 1960 bezochten steeds meer schepen de Rotterdamse haven. Daarbij werd de afmeting van die schepen steeds groter, waardoor de Rotterdamse vaarwegen bij verdere groei geen doorstroming meer zouden kunnen bieden voor deze groeiende hoeveelheid (grotere) schepen. Het verbreden en verdiepen van de Nieuwe Waterweg zou geen oplossing bieden, aangezien dan nautische onveiligheid werd verwacht bij groeiende scheepvaart. Schepen zouden de Rotterdamse havens dan niet meer veilig kunnen bereiken en het grote aantal schepen op de vaarwegen zou voor opstoppingen zorgen wat langere vaartijden met zich mee zou brengen.

Hierdoor ontstond het plan om een uitbreiding van de haven in de Noordzee te realiseren: de (Eerste) Maasvlakte. Dit zou een groot haven- en industriegebied worden dat onderdeel is van de Rotterdamse haven. De Maasvlakte werd aangelegd in de monding van de Maas door een ringdijk aan te leggen waarbinnen zand uit de Noordzee werd opgespoten. De aanleg begon in de jaren zestig en in 1973 meerden de eerste schepen af. In 1974 was de Maasvlakte officieel gereed (Figuur 2-5, 1963 en 1985). Vervolgens is in 1986 en 1987 in het zuidwestelijke deel van de Maasvlakte een grote opslagplaats voor verontreinigde baggerspecie aangelegd: De Slufter (Figuur 2-5, 2000).

In 2008 de aanleg van de Tweede Maasvlakte begonnen. Om de concurrentiepositie van Rotterdam in de toekomst te garanderen was de aanleg van de Tweede Maasvlakte nodig. Met dit nieuwe gebied werd de haven 20% groter. De Tweede Maasvlakte werd in 2013 officieel in gebruik genomen, steekt zo'n 6 km zeewaarts uit de Noordzee in en heeft een oppervlakte van 2.000 hectare (Figuur 2-5, 2022).

Op ca. 30 km zeewaarts van Hoek van Holland ligt het Europlatform. Hier worden onder andere golfhoogtes gemeten. Op deze locatie komen golven met name uit het zuidwesten of noorden, overeenkomend met de windrichting van de overheersende wind in Nederland. Arcadis (2022) laat zien dat ter plaatse van de Hinderplaat iets minder golven uit het noorden komen door de ligging ten zuiden van de Slufter en Maasvlakte. Door golfrefractie (golven buigen bij door de vorm van de Maasvlakte en door het ondieper worden naar de kust toe), komen hier nog wel relatief veel golven uit het noordnoordwesten. Ter plaatse van het zuidwestelijker gelegen Slijkgat is de beschutte werking van de Slufter en Maasvlakte minder

sterk. Verder concludeert Arcadis (2022) dat de aanwezigheid van de Tweede Maasvlakte geen significante verandering van in het golfklimaat in de Haringvlietmonding heeft veroorzaakt. Alleen het gebied direct ten zuiden van de Slufter zal het golfklimaat wel veranderd zijn door de aanwezigheid van de Tweede Maasvlakte. Hoe dat de zandverspreiding richting de Brielse Gatdam heeft beïnvloed is niet onderzocht.



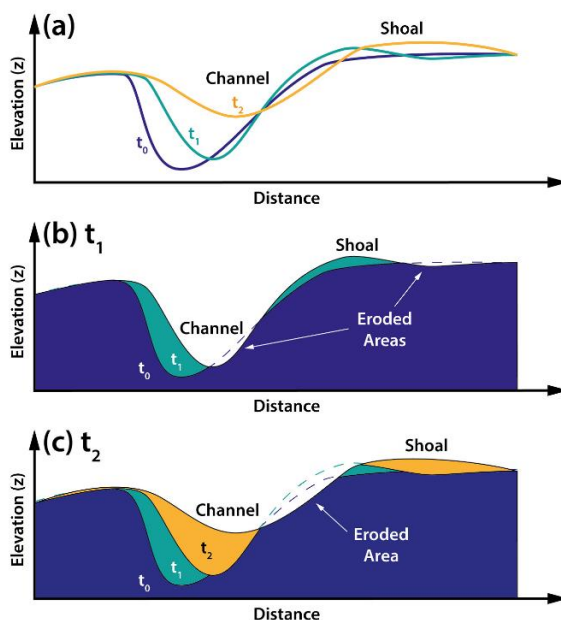
Figuur 2-5. Topografische kaarten van (1) vóór de aanleg van MV-I (1963) (2) de Eerste Maasvlakte (1985) (3) De Slufter (2000) en (4) de Tweede Maasvlakte (2022) (bron: Topotijdreis).

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 grootschalige analyse richt zich op de totale volumeveranderingen van de gehele buitendelta en vooroever van de Grevelingen- en Haringvlietmonding. Daarnaast zijn aanvullende kleinschalige analyses uitgevoerd voor individuele banken van de Haringvlietmonding en voor de kustzone van de Maasvlakte 2.

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). In deze studie zijn analyses gedaan op drie verschillende niveaus (een grootschalige analyse en een kleinschalige analyse van de Grevelingen- en Haringvlietmonding en een kleinschalige analyse van de Tweede Maasvlakte). Hiervoor zijn drie verschillende tijdseries gebruikt en voor elk van de drie analyses is een aparte inactieve bodem bepaald. Dit staat in detail beschreven in paragraaf 3.2. 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 passieve 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) 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 1963 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 (ruimtelijke) 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 gekeken of er in alle jaren in de beschouwde periode een bodemwaarde aanwezig is. Als een waarde ontbrak in één van de jaren is het punt niet meegenomen in de analyse. Het gebied waar de Maasvlakte (1 en 2) is aangelegd is hierbij niet meegenomen in de bepaling van de inactieve bodem.

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 minimum meest zeewaartse begrenzing van de vaklodingen gebruikt (dit komt overeen met de zeewaartse begrenzing van de inactieve bodem zoals weergegeven in B). De oostelijke en westelijke begrenzing is zodanig gekozen dat de Maasvlakte, en de buitendelta's van de Grevelingenmondning en Haringvlietmondning binnen het gebied liggen. Deze begrenzingen liggen vast voor alle uitgevoerde analyses.

Stap 4 – Berekening dikte sedimentpakket

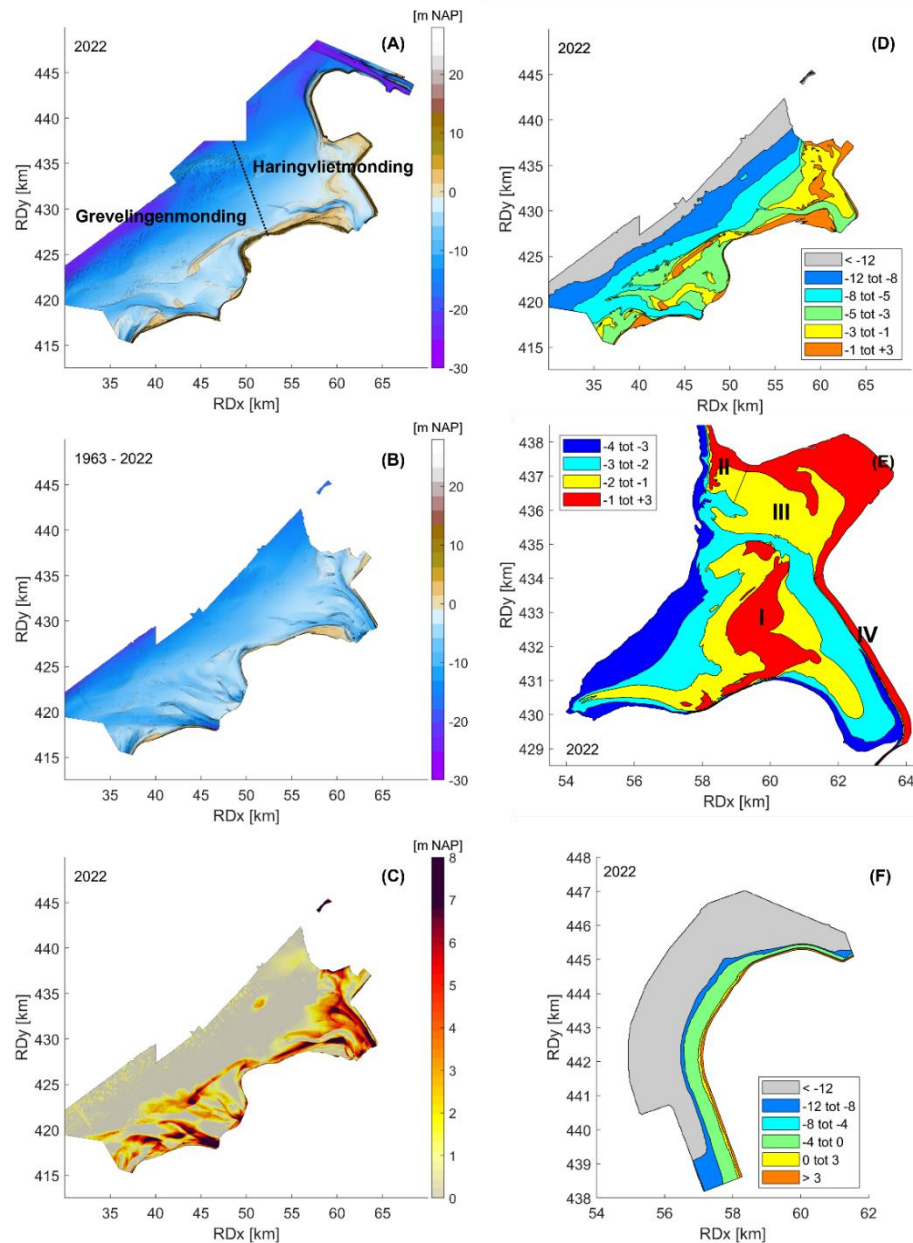
Voor iedere bodemkaart is het verschil met de inactieve bodem uitgerekend (Figuur 3-2C). Dit verschil representeert de dikte van de actieve sediment laag in het jaar van de kaart. Voor de verschillende deelpolygonen kan dan de sedimenthoeveelheid binnen de contour uitgerekend worden (Figuur 3-2D, E en F).

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 en varieert per schaalniveau. Op de grootste schaal zijn de -12, -8, -5, -3, -1 en +3 m NAP contouren gebruikt voor de afbakening (Figuur 3-2D). De zone NAP -12 m contour is de diepst gelegen contour die nog te volgen is in alle metingen, terwijl de +3 m NAP contourlijn geeft voor alle bodemkaarten een min of meer gelijke afbakening op het land. De -5 m NAP contour is de diepste contour waarbij de buitendelta als platform te onderscheiden is van de kustzone. De zone dieper dan -12 m NAP tot de zeewaartse begrenzing representeert de diepe vooroever. De zone -12 tot -5 m NAP wordt representatief gezien als vooroever. De buitendelta is gedefinieerd als de zone -5 tot de +3 m NAP contour. Kwantificering van

individuele banken op de buitendelta (Figuur 3-2E) is gebaseerd op de -4 tot -1 m NAP contouren (met een interval van 1 m). Voor alle contouren geldt dat alleen de bankgebieden groter dan 2 km² (= 50 roosterpunten binnen het Vaklodingen rooster) individueel zijn gekwantificeerd. Kwantificering van de volumes van de kustzone van de Tweede Maasvlakte is gebaseerd op een analyse van de volumes tussen de -12 en -8 m NAP, -8 en -4 m NAP, -4 en 0 m NAP, 0 en 3 m NAP en ondieper dan 3 m NAP (tot maximaal +10 m NAP) (Figuur 3-2F). Deze diepteklassen komen overeen met de schillen die gebruikt worden voor het onderhoud van de Maasvlakte en representeren het ondiepe kustfundament (-12 tot -8 m), de vooroever (-8 tot -4 m), de strandoever (-4 tot 0 m en 0 tot 3 m) en de duinen (>3 m).



Figuur 3-2. Een overzicht van de methode ter berekening van de sedimentvolumes. (A) Gemeten bodemligging in 2022 en afbakening van het studiegebied (B) inactieve bodemligging 1963-2022 (C) Berekende dikte van de sediment laag t.o.v. de inactieve bodemligging (2022-inactieve bodem) (D) Voorbeeld van deelpolygonen voor berekening van de volumes in 2022 (E) Voorbeeld van de deelpolygonen van de Haringvlietmonding voor berekening van de volumes in 2022 (I Hinderplaat | II Spit Maasvlakte-Zuid | III Slikken van Voorne | IV Kust van Rockanje) en (F) Voorbeeld van de deelpolygonen voor de berekening van de volumes van de Maasvlakte-II in 2022.

3.2 Bodemmetingen

3.2.1 Grootschalige analyse van de Grevelingen- en Haringvlietmonding

De analyse is uitgevoerd over de periode 1963 tot en met 2022. Deze periode kan verder worden opgedeeld in vier deelperioden, aangezien het studiegebied sterk beïnvloed is door de aanleg van de Eerste Maasvlakte (MV-I), de Slufter en de Tweede Maasvlakte (MV-II) (zie ook Figuur 2-5);

- Periode A is de periode vóór aanleg van MV-I (1963),
- periode B is de periode met de MV-I (1967, 1972, 1976, 1980, 1984),
- periode C is de periode met MV-I en de Slufter (2000, 2006) en
- periode D is de periode met MV-II (2009, 2012, 2015, 2019, 2022) .

Een overzicht van de beschikbare, gebiedsdekkende bodemdata wordt voor ieder van de vier perioden weergegeven in Tabel 3-1 en Appendix C.1. In de periode 1963-1984 zijn de bodemkaarten al gebiedsdekkend aangeleverd door Rijkswaterstaat. Vanaf 2000 moeten verschillende jaren gecombineerd worden om een gebiedsdekkende kaart te verkrijgen. In het algemeen wisselt het inmeten van de Grevelingen- en Haringvlietmonding elkaar af. Er zijn meestal drie jaren nodig om een gebiedsdekkende kaart te verkrijgen. Het representatieve jaar is gebaseerd op de meting van de Haringvlietmonding. Tabel 3-1 laat zien uit welke data deze mozaïeken zijn opgebouwd. Het gekozen representatieve jaar is gebaseerd op de metingen van de Haringvlietmonding.

Tabel 3-1. Overzicht van jaren van de data die zijn gebruikt voor het maken van gebiedsdekkende data voor de grootschalige analyse.

	Representatieve jaar (zoals genoemd in tekst)	Jaren waaruit deze data bestaan
Periode A (vóór MV-I)	1963	1963
Periode B (MV-I)	1967	1967
	1972	1972
	1976	1976
	1980	1980
	1984	1984
Periode C (MV-I + Slufter)	2000	2000, 1999, 1998
	2006	2006, 2005, 2004, 2003
Periode D (MV-II)	2009	2009, 2008, 2007
	2012	2012, 2011, 2010
	2015	2015, 2014, 2013
	2019	2019, 2018, 2017
	2022	2022, 2021, 2020

3.2.2 Kleinschalige analyse van de Haringvlietmonding

Er is naast een grootschalige analyse van de Grevelingen- en Haringvlietmonding ook een kleinschalige analyse van enkel de Haringvlietmonding gedaan. Deze analyse richt zich op het in kaart brengen van de volumeveranderingen van de verschillende bankcomplexen die in de monding aanwezig zijn: het bankencomplex van de Hinderplaat en Garnalenplaat, de spitvormige bank ten zuiden van de Slufter en Tweede Maasvlakte, de Slikken van Voorne en de kust van Rockanje. Aanvullend op de bodemkaarten zoals gepresenteerd in voorgaande paragraaf zijn er nog enkele aanvullende datasets beschikbaar (Tabel 3-2 en Appendix C.2). Voor deze kleinschalige analyse bevat de inactieve bodem ook deze

aanvullende datasets. Voor de analyses nabij de kust (m.u.v. de Hinderplaat/Garnalenplaat) zijn de data van 1999, 2004 en 2009 buiten beschouwing gelaten aangezien deze data hier niet volledig dekkend was. Dit betekent dat de absolute sedimentvolumes iets af kunnen wijken van de grootschalige analyse. De volumeverandering is in beide analyses gelijk.

Tabel 3-2. Overzicht van jaren van de extra data (naast de data uit Tabel 3-1) die zijn gebruikt voor het maken van gebiedsdekkende data voor de kleinschalige analyse van de Haringvlietmonding.

	Jaren
Periode B (MV-I)	1970, 1979
Periode C (MV-I + Slufter)	1990, 1991, 1992, 1994, 1995, 1997, 1998, 1999, 2001, 2003, 2004

3.2.3 Kleinschalige analyse van de Tweede Maasvlakte

Een aanvullende analyse van de morfologische ontwikkeling van de Tweede Maasvlakte is uitgevoerd met behulp van de jaarlijks beschikbare projectmetingen, vergelijkbaar met vergrilde JarKus data (Tabel 3-3) Ook voor deze aanvullende analyse is weer een aparte inactieve bodem opgesteld op basis van de jaarlijkse opnamen.

Tabel 3-3. Overzicht van jaren van de data die zijn gebruikt voor het maken van gebiedsdekkende data voor de kleinschalige analyse van de Tweede Maasvlakte.

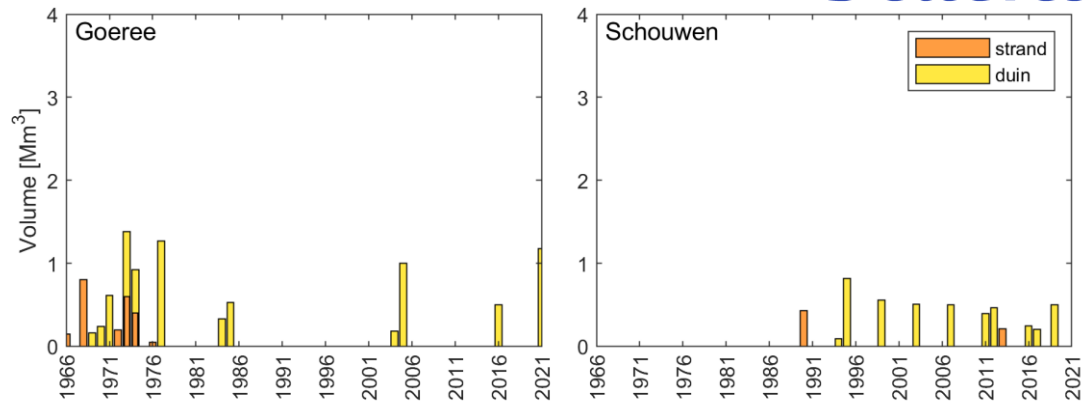
	Jaren
Periode D (MV-II)	2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022

3.3 Suppleties

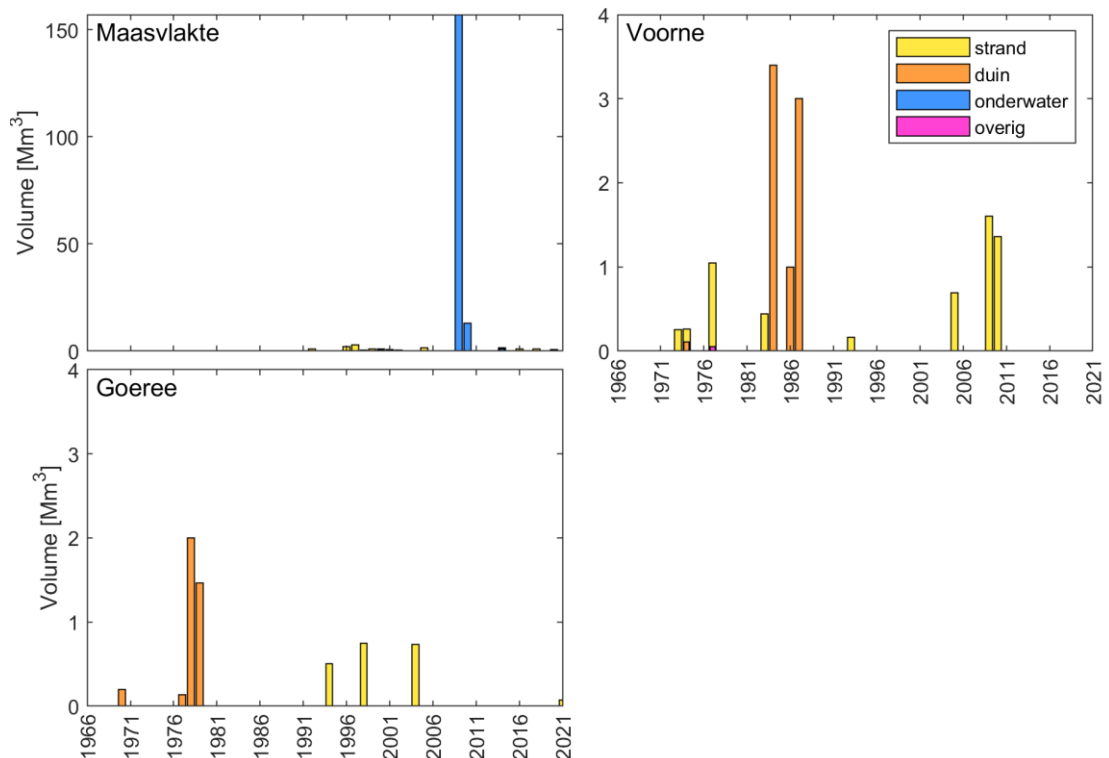
De Grevelingenmonding beslaat de kustvakken Schouwen-Duiveland (kustvak 13) en Goeree-Overflakkee (kustvak 12) tot JarKusraai 1225 (Figuur 2-1). Hier wordt vanaf de jaren 1960 gesuppleerd (Figuur 3-3). De Haringvlietmonding beslaat de kustvakken Goeree-Overflakkee vanaf raai 1225, Voorne-Putten (kustvak 11) en de Maasvlakte (kustvak 10). Hier wordt vanaf de jaren 1970 gesuppleerd (Figuur 3-4). In Appendix A staat het suppletieoverzicht voor de Grevelingen- en Haringvlietmonding.

In totaal is er in het hele studiegebied 222,6 miljoen m³ zand gesuppleerd tussen 1966 en 2022. Hiervan is er 15,4 miljoen m³ in de Grevelingenmonding gesuppleerd en 207,1 miljoen m³ in de Haringvlietmonding. Het suppletievolume van de Haringvlietmonding is inclusief de aanleg van de Slufter en Tweede Maasvlakte (187,9 miljoen m³). De verdeling van de totale volumes over de andere kustvakken is: 4,9 miljoen m³ in Schouwen, 16,4 miljoen m³ in Goeree (waarvan 10,5 miljoen m³ in de Grevelingenmonding en 5,9 miljoen m³ in de Haringvlietmonding) en 13,4 miljoen m³ in Voorne.

Voor de kustvakken in de Grevelingenmonding betreft het strandsuppleties en duinverzwaringen (Figuur 3-3). In de Haringvlietmonding zijn ook onderwatersuppleties uitgevoerd bij de Maasvlakte (Figuur 3-4).



Figuur 3-3. Suppletievolumes tussen 1966 en april 2023 in de kustvakken bij de Grevelingenmond (Schouwen [13] en Goeree [12] tot raai 1225) per suppletietype: strandsuppletie, duinverzwaring.



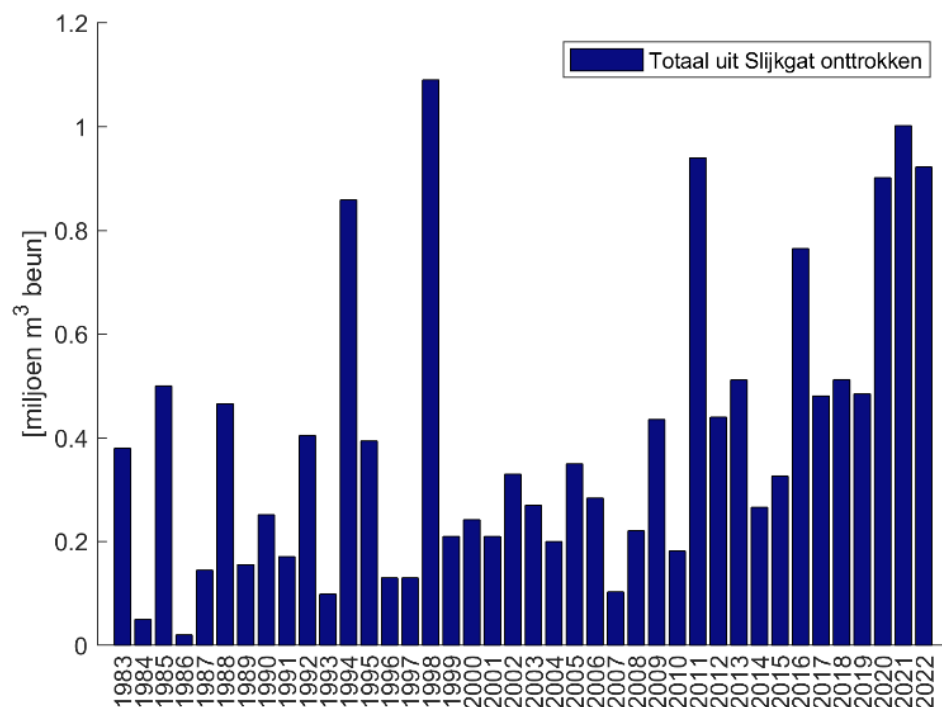
Figuur 3-4. Suppletievolumes tussen 1966 en april 2023 in de kustvakken bij de Haringvlietmond (Goeree [12] vanaf raai 1225, Voorne [11] en Maasvlakte [10]) per suppletietype: strandsuppletie, duinverzwaring, onderwatersuppletie en overig.

3.4 Bagger- en stortgegevens

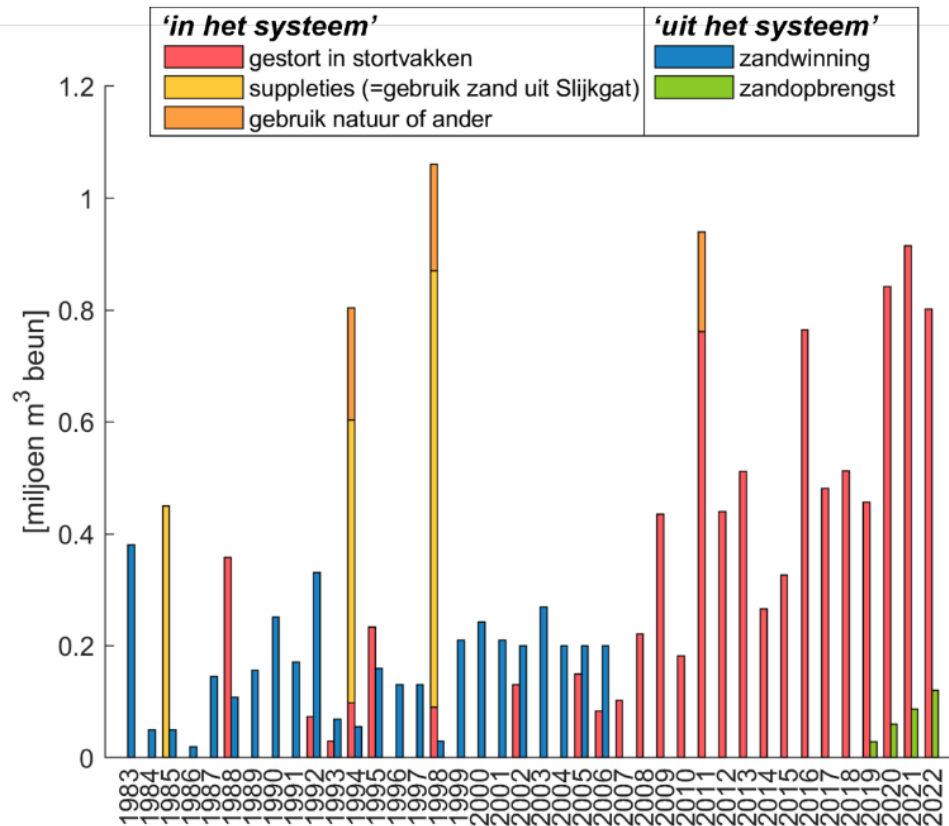
Het Slijkgat is de enige getijgeul die nog een directe (maar kleine) verbinding heeft met het achterliggende Haringvliet estuarium. Deze geul ligt langs de kust van Goeree en verbindt de uitwateringssluizen van het Haringvliet met de Noordzee. De vaargeul naar de haven van Stellendam loopt door deze getijgeul. Deze haven staat bekend als 'getijdenhaven', wat betekent dat grotere schepen alleen met hoogwater door de vaargeul kunnen varen. De geul wordt voortdurend gevuld met zand en slib; niet alleen vanaf de zee wordt zand en slib aangevoerd, maar ook vanaf de Maas en de Rijn. Bij hoge rivierafvoer wordt sedimentrijk Maas- en Rijnwater door de Haringvlietsluizen gespuid. Het gevolg is aanslibbing in het Slijkgat. De visserij, scheepswerven, toeleveranciers, technische bedrijven, visserijschool en dergelijke zijn sterk afhankelijk van de bevaarbaarheid van het Slijkgat. Daarom wordt de

vaargeul sinds begin jaren tachtig op diepte gehouden (Figuur 3-5, Appendix B). In de loop der jaren zijn er verschillende vaarwegprofielen onderhouden, variërend van een 200 m brede vaargeul op -4,5 m NAP (tot 1985) tot een 100 m brede vaargeul op -5,5 m NAP (sinds 2009). Voorheen werd het baggeren gecombineerd met zandwinning voor toepassingen buiten 'het systeem'. Tussen 1983 en 2006 is er 3,97 miljoen m³ beun zand gewonnen. Vervolgens is er met de zandwinning gestopt omdat de keuze is gemaakt om het sediment 'in het systeem' te houden. Sinds 2005 wordt het gebaggerde sediment verspreid in een verspreidvak op de diepere vooroever (ca. -10 m NAP). Tussen 2005 en 2022 is er ruim 8 miljoen m³ beun zand in het vak verspreid. Sinds 2019 wordt er weer zand gewonnen. In totaal is er in 2019 en 2022 0,6 miljoen m³ uit het systeem gehaald.

In totaal is er in de periode 1983 t/m 2022 15,84 miljoen m³ beun uit het Slijk gat onttrokken. Hiervan is 4,27 miljoen m³ beun uit het systeem gehaald (zandwinning) en 11,57 miljoen m³ beun van het gebaggerde sediment binnen het systeem herverdeeld in de vorm van verspreidingen, nuttige toepassingen zoals suppleties (=zand uit Slijk gat gebruikt voor suppleties) en gebruik natuur of ander gebruik (Figuur 3-6). De baggerhoeveelheden voor de periode 1983 t/m 2022 zijn gemiddeld 395.891 m³ beun/jaar. Sinds 2009 is er een duidelijk stijgende trend te zien in de baggerhoeveelheden. Mogelijk heeft dit te maken met het diepere vaarwegprofiel dat sinds 2009 wordt onderhouden.



Figuur 3-5. Gebaggerde hoeveelheden Slijk gat tussen 1983 en 2022.

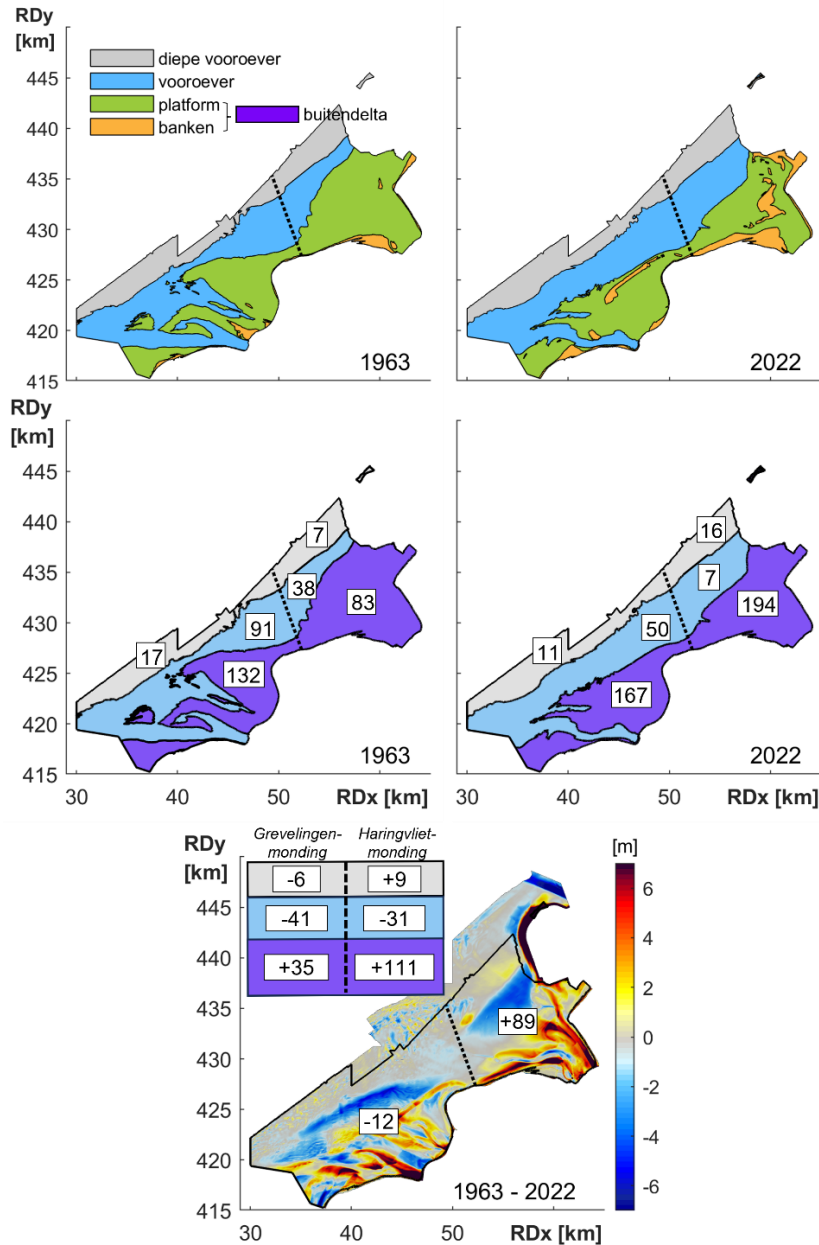


Figuur 3-6. Gebaggerde hoeveelheden Slielgat tussen 1983 en 2022 opgesplitst in volumes 'uit het systeem' onttrokken (door zandwinning en zandopbrengst) en 'in het systeem' herverdeeld (suppleties, gebruik natuur of ander, gestort).

4 Volumebalansen

4.1 Grootschalige analyse van de Grevelingen- en Haringvlietmondning

Figuur 4-1 laat de sedimentatie- en erosiepatronen binnen de Grevelingen- en Haringvlietmondning zien voor de periode 1963-2022. Wat opvalt is dat er landwaarts in de geulen en op de platen sedimentatie plaatsvindt, terwijl er zeewaarts sterke erosie plaatsvindt. De aanleg van de Maasvlakte is zichtbaar als sterke sedimentatie. Aan de noordwestkant van de Tweede Maasvlakte, zeewaarts van de vooroeverpolygoon, vindt erosie plaats.



Figuur 4-1. Boven: overzicht van de diepe vooroever, de vooroever en de buitendelta (bestaande uit het platform en de banken) voor de Grevelingen- en Haringvlietmondning voor 1963 en 2022. Midden: absolute volumes binnen de diepe vooroever (< -12 NAP), vooroever (-12 tot -5 m NAP) en buitendelta (-5 tot +3 m NAP) voor 1963 en 2022. Onder: de sedimentatie-erosie patronen (rood = sedimentatie, blauw = erosie) voor de periode 1963-2022 (+ samenvatting van de volumeveranderingen).

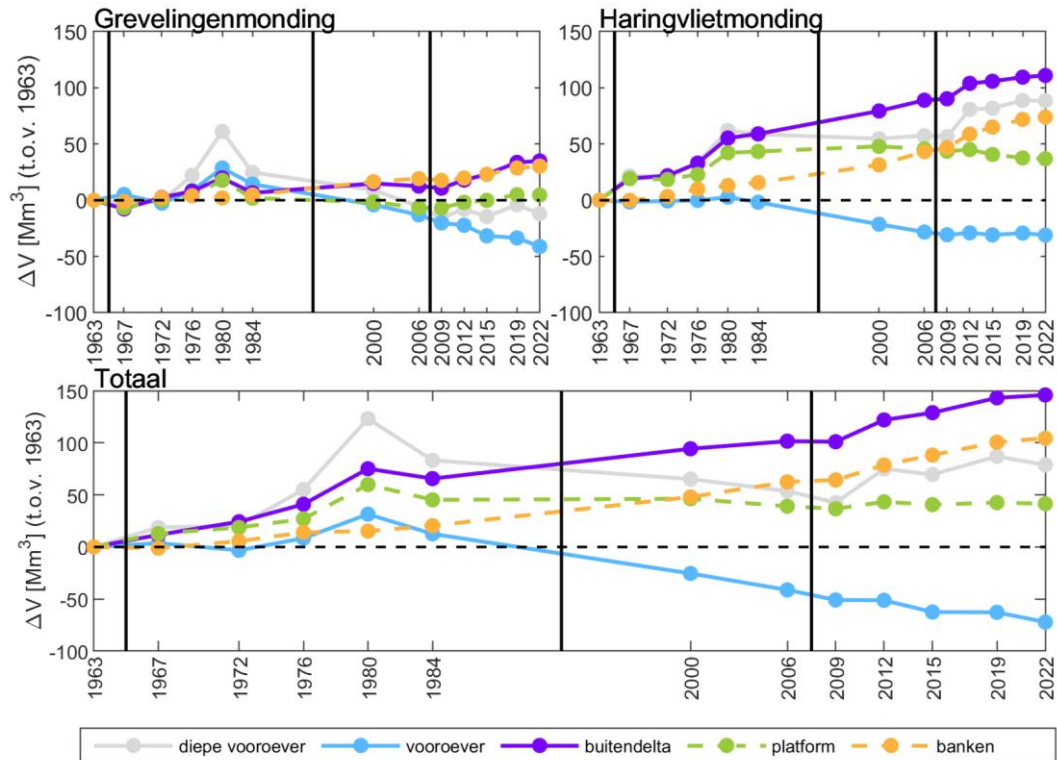
Gemiddeld bedraagt het actieve sedimentvolume van de Haringvliet- en Grevelingenmondning 296 miljoen m³ tussen 1963 en 2022. Dit sedimentvolume is vrijwel gelijk verdeeld over beide mondingen: 150 miljoen m³ in het Haringvliet en 147 m³ in de Grevelingenmondning. Het sedimentvolume van de Grevelingenmondning is over de gehele periode nagenoeg gelijk gebleven (een klein verlies -6 miljoen m³), terwijl de Haringvlietmondning juist sterk in volume is toegenomen (+80 miljoen m³).

De totale volumeverandering in de Grevelingenmondning is beperkt, maar er vindt wel een grote herverdeling van het sediment plaats. De diepe vooroever (dieper dan -12 m NAP) en vooroever (-12 tot -5 m NAP) verliezen sediment (-47 miljoen m³) terwijl de buitendelta en de daarop aanwezige banken (-5 tot +3 m NAP) in volume toenemen (+35 miljoen m³). Het merendeel van de erosie (41 miljoen m³) vindt plaats in de vooroever door het terugtrekken van het front van de voormalige buitendelta. Dit terugtrekken is duidelijk zichtbaar als het blauwe vlak in de sedimentatie-erosiepatronen (Figuur 4-1). De tijdserie van volumeontwikkeling in de Grevelingen (Figuur 4-2) laat een tweedeling in gedrag zien. Het totale sedimentvolume neemt initieel toe met +61 miljoen m³ van 1963 tot 1980 (van 240 miljoen m³ tot 301 miljoen m³). Opvallend is wel de hoge piekwaarde in 1980 welke significant hoger ligt dan het volume van de twee omliggende jaren. Het is mogelijk dat deze piek in het echt niet is opgetreden maar door meetonnauwkeurigheden wordt veroorzaakt. Sinds 1980 nemen de volumes weer af. De eroderende trend zet vervolgens door tot 2009 waarbij een minimum volume van 224 miljoen m³ wordt bereikt. Sinds 1990 vertoont de volumeontwikkeling een fluctuerend karakter met opeenvolgende perioden van kleine erosie en sedimentatie met netto een klein sedimentarend volume (+0,36 miljoen m³/jaar).

De kentering van erosie naar sedimentatie wordt veroorzaakt door een versnelling van de aanzanding van de buitendelta sinds 2009, terwijl de erosie van de vooroever met nagenoeg gelijke snelheid doorzet.

In tegenstelling tot de vrijwel sluitende volumebalans van de Grevelingenmondning, vertoont de Haringvlietmondning een sterke toename in sedimentvolume. Deze toename vindt met name plaats over twee perioden. Ten eerste neemt het volume tussen 1963 en 1980 toe met 62 miljoen m³. Deze toename is voornamelijk het resultaat van de toename in sedimentvolume van de buitendelta (+55 miljoen m³), terwijl de vooroever volumes vrijwel stabiel blijven. Deze sterke groei wordt gevolgd door een periode van stabilisatie (1980-2009). De netto volumeverandering is in deze periode beperkt, maar dit betekent niet dat er geen morfologische verandering zijn opgetreden. Ten tweede neemt het volume van de buitendelta in de periode 1980-2009 sterk toe (+ 35 miljoen m³), maar deze toename is vrijwel gelijk aan de erosie van de vooroever (-33 miljoen m³). De totale, netto, volumeverandering is dan beperkt. Na 2009 neemt de netto volumeverandering dan weer toe. Dit komt vooral doordat de erosie van de vooroever reduceert, maar de buitendelta volumes nog steeds toenemen.

Op basis van het geobserveerde volumeverloop zou de conclusie getrokken kunnen worden dat erosie van de vooroever de sedimentatie van de buitendelta verklaart over de periode 1980-2009. Na 2009 is dit niet meer het geval. De vooroever levert dan niet het sediment voor de geobserveerde aanzanding. Het gesuppleerde zand voor de aanleg en het onderhoud van de Tweede Maasvlakte fungeert mogelijk als een sedimentbron. Dit betreft echter maar een paar miljoen m³ (zie ook paragraaf 4.3). Er zal dus ook sediment van buitenaf worden aangevoerd. De aanzanding die optreedt vóór 1980 kan niet direct worden verklaard uit de hier gepresenteerde balans. In deze periode nemen zowel de Grevelingenmondning en het Haringvliet in volume toe. Dit zou betekenen dat hier dan sediment vanaf de Oosterscheldmondning moet zijn aangevoerd.



Figuur 4-2. Het absolute, actieve volume binnen de diepe vooroever, de vooroever en de buitendelta (bestaande uit het platform en de banken) en de omhullende totaalpolygoon (zie Figuur 4-1) voor de Grevelingenmondning, de Haringvlietmondning en het totaal ten opzichte van 1963 voor 1963 t/m 2022. Met 'absoluut' wordt bedoeld dat wanneer bijvoorbeeld de banken binnen het platform liggen, dat voor het platformvolume dit bankenvolume niet is meegenomen. De verticale lijnen onderscheiden de vier perioden: vóór MV-I, MV-I, MV-I & de Slufter en MV-II. De datapunten zijn door lijnen met elkaar verbonden. Dit kan de suggestie wekken dat er sprake is van een lineaire toe- of afname. Dit hoeft echter niet het geval te zijn.

Tabel 4-1. Actieve sedimentvolumes [Mm^3] binnen de vooroever, de buitendelta (bestaande uit het platform en de banken) en de omhullende polygoon van de Grevelingenmondning voor de periode 1963-2022.

	Diepe vooroever (miljoen m^3)	Vooroever (miljoen m^3)	Buitendelta (miljoen m^3)			Totaal monding (miljoen m^3)
			Platform	Banken	Totaal	
1963	16,59	91,02	121,42	10,63	132,05	239,66
1967	16,29	96,13	114,87	9,48	124,35	236,77
1972	15,88	88,41	121,64	12,85	134,49	238,78
1976	22,10	99,60	125,49	14,57	140,06	261,75
1980	29,27	119,71	139,10	12,76	151,86	300,85
1984	20,47	105,31	123,27	15,35	138,62	264,40
2000	14,76	86,99	119,82	27,14	146,96	248,72
2006	11,61	78,05	114,75	29,88	144,63	234,28
2009	10,44	70,86	114,52	28,26	142,78	224,07
2012	12,83	68,82	119,64	30,40	150,04	231,68
2015	10,68	59,39	121,36	33,73	155,09	225,16
2019	12,45	57,51	126,38	39,36	165,74	235,70
2022	10,87	49,90	126,00	40,97	166,97	227,74
Gemiddeld	15,71	82,44	122,17	23,49	145,66	243,81

Tabel 4-2. Actieve sedimentvolumes [Mm^3] binnen de vooroever, de buitendelta (bestaande uit het platform en de banken) en de omhullende polygoon van de Haringvlietmonding voor de periode 1963-2022.

	Diepe vooroever (miljoen m^3)	Vooroever (miljoen m^3)	Buitendelta (miljoen m^3)			Totaal Monding (miljoen m^3)
			Platform	Banken	Totaal	
1963	7,26	37,85	77,62	5,39	83,02	128,12
1967	10,99	36,36	96,94	5,37	102,31	149,66
1972	7,80	37,22	96,07	8,73	104,8	149,82
1976	7,85	37,67	100,54	15,48	116,01	161,53
1980	11,36	40,59	119,84	18,48	138,33	190,28
1984	8,68	36,09	121,01	21,06	142,07	186,84
2000	3,94	16,46	125,52	36,87	162,39	182,79
2006	4,02	9,62	123,33	48,64	171,96	185,60
2009	4,30	7,17	121,2	52,07	173,27	184,74
2012	13,06	8,89	122,71	64,23	186,94	208,89
2015	14,11	7,04	118,33	70,5	188,83	209,98
2019	15,74	8,65	115,23	77,25	192,48	216,86
2022	15,76	6,87	114,57	79,43	193,99	216,62
Gemiddeld	9,60	22,34	111,76	38,73	150,49	182,44

Tabel 4-3. Actieve sedimentvolumes [Mm^3] binnen de vooroever, de buitendelta (bestaande uit het platform en de banken) en de omhullende polygoon van de Grevelingen- en Haringvlietmonding voor de periode 1963-2022.

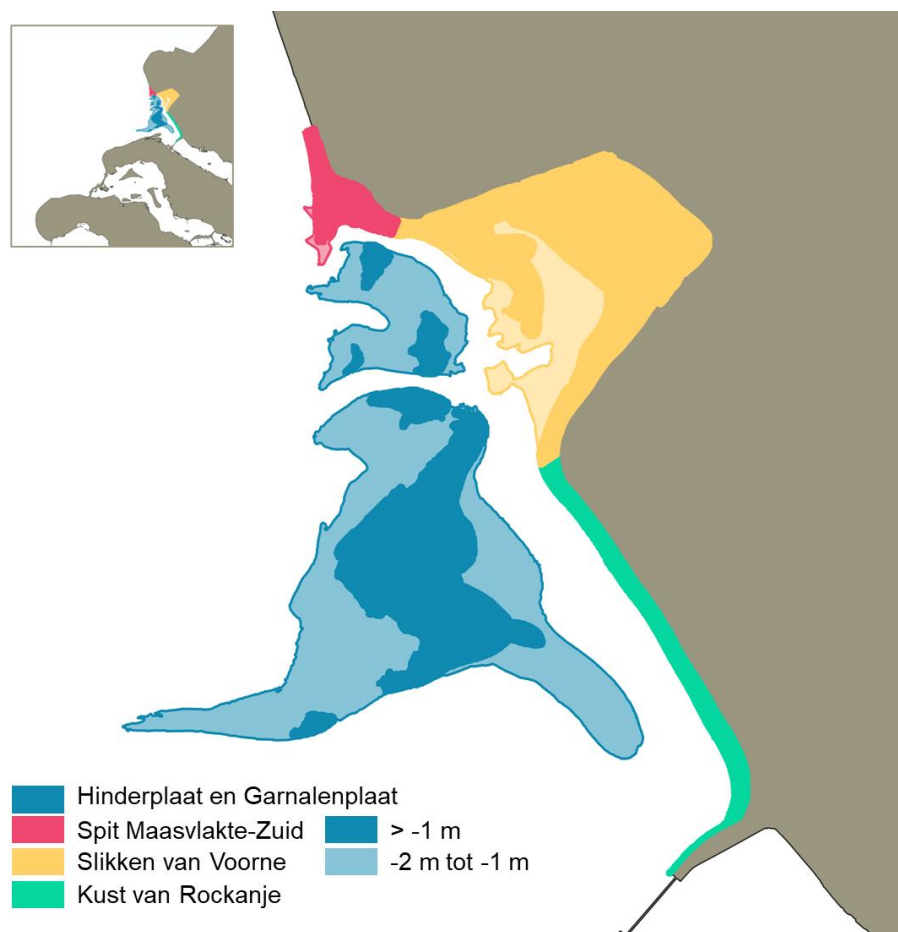
	Diepe vooroever (miljoen m^3)	Vooroever (miljoen m^3)	Buitendelta (miljoen m^3)			Totaal Monding (miljoen m^3)
			Platform	Banken	Totaal	
1963	24,51	128,90	199,05	16,02	215,07	368,49
1967	27,90	132,55	211,84	14,85	226,69	387,13
1972	24,06	125,67	217,71	21,58	239,29	389,03
1976	30,26	137,32	226,03	30,05	256,08	423,65
1980	41,11	160,38	258,95	31,25	290,20	491,69
1984	29,51	141,45	244,29	36,41	280,70	451,66
2000	20,81	103,47	245,35	64,01	309,36	433,65
2006	17,84	87,68	238,09	78,54	316,63	422,15
2009	16,91	78,04	235,73	80,36	316,09	411,04
2012	28,70	77,72	242,37	94,65	337,02	443,44
2015	27,63	66,43	239,70	104,25	343,95	438,02
2019	31,02	66,18	241,61	116,62	358,23	455,43
2022	29,49	56,77	240,58	120,41	360,99	447,24
Gemiddeld	26,90	104,81	233,95	62,23	296,18	427,89

4.2 Kleinschalige analyse van de Haringvlietmonding

De intergetijdengebieden binnen de Haringvlietmonding worden in detail geanalyseerd. In de oudere bodemkaarten kunnen de banken tot -4 m NAP worden gekwantificeerd (1967 – 1976), maar met de doorgaande verondieping van het gebied zijn in de recentere bodemdata (1991-2021) alleen de contouren vanaf de -2 m NAP zichtbaar. De analyse is niet voor iedere individuele bank gemaakt, maar de banken zijn geaggregeerd in vier deelgebieden (Figuur 4-3):

- (1) de Hinderplaat en Garnalenplaat,
- (2) de spit van de Maasvlakte (zuid),
- (3) de slikken van Voorne en
- (4) de kust nabij Rockanje.

In onderstaande analyse wordt slechts een beperkt aantal bodemkaarten getoond. Alle bodemkaarten worden in Appendix D weergegeven.

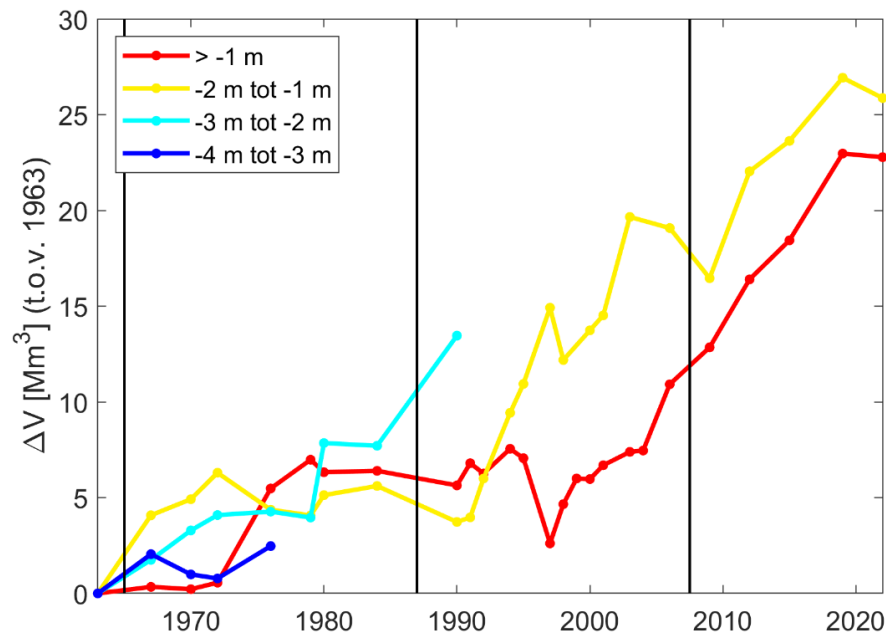


Figuur 4-3. Overzicht van de benaming van de deelpolygoenen in de Haringvlietmonding.

4.2.1 Hinderplaat en Garnalenplaat

Het platencomplex van de Hinderplaat en Garnalenplaat vertoont een sterke stijging in sedimentvolume (Figuur 4-4 en Tabel 4-4). In totaal neemt het volume boven -2 m NAP met bijna 50 miljoen m³ toe. De volumetoename is tot 1991 nog beperkt (+11 miljoen m³), maar neemt daarna sterk toe. In deze periode breekt de Hinderplaat door (zie ook Appendix E1.3). Hierdoor is er veel meer dynamiek. Het gevolg is dat er veel meer sediment verplaatst kan worden van, onder andere, dieper gelegen zones naar ondieper gelegen zones. Deze

toename vertoont een vrijwel lineaire trend in de meest ondiepe zone (> -1 m NAP). In deze klasse is de aanleg van de Tweede Maasvlakte niet direct terug te onderscheiden (er is geen duidelijke trendbreuk tijdens en na de aanleg). Naast dat de banken groter worden, migreren ze ook landwaarts. In de contourklasse -2 tot -1 m NAP, vindt ook een grote toename in volume plaats. In deze klasse zijn echter wel enkele grote fluctuaties te zien zoals bijvoorbeeld rond 2009. De afname in volume tussen 2019 en 2022 wordt veroorzaakt door het niet meenemen van het meest noordelijke deel van de Hinderplaat (zie Figuur 4-6). Deze bank is tussen 2019 en 2022 opgebroken in diverse kleinere banken en een deel is samengegroeid met de spit van de Maasvlakte en de Slikken van Voorne. Op basis van de 2019 bodem kan worden geconcludeerd dat het niet meenemen van dit deel van de Hinderplaat een verlies geeft van ruwweg 6 miljoen m³. Als dit volume opgeteld wordt bij de 2022 waarde zou de lineaire trend van volumetoename zich doorzetten.

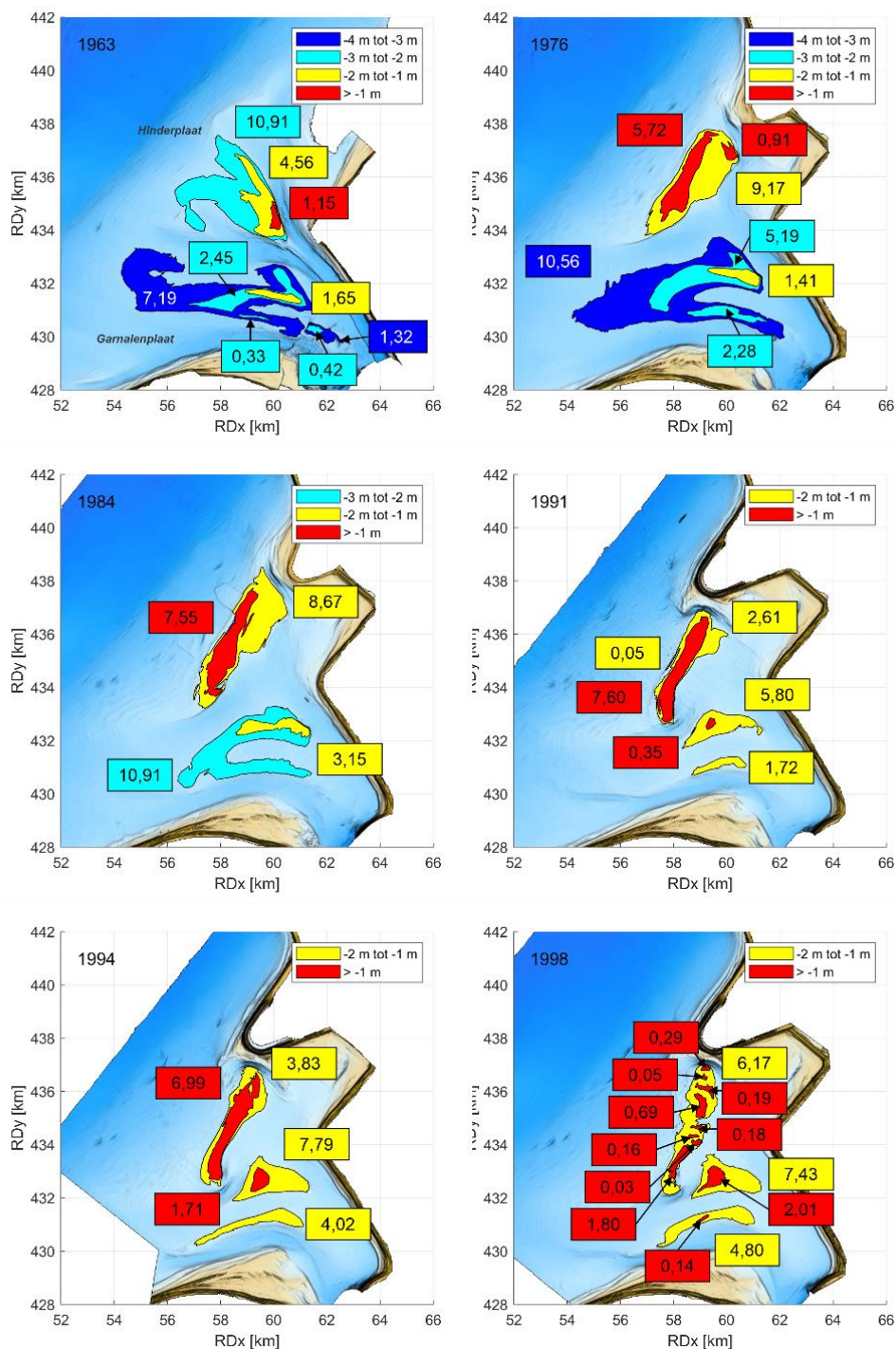


Figuur 4-4. Het absolute, actieve volume binnen het totaal aan polygonen op basis van de -4 m, -3 m, -2 m en -1 m dieptecontour van de Garnalenplaat en Hinderplaat voor ten opzichte van 1963 voor 1963 t/m 2022. Met 'absoluut' wordt bedoeld dat wanneer bijvoorbeeld de -2 m polygoon binnen de -3 m polygoon ligt, dat voor de -3 polygoon dit volume niet is meegenomen. De verticale lijnen onderscheiden de vier perioden: vóór MV-I, MV-I, MV-I & de Slufter en MV-II. De datapunten zijn door lijnen met elkaar verbonden. Dit kan de suggestie wekken dat er sprake is van een lineaire toe- of afname. Dit hoeft echter niet het geval te zijn.

De vorming van een langgerekte Hinderplaat is te volgen in Figuur 4-5. In 1963 vormen de Hinderplaat en de Garnalenplaat nog twee grote afzonderlijke plaatcomplexen. Op basis van de -4 m contour bedraagt het volume van de Hinderplaat 16,6 miljoen m³ en van de Garnalenplaat (-5m contour) 13,4 miljoen m³. In 1976 is de Hinderplaat dan al dusdanig verondiept dat de -3 m contour zich niet meer onderscheidt als bank van het onderliggende platform. In de zone > -2 m bevindt zich dan wel veel meer sediment. Het volume is dan toegenomen van 5,7 miljoen m³ in 1963 tot 15,8 miljoen m³ in 1976. Het gebied rond de Garnalenplaat vertoont ook een verondieping, maar hier is de -5 m contour nog steeds zichtbaar. Op basis van deze contour is het volume toegenomen tot 19,4 miljoen m³.

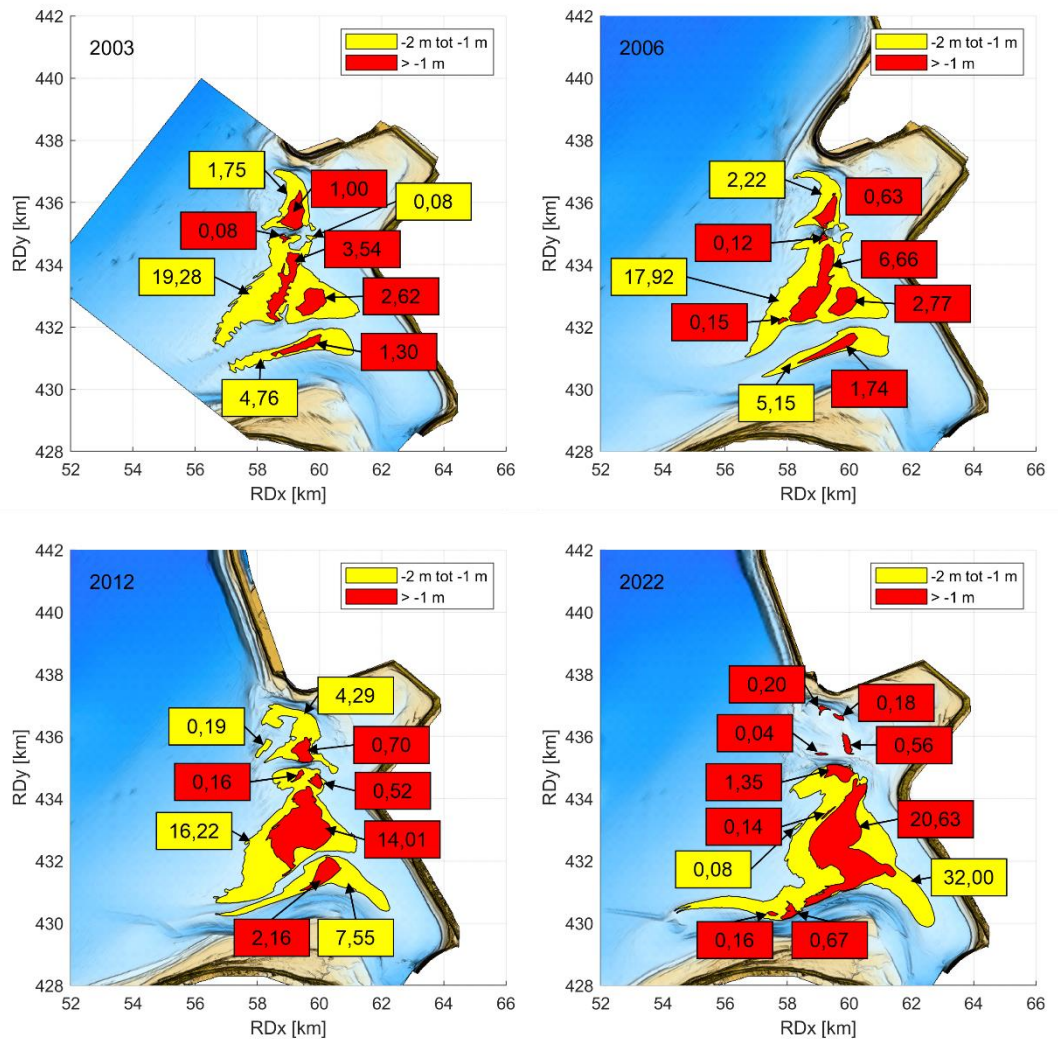
In de periode 1976-1991 zet de verondieping zich sterk door en in de 1991 bodem zijn de banken alleen nog door de -2 m NAP contour (of ondieper) te volgen. De Hinderplaat is in deze periode uitgegroeid tot een langgerekte bank die door een ondiepe geul gescheiden wordt van de bovenliggende kust. Het totale volume is afgenomen tot 10,3 miljoen m³. De Garnalenplaat vertoont in deze periode een veel grotere verandering. Het grote

bankencomplex is vrijwel verdwenen, opgegaan in het onderliggende platform, en slechts twee kleinere banken met een totaal volume van 7,9 miljoen m³ blijven dan over. Deze plaatconfiguratie van de Hinder- en Garnalenplaat uit 1991 blijft een aantal jaar behouden, maar in 1998 vervormt de Hinderplaat dan tot een doorbroken bank. De -2 m contour is dan nog zichtbaar, maar het ondiepe areaal (> -1 m) vertoont een aaneenschakeling van kleine banken en geulen. De volumes in dit ondiepe areaal zijn dan afgenomen van 7,6 miljoen m³ tot 3,4 miljoen m³. Het volume van de Garnalenplaat is in deze periode toegenomen tot 9,4 miljoen m³ in het noordelijke deel en 4,9 miljoen m³ in de rug langs het Slijkgat.



Figuur 4-5. Overzicht van de volumeontwikkelingen tussen 1963 en 1991. De weergegeven volumes zijn de actieve sedimentvolumes voor het betreffende jaar.

De Hinderplaat en het noordelijke deel van de Garnalenplaat vormen in 2003 een gezamenlijke bank (op basis van de -2 m contour) met een volume van ruim 28 miljoen m³. Deze configuratie van een gezamenlijke Hinderplaat en (noordelijke) Garnalenplaat blijft dan over de verdere periode aanwezig. Het zuidelijke deel van de Garnalenplaat heeft in 2003 een volume van 6,1 miljoen m³. Door het verdwijnen van de voormalige getijgeul tussen de zuidelijke en noordelijke Garnalenplaat is er accommodatieruimte voor het zuidelijke deel van de Garnalenplaat om in volume toe te nemen. Vanaf 2015 is deze scheiding tussen het bankencomplex Hinderplaat-noordelijke Garnalenplaat en het zuidelijke deel van de Garnalenplaat niet meer aanwezig (zie Appendix E.1.4). In 2022 bedraagt het totale volume van het bankencomplex dan 56 miljoen m³.



Figuur 4-6. Overzicht van de ontwikkelingen van de actieve sedimentvolumes tussen 2003 en 2022.

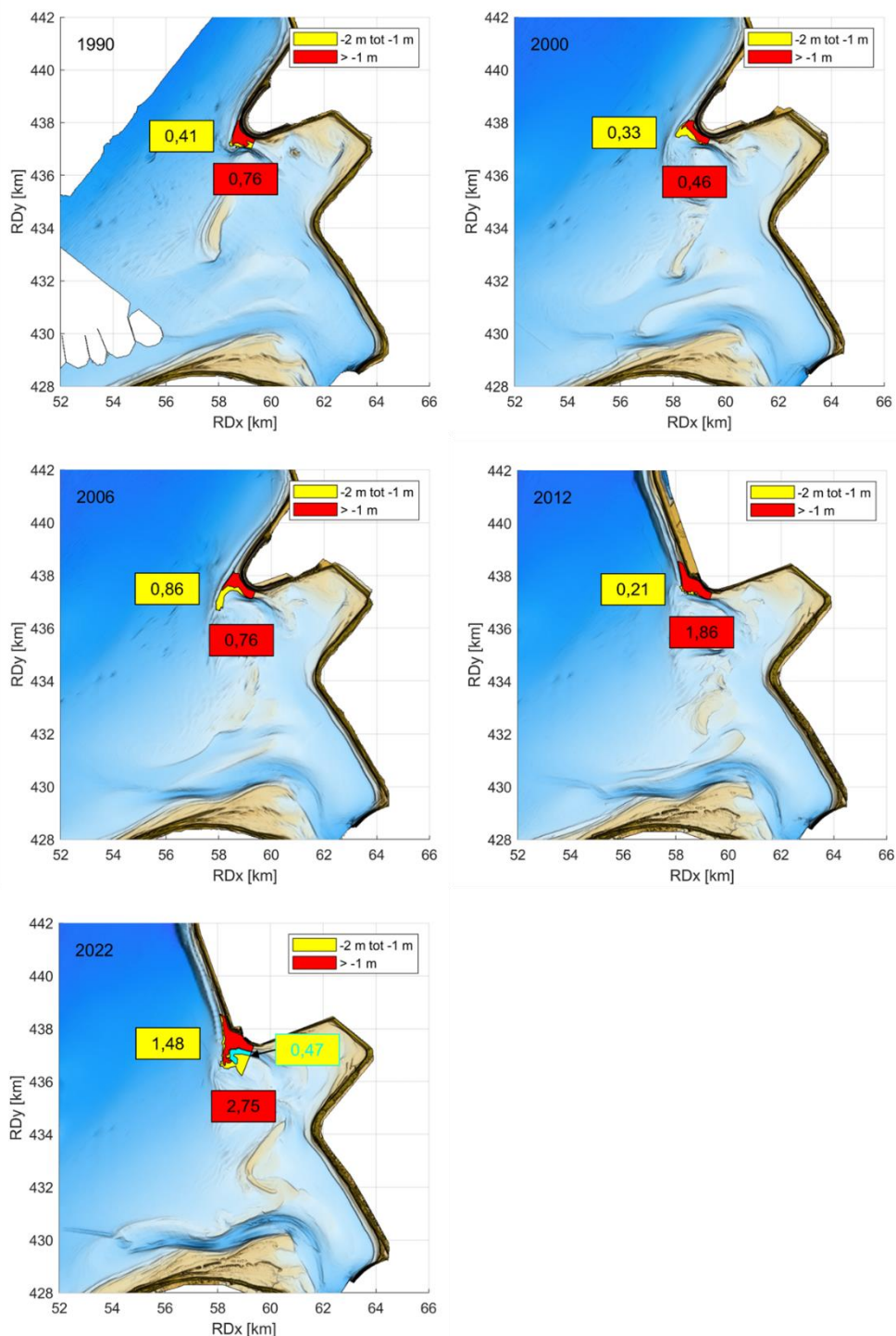
Tabel 4-4. Absolute actieve sedimentvolumes [Mm^3] voor de Hinderplaat (en Garnalenplaat) voor de vier geselecteerde diepteklassen over de periode 1963-2022.

Diepteklasse → Jaren ↓	-4 tot -3 m	-3 tot -2 m	-2 tot -1 m	-1 tot +3 m
1963	8,09	3,20	6,21	1,15
1967	10,14	4,95	10,29	1,49
1970	9,08	6,49	11,13	1,37
1972	8,87	7,29	12,51	1,71
1976	10,56	7,47	10,58	6,63
1979		7,16	10,28	8,13
1980		11,05	11,34	7,48
1984		10,91	11,82	7,55
1990		16,66	9,94	6,79
1991			10,18	7,95
1992			12,21	7,41
1994			15,64	8,70
1995			17,15	8,21
1997			21,13	3,76
1998			18,40	5,81
1999				7,15
2000			19,95	7,12
2001			20,73	7,84
2003			25,87	8,54
2004				8,61
2006			25,29	12,07
2009			22,67	14,00
2012			28,25	17,55
2015			29,84	19,59
2019			33,14	24,12
2022			32,08	23,93

4.2.2 Spit Maasvlakte-Zuid

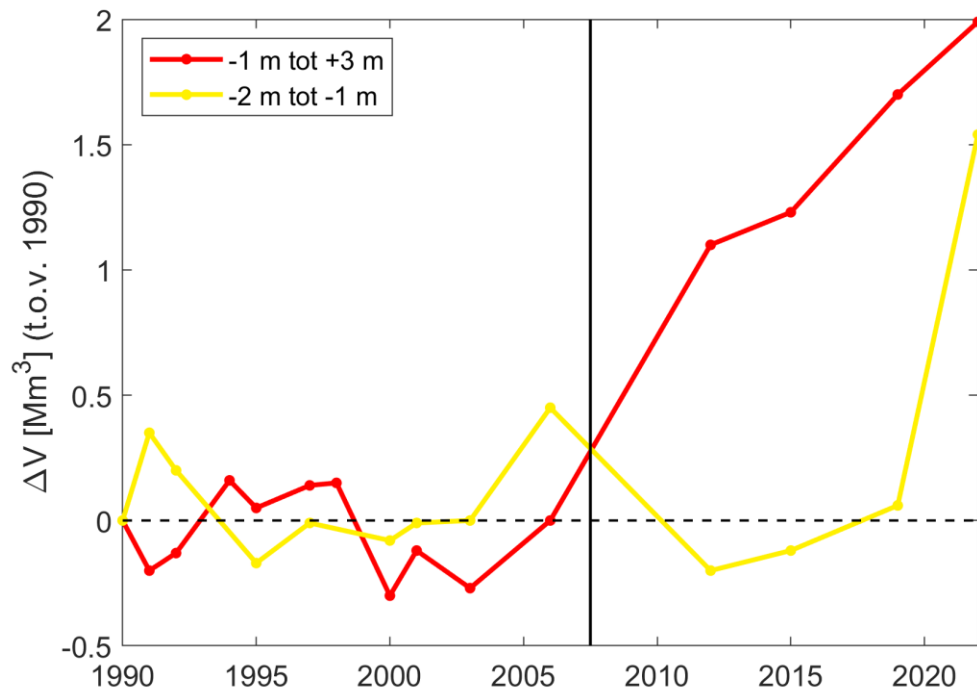
Aan de zuidzijde van de Maasvlakte (en Slufter) bevindt zich in de meeste jaren een kleine (spitvormige) bank (Figuur 4-7). Deze bank wordt gevoed door de brandingstransporten langs de kust van de Maasvlakte. Veranderingen in volume van deze spit kunnen dan ook een indicatie geven van de transporten vanuit deze kustzone naar de monding.

De tijdseries van volumeontwikkeling (Figuur 4-8 en Tabel 4-5) geven een grillig verloop in volume. Gedeeltelijk zal dit natuurlijke variatie zijn. Zo zijn er perioden te onderscheiden waarin de spit verder uitgebouwd is (bijv. in 2006) en perioden met minder uitbouw. Waarschijnlijk worden de grote fluctuaties ook veroorzaakt door de gehanteerde methode. Als een polygoon net binnen een geselecteerde contour valt kan dit een groot verschil veroorzaken.



Figuur 4-7. Bankvorming aan de zuidzijde van de Slufter en Maasvlakte tussen 1990 en 2022.

Een duidelijke verandering in trend kan worden geobserveerd sinds 2012. Na aanleg van de Tweede Maasvlakte verandert de oriëntatie van de kustlijn en bouwt de spit veel sterker uit. In totaal neemt het volume boven de -2 m NAP hier met 0,25 miljoen m³/jaar toe. De vorm van de spit en de zuidelijk uitbouw wijzen erop dat dit transport vanaf de Maasvlakte 2 wordt aangevoerd. Het totale transport van de Tweede Maasvlakte naar de spit is waarschijnlijk groter dan de genoemde 0,25 miljoen m³/jaar; er is namelijk ook transport van de spit naar de Slikken van Voorne. In dit gebied (de spit) is echter op basis van de volumeverandering geen onderscheid te maken tussen transport langs de kust en aanvoer over de buitendelta.



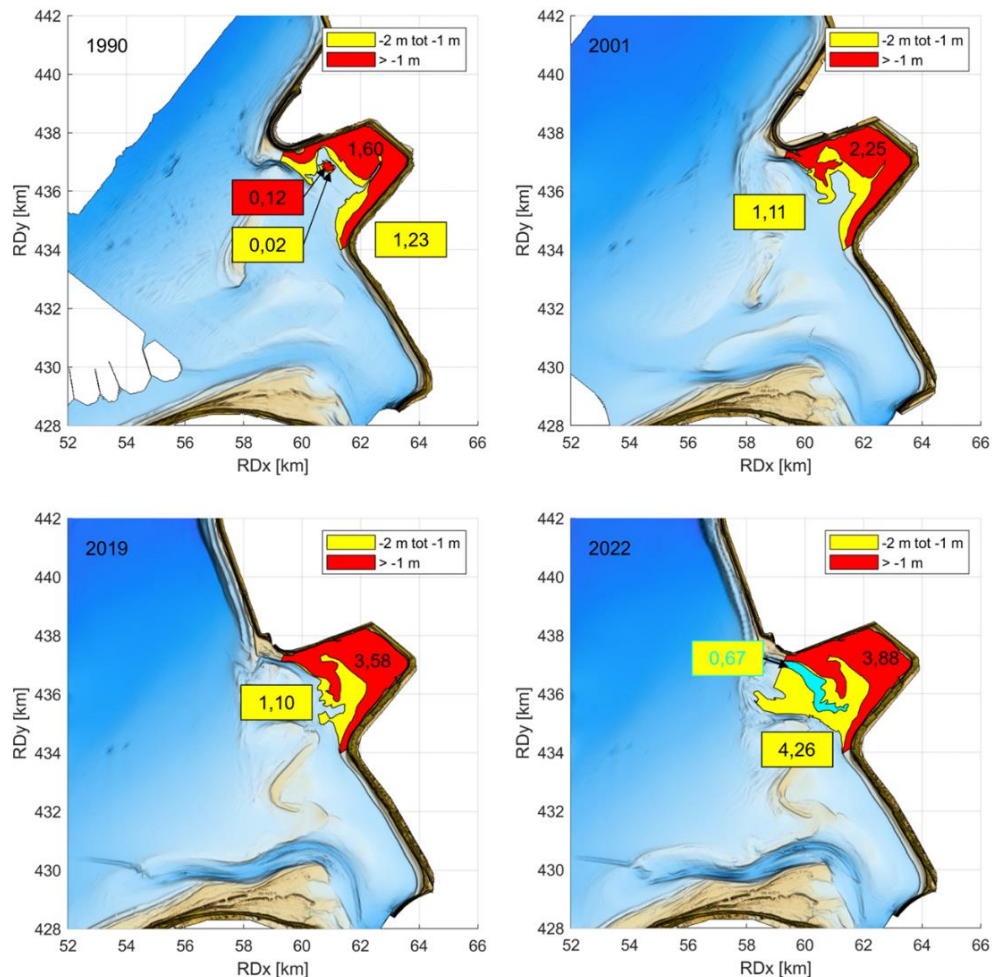
Figuur 4-8. Het absolute, actieve volume in het totaal aan polygonen op basis van de -2 m en -1 m dieptecontour van de spit ten zuiden van de Maasvlakte ten opzichte van 1990 voor 1990 t/m 2022. Met 'absoluut' wordt bedoeld dat wanneer bijvoorbeeld de -1 m polygoon binnen de -2 m polygoon ligt, dat voor de -2 polygoon dit volume niet is meegenomen. De verticale lijnen onderscheiden de twee perioden: MV-I & de Slufter en MV-II. De datapunten zijn door lijnen met elkaar verbonden. Dit kan de suggestie wekken dat er sprake is van een lineaire toe- of afname. Dit hoeft echter niet het geval te zijn.

Tabel 4-5. Absolute actieve sedimentvolumes [Mm^3] van de Spit Maasvlakte-Zuid voor de twee diepteklassen voor de periode MV-I en de Slufter (1990 – 2006) en MV-II (2012-2022).

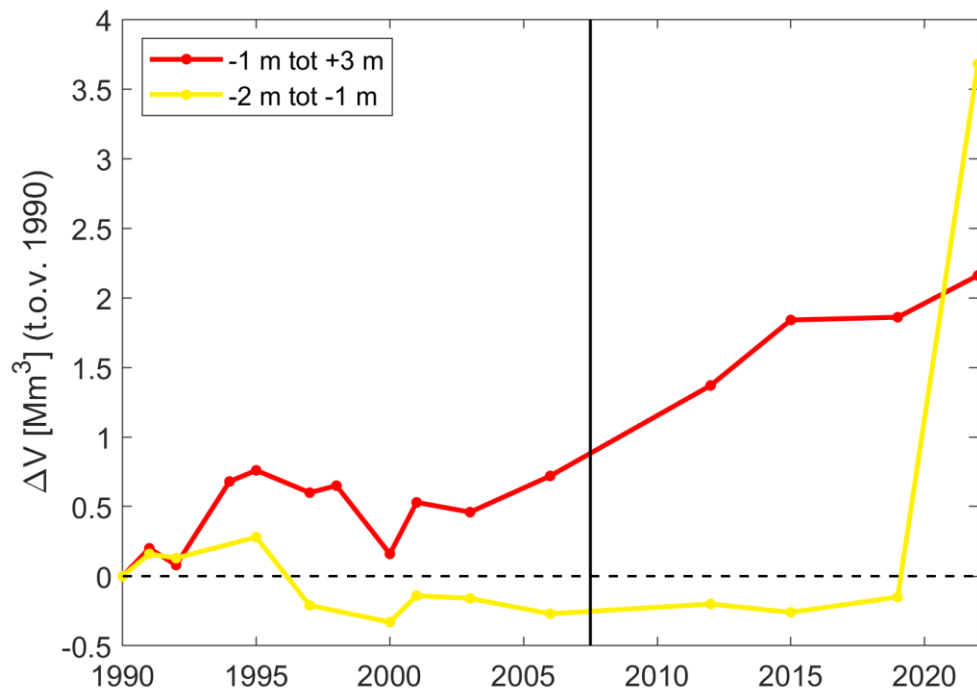
Diepteklasse → Jaren ↓	-2 tot -1 m	-1 tot +3 m
1990	0,41	0,76
1991	0,76	0,56
1992	0,61	0,63
1994		0,92
1995	0,24	0,81
1997	0,4	0,9
1998		0,91
2000	0,33	0,46
2001	0,4	0,64
2003	0,41	0,49
2006	0,86	0,76
2012	0,21	1,86
2015	0,29	1,99
2019	0,47	2,46
2022	1,95	2,75

4.2.3 Slikken van Voorne

De Slikken van Voorne vertonen (> -2 m NAP) een kleine trend van aanzanding tussen 1990 en 2019 (Figuur 4-10). De aanzanding vertoont een grillig verloop tot 2003 (waarschijnlijk door lagere datakwaliteit) en een meer vloeiend verloop sindsdien. De fluctuaties in volume voor 2003 hebben echter geen significante invloed op de trendwaarde. Over de gehele periode en de periode 2003-2019 ligt deze op 0,096 miljoen m³/jaar. In 2022 worden de sedimentvolumes significant hoger (+4,13 miljoen m³). Deze toename komt vooral doordat na een deel van de Hinderplaat is verbonden met de diepere contour van de Slikken van Voorne (Figuur 4-9). Het ondiep areaal (> -1 m NAP) vertoont een doorgaande trend.



Figuur 4-9. Actieve sedimentvolumes in de Slikken van Voorne in de jaren 1990, 2019 en 2022.



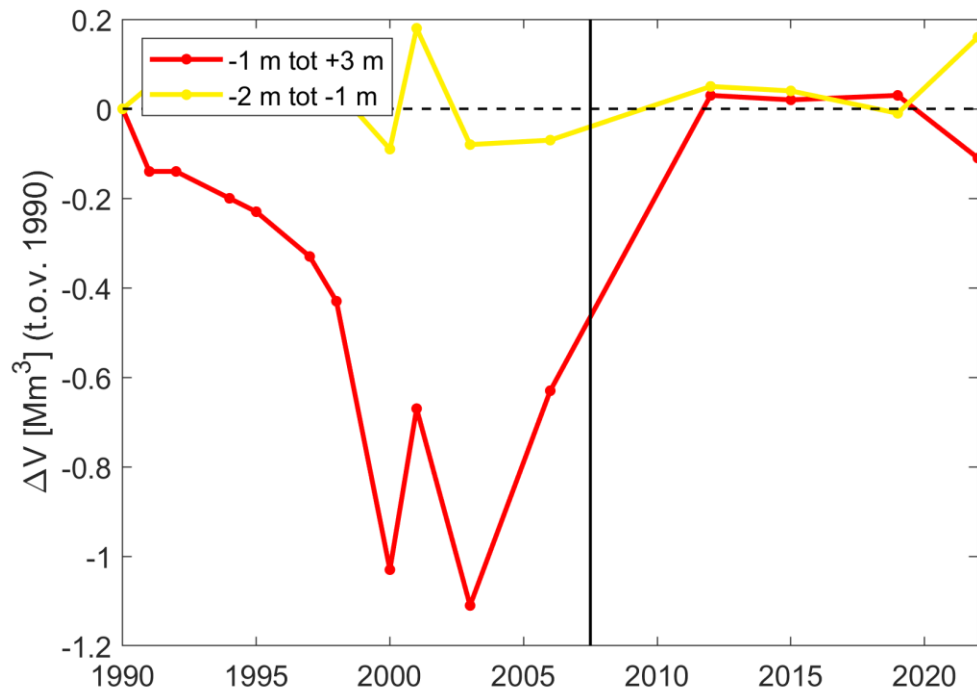
Figuur 4-10. Het absolute, actieve volume in het totaal aan polygonen op basis van de -2 m en -1 m dieptecontour van de Slikken van Voorne ten opzicht van 1990 voor 1990 t/m 2022. Met 'absoluut' wordt bedoeld dat wanneer bijvoorbeeld de -1 m polygoon binnen de -2 m polygoon ligt, dat voor de -2 polygoon dit volume niet is meegenomen. De verticale lijnen onderscheiden de twee perioden: MV-I & de Slufter en MV-II. De datapunten zijn door lijnen met elkaar verbonden. Dit kan de suggestie wekken dat er sprake is van een lineaire toe- of afname. Dit hoeft echter niet het geval te zijn.

Tabel 4-6. Absolute actieve sedimentvolumes [Mm³] van de Slikken van Voorne voor de twee diepteklassen voor de periode MV-I en de Slufter (1990 – 2006) en MV-II (2012-2022).

Diepteklasse → Jaren ↓	-2 tot -1 m	-1 tot +3 m
1990	1,25	1,72
1991	1,41	1,92
1992	1,38	1,8
1994		2,4
1995	1,53	2,48
1997	1,04	2,32
1998		2,37
2000	0,92	1,88
2001	1,11	2,25
2003	1,09	2,18
2006	0,98	2,44
2012	1,05	3,09
2015	0,99	3,56
2019	1,1	3,58
2022	4,93	3,88

4.2.4 Kust van Rockanje

De kust van Rockanje vertoont een grillig verloop in de volumeontwikkeling (Figuur 4-11 en Tabel 4-7). De actieve volumes bedragen gemiddeld 1,2 miljoen m³ in de periode 1990-1997, maar nemen tijdelijk af tot gemiddeld 0,6 miljoen m³ in de periode 1997-2006. De grote fluctuaties zijn mede gerelateerd aan de uitgevoerde suppleties. Zo is er in 2009-2010 3 miljoen m³ aan sediment toegevoegd. De grote sprong in volumeontwikkeling zal hier direct aan gerelateerd zijn. Sinds de grote sprong in volume tussen 2006 en 2012 is het volume min of meer stabiel.



Figuur 4-11. Het absolute, actieve volume in het totaal aan polygonen op basis van de -2 m en -1 m dieptecontour van de Kust van Rockanje ten opzichte van 1990 voor 1990 t/m 2022. Met 'absoluut' wordt bedoeld dat wanneer bijvoorbeeld de -1 m polygoon binnen de -2 m polygoon ligt, dat voor de -2 polygoon dit volume niet is meegenomen. De verticale lijnen onderscheiden de twee perioden: MV-I & de Slufter en MV-II. De datapunten zijn door lijnen met elkaar verbonden. Dit kan de suggestie wekken dat er sprake is van een lineaire toe- of afname. Dit hoeft echter niet het geval te zijn.

Tabel 4-7. Absolute actieve sedimentvolumes [Mm^3] van de Kust van Rockanje voor de twee diepteklassen voor de periode MV-I en de Slufter (1990 – 2006) en MV-II (2012-2022).

Diepteklasse → Jaren ↓	-2 tot -1 m	-1 tot +3 m
1990	0,12	1,2
1991	0,17	1,06
1992	0,19	1,06
1994		1,00
1995	0,20	0,97
1997	0,23	0,87
1998		0,77
2000	0,03	0,17
2001	0,30	0,53
2003	0,04	0,09
2006	0,05	0,57
2012	0,17	1,23
2015	0,16	1,22
2019	0,11	1,23
2022	0,28	1,09

4.3 Kleinschalige analyse van de Tweede Maasvlakte

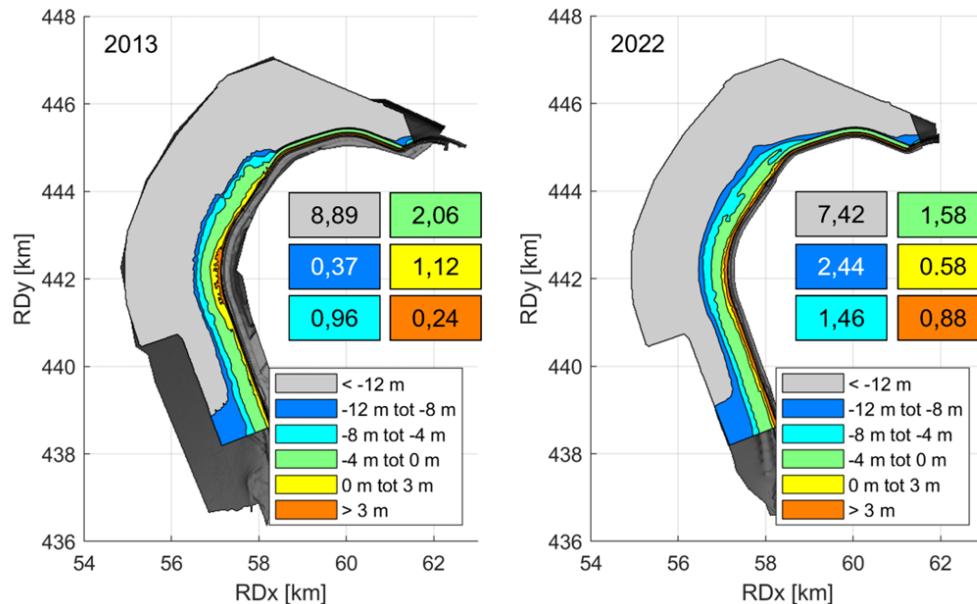
De respons van de diepe vooroever, de vooroever en de duinen is weergegeven in Figuur 4-13. Een samenvatting van de sedimentvolumes binnen geselecteerde diepteklassen wordt weergegeven in Figuur 4-14 en Tabel 4-8. Een volledig overzicht van alle jaren is weergegeven in Appendix F. In tegenstelling tot de Haringvlietmonding zijn er geen grote bankcomplexen aanwezig langs de Maasvlakte. Vanaf de -12 m contour volgen de dieptecontouren de kustlijn. De -12 m contour heeft aan de zuidzijde wel een zeewaartse uitstulping richting de monding. Het wel of niet meenemen van deze uitstulping geeft geen significante verandering in de volumeontwikkeling. Een extra klasse (> 3 m) is toegevoegd zodat ook een schatting van de toename van de duinvolumes wordt verkregen.

Tussen 2013 en 2020 vindt er met name een volumeafname (-2,17 miljoen m^3) plaats in de diepe vooroever (Figuur 4-13). De vooroever verliest -0,09 miljoen m^3 en de duinen nemen met 0,71 miljoen m^3 in volume toe. Het verlies in de (diepe) vooroever wordt geheel gecompenseerd tussen 2020 en 2022, waardoor de netto verandering in het kustvak over de gehele periode nihil is (0,08 miljoen m^3). De geobserveerde toename tussen 2020 en 2022 is vrijwel gelijk aan de uitgevoerde suppleties in die periode (2,3 miljoen m^3).

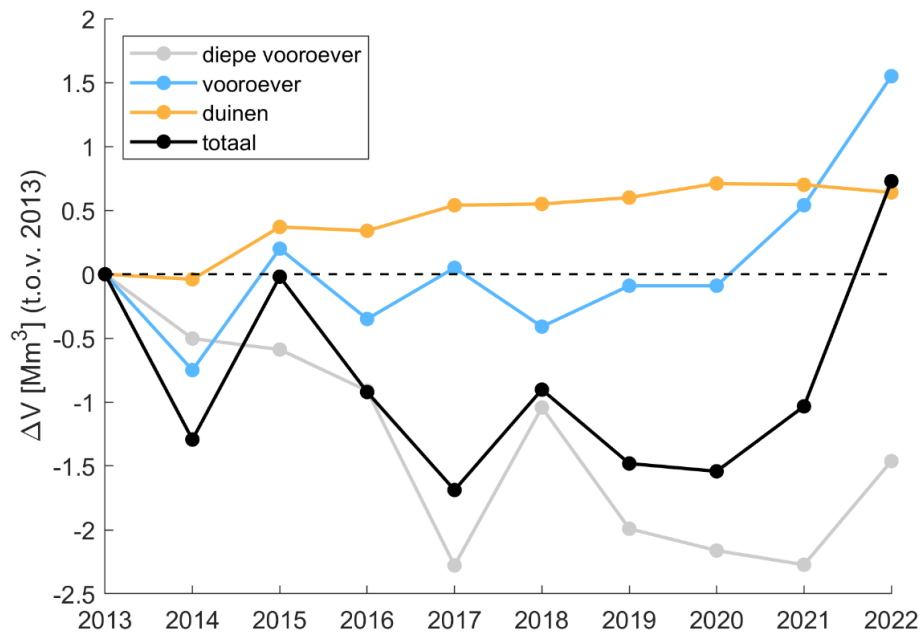
Onderverdeling over de verschillende diepteklassen laat zien dat de duinen continue in volume toenemen (+0,64 miljoen m^3). De vooroever (NAP -12 m tot +3 m) blijft eigenlijk vrij stabiel tot 2020. Vanaf 2020 neemt het volume dan sterk toe met +1,55 miljoen m^3 . De diepe vooroever (< -12 m) neemt over vrijwel de gehele periode in volume af (-0,21 miljoen m^3 /jaar). De meest recente meting (2022) laat een toename in sedimentvolume zien. In 2022 zijn de suppleties in het voorjaar uitgevoerd, net vóór de bodemmetingen. In de andere jaren zijn de suppleties vaak in het najaar gedaan (net na de bodemmetingen). De toename komt hier dus mogelijk door de suppleties. In de zone dieper dan -12 m NAP zal er niet veel sediment naar hogere diepteklassen gaan. Dwarsprofielen laten namelijk zien dat het aangelegde profiel uitzakt. In de gehele periode 2013-2022 is de totale volumeverandering

boven de -12 m NAP +2,19 miljoen m³. Het totaal gesuppleerde volume sinds 2013 is 6,5 miljoen m³.

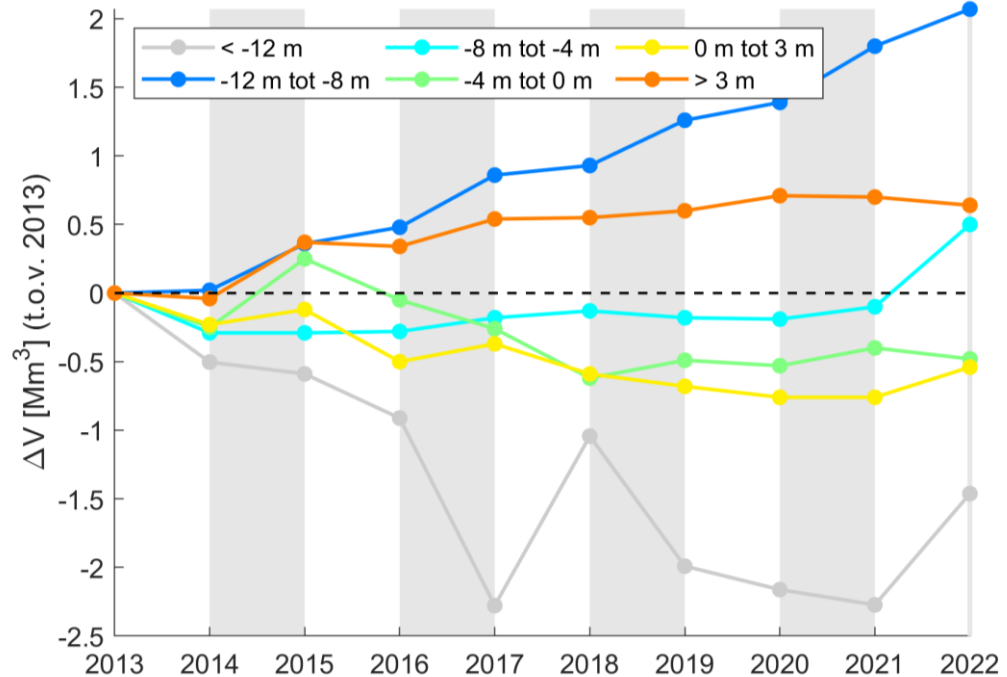
Een detailanalyse van de verschillende contourklassen laat zien dat de strandzone (NAP 0 tot +3 m) iets in volume afneemt (-0,08 miljoen m³/jaar) en ook de aangrenzende ondiepe zone (NAP 0 tot -4 m) neemt structureel in volume af (-0,08 miljoen m³/jaar). Deze verliezen worden gecompenseerd door de kleine sedimentvolume toename tussen de NAP -8 tot -4 m en de structurele sedimentatie in de klasse NAP -12 tot -8 m (+0,23 miljoen m³).



Figuur 4-12 (boven). De totale (gesommeerde) sedimentvolumes (in miljoen m³) per diepteklasse. Het grijze vlak "diepe vooroever" geeft de omhullende van de metingen.



Figuur 4-13. Het absolute, actieve volume in het totaal aan polygonen binnen de diepe vooroever (< -12 m NAP), de vooroever (-12 m tot 3 m NAP) en de duinen (> 3 m NAP) bij de Tweede Maasvlakte ten opzichte van 2013 voor 2013 t/m 2022. De datapunten zijn door lijnen met elkaar verbonden. Dit kan de suggestie wekken dat er sprake is van een lineaire toe- of afname. Dit hoeft echter niet het geval te zijn.



Figuur 4-14. Het absolute, actieve volume in het totaal aan polygonen op basis van de omhullende, -12 m, -8 m, -4 m, 0 m en 3 m dieptecontour van de Tweede Maasvlakte ten opzichte van 2013 voor 2013 t/m 2022. Met 'absoluut' wordt bedoeld dat wanneer bijvoorbeeld de 0 m polygoon binnen de -4 m polygoon ligt, dat voor de -4 polygoon dit volume niet is meegenomen. De grijze vlakken geven de suppletieperioden weer (zie ook paragraaf 3.3). De datapunten zijn door lijnen met elkaar verbonden. Dit kan de suggestie wekken dat er sprake is van een lineaire toe- of afname. Dit hoeft echter niet het geval te zijn.

Tabel 4-8. Absolute actieve sedimentvolumes [Mm³] van de kust van de Tweede Maasvlakte voor de zes diepteklassen voor de MV-II (2013-2022).

Diepteklasse → Jaren ↓	< -12 (diepe vooroever)	-12 tot -8	-8 tot -4	-4 tot 0	0 tot 3	> 3 (duin)
2013	8,89	0,37	0,96	2,06	1,12	0,24
2014	8,38	0,39	0,67	1,81	0,89	0,20
2015	8,30	0,73	0,67	2,31	1,00	0,61
2016	7,97	0,85	0,68	2,01	0,62	0,58
2017	6,61	1,23	0,78	1,80	0,75	0,78
2018	7,84	1,30	0,83	1,44	0,53	0,79
2019	6,90	1,63	0,78	1,57	0,44	0,84
2020	6,72	1,76	0,77	1,53	0,36	0,95
2021	6,61	2,17	0,86	1,66	0,36	0,94
2022	7,42	2,44	1,46	1,58	0,58	0,88

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

De doelstelling van deze rapportage is het beter begrijpen van de uitwisseling van sediment tussen de vooroever en buitendelta van de Haringvlietmonding en de kust. Hiervoor is een gedetailleerde analyse van de actieve sedimentvolumes in de Haringvlietmonding uitgevoerd. Om deze doelstelling te bereiken zijn een viertal onderzoeksvragen opgesteld. Deze vormen de basis van de conclusies.

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

In totaal, over de periode 1963-2022, neemt de Grevelingenmonding met 12 miljoen m³ in volume af en de Haringvlietmonding met 89 miljoen m³ in volume toe. Daarnaast treedt een herverdeling van sediment op van de diepe vooroever naar de ondiepe mondingsgebieden. Het totale verlies van de vooroever is 69 miljoen m³, waarvan de Grevelingenmonding 47 miljoen m³ bijdraagt en de Haringvlietmonding 22 miljoen m³. Het merendeel van deze verliezen treedt op in de diepteklasse -12 m tot -8 m NAP. De verliezen in de diepe vooroever (dieper dan -12 m NAP) zijn beperkt.

2. Wat zijn de volumeontwikkelingen in de individuele banken?

Voor de geaggregeerde volumes wordt onderscheid gemaakt tussen 1) het platencomplex van de Hinderplaat en Garnalenplaat, 2) de spitvormige bank aan de zuidzijde van de Maasvlakte, 3) de Slikken van Voorne en 4) de kust van Rockanje.

Het platencomplex van de Hinderplaat en Garnalenplaat vertoont een sterke stijging in plaahtoogte en sedimentvolume tussen 1963 en 2022. In totaal neemt het volume boven -2 m NAP toe van 7 miljoen m³ naar 56 miljoen m³ in 2022. Het merendeel van de toename vindt plaats sinds 1991. Dit hangt samen met het doorbreken van de Hinderplaat in deze periode, waardoor er meer dynamiek is om het sediment te verplaatsen.

In de meeste jaren bevindt zich aan de zuidzijde van de Maasvlakte (en Slufter) een kleine (spitvormige) bank. In de tijdseries van volumeontwikkeling zijn perioden te onderscheiden waarin de spit verder uitgebouwd is en perioden met minder uitbouw. Mogelijk komt dit deels door de gehanteerde methode. Desalniettemin is er sinds 2012 een duidelijke verandering in trend waar te nemen. Na aanleg van de Tweede Maasvlakte verandert de oriëntatie van de kustlijn en bouwt de spit veel sterker uit. In totaal neemt het volume boven de -2 m NAP hier met 0,25 miljoen m³/jaar toe. De vorm van de spit en de zuidelijke uitbouw wijzen erop dat dit transport vanaf de Tweede Maasvlakte wordt aangevoerd. Het is ook waarschijnlijk dat deze 0,25 miljoen m³/jaar een te lage schatting van de transporten geeft. Een deel van het materiaal zal langs de kust richting de slikken van Voorne worden afgevoerd.

De Slikken van Voorne vertonen een kleine trend van aanzanding tussen 1990 en 2019. Over de gehele periode en de periode 2003-2019 ligt deze op 0,096 miljoen m³/jaar.

De volumeontwikkeling van de Kust van Rockanje vertoont een grillig verloop. De actieve volumes bedragen gemiddeld 1,2 miljoen m³ in de periode 1990-1997, maar nemen tijdelijk af tot gemiddeld 0,6 miljoen m³ in de periode 1997-2006. In de periode erna (2012-2022) nemen de volumes weer toe tot gemiddeld 1,4 miljoen m³. De grote fluctuaties zijn mede gerelateerd aan de uitgevoerde suppleties.

3. Wat is de volumeontwikkeling van de Tweede Maasvlakte?

De volumeontwikkeling van de Tweede Maasvlakte laat zien dat de diepe vooroever (< -12 m NAP) in volume afneemt, terwijl de ondiepe vooroever en duinen in volume toenemen sinds de aanleg. De totale volumeverandering over de gehele periode is beperkt (+0,09 miljoen m³). Deze beperkte verandering is het resultaat van de vele suppleties die zijn uitgevoerd. De totale balans vertoont een continue erosie in de periode 2013-2020 (-0,29 miljoen m³/jaar). De 2,3 miljoen m³ in sedimentvolumetoename tussen 2020 en 2022 is vrijwel gelijk aan het suppletievolume.

4. Wat is de invloed van de menselijke ingrepen (afsluitingen en landaanwinningen) op de sedimenthuishouding?

De afsluiting van de achterliggende estuaria van de Grevelingen en Haringvliet zorgt voor een landwaartse herverdeling van sediment van de buitendelta. De zeezijde van de buitendelta erodeert en dit materiaal wordt landwaarts afgezet op het buitendeltaplatform. Deze aanpassing is een tot op heden doorgaand proces en de fundamentele oorzaak van de geobserveerde morfologische veranderingen.

Op de schaal van de gehele Haringvlietmonding is er geen effect te zien van de aanleg en aanwezigheid van de Eerste Maasvlakte, de Slufter en de Tweede Maasvlakte; er zijn geen directe trendbreuken zichtbaar. Op schaal van afzonderlijke elementen is de aanleg wel terug te zien in de ontwikkeling van de sedimentvolumes. Zo bouwt de spit aan de zuidkant van de Maasvlakte sterk uit na aanleg van de Tweede Maasvlakte.

5.2 Aanbevelingen

In deze studie is een eerste inventarisatie gemaakt van het sedimentbudget van de Haringvliet en Grevelingenmonding voor de verschillende morfologische eenheden. Dit budget is vooral gebaseerd op de sedimentverandering in de bodem. Deze analyse geeft grofstoffelijk al veel inzicht in de volumeveranderingen in de monding en de volumes in de verschillende morfologische gebieden, maar is nog niet toereikend om bijvoorbeeld voorspellingen van de toekomstige ontwikkelingen te maken. Deze voorspellingen zijn wel benodigd voor het beheer van het Slikgat, voor vraagstukken die spelen langs de kust van Voorne zoals bijvoorbeeld de verslibbing en erosie van de Groene Punt en voor de uitwisseling tussen de Tweede Maasvlakte en de monding.

Een verdere uitwerking van het sedimentbudget naar een volledige sedimentbalans is hiervoor benodigd. Deze stap vergt:

- het inventariseren en uitwerken van de sedimentsamenstelling in de monding,
- een uitwerking van de zand- versus slibvolumes,
- gedetailleerde uitwerking van de bagger- en stortvolumes van het Slikgat,
- opstellen van een sedimentbalans.

Voor toekomstvoorspellingen is het ook essentieel dat de maatgevende processen onderliggend aan de morfologische veranderingen goed begrepen worden. Met behulp van morfologische modellen (zoals bijv. SedTRAILS) kunnen deze in kaart worden gebracht voor de huidige situatie en voor geschatte toekomstige bodemliggingen. Met behulp van deze kennis kan toekomstig beheer van de vaargeul en kust veel beter onderbouwd worden.

6 Referenties

- Arcadis, 2022. Onderzoek aanzanding kust Haringvlietmonding. Achtergrondrapport. Toekomstige morfologische ontwikkelingen. Effecten waterveiligheid, ecologie, economie en leefbaarheid. Eindversie blok A en B.
- Cox, J. R., Leuven, J. R. F. W., Pierik, H. J., van Egmond, M., & Kleinhans, M. G., 2022. Sediment deficit and morphological change of the Rhine–Meuse river mouth attributed to multi-millennial anthropogenic impacts. *Continental Shelf Research*, 244, 104766.
- Elias, E.P.L., 2022a. Aanlandingsbanken Schiermonnikoog. Rapport Deltares: 11209263-004-ZKS-0001, Delft, 45 pp.
- Elias, E.P.L., 2022b. Morfologische analyse buitendelta Ameland en de rol van de pilotsuppletie. Rapport Deltares: 11206794-004-ZKS-0006, Delft, 84 pp.
- Elias, E. P. L., Van Der Spek, A. J. F., 2014. Grootschalige morfologische veranderingen in de Voordelta 1964 – 2013. Werkdocument, 1207724-001, Deltares, Delft.
- Elias, E. P. L., Van Der Spek, A. J. F., & Lazar, M., 2017. 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. *Geologie En Mijnbouw/Netherlands Journal of Geosciences*, 96(3), 233–259. <https://doi.org/10.1017/njg.2016.37>.
- Elias, E.P.L., Vermeer, N.P., Van der Vegt, H., 2022. Morfologisch onderzoek Zeegat van Ameland. Rapport Deltares: 11208035-004-ZKS-0001, Delft, 58 pp.
- Erkens, G., Cohen, K.M., 2009. Quantification of intra-Holocene sedimentation in the Rhine–Meuse delta: A record of variable sediment delivery. In: Erkens, G., *Sediment Dynamics in the Rhine Catchment. Quantification of Fluvial Response to Climate Change and Human Impact*. PhD thesis Utrecht University, pp. 117-171.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1937. Nota betreffende de afdamming der Brielsche Maas.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1939. Afdamming Brielsche Maas: aanvullende nota van 8 februari 1939.
- Pearson, S. G., Elias, E. P., van Prooijen, B. C., van der Vegt, H., van der Spek, A. J., & Wang, Z. B., 2022. A novel approach to mapping ebb-tidal delta morphodynamics and stratigraphy. *Geomorphology*, 405, 108185.
- Pierik, H.J., Stouthamer, E., Cohen, K.M., 2017. Natural levee evolution in the Rhine-Meuse delta, the Netherlands, during the first millennium CE. *Geomorphology* 295, 215-234.
- Rijkswaterstaat, 2013. Kenmerkende Waarden Getijgebied 2011.0. Report Rijkswaterstaat Centrale Informatie Voorziening, Delft.
- Roskam, A.P., 1988. Golfklimaten voor de Nederlandse Kust. Report GWAO-88.046, Rijkswaterstaat, Tidal Waters Division, The Hague.

Stouthamer, E., Cohen K.M., Hoek, W.Z., 2015. De vorming van het land. Utrecht: Perspectief.

Van der Spek, A.J.F., Elias, E.P.L., 2021. Half a century of morphological change in the Haringvliet and Grevelingen ebb-tidal deltas (SW Netherlands) - Impacts of large-scale engineering 1964–2015, *Marine Geology*, 432, 106404.

Van Veen, J., 1939. Nota betreffende toeneming stroomsnelheden in den Rotterdamschen Waterweg, als gevolg van de afdamming der Brielsche Maas.

Wijnberg, K.M., 1995. Morphologic Behaviour of a Barred Coast over a Period of Decades. PhD thesis, University Utrecht.

A Suppletietabellen

Tabel A 1. Suppletieoverzicht Grevelingenmondning (op basis van gegevens van Rijkswaterstaat t/m 04-2023).

	Kustvak	Start	Eind	Begin raai	Eind raai	Type	Lengte [m]	Volume [10 ³ m ³]
Grevelingenmondning	13	01-1990	12-1990	84	319	duinverzwarend	2350	415
	13	01-1990	12-1990	84	319	duinverzwarend	2350	15
	13	01-1994	12-1994	158.5	190	strandsuppletie	315	40
	13	01-1994	12-1994	258.5	292.5	strandsuppletie	340	49
	13	01-1995	12-1995	367	643	strandsuppletie	2760	818
	13	01-1999	12-1999	95	641.5	strandsuppletie	5465	560
	13	03-2003	06-2003	116	210	strandsuppletie	940	62
	13	03-2003	06-2003	327	477	strandsuppletie	1500	202
	13	03-2003	06-2003	994	1144	strandsuppletie	1500	242
	13	06-2007	06-2007	376.5	469.2	strandsuppletie	927	170
	13	06-2007	06-2007	105.7	196.8	strandsuppletie	911	162
	13	06-2007	07-2007	1024.1	1144	strandsuppletie	1199	166
	13	11-2011	01-2012	106	469	strandsuppletie	3630	592
	13	03-2012	09-2012	1044	1144	strandsuppletie	1000	270
	13	08-2013	12-2013	104	219	duinverzwarend	1150	212
	13	10-2016	11-2016	319	469	strandsuppletie	1500	247
	13	09-2017	12-2017	1044	1144	strandsuppletie	1000	201
	13	09-2019	12-2019	319	469	strandsuppletie	1500	419
	13	09-2019	12-2019	106	148	strandsuppletie	420	82
	12	01-1966	12-1966	1500	1700	duinverzwarend	2000	150
	12	01-1968	12-1968	1300	1500	duinverzwarend	2000	800
	12	11-1969	03-1970	1501	1601	strandsuppletie	1000	401
	12	05-1971	09-1971	1501	1601	strandsuppletie	1000	610
	12	01-1972	12-1972	1650	1725	duinverzwarend	750	100
	12	01-1972	12-1972	1875	1900	duinverzwarend	250	100
	12	10-1973	02-1974	1450	1750	strandsuppletie	3000	2300
	12	10-1973	02-1974	1450	1750	duinverzwarend	3000	1000
	12	01-1976	12-1976	1850	1900	duinverzwarend	500	50
	12	04-1977	07-1977	1450	1750	strandsuppletie	3000	1267
	12	08-1984	12-1984	1450	1750	strandsuppletie	3000	330
	12	05-1985	09-1985	1450	1750	strandsuppletie	3000	530
	12	10-2004	11-2004	1225	1275	strandsuppletie	500	184 ¹
	12	03-2005	05-2005	1550	1875	strandsuppletie	3250	1001
12	09-2016	11-2016	1525	1725	strandsuppletie	2000	500	
12	02-2021	06-2021	1225	1625	strandsuppletie	4000	1176 ²	

^{1,2} De volledige suppletie lag zowel in de Grevelingenmonding, als de Haringvlietmonding. Het volume van de suppletie is verdeeld naar verhouding van de lengte van de suppletie in elk van de mondingen.

Tabel A 2. Suppletieoverzicht Haringvlietmonding (op basis van gegevens van Rijkswaterstaat t/m 04-2023).

	Kustvak	Start	Eind	Begin raai	Eind raai	Type	Lengte [m]	Volume [10 ³ m ³]
Haringvlietmonding	12	01-1970	12-1970	400	600	duinverzwareing	2000	200
	12	11-1977	10-1979	575	975	duinverzwareing	4000	1600
	12	04-1978	06-1979	975	1125	duinverzwareing	1500	2000
	12	01-1994	12-1994	1025	1200	strandsuppletie	1750	506
	12	01-1998	12-1998	925	1075	strandsuppletie	1500	745
	12	10-2004	11-2004	1025	1225	strandsuppletie	2000	736 ¹
	12	02-2021	06-2021	1200	1225	strandsuppletie	250	74 ²
	11	01-1973	12-1973	1050	1250	strandsuppletie	2000	250
	11	04-1974	04-1974	1260	1360	strandsuppletie	1000	110
	11	09-1974	12-1974	1260	1360	duinverzwareing	1000	110
	11	01-1974	12-1974	1260	1520	strandsuppletie	2600	150
	11	10-1977	12-1977	880	1250	strandsuppletie	3700	1045
	11	10-1977	12-1977	880	1250	overige	3700	55
	11	10-1983	12-1983	1160	1440	strandsuppletie	2800	440
	11	01-1984	12-1984	800	1400	duinverzwareing	6000	3400
	11	06-1986	06-1986	1440	1540	duinverzwareing	1000	1000
	11	05-1987	05-1987	940	1340	duinverzwareing	4000	3000
	11	04-1993	05-1993	1180	1360	strandsuppletie	1800	160
	11	05-2005	06-2005	960	1620	strandsuppletie	6600	691
	11	09-2009	02-2010	920	1300	strandsuppletie	3800	2400
	11	02-2010	03-2010	1320	1600	strandsuppletie	2800	561
	10	01-1979	12-1979	1150	1340	strandsuppletie	1900	150
	10	01-1991	12-1991	900	1040	strandsuppletie	1400	100
	10	09-1992	12-1992	901	1011	strandsuppletie	1100	960
	10	05-1996	12-1996	700	1015	strandsuppletie	3150	2045
	10	10-1997	10-1997	650	1002	strandsuppletie	3520	2724
	10	12-1998	02-1999	700	830	strandsuppletie	1300	1266
	10	08-2000	10-2000	670	1030	onderwatersuppletie	3600	1031
	10	11-2000	02-2001	781	1002	strandsuppletie	2210	600
	10	11-2001	01-2002	600	1002	onderwatersuppletie	4020	1000
	10	04-2005	06-2005	750	1000	strandsuppletie	2500	1503
	10	01-2009	12-2010	260	500	onderwatersuppletie	2400	170000
	10	01-2014	12-2014	349.5	500	onderwatersuppletie	1505	310
	10	01-2014	12-2014	349.5	480	strandsuppletie	1305	350
10	01-2014	12-2014	560	660	strandsuppletie	1000	300	
10	01-2014	12-2014	750	1020	strandsuppletie	2700	760	
10	01-2014	12-2014	349.5	880	onderwatersuppletie	5305	580	

10	01-2016	12-2016	349.5	620	strandsuppletie	2705	460
10	01-2016	12-2016	820	1000	strandsuppletie	1800	350
10	01-2018	12-2018	380	620	strandsuppletie	2400	420
10	01-2018	12-2018	880	940	strandsuppletie	600	100
10	01-2018	12-2018	880	940	strandsuppletie	600	540
10	01-2018	12-2018	349.5	360	duinverzwaring	105	45
10	10-2020	12-2020	880	940	strandsuppletie	600	150
10	10-2020	12-2020	363.5	620	strandsuppletie	2565	550
10	10-2020	12-2020	500	680	vooroeversuppletie	1800	450
10	05-2022	06-2022	880	940	strandsuppletie	600	115
10	05-2022	06-2022	380	600	strandsuppletie	2200	561
10	02-2022	2022	600	620	vooroeversuppletie	200	36
10	02-2022	2022	540	680	vooroeversuppletie	1400	450

^{1,2} De volledige suppletie lag zowel in de Grevelingenmonding, als de Haringvlietmonding. Het volume van de suppletie is verdeeld naar verhouding van de lengte van de suppletie in elk van de mondingen.

B Bagger- en stortgegevens

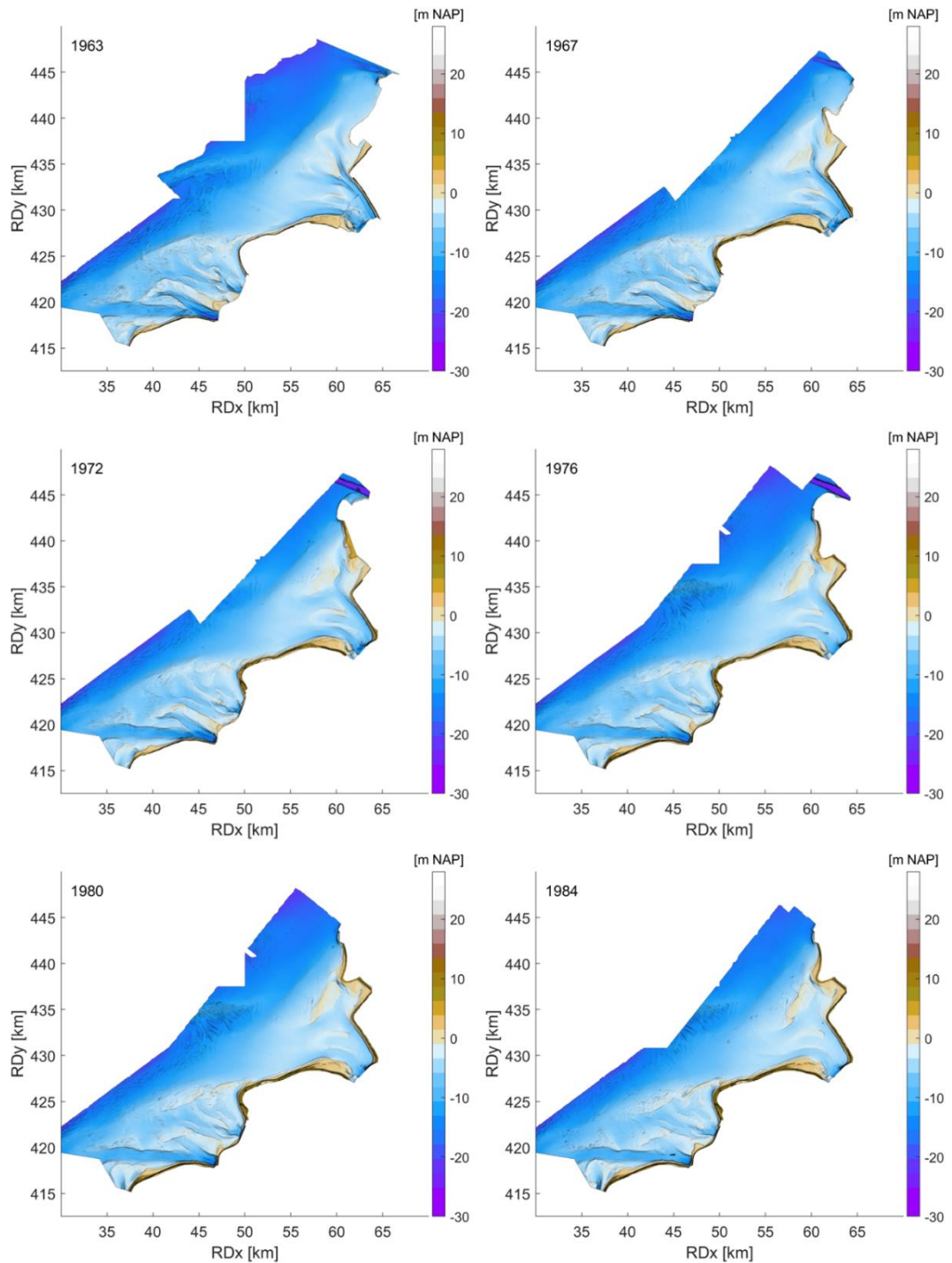
Tabel B 1. Jaarlijkse zandverplaatsingen door baggeren van 1983 – 2022 [m³ beun].

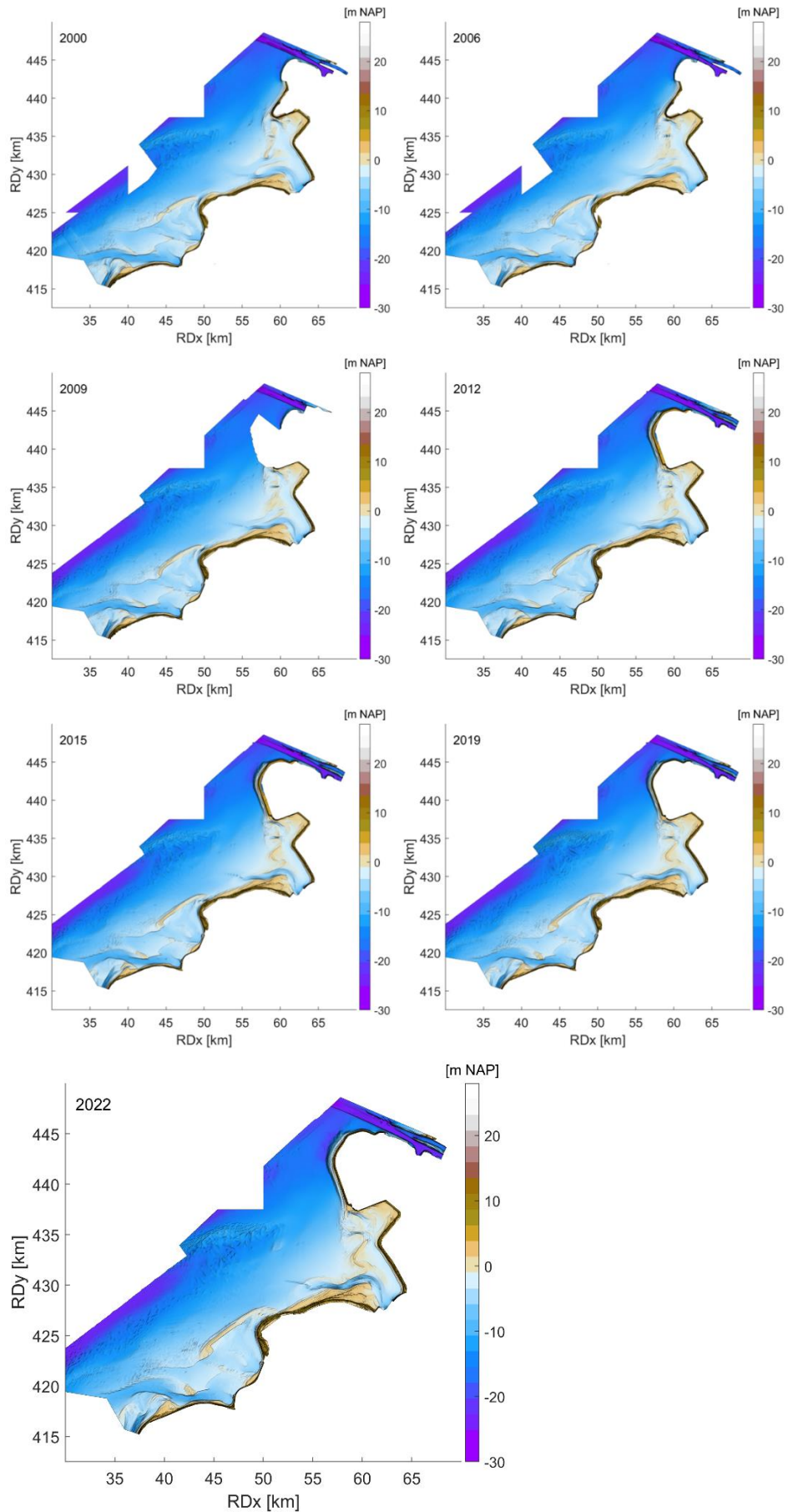
Jaar	'uit het systeem'		'in het systeem'			Totaal onttrokken uit Slijkgat
	Zandwinning	Zandopbrengst	Gestort	Suppleties	Gebruik natuur of anders	
1983	380000					380000
1984	50000					50000
1985	50000			450000		500000
1986	20000					20000
1987	145000					145000
1988	108324		357585			465909
1989	155743					155743
1990	251719					251719
1991	170818					170818
1992	331078		73527			404605
1993	69330		29495			98825
1994	55459		97806	505678	200000	858943
1995	160000		234109			394109
1996	130000					130000
1997	130000					130000
1998	30000		90000	780000	190000	1090000
1999	210000					210000
2000	242104					242104
2001	210000					210000
2002	200000		130000			330000
2003	270000					270000
2004	200000					200000
2005	200000		150000			350000
2006	200000		84000			284000
2007			103000			103000
2008			221000			221000
2009			435500			435500
2010			182000			182000
2011			761000		179000	940000
2012			439862			439862
2013			511874			511874
2014			266041			266041
2015			326137			326137

2016			764888			764888
2017			480843			480843
2018			512248			512248
2019		28640	456193			484833
2020		59954	841533			901487
2021		87025	914906			1001931
2022		120698	801517			922215
gemiddelde	165399	74079	370603	578559	189667	395891

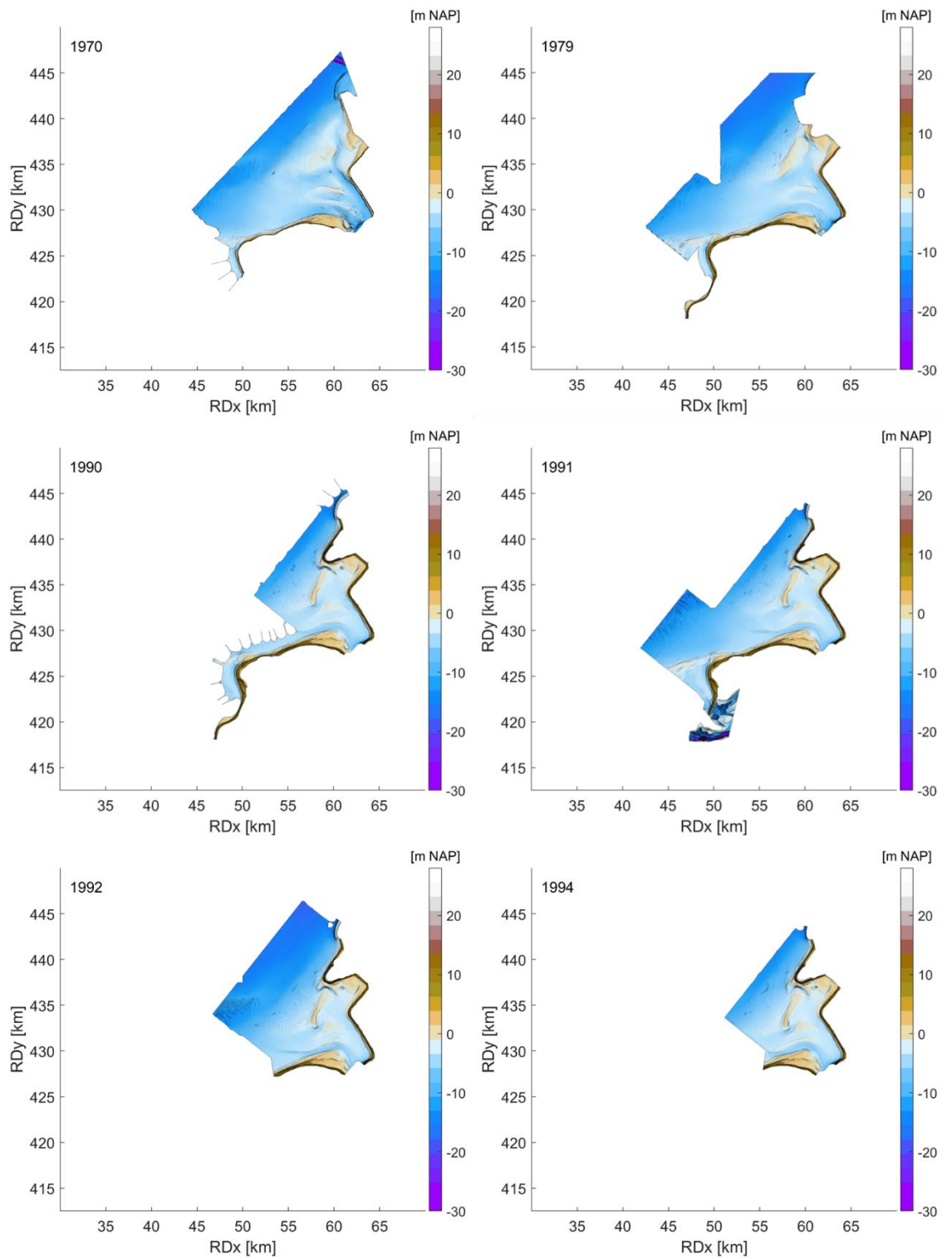
C Bodemopnamen

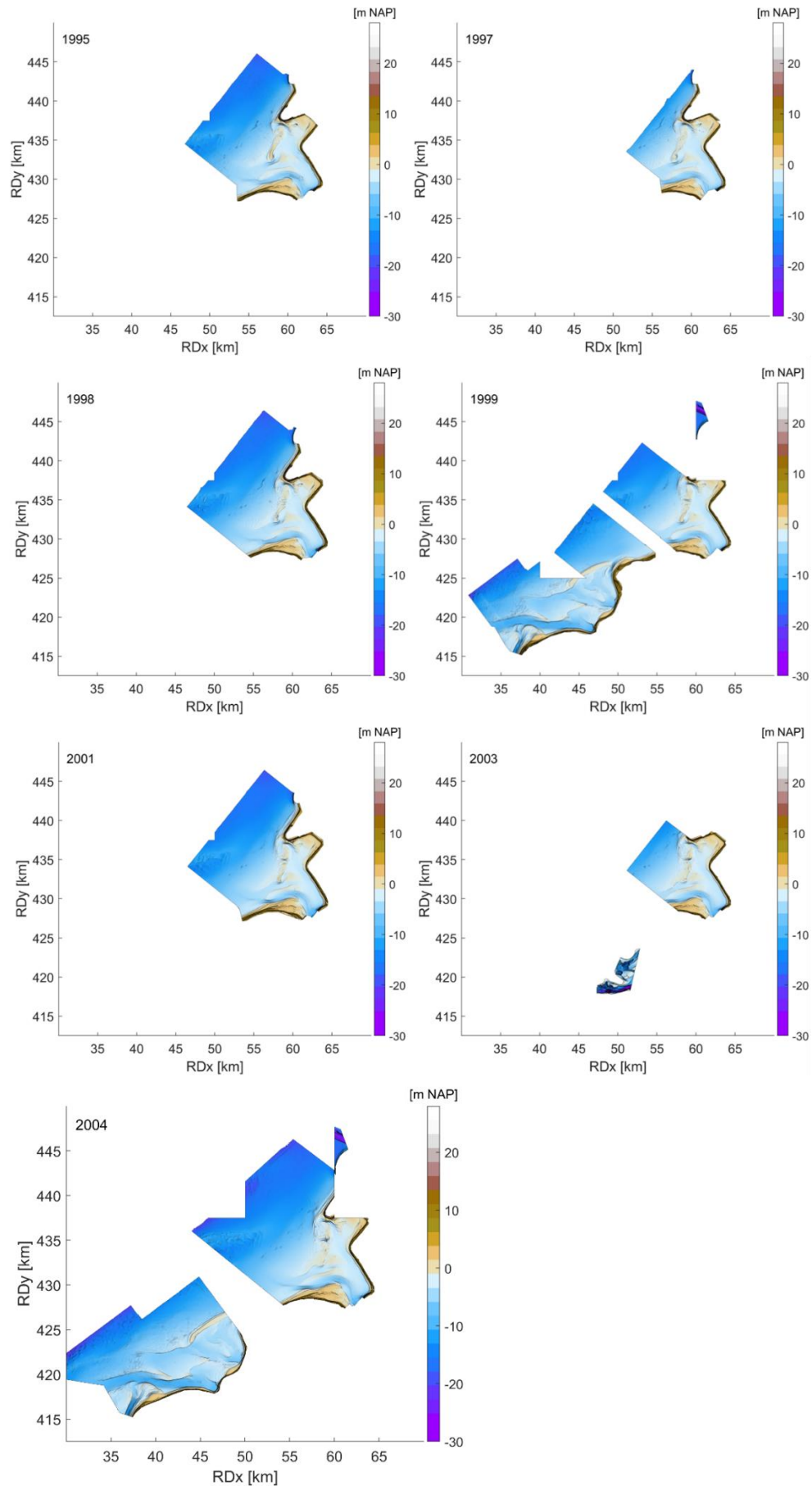
C.1 Grootschalig (1967 – 2022)



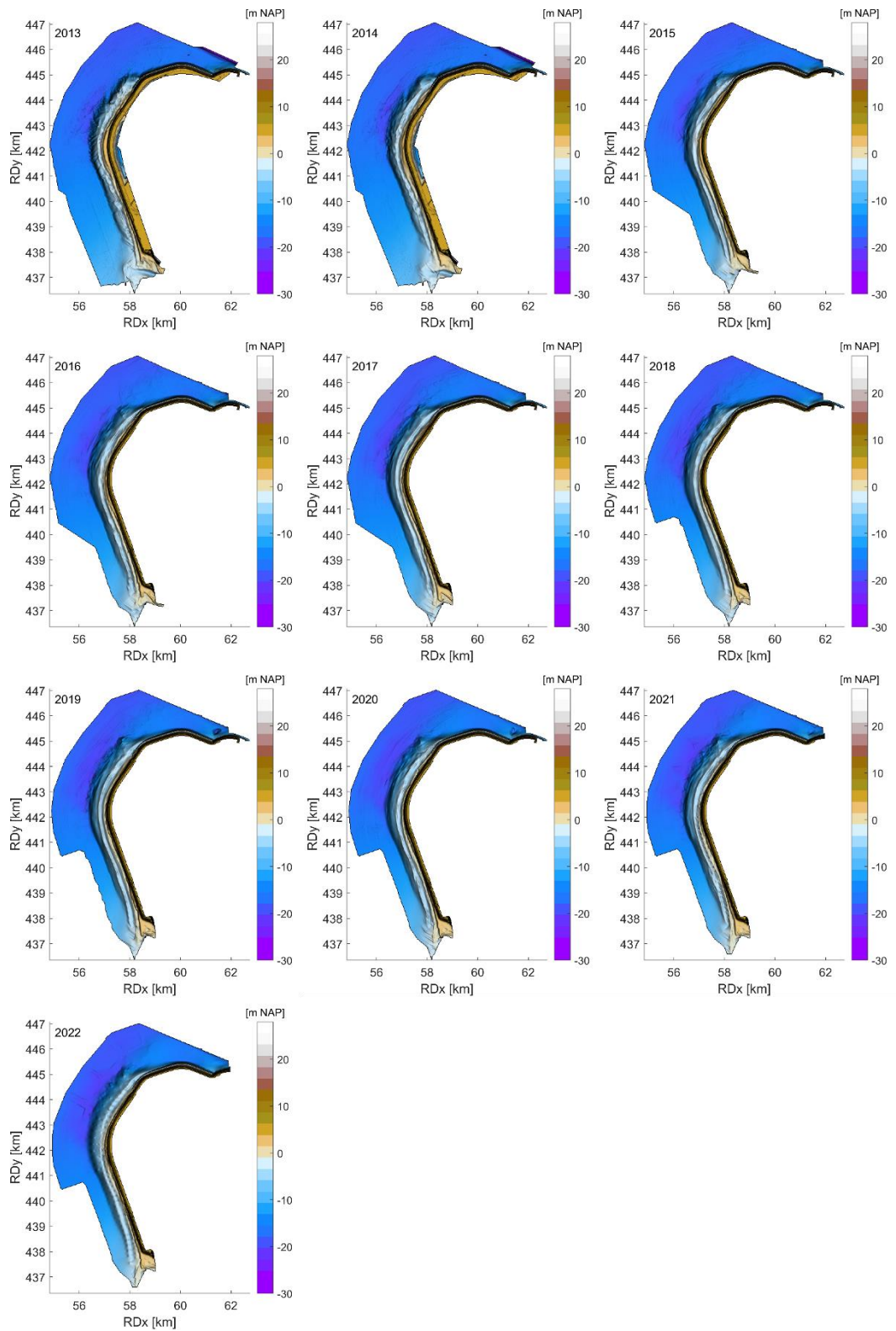


C.2 Kleinschalig (Haringvlietmonding)



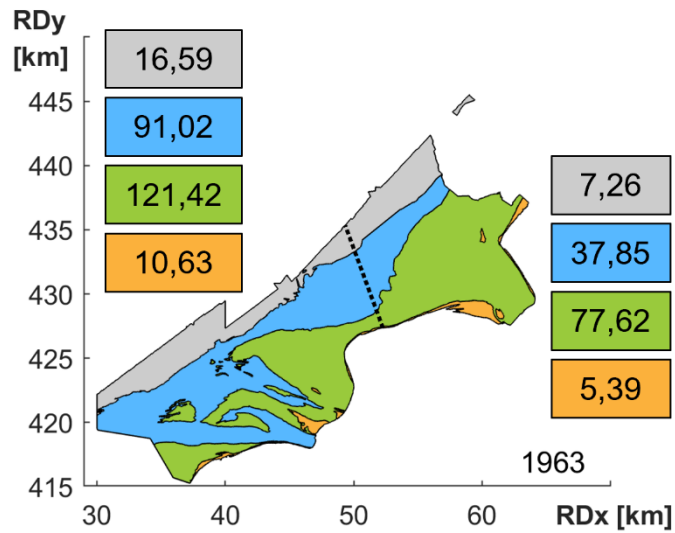


C.3 Kleinschalig (Tweede Maasvlakte)



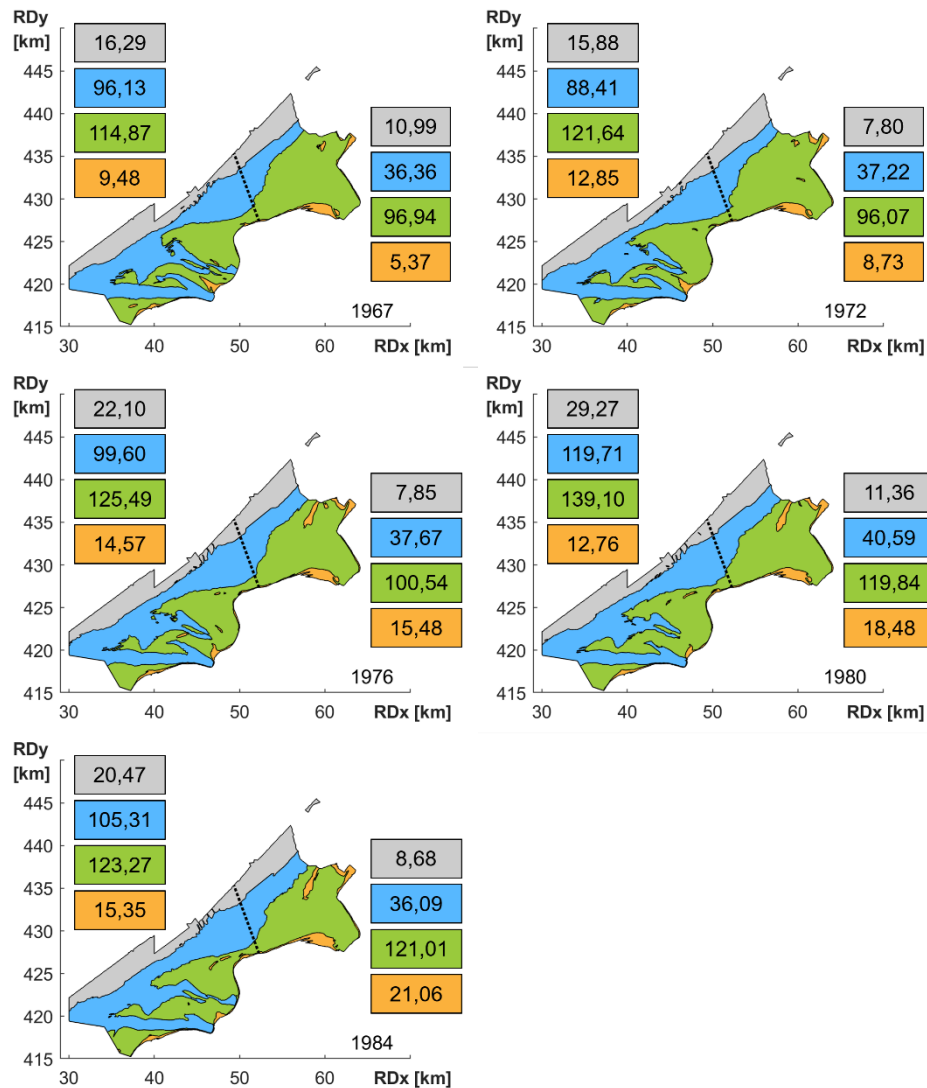
D Grootschalige polygonen

D.1 Voor de Eerste Maasvlakte (1963)



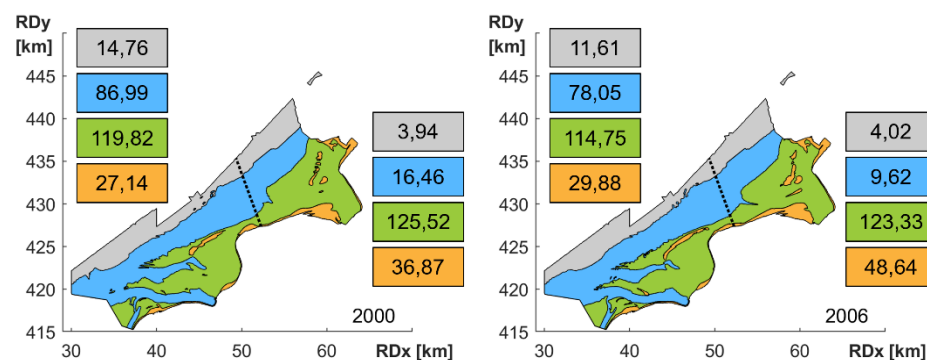
Figuur B 1. Overzicht van de absolute volumes [Mm³] binnen de diepe vooroever (grijs), de vooroever (blauw) de buitendelta (bestaande uit het platform (groen) en de banken (oranje)) voor de Grevelingen- en Haringvlietmonding voor 1963.

D.2 De Eerste Maasvlakte (1967 – 1984)



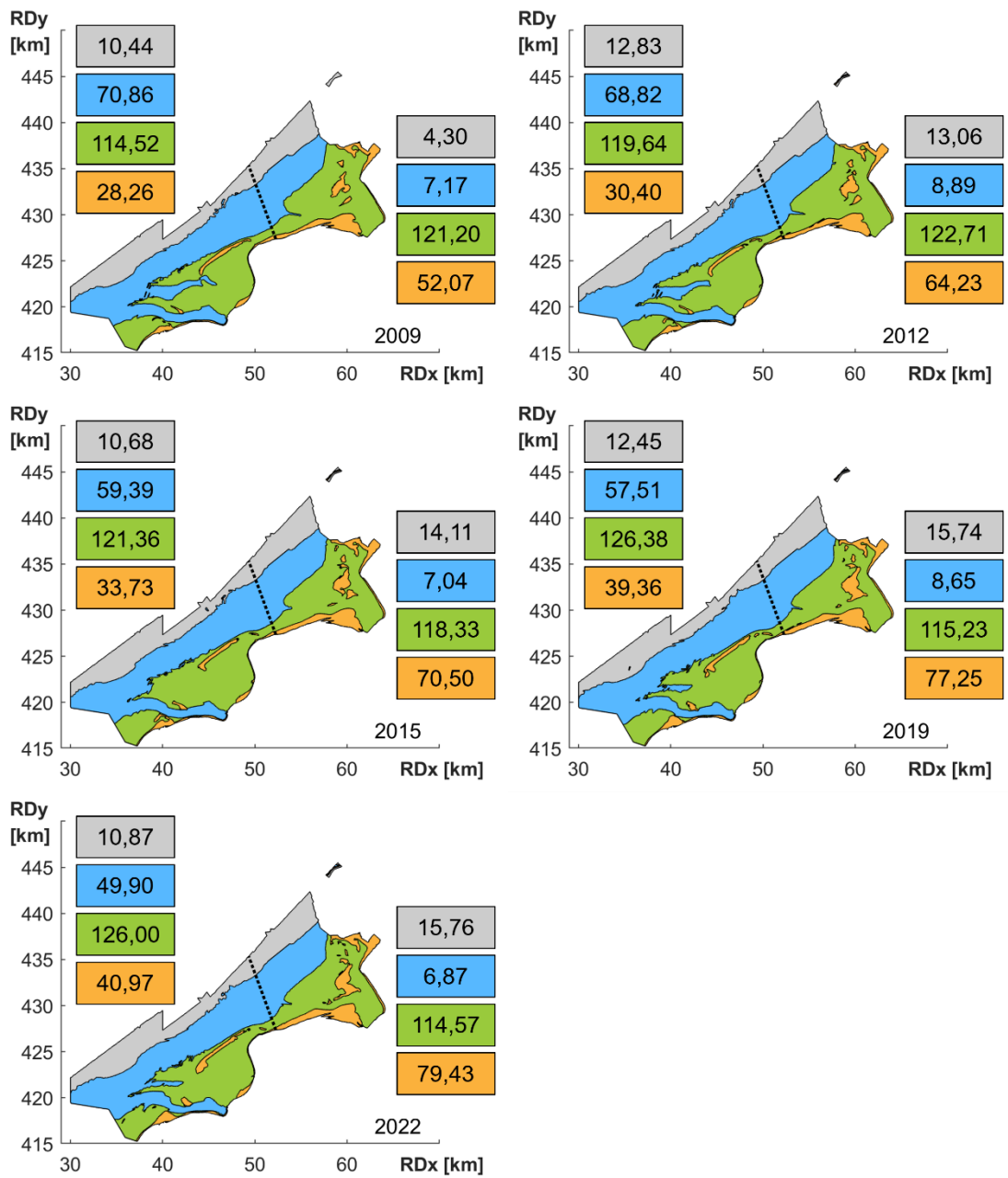
Figuur B 2. Overzicht van de absolute volumes [Mm^3] binnen de diepe vooroever (grijs), de vooroever (blauw) de buitendelta (bestaande uit het platform (groen) en de banken (oranje)) voor de Grevelingen- en Haringvlietmonding voor 1967 t/m 1984.

D.3 De Eerste Maasvlakte en de Slufter (2000 – 2006)



Figuur B 3. Overzicht van de absolute volumes [Mm^3] binnen de diepe vooroever (grijs), de vooroever (blauw) de buitendelta (bestaande uit het platform (groen) en de banken (oranje)) voor de Grevelingen- en Haringvlietmonding voor 2000 en 2006.

D.4 De Tweede Maasvlakte (2009 – 2022)

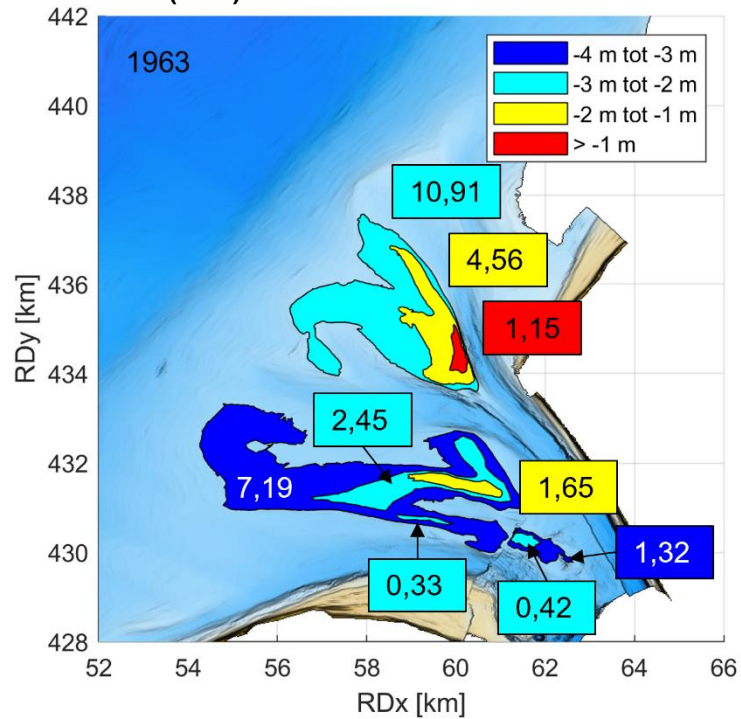


Figuur B 4. Overzicht van de absolute volumes [Mm³] binnen de diepe vooroever (grijs), de vooroever (blauw) de buitendelta (bestaande uit het platform (groen) en de banken (oranje)) voor de Grevelingen- en Haringvlietmonding voor 2009 t/m 2022.

E Kleinschalige analyse van de Haringvlietmondning

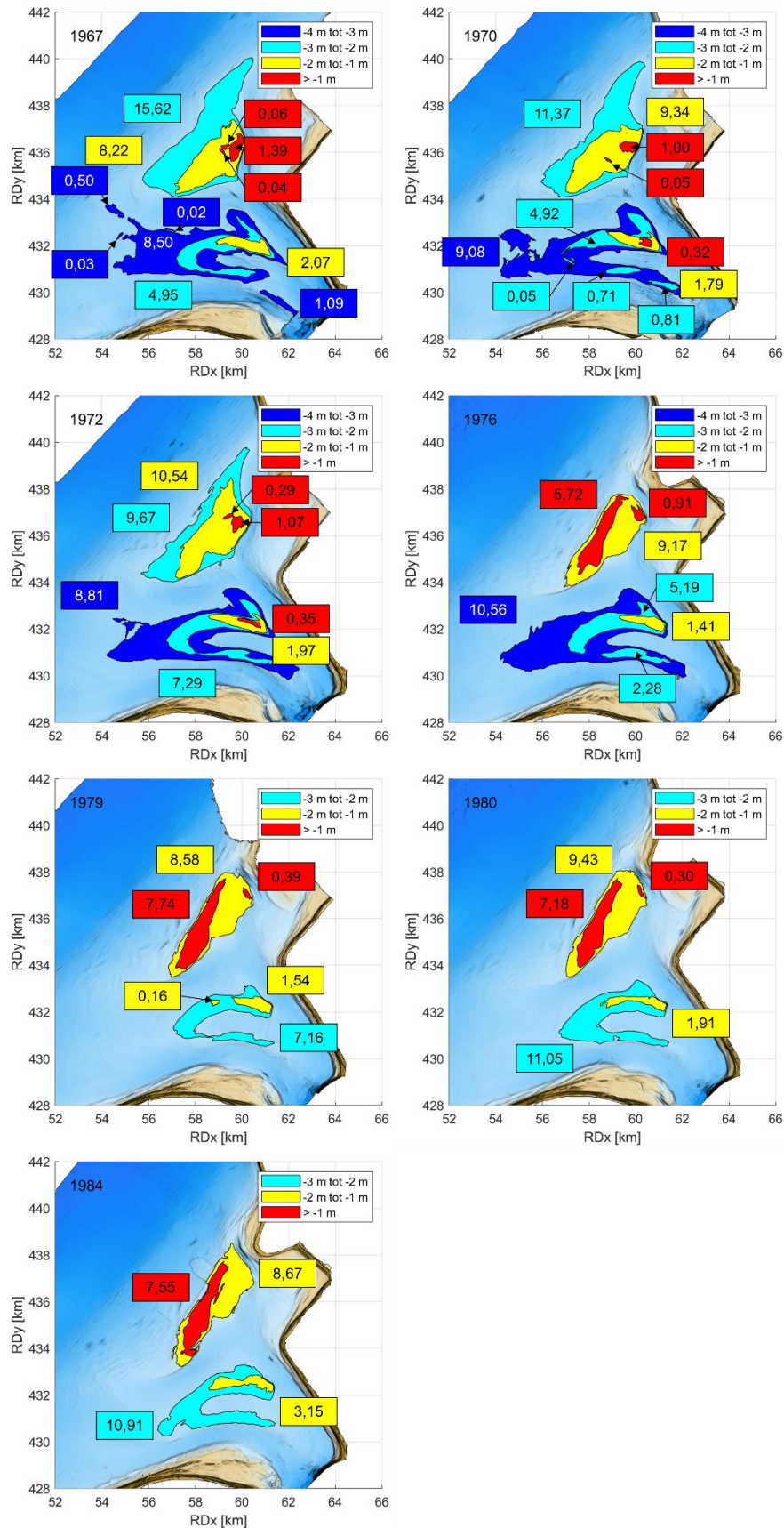
E.1 Hinderplaat

E.1.1 Voor de Eerste Maasvlakte (1963)



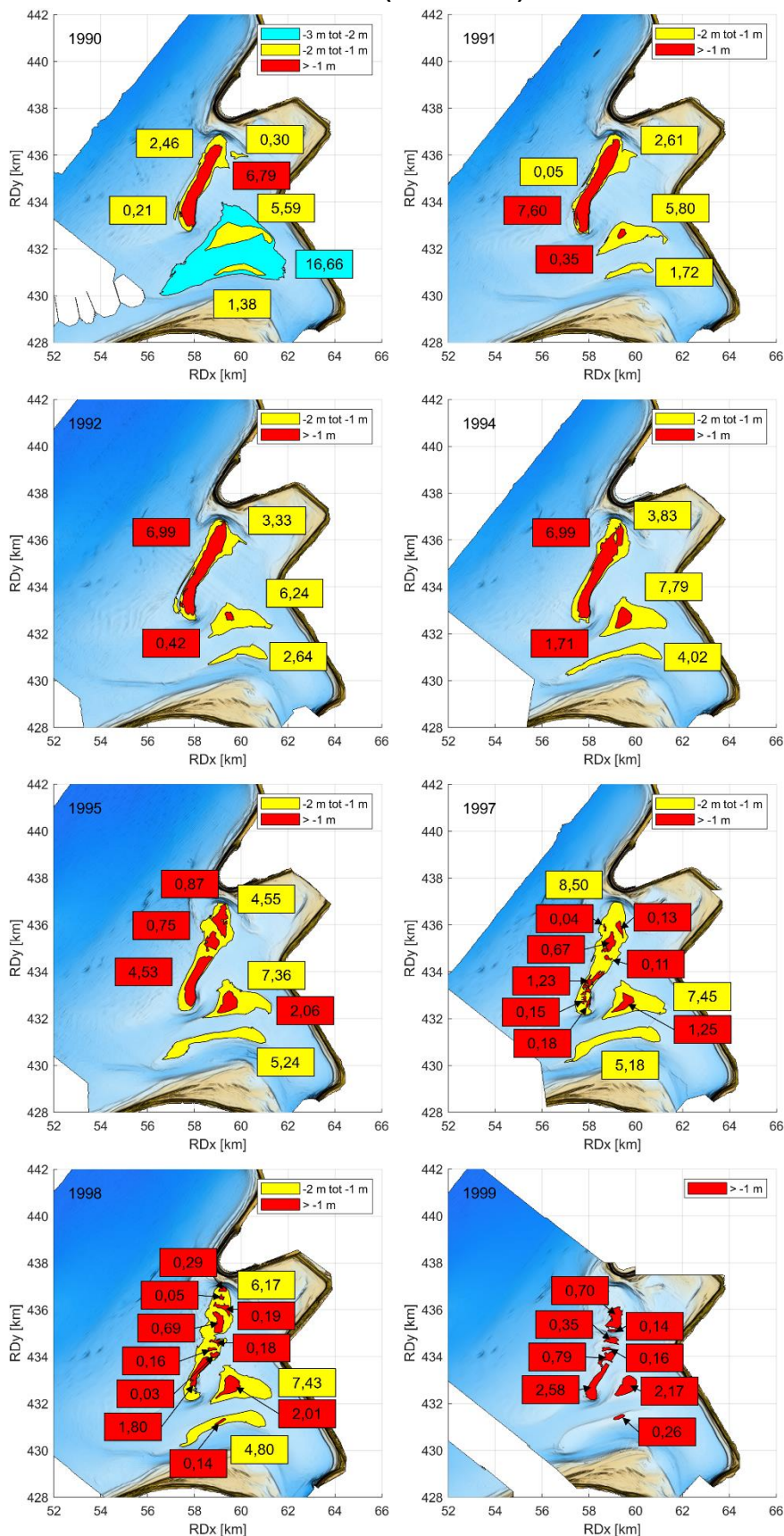
Figuur C 1. Overzicht van de absolute volumes [Mm³] binnen polygonen tussen de -4 en -3 m, -3 en -2 m, -2 en -1 m en ondieper dan -1 m bij de Hinderplaat voor 1963.

E.1.2 De Eerste Maasvlakte (1967 – 1984)

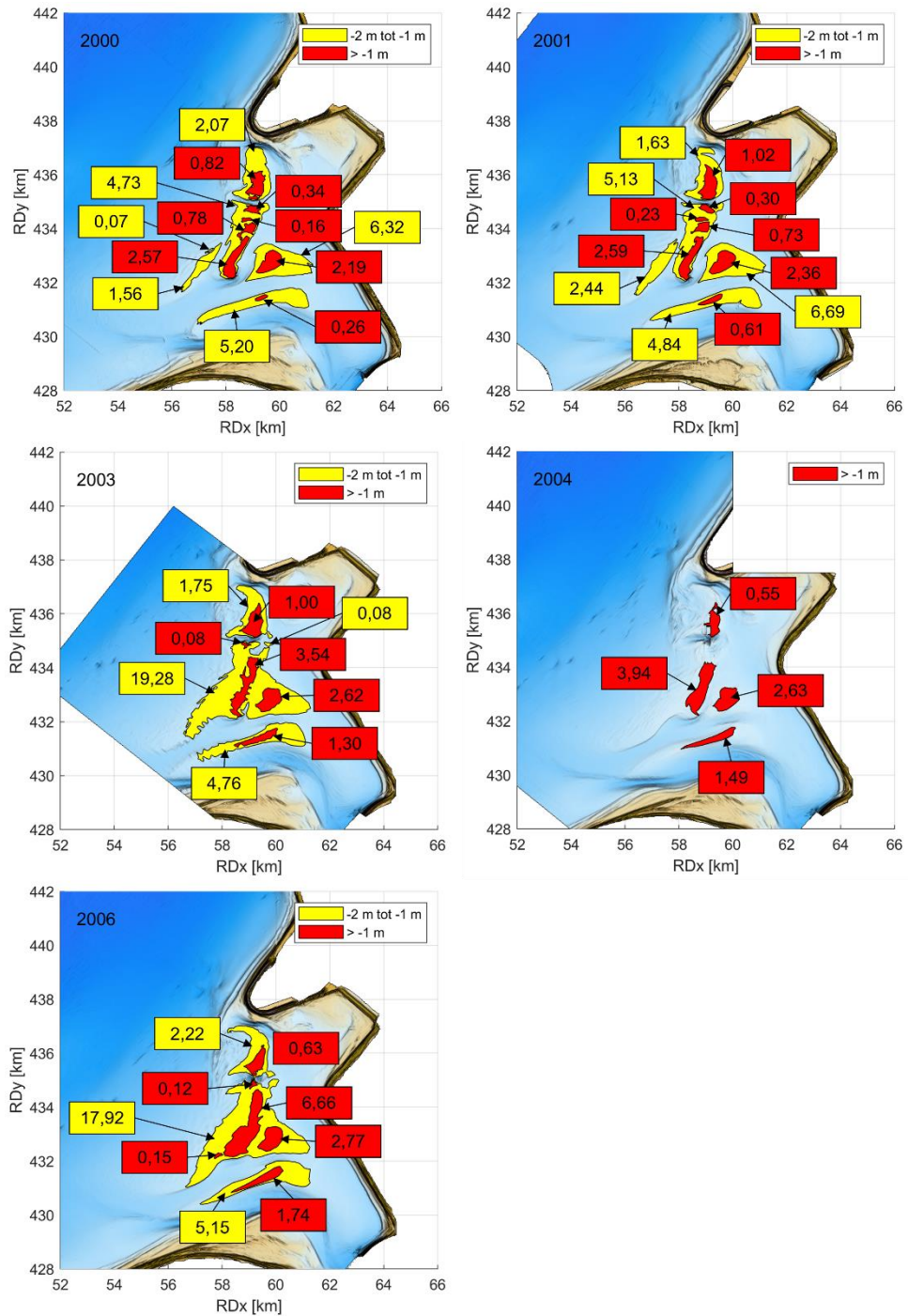


Figuur C 2. Overzicht van de absolute volumes [Mm^3] binnen polygonen tussen de -4 en -3 m, -3 en -2 m, -2 en -1 m en ondieper dan -1 m bij de Hinderplaat voor 1967-1984.

E.1.3 De Eerste Maasvlakte en de Slufter (1990 – 2006)

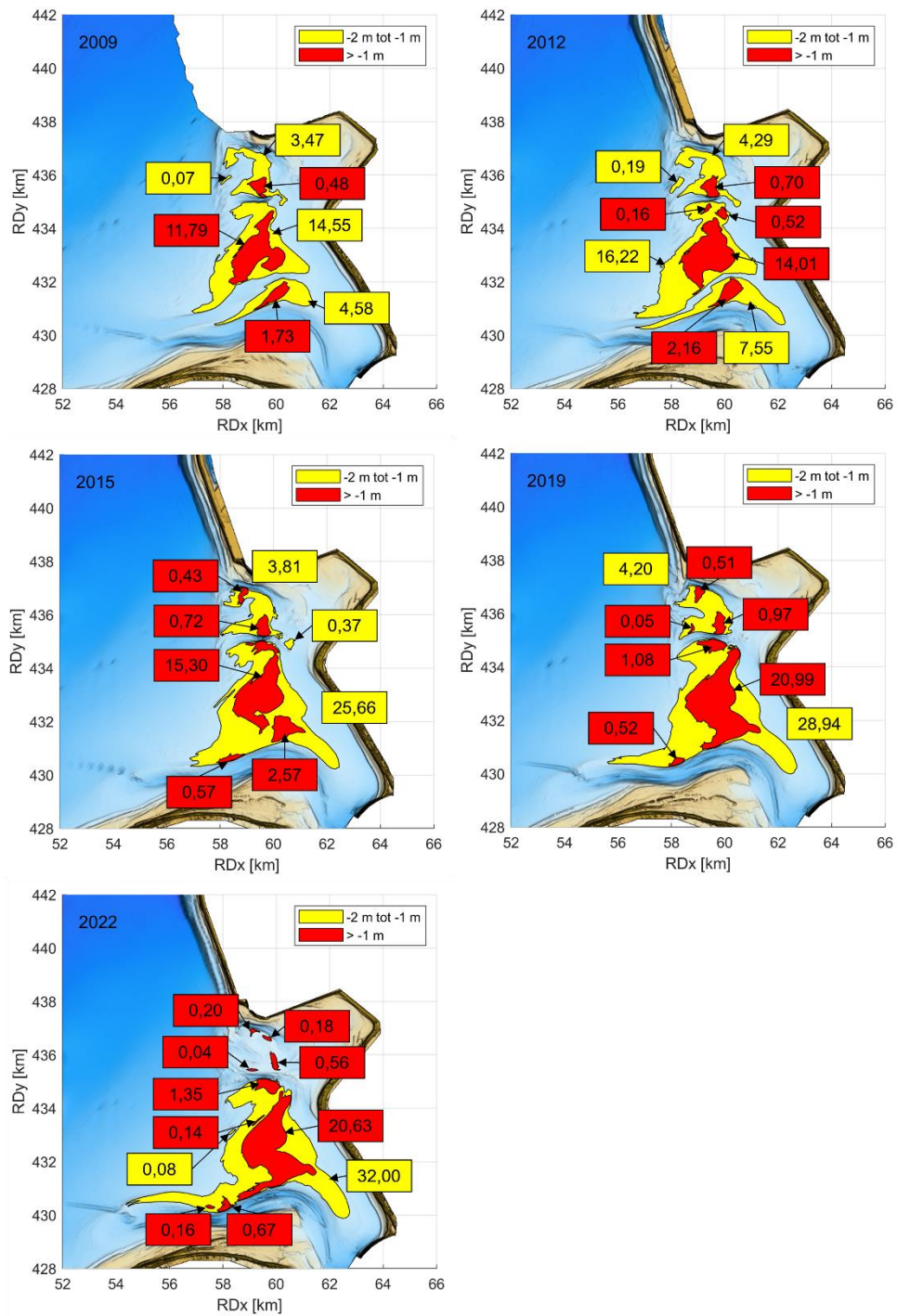


Figuur C 3. Overzicht van de absolute volumes [Mm³] binnen polygoon tussen de -3 en -2 m, -2 en -1 m en ondieper dan -1 m bij de Hinderplaat voor 1990-1999. In 1999 ontbrak de polygoon tussen de -2 en -1 m.



Figur C 4. Overzicht van de absolute volumes [Mm³] binnen polygonen tussen de -2 en -1 m diep en ondieper dan -1 m bij de Hinderplaat voor 2000-2006. In 2004 ontbrak de polygoon tussen de -2 en -1 m

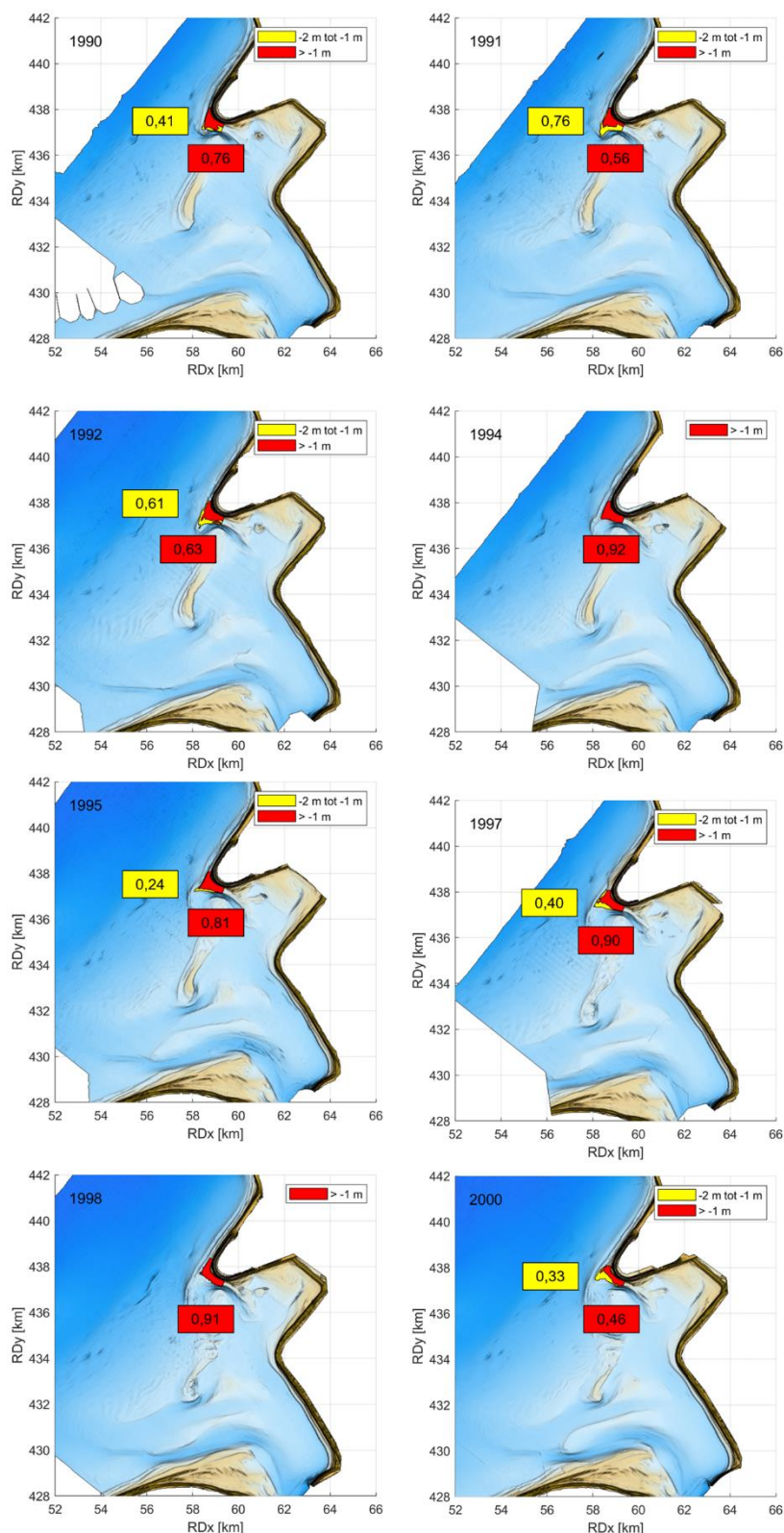
E.1.4 De Tweede Maasvlakte (2009 – 2022)



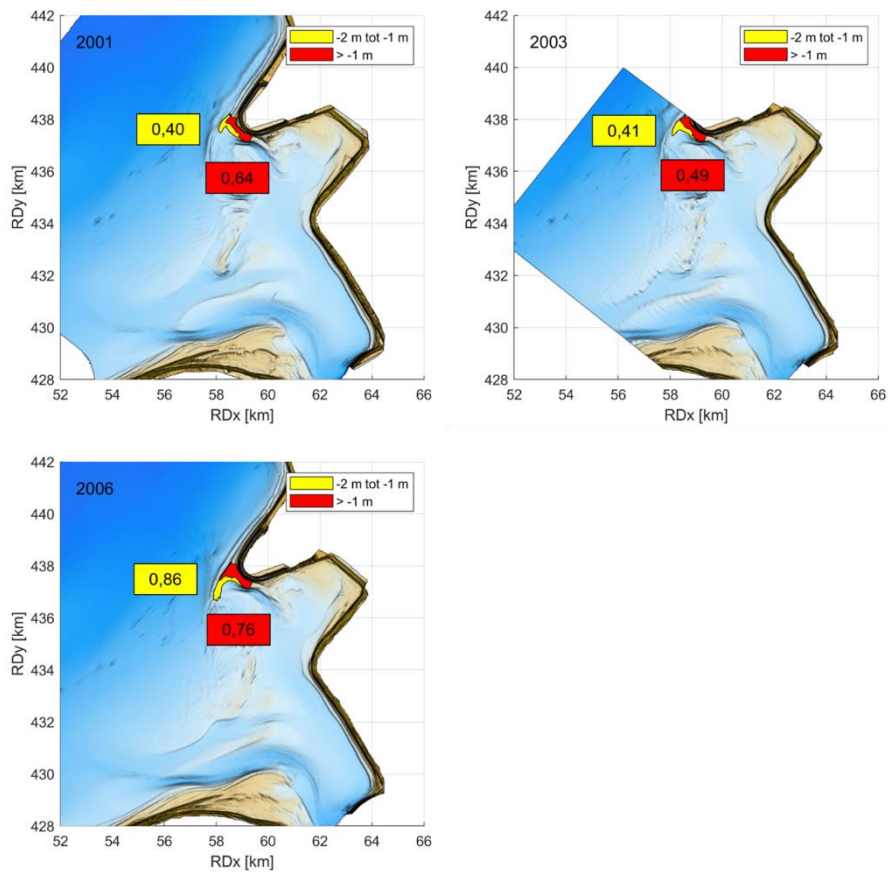
Figuur C 5. Overzicht van de absolute volumes [Mm3] binnen polygonen tussen de -2 en -1 m diep en ondieper dan -1 m bij de Hinderplaat voor 2009-2022.

E.2 Spit Maasvlakte-Zuid

E.2.1 De Eerste Maasvlakte en de Slufter (1990 – 2006)

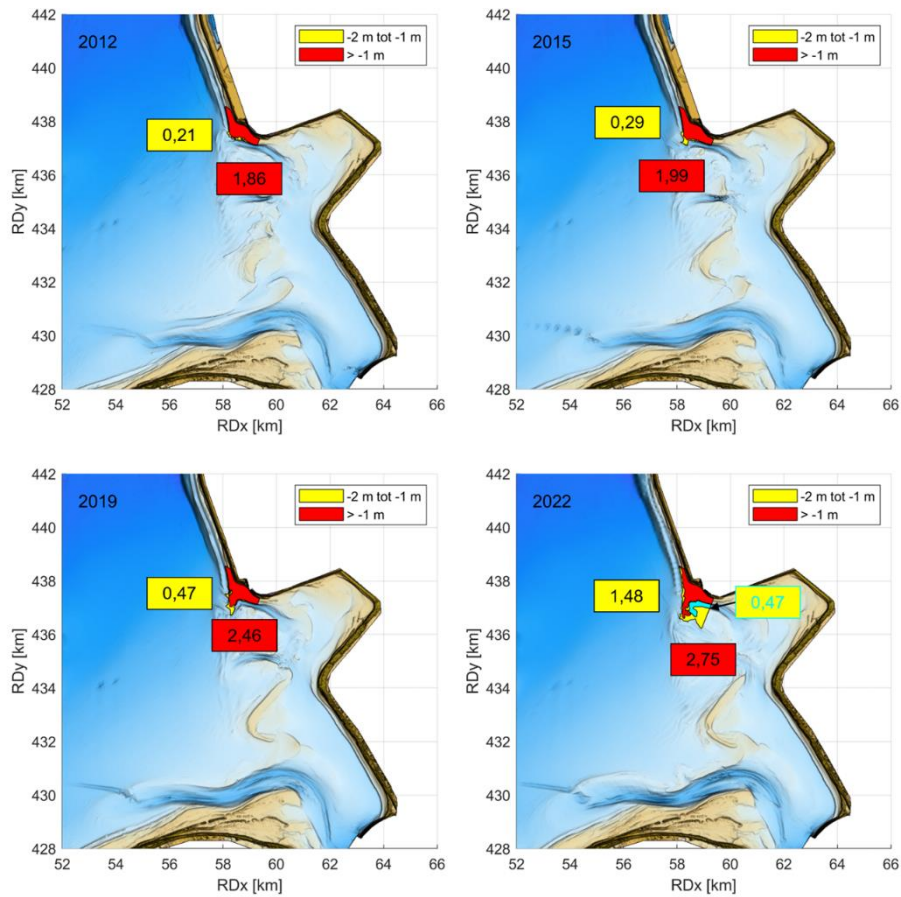


Figur C 6. Overzicht van de absolute volumes [Mm^3] binnen polygonen tussen de -2 en -1 m diep en ondieper dan -1 m bij de spit ten zuiden van de Slufter voor 1990-2000. In 1994 en 1998 ontbrak de polygoon tussen de -2 en -1 m.



Figuur C 7. Overzicht van de absolute volumes [Mm^3] binnen polygonen tussen de -2 en -1 m diep en ondieper dan -1 m bij de spit ten zuiden van de Slufter voor 2001-2006.

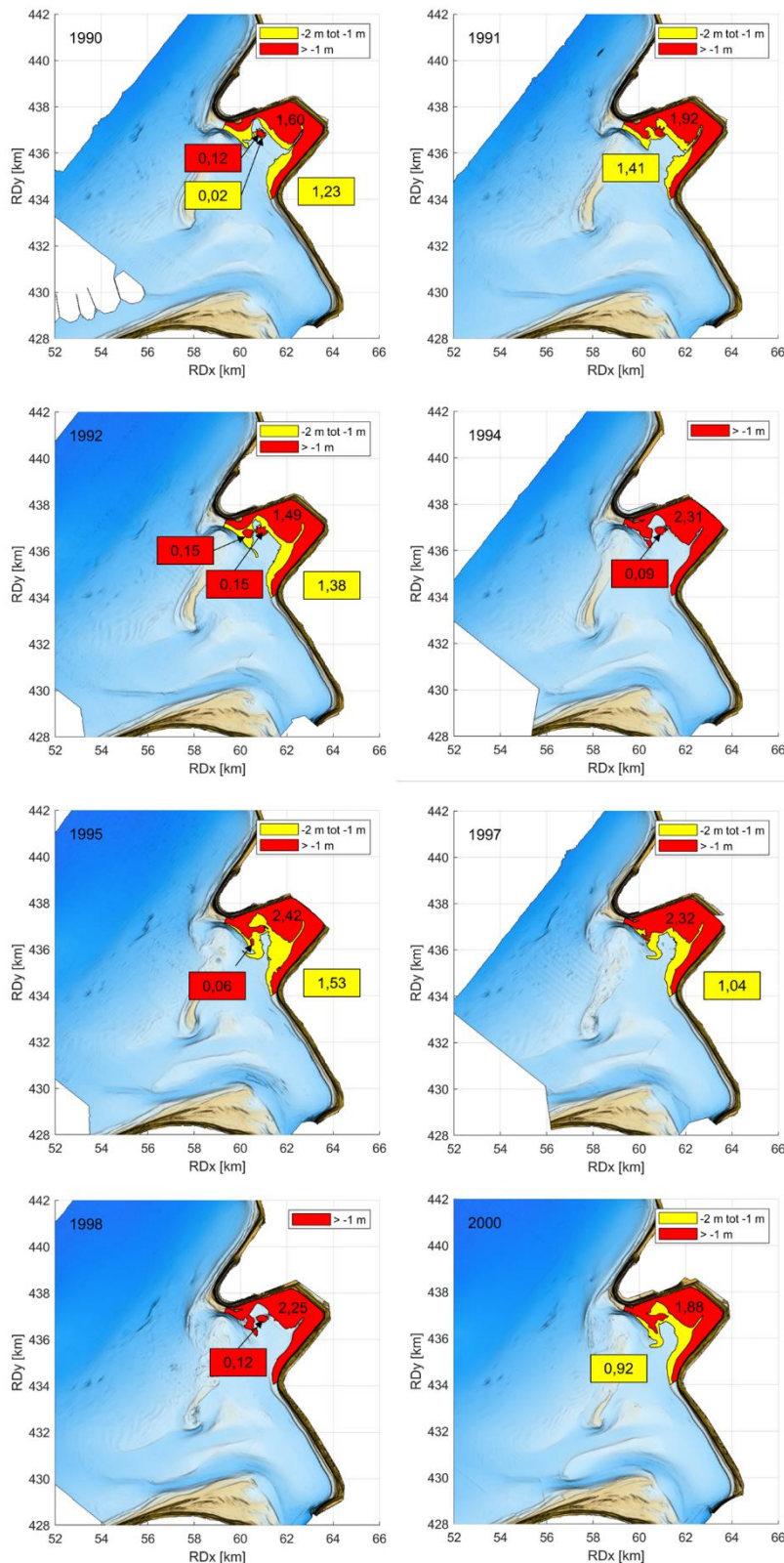
E.2.2 De Tweede Maasvlakte (2012 – 2022)



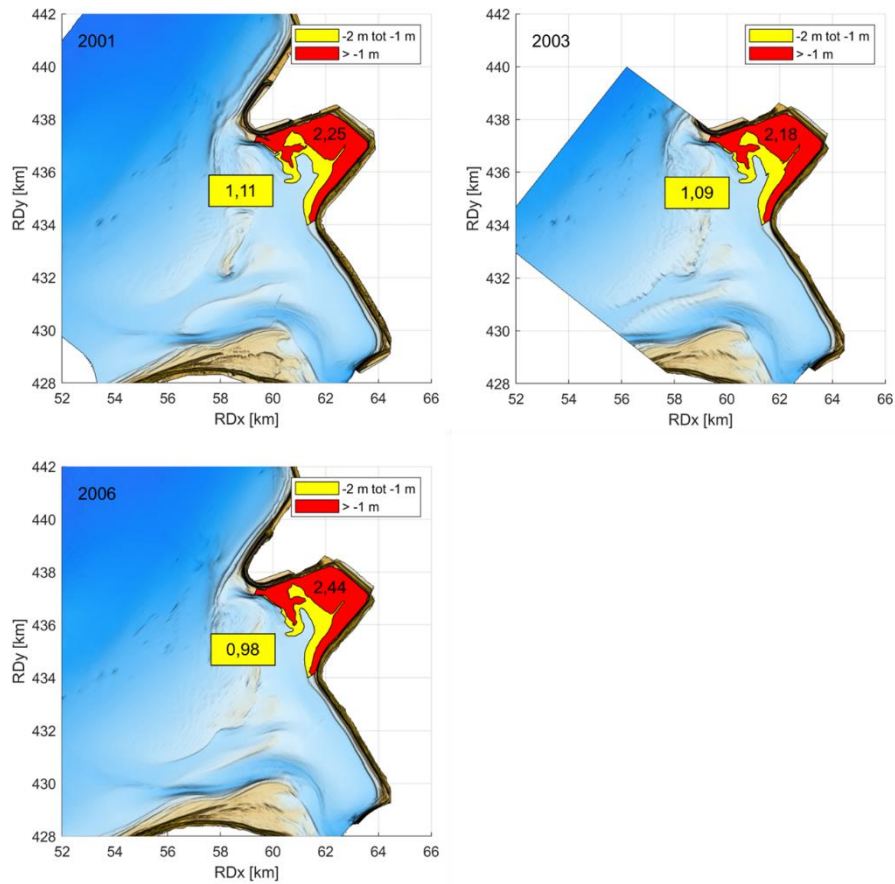
Figuur C 8. Overzicht van de absolute volumes [Mm³] binnen polygonen tussen de -2 en -1 m diep en ondieper dan -1 m bij de spit ten zuiden van de Tweede Maasvlakte voor 2012-2022. Let op: de polygoon tussen de -2 en -1 m uit 2022 omvat het Hindergat.

E.3 Slikken van Voorne

E.3.1 De Eerste Maasvlakte en de Slufter (1990 – 2006)

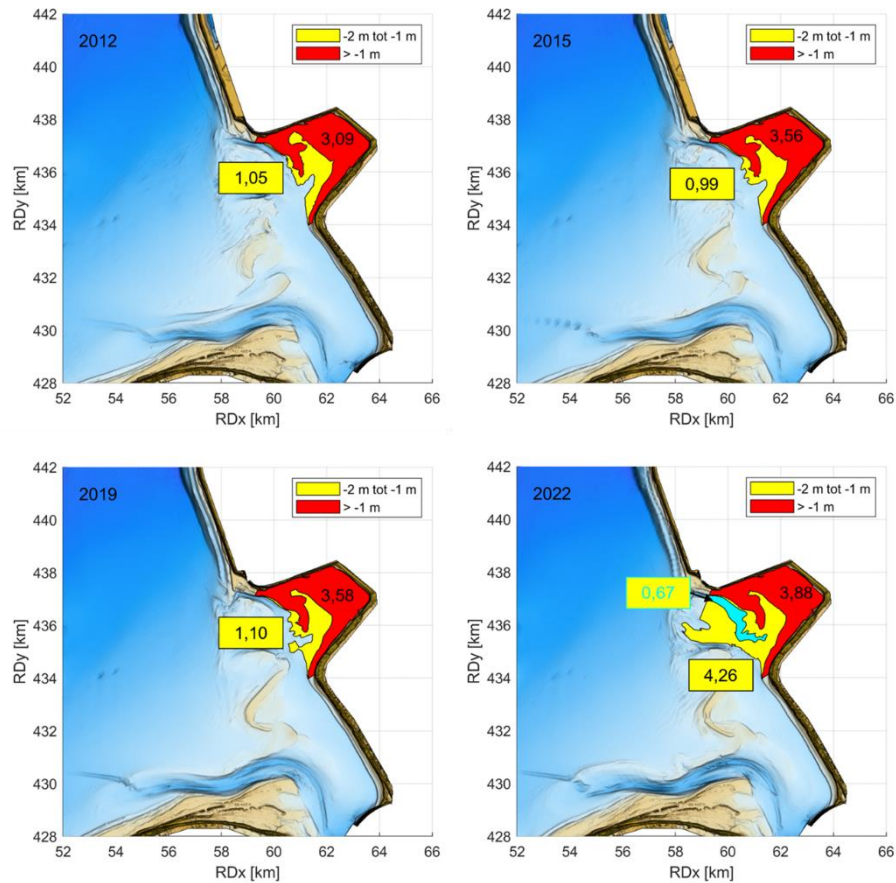


Figuur C 9. Overzicht van de absolute volumes [Mm^3] binnen polygonen tussen de -2 en -1 m diep en ondieper dan -1 m bij de Slikken van Voorne voor 1990-2000. In 1994 en 1998 ontbrak de polygoon tussen de -2 en -1 m.



Figuur C 10. Overzicht van de absolute volumes [Mm^3] binnen polygonen tussen de -2 en -1 m diep en ondieper dan -1 m bij de Slikken van Voorne voor 2001-2006.

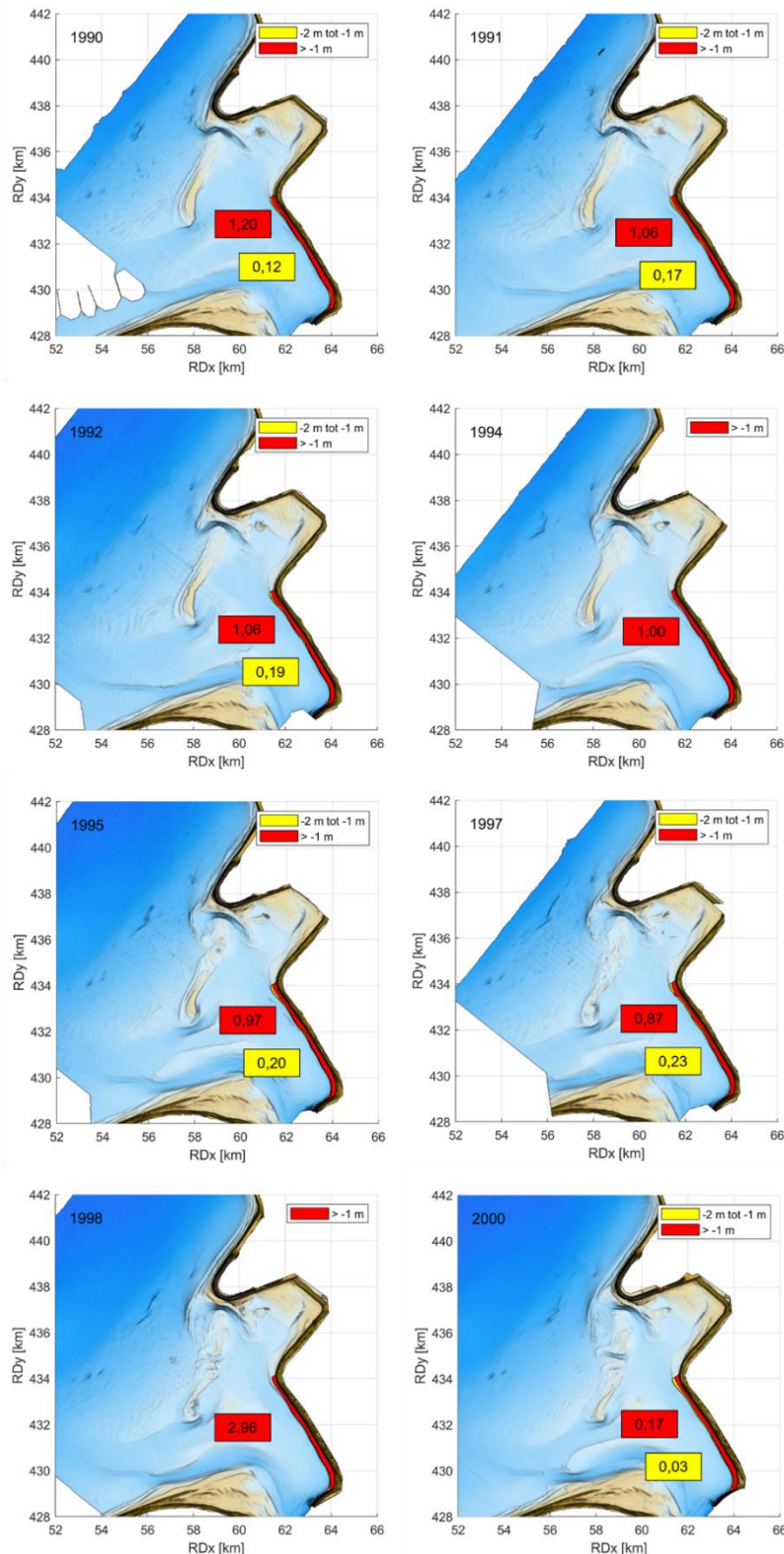
E.3.2 De Tweede Maasvlakte (2012 – 2022)



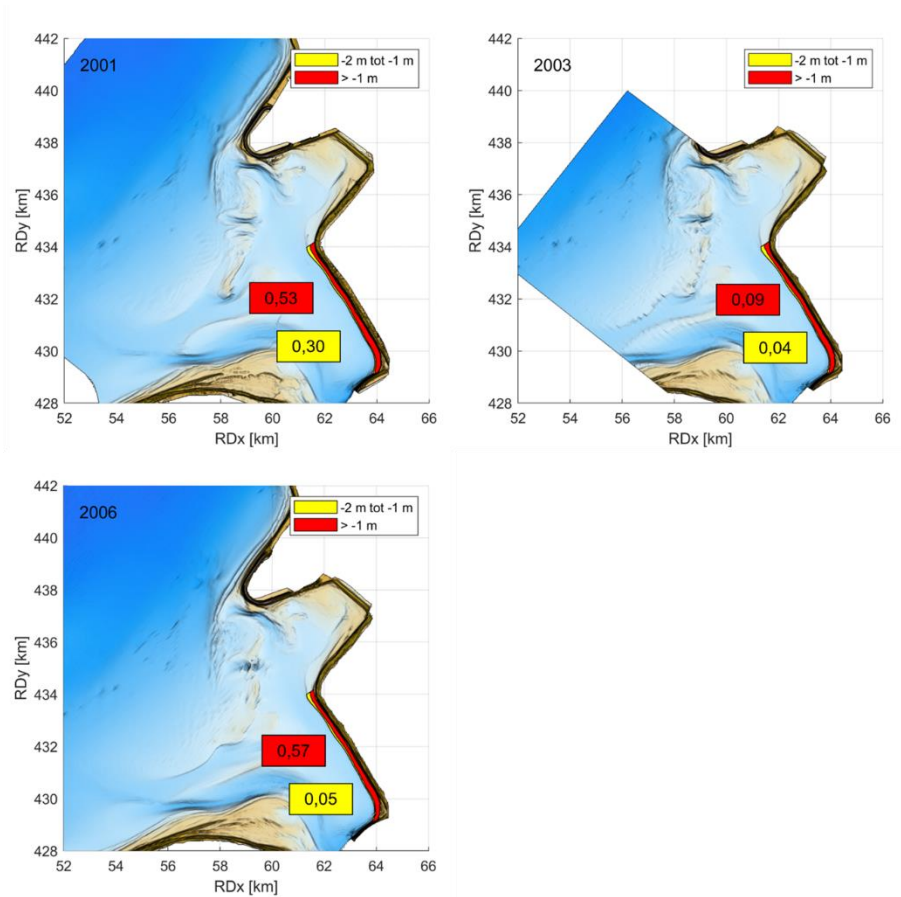
Figuur C 11. Overzicht van de absolute volumes [Mm^3] binnen polygoon tussen de -2 en -1 m diep en ondieper dan -1 m bij de Slikken van Voorne voor 2012-2022. De landwaartse grens van de -1 m polygoon is de +3 m contour. Let op: de polygoon tussen de -2 en -1 m uit 2022 omvat het Hindergat.

E.4 Kust van Rockanje

E.4.1 De Eerste Maasvlakte en de Slufter (1990 – 2006)

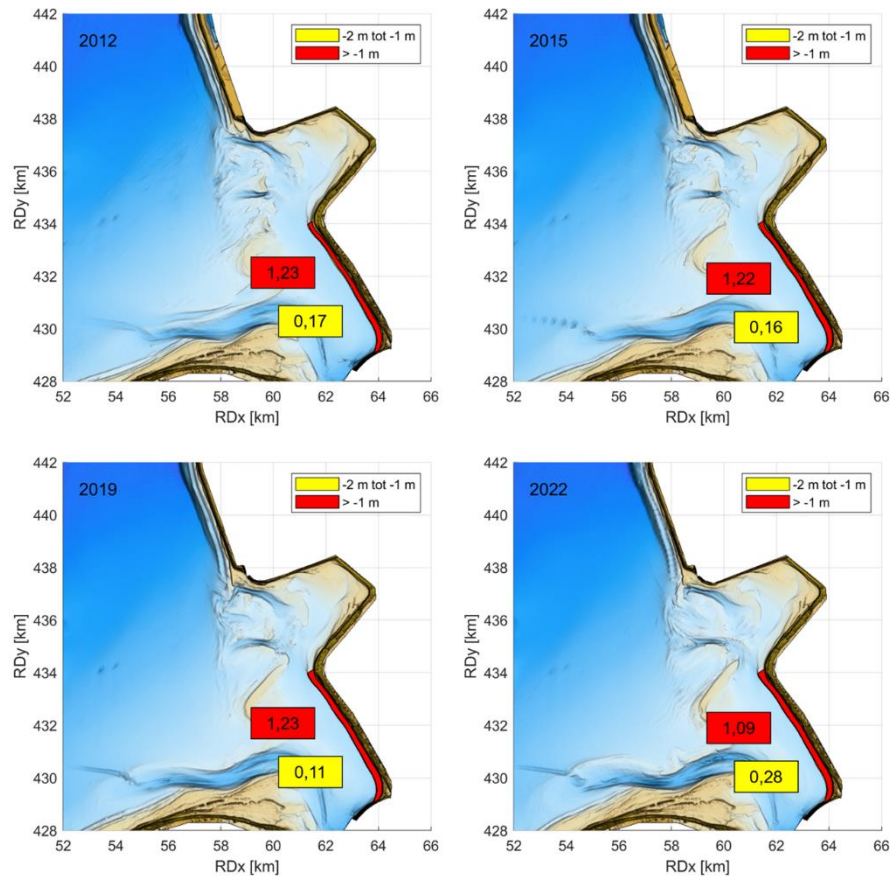


Figuur C 12. Overzicht van de absolute volumes [Mm^3] binnen polygonen tussen de -2 en -1 m diep en ondieper dan -1 m bij de kust van Rockanje voor 1990-2000. In 1994 en 1998 ontbrak de polygonen tussen de -2 en -1 m.



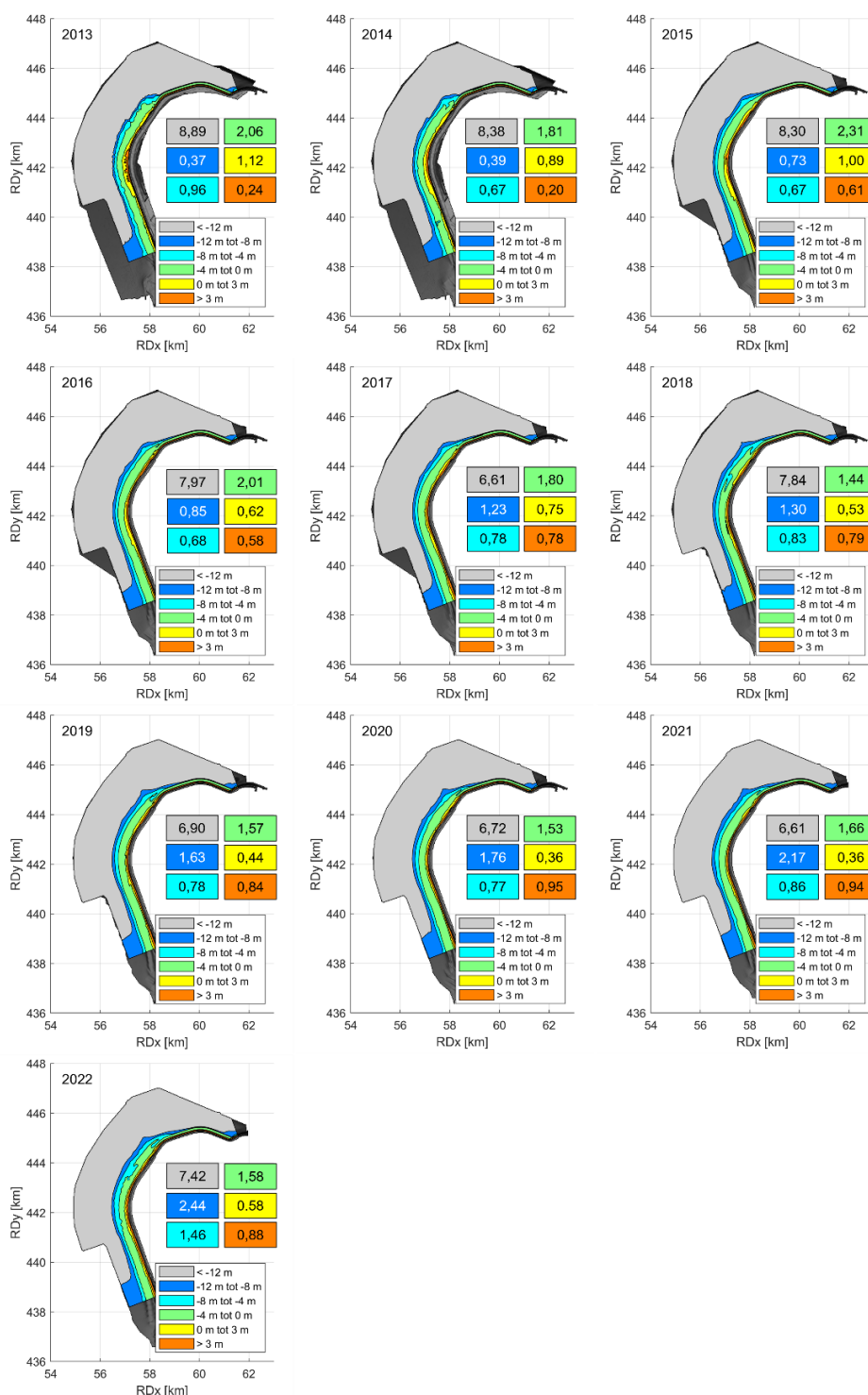
Figuur C 13. Overzicht van de absolute volumes [Mm^3] binnen polygonen tussen de -2 en -1 m diep en ondieper dan -1 m bij de kust van Rockanje voor 2001-2006.

E.4.2 De Tweede Maasvlakte (2012 – 2022)



Figuur C 14. Overzicht van de absolute volumes [Mm^3] binnen polygonen tussen de -2 en -1 m diep en ondieper dan -1 m bij de kust van Rockanje voor 2012-2022.

F Kleinschalige analyse van de Tweede Maasvlakte



Figuur D 1. Overzicht van de absolute volumes [Mm^3] binnen polygonen dieper dan -12 m, tussen de -12 en -8 m, -8 en -4 m, -4 en 0 m, 0 en 3 m en ondieper dan 3 m bij de kust van de Tweede Maasvlakte voor 2013-2022.

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