

Vergunning storten Westerschelde

Vergunning storten Westerschelde

Analyse ontwikkeling morfologie en richtlijn stortcapaciteit



Vergunning storten Westerschelde

Analyse ontwikkeling morfologie en richtlijn stortcapaciteit

| | |
|-----------------------|---|
| Opdrachtgever | Vlaams Ministerie Mobiliteit en Openbare Werken, Afdeling Maritieme Toegang |
| Contactpersoon | [REDACTED] |
| Referenties | |
| Trefwoorden | |

Documentgegevens

| | |
|----------------------|----------------------|
| Versie | 0.2 |
| Datum | 05-02-2021 |
| Projectnummer | 1210301-000 |
| Document ID | 1210301-000-ZKS-0028 |
| Pagina's | 79 |
| Classificatie | |
| Status | definitief |

Auteur(s)

| | | |
|--|--|--|
| | | |
| | | |

| Doc. Versie | Auteur | Controle | Akkoord | Publicatie |
|-------------|------------|------------|------------|------------|
| 1.0 | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | |
| | | | | |

Samenvatting

In de Westerschelde vindt onderhoudsbaggerwerk plaats van de vaargeul. De gebaggerde specie wordt teruggestort in de nevengeulen, op de zeewaarts gelegen randen van de Hoge Platen en de Plaat van Walsoorden en in de diepere delen van de hoofdgeulen. De huidige vergunning voor het vaargeulonderhoud loopt tot eind 2021.

Dit rapport draagt bij aan het vaststellen van de initiële stortcapaciteit en de alternatieve ruimte voor Flexibel Storten voor het storten van bodemmateriaal in de Westerschelde in de Watervergunning gedurende de periode 2022-2029.

De stortruimte wordt gelimiteerd om de stabiliteit van het meergeulensysteem op macroschaal te waarborgen, in het bijzonder de verhouding tussen de geulen in een macrocel. De initiële stortcapaciteit kan worden vastgesteld op basis van een praktische richtlijn. Deze geeft een indicatie van het sedimentvolume dat langdurig kan worden gestort zonder dat de stabiliteit van het meergeulensysteem in gevaar komt (Jeuken & Wang 2010; Bijlage C; Jeuken et al. 2014). Deze richtlijn wordt in dit rapport (opnieuw) toegepast en voorzien van inhoudelijke informatie en interpretatie.

Voor het behoud van de stabiliteit van het meergeulensysteem is vooral het storten in de nevengeulen een issue. De eerder genoemde richtlijn is echter ook gebruikt om de voorgestelde stortvolumes in de hoofdgeulen te toetsen, omdat de richtlijn een eerste indicatie geeft in welke mate een storting kan worden verspreid.

Het hoofdrapport bevat een beknopte onderbouwing van de stortruimte voor de nevengeulen en een toetsing van de stortruimte voor de hoofdgeulen. De bijlages bevatten gedetailleerde informatie die aan de onderbouwing ten grondslag liggen.

Inhoud

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Introductie | 7 |
| 1.1 | Doel en achtergrond | 7 |
| 1.2 | Methodiek en de toepassing voor nevengeulen | 7 |
| 1.3 | Toetsing voor de hoofdgeulen | 9 |
| 1.4 | Advisering voor de plaatranden | 9 |
| 2 | Berekening, advies en toetsing stortcapaciteit | 10 |
| 2.1 | Overzicht van de resultaten | 10 |
| 2.2 | Onderbouwing voor nevengeulen | 13 |
| 2.2.1 | Nevengeul Macrocel 1 | 13 |
| 2.2.2 | Nevengeul Macrocel 3 | 14 |
| 2.2.3 | Nevengeul Macrocel 4 | 16 |
| 2.2.4 | Nevengeul Macrocel 5 | 17 |
| 2.2.5 | Nevengeul Macrocel 6 | 18 |
| 2.2.6 | Nevengeul Macrocel 7 | 19 |
| 2.3 | Toetsing voor hoofdgeulen | 19 |
| 2.3.1 | Toetsing voor hoofdgeul Macrocel 1 | 20 |
| 2.3.2 | Toetsing voor hoofdgeul Macrocel 3 | 20 |
| 2.3.3 | Toetsing voor hoofdgeul Macrocel 4 | 20 |
| 2.3.4 | Toetsing voor hoofdgeul Macrocel 5 | 22 |
| 2.3.5 | Toetsing voor hoofdgeul Macrocel 6 | 22 |
| 2.3.6 | Toetsing voor hoofdgeul Macrocel 7 | 22 |
| 2.4 | Aangevraagde volumes | 22 |
| | Referenties | 24 |
| A | Ontwikkeling volumes geulen en ingrepen | 25 |
| A.1 | Ontwikkeling watervolume, volume ingrepen en netto volume | 25 |
| A.2 | Watervolume per rekenvak | 31 |
| A.3 | Trendbepaling | 37 |
| A.4 | Volumeveranderingen op basis van trends | 38 |
| B | Bruto sedimenttransporten & transportcapaciteit | 42 |
| B.1 | Achtergrond | 42 |
| B.2 | Aanpak | 42 |
| B.3 | Resultaten | 43 |
| B.4 | Te gebruiken sedimenttransportcapaciteit | 54 |
| C | Bepaling theoretische stortcapaciteit | 58 |
| C.1 | Kwalificatie geulontwikkeling | 58 |
| C.1.1 | Nieuwe grens voor evenwicht | 58 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| C.1.2 | Resultaat per geul | 59 |
| C.2 | Nevengeul | 61 |
| C.3 | Hoofdgeul | 62 |
| C.4 | Tijdseries voor neven- en hoofdgeulen | 63 |
| D | Advies hoofdgeulen | 69 |
| E | Dieptekaarten en sedimentatie/erosiepatronen | 70 |
| E.1.1 | Macrocel 1 | 70 |
| E.1.2 | Macrocel 3 en 4 | 71 |
| E.1.3 | Macrocel 5, 6 en 7 | 77 |

1 Introductie

1.1 Doel en achtergrond

In de Westerschelde vindt onderhoudsbaggerwerk plaats van de vaargeul. De gebaggerde specie wordt teruggestort in de nevengeulen, op de zeewaarts gelegen randen van de Hoge Platen en de Plaat van Walsoorden en in de diepere delen van de hoofdgeulen. De huidige vergunning voor het vaargeulonderhoud loopt tot eind 2021.

Dit rapport draagt bij aan het vaststellen van twee tabellen in de Watervergunning voor het storten van bodemmateriaal in de Westerschelde gedurende de periode 2022-2029:

- **Initiële stortcapaciteit ('Tabel 2')**: de jaarlijkse stortruimte die gebruikt kan worden tijdens de vergunningsperiode waarbij de stabiliteit van het meergeulensysteem het uitgangspunt is.
- **Alternatieve ruimte voor Flexibel Storten ('Tabel 3')**: deze geeft de maximale stortruimte die via het beslisproces Flexibel Storten (tijdelijk) benut kan worden, inclusief de initiële stortcapaciteit. Ook bij deze tabel is de stabiliteit van het meergeulensysteem een belangrijk uitgangspunt.

1.2 Methodiek en de toepassing voor nevengeulen

Bepaling van maximale stortruimte heeft als doel de stabiliteit van het meergeulensysteem op macroschaal te waarborgen, in het bijzonder de verhouding tussen de geulen in een macrocel. Hiervoor is een praktische richtlijn beschikbaar. Deze geeft een indicatie van het sedimentvolume dat langdurig kan worden gestort zonder dat de stabiliteit van het meergeulensysteem in gevaar komt (Jeuken & Wang 2010; Bijlage C; Jeuken et al. 2014). Deze richtlijn wordt in dit rapport (opnieuw) toegepast en voorzien van inhoudelijke informatie en interpretatie.

Om de stortcapaciteit en de alternatieve ruimte voor flexibel storten te bepalen volgens de praktische richtlijn dienen een aantal analyse stappen te worden uitgevoerd, waarvan de eerste vier voor alle geulen op exact dezelfde manier worden doorlopen. Nuances of specifieke morfologische ontwikkelingen worden meegenomen vanaf stap 5:

1. a. Berekening gecorrigeerd watervolume voor ingrepen $V_{net}=V_{tot}-\Sigma V_i$ (zie bijlage A.1). V_{tot} is het watervolume van de geulen onder de -5 m NAP contour en V_i is het cumulatieve volume van de ingrepen (baggeren en storten) per geul.
b. Trend analyse op het watervolume van de geulen V_{tot} en het cumulatieve volume van de ingrepen ΣV_i (zie bijlage A.2)
2. Bepaling van de bruto sedimenttransportcapaciteit per macrocel (zie bijlage B)
3. Kwalificatie van de geulontwikkeling op basis van V_{tot} en V_{net} (zie bijlage C.1)
4. Berekening van de stortcapaciteit SC (zie bijlage C)
5. Interpretatie en expert judgement¹ van de resultaten uit stap 1-4, gericht op het fysisch functioneren en de stabiliteit van het meergeulensysteem op macroschaal.
6. Advisering voor de jaarlijkse stortruimte op basis van 4 en 5.

¹ Voor dit project waren dat de betrokken specialisten van Deltares, Rijkswaterstaat en WL.

De advisering in dit rapport is gebaseerd op de meest recente morfologische trends van de hoofd- en nevengeul in een macrocel. Voor de meeste geulen is dit de trend die wordt waargenomen sinds of na de derde vaargeulverruiming. De fysische interpretatie (stap 5) van de informatie verkregen in stap 1 t/m 3 en de berekende stortcapaciteit (stap 4) richt zich op de volgende vragen:

- Waar en wanneer erodeert / sedimenteert een geul?
- Is er een relatie zichtbaar met ingrepen, of met meer natuurlijk gedrag van bijvoorbeeld kortsluitgeulen, de andere geul in de macrocel of geulen in een aangrenzende macrocel?
- Hoe verhouden deze recente morfologische veranderingen zich tot de langere termijn, historische ontwikkelingen.

Voor deze interpretatie is gebruik gemaakt van gegevens over volumeveranderingen van individuele rekenvakken (eerdere studies, en door RWS beschikbaar gemaakt als figuren met V_{tot} , zie bijlage A.2) en de inhoud van relevante rapportages (o.m. Schrijver 2020a, b; Jeuken et. al. 2014), en animaties van diepte- en erosie- en sedimentatiekaarten (zie ook bijlage E).

Omgaan met onzekerheden

De analyses in stappen 1 t/m 4 genereren objectieve en reproduceerbare informatie. Om inzicht te geven in de onzekerheden en de robuustheid van de geadviseerde stortcapaciteiten zijn er gevoeligheidsanalyses uitgevoerd voor: a) de sedimenttransportcapaciteit en b) de invloed van de geulkwalificatie 'stabiel' en de invloed van beiden op de berekende stortcapaciteit.

In stap 2 wordt de sedimenttransportcapaciteit T vastgesteld op basis van modelberekeningen. Naast de veranderingen in T over de jaren heen is de ruimtelijke variatie gekarakteriseerd met een gemiddelde, standaarddeviatie en minimum en maximum. Daarnaast is de invloed van korrelgrootte, erodeerbare bodem en raaidichtheid gekwantificeerd, zie bijlage B. De analyses leiden tot het advies om de transportcapaciteit, zoals die bij de vorige vergunning was berekend, te blijven hanteren. De resultaten van de gevoeligheidsanalyses worden gebruikt in de bepaling van de initiële stortcapaciteit (zowel bij het toepassen van richtlijn (stap 4) als de expertbeoordeling (stap 5 en 6)).

Wanneer de volumeveranderingen van de geul klein zijn is de richtingscoëfficiënt van de trendlijn relatief laag. Om objectief de kwalificatie 'stabiel' te kunnen vast stellen is er nieuwe grenswaarde voor de kwalificatie stabiel gedefinieerd die recht doet aan het verschil in de grootte van de geulen en rekening houdt met de duur van de trend, zie bijlage C.1.1. Vervolgens is er voor de volumeverandering van V_{tot} en V_{net} die kleiner zijn dan de grenswaarde (gemiddelde erosie of sedimentatie < 0.1 m tijdens trendperiode) nagegaan hoe veel langer die tendens zich moet voortzetten om wel als een erosie- of sedimentatietrend te kwalificeren en wat het effect daarvan is op de berekende stortcapaciteit.

Beide aspecten (onzekerheid in T en effect doorzetten trends) worden expliciet meegenomen in de geadviseerde stortcapaciteit en ruimte voor flexibel storten.

Andere overwegingen die van invloed zijn op ruimte in en gebruik van stortvakken

Het advies over de initiële stortcapaciteit en de ruimte voor Flexibel Storten is gebaseerd op de doelstelling 'behouden stabiel meergeulensysteem op lange termijn'. Als vanuit beleid en beheer aanvullende doelstellingen van belang zijn, zoals bijvoorbeeld het creëren van intergetijdengebied en toegankelijkheid voor de scheepvaart, kunnen die vragen om een aanpassing van de stortruimte in een specifieke geul. Getallen voor de initiële stortcapaciteit en de ruimte voor Flexibel Storten kunnen dan gemotiveerd worden aangepast met instemming van beheerder en beleidsverantwoordelijken. Dit rapport gaat daar verder niet op in. Wel wordt een aanpassing die leidt tot langdurig en jaarlijks meer storten sterk afgeraden, om behoud van een stabiel meergeulensysteem.

1.3 Toetsing voor de hoofdgeulen

Storten in hoofdgeulen is al jaren een onderdeel van de stortstrategie. Ten behoeve van de vergunningsaanvraag is nagegaan in hoeverre meer stortruimte in de hoofdgeul, en dan vooral in de diepere delen ervan, nodig is en waar dat het beste gerealiseerd kan worden (zie Bijlage D, die het memo van IMDC en Deltares, 2021 bevat). Hierbij is gebruik gemaakt van ervaringen met proefstortingen. Toepassing van de praktische richtlijn voor het storten van sediment bij de hoofdgeulen is ook mogelijk. Het is zinvol omdat het inzicht geeft voor het maken van bewuste keuzes over de wens tot verspreiding van gestort sediment vanuit het stortvak. Zie verder Bijlage C.3 en 2.3. Hierbij wordt opgemerkt dat toepassing van de richtlijn voor de Put van Hansweert niet is gebeurd. Deze valt buiten macrocel 4 en 5 en daarmee buiten de beoordeling van de lange termijn stabiliteit via het cellenconcept.

De richtlijn is voor de hoofdgeulen niet bedoeld om een grenswaarde voor stortingen te geven waarbij de stabiliteit van het meergeulensysteem in gevaar komt (de zorg over een langzaam verdwijnende nevengeul die leidde tot het opstellen van de praktische richtlijn). Het terugstorten van baggerspecie in de hoofdgeul is, uitgaand van die zorg, gunstig voor de stabiliteit van het meergeulensysteem, zeker in de macrocellen 4, 5, 6 en 7. In die cellen is de hoofdgeul in de afgelopen decennia sterk verdiept ten opzichte van de nevengeul. Bovendien worden de hoofdgeulen op een minimale diepte onderhouden met baggerwerken. Wel kan het ongewenst zijn dat er meer gebaggerd moet worden als gevolg van het terugstorten van sediment in de hoofdgeul, dat een stortvak 'volloopt' of dat sediment zich snel verspreidt naar andere gebieden. Voor de beoordeling hiervan moeten criteria en een wijze van opvolging worden vastgelegd in het Overleg Flexibel Storten. Het beleidsdoel (gewenst toekomstbeeld voor de geul) en de ervaring zijn hierbij richtinggevend.

1.4 Advisering voor de plaatranden

Plaatrandstortingen hebben een ander doel (creëren / onderhouden van ecologisch waardevol areaal waarvoor sediment lokaal aanwezig moet blijven) dan geulstortingen (sediment moet worden opgeruimd en verder verspreid door het estuarium). De onderbouwing van de daarvoor benodigde stortruimte is geen deel van dit rapport.

Van het storten op plaatranden in de nieuwe vergunningsperiode wordt echter niet verwacht dat er netto nieuw ecologisch waardevol areaal bijkomt. Het sedimentvolume van een plaat blijft dus min of meer gelijk over een jaar. Een volume plaatrandstorting vertegenwoordigt aldus netto een net zo grote toevoeging aan de geulen als zou het direct in een hoofd- of nevengeul zijn gestort. Deze studie heeft de plaatrandstortingen alleen beschouwd op de bijdrage aan de waargenomen volumeveranderingen in de hoofd- en/of nevengeul (onder de NAP -5 m contour) en concludeert op basis daarvan of er aanleiding is tot wijzigen van die hoeveelheden of de locatie van uitvoeren. Dit is onderdeel van hoofdstuk 2.

2 Berekening, advies en toetsing stortcapaciteit

2.1 Overzicht van de resultaten

Voor de nevengeulen is op basis van de theoretische richtlijn en expertkennis van de morfologie initiële stortcapaciteit en ruimte voor Flexibel storten afgeleid (Tabel 2.1). De morfologische ontwikkeling op verschillende tijd- en ruimteschalen en de respons op eerdere ingrepen is hierbij meegewogen. Het advies betreft de maximaal te storten volumes in de nevengeulen. De toelichting op de getallen voor de nevengeulen staat in paragraaf 2.2.

Voor de hoofdgeulen is er, vanuit oogpunt in stand houden meergeulensysteem, feitelijk geen praktische beperking van de stortvolumes. De praktische richtlijn geeft hier een inschatting van de hoeveelheid sediment die jaarlijks kan worden opgeruimd door het systeem. Dit zijn de getallen opgenomen in Tabel 2.2. Voor macrocel 4 wordt die inschatting 2,2 miljoen m³/j. Dit is minder dan recente waarnemingen aangeven (3,5 – 4 miljoen m³/j). Daarom is dit hiernaar opgehoogd. Meer toelichting op de getallen voor de hoofdgeulen staat in paragraaf 2.3. Voor de Put van Hansweert (zie IMDC en Deltares 2021, bijlage D) geldt dat deze niet direct tot een macrocel kan worden gerekend². Deze ligt op een overgang, een knooppunt, tussen macrocellen 4 en 5 ligt. Sediment dat wordt gestort in de Put van Hansweert zal, aangezien de resttransporten daar vloeddominant zijn, voor het grootste deel in macrocel 5 terecht komen. Vanuit oogpunt stabiliteit meergeulensysteem is het onwenselijk dat dit sediment in de nevengeulen (macrocel 4 en 5) terechtkomt. Hierom wordt geadviseerd de ontwikkeling op te volgen (monitoring en analyse).

Tenslotte zijn ter completering in Tabel 2.3 de getallen voor de plaatranden opgenomen. Voor inzicht in de uiteindelijke aangevraagde stortruimte wordt verwezen naar Tabel 2.4 en Tabel 2.5.

Tabel 2.1 Nevengeulen: jaarlijkse initiële stortcapaciteit en ruimte voor Flexibel Storten

| Nevengeul van macrocel | Initiële stortcapaciteit (miljoen m ³ /j in situ) | Alternatieve ruimte voor Flexibel Storten, inclusief de initiële stortcapaciteit (miljoen m ³ /j in situ) | Toelichting qua locatie, conditie |
|------------------------|--|--|---|
| 1 | 1,1 | 1,5 | Zoveel mogelijk in drempelgeulengebied (vak 200+201, hoogste T) |
| 3 | 0,5 | 1,0 | Tussen ankergebied en Suikerplaat (vak 5, niet vak 500) |
| 4 | 0 | 0 | |
| 5 | 0 | 0,2 | 0,2 als nevengeulen Schaar van Waarde en Valkenisse weer eroderen (~2,5 miljoen m ³ groter zijn geworden) ³ |
| 6 | 0,4 | 0,4 | |
| 7 | 0,2 | 0,2 | |

² Het bepalen van de theoretische stortcapaciteit houdt geen rekening met aanwezigheid van diepe putten. Als in een diepe put de transportcapaciteit hoog is en aanwezige raaien tot een macrocel wordt gerekend, heeft dit indirect effect op de transportcapaciteit van de macrocel. Bij de Put van Hansweert worden de raaien niet tot een macrocel gerekend.

³ Dit betekent, als het advies uit dit rapport wordt overgenomen, dat, zeker in het begin van de vergunningsperiode, deze ruimte nog niet beschikbaar is. Op basis van de huidige trends is het goed mogelijk dat deze ruimte in het geheel niet beschikbaar komt in de komende vergunningsperiode.

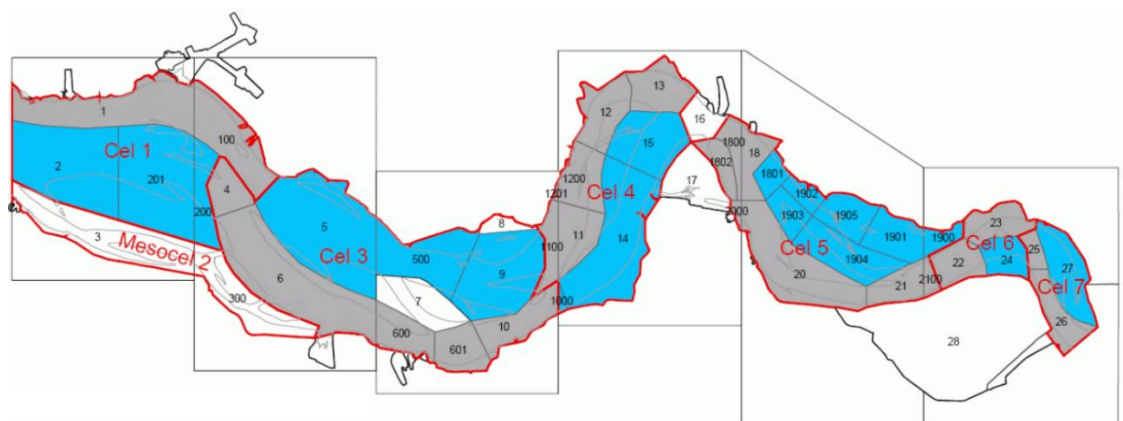
Tabel 2.2 Hoofdgeulen: berekende hoeveelheid sediment die jaarlijks kan worden opgeruimd door het systeem, inclusief prognose van het baggervolume

| Hoofdgeul van macrocel | 0.1T + ΔV_{tot} (in miljoen m ³ /j) | Prognose baggervolume (in miljoen m ³ /j) | Totaal (in miljoen m ³ /j) | Opmerkingen |
|------------------------|--|--|---------------------------------------|--|
| 1 | 1,6 | 1,2 | 2,8 | |
| 3 | 1,4 | 2,5 | 3,9 | |
| 4 | 1,0 | 1,2 | 2,2 | Recente waarnemingen geven aan de dat de stortruimte in deze geul 3,5-4 miljoen m ³ /j is |
| 5 | 1,1 | 3,8 | 4,9 | Aangevraagd wordt 2,1 voor hoofdgeul + 2 voor Put van Hansweert (PvH) |
| 6 | 0,9 | 0,8 | 1,7 | |
| 7 | 0,8 | 0,5 | 1,3 | |

Tabel 2.3 Plaatrandstortingen

| Macrocel | Plaatrandstorting (miljoen m ³ /j) | Opmerkingen |
|----------|---|--|
| 1 | 1,0 | Valt grotendeels in de nevengeul; stortingen tot dusver veroorzaken geen stabiliteitsissues in macrocel 1. Vanuit die optiek kunnen de stortingen worden voortgezet. |
| 3 | 0 | |
| 4 | 0 | |
| 5 | 0,65 + 0,25 | 0,65 in het rekenvak 20 van de hoofdgeul. Maximaal 0,25 in rekenvak 1903, waarbij geadviseerd wordt deze zo uit te voeren dat het sediment richting hoofdgeul en de plaat wordt getransporteerd en niet naar de nevengeul. |
| 6 | 0 | |
| 7 | 0 | |

In dit hoofdstuk zijn verschillende vakken in de geulen benoemd, die gevisualiseerd zijn in Figuur 2.1.



Figuur 2.1 Rekenvakken gebruikt voor de bepaling van de volumeveranderingen.

2.2 Onderbouwing voor nevengeulen

2.2.1 Nevengeul Macrocel 1

Advies (zie Tabel 2.1):

- Initiële stortcapaciteit: 1,1 miljoen m³/j. Dit is conform resultaat praktische richtlijn.
- Ruimte voor Flexibel Storten: 1,5 miljoen m³. Motivatie: Hoge transportcapaciteit en veerkracht van de drempelgeulen in het drempelgebied van de nevengeul.
- Stort meer in het actieve drempelgeulengebied (zie blauwe polygoon in Figuur 2.2). Dit gebied heeft de grootste transportcapaciteit.

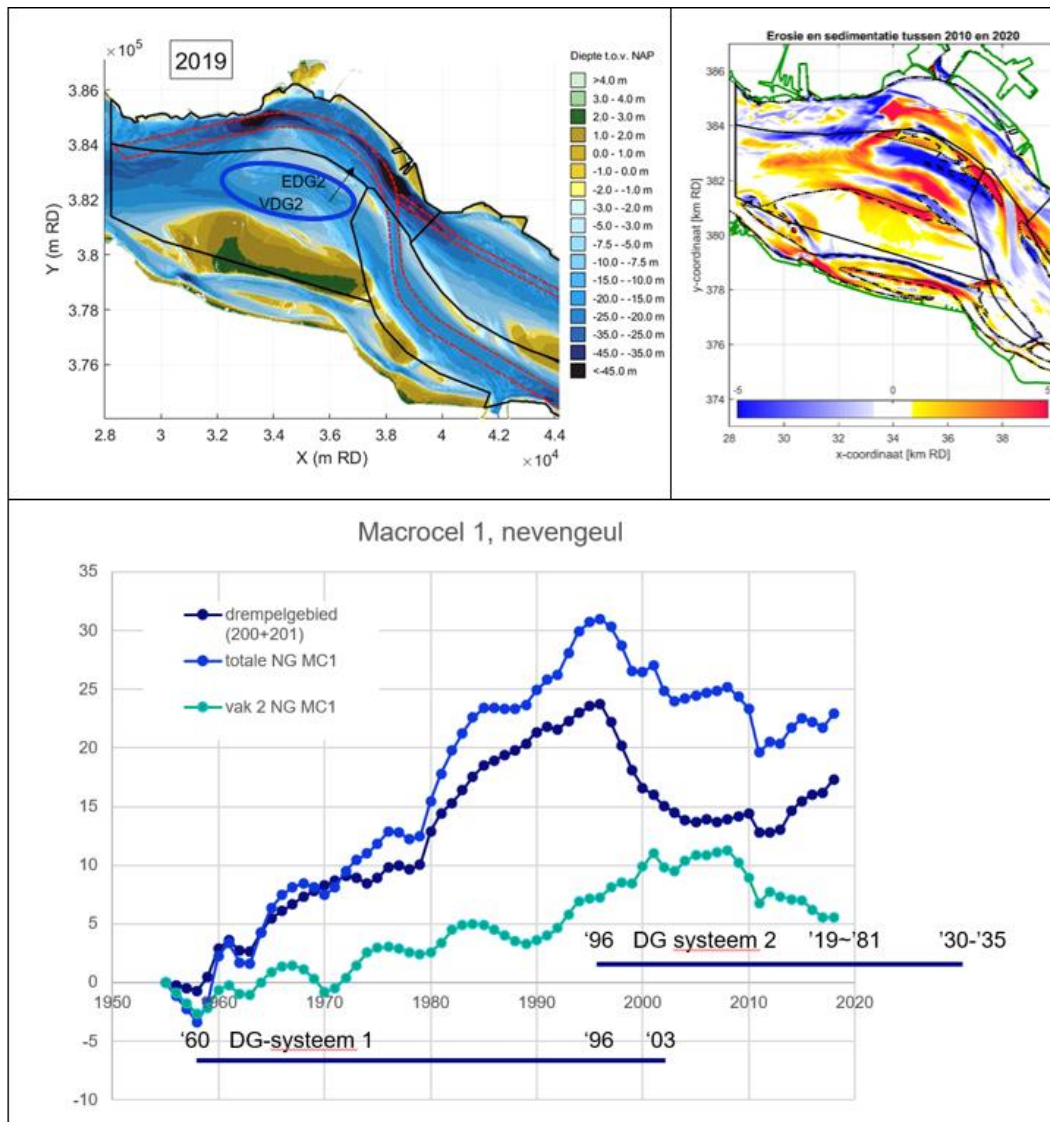
Onderbouwing:

- Uit praktische richtlijn volgt (stap 1-4): 1,1 miljoen m³/j
- Vooral het drempelgebied van de nevengeul erodeert (vak 200+201) en bepaalt de meest recente en lange-termijn erosietendens van de nevengeul als geheel (zie Figuur 2.2).
- De volumeveranderingen van de neven- en hoofdgeul hangen sterk samen met het gedrag drempelgeulen in de nevengeul waarbij baggeren en storten tot 2011 een versterkende of verzwakkende invloed hebben gehad op de ontwikkelingstendensen. De beperkte maar consistente erosie van de hoofdgeul sinds 2011 is vooral te relateren aan netto baggeren in de geul.
- De recente trend in de ingrepen is vooral het gevolg van plaatrandstortingen en beperkte geulstortingen in vak 2, en heeft een beperkte invloed op de volumeverandering van de nevengeul, V_{tot} .
- De drempelgeul 'Schaar van de Spijkerplaat' in 2020 komt qua locatie en morfologie overeen met de situatie van jaren '80. Op basis van deze overeenkomst is de verwachting dat de erosietendens van het drempelgebied nog circa 10 jaar zal duren.

Onzekerheden, behorend bij toepassen van de praktische richtlijn voor deze geul:

- Indien de sedimenttransportcapaciteit van 2020 wordt gebruikt, wordt eveneens een stortcapaciteit van 1,1 miljoen m³/j berekend. De standaarddeviatie van de sedimenttransportcapaciteit geeft een bandbreedte van $\pm 0,2$ miljoen m³/j.
- In het midden van de nevengeul (~vak 201) is de transportcapaciteit groter. De standaarddeviatie van 0,2 miljoen m³/j geeft een indicatie van de orde grootte van de ruimtelijke variatie.
- De ontwikkelingen in de watervolumes V_{tot} en V_{net} in zowel de hoofd- als de nevengeul zijn allemaal groter dan de grens voor evenwicht (zie bijlage C), wat betekent dat een doorzetting van de huidige trend niet zal leiden tot een nieuwe kwalificatie (als gevolg van het kleiner worden van de grens voor evenwicht, zie bijlage C).

Naast het storten in de nevengeul, kunnen de jaarlijkse plaatrandstortingen van 1 miljoen m³/j op de westpunt van de Hooge Platen worden voortgezet; deze lijken een beperkte invloed te hebben op de ontwikkeling van de nevengeul. De ontwikkeling van de bodem buiten de geulen, waaronder die van de plaat, de vooroever in Zeeuws-Vlaanderen en het Vaarwater langs Hoofdplaat zijn ook relevant voor de beslissingen over gebruik stortruimte. Ze zijn echter geen onderdeel van de praktische richtlijn en in die zin niet voor dit advies beschouwd.



Figuur 2.2 Morfologische ontwikkelingen in macrocel 1. Linksboven: dieptekaart 2019 met weergave eb- (ED) en vloed (VD) gedomineerde drempelgeulen en blauwe polygoon waarbinnen bij voorkeur gestort zou mogen worden. Rechtsboven: erosie sedimentatiekaart 2010-2020.

Onder: tijdreeksen van V_{tot} (t.o.v. 1955) voor de nevengeul, het drempelgebied van de nevengeul en de inloop (vak 2) van de nevengeul (waar de sediment stortingen sinds de laatste ontwikkelingsstendens plaatsvinden). De horizontale blauwe lijnen geven aan welke drempelgeulencyclus actief is, inclusief verwachte levensduur.

2.2.2 Nevengeul Macrocel 3

Advies (zie Tabel 2.1):

- Initiële stortcapaciteit: 0,5 miljoen m³/j. Dit is conform resultaat praktische richtlijn.
- Ruimte voor Flexibel Storten (inclusief initiële stortcapaciteit): 1 miljoen m³/j.
- Gebruik het vak tussen de ankergebieden en Suikerplaat

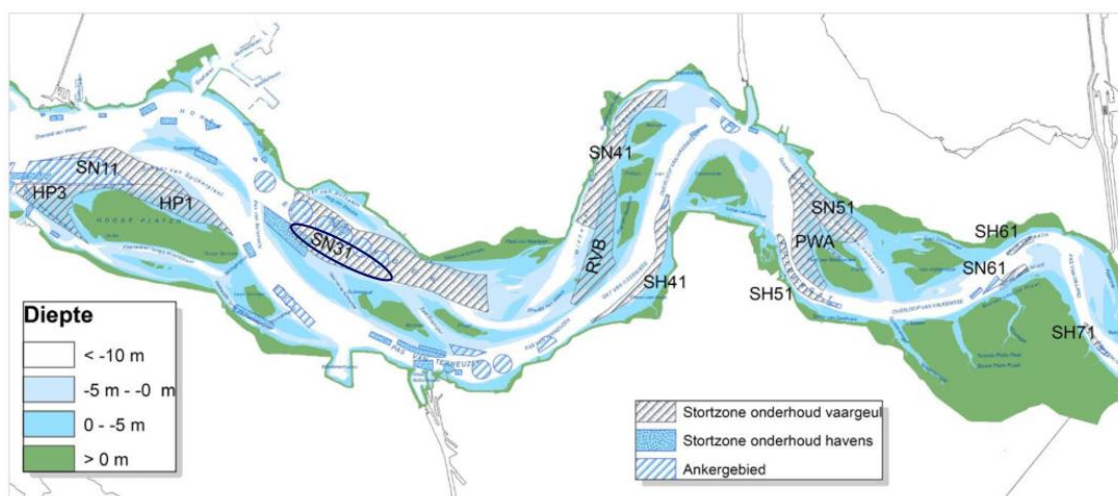
Onderbouwing:

- Uit praktische richtlijn volgt (stap 1-4): 0,5 miljoen m³/j
- In alle drie de rekenvakken van de nevengeul treedt sinds 2014 sedimentatie op (zie bijlage A2 en E1.2).
- In het middelste rekenvak (500), ter hoogte van Ellewoutsdijk, treedt al veel langer sedimentatie op: sinds de grote stortingen in 1997 en 1998 omdat er uitgeweken moest worden i.v.m. geulwandverdedigingen in de hoofdgeul van MC4. Zowel de debietmetingen als modelberekeningen (Schrijver 2020a) laten een geleidelijke herverdeling van de debieten tussen hoofdgeul en nevengeul zien sinds ~1998, waarbij de getijvolumina in de hoofdgeul toenemen ten opzichte van de nevengeul.
- De trendbreuk in V_{tot} in 2014 wordt veroorzaakt door:
 - De sedimentatie in de inloop (vak 5). Dit is geen reden tot zorg. Dit kan zelfs wenselijk zijn als de stortingen zouden kunnen bijdragen aan een morfologisch en ecologisch herstel van de Suikerplaat.
 - De sedimentatie in het drempelgebied (vak 9). Deze sedimentatie hangt nauw samen met een natuurlijke degeneratie en patroonverandering van de drempelgeulen, voordat er weer erosie optreedt. De verwachting is dat die sedimentatie nog 5-10 jaar kan voortduren.
- Uit eerdere analyses is bekend dat de drempel van de Everingen en het westelijke deel van het Middelgat (vak 11+1100) 'communicerende vaten zijn', waarbij het lange termijn effect bestaat uit erosie van de drempel van de Everingen en sedimentatie in het Middelgat (Jeuken et al, 2014). De recente waarnemingen sinds 2011 bevestigen deze relatie opnieuw.
- Naast de relatie Everingen-Middelgat, bestaat er een hele sterke relatie tussen de nevengeul en de hoofdgeul in MC 4. Deze relatie is van oorsprong natuurlijk, maar beide geulen reageren de laatste decennia ook heel snel op veranderingen in netto ingrepen. De trends sinds 2011 in MC 4 zijn gunstig voor de stabiliteit van die cel (tendens tot stabilisatie). Bij de nieuwe vergunning wordt meer in de hoofdgeulen gestort in dit gebied (SH41, INOS en ook PvH). De invloed daarvan op de ontwikkelingen in het Middelgat en het oostelijk deel van macrocel 3 is niet goed bekend. Dit is een extra reden om terughoudend te zijn met storten ter hoogte van Ellewoutsdijk en ten oosten daarvan.

Dit verklaart het advies om voor de Everingen de sedimenttoevoer (initiële stortcapaciteit vergunning) te handhaven op 0,5 miljoen m³/j en te storten tussen het ankergebied en de Suikerplaat in vak 5 en niet in vak 500. In de periode 2003-2018, is er in de jaren (10 van de 15) waarin het vak werd gebruikt, gemiddeld <0,6 miljoen m³/j gestort waarbij er netto sedimentatie in die zone was en het ankergebied erosie ondervindt. Dit geeft aan dat 0,5 miljoen m³/j operationeel haalbaar is.

Onzekerheden, behorend bij toepassen van de praktische richtlijn voor deze geul:

- Indien de sedimenttransportcapaciteit van 2020 wordt gebruikt, wordt een stortcapaciteit van 0,6 miljoen m³/j berekend, dit is 20% groter. De standaarddeviatie van de sedimenttransportcapaciteit geeft een bandbreedte van ± 0,2 miljoen m³/j.
- De transportcapaciteit, is net als in macrocel 1, het grootst in het drempelgebied van de nevengeul Everingen. De standaarddeviatie van 0,2 miljoen m³/j geeft een indicatie van de ordegrrootte van de ruimtelijke variatie.
- De ontwikkelingen in de watervolumes V_{tot} en V_{net} in zowel de hoofd- als de nevengeul zijn groter dan de grens voor evenwicht, uitgezonderd V_{net} voor de nevengeul. Echter, als de grens voor evenwicht kleiner wordt (dit gebeurt als de trendperiode langer wordt) en de verandering in V_{net} wel groter is dan de grens voor evenwicht (dit gebeurt pas na meer dan 50 jaar), zal de kwalificatie in dit geval niet veranderen.



Figuur 2.3 Locatie van ankergebieden en stortzones (Schrijver 2020b) met de geadviseerde stortzone voor de Everingen weergegeven door middel van de blauwe polygoon.

2.2.3 Nevengeul Macrocel 4

Advies (zie Tabel 2.1):

- Stortcapaciteit: 0 miljoen m³/j. Geen stortingen in het Middelgat; niet overnemen van het resultaat van de praktische richtlijn.
- Stabiliseer het geulvolume van de *hoofdgeul* met ingrepen (netto storten), zoals dat gebeurt sinds 2010.

Onderbouwing:

- Uit praktische richtlijn volgt (stap 1-4): 0,5 miljoen m³/j
- Zie ook de uitleg bij macrocel 3
- De sedimenttransportcapaciteit is laag. Dit wordt bevestigd door de observatie dat het volume van het Middelgat erg gevoelig is voor stortingen (alles wat in nevengeul wordt gestort blijft liggen).

Onzekerheden, behorend bij toepassen van de praktische richtlijn voor deze geul:

- Indien de sedimenttransportcapaciteit van 2020 wordt gebruikt, wordt een stortcapaciteit van 0,6 miljoen m³/j berekend, dit is 20% groter. De standaarddeviatie van de sedimenttransportcapaciteit geeft een bandbreedte van ± 0,2 miljoen m³/j.
- In de nevengeul is de sedimenttransportcapaciteit veel kleiner dan in de hoofdgeul.
- De ontwikkelingen in de watervolumes V_{tot} en V_{net} in zowel de hoofd- als de nevengeul zijn groter dan de grens voor evenwicht, uitgezonderd V_{tot} voor de hoofdgeul. Als dezelfde trend in de hoofdgeul nog twee jaar doorzet, wordt de verandering in V_{tot} groter dan de grens voor evenwicht en erodeert de geul ondanks storten. Deze erosieve trend leidt er dan toe dat maar 5 in plaats van 10% van de transportcapaciteit in rekening gebracht mag worden. Indien dat gebeurt, reduceert de stortcapaciteit in de nevengeul naar 0. Dit komt doordat de verandering in V_{tot} van de nevengeul groter (en negatief, sedimentatie) is dan 5% van de transportcapaciteit.

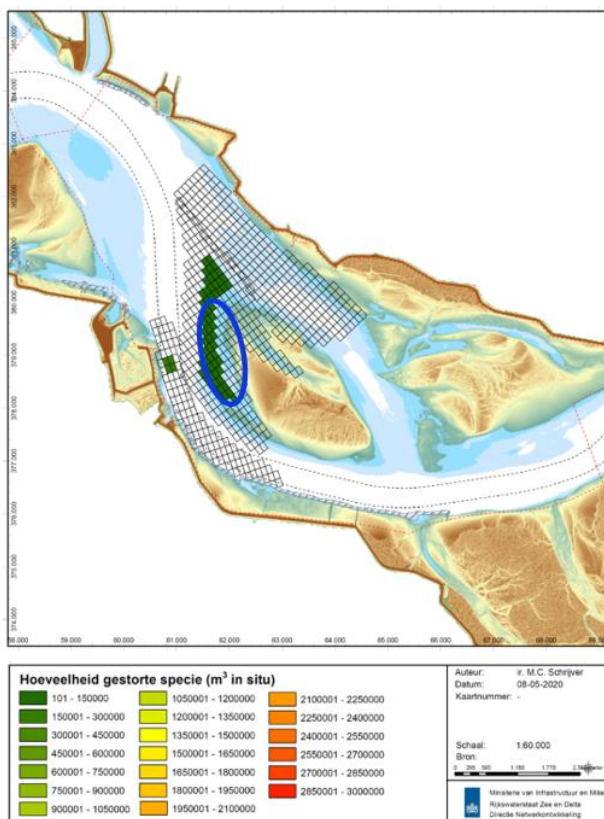
2.2.4 Nevengeul Macrocel 5

Advies (zie Tabel 2.1):

- Stortcapaciteit: 0 miljoen m³/j. Niet overnemen van het resultaat van de praktische richtlijn.
- Er komt ruimte voor Flexibel Storten (inclusief initiële stortcapaciteit) ter grootte van 0,2 miljoen m³/j, als de nevengeulen Schaar van Waarde en Valkenisse (vakken 1801, 1902, 1903, 1904) samen weer 2,5 miljoen m³ zijn uitgeruimd/geërodeerd.
- Wel kan maximaal 0,25 miljoen m³ worden gestort als plaatrandstorting in het rekenvak 1903, meer specifiek in het deelgebied binnen de blauwe polygoon van Figuur 2.4.

Onderbouwing:

- Uit praktische richtlijn volgt (stap 1-4): 0,1 miljoen m³/j.
- Bij de derde verruiming is ~ 4,5 miljoen m³ in twee jaar tijd in de nevengeul gestort en een deel als plaatrandstorting bij Walsoorden onder NAP -5 m. De nevengeul is als gevolg hiervan verondiept en naar het noorden geduwd. Het gestorte sediment is nog niet opgeruimd. De geul zal eerst weer moeten uitruimen voordat er in het kader van flexibel storten kan worden gestort. Dit is voldoende gebeurd als de vakken 1801, 1902, 1903, 1904 samen ~ 2,5 miljoen m³ zijn geërodeerd.
- De bruto transportcapaciteit is vooral toegenomen in hoofdgeul (meer dan in nevengeul). Het feit dat de bruto transport capaciteit in de nevengeul enigszins is toegenomen door verondiepingen maar niet gepaard met erosie is vanuit het waarborgen van de stabiliteit van het geulsysteem in deze cel een extra reden om niet de storten.
- Gestort sediment in de Put van Hansweert komt mogelijk terug naar MC 5 inclusief nevengeul, gelet op sterke vloeddominante resttransporten.
- Na de derde verruiming is ca. 0,25 miljoen m³/j als plaatrandstorting uitgevoerd in rekenvak 1903. In recentere jaren wordt slechts een klein deel van het rekenvak gebruikt, om er voor te zorgen dat het gestorte sediment naar de plaat en van Walsoorden en de schaar van Walsoorden wordt getransporteerd en zo min mogelijk naar de nevengeul (zie Figuur 2.4).



Figuur 2.4 Plastrandstoringen Walsoorden zoals uitgevoerd in 2018. Voor de voortzetting van plastrandstoringen wordt geadviseerd om deze binnen de blauwe polygoon uit te voeren (aangepast figuur uit Schrijver 2020).

Onzekerheden, behorend bij toepassen van de praktische richtlijn voor deze geul:

- Indien de sedimenttransportcapaciteit van 2020 wordt gebruikt, wordt een stortcapaciteit van 0,2 miljoen m³/j berekend, dit is twee keer zo groot. De standaarddeviatie van de sedimenttransportcapaciteit geeft een bandbreedte van ± 0,1 miljoen m³/j.
- In de nevengeul is de sedimenttransportcapaciteit veel kleiner dan in de hoofdgeul.
- De ontwikkelingen in de watervolumes V_{tot} en V_{net} in zowel de hoofd- als de nevengeul zijn groter dan de grens voor evenwicht. Andere kwalificaties voor de geulontwikkelingen en de stortcapaciteit zijn alleen te verwachten indien trendbreuken optreden.

2.2.5 Nevengeul Macrocel 6

Advies (zie Tabel 2.1):

- Er wordt voor deze nevengeul geen stortruimte aangevraagd, maar de initiële stortcapaciteit is 0,4 miljoen m³/j, conform resultaat praktische richtlijn.
- Ruimte voor Flexibel Storten (inclusief initiële stortcapaciteit): 0,4 miljoen m³ (dus geen extra ruimte).

Onderbouwing:

- Uit praktische richtlijn volgt (stap 1-4): 0,4 miljoen m³/j
- Toegankelijkheid speelt hier een rol. De nevengeul wordt als vaarwater gebruikt. Praktisch stortoppervlak is dus beperkt.
- Er wordt voor de nevengeul van macrocel 6 geen stortruimte aangevraagd.

Onzekerheden, behorend bij toepassen van de praktische richtlijn voor deze geul:

- Indien de sedimenttransportcapaciteit van 2020 wordt gebruikt, wordt een stortcapaciteit van 0,3 miljoen m³/j berekend, dit is kleiner dan de waarde voor 2006. De standaarddeviatie van de sedimenttransportcapaciteit geeft een bandbreedte van $\pm 0,1$ miljoen m³/j.
- De ontwikkelingen in de watervolumes V_{tot} en V_{net} in zowel de hoofd- als de nevengeul zijn groter dan de grens voor evenwicht. Andere kwalificaties voor de geulontwikkelingen zijn alleen te verwachten indien trendbreuken optreden.

2.2.6 Nevengeul Macrocel 7**Advies (zie Tabel 2.1):**

- Initiële stortcapaciteit: 0,2 miljoen m³/j, conform resultaat praktische richtlijn is mogelijk, maar opname in de aanvraag is met risico's omgeven.⁴
- Geen extra ruimte voor Flexibel Storten (blijft 0,2 miljoen m³/j, dus geen extra ruimte)

Onderbouwing:

- Uit praktische richtlijn volgt (stap 1-4): 0,2 miljoen m³/j
- In de nevengeul van macrocel 7 wordt momenteel niet gestort. Sinds 2010 is hier geen capaciteit aangevraagd en vergund. Onzeker is of hiervoor een stortzone was gedefinieerd. Dit vraagt extra aandacht als deze geul wordt ingezet.
- De nevengeul van macrocel 7 is iets minder aantrekkelijk omdat sediment niet stroomopwaarts gebracht mag worden. Ook functioneert deze nevengeul anders door de aanwezigheid van een leidam voor de Zandvliet en Berendrechtsluis.

Onzekerheden, behorend bij toepassen van de praktische richtlijn voor deze geul:

- Indien de sedimenttransportcapaciteit van 2020 wordt gebruikt, wordt een stortcapaciteit van 0,3 miljoen m³/j berekend, dit is 50% groter. De standaarddeviatie van de sedimenttransportcapaciteit is 0,1 miljoen m³/j.
- De ontwikkelingen in de watervolumes V_{tot} en V_{net} in zowel de hoofd- als de nevengeul zijn groter dan de grens voor evenwicht, behalve voor V_{net} van de hoofdgeul. V_{net} van de hoofdgeul heeft geen invloed op de kwalificatie van de nevengeul, noch op de stortcapaciteit.

2.3 Toetsing voor hoofdgeulen

Het gebruik van de praktische richtlijn voor de hoofdgeulen geeft inzicht in de mate waarin een storting kan worden verspreid uit de hoofdgeul. Hoe dat gebeurt staat in deze paragraaf. De inzichten die hieruit volgen zijn meegenomen in de onderbouwing van de vaststelling van alternatieve ruimte voor Flexibel Storten voor de hoofdgeulstortzones (bijlage D: IMDC en Deltares, 2021). Zie ook paragraaf 1.4.

⁴ De capaciteit die uit toepassing van de richtlijn volgt wordt inderdaad niet aangevraagd.

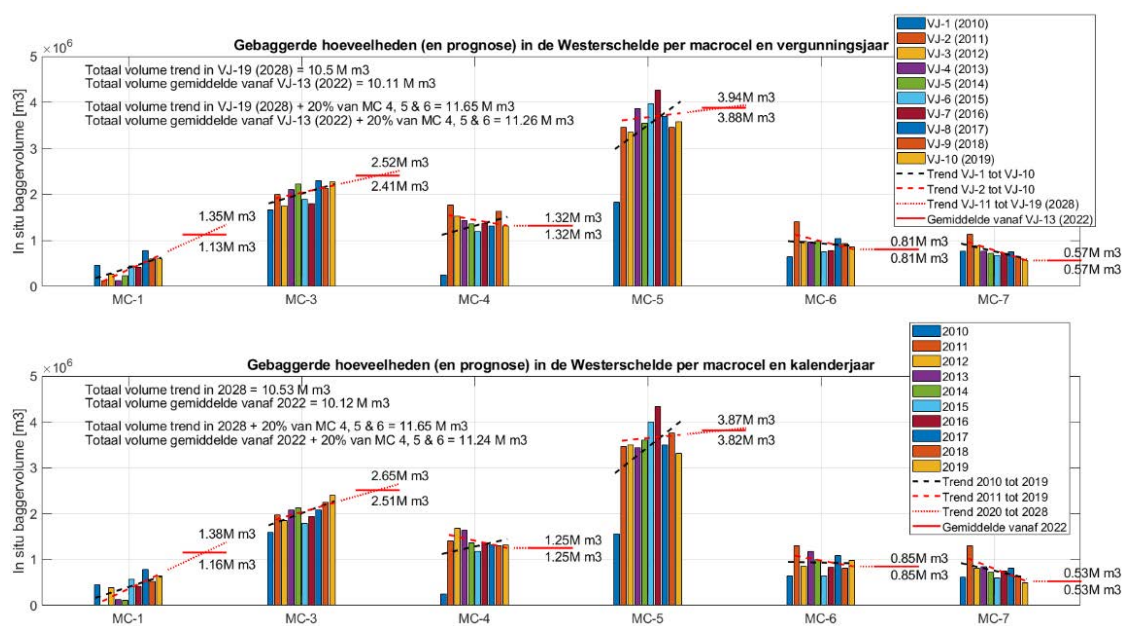
De theorie van het cellenconcept gebruiken we voor de hoofdgeulen om inzicht te geven in de mate waarin sediment uit de geul verspreid kan worden. Hiervoor wordt voor een hoofdgeul in dynamisch evenwicht de praktische richtlijn toegepast via de som van 10% van de transportcapaciteit en:

- een eventueel erosievolume van de hoofdgeul V_{tot} , vergelijkbaar met de richtlijn voor de nevengeul; en
- het volume wat in de hoofdgeul wordt gebaggerd.

Dat leidt voor een stabiel systeem in dynamisch evenwicht voor de hoofdgeul tot:

$$SC = 0,1T + dV_{tot} + V_{baggeren}.$$

Hieruit volgt dat de totale ruimte voor storten in een hoofdgeul altijd groter is dan de hoeveelheid die er jaarlijks in wordt gebaggerd. In deze studie is voor het baggervolume door IMDC een prognose gemaakt, zie Figuur 2.5.



Figuur 2.5 Gebaggerde volumina sinds 2010 en prognose gemaakt door IMDC.

2.3.1 Toetsing voor hoofdgeul Macrocel 1

Uit de praktische richtlijn volgt (stap 1-4): 1,6 miljoen m³/j waarbij opgeteld wordt 1,2 miljoen m³/j verwacht baggervolume: samen 2,8 miljoen m³/j. In de vergunningsaanvraag is geen stortruimte in deze hoofdgeul opgenomen. Wanneer dit in de toekomst wel mocht worden overwogen verdient het aanbeveling om na te gaan in hoeverre baggerspecie kan worden gebruikt voor het suppleren van de eroderende vooroever en strand van de Kaloot.

2.3.2 Toetsing voor hoofdgeul Macrocel 3

Uit de praktische richtlijn volgt (stap 1-4): 1,4 miljoen m³/j waarbij opgeteld wordt 2,5 miljoen m³/j verwacht baggervolume: samen 3,9 miljoen m³/j. In de vergunningsaanvraag wordt voor deze hoofdgeul een alternatieve ruimte voor flexibel storten voorzien van in totaal 2,0 miljoen m³/j. Dit stortvolume is kleiner dan het getal dat volgt uit toepassing van de praktische richtlijn.

2.3.3 Toetsing voor hoofdgeul Macrocel 4

Uit de praktische richtlijn volgt (stap 1-4): 1,0 miljoen m³/j waarbij opgeteld wordt 1,2 miljoen m³/j verwacht baggervolume: samen 2,2 miljoen m³/j.⁵

Hiertegenover staat dat voor de huidige vergunning de Ruimte Flexibel voor Storten ('Tabel 3') voor deze geul 3,8 miljoen m³/j is en dat de waarnemingen tijdens de laatste en voorlaatste trendperiode aangeven dat de stortruimte in deze geul 3,5 - 4 miljoen m³/j is. Die waarde wordt realistischer geacht voor deze toetsing.

Voor de hoofdgeul van macrocel 4 wordt een initiële stortcapaciteit van 3,1 miljoen m³/j voorzien en een alternatieve ruimte voor Flexibel Storten van in totaal 3,6 miljoen m³/j (Tabel 2.5). Dit stortvolume is kleiner dan het getal dat hierboven is afgeleid als te hanteren voor de toetsing. Alle getallen hierboven zijn exclusief de Put van Hansweert, welke tussen de macrocellen 4 en 5 ligt en bij macrocel 5 wordt meegenomen.

2.3.4 Toetsing voor hoofdgeul Macrocel 5

Uit de praktische richtlijn volgt (stap 1-4): 1,1 miljoen m³/j waarbij opgeteld wordt 3,8 miljoen m³/j verwacht baggervolume: samen 4,9 miljoen m³/j. Er is fysiek weinig ruimte in de hoofdgeul van macrocel 5 om te storten, waarmee de stortruimte die volgt uit de praktische richtlijn van 4,9 miljoen m³/j hoog is. Dit is het logische gevolg van de paradox dat de stortruimte groter wordt als er meer gebaggerd wordt, terwijl ondiepe geulen veel gebaggerd moeten worden.

In de vergunningsaanvraag staat voor deze hoofdgeul een alternatieve ruimte voor Flexibel Storten van in totaal 2,1 miljoen m³/j. Indien verhoogd met het volume dat aangevraagd wordt voor de Put van Hansweert bedraagt deze 4,1 miljoen m³/j. Beide stortvolumes vallen binnen de waarde die werd bepaald op basis van de praktische richtlijn.

2.3.5 Toetsing voor hoofdgeul Macrocel 6

Uit de praktische richtlijn volgt (stap 1-4): 0,9 miljoen m³/j waarbij opgeteld wordt 0,8 miljoen m³/j verwacht baggervolume: samen 1,7 miljoen m³/j. In de vergunningsaanvraag wordt voor deze hoofdgeul een alternatieve ruimte voor flexibel storten voorzien van in totaal 1,2 miljoen m³/j. Dit stortvolume valt binnen de waarde die werd bepaald op basis van de praktische richtlijn.

2.3.6 Toetsing voor hoofdgeul Macrocel 7

Uit de praktische richtlijn volgt (stap 1-4): 0,8 miljoen m³/j waarbij opgeteld wordt 0,5 miljoen m³/j verwacht baggervolume: samen 1,3 miljoen m³/j. In de vergunningsaanvraag wordt voor deze hoofdgeul een alternatieve ruimte voor flexibel storten voorzien van in totaal 0,8 miljoen m³/j. Dit stortvolume valt binnen de waarde die werd bepaald op basis van de praktische richtlijn.

⁵ Indien de ontwikkeling van het watervolume V_{tot} van de hoofdgeul nog twee jaar doorzet, wordt de ontwikkeling van de hoofdgeul als erosief en niet meer als stabiel gekwalificeerd. Dan wordt, omdat het erosievolume van krap 0,2 miljoen m³/j erbij wordt opgeteld, de stortruimte ook zoveel groter.

2.4 Aangevraagde volumes

Tabel 2.4 Aangevraagde stortruimte weergegeven in gemiddeld jaarlijks volume en tussen haakjes het totaal voor de zeven vergunningsjaren, in miljoen m³ in situ (zogenaamde 'Tabel 2')

| Macrocel | Hoofdgeul | Nevengeul | Plaatranden |
|----------|-------------|-----------|-------------|
| 1 | - | 1,1 (7,7) | 1,0 (7,0) |
| 3 | 1,5 (10,5) | 0,5 (3,5) | - |
| 4 | 3,1 (21,7) | - | - |
| PvH | 1,5 (10,5) | - | - |
| 5 | 1,25 (8,75) | 0,0 (0,0) | 0,75 (5,25) |
| 6 | 0,5 (3,5) | 0,0 (0,0) | - |
| 7 | 0,5 (3,5) | - | - |

Tabel 2.5 Aangevraagde alternatieve ruimte voor flexibel storten, weergegeven in gemiddeld jaarlijks volume en tussen haakjes het totaal voor de voor de zeven vergunningsjaren, in miljoen m³ in situ (zogenaamde 'Tabel 3')

| Macrocel | Hoofdgeul | Nevengeul | Plaatranden |
|----------|------------|------------|-------------|
| 1 | - | 1,5 (10,5) | 1,0 (7,0) |
| 3 | 2,0 (14,0) | 1,0 (7,0) | - |
| 4 | 3,6 (25,2) | - | - |
| PvH | 2,0 (14,0) | - | - |
| 5 | 2,1 (14,7) | 0,2 (1,4) | 0,9 (6,3) |
| 6 | 1,2 (8,4) | 0,4 (2,8) | - |
| 7 | 0,8 (5,6) | - | - |

Referenties

Consortium Deltares-IMDC-Svašek-Arcadis, (2013). LTV V&T-rapport A-27: Actualisatierapport Delft3D Schelde-estuarium.

IMDC en Deltares (2021). Onderbouwing vaststelling van alternatieve ruimte voor Flexibel Storten voor de hoofdgeulstortzones. IMDC, Antwerpen. (zie bijlage D)

Jeuken, C. (2000). On the morphologic behaviour of tidal channels in the Westerschelde estuary. Proefschrift Universiteit Utrecht.

Jeuken, M.C.J.L. en Wang, Z.B. (2010). Impact of dredging and dumping on the stability of ebb-flood channel systems. Coastal Engineering 57, pp. 553-566.

Jeuken, C., Vroom, J., Wang, Z.B., Depreiter, D., van Holland, G., Dam, G., Poortman, S. en Cleveringa, J. (2014). Advies flexibel storten. Verbeteren van het Criterium Nevengeulen - Voorstel voor het afleiden van koerslijnen en ondergrenzen voor het watervolume van (neven)geulen. Deltares rapport 1209395-000.

Schrijver, M. (2020a). Monitoring meergeulensysteem Westerschelde, Toetsing criteria nevengeulen. Rijkswaterstaat Zeeland, Rapportnr. 7210A/MMGW-2020-01, Rijkswaterstaat mei 2020.

Schrijver, M. (2020b). De Balans Opgemaakt - De ontwikkelingen in de Westerschelde tot 2019 gezien vanuit de sedimentbalans. Rijkswaterstaat Zee en Delta, Middelburg.

Smit, N. en Schepper, R. (2020). Trendbreukanalyse Westerschelde. Nota IMDC I/NO/16127/20.248/NSM/.

A Ontwikkeling volumes geulen en ingrepen

A.1 Ontwikkeling watervolume, volume ingrepen en netto volume

Onderstaande figuren tonen ontwikkeling van het watervolume (V_{tot}) onder de -5 m NAP contour⁶ voor de hoofd- en de nevengeul per macrocel, samen met het volume van de ingrepen en het volume gecorrigeerd voor ingrepen (V_{net}). Ook het totale volume van de macrocel is weergegeven. Alle volumes zijn berekend onder de lijn NAP -5 m.

De formule voor V_{net} luidt:

$$V_{\text{net}} = V_{\text{tot}} - \sum V_i.$$

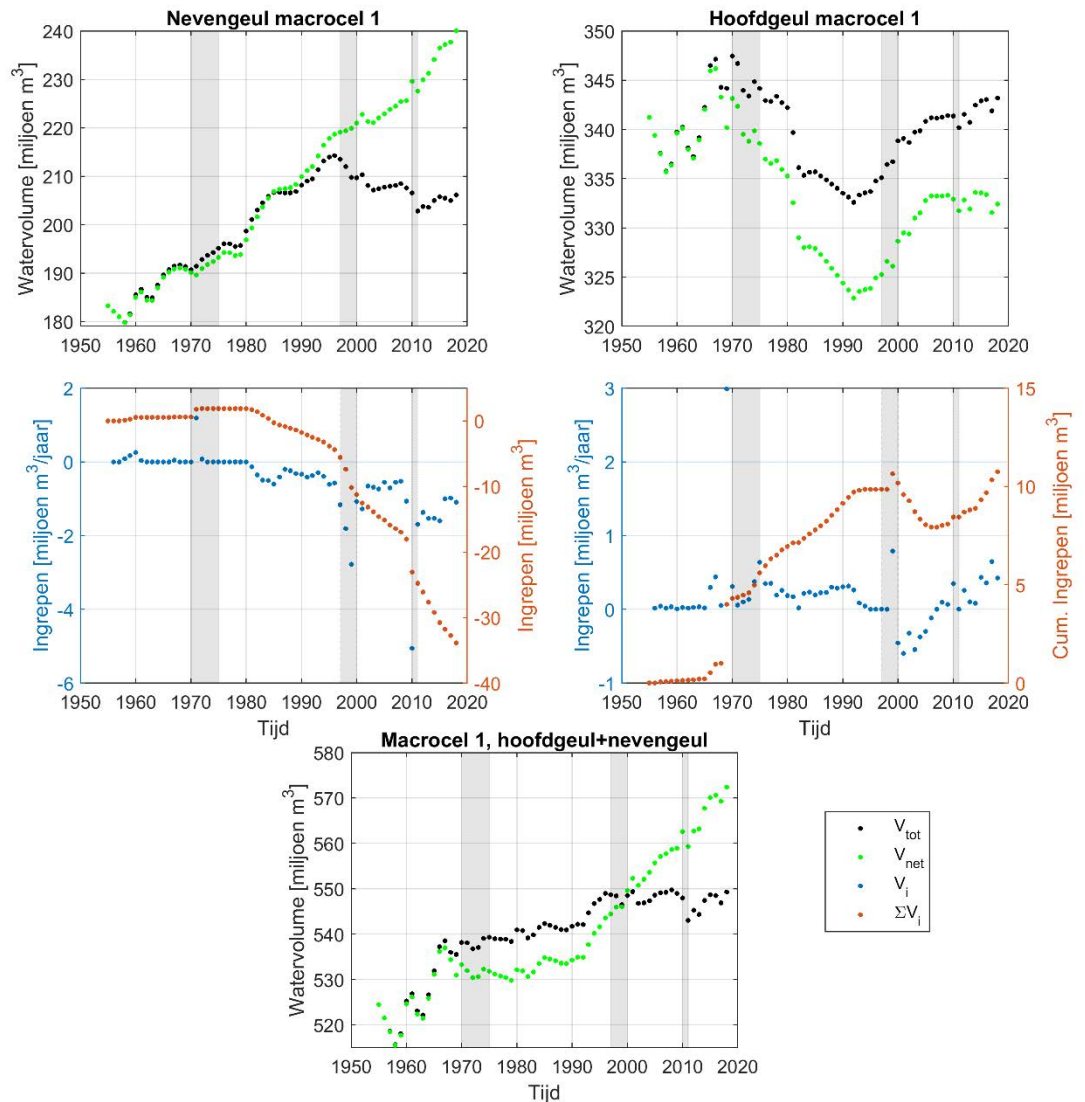
V_{tot} het watervolume onder NAP -5 m

V_i het cumulatieve volume van de ingrepen (baggeren (+) en storten (-))

Dit is het verschil tussen het watervolume in een bepaald jaar minus het cumulatieve volume aan ingrepen tot aan dat jaar. V_{net} , is een benadering voor het geulvolume dat ontstaan zou zijn als er geen ingrepen zouden zijn uitgevoerd, ook wel het 'natuurlijke' geulvolume. Dit geulvolume wordt al decennia lang gebruikt bij het afleiden van de residuele transporten in een zandbalansanalyse. Het volume V_{net} wordt in deze studie, in combinatie met V_{tot} , alleen gebruikt om de invloed van ingrepen op de ontwikkeling van de geulvolumes in hoofdgeul en nevengeul te kwalificeren (zie bijlage C). De kwalificatie bepaalt vervolgens welke richtlijn voor de stortcapaciteit van toepassing is voor storten in een nevengeul.

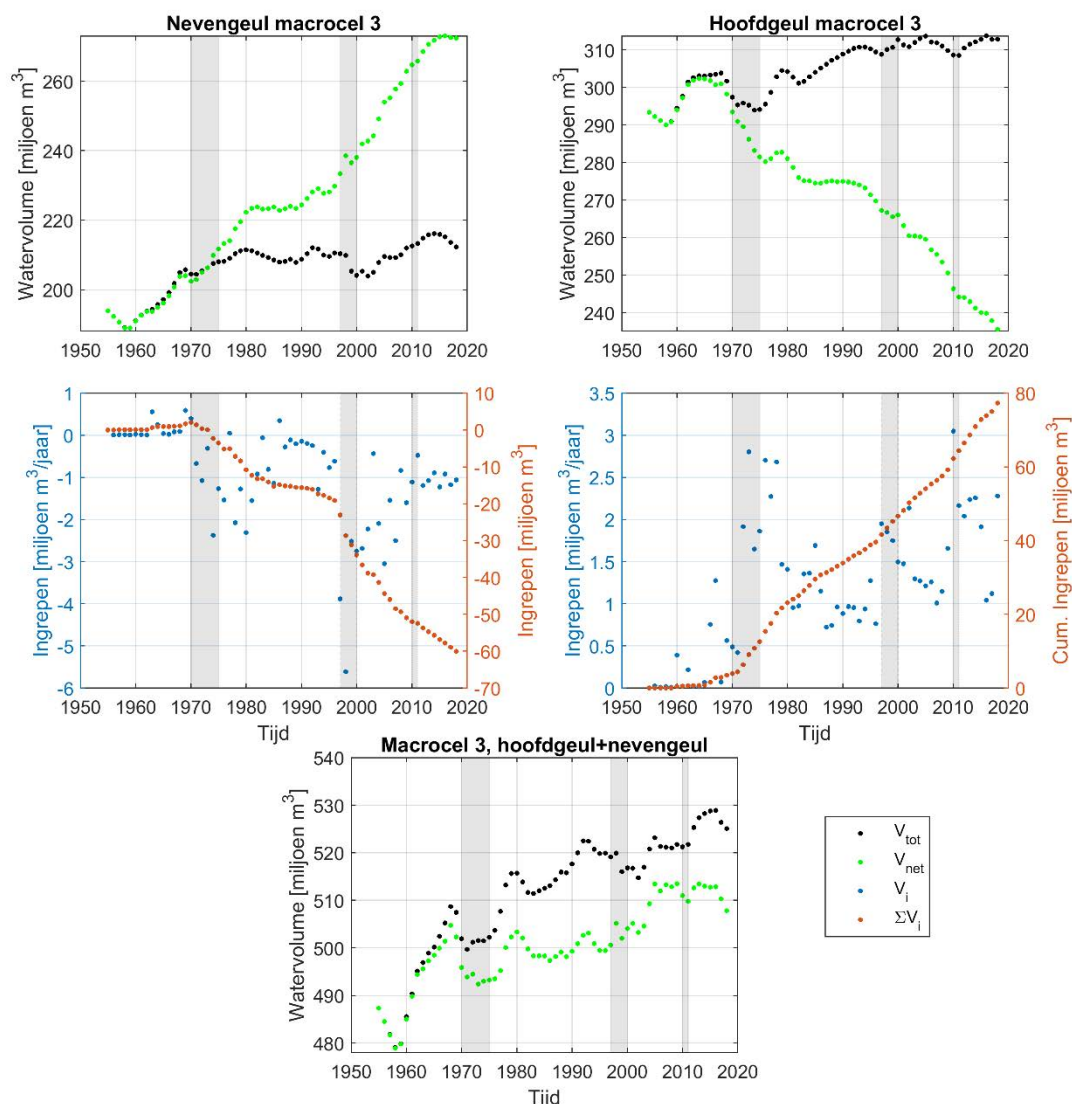
In onderstaande figuren per macrocel worden de tijdreeksen van de verschillende cumulatieve en jaarlijkse volumeveranderingen getoond samen met een zeer beknopte samenvatting van de ontwikkelingen. Hierbij zijn de trendlijnen zoals worden getoond in bijlage A.2 ook beschouwd.

⁶ Aanpassingen van de geulpolygoon hangen samen met de keuze van het referentievlak. Het is niet wenselijk de geulpolygoon (steeds) aan te passen. De keuze tussen het referentieniveau NAP -5m of NAP -2m heeft weinig invloed op de trends in het geulvolume. Ook draagt de zone NAP-2m tot NAP-5m relatief weinig bij aan het totale debiet en sedimenttransport door de geul. Er is geen reden voor aanpassing en daarom is het advies om de grens van NAP-5m te blijven hanteren. Uit: Jeuken et al. (2014).



Figuur 2.6 Tijdreeksen van het watervolume onder de NAP -5 m contour (V_{tot}), V_{tot} gecorrigeerd voor ingrepen (V_{net}), het jaarlijkse volume van de ingrepen (V_i) en het cumulatieve volume van de ingrepen (ΣV_i) voor de nevengeul (links), hoofdgeul (rechts) en totaal van de macrocel (onder) voor macrocel 1.

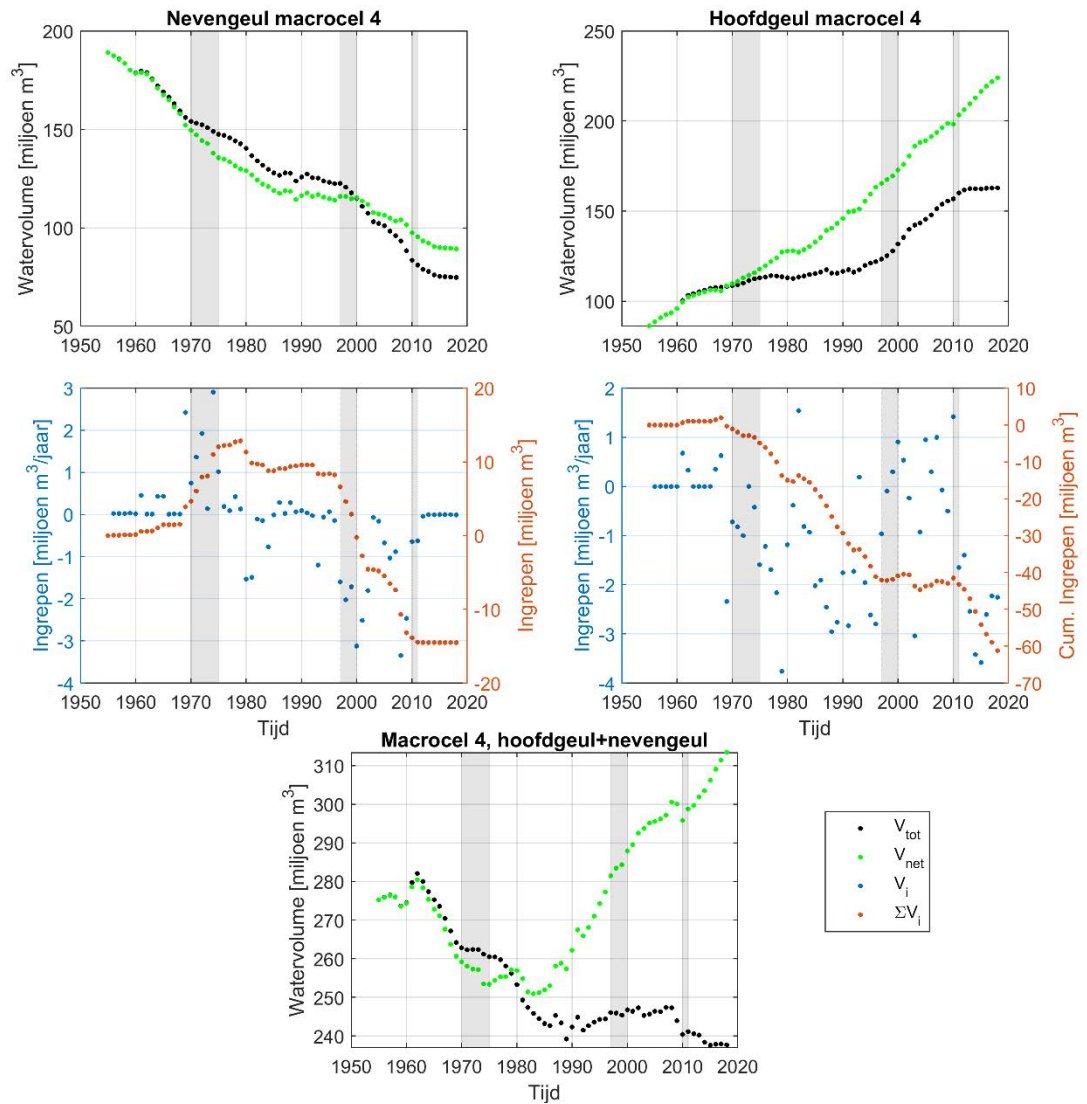
De nevengeul van **macrocel 1** is tussen 1955 en 1995 uitgeruimd en sedimenteerde nadien deels. Ook wordt er vanaf de jaren '90 meer gestort. Op de lange termijn zien we een vrij stabiel geulvolume van de hoofdgeul, die wel gekenmerkt wordt door tendensen van geringe sedimentatie (tussen 1970 en 1990) en erosie (tussen 1955 en 1970 en sinds 1990) die samenhangen met cyclisch gedrag van drempelgeulen in de nevengeul. Het totale natte volume van de macrocel (onder NAP -5m) is sinds halverwege de jaren '90 ongeveer gelijk. Als we inzoomen op de laatste trendperiode, erodeert de nevengeul sinds de 3^e verruiming, terwijl eerder een sedimenterende trend was ingezet die samenhangt met een degeneratie van de ebschaar naar de Spijkerplaat versterkt door storten. De verwachting is dat de recente tendens tot erosie zich onder invloed van het gedrag van drempelgeulen nog circa 10 jaar voortzet. De hoofdgeul erodeert eveneens sinds de derde verdieping onder invloed van baggeren.



Figuur 2.7 Tijdreeksen van het watervolume onder de NAP -5 m contour (V_{tot}), V_{tot} gecorrigeerd voor ingrepen (V_{net}), het jaarlijkse volume van de ingrepen (V_i) en het cumulatieve volume van de ingrepen (ΣV_i) voor de nevengeul (links), hoofdgeul (rechts) en totaal van de macrocel (onder) voor macrocel 3.

In **macrocel 3** is het volume van de nevengeul op de lange termijn geleidelijk toegenomen evenals het volume van de hoofdgeul. In de laatste trendperiode sedimenteert de nevengeul, na een periode van erosie die ca. 15 jaar duurde. De hoofdgeul erodeert. Het totale natte volume van de macrocel is na de 3^e verruiming toegenomen, maar neemt de laatste 2 jaar af, vooral als gevolg van de sedimentatie in de nevengeul.

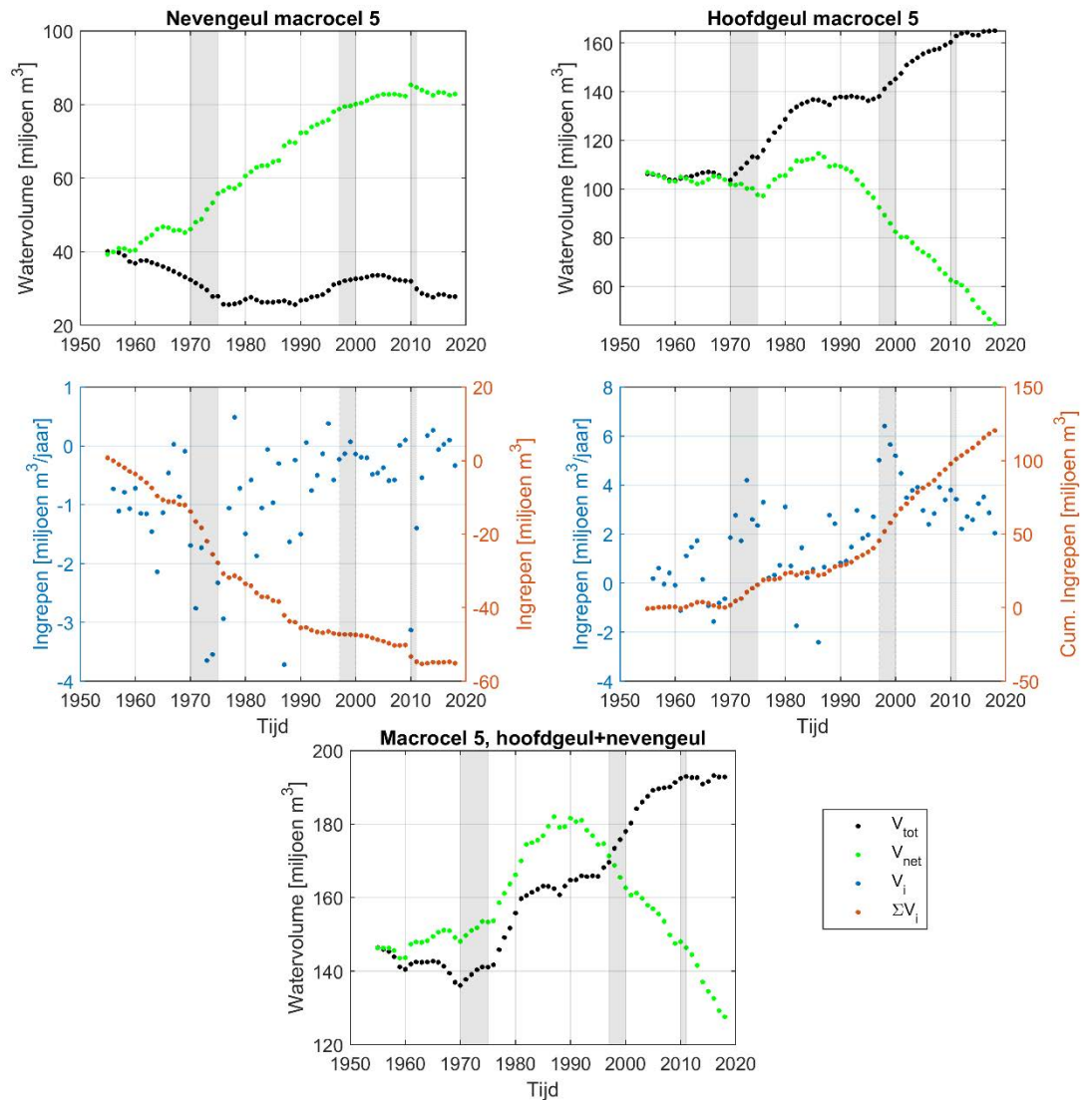
De ontwikkeling van de nevengeul inclusief temporale variaties in het geulvolume manifesteren zich voornamelijk in het drempelgebied van deze geul wat gekenmerkt wordt door dynamische en veerkrachtige drempelgeulen die voorkomen in verschillende patronen (zie Jeuken 2000 en Jeuken et al., 2014). Patroon type 1 bestaat meerdere kleinere kortsluitgeulen zijn houdt sediment juist vast en gaat gepaard met sedimentatie in het drempelgebied. Patroon 2 bestaat uit slechts twee grote drempelgeulen met een geulconfiguratie die erosie en een afvoer van het geërodeerde sediment naar het Middelgat veroorzaakt. De recente tendens tot sedimentatie in nevengeul hangt samen met een wisseling naar patroon 1 en een sturende invloed van storten in de rest van de nevengeul.



Figuur 2.8 Tijdreeksen van het watervolume onder de NAP -5 m contour (V_{tot}), V_{tot} gecorrigeerd voor ingrepen (V_{net}), het jaarlijkse volume van de ingrepen (V_i) en het cumulatieve volume van de ingrepen (ΣV_i) voor de nevengeul (links), hoofdgeul (rechts) en totaal van de macrocel (onder) voor macrocel 4.

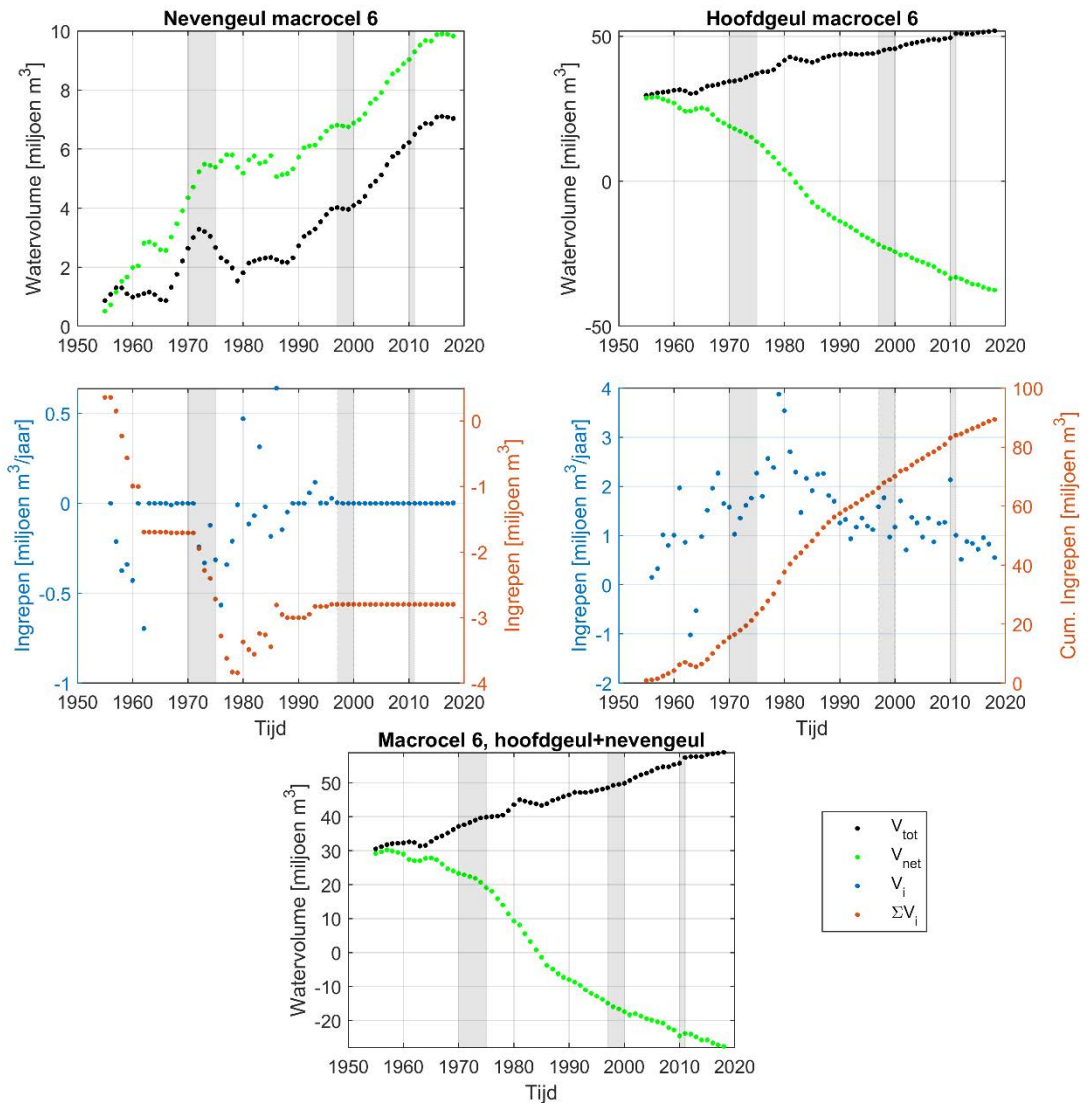
De nevengeul Middelgat van **macrocel 4** sediment sinds ten minste 1931. Na de bochtafsnijding van de geul 1951, heeft dit proces zich doorgezet. Sinds 1981 is het Middelgat als hoofdvaarwater verlaten, waarbij er tot de tweede verruiming incidenteel in het Middelgat werd gestort. Tussen 1997 en 2011 zijn er aanzienlijke hoeveelheden baggerspecie in het Middelgat gestort wat gepaard ging met forse sedimentatie in het Middelgat en een scherpe toename in de erosie van de hoofdgeul.

Na de 3^e verruiming wordt er niet meer gestort in de nevengeul Middelgat; de sedimentatie is afgenomen en het watervolume stabiliseert. Tijdens de laatste trendperiode blijft het watervolume van de hoofdgeul ongeveer gelijk door netto storten (er wordt ook gebaggerd in de hoofdgeul, maar meer gestort), terwijl de geul in de periode daarvoor juist erodeerde. Het totale volume van de macrocel nam eerst af tot ca. 1990 en vertoont sindsdien periodes met kleinere veranderingen.



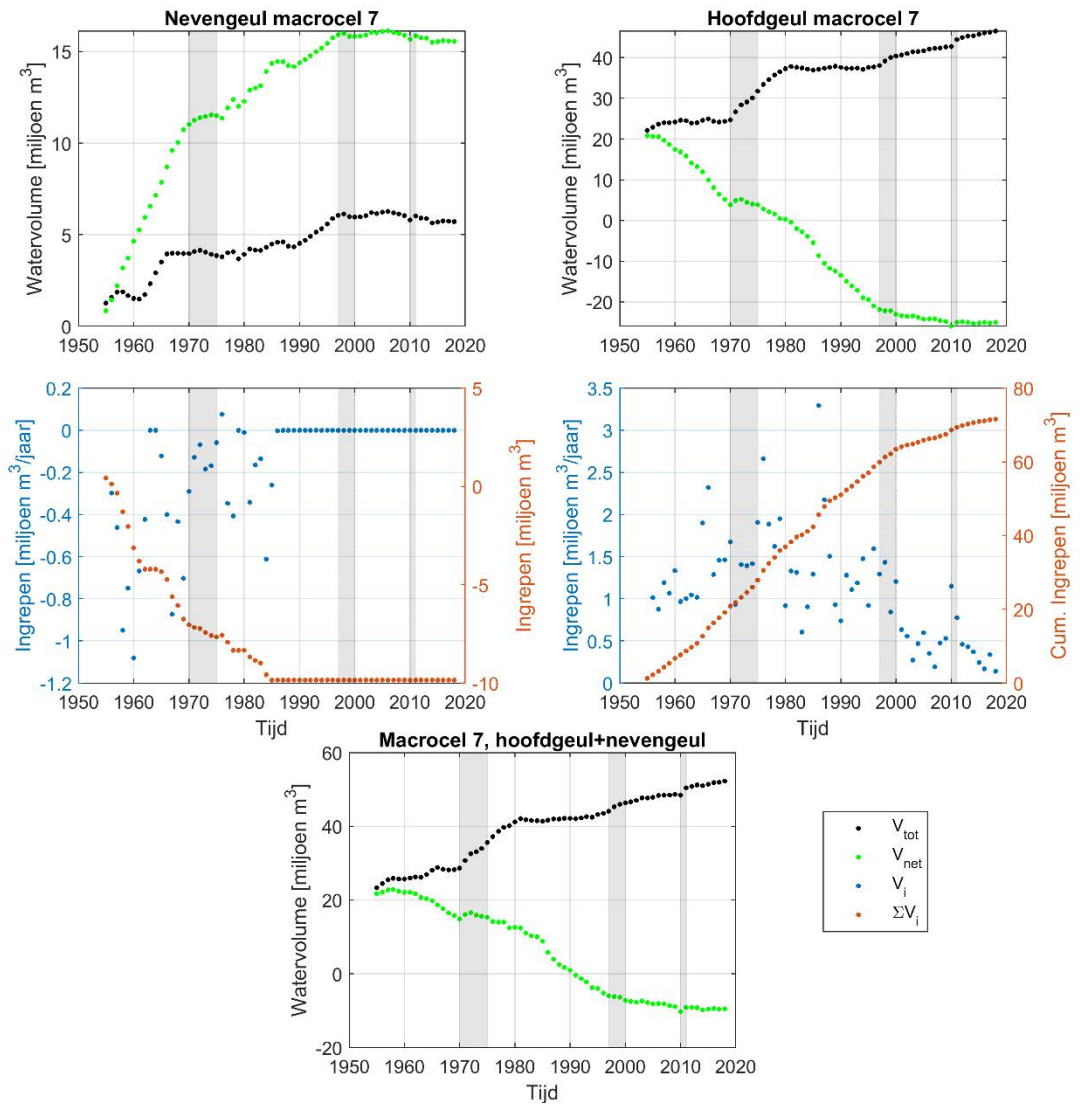
Figuur 2.9 Tijdreeksen van het watervolume onder de NAP -5 m contour (V_{tot}), V_{tot} gecorrigeerd voor ingrepen (V_{net}), het jaarlijkse volume van de ingrepen (V_i) en het cumulatieve volume van de ingrepen (ΣV_i) voor de nevengeul (links), hoofdgeul (rechts) en totaal van de macrocel (onder) voor macrocel 5.

In **macrocel 5** is het watervolume in de afgelopen decennia, net als in de macrocellen 6 en 7, aanzienlijk toegenomen (orde 50 Mm^3 in macrocel 5). Deze toename heeft plaats gevonden in de hoofdgeul onder invloed van vaargeulverruiming en onderhoud. De nevengeul wordt gedomineerd door sedimentatie onder invloed van storten. Tijdens de laatste trendperiode blijft het totale watervolume ongeveer gelijk, maar neemt het natte volume van de nevengeul af terwijl het volume van de hoofdgeul toeneemt. De laatste jaren gaat deze ontwikkeling wel veel langzamer dan in de periode tot aan de 3^e verruiming. De derde verruiming gaat gepaard met een trendbreuken in het water volume: inde hoofdgeul wordt veel gebaggerd waarbij er in de nevengeul en op de plaatrand veel wordt gestort in korte tijd. Het gestorte sediment wordt na de verruiming niet of nauwelijks opgeruimd door de getijstrooming. In tegenstelling tot eerdere verdiepingen en verruiming neemt het watervolume van de hoofdgeul na de derde verruiming relatief langzaam toe, mogelijk als gevolg van minder netto onderhoudsbaggerwerk door de stortingen op de plaatrand van Walsoorden.



Figuur 2.10 Tijdreeksen van het watervolume onder de NAP -5 m contour (V_{tot}), V_{tot} gecorrigeerd voor ingrepen (V_{net}), het jaarlijkse volume van de ingrepen (V_i) en het cumulatieve volume van de ingrepen (ΣV_i) voor de nevengeul (links), hoofdgeul (rechts) en totaal van de macrocel (onder) voor macrocel 6.

Macrocel 6 ruimt al sinds decennia uit, ook nu nog. Zowel de hoofd- als de nevengeul eroderen, hoewel de erosie van de nevengeul de laatste jaren langzamer gaat.

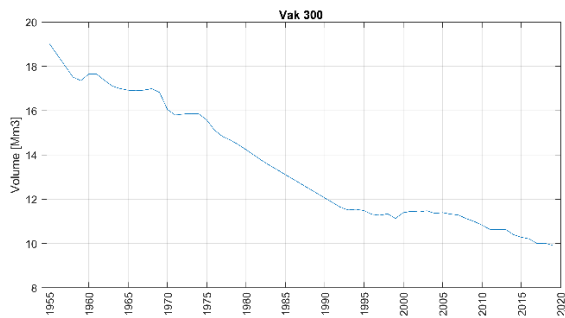
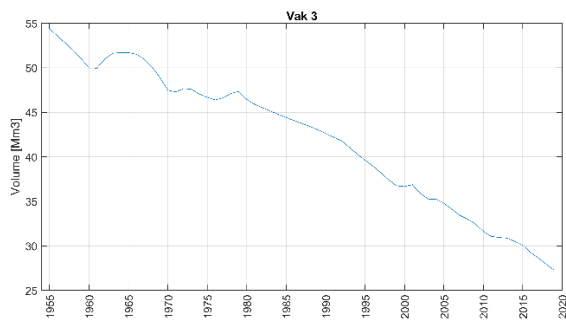
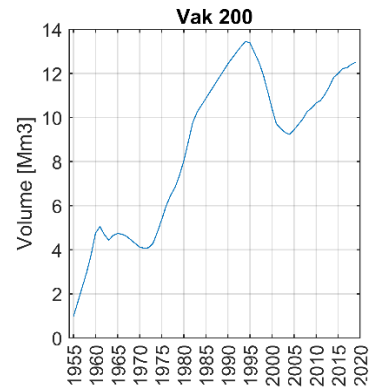
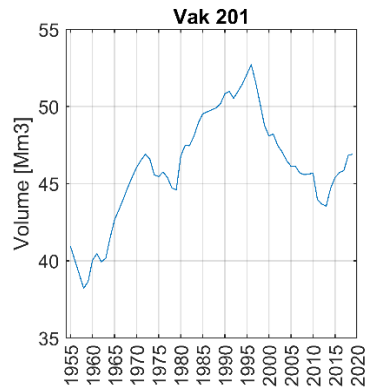
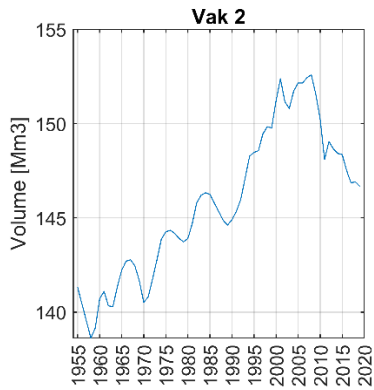
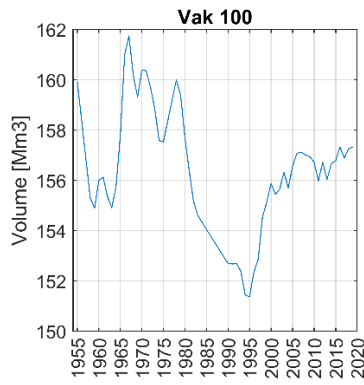
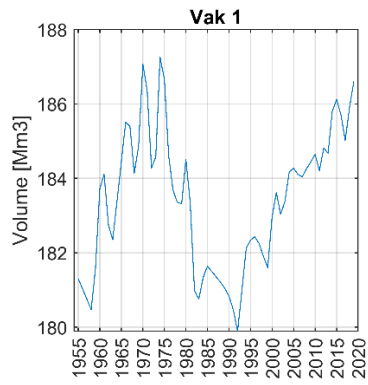


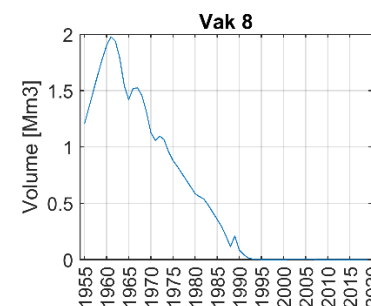
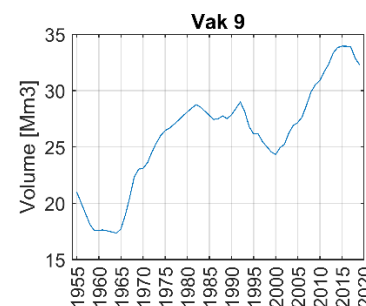
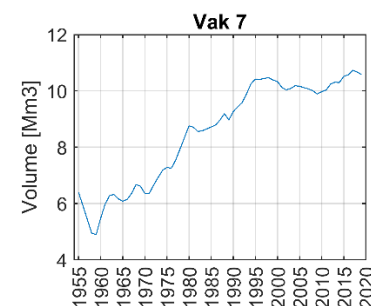
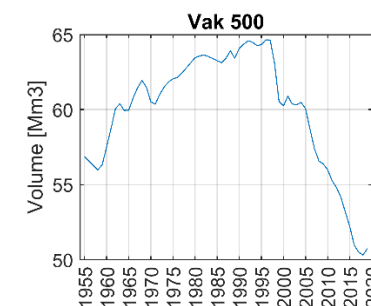
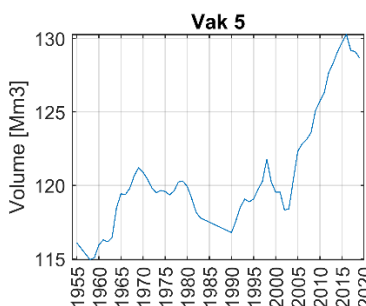
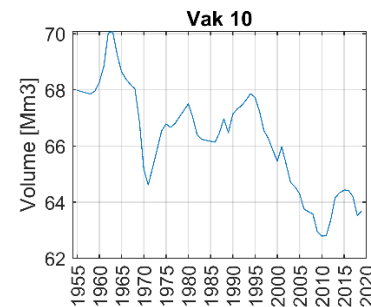
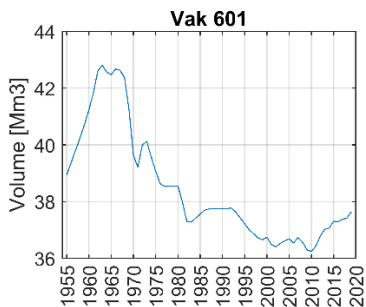
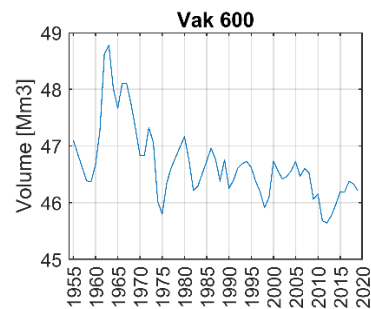
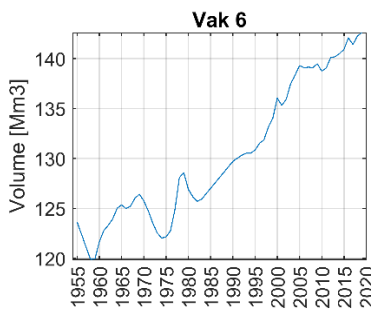
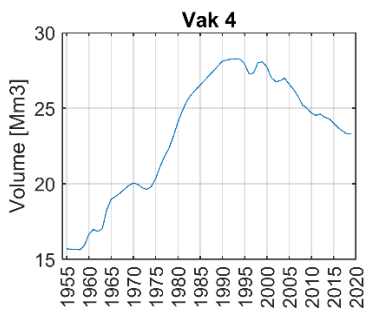
Figuur 2.11 Tijdreeksen van het watervolume onder de NAP -5 m contour (V_{tot}), V_{tot} gecorrigeerd voor ingrepen (V_{net}), het jaarlijkse volume van de ingrepen (V_i) en het cumulatieve volume van de ingrepen (ΣV_i) voor de nevengeul (links), hoofdgeul (rechts) en totaal van de macrocel (onder) voor macrocel 7.

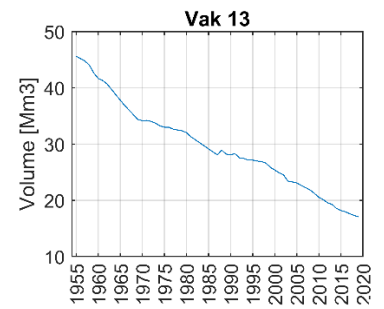
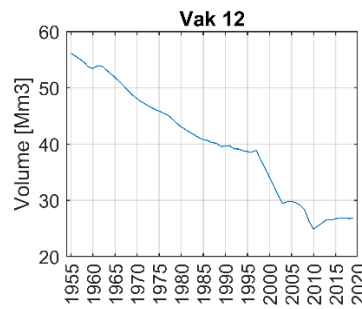
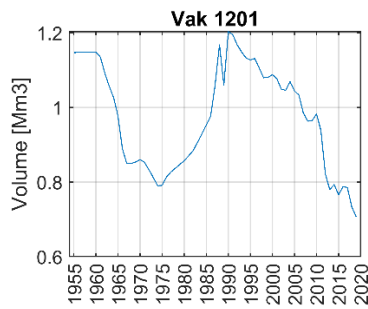
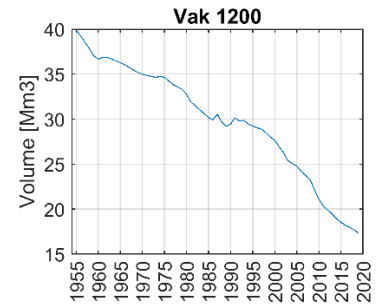
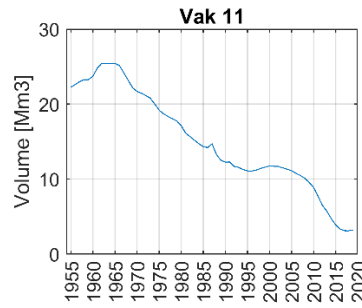
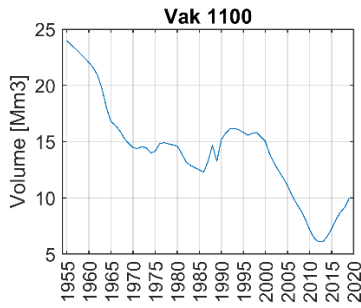
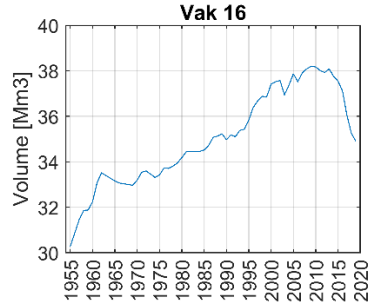
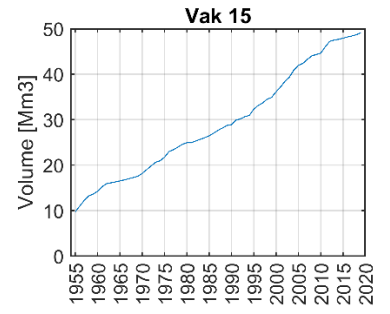
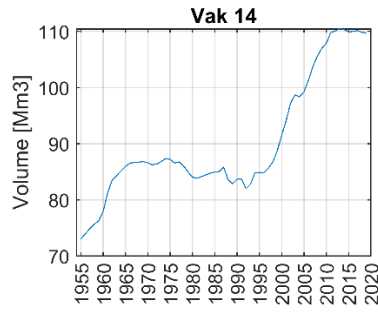
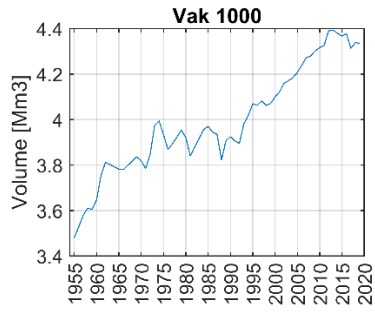
Van **macrocel 7** neemt het volume ook al decennia toe, en versnelt de erosie van de hoofdgeul sinds de 3^e verruiming. De nevengeul sedimenteert licht.

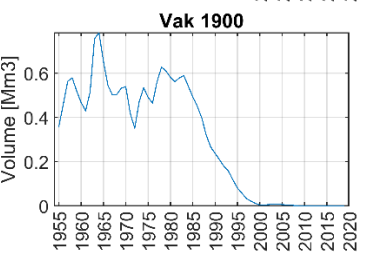
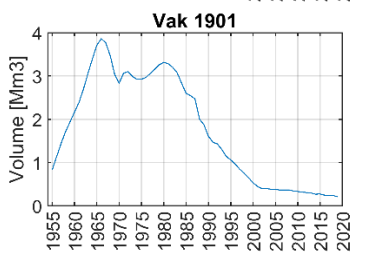
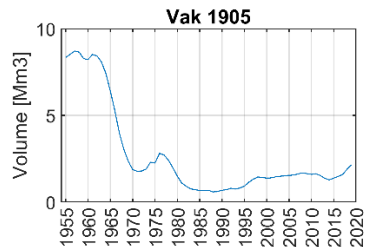
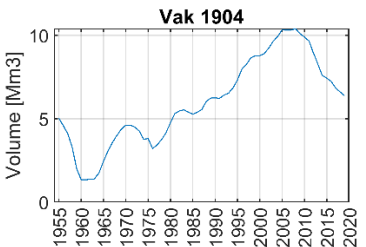
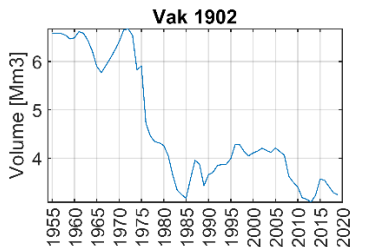
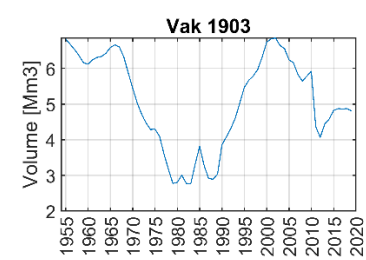
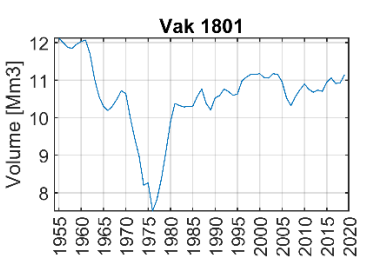
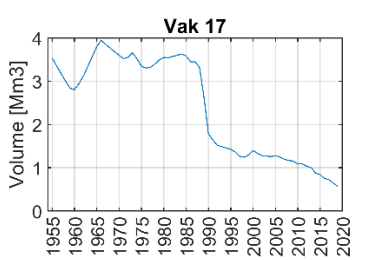
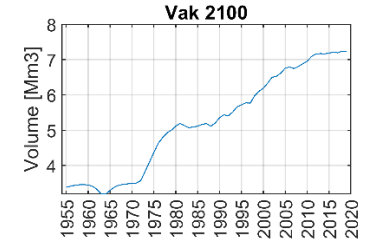
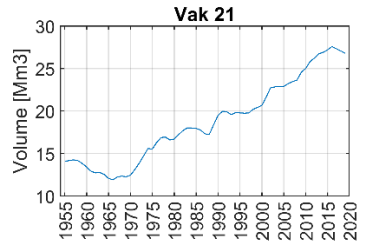
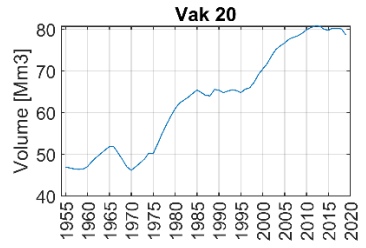
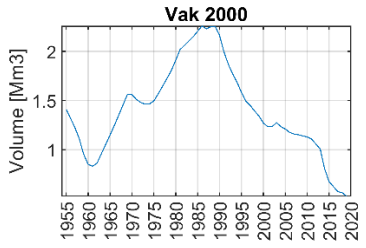
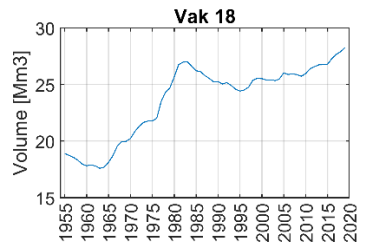
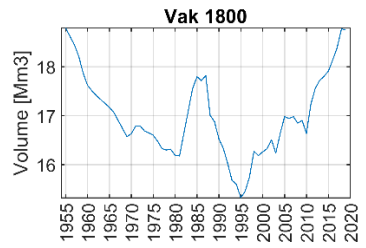
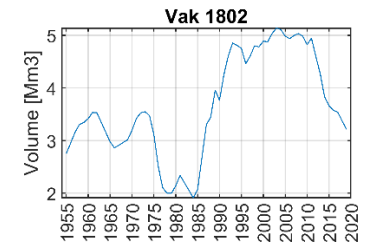
A.2 Watervolume per rekenvak

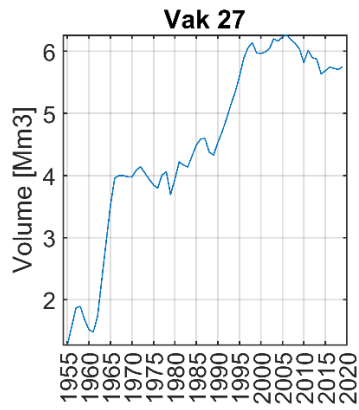
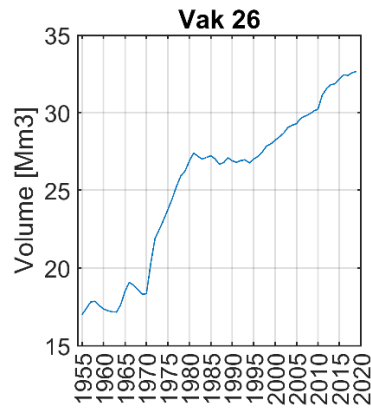
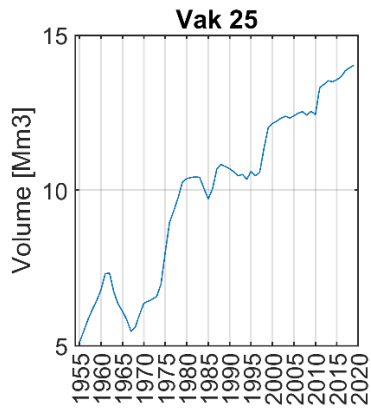
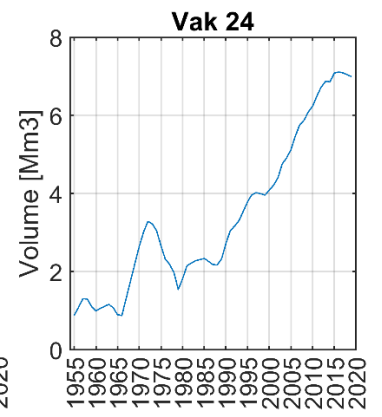
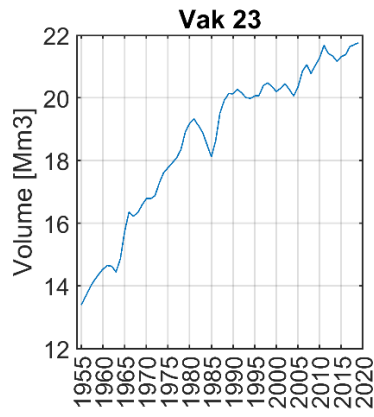
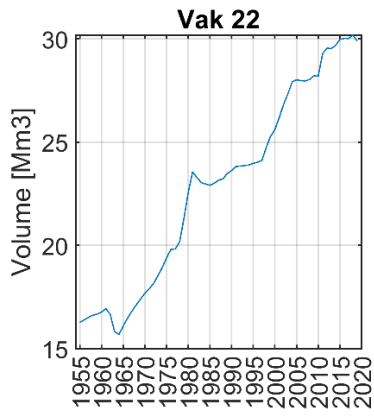
Door Rijkswaterstaat Zee en Delta zijn de watervolumes van de rekenvakken aangeleverd, die in deze bijlage zijn opgenomen. Ze geven inzicht in de morfologische veranderingen op kleinere ruimteschaal en helpen daarmee met het interpreteren van de morfologische veranderingen op grotere schaal.











A.3 Trendbepaling

Nota IMDC met referentie I/NO/16127/20.248/NSM/.

NOTA

| | |
|-------------|--------------------------------------|
| Datum | 18/12/2020 |
| Aan | Deltares, Afdeling Maritieme Toegang |
| Auteur | ████████████████████ |
| Nazicht | ████████████████████ |
| Documentref | I/NO/16127/20.248/NSM/ |

| | |
|--|--|
| Goedgekeurd door de projectleider | |
| Naam: ██████████ | |

Betreft: Trendbreukanalyse Westerschelde**Inhoudsopgave**

| | | |
|----------|--------------------|----------|
| 1 | Inleiding | 2 |
| 2 | Methodiek | 3 |
| 2.1 | Trendbreukanalyse | 4 |
| 3 | Referenties | 6 |

1 Inleiding

In deze nota wordt een beknopte beschrijving gepresenteerd over de trendbreukanalyse van de totale hoofd- en nevengeulvolumes en de cumulatieve ingrepen in de Westerschelde. De resultaten van deze trendbreukanalyse worden onder andere gebruikt om de natuurlijke tendens van de geulen te bepalen.

Doel van de analyse is het vaststellen van de historische ontwikkeling van de hoofd- en nevengeulvolumes per macrocel en van de cumulatieve ingrepen sinds 1955. Deze analyse vormt de basis voor het bepalen van de theoretische stortcapaciteit in de Westerschelde. De theoretische stortcapaciteit geeft aan hoeveel er gestort zou mogen worden in elke hoofd-/nevengeul zonder dat daarbij de ontwikkeling van het meergeulenstelsel in gevaar komt. De theoretische stortcapaciteit bepaald mede het maximale stortvolume in elke geul en macrocel. De maximale stortvolumes zullen worden opgenomen in de nieuw aan te vragen stortvergunning vanaf 2022.

De gebruikte methodiek voor het bepalen van trends in de historische ontwikkeling van de hoofd- en nevengeulvolumes en de ingrepen per macrocel is een kopie van de analyse die is uitgevoerd in 2014 en is beschreven in Jeuken *et al.* (2014). De beschikbare tijdreeksen in de analyse van Jeuken *et al.* (2014) waren destijds te kort om te kunnen beoordelen of en hoe de sedimentatie en erosie in de geulen veranderde als gevolg van de derde verruiming.

Dit document is opgesteld om de trends in de hoofd- en nevengeulvolumes te kunnen analyseren en mogelijke veranderingen van trends te observeren (trendbreuken) met de nieuwe beschikbare data tot en met 2018, dat wellicht effecten van de derde verruiming op de evolutie van de geulen aan het licht brengt.

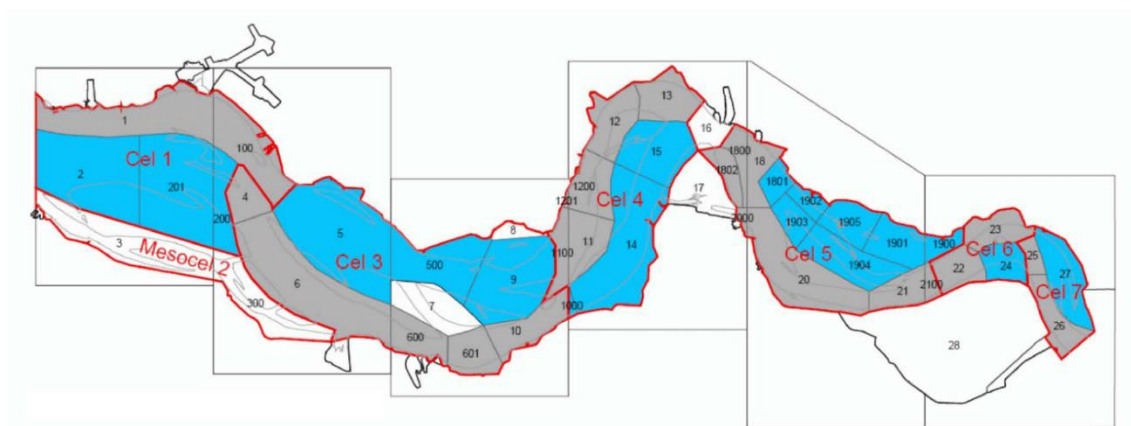
2 Methodiek

In de benadering van de Evaluatiemethodiek Schelde-estuarium (Holzhauer *et al.*, 2011) wordt bij de evaluatie van (toekomstige) waarnemingen vaak een vergelijking uitgevoerd met een verwachte trendontwikkeling. De verwachte trendontwikkeling is gebaseerd op de (historische) ontwikkeling voorafgaand aan het referentiejaar waarbij trends en trendbreuken in rekening gebracht worden. Deze benadering wordt ook hier toegepast: de verwachte ontwikkeling van de geulvolumes na 1 januari 2019 wordt gebaseerd op een trendbepaling die rekening houdt met historische trendwijzigingen of knikpunten.

Voor het bepalen van de meest recente trend en de trendbreuken in elke geul richt de trendanalyse zich op de lineaire (deel)trends in:

- V_{tot} (totale watervolume van de eb/vloedgeul per macrocel)
- I_{cum} (cumulatieve netto volume van de ingrepen van de eb/vloedgeul per macrocel)

De lineaire trendbreukanalyse is uitgevoerd zoals beschreven in Jeuken *et al.* (2014). Het doel van deze trendbreukanalyse is om de sedimentatie/erosie trends, inclusief de jaren sinds de derde verruiming (2010) van de Westerschelde te bepalen voor het gedrag van de geulen inclusief baggeren en storten alsmede de trends voor deze ingrepen zelf (het cumulatieve netto volume van de ingrepen: baggeren - storten). Uit deze analyse kan vervolgens de invloed van ingrepen op ontwikkeling van de geulen worden vastgesteld (d.w.z. de autonome¹ (als proxy voor een ‘natuurlijke’) evolutie: V_{net}) door berekende trends in V_{tot} en I_{cum} van elkaar af te halen (met een jaarlijkse tijdsresolutie). Om de analyse uit te voeren wordt de onderstaande opdeling aangehouden waarbij de Westerschelde is verdeeld in zes macrocellen en één mesocel, waarbij alle macrocellen bestaan uit een vloed- (blauw) en ebschaar (grijs, Figuur 1). Merk op dat in macrocel 4 de vloedschaar is weergegeven in grijs en de ebschaar in blauw en dat de rvaksas3-indeling (zwart, Figuur 1) gebaseerd is op vroegere morfologische kenmerken. Er is voor gekozen om deze indeling aan te houden om vergelijkbaarheid met vorige analyses te behouden, én omdat de huidige morfologie dit ook toestaat.



Figuur 1 : Overzicht van de opdeling van de Westerschelde in 6 macrocellen en 1 mesocel (rood). Iedere macrocel bestaat uit een vloed- (blauw) en ebschaar (grijs), die vervolgens weer zijn onderverdeeld volgens de rvaksas3 indeling (zwarte nummering).

¹ Met autonome ontwikkeling wordt het toestaan van natuurlijke processen binnen een kader van vaste randvoorwaarden (dijken, kribben, baggeren en storten, ...) die antropogeen zijn, bedoeld.

2.1 Trendbreukanalyse

In deze paragraaf wordt beknopt weergegeven hoe een objectieve en wiskundig onderbouwde trend in V_{tot} en I_{cum} voor toepassing voor het bepalen van de theoretische stortcapaciteit wordt afgeleid.

In Zeileis et al. (2003) worden methodes beschreven voor het vaststellen en dateren van veranderingen in regressiecoëfficiënten, of knikpunten en sprongen in de trendlijn. Het vaststellen van trendwijzigingen of knikpunten kan uitgevoerd worden door te kijken naar sterke veranderingen in de residuen van de gegevens ten opzichte van een lange termijn trend, zoals dat reeds werd toegepast door IMDC in het T2009 rapport (T2009 Consortium, 2013). Als dateringsmethode wordt de benadering van Bai and Perron (1998) (ook beschreven in Zeileis et al. (2003)) toegepast, in lijn met de methodiek die al in Jeuken et al. (2014) werd beschreven. Hierbij wordt data gebruikt vanaf 1955 (start van de metingen waarbij het oosten en westen van de Westerschelde om het jaar werden ingemeten) tot en met 2018, omdat die momenteel beschikbaar zijn.

De Bai en Perron (1998) methode is een optimalisatieprocedure en houdt in dat er enerzijds wordt gestreefd naar een afname van de totale residuen (RSS, Residual Sum of Squares) in combinatie met een minimalisatie van een informatiecriterium (BIC, Bayesian Information Criterion) door het toevoegen van knikpunten m (of segmenten) en verschuiven van het jaartal van de knikpunten. Eigen aan het BIC is dat de minimalisatie van de BIC niet eindeloos doorgedreven dient te worden ten koste van het steeds complexer worden van het model (d.w.z. het toevoegen van knikpunten). Algemeen wordt aangenomen dat het verschil tussen de BIC van een referentie model en de BIC van een mogelijk model (ΔBIC) als volgt te interpreteren valt (Kass and Raftery, 1995):

Tabel 2-1: Interpretatie van het verschil tussen de BIC van een referentie model en een mogelijk model, waarbij m het aantal knikpunten beschrijft.

| $BIC(m-1) - BIC(m)$ | Bewijs tegen model $m-1$ |
|---------------------|--|
| $0 \rightarrow 2$ | Enkel een vermelding waard, met andere woorden model $m-1$ kan even goed de waarneming beschrijven als model m . |
| $2 \rightarrow 6$ | Positief bewijs |
| $6 \rightarrow 10$ | Sterk bewijs |
| > 10 | Zeer sterk bewijs |

De BIC is (na vereenvoudiging) gedefinieerd als volgt:

$$BIC = -2 * \ln(L) + k * \ln(n)$$

Met: $\ln(L)$ de log-likelihood functie van de samengestelde regressievergelijkingen, n aantal observatiepunten en k het aantal te verklaren regressiecoëfficiënten.

Omdat in de BIC definitie een penalty zit voor de complexiteit van het model (k), zal met toenemend aantal knikpunten in een model, de BIC vanaf een gegeven punt ook weer toenemen. Ondanks de objectieve opzet van de methode voor het bepalen van knikpunten, blijft er in de bovenstaande interpretatie (Tabel 2-1) nog steeds een subjectief element in zitten, namelijk het al dan niet meetellen van een knikpunt op basis van de BIC verandering. Om dit subjectief element eruit te halen, wordt de relatieve verlaging van de RSS door het toevoegen van een knikpunt vastgelegd in de beoordeling. Er wordt aangenomen dat als reeds 95% van de totale RSS (ten opzichte van een lineair model, met andere woorden een model zonder knikpunten) verklaard is door het voorgaande model (met $m-1$ knikpunten) in combinatie met een beperkte afname van het BIC (tussen 2 en 10), het model met een bijkomend knikpunt (m) geen wezenlijke verbetering zal opleveren. Verder laat de gebruikte dateringsmethode ook toe de minimale duur/lengte van een segment op te leggen. In Jeuken et al. (2014) werd aangetoond dat de duur van 5 jaar een goede keuze is.

Vervolgens worden er in de tijd-series van V_{tot} en I_{cum} trendbreuken in rekening gebracht, die aangeven wanneer het volume van de geulen of de bagger- en stortstrategie sterk beïnvloed of veranderd is. Voor elke parameter (V_{tot} en I_{cum}) en geul per macrocel werden de BIC en RSS bepaald voor de verschillende aantallen trendbreuken m .

Het uiteindelijke aantal trendbreuken per parameter per geul werd bepaald door het model te kiezen met het grootste aantal trendbreuken waarbij:

$$BIC_{m-1} - BIC_m > 10 \quad [\text{Regel 1}]$$

Of

$$\left\{ \begin{array}{l} BIC_{m-1} - BIC_m > 2 \quad [\text{Regel 2a}] \\ \frac{RSS_0 - RSS_{m-1}}{RSS_0} < 0.95 \quad [\text{Regel 2b}] \end{array} \right.$$

Waarin de subscripts het aantal trendbreuken aangeven: als het model met m knikpunten niet voldeed aan deze criteria, werd model $m-1$ gekozen.

Ten slotte zijn per parameter en per geul de lineaire trends bepaald voor de periodes tussen twee trendbreuk jaren, waarbij de meest recente trend gebruikt kan worden om uitspraak te doen over toekomstige veranderingen. De resultaten van de trendbreukanalyse per hoofd- en nevengeul in iedere macrocel zijn opgenomen in Bijlage A.

Door de trends (op jaarbasis) van het cumulatieve netto volume van de ingrepen van het totale geulvolume af te halen ($V_{\text{tot}} - I_{\text{cum}}$), wordt een tijd-serie verkregen die inzicht geeft in de natuurlijke evolutie van die geul (V_{net}).

3 Referenties

Bai J. & Perron P. (1998). Estimating and Testing Linear Models with Multiple Structural Changes. *Econometrica*, 66(1), 47, doi: 10.2307/2998540.

Holzhauser H., Maris T., Meire P., Van Damme S., Nolte A., Kuijper K., Taal M., Jeuken C., Kromkamp J., van Wesenbeeck B., Van Ryckegem G., Van den Bergh E. & Wijnhoven S. (2011). Evaluatiemethodiek Schelde-estuarium. Fase 2. Vlaams Nederlandse Schelde Commissie (VNSC). Projectnummer Deltares: 1204407.

Jeuken C., Vroom J., Wang Z.B., Depreiter D., van Holland G., Dam G., Poortman S. & Cleveringa J. (2014). Advies flexibel storten.

Kass R.E. & Raftery A.E. (1995). Bayes Factors. *J. Am. Stat. Assoc.*, 90(430), 773, doi: 10.2307/2291091.

T2009 Consortium (2013). T2009-rapport Schelde-estuarium. Arcadis Nederland, IMDC, Universiteit Antwerpen, IMARES en NIOZ.

Zeileis A., Kleiber C., Krämer W. & Hornik K. (2003). Testing and dating of structural changes in practice. *Comput. Stat. Data Anal.*, 44(1-2), 109-123, doi: 10.1016/S0167-9473(03)00030-6.

Bijlage A Resultaten trendbreukanalyse

In deze bijlage wordt per macrocel en per neven- en hoofdgeul het optimaal aantal trendbreuken weergegeven (m). Het optimaal aantal trendbreuken werd bepaald door 1) het BIC criterium $BIC_{m-1} - BIC_m > 10$ of 2) door de criteria $BIC_{m-1} - BIC_m > 2$ en $(RSS_0 - RSS_{m-1})/RSS_0 < 0,95$. De weergegeven jaartallen zijn telkens het laatste jaar van een lineaire trend inclusief de trendbreuk. Verder is de grootte van de trend na de laatste trendbreuk weergegeven, samen met de correlatie en de p-waarde van die trend. De analyseresultaten die worden weergegeven zijn gebaseerd op de periode 1955 - 2018. Aangezien de gerapporteerde waarden watervolumes betreffen, zijn negatieve cumulatieve ingrepen gelijk aan 'netto storten', positieve gelijk aan 'netto baggeren'.

Macrocel 1

Tabel 3-1: Nevengeul macrocel 1

| Tijdreeks | m | Trendbreuken | Trend segment $m+1$ | R^2 | p |
|-----------|-----|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------|
| V_{tot} | 4 | 1959, 1980, 1997, 2010 | 0,42 Mm ³ per jaar | 0,80 | <0,01 |
| I_{cum} | 5 | 1970, 1981, 1995, 2000 2009 | -1,36 Mm ³ per jaar | 0,99 | <0,01 |

Tabel 3-2: Hoofdgeul macrocel 1

| Tijdreeks | m | Trendbreuken | Trend segment $m+1$ | R^2 | p |
|-----------|-----|---|-------------------------------|-------|-------|
| V_{tot} | 5 | 1959, 1965, 1981, 1991, 1999 | 0,22 Mm ³ per jaar | 0,79 | <0,01 |
| I_{cum} | 8 | 1963, 1968, 1974, 1981, 1991, 1998, 2005, 2013 | 0,47 Mm ³ per jaar | 0,99 | <0,01 |

Macrocel 3

Tabel 3-3: Nevengeul macrocel 3

| Tijdreeks | m | Trendbreuken | Trend segment $m+1$ | R^2 | p |
|-----------|-----|---------------------------------|--------------------------------|-------|-------|
| V_{tot} | 5 | 1959, 1967, 1982, 1998, 2013 | -0,99 Mm ³ per jaar | 0,93 | <0,01 |
| I_{cum} | 5 | 1971, 1980, 1995, 2000, 2006 | -1,04 Mm ³ per jaar | 1,00 | <0,01 |

Tabel 3-4: Hoofdgeul macrocel 3

| Tijdreeks | m | Trendbreuken | Trend segment $m+1$ | R^2 | p |
|-----------|-----|---|-------------------------------|-------|-------|
| V_{tot} | 8 | 1959, 1964, 1969, 1974, 1980, 1994, 2004, 2011 | 0,40 Mm ³ per jaar | 0,66 | 0,027 |
| I_{cum} | 5 | 1965, 1971, 1979, 1997, 2009 | 1,85 Mm ³ per jaar | 0,99 | <0,01 |

Macrocel 4

Tabel 3-5: Nevengeul macrocel 4

| Tijdreeks | m | Trendbreuken | Trend segment m+1 | R ² | p |
|------------------|---|--|--------------------------------|----------------|-------|
| V _{tot} | 7 | 1960, 1968, 1980, 1986, 1997, 2004, 2012 | -0,53 Mm ³ per jaar | 0,77 | 0,021 |
| I _{cum} | 6 | 1968, 1975, 1980, 1996, 2002, 2008 | -0,10 Mm ³ per jaar | 0,49 | 0,024 |

Tabel 3-6: Hoofdgeul macrocel 4

| Tijdreeks | m | Trendbreuken | Trend segment m+1 | R ² | p |
|------------------|---|--|--------------------------------|----------------|-------|
| V _{tot} | 5 | 1961, 1978, 1991, 1999, 2011 | 0,16 Mm ³ per jaar | 0,77 | 0,010 |
| I _{cum} | 8 | 1968, 1973, 1978, 1983, 1992, 1997, 2002, 2010 | -2,74 Mm ³ per jaar | 0,99 | <0,01 |

Macrocel 5

Tabel 3-7: Nevengeul macrocel 5

| Tijdreeks | m | Trendbreuken | Trend segment m+1 | R ² | p |
|------------------|---|------------------------------|--------------------------------|----------------|-------|
| V _{tot} | 5 | 1967, 1977, 1988, 2001, 2010 | -0,21 Mm ³ per jaar | 0,51 | 0,048 |
| I _{cum} | 4 | 1968, 1977, 1987, 2009 | -0,10 Mm ³ per jaar | 0,25 | 0,172 |

Tabel 3-8: Hoofdgeul macrocel 5

| Tijdreeks | m | Trendbreuken | Trend segment m+1 | R ² | p |
|------------------|---|------------------------------------|-------------------------------|----------------|-------|
| V _{tot} | 5 | 1969, 1982, 1994, 2001, 2013 | 0,52 Mm ³ per jaar | 0,80 | 0,040 |
| I _{cum} | 6 | 1963, 1969, 1975, 1985, 1995, 2001 | 3,11 Mm ³ per jaar | 1,00 | <0,01 |

Macrocel 6

Tabel 3-9: Nevengeul macrocel 6

| Tijdreeks | m | Trendbreuken | Trend segment m+1 | R ² | p |
|------------------|---|------------------------------------|-------------------------------|----------------|-------|
| V _{tot} | 6 | 1965, 1972, 1979, 1989, 1998, 2012 | 0,04 Mm ³ per jaar | 0,53 | 0,099 |
| I _{cum} | 4 | 1961, 1971, 1979, 1985 | 0,01 Mm ³ per jaar | 0,44 | <0,01 |

Tabel 3-10: Hoofdgeul macrocel 6

| Tijdreeks | m | Trendbreuken | Trend segment m+1 | R ² | p |
|------------------|---|--|-------------------------------|----------------|-------|
| V _{tot} | 7 | 1962, 1976, 1981, 1986, 1995, 2005, 2010 | 0,14 Mm ³ per jaar | 0,81 | <0,01 |
| I _{cum} | 5 | 1963, 1976, 1981, 1988, 2009 | 0,80 Mm ³ per jaar | 1,00 | <0,01 |

Macrocel 7

Tabel 3-11: Nevengeul macrocel 7

| Tijdreeks | m | Trendbreuken | Trend segment m+1 | R ² | p |
|------------------|---|------------------------------------|--------------------------------|----------------|-------|
| V _{tot} | 6 | 1960, 1966, 1978, 1987, 1998, 2006 | -0,04 Mm ³ per jaar | 0,77 | <0,01 |
| I _{cum} | 4 | 1959, 1964, 1969, 1983 | 0,00 Mm ³ per jaar | 0,08 | 0,090 |

Tabel 3-12: Hoofdgeul macrocel 7

| Tijdreeks | m | Trendbreuken | Trend segment m+1 | R ² | p |
|------------------|---|------------------------------------|-------------------------------|----------------|-------|
| V _{tot} | 3 | 1970, 1979, 1997 | 0,36 Mm ³ per jaar | 0,97 | <0,01 |
| I _{cum} | 6 | 1965, 1973, 1978, 1985, 2000, 2009 | 0,35 Mm ³ per jaar | 0,95 | <0,01 |

A.4 Volumeveranderingen op basis van trends

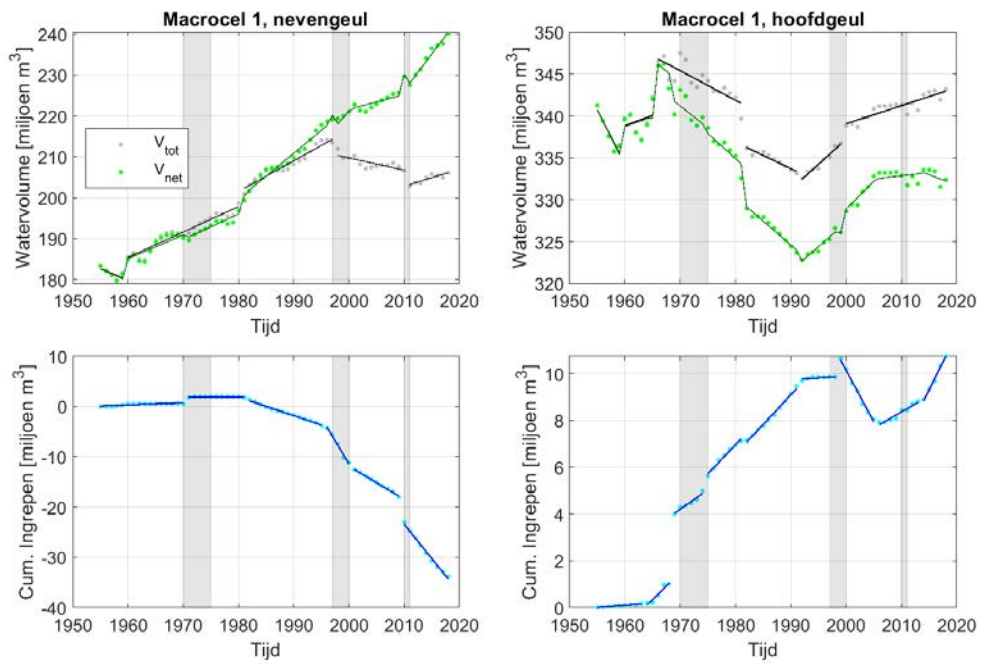
Door IMDC zijn de trendbreuken en trendlijnen gedetecteerd via een wiskundige methode op dezelfde wijze zoals dat is gedaan in de vorige studie (Nota Smit & Schepper, 2020, zie paragraaf A.2), waarin de aannamen en keuzen voor de trendbepaling zijn uitgezocht en onderbouwd. Hieronder worden de recente trends en volumeveranderingen in V_{tot} (watervolume) en V_i (volume van de ingrepen) weergegeven in Tabel A.6 (laatste trendperiode) en Tabel A.7 (voorlaatste trendperiode). In Figuur 2.12 t/m Figuur 2.17 zijn de meetdata en de trends voor V_{tot} , V_{net} en cumulatief V_i weergegeven. Hierbij is V_{net} gedefinieerd als $V_{tot} - \sum V_i$, waarbij voor V_{net} geen aparte trend is afgeleid.

Tabel A.6 Start van de laatste trendperiode (zie startjaar in tabel tot 2018) en trend in [m^3/j] van het watervolume V_{tot} van de hoofd- en nevengeul en van de ingrepen V_i , per macrocel. Indien de volumeverandering van V_{tot} kleiner is dan de grens voor evenwicht (zie paragraaf C.1.1), is deze cursief gedrukt.

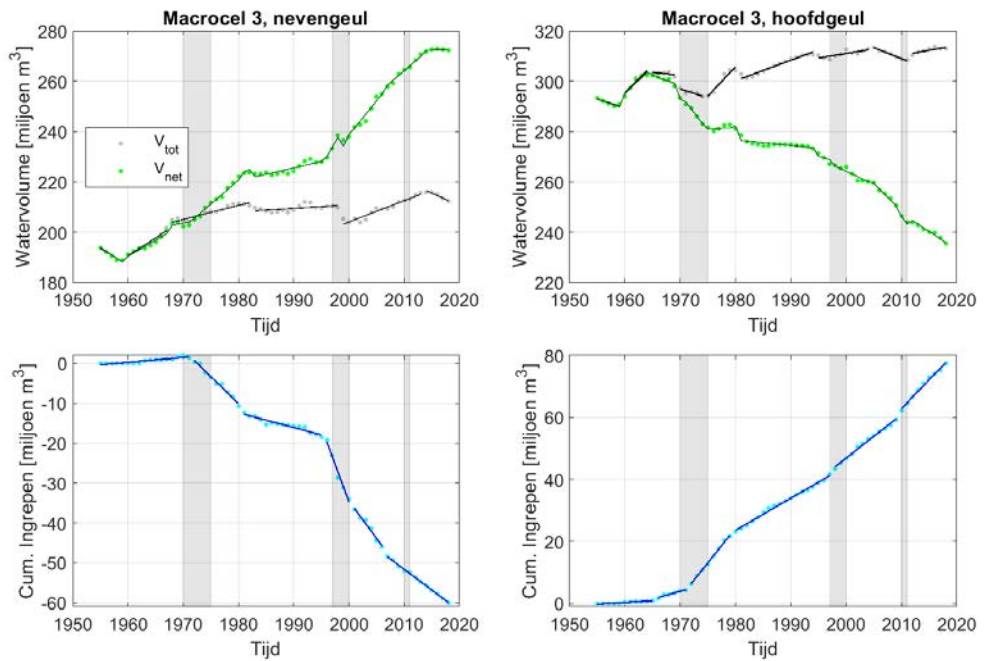
| MC | Nevengeul | | | | Hoofdgeul | | | |
|----|-----------|----------|---------|------------|-----------|---------|---------|------------|
| | V_{tot} | | V_i | | V_{tot} | | V_i | |
| | Periode | Trend | Periode | Trend | Periode | Trend | Periode | Trend |
| 1 | '11-'18 | 423.720 | '10-'18 | -1.361.800 | '00-'18 | 215.780 | '14-'18 | 473.390 |
| 3 | '14-'18 | -992.180 | '07-'18 | -1.039.800 | '12-'18 | 396.110 | '10-'18 | 1.852.400 |
| 4 | '13-'18 | -526.960 | '09-'18 | -102.910 | '12-'18 | 163.840 | '11-'18 | -2.743.300 |
| 5 | '11-'18 | -208.820 | '10-'18 | -102.930 | '14-'18 | 518.710 | '02-'18 | 3.110.300 |
| 6 | '13-'18 | 43.832 | '86-'18 | 5.048 | '11-'18 | 142.970 | '10-'18 | 796.870 |
| 7 | '07-'18 | -44.524 | '84-'18 | -1.260 | '98-'18 | 363.160 | '10-'18 | 346.220 |

Tabel A.7 Start van de voorlaatste trendperiode en trend in [m^3/j] van het watervolume V_{tot} van de hoofd- en nevengeul en van de ingrepen V_i , per macrocel.

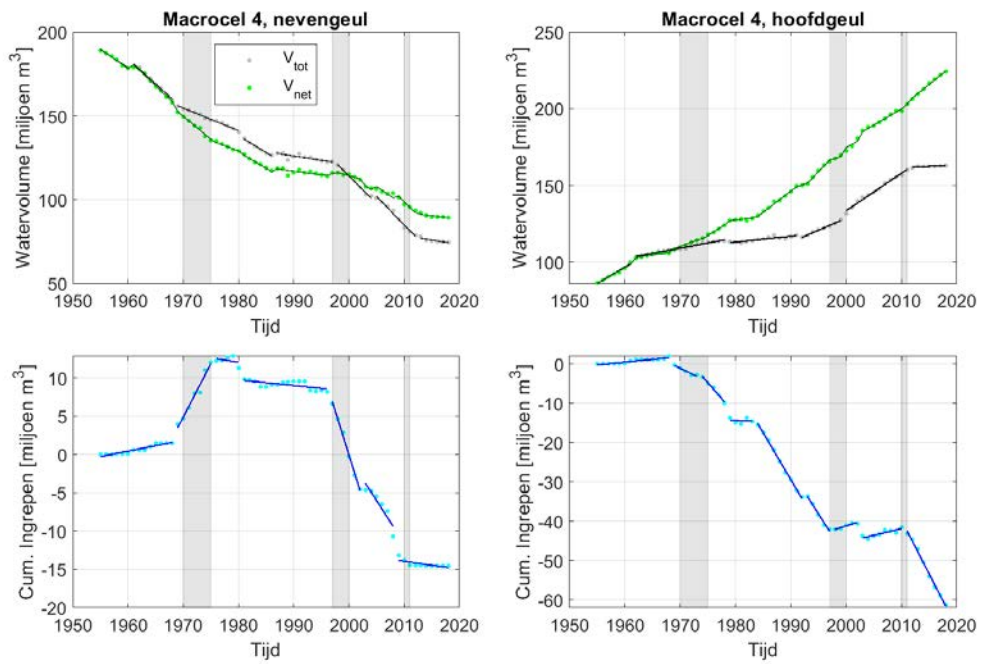
| MC | Nevengeul | | | | Hoofdgeul | | | |
|----|-----------|------------|---------|------------|-----------|-----------|---------|-----------|
| | V_{tot} | | V_i | | V_{tot} | | V_i | |
| | Periode | Trend | Periode | Trend | Periode | Trend | Periode | Trend |
| 1 | '98-'10 | -299.930 | '01-'09 | -659.330 | '92-'99 | 597.560 | '06-'13 | 137.580 |
| 3 | '99-'13 | 847.310 | '01-'06 | -1.875.100 | '05-'11 | -874.080 | '98-'09 | 1.398.200 |
| 4 | '05-'12 | -3.377.400 | '03-'08 | -1.122.000 | '00-'11 | 2.444.000 | '03-'10 | 335.430 |
| 5 | '02-'10 | -211.340 | '88-'09 | -277.940 | '02-'13 | 1.209.800 | '96-'01 | 5.464.300 |
| 6 | '99-'12 | 221.980 | '80-'85 | 17.521 | '06-'10 | 155.080 | '89-'09 | 1.246.000 |
| 7 | '99-'06 | 48.238 | '70-'83 | -151.850 | '80-'97 | 16.175 | '01-'09 | 417.060 |



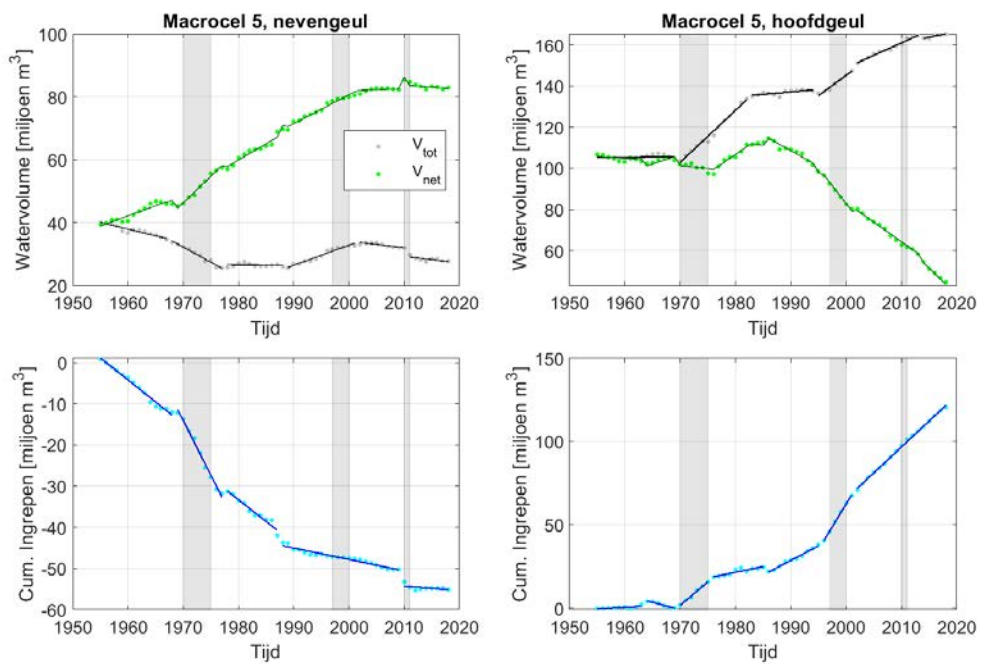
Figuur 2.12 Trendlijnen voor V_{tot} , V_{net} en cumulatieve ingrepen voor de nevengeul (links) en hoofdgeul (rechts) van macrocel 1.



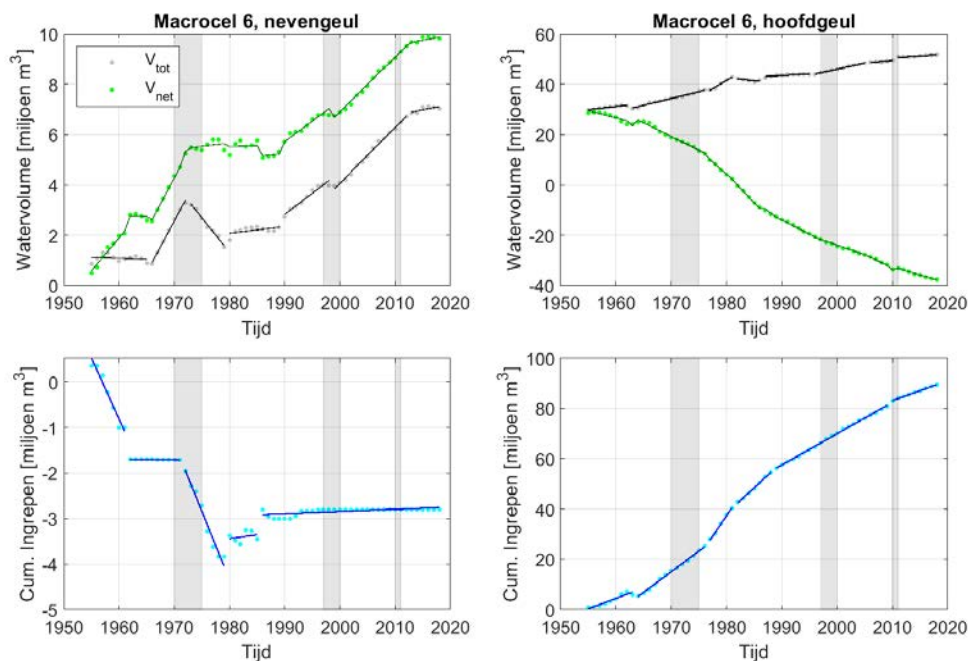
Figuur 2.13 Trendlijnen voor V_{tot} , V_{net} en cumulatieve ingrepen voor de nevengeul (links) en hoofdgeul (rechts) van macrocel 3.



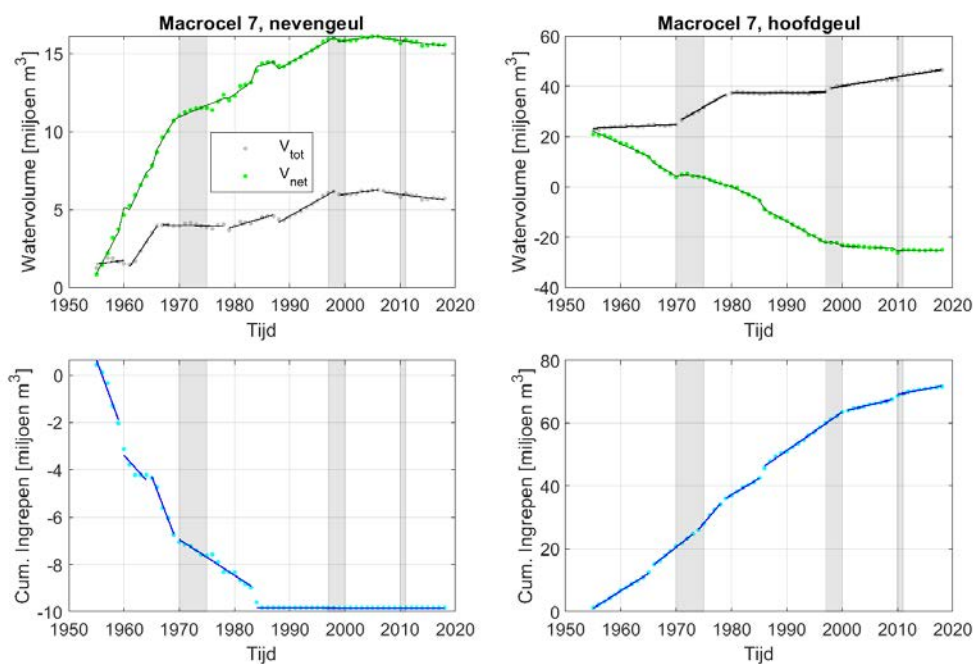
Figuur 2.14 Trendlijnen voor V_{tot} , V_{net} en cumulatieve ingrepen voor de nevengeul (links) en hoofdgeul (rechts) van macrocel 4.



Figuur 2.15 Trendlijnen voor V_{tot} , V_{net} en cumulatieve ingrepen voor de nevengeul (links) en hoofdgeul (rechts) van macrocel 5.



Figuur 2.16 Trendlijnen voor V_{tot} , V_{net} en cumulatieve ingrepen voor de nevengeul (links) en hoofdgeul (rechts) van macrocel 6.



Figuur 2.17 Trendlijnen voor V_{tot} , V_{net} en cumulatieve ingrepen voor de nevengeul (links) en hoofdgeul (rechts) van macrocel 7.

B Bruto sedimenttransporten & transportcapaciteit

B.1 Achtergrond

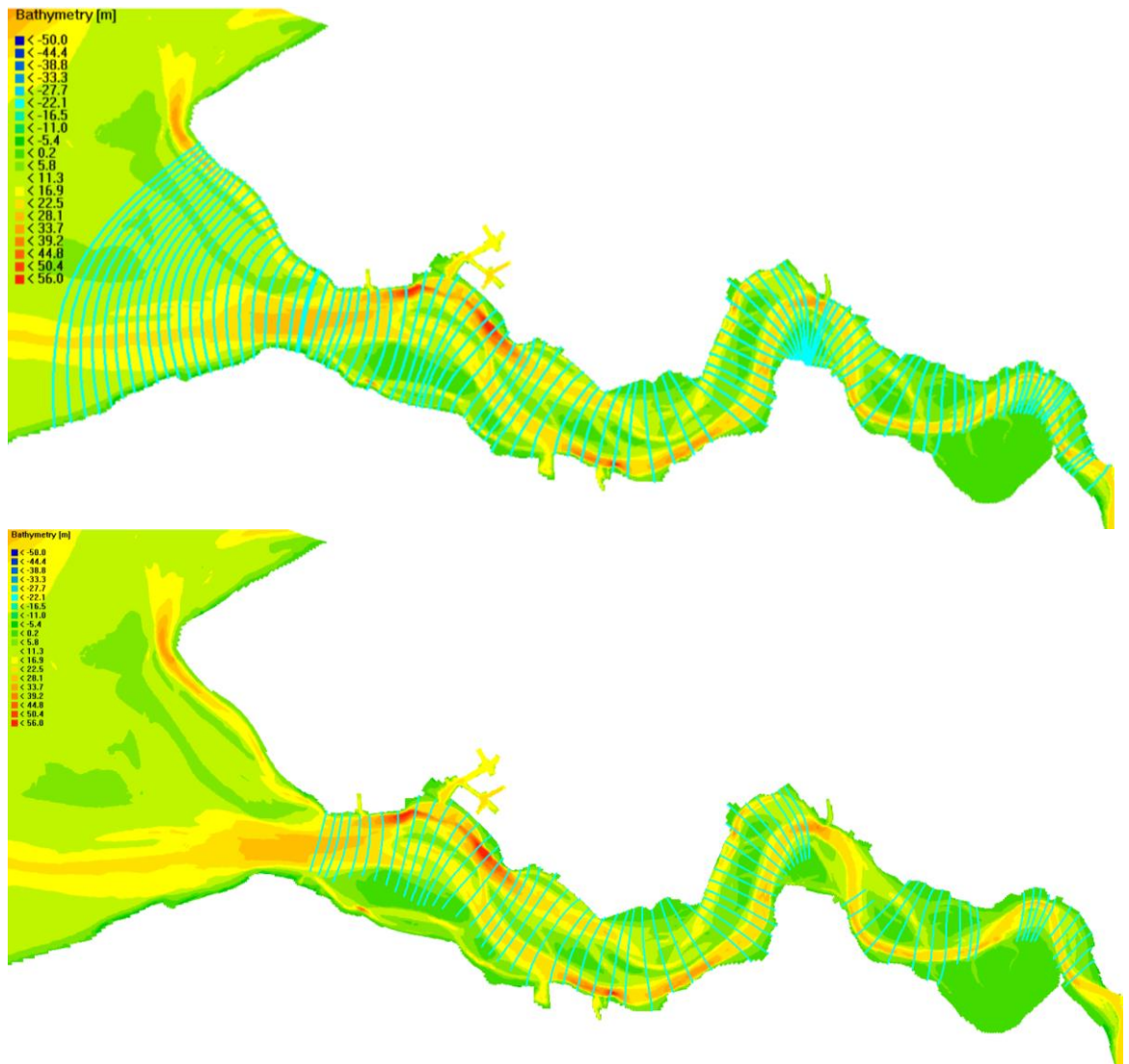
Voor het afleiding van de stortcapaciteit volgens de praktische richtlijn van Jeuken & Wang (2010), is de sedimenttransportcapaciteit T van de verschillende macrocellen een belangrijke invoer (zie Figuur 2.33). Een percentage daarvan (5 of 10%, afhankelijk van de geulontwikkelingen) vormt namelijk in de meeste gevallen de stortcapaciteit, die eventueel nog wordt vermeerderd of verminderd met de verandering van het watervolume of het volume van de ingrepen. Uitzondering hierop is het geval waarin de ontwikkeling van de nevengeul wordt gekwalificeerd als stabiel ('3'), dan speelt de transportcapaciteit T geen rol.

Volgens de oorspronkelijke stabiliteitsanalyse moet de transportcapaciteit horende bij de evenwichtstoestand worden gebruikt. Vanuit de theorie kan het stabiliteitsprobleem van het meergeulensysteem worden gezien als een splitsingspunt in een rivier, waarbij de transportcapaciteit die van de bovenstroomse, ongesplitste rivier betreft. Toegepaste op de Westerschelde betekent dit dat de transportcapaciteit in principe niet jaarlijks hoeft te worden aangepast (de waarde zou immers de waarde voor het systeem in evenwicht moeten zijn) en dat we de transportcapaciteit van de gehele macrocel gebruiken (niet van een individuele hoofd- of nevengeul). In de praktijk kan de evenwichtstransportcapaciteit niet worden bepaald omdat het systeem is nooit echt in evenwicht ($dT(x)=0$), maar in een dynamisch evenwicht.

In deze bijlage wordt de sedimenttransportcapaciteit voor verschillende jaren berekend en wordt de ruimtelijke variatie binnen de macrocel getoond middels de standaarddeviatie en minimale en maximale waarden binnen de macrocel als het verschil tussen hoofd- en nevengeul. Ook wordt de invloed van de korrelgrootte berekend. De resultaten van deze onzekerheden worden bij het expertoordeel over de initiële stortcapaciteit gebruikt. Voor een eenduidige berekening wordt in de basis gerekend met de sedimenttransportcapaciteit van de vorige vergunning (zoals ook gehanteerd in Jeuken et al. 2014).

B.2 Aanpak

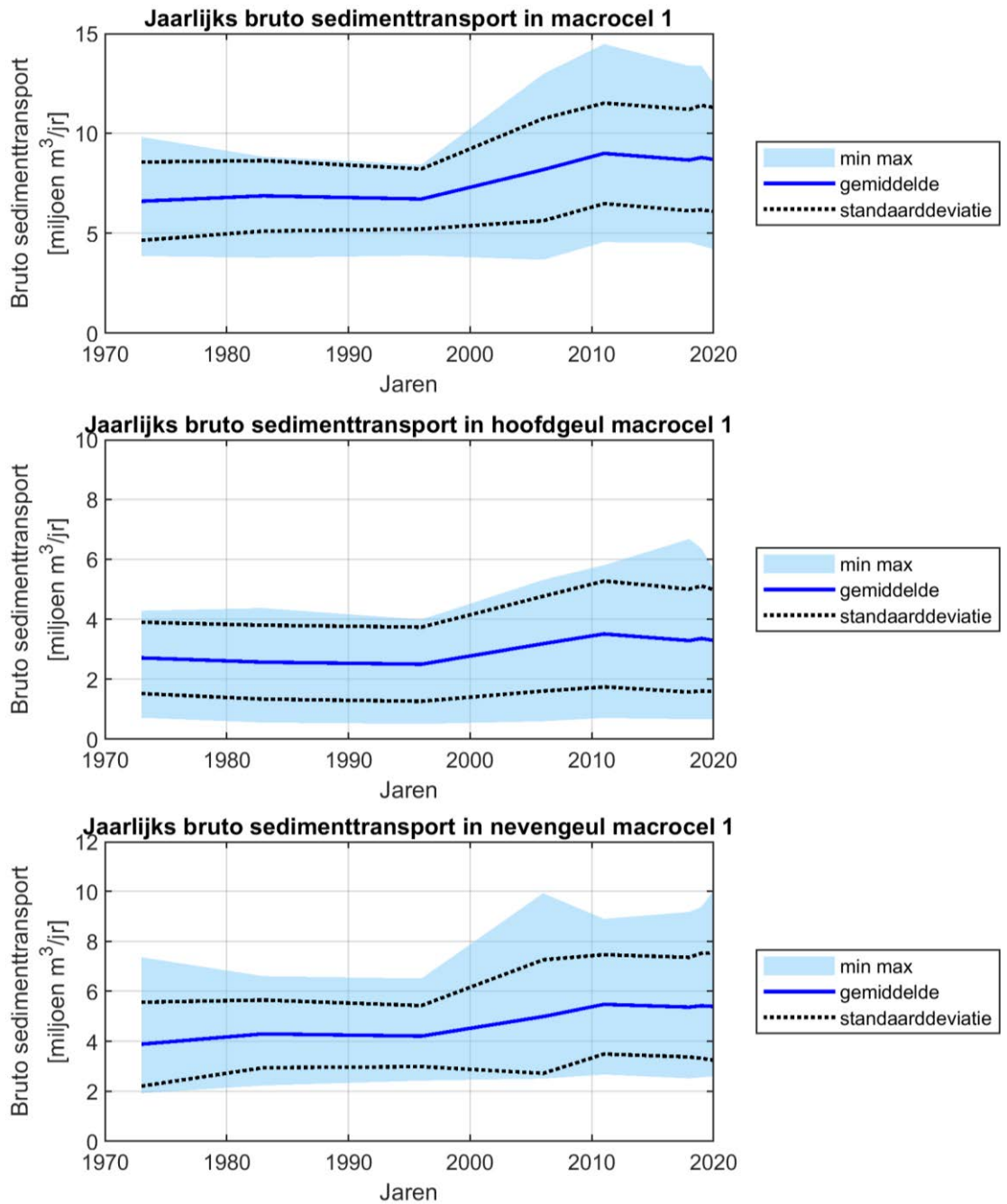
De toegepaste methodiek voor het berekenen van de bruto sedimenttransporten en sedimenttransportcapaciteiten in deze studie is grotendeels identiek met de methodiek die beschreven staat in de bijlagen E en J in Jeuken et al. (2014). Er wordt dus hetzelfde numerieke Delft3D model toegepast (het NeVla model waarvan de kalibratie en validatie is beschreven in Consortium Deltares-IMDC-Svašek-Arcadis, 2013) met dezelfde randvoorwaarden en parameterinstellingen. Het advies uit Jeuken et al. (2014) volgend zijn in deze studie alle transportberekeningen op basis van een springtij-doodtij cyclus uitgevoerd en met de transportformulering van Engelund-Hansen, zodat achteraf een correctie kan worden gemaakt voor de korrelgrootte. De enige aanpassingen ten opzichte van Jeuken et al. (2014) zijn de toepassing van ongelimiteerde sedimentbeschikbaarheid (dus niet het gebruik van harde lagen zoals gebruikelijk in het NeVla model) en het toevoegen van extra raaien (Figuur 2.18) De transportberekeningen zijn uitgevoerd voor de gemeten bodems in 1973, 1983, 1996, 2006, 2011, 2018, 2019 en 2020 (bron van de bathymetrische gegevens: RWS). De laatste drie jaren zijn nieuw ten opzichte van Jeuken et al. (2014).



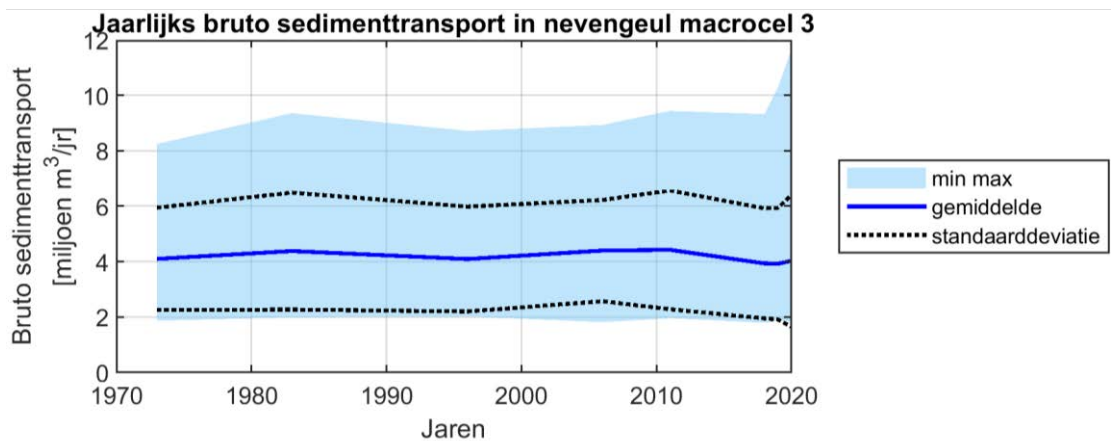
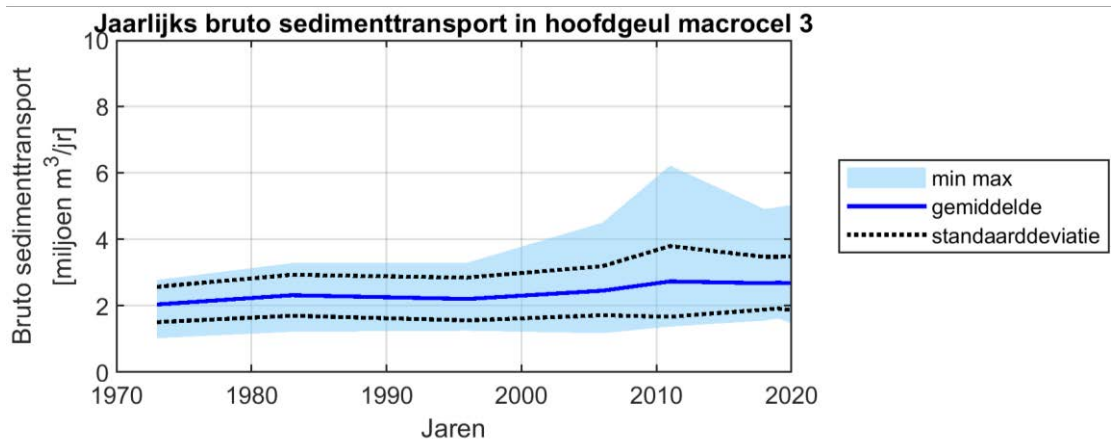
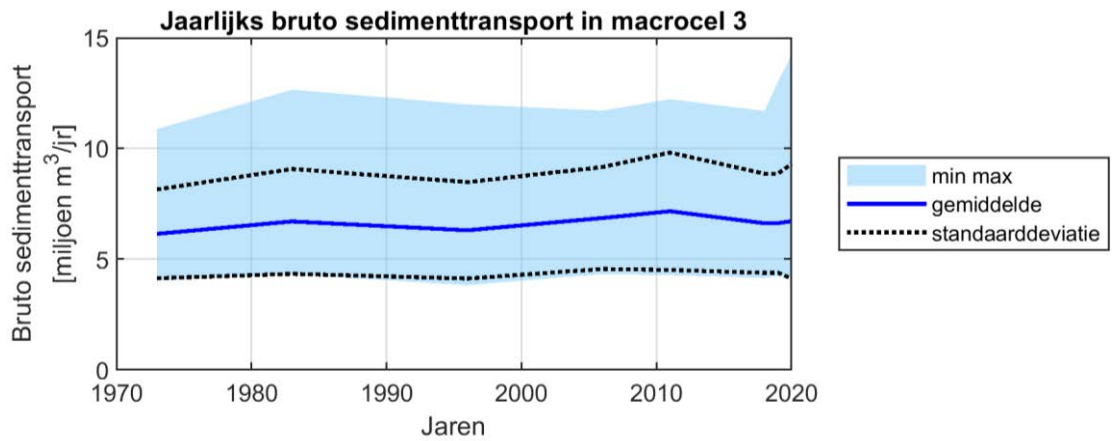
Figuur 2.18 Boven: alle raaien in het Delft3D model en 2020 modelbodem. Onder: raaien die gebruikt zijn voor het berekenen van de sedimenttransportcapaciteit per macrocel.

B.3 Resultaten

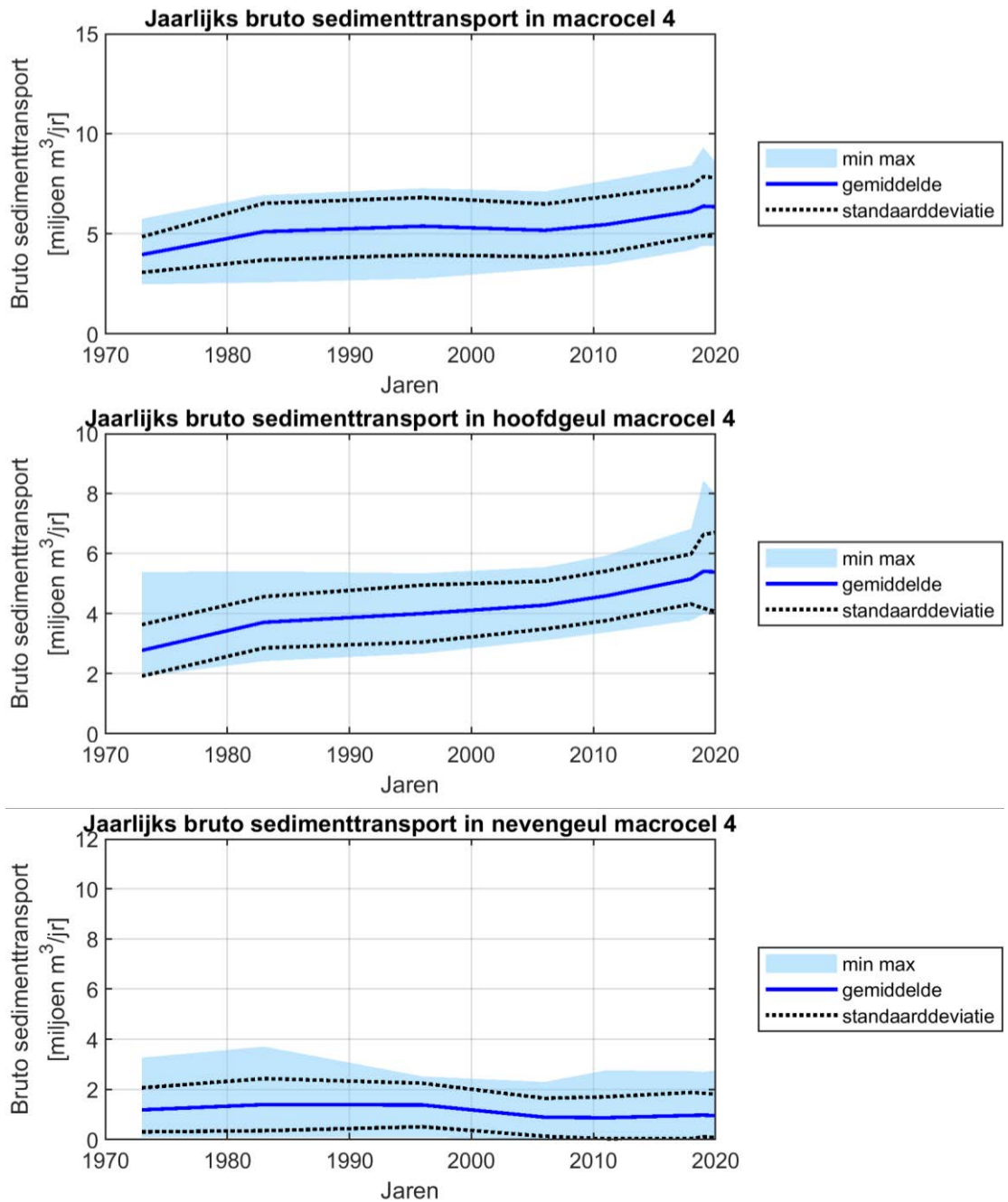
De bruto transporten laten voor de meeste macrocellen weinig variatie tussen de jaren zien (Figuur 2.19 t/m Figuur 2.24). De ruimtelijke variatie is groter, vooral in macrocel 1. Dit is verder gevisualiseerd in Figuur 2.25. Verder valt op dat in macrocel 5 de bruto transporten tussen 1996 en 2006 zijn gehalveerd en recentelijk zijn toegenomen. Nadere uitsplitsing toont aan dat deze vergroting van de bruto transporten vooral optreedt in de hoofdgeul. Dit betekent dat de stortcapaciteit in de nevengeul niet zomaar kan worden vergroot.



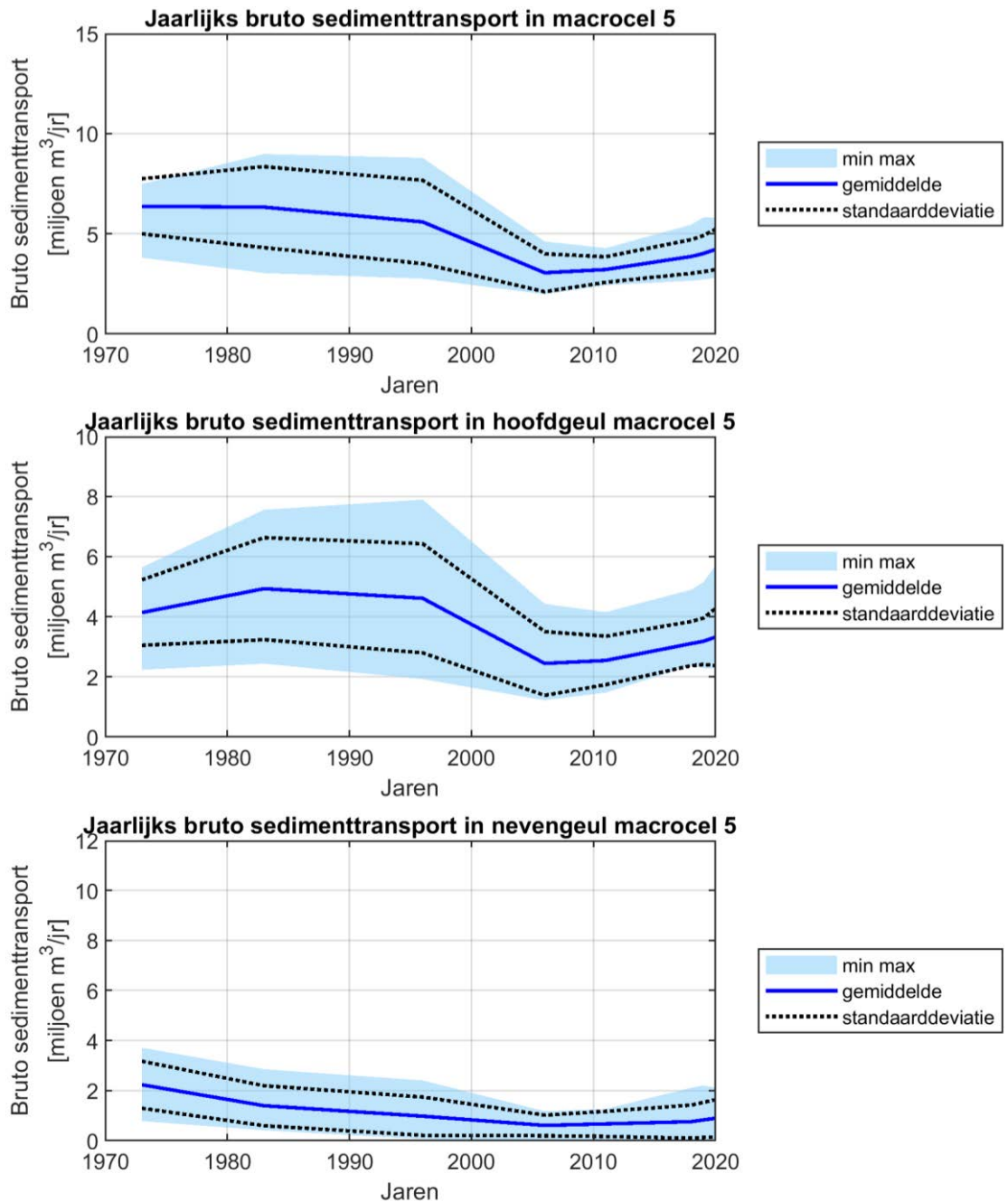
Figuur 2.19 Gemiddelde jaarlijkse bruto sedimenttransporten in macrocel 1 (boven), in de hoofdgeul (midden) en de nevengeul (onder) inclusief de minimum en maximum transporten per raai.



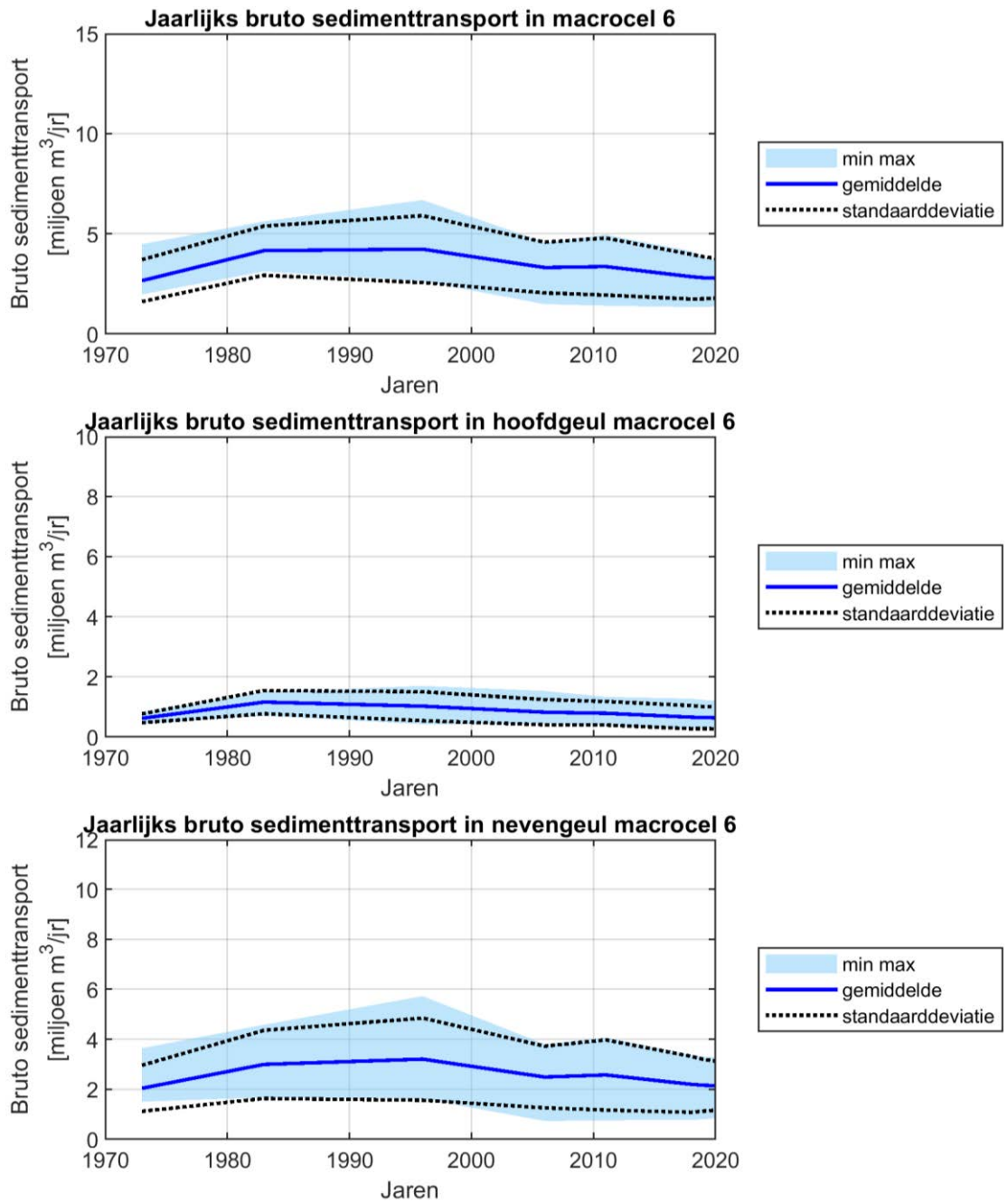
Figuur 2.20 Gemiddelde jaarlijkse bruto sedimenttransporten in macrocel 3 (boven), in de hoofdgeul (midden) en de nevengeul (onder) inclusief de minimum en maximum transporten per raai.



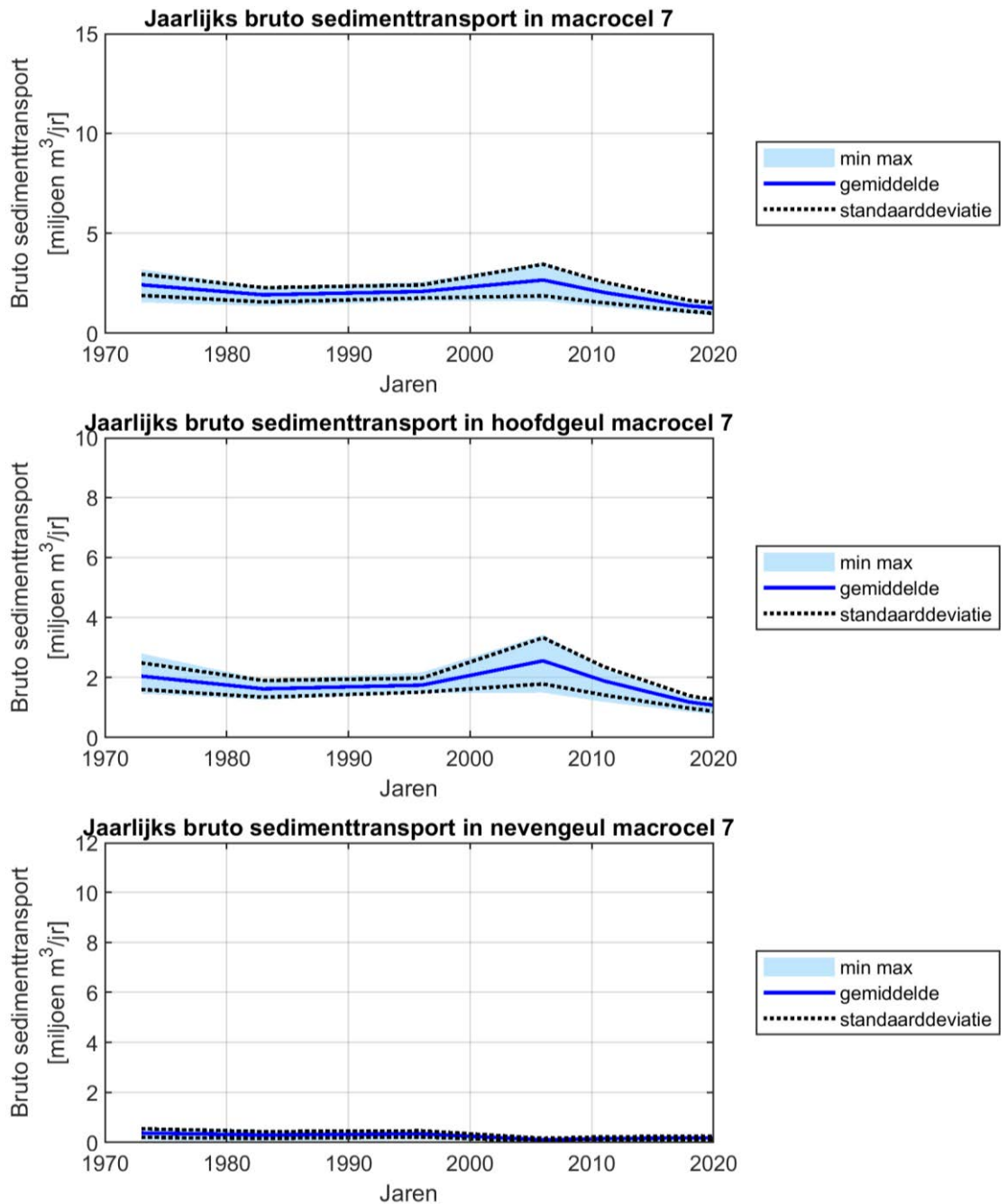
Figuur 2.21 Gemiddelde jaarlijkse bruto sedimenttransporten in macrocel 4 (boven), in de hoofdgeul (midden) en de nevengeul (onder) inclusief de minimum en maximum transporten per raai.



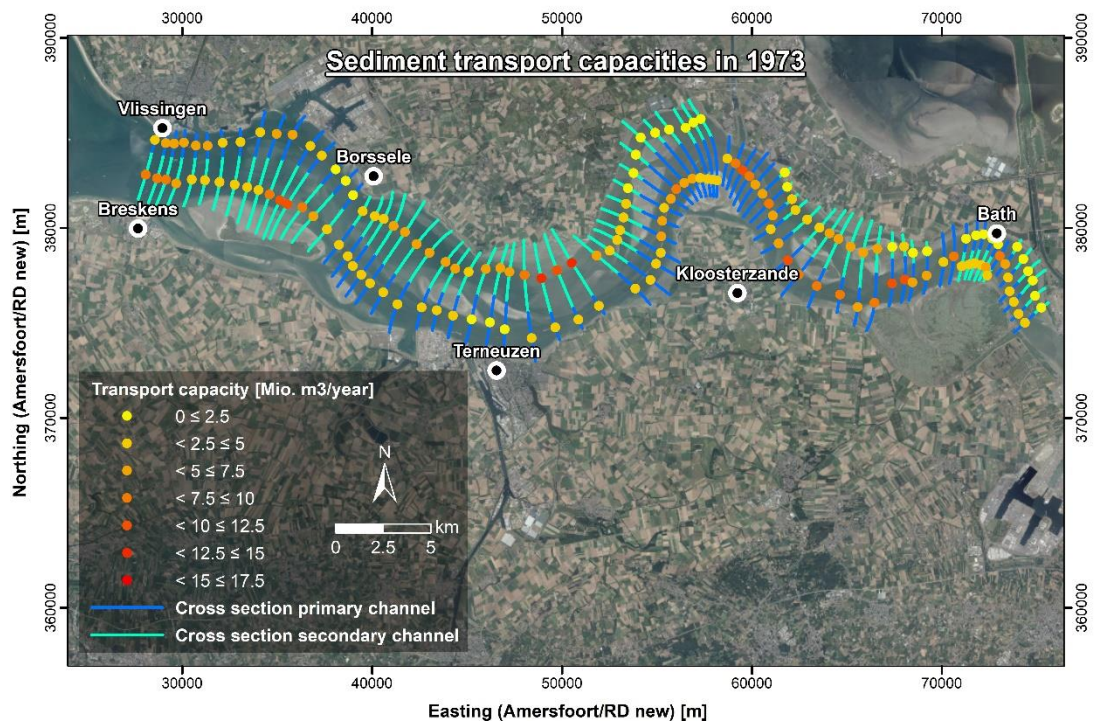
Figuur 2.22 Gemiddelde jaarlijkse bruto sedimenttransporten in macrocel 5 (boven), in de hoofdgeul (midden) en de nevengeul (onder) inclusief de minimum en maximum transporten per raai.



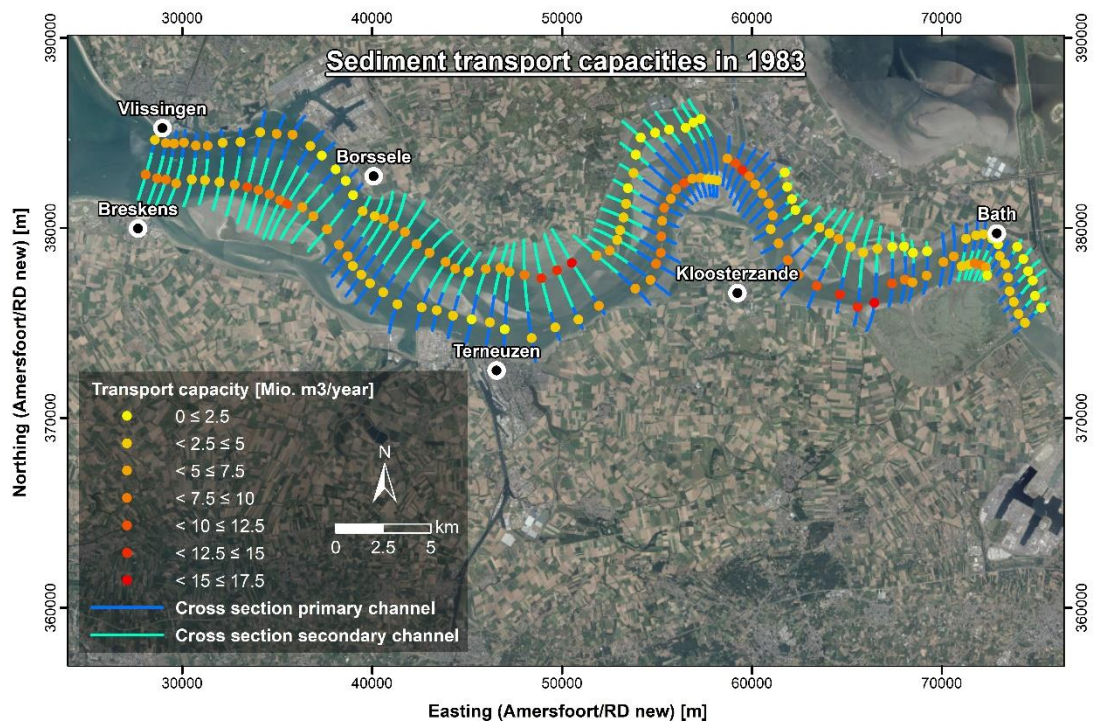
Figuur 2.23 Gemiddelde jaarlijkse bruto sedimenttransporten in macrocel 6 (boven), in de hoofdgeul (midden) en de nevengeul (onder) inclusief de minimum en maximum transporten per raai.



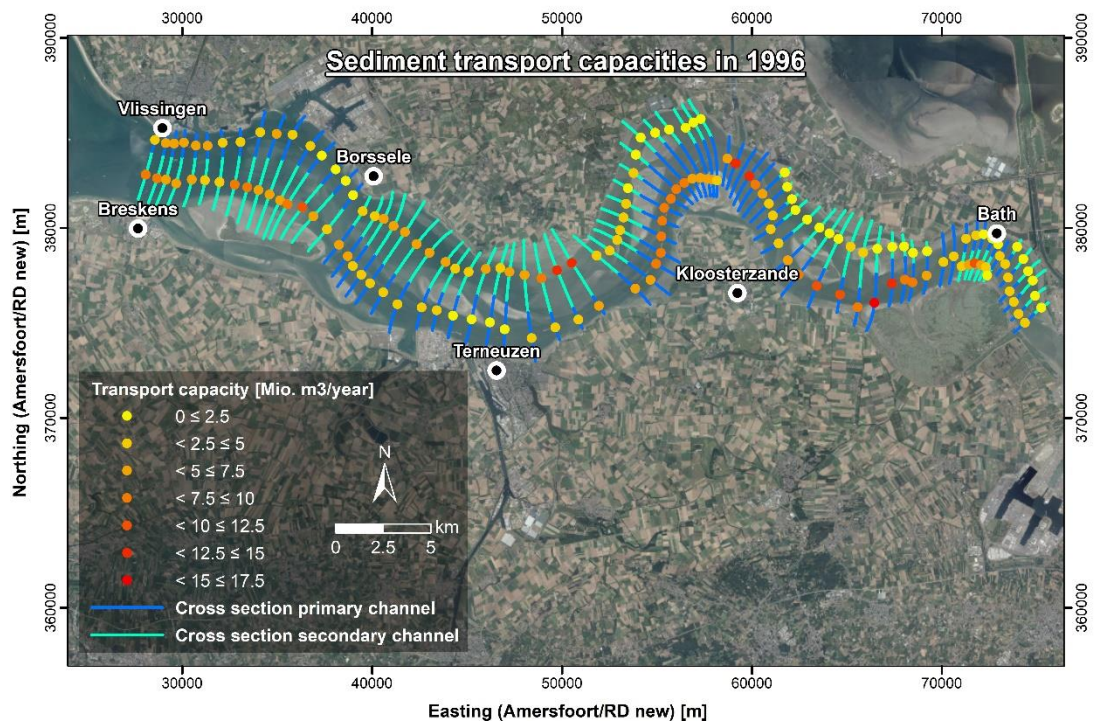
Figuur 2.24 Gemiddelde jaarlijkse bruto sedimenttransporten in macrocel 6: in de hoofdgeul (boven) en de nevengeul (onder) inclusief de minimum en maximum transporten per raai. Alleen data voor 2019 en 2020.



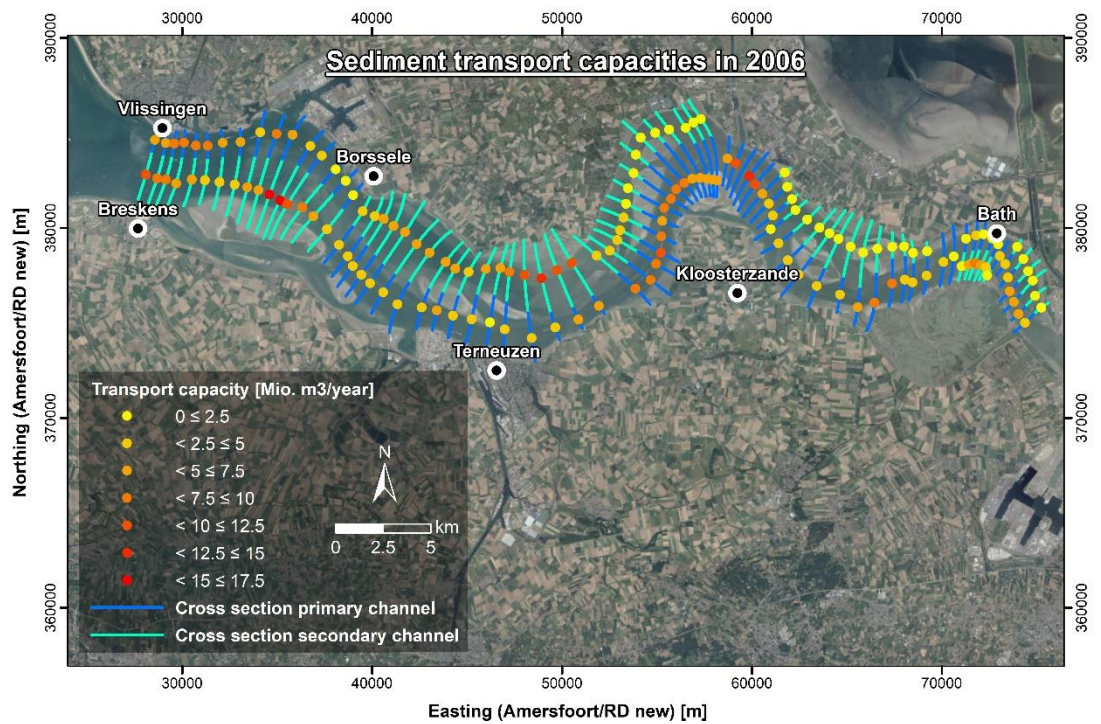
Figuur 2.25 Jaarlijkse bruto sedimenttransporten per raai op basis van de 1973 bodem.



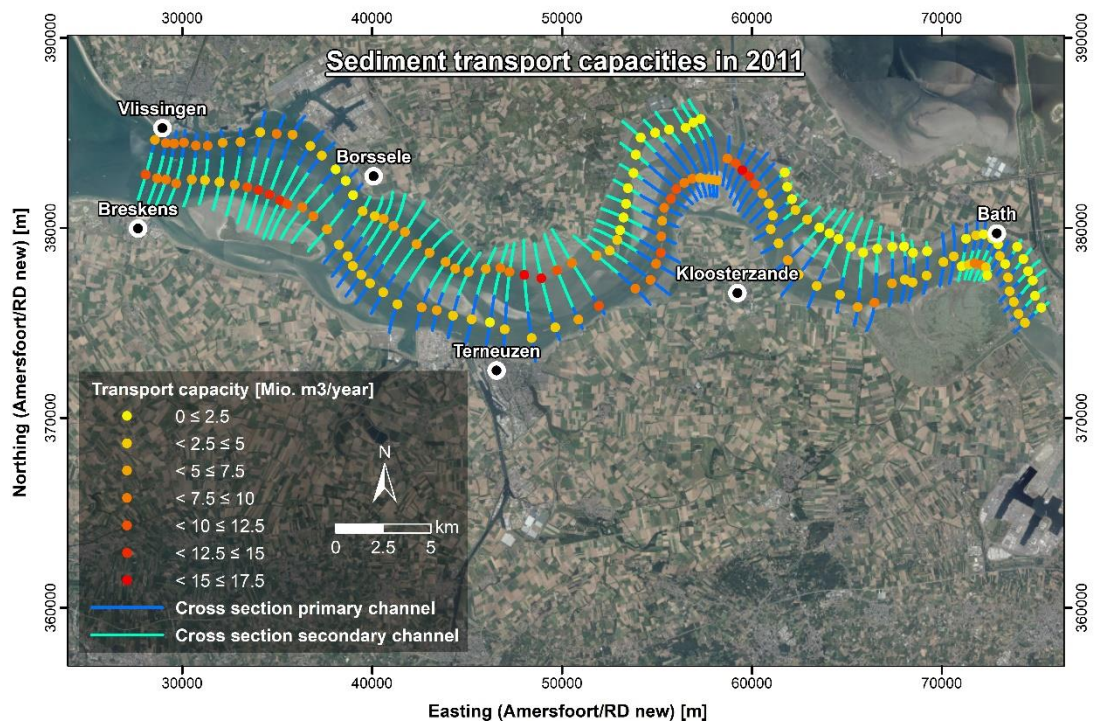
Figuur 2.26 Jaarlijkse bruto sedimenttransporten per raai op basis van de 1983 bodem.



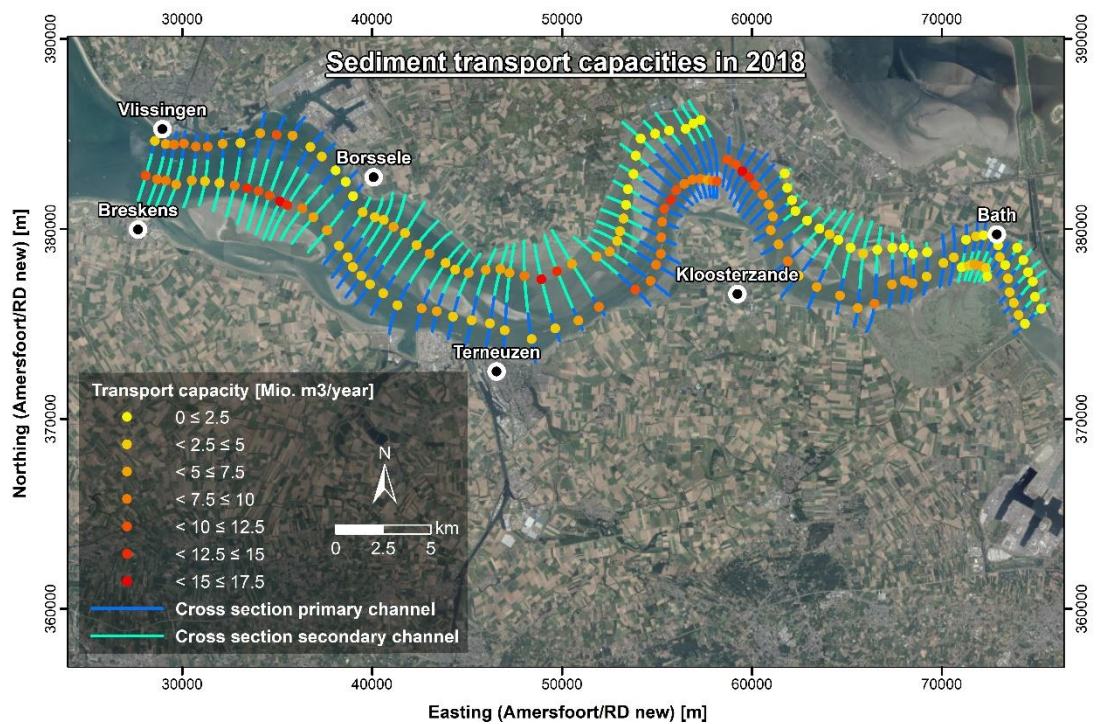
Figuur 2.27 Jaarlijkse bruto sedimenttransporten per raai op basis van de 1996 bodem.



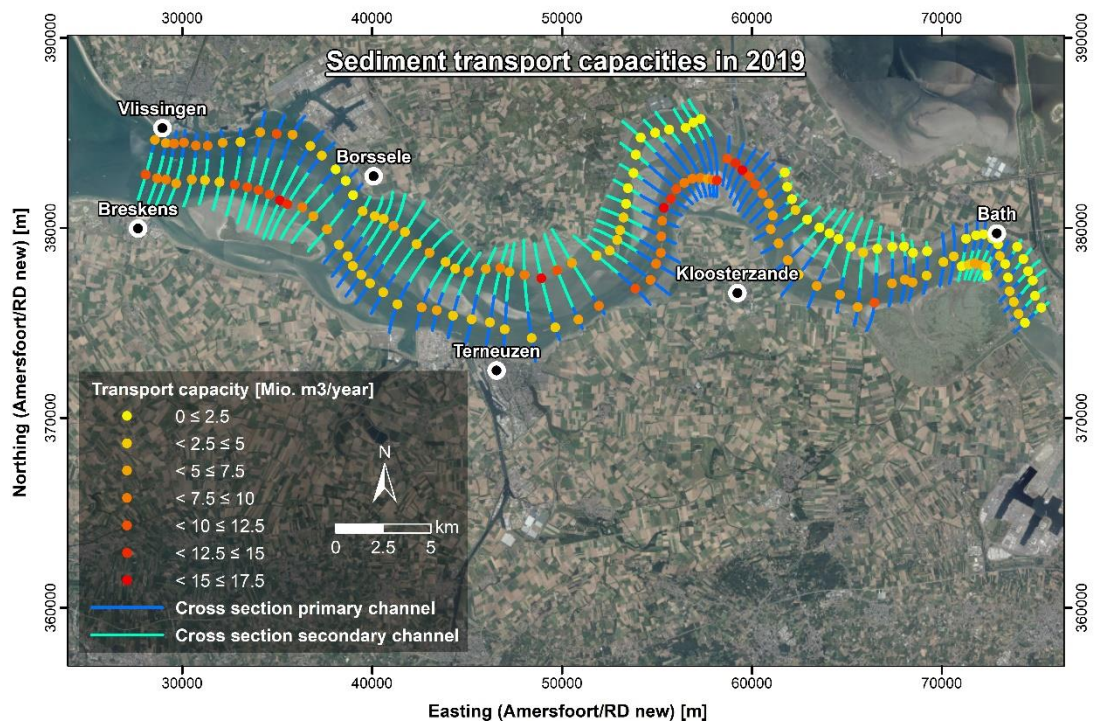
Figuur 2.28 Jaarlijkse bruto sedimenttransporten per raai op basis van de 2006 bodem.



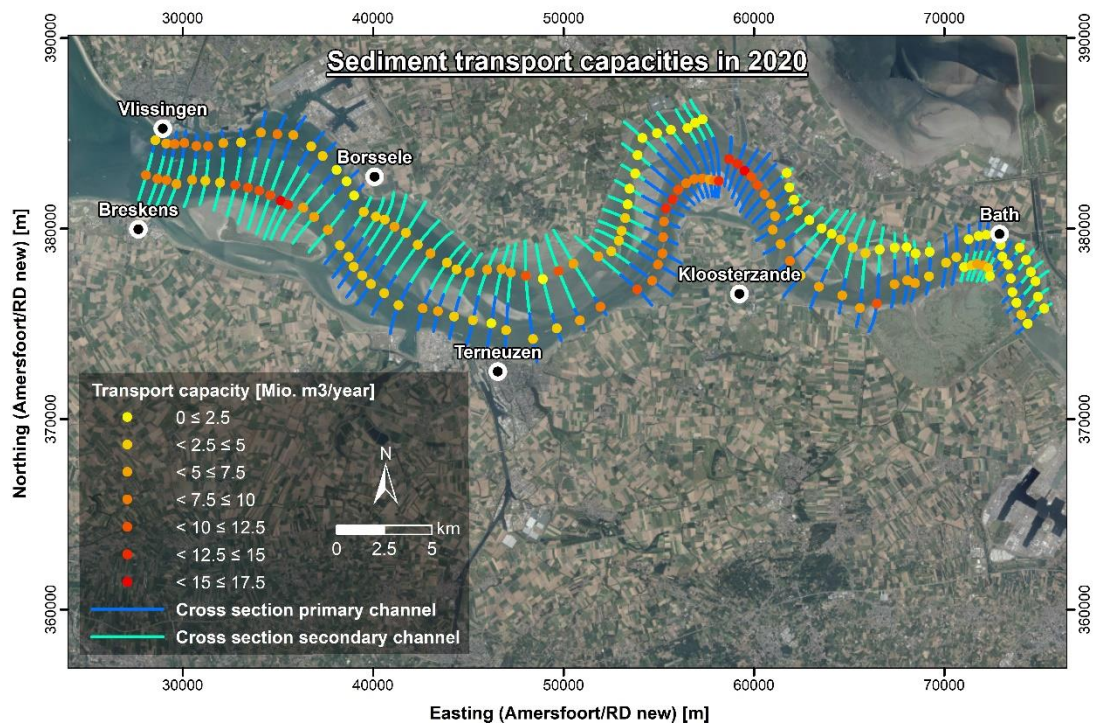
Figuur 2.29 Jaarlijkse bruto sedimenttransporten per raai op basis van de 2011 bodem.



Figuur 2.30 Jaarlijkse bruto sedimenttransporten per raai op basis van de 2018 bodem.



Figuur 2.31 Jaarlijkse bruto sedimenttransporten per raai op basis van de 2019 bodem.



Figuur 2.32 Jaarlijkse bruto sedimenttransporten per raai op basis van de 2020 bodem.

Figuur 2.25 t/m Figuur 2.32 geven kaarten van de Westerschelde met de transportcapaciteit per hoofd- en nevengeul weer voor de gemodelleerde jaren. Hier zijn duidelijk gebieden met grotere bruto transportcapaciteit te onderscheiden, zoals de Schaar van de Spijkerplaat in macrocel 1, het drempelgebied van de Everingen in macrocel 3, het Gat van Ossensisse in macrocel 4, de Put van Hansweert en het Zuidergat in macrocel 5. Boven de Platen van Ossensisse (t.n.v. Kloosterzande) is geen nevengeul aanwezig, waardoor de gekleurde bolletjes versprongen zijn.

B.4 Te gebruiken sedimenttransportcapaciteit

In voorgaande figuren zijn de bruto sedimenttransporten weergegeven. Deze worden omgerekend naar een sedimenttransportcapaciteit door te corrigeren voor de representatieve korrelgrootte in elke macrocel (d_{50} voor macrocellen 1, 3, 4, 5, 6 en 7 is resp. 200, 200, 180, 165, 165, 147.5 μm). Hiervoor zijn dezelfde korrelgroottes gehanteerd als in Jeuken et al. (2014). De formule voor de omrekening van bruto transporten naar de sedimenttransportcapaciteit luidt:

$$\text{Sedimenttransportcapaciteit} = \text{Bruto transporten} / (1-0,4) * (200/d_{50,mc}).$$

Hierbij wordt op de bruto transporten een correctie uitgevoerd voor de poriën (factor (1-0,4)) en een correctie voor de korrelgrootte (factor (200/ $d_{50,mc}$)). De modelberekening is uitgevoerd met een uniforme korrelgrootte van 200 μm .

Als sediment in de ene macrocel wordt gebaggerd en in een andere macrocel wordt gestort, moet eigenlijk de korrelgrootte van de cel waarin wordt gebaggerd gehanteerd. Dit onderscheid wordt hier niet gemaakt. Wel is er een berekening gemaakt met een bandbreedte in korrelgroottes ($d_{50,mc}$ in bovenstaande formule) om de onzekerheid hierin te kwantificeren. Hierbij is berekend wat het effect is als de korrelgrootte 25 μm fijner is. Dit is de helft van de korrelgroottespreiding tussen de macrocellen (i.e. 200 μm voor macrocel 1 en 147,5 μm voor macrocel 7).

De resultaten per macrocel en voor de hoofd- en nevengeul van elke macrocel staan in Tabel B.9. Bij het onderscheid tussen hoofd- en nevengeul is te zien dat in macrocellen 1 en 3 de transportcapaciteit van de nevengeulen groter is dan van de hoofdgeul. Dit is het gevolg van de grote sedimenttransportcapaciteit in de drempelgebieden, zoals ook blijkt uit de kaarten (Figuur 2.25 t/m Figuur 2.32). De hoofdgeulen van macrocel 4 en 5 hebben juist weer een grote transportcapaciteit, omdat de nevengeulen in deze macrocellen relatief klein zijn en ze geen drempelgebieden hebben met hoge transportcapaciteit. In macrocel 7 is eigenlijk geen echte nevengeul, en de transportcapaciteit is daar dan ook klein. In Tabel B.10 staat een overzicht van de gevoeligheden van de ruimtelijke en temporele variatie, en het effect van de korrelgrootte. Het toevoegen van de extra raaien en het verwijderen van harde lagen uit het model (ongelimiteerde sedimentbeschikbaarheid) leidt tot iets grotere transporten, behalve in macrocel 6. Als de standaarddeviatie wordt opgeteld bij het transport van 2006, volgt er een waarde uit die voor alle macrocellen groter is dan uit de jaarberekeningen volgt, behalve voor macrocel 5; met andere woorden door de standaarddeviatie mee te nemen in het stortadvies het effect van temporele variaties in de gemiddelde transportcapaciteit impliciet beschouwd/meegewogen. Ook het effect van 25 μm fijnere korrelgrootte valt binnen de standaarddeviatie. Daaruit concluderen we dat de standaarddeviatie een goede bandbreedte voor de onzekerheid in de sedimenttransportcapaciteit.

In overeenstemming met de conclusies in Jeuken et al. (2014) volgt uit de nieuwe berekeningen dat de verschillen tussen de raaien in het algemeen groter zijn dan tussen de jaren. De temporele veranderingen variëren van macrocel tot macrocel, wat aan geeft dat deze vooral samenhangen met lokale morfologische veranderingen (op macrocel- en geulniveau). De oude berekeningen zijn verder verfijnd door een groter aantal raaien te gebruiken en ongelimiteerde sedimentbeschikbaarheid voor te schrijven aan het numerieke model. Omdat de ruimtelijke verschillen groter zijn (zie minimale en maximale transporten en standaarddeviatie in onderstaande figuren) dan de temporele verschillen, is het niet nodig de getallen van de vorige vergunningaanvraag aan te passen.

Daarnaast zijn de resultaten voor 2006, zoals gehanteerd in Jeuken et al. (2014) gekalibreerd op morfologische ontwikkeling en baggervolumes. Daarmee zijn die getallen het meest betrouwbaar voor het doel van deze studie.

Indien de veranderingen in de transportcapaciteit worden meegenomen, zou dit resulteren in tegenstrijdige resultaten voor de stortcapaciteit. Dit wordt geïllustreerd aan de hand van twee voorbeelden:

1. In het westelijke deel, bijvoorbeeld in macrocel 1, is de berekende transportcapaciteit afgenomen sinds 2011 terwijl de morfologische ontwikkeling daar indicatie geeft dat er meer mag worden gestort, de nevengeul is immers geërodeerd en erodeert nog steeds.
2. In het oostelijk deel, bijvoorbeeld macrocel 5, is berekende transportcapaciteit juist toegenomen. Deze toename is vooral veroorzaakt door een toename van de transportcapaciteit in de hoofdgeul. In de nevengeul is de transportcapaciteit licht toegenomen. Maar het feit dat de transporten zijn toegenomen en de grote sedimentstortingen tijdens de derde verdieping nog niet zijn opgeruimd, is juist een teken dat er niet meer kan worden gestort.

De onzekerheden als gevolg van temporele en ruimtelijke verschillen kunnen verder gebruikt worden bij de expert judgement van de berekende stortcapaciteit en het adviseren over de stortruimte. De getallen uit de vorige vergunningaanvraag zijn weergegeven in Tabel B.8 en gebruikt voor de bepaling van de stortcapaciteit in bijlage C. Daarnaast is ook de meest recente sedimenttransportcapaciteit van de macrocellen (voor jaar 2020) en de standaarddeviatie gebruikt, om de gevoeligheid van de resultaten voor de onzekerheid in de sedimenttransportcapaciteit te onderzoeken.

Tabel B.8 Sedimenttransportcapaciteit per macrocel vorige vergunningaanvraag (Jeuken et al. 2014).

| Sedimenttransportcapaciteit [miljoen m ³ /j] | | | | | |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|
| Macrocel 1 | Macrocel 3 | Macrocel 4 | Macrocel 5 | Macrocel 6 | Macrocel 7 |
| 13,5 | 10,2 | 10,0 | 5,7 | 7,9 | 4,6 |

Tabel B.9 Sedimenttransportcapaciteit per macrocel, hoofdgeul en nevengeul op basis van de bodemliggingen in verschillende jaren.

| Sedimenttransportcapaciteit [miljoen m ³ /j] | | | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|
| Jaar | Macrocel 1 | Macrocel 3 | Macrocel 4 | Macrocel 5 | Macrocel 6 | Macrocel 7 |
| 1973 | 11,0 | 10,2 | 7,3 | 12,9 | 5,4 | 5,5 |
| 1983 | 11,4 | 11,2 | 9,4 | 12,8 | 8,4 | 4,3 |
| 1996 | 11,2 | 10,5 | 10,0 | 11,3 | 8,5 | 4,7 |
| 2006 | 13,6 | 11,4 | 9,6 | 6,2 | 6,7 | 6,0 |
| 2011 | 15,0 | 11,9 | 10,1 | 6,5 | 6,8 | 4,6 |
| 2018 | 14,4 | 11,0 | 11,3 | 7,8 | 5,8 | 3,1 |
| 2019 | 14,6 | 11,0 | 11,8 | 8,1 | 5,7 | 3,0 |
| 2020 | 14,5 | 11,2 | 11,7 | 8,5 | 5,6 | 2,9 |

| Sedimenttransportcapaciteit [miljoen m ³ /j] | | | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Jaar | Hoofdgeul 1 | Hoofdgeul 3 | Hoofdgeul 4 | Hoofdgeul 5 | Hoofdgeul 6 | Hoofdgeul 7 |
| 1973 | 4,5 | 3,4 | 5,1 | 8,4 | 1,2 | 4,6 |
| 1983 | 4,3 | 3,9 | 6,9 | 10,0 | 2,3 | 3,7 |
| 1996 | 4,2 | 3,7 | 7,4 | 9,3 | 2,1 | 3,9 |
| 2006 | 5,3 | 4,1 | 7,9 | 4,9 | 1,7 | 5,8 |
| 2011 | 5,8 | 4,5 | 8,5 | 5,1 | 1,6 | 4,3 |
| 2018 | 5,5 | 4,5 | 9,5 | 6,3 | 1,3 | 2,7 |
| 2019 | 5,6 | 4,5 | 10,0 | 6,4 | 1,3 | 2,5 |
| 2020 | 5,5 | 4,5 | 10,0 | 6,7 | 1,3 | 2,4 |

| Sedimenttransportcapaciteit [miljoen m ³ /j] | | | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Jaar | Nevengeul 1 | Nevengeul 3 | Nevengeul 4 | Nevengeul 5 | Nevengeul 6 | Nevengeul 7 |
| 1973 | 6,5 | 6,8 | 2,2 | 4,5 | 4,1 | 0,8 |
| 1983 | 7,2 | 7,3 | 2,6 | 2,8 | 6,1 | 0,7 |
| 1996 | 7,0 | 6,8 | 2,6 | 2,0 | 6,5 | 0,8 |
| 2006 | 8,3 | 7,3 | 1,7 | 1,2 | 5,0 | 0,2 |
| 2011 | 9,1 | 7,4 | 1,6 | 1,4 | 5,2 | 0,3 |
| 2018 | 8,9 | 6,6 | 1,8 | 1,5 | 4,4 | 0,4 |
| 2019 | 9,0 | 6,5 | 1,8 | 1,7 | 4,4 | 0,4 |
| 2020 | 9,0 | 6,7 | 1,8 | 1,8 | 4,3 | 0,4 |

Tabel B.10 Sedimenttransportcapaciteit per macrocel van verschillende berekeningen om de gevoeligheid aan te geven.

| | Sedimenttransportcapaciteit [miljoen m ³ /j] | | | | | |
|---|---|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Macrocel 1 | Macrocel 3 | Macrocel 4 | Macrocel 5 | Macrocel 6 | Macrocel 7 |
| Waarde Tabel B.8 (bodem 2006) | 13,5 | 10,2 | 10,0 | 5,7 | 7,9 | 4,6 |
| T2020 | 14,5 | 11,2 | 11,7 | 8,5 | 5,6 | 2,9 |
| T in jaar met het grootste transport | 15 | 11,9 | 11,8 | 12,9 | 8,5 | 6,0 |
| T2006 | 13,6 | 11,4 | 9,6 | 6,2 | 6,7 | 6,0 |
| T2006 + 1 std | 17,9 | 15,2 | 12,0 | 8,1 | 9,2 | 7,8 |
| 1 std (T2006) | 4,3 | 3,8 | 2,4 | 1,9 | 2,6 | 1,8 |
| T2006 + d₅₀-25 µm | 15,6 | 13,0 | 11,1 | 7,3 | 7,9 | 7,2 |
| T2006 met oude raaien | 14,0 | 10,6 | 9,6 | 5,5 | 8,0 | 4,3 |

C Bepaling theoretische stortcapaciteit

Om de stortcapaciteit van de nevengeul af te leiden, moet eerst de ontwikkeling van de watervolumes in samenhang met de ingrepen worden gekwalificeerd voor zowel de hoofdgeul als de nevengeul. Vervolgens wordt op basis van de kwalificatie en de ingrepen en morfologische ontwikkeling een formule gekozen voor het bepalen van de theoretische stortcapaciteit.

C.1 Kwalificatie geulontwikkeling

Op basis van de ontwikkeling van de totale watervolumes (V_{tot}) en de gecorrigeerde watervolumes (V_{net}), kan een kwalificatie van de geulontwikkeling worden afgeleid (Tabel C.11). In Tabel C.11 staat 0 genoemd, die moet worden gelezen als 'kleiner dan de grenswaarde voor evenwicht', zie Tabel C.12.

Tabel C.11 Kwalificatie van geuldelen o.b.v. trends in V_{tot} en V_{net} .

| Verandering V_{tot} | Verandering V_{net} | Kwalificatie | Uitleg |
|-----------------------|-----------------------|--------------|--|
| 0 | $\neq 0$ | 3 | Stabiel ondanks/dankzij ingrepen |
| 0 | 0 | 0 | Evenwicht, geen ingrepen |
| <0 (sedimentatie) | ≥ 0 | -2 | Sedimentatie (mede) gestuurd door storten |
| <0 (sedimentatie) | <0 | -1 | Natuurlijke tendens tot sedimentatie, versterkt/verzwakt door ingrepen |
| >0 (erosie) | ≤ 0 | 2 | Erosie (mede) gestuurd door baggeren |
| >0 (erosie) | >0 | 1 | Natuurlijke tendens tot erosie, versterkt/verzwakt door ingrepen |

C.1.1 Nieuwe grens voor evenwicht

De grens voor evenwicht was in Jeuken et al. (2014) en voorgaande studies vastgesteld op een watervolume van 100.000 m³ voor alle geuldelen, ongeacht de grootte. Het is echter logischer die grootte wel te verdisconteren in de grens voor het evenwicht. De geoptimaliseerde methode die is toegepast stelt dat een trend 'evenwicht/stabiel' is als de gemiddelde diepteverandering van de geul over de trend periode kleiner of gelijk is aan 0.1 m (de nauwkeurigheid van de vaklodingen) is. Dit betekent dat een korte trendperiode vereist dat een grotere volumeverandering geobserveerd wordt om tot kwalificatie erosie-of sedimentatie te komen. Omgekeerd kan een langzame maar langdurige waargenomen volumeverandering hierdoor juist sneller tot kwalificatie erosie of sedimentatie leiden. Er wordt gekeken naar het oppervlak onder de NAP -5 m. Omdat de lengte van de trendperiode wordt meegenomen, is de statistische analyse van de trends en de instellingen hoe die bepaald worden (bijlage A.2) ook hier van belang.

De evenwichtsgrens wordt dus bepaald door:

- de gekozen verticale bodemverandering (in dit geval 10 cm)
- de oppervlakte van de geul onder NAP -5 m⁷
- de lengte van de trendperiode
 - de instellingen die worden gebruikt om de trendperiodes te bepalen
 - de hoeveelheid data die beschikbaar is op het moment van de analyse (in dit geval tot 1-1-2018).

Als er vaak trendbreuken optreden, zullen trends eerder tot stabiel/evenwicht worden gerekend omdat de grens voor evenwicht dan hoger ligt. Dit is te begrijpen, omdat veel wisselingen op de langere termijn weer een stabiel beeld geven ('zigzag'). Tabel C.12 geeft de grenzen voor evenwicht voor de laatste trendperiode. Het valt op dat de grenzen voor macrocel 3 erg hoog zijn. Dit komt door de grote oppervlakte van de macrocel en de relatief korte duur van de laatste trendperiode.

Tabel C.12 Grens voor evenwicht voor de laatste trendperiode per macrocel o.b.v. 10 cm verandering maal de oppervlakte gedeeld door de lengte van de trendperiode.

| Macrocel | Grens voor evenwicht als volumeverandering in m ³ /j | | | |
|----------|---|-----------------|------------------------------|-----------------|
| | Nevengeul | | Hoofdgeul | |
| | Lengte trendperiode in jaren | Evenwichtsgrens | Lengte trendperiode in jaren | Evenwichtsgrens |
| 1 | 8 | 236.405 | 19 | 96.026 |
| 3 | 5 | 545.763 | 7 | 379.001 |
| 4 | 6 | 240.105 | 7 | 203.667 |
| 5 | 8 | 89.207 | 5 | 357.828 |
| 6 | 6 | 27.929 | 8 | 60.138 |
| 7 | 12 | 22.624 | 21 | 19.996 |

C.1.2 Resultaat per geul

Op basis van de nieuwe grenzen voor evenwicht (Tabel C.12) en de volumeveranderingen tijdens de laatste trendperiode (Tabel C.13) kan per geuldeel een kwalificatie worden gegeven van de morfologische ontwikkeling. De kwalificaties zijn weergegeven in Tabel C.14.

Met het oude criterium voor evenwicht (100.000 m³/j voor alle geulen) zouden alleen de watervolumes V_{tot} van nevengeulen van macrocel 6 en 7 gekwalificeerd worden als 0. Met het nieuwe criterium worden deze niet meer als 0 gekwalificeerd. De hoofdgeul van macrocel 4 daarentegen, wordt volgens het oude criterium niet, maar volgens het nieuwe criterium wel als 0 gekwalificeerd.

Ook zijn er veranderingen in kwalificatie die het gevolg zijn van veranderingen in V_{tot} en/of V_{net} , dus morfologische veranderingen of veranderingen in het volume van ingrepen. Het betreft de ontwikkelingen in de hoofd- en nevengeul van macrocel 1 en 3, en de nevengeul van macrocel 5. Voor de hoofdgeul van macrocel 1 komt dit doordat de ingrepen zijn tegenomen, waardoor de verandering in V_{net} groter is geworden.

⁷ De oppervlaktes van de geuldelen zijn beschikbaar tot 2009. Voor de periode na 2009 is de oppervlakte van 2009 gebruikt.

Voor de nevengeul van macrocel 1 verandert de kwalificatie omdat de nevengeul erodeert (verandering in V_{tot} is positief) terwijl deze eerder sedimenteerde. In de hoofdgeul van macrocel 3 is de verandering in V_{tot} omgeslagen van toename naar afname met een andere kwalificatie tot gevolg. In de nevengeul nam het watervolume V_{tot} eerst toe en nu af. De volumeverandering van V_{net} in de nevengeul van macrocel 3 is kleiner dan de evenwichtsgrens (kwalificatie $V_{net}=0$). Daarmee zit de kwalificatie van de nevengeul eigenlijk tussen -2 en -1 in. De nevengeul van macrocel 5 verandert van kwalificatie omdat de verandering in V_{net} groter is geworden. Deze is nu net groter dan de grens voor evenwicht.

De kwalificaties van de geulen geven aan dat alle hoofdgeulen uitruimen, mede gestuurd door baggeren, met uitzondering van de hoofdgeul van macrocel 4, die stabiel is ondanks/dankzij ingrepen. De nevengeulen sedimenteren voornamelijk, en dit natuurlijke gedrag wordt versterkt door stortingen. Uitzonderingen hierop zijn de nevengeulen van macrocel 1 en 6, die een erosieve trend laten zien. In macrocel 1 wordt deze trend verzwakt door stortingen.

Tabel C.13 Lengte van de meest recente trendperiode en trend in [m^3/j] van het watervolume V_{tot} van de hoofd- en nevengeul en van het gecorrigeerde volume voor ingrepen V_{net} voor de nevengeul en de hoofdgeul. Volumeveranderingen die kleiner zijn dan de grens voor evenwicht zijn cursief gedrukt.

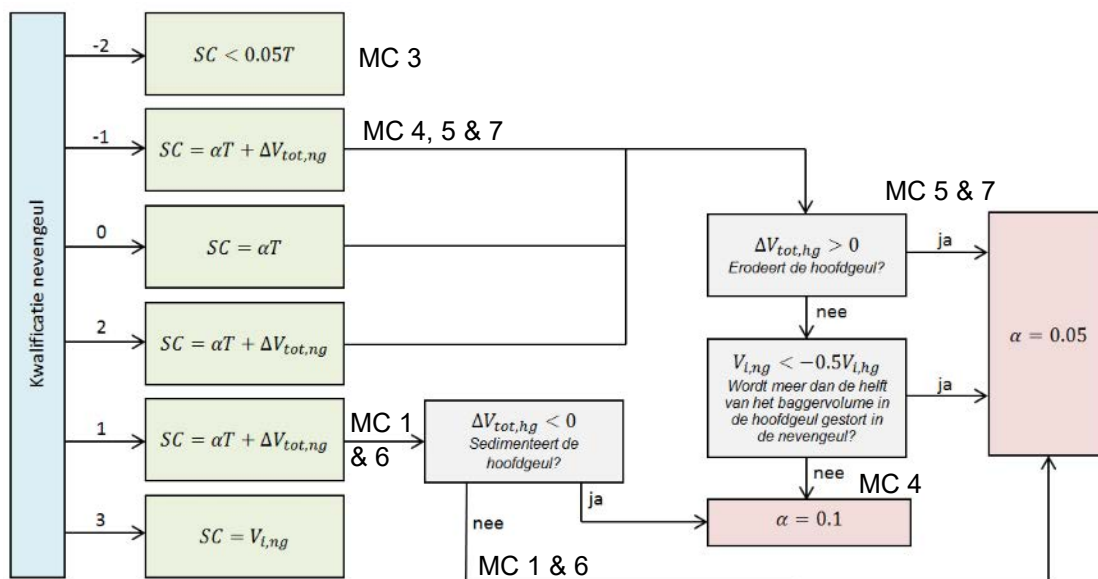
| MC | Nevengeul | | | Hoofdgeul | | |
|----|------------------------------|-----------------|-----------------|------------------------------|-----------------|-----------------|
| | Lengte trendperiode in jaren | Trend V_{tot} | Trend V_{net} | Lengte trendperiode in jaren | Trend V_{tot} | Trend V_{net} |
| 1 | 8 | 423.720 | 1.785.520 | 19 | 215.780 | -257.610 |
| 3 | 5 | -992.180 | 47.620 | 7 | 396.110 | -1.456.290 |
| 4 | 6 | -526.960 | -424.050 | 7 | 163.840 | 2.907.140 |
| 5 | 8 | -208.820 | -105.890 | 5 | 518.710 | -2.591.590 |
| 6 | 6 | 43.832 | 38.784 | 8 | 142.970 | -653.900 |
| 7 | 12 | -44.524 | -43.264 | 21 | 363.160 | 16.940 |

Tabel C.14 Kwalificatie per geul

| MC | NG/HG | Beoordeling voor 2009 met grens = 100.000 m^3 | Beoordeling voor 2018 met grens = 100.000 m^3 | Beoordeling voor 2018 (laatste trendperiode) |
|----|-------|---|---|--|
| 1 | NG | -2 | 1 | 1 |
| 1 | HG | 1 | 2 | 2 |
| 3 | NG | 1 | -2 | -2 |
| 3 | HG | -1 | 2 | 2 |
| 4 | NG | -1 | -1 | -1 |
| 4 | HG | 1 | 1 | 3 |
| 5 | NG | -2 | -1 | -1 |
| 5 | HG | 2 | 2 | 2 |
| 6 | NG | 1 | 0 | 1 |
| 6 | HG | 2 | 2 | 2 |
| 7 | NG | 0 | 0 | -1 |
| 7 | HG | 2 | 2 | 2 |

C.2 Nevengeul

De theorie voor de stortcapaciteit is uitgewerkt in een stroomschema voor de afleiding van de stortcapaciteit (Figuur 2.33). De kwalificaties van de meest recente geulontwikkeling voor de nevengeulen is hier toegevoegd aan het stroomschema. Dit leidt tot de formules en stortcapaciteit zoals ook opgenomen in Tabel C.15, waarbij eveneens een vergelijking is gemaakt met welke formule voor de vorige trendperiode is gehanteerd.



Figuur 2.33 Stroomschema voor afleiding van de stortcapaciteit (SC) van de nevengeul. Een stortcapaciteit afleiden voor een nevengeul met kwalificatie 2 (uitruiming als gevolg van baggeren) is een hypothetisch geval. $\Delta V_{tot,ng}$ is de verandering van het watervolume van de nevengeul in de laatste trendperiode (zie Tabel A.6) en kan zowel positief als negatief zijn. T is de transportcapaciteit (zie bijlage B).

Tabel C.15 Gehanteerde formules voor bepaling van de stortcapaciteit van de nevengeulen voor de voorgaande trendperiode ('oud') en de meest recente trend ('nieuw').

| Macrocel | Formule voorgaande trend | Formule huidige trend, nieuwe evenwichtsgrens | αT | $\Delta V_{tot,ng}$ | Stortcapaciteit o.b.v. theorie |
|---------------|----------------------------|---|------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| 1 | $SC < 0,05T$ | $SC = 0,05T + dV_{tot,ng}$ | 675.000 | 423.720 | 1.098.720 |
| 3 | $SC = 0,1T + dV_{tot,ng}$ | $SC < 0,05T$ | 510.000 | n.v.t. | 510.000 |
| 4 | $SC = 0,05T + dV_{tot,ng}$ | $SC = 0,1T + dV_{tot,ng}$ | 1.000.000 | oud: -3.377.400, nieuw: -526.960 | 473.040 |
| 5 | $SC < 0,05T$ | $SC = 0,05T + dV_{tot,ng}$ | 285.000 | -208.820 | 76.180 |
| 6 | $SC = 0,05T + dV_{tot,ng}$ | $SC = 0,05T + dV_{tot,ng}$ | 395.000 | oud: 221.980, nieuw: 43.832 | 438.832 |
| 7 | $SC = 0,05T$ | $SC = 0,05T + dV_{tot,ng}$ | 230.000 | Nieuw: -44.524 | 185.476 |
| Totaal | | | | | 2.782.248 |

In paragraaf C.4 staan de tijdreeksen van de kwalificatie, watervolumes, ingrepen en stortcapaciteit van neven- en hoofdgeulen bij elkaar.

De stortcapaciteit is als gevolg van de recente morfologische ontwikkeling in de nevengeul van macrocel 1 groter geworden. Er is in de laatste trendperiode meer gestort dan de stortcapaciteit, desalniettemin treedt er erosie op. Dit kan een aanwijzing zijn om de stortcapaciteit op basis van de theoretische richtlijn met expert judgement op te hogen, indien de morfologische ontwikkelingen in de macrocel in relatie tot de ingrepen worden begrepen.

In de nevengeul van macrocel 3 wordt meer gestort dan de stortcapaciteit. De stortcapaciteit is hier kleiner geworden als gevolg van recente sedimentatie in de Everingen. Deze sedimentatie is ongeveer gelijk aan het gestorte volume in dit geuldeel.

In de nevengeul van macrocel 4 is stortruimte ontstaan door de recente morfologische ontwikkelingen en de stortingen in de hoofdgeul. Tegenwoordig wordt er niet meer in de nevengeul gestort omdat er sterke sedimentatie heeft plaatsgevonden.

De nevengeul van macrocel 5 sedimenteert dankzij de ingrepen. Er wordt iets meer gestort dan de zeer beperkte stortruimte in deze geul. De stortcapaciteit is kleiner geworden door de sedimentatie in deze nevengeul.

De nevengeul van macrocel 6 erodeert. De stortcapaciteit is kleiner geworden omdat de erosie is afgenomen.

Omdat de nevengeul van macrocel 7 sedimenteert, is hier een zeer beperkte stortruimte. De stortcapaciteit is hier ook kleiner geworden.

C.3 Hoofdgeul

De hoofdgeulen zijn stabiel of verruimen als gevolg van baggeren. Indien een geul erodeert, mag deze volumeverandering bij de stortcapaciteit worden opgeteld. Voor alle hoofdgeulen geldt dat de theoretische stortcapaciteit vermeerderd mag worden met het (bruto) volume van de baggerinspanning: $SC = 0,1T + \Delta V_{tot} + V_{baggeren}$ (zie ook paragraaf 2.3). Dit betekent dat de totale stortcapaciteit in de hoofdgeulen tezamen altijd groter is dan de totale baggerinspanning in de hoofdgeulen. Het resultaat staat in Tabel C.16.

Tabel C.16 Bepaling van de stortcapaciteit van de hoofdgeulen voor de meest recente trend inclusief prognose voor het bruto baggervolume (zie figuur 4 en paragraaf 2.3).

| Macro cel | αT | $\Delta V_{tot,hg}$ | $V_{baggeren}$ | SC hoofdgeul |
|---------------|------------|---------------------|----------------|--------------|
| 1 | 1.350.000 | 215.780 | 1.200.000 | 2.765.780 |
| 3 | 1.020.000 | 396.110 | 2.500.000 | 3.916.110 |
| 4 | 1.000.000 | n.v.t. | 1.200.000 | 2.200.000 |
| 5 | 570.000 | 518.710 | 3.800.000 | 4.888.710 |
| 6 | 790.000 | 142.970 | 800.000 | 1.732.970 |
| 7 | 460.000 | 363.160 | 500.000 | 1.323.160 |
| Totaal | | | | 16.826.730 |

In paragraaf C.4 staan de tijdreeksen van de kwalificatie, watervolumes, ingrepen en stortcapaciteit van neven- en hoofdgeulen bij elkaar.

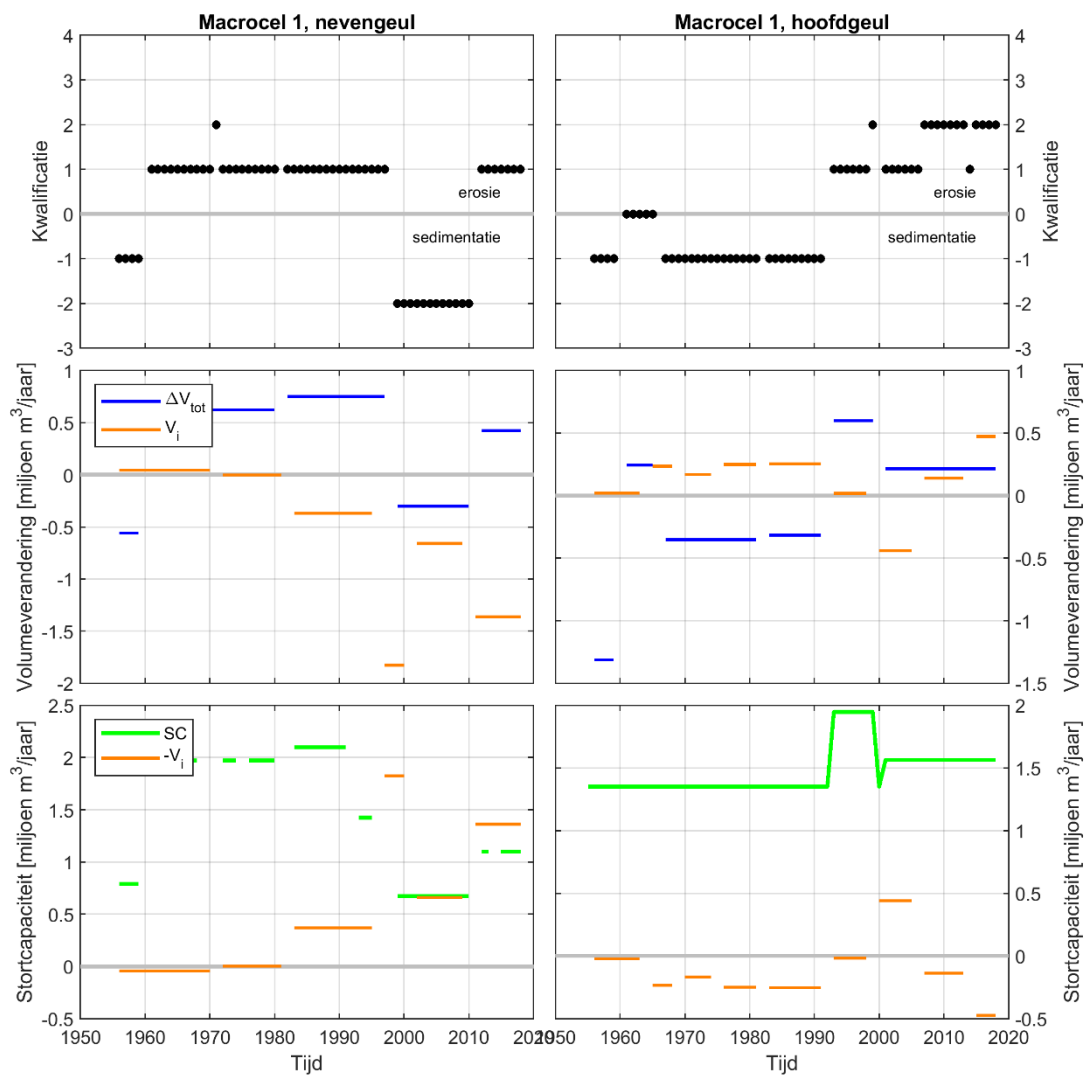
In de hoofdgeul van macrocellen 1 en 3 is stortcapaciteit, maar deze is tot nu toe niet benut.

In de hoofdgeul van macrocel 4 wordt netto gestort. De hoofdgeul wordt – dankzij het nieuwe criterium voor evenwicht – als stabiel gekwalificeerd, dankzij de stortingen. Er mag dan 10% van de sedimenttransportcapaciteit worden gestort, plus het (bruto) baggervolume. Dit is 1,0 miljoen m³ plus 1,3 miljoen m³ respectievelijk, totaal 2,3 miljoen m³. Dit is een stuk lager dan het bruto volume van stortingen in de afgelopen jaren (orde 4 miljoen m³/j). Dit geeft aan dat de initiële stortcapaciteit voor de hoofdgeul van macrocel 4 kan worden verhoogd naar 4 miljoen m³/j.

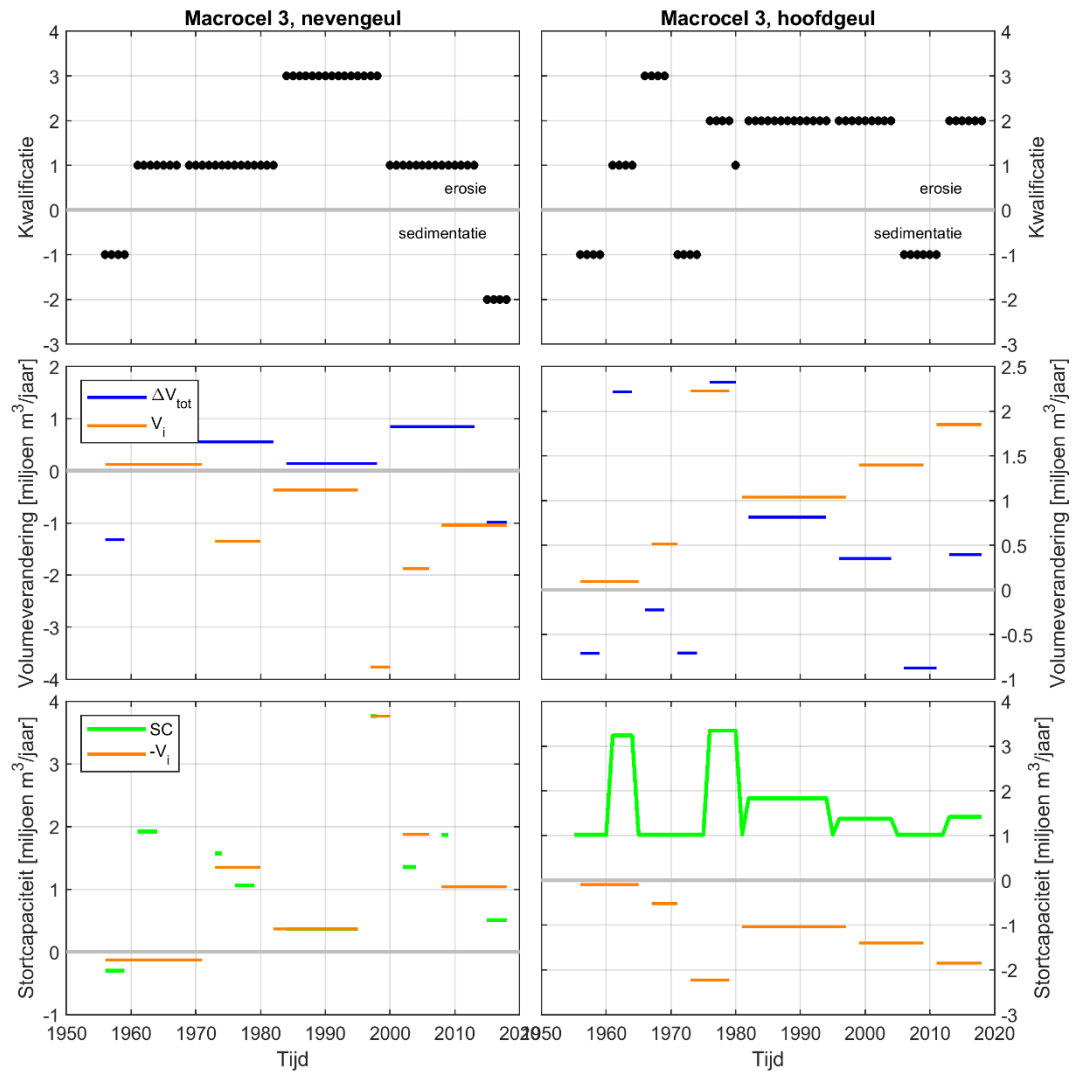
De hoofdgeul van macrocel 5 verruimt, terwijl deze eerder werd bestempeld als sedimentierend door stortingen. De stortcapaciteit in deze geul is hoog, omdat er zoveel gebaggerd wordt. In de praktijk is het volume dat beschikbaar is voor stortingen, zonder dat de scheepvaart wordt gehinderd echter beperkt (daarom wordt er ook relatief veel gebaggerd).

De hoofdgeulen van macrocel 6 en 7 verruimen door baggeren en hebben ook stortruimte. Deze wordt echter meestal niet benut omdat het hier gestorte materiaal weer snel terug transporteert wordt naar de drempels en omdat er geen materiaal stroomopwaarts vervoerd mag worden (geldt vooral voor macrocel 7). De vergunde stortvakken omvatten niet de volledige geul. Dus niet alles kan als stortlocatie benut worden.

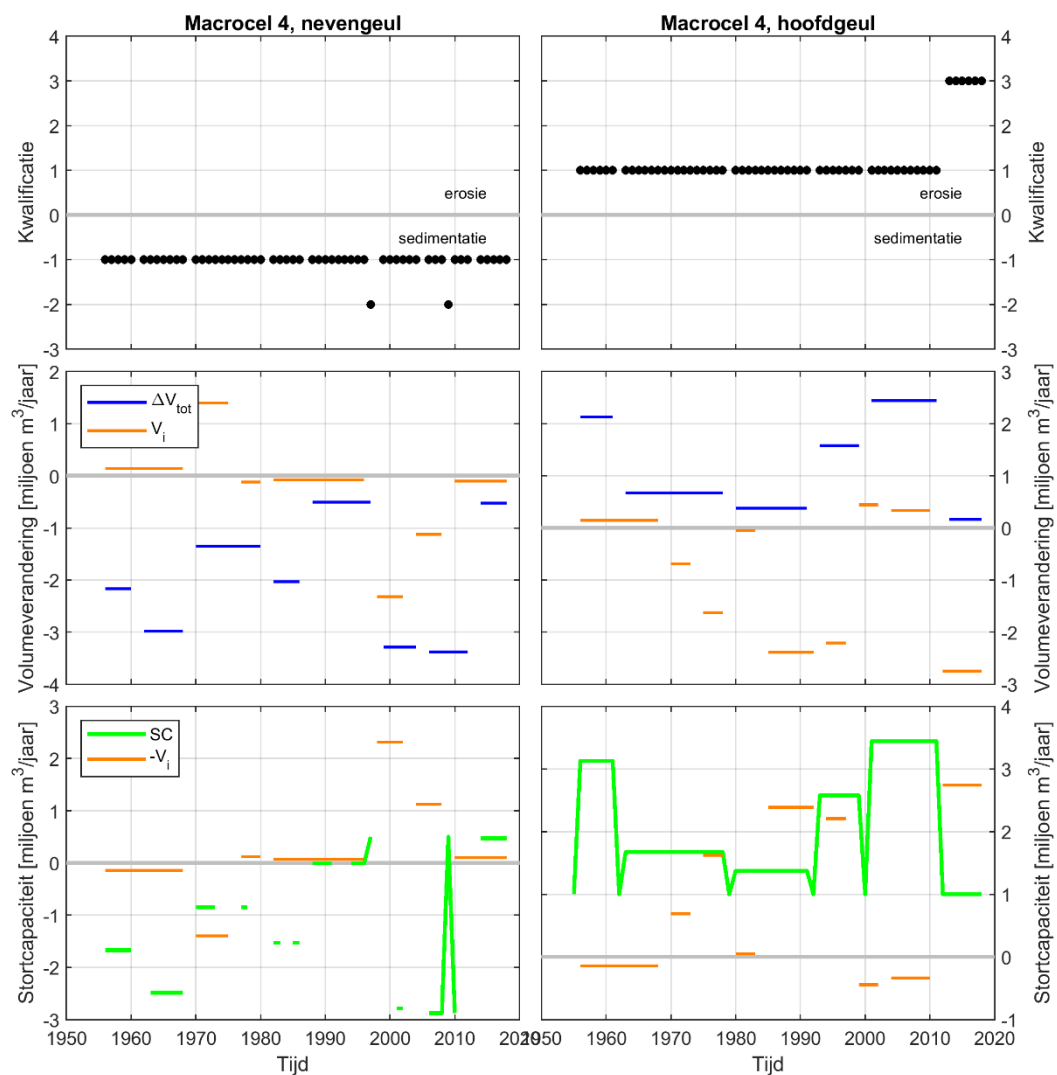
C.4 Tijdsreeksen voor neven- en hoofdgeulen



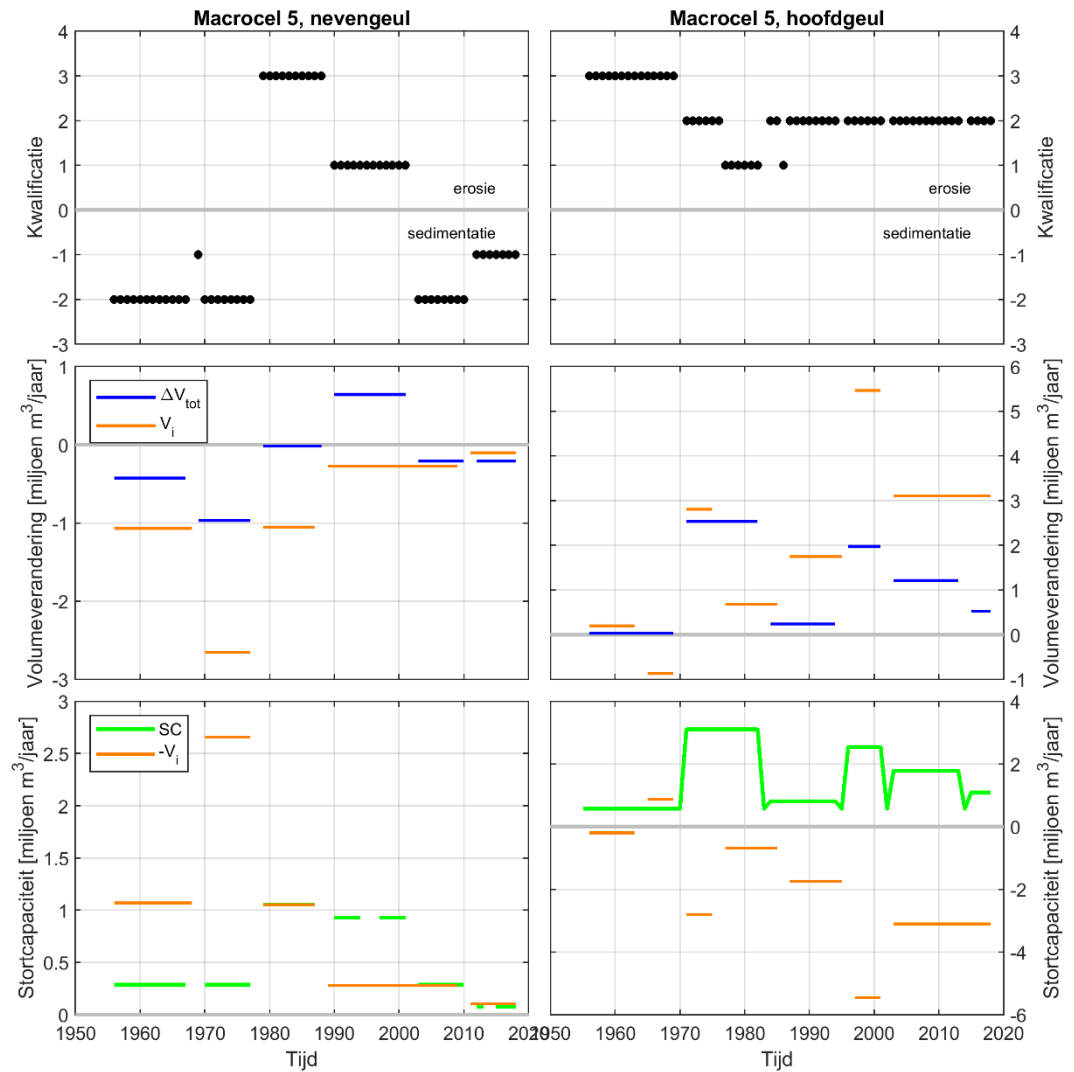
Figuur 2.34 Kwalificatie (boven), volumeverandering van het watervolume en het jaarlijkse volume van ingrepen (midden) en de stortcapaciteit en jaarlijkse volume van de ingrepen in sedimentvolume (onder) van nevengeul (links) en hoofdgeul (rechts) op basis van de trends voor macrocel 1. Voor de hoofdgeul betreft het de stortcapaciteit exclusief het volume van bruto baggeren.



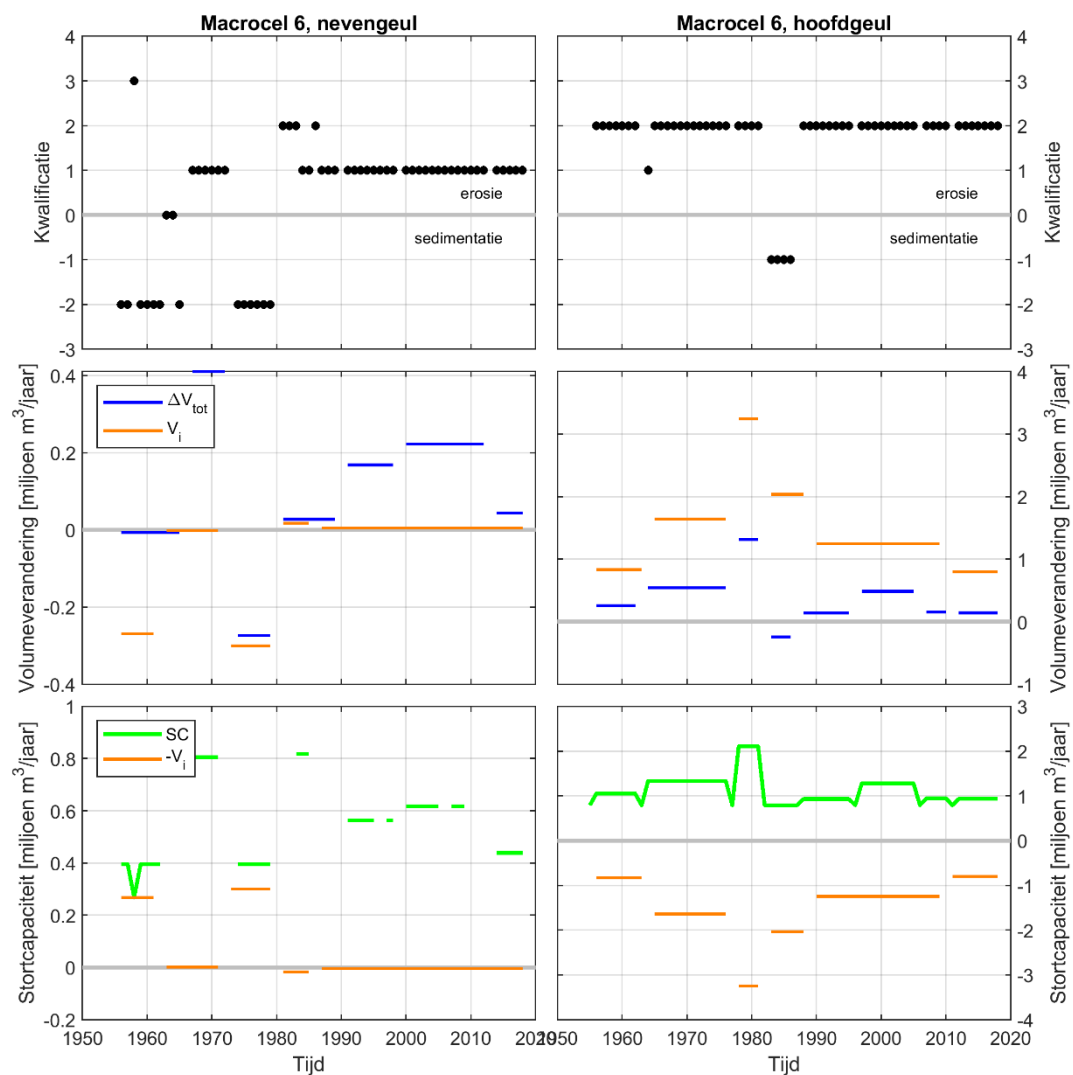
Figuur 2.35 Kwalificatie (boven), volumeverandering van het watervolume en het jaarlijkse volume van ingrepen (midden) en de stortcapaciteit en jaarlijkse volume van de ingrepen in sedimentvolume (onder) van nevengeul (links) en hoofdgeul (rechts) op basis van de trends voor macrocel 3. Voor de hoofdgeul betreft het de stortcapaciteit exclusief het volume van bruto baggeren.



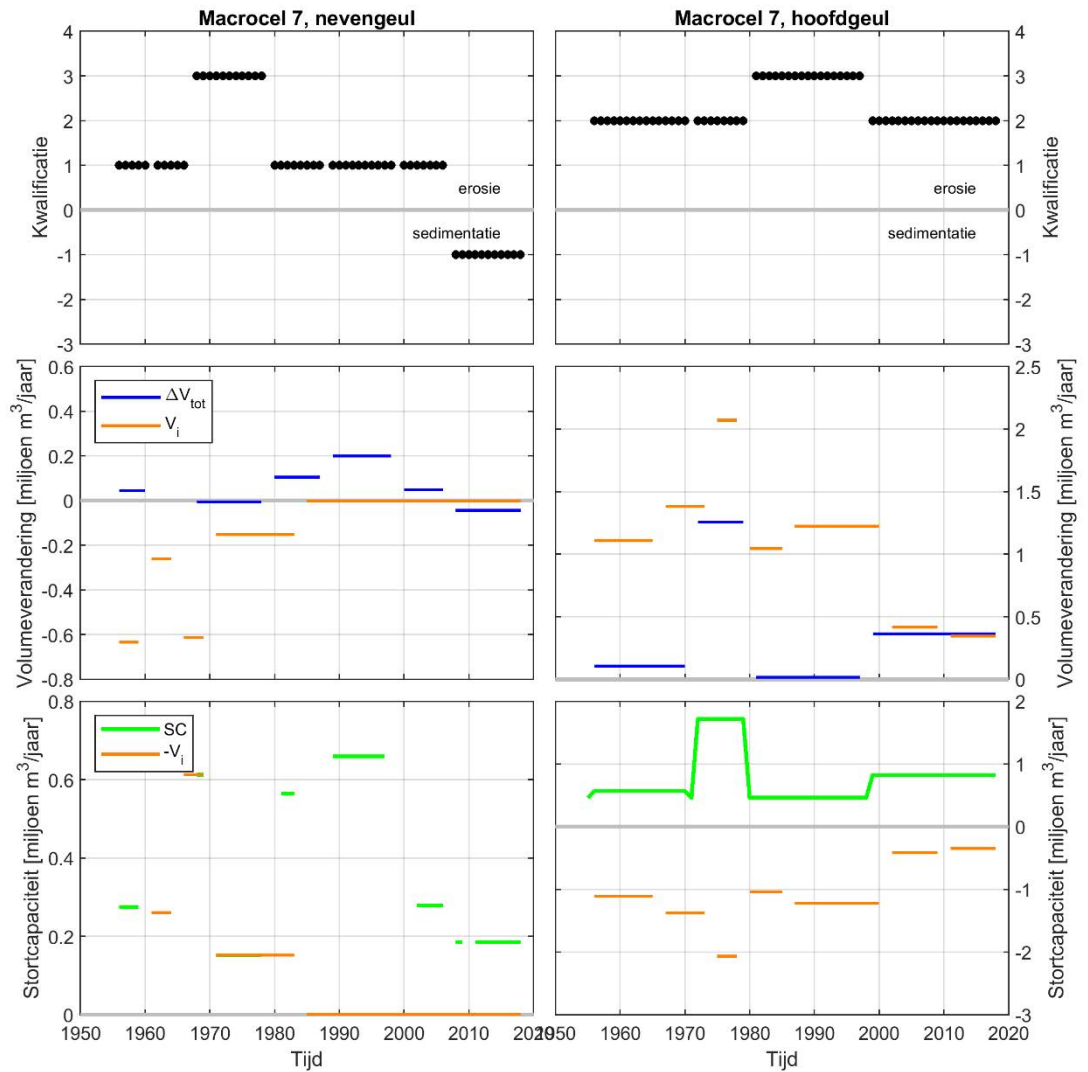
Figuur 2.36 Kwalificatie (boven), volumeverandering van het watervolume en het jaarlijkse volume van ingrepen (midden) en de stortcapaciteit en jaarlijkse volume van de ingrepen in sedimentvolume (onder) van nevengeul (links) en hoofdgeul (rechts) op basis van de trends voor macrocel 4. Voor de hoofdgeul betreft het de stortcapaciteit exclusief het volume van bruto baggeren.



Figuur 2.37 Kwalificatie (boven), volumeverandering van het watervolume en het jaarlijkse volume van ingrepen (midden) en de stortcapaciteit en jaarlijkse volume van de ingrepen in sedimentvolume (onder) van nevengeul (links) en hoofdgeul (rechts) op basis van de trends voor macrocel 5. Voor de hoofdgeul betreft het de stortcapaciteit exclusief het volume van bruto baggeren.



Figuur 2.38 Kwalificatie (boven), volumeverandering van het watervolume en het jaarlijkse volume van ingrepen (midden) en de stortcapaciteit en jaarlijkse volume van de ingrepen in sedimentvolume (onder) van nevengeul (links) en hoofdgeul (rechts) op basis van de trends voor macrocel 6. Voor de hoofdgeul betreft het de stortcapaciteit exclusief het volume van bruto baggeren.



Figuur 2.39 Kwalificatie (boven), volumeverandering van het watervolume en het jaarlijkse volume van ingrepen (midden) en de stortcapaciteit en jaarlijkse volume van de ingrepen in sedimentvolume (onder) van nevengeul (links) en hoofdgeul (rechts) op basis van de trends voor macrocel 7. Voor de hoofdgeul betreft het de stortcapaciteit exclusief het volume van bruto baggeren.

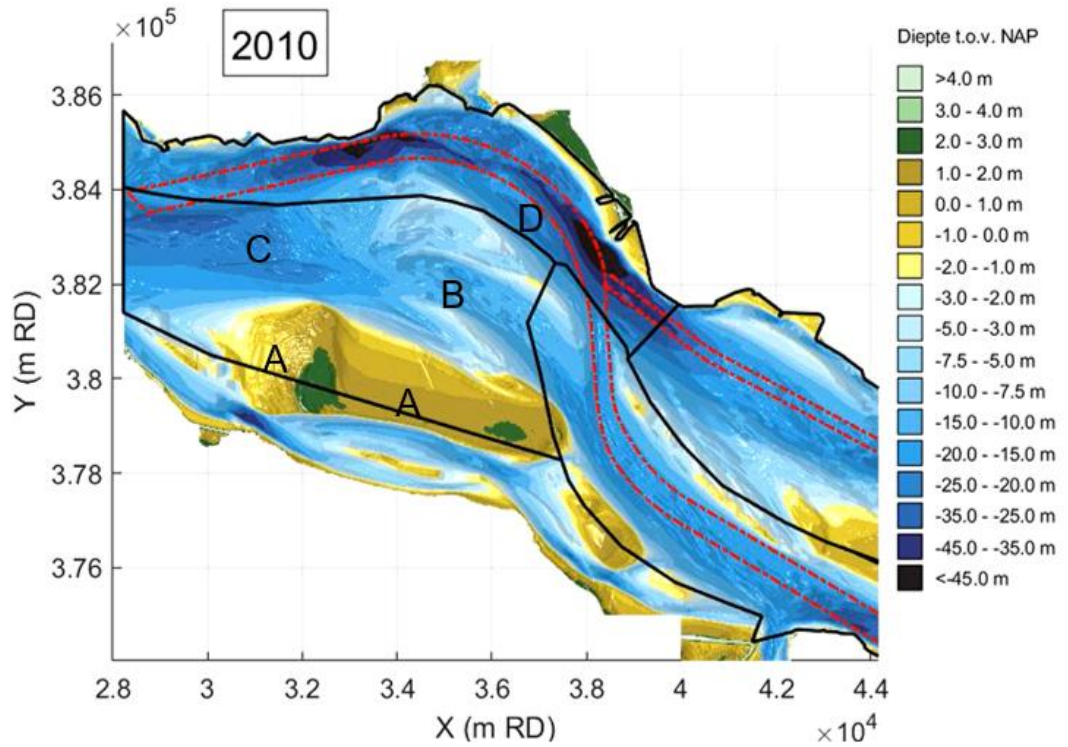
D Advies hoofdgeulen

Nota IMDC en Deltares.

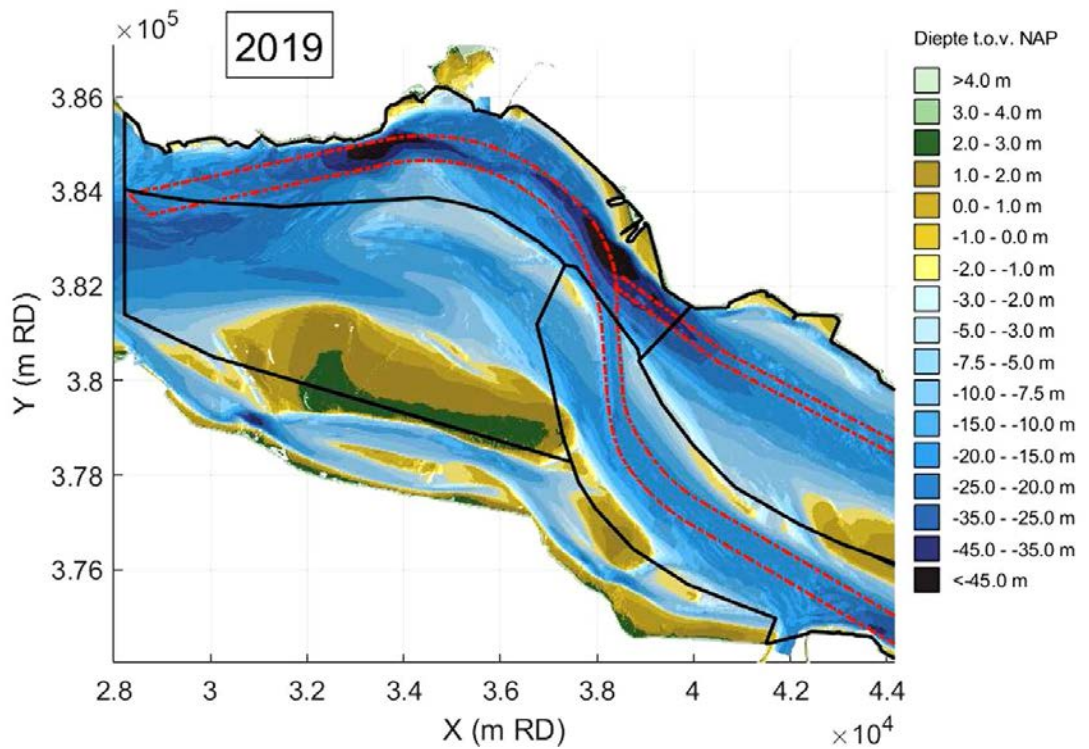
E Dieptekaarten en sedimentatie/erosiepatronen

E.1.1

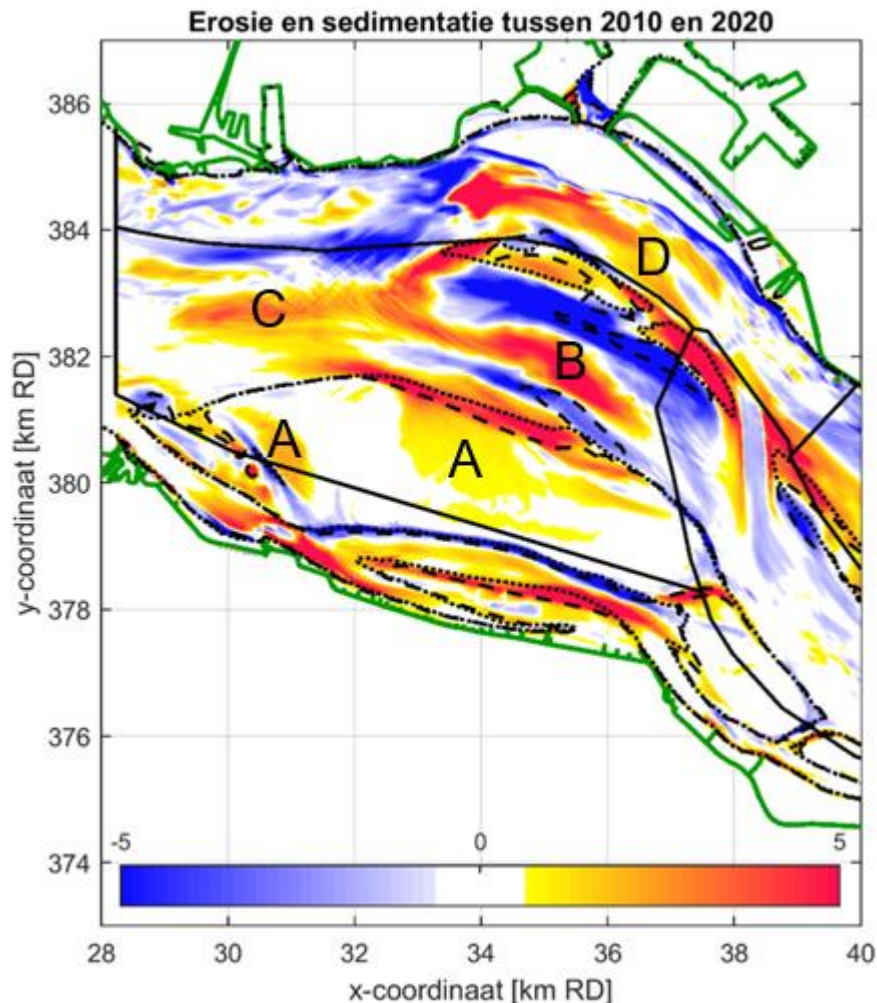
Macrocel 1



Figuur 2.40 Bodemligging macrocel 1 en mesocel 2 in 2010.



Figuur 2.41 Bodemligging macrocel 1 en mesocel 2 in 2019.



Figuur 2.42 Verschilkaart tussen 2020 en 2010 van macrocel 1 en mesocel 2. Geel en rood geeft sedimentatie aan en blauw erosie. Stippellijn = -5 m NAP contour in 2020. Streeplijn = -5 m NAP contour in 2010.

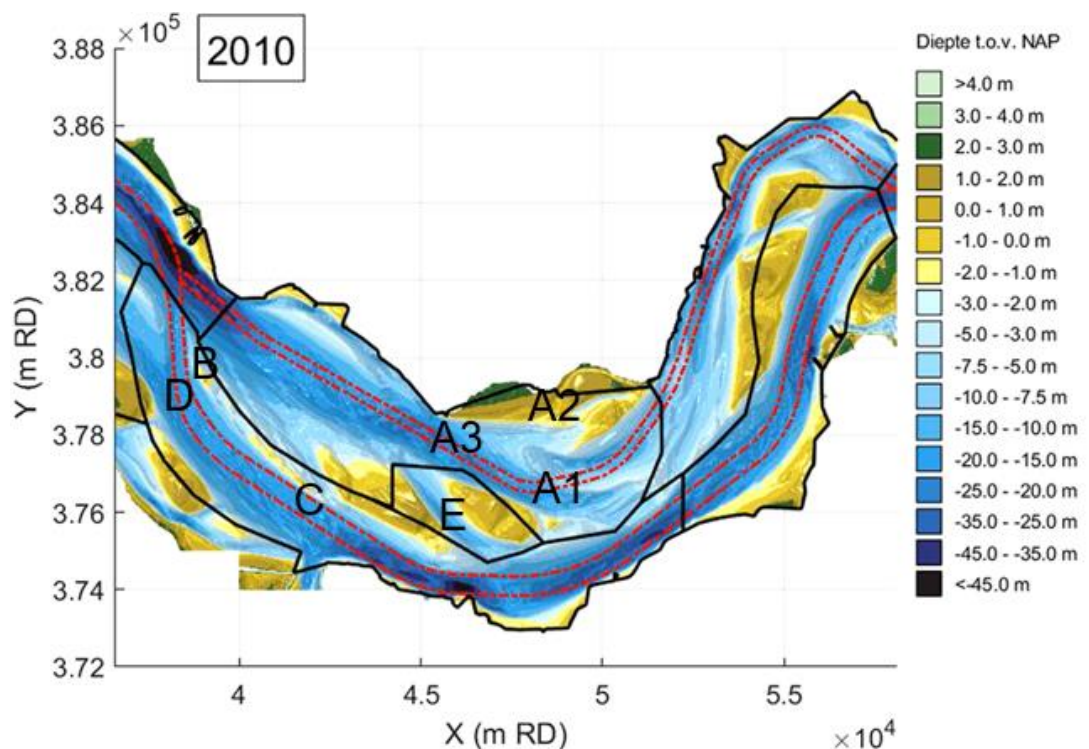
Naast de observaties beschreven in bijlage A.1 en paragraaf 2.2.1 laten de dieptekaarten en de sedimentatie- en erosie kaart het volgende zien:

- A. Een ophoging, sedimentatie op de hoge platen
- B. Expansie en migratie van de Ebschaar naar de spijkerplaat en de vloedschaar van de Spijkerplaat.
- C. Sedimentatie in de inloop van de nevengeul die waarschijnlijk samenhangt met B en geulstortingen
- D. Verdwijnen van de vorige Ebschaar naar de Spijkerplaat in de binnenbocht van de Honte

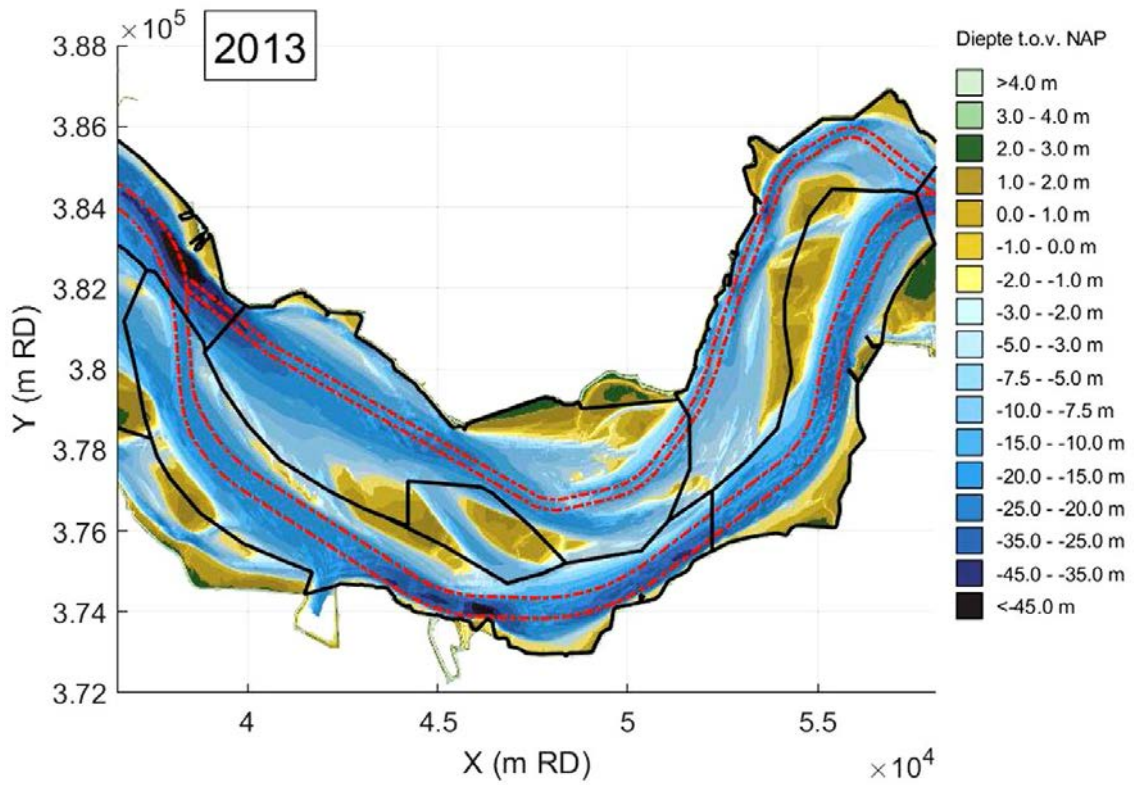
E.1.2 Macrocel 3 en 4

- A. A1: In macrocel 3 vinden de grootste veranderingen plaats in het drempelgebied van de Everingen (zie volgende paragraaf). De bodem voor 2010, 2013 en 2019 is getoond, omdat de nevengeul in 2013 het grootste natte volume had in het afgelopen decennium. A 2 De noordoever in dit gebied, gevormd door de slikken en platen van Ellewoutsdijk en de voormalige geul Boerengat, kent een lange-termijn ontwikkeling van sedimentatie. Deze tendens wordt mogelijk versterkt door landurig stortingen ter hoogte van Ellewoutsdijk (A3). De stortingen bij Ellewoutsdijk gaan gepaard met een afname van het geulvolume in dit gebied (rekenvak 500, bijlage A.2) en een verandering in het dwarsprofiel waarbij het geuldeel ten zuidwesten van het stortgebied erodeert.

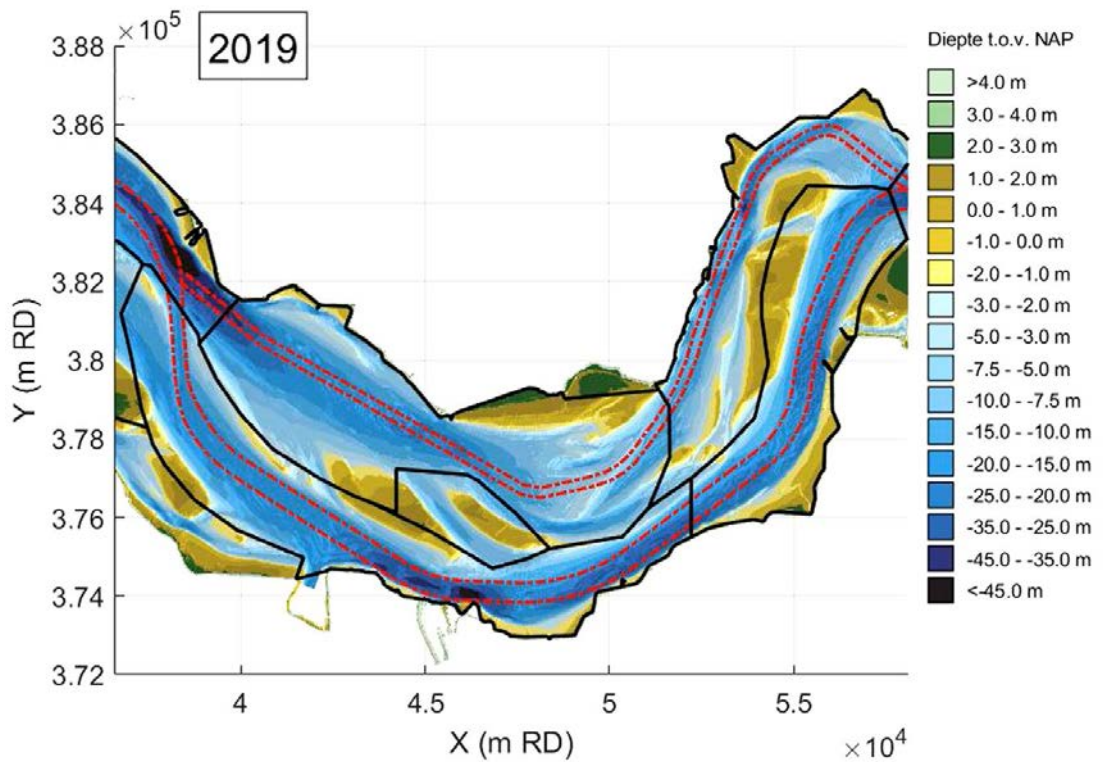
- B. De noordwestzijde van de Suikerplaat sedimenteert sterk vermoedelijk onder invloed van stortingen, inclusief een proefstorting, en het gedrag van de drempelgeulen in macrocel 1. Het naastgelegen ankergebied erodeert waarschijnlijk in samenhang met deze sedimentatie en de sedimentatie langs de noordoever. De vaargeul is goed zichtbaar als een eroderende (gebaggerde) blauwe streep in de diepte en erosie en sedimentatiekaart. Veranderingen in baggervolume op de drempel van Borssele (vak 4) worden vermoedelijk sterk beïnvloed door het gedrag van de ebschaar naar de Spijkerplaat; deze ligt nu ten zuiden van de drempel en 'tapt veel ebwater af' wat leidt tot meer sedimentatie op de drempel. Zodra de geul ter hoogte van de drempel komt wordt dit vermoedelijk gunstiger (lager onderhoud).
- C. De zuidzijden van de Suikerplaat en Middelplaat eroderen, mogelijk als gevolg van andere/grotere aanstroming via de nevengeul van macrocel 1.
- D. Vooral het westelijk deel van de Pas van Terneuzen (vak 6) erodeert 'van nature' sinds de jaren zeventig (~30 10⁶ m³ in totaal); de uitloop is breder en dieper geworden en bocht uit, wat ontwikkeling van drempelgeulen in macrocel 1 stimuleert. Overige geuldelen met diepere delen laten geen duidelijke ontwikkelingstendensen zien, vermoedelijk door het aansnijden van de Boomse kleilaag.
- E. De Zuid-Everingen lijkt het stadium van geuldegeneratie te hebben bereikt, zoals de vorige geul het Stoombotengat ook geleidelijk aan is verdwenen vanaf ongeveer deze locatie. Het nieuwe Straatje van Willem (A) zou deze rol kunnen gaan overnemen.



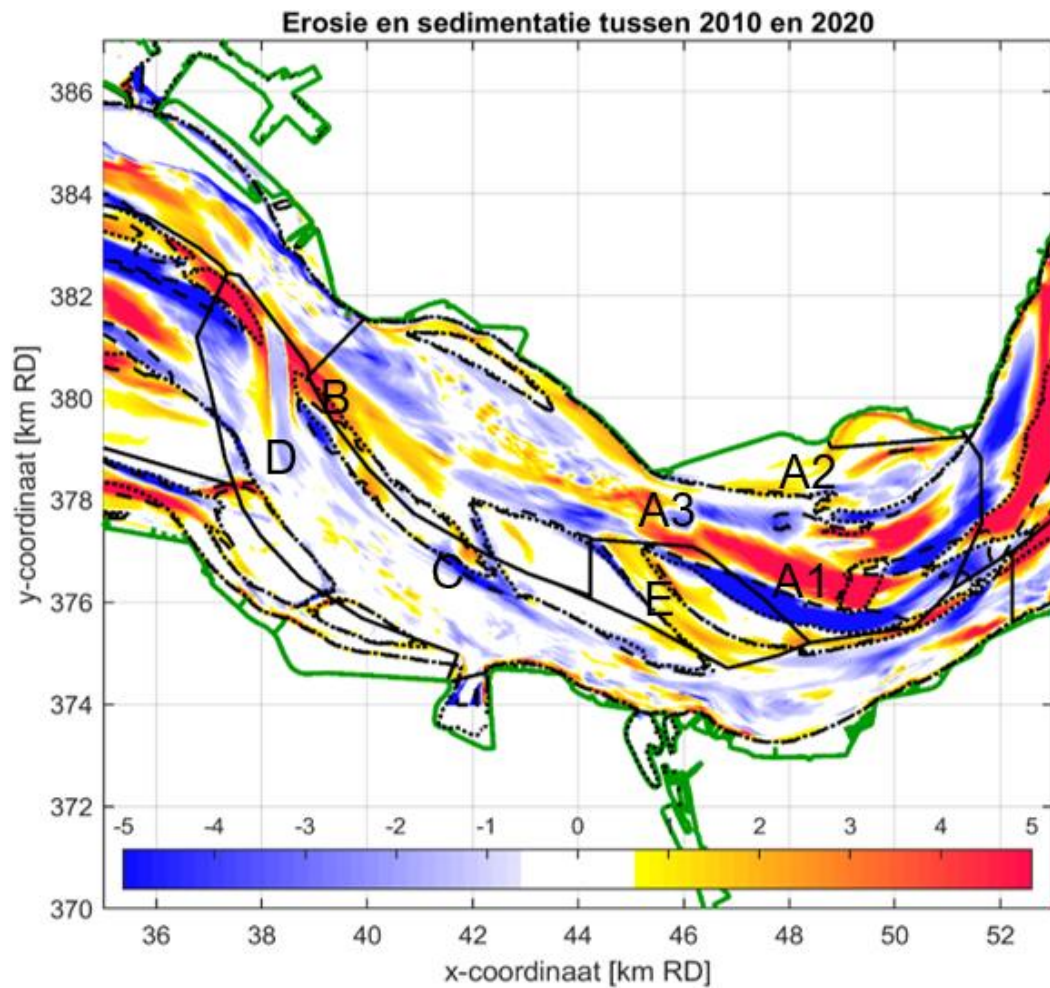
Figuur 2.43 Bodemligging macrocel 3 en macrocel 4 in 2010.



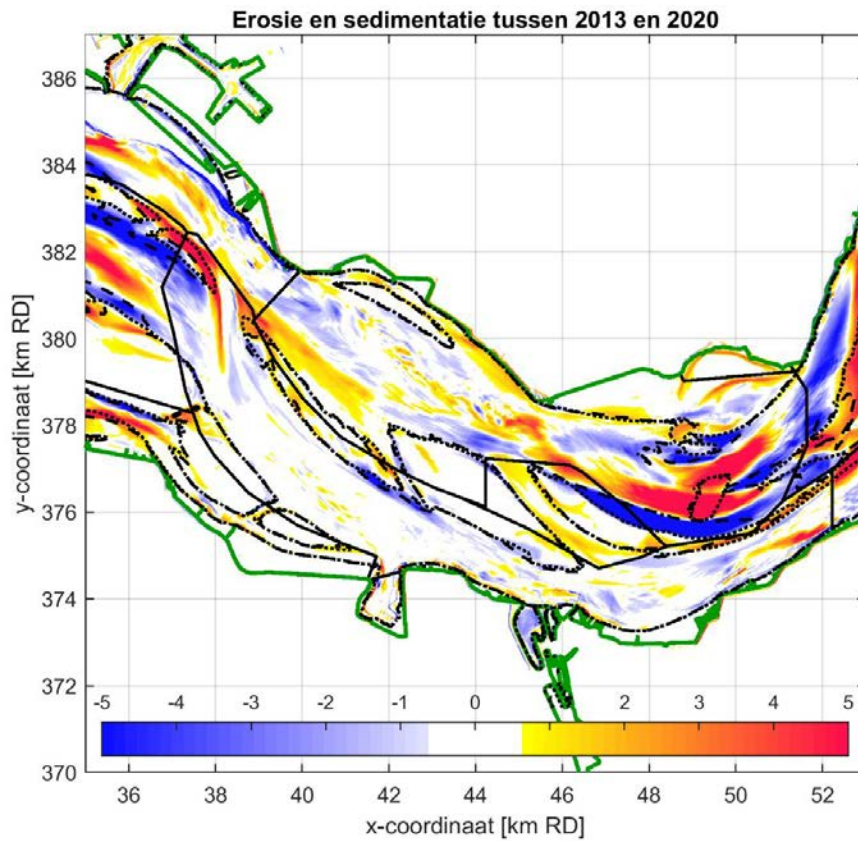
Figuur 2.44 Bodemligging macrocel 3 en macrocel 4 in 2013.



Figuur 2.45 Bodemligging macrocel 3 en macrocel 4 in 2019.

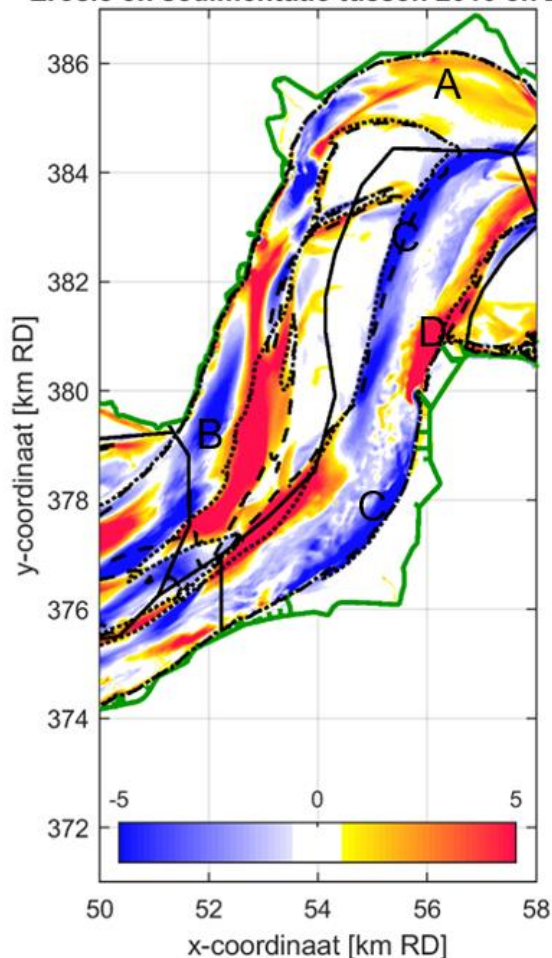


Figuur 2.46 Verschilkaart tussen 2020 en 2010 van macrocel 3 en macrocel 4. Geel en rood geeft sedimentatie aan en blauw erosie. Stippellijn = -5 m NAP contour in 2020. Streeplijn = -5 m NAP contour in 2010.



Figuur 2.47 Verschilkaart tussen 2020 en 2013 van macrocel 3 en macrocel 4. Geel en rood geeft sedimentatie aan en blauw erosie. Stippellijn = -5 m NAP contour in 2020. Streeplijn = -5 m NAP contour in 2013.

Erosie en sedimentatie tussen 2010 en 2020



Figuur 2.48 Verschilkaart tussen 2020 en 2013 van macrocel 4. Geel en rood geeft sedimentatie aan en blauw erosie. Stippellijn = -5 m NAP contour in 2020. Streeplijn = -5 m NAP contour in 2010.

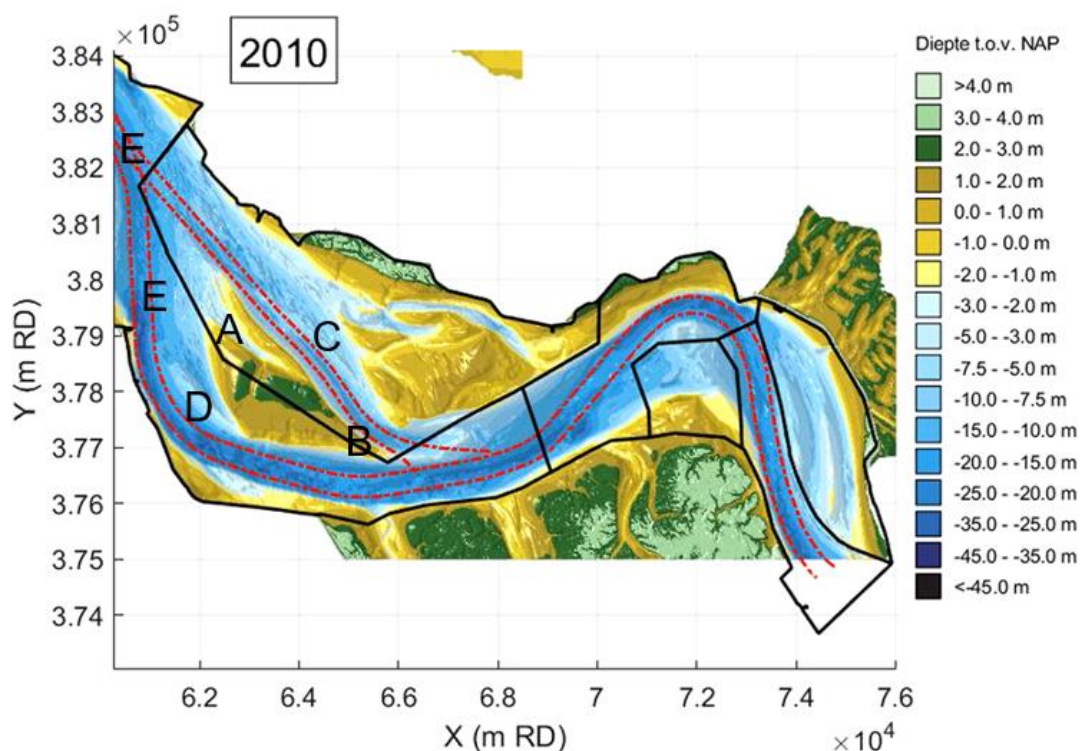
Macrocel 4

- In macrocel 4 vindt sedimentatie plaats aan de noordzijde van het Middelgat en ter hoogte van Hoedekenskerke.
- Aan de westelijke ingang van het Middelgat vindt juist erosie plaats. Ook vindt er sterke sedimentatie plaats aan de westzijde van de Rug van Baarland, maar deze lag in 2020 boven de -5m NAP contour (stippellijn) en telt dan niet meer mee voor het watervolume van de geul. Deze erosie – en sedimentatiepatronen hangen nauw samen met de veranderingen in het drempelgebied van de Everingen.
- In het Gat van Ossensisse vindt erosie plaats bij de Platen van Hulst en aan oostzijde van de Platen van Ossensisse en de Molenplaat.
- Aan de noordoostzijde is juist een sedimentatiezone. Het uitruimen van het Gat van Ossensisse heeft een vergelijkbare omvang als de sedimentatie in het Middelgat. In de voorgaande trendperiode erodeerde de hoofdgeul met $2,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{j}$. Het netto storten van ca. $2,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{j}$ - vermoedelijk in combinatie met het stoppen van storten in het Middelgat - heeft geleid tot een afname van de erosie van het geulvolume.

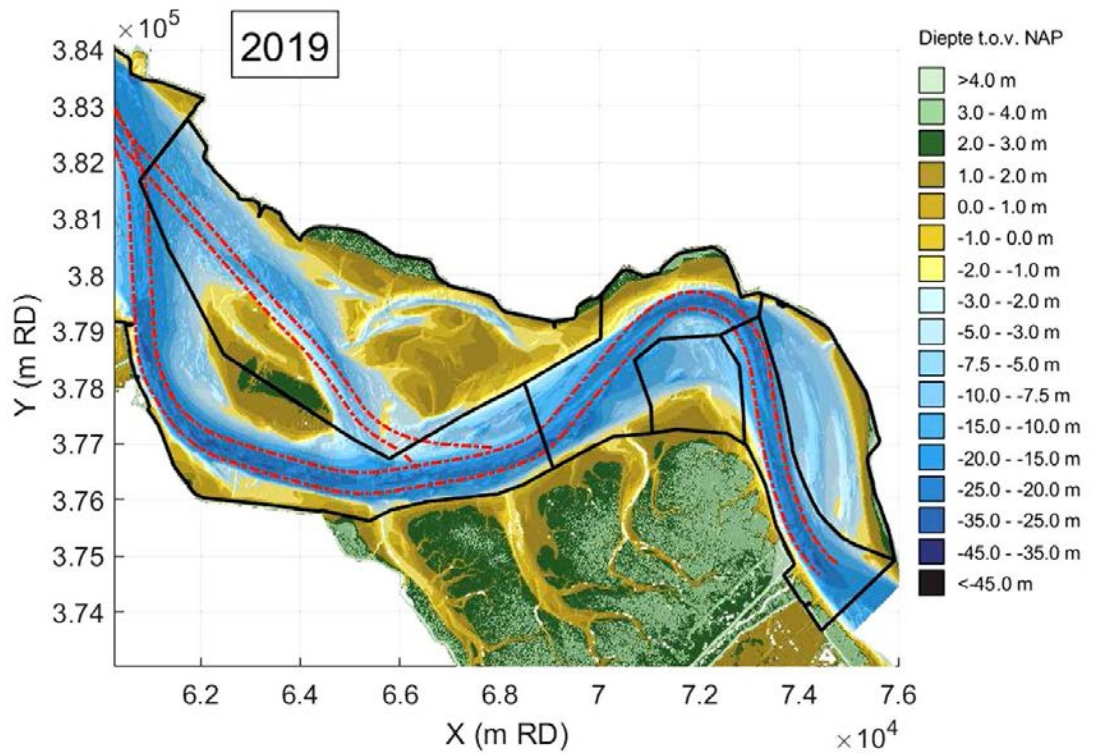
E.1.3 Macrocel 5, 6 en 7

- A. In macrocel 5 zijn er grote veranderingen te zien in de plaatgebieden. De Plaat van Walsoorden is opgehoogd aan de noordzijde. De sedimentatie aan de west en noordzijde van dit plaatcomplex heeft er ook toe geleid dat een groter gebied boven de NAP-5 m contour is komen te liggen.
- B. De oostzijde van de Platen van Valkenisse-west zijn geërodeerd onder invloed van migrerende drempelgeulen.
- C. Door de plaatrandrandstortingen is de nevengeul smaller is geworden en naar het Noorden is gedrukt. Daarnaast zijn de grote stortingen in de inloop van de nevengeul duidelijk zichtbaar.
- D. Het geulvolume van de hoofdgeul is relatief stabiel sinds de laatste verdieping, hoewel de vloedschaar van Walsoorden, naast het Zuidergat, aanzienlijk is verondiept onder invloed van de plaatrandstortingen. Het verdiepen van het Zuidergat zou hier een gevolg van kunnen zijn.
- E. Het gebied van de Drempel van Hansweert is verruimd maar de aangrenzende geuldelen van de Overloop van Valkenisse niet of nauwelijks; iedere verdieping in macrocel 5 is in dat opzicht anders geweest qua uitvoering en morfologische respons. Opmerkelijk is de tendens tot 'uitbochten' ter hoogte van de Platen van Ossenisse en de Put van Hansweert.

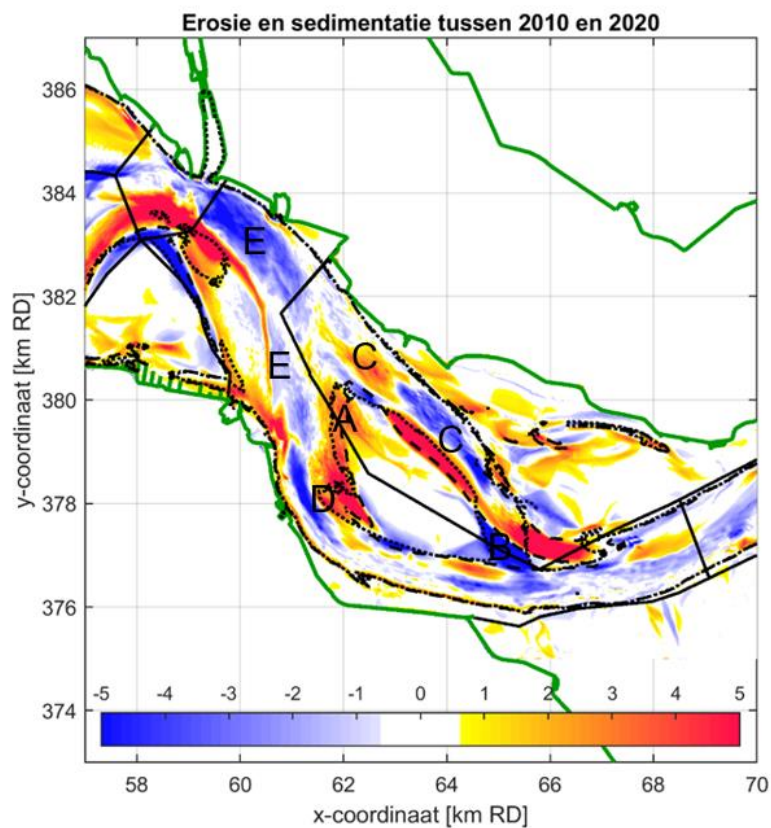
De erosie in de hoofdgeul van macrocel 6 en 7 wordt vooral veroorzaakt door een verdieping van de gehele geul. Voor de rest zijn deze 2 macrocellen weinig dynamisch. De Plaat van Saeftinghe erodeert licht.



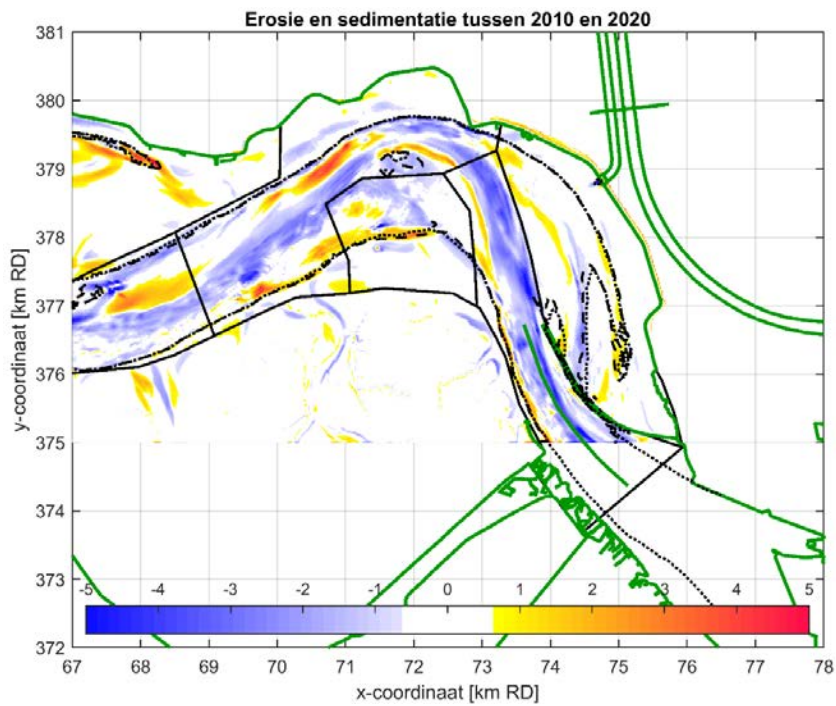
Figuur 2.49 Bodemligging macrocel 5, 6 en 7 in 2010.



Figuur 2.50 Bodemligging macrocel 5, 6 en 7 in 2019.



Figuur 2.51 Verschilkaart tussen 2020 en 2010 van het drempelgebied tussen macrocel 5. Geel en rood geeft sedimentatie aan en blauw erosie. Stippellijn = -5 m NAP contour in 2020. Streeplijn = -5 m NAP contour in 2010.



Figuur 2.52 Verschilkaart tussen 2020 en 2010 van het drempelgebied tussen macrocel 6 en 7. Geel en rood geeft sedimentatie aan en blauw erosie. Stippellijn = -5 m NAP contour in 2020. Streeplijn = -5 m NAP contour in 2010.

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