

# Morfologische veranderingen Amelande Zeegat Een methodische aanpak

Pim Willemsen  
april 2013 - juli 2013



# MORFOLOGISCHE VERANDERINGEN AMELANDER ZEEGAT EEN METHODISCHE AANPAK

Auteur: Pim Willemsen  
S1113895  
p.w.j.m.willemsen@student.utwente.nl  
Bachelor Civiele Techniek Universiteit Twente (B-CiT)  
Bachelor Eindopdracht Deltares

Begeleiders Deltares:  
Tommer Vermaas, MSc  
Dr. ir. Edwin Elias  
Dr. ir. Ankie Bruens

Begeleider Universiteit Twente:  
Prof. dr. Suzanne Hulscher

Datum: 12 – 07 – 2013

*Afbeelding titelpagina:  
<https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat / Joop van Houdt (2011)*

## SAMENVATTING

De laatste jaren wordt geregeld de vraag gesteld of de opgetreden erosie van de Boschplaat in het Amelandse Zeegat zal doorzetten (Elias & Bruens, 2012). Dit is afhankelijk van de dynamiek van de morfologisch samenhangende gebieden in het Amelandse Zeegat. Het Amelandse zeegat en deze gebieden zijn middels verschillende (te ontwikkelen) methodes beschouwd, met de nadruk op volumeveranderingen, sedimentatie en erosie. De doelstelling van dit onderzoek is dan ook als volgt:

*Een methode ontwikkelen voor het bepalen van volumeveranderingen van morfologisch samenhangende gebieden voor het Amelandse Zeegat/Boschplaat en het interpreteren van deze volumeveranderingen samen met morfologische experts.*

Vijf methodes zijn ontwikkeld/gebruikt om het Amelandse Zeegat te analyseren tussen 1970 en 2011. Volumeveranderingen door middel van geaggregeerde rasters, oppervlakteverschillen middels hoogte intervallen, volumeveranderingen aan de hand van polygonen op verschilkaarten en volumeveranderingen van morfologische eenheden als geulen en zandplaten, waarbij plaats- en vormverandering wordt meegenomen. En tenslotte een combinatie van de genoemde methodes. De conclusies die uit de interpretatie van de resultaten volgen zijn als volgt. De Boschplaat trekt zich langzaam terug in de beschouwde jaren, het Boschgat is hier onder andere de oorzaak van. Deze geul verplaatst langzaam richting de oostkust van Terschelling.

Uit historische data blijkt dat het Amelandse Zeegat in de afgelopen 100 tot 120 jaar tweemaal een cyclische ontwikkeling heeft doorlopen (Israël C. G., 1998). Binnen deze cyclus ontwikkelt er in het zeegat een één- of tweegeulensysteem. Extrapolatie van het cyclische gedrag naar het huidige systeem zou betekenen dat langzamerhand een ééngeulensysteem gevormd zou moeten worden. Hier zijn echter nog geen aanwijzingen voor. Het Akkepollegat en het Borndiep worden vooralsnog niet groter. Dit zou wel het geval moeten zijn volgens het cyclische model. Deze geul is 'de basis' van het ééngeulensysteem en zou de getijdenstroom over moeten nemen van het Boschgat. Het model moet wel gezien worden als een middel om opgetreden veranderingen te verklaren en niet als een wetmatigheid voor de toekomstige dynamiek.

Extra onderzoek is nodig om een meer gefundeerde uitspraak te doen over de toekomstige dynamiek van het Amelandse Zeegat en de eventuele continuering van de cyclus. De inhoud van de beide geulen in de binnendelta moet onderzocht worden aan de hand van de laatstgenoemde methode (volumeveranderingen van morfologische eenheden) over verschillende jaren. Zo kan de verdeling van de getijden geanalyseerd worden en kan er een eventuele trend gevonden worden. Daarnaast kunnen de methodes toegepast worden op andere zeegaten. Dit test enerzijds de verschillende methodes, anderzijds geeft het een duidelijke en brede analyse van de betreffende zeegaten.

## VOORWOORD

Deze Bachelor Eindopdracht binnen de studie Civiele Techniek van de Universiteit Twente heeft een onderwerp dat binnen de bachelor niet vaak aan bod is gekomen. Een onderwerp met betrekking tot de kust en/of het kustbeheer was het streven bij het zoeken naar een Bachelor Eindopdracht. Uiteindelijk is dit gelukt met behulp van het doorzetten van Martijn Booij en de contacten van Jebbe van der Werf. Mijn dank.

Eenmaal bij Deltares, bleek er een breed scala aan potentiële opdrachten te liggen binnen de afdeling morfologie en sedimentaire systemen. Na contact gehad te hebben met Ankie Bruens bleek dat er behoefte was aan de opdracht die voor u ligt. Hiervoor en voor het organisatorische deel van de stage bij Deltares wil ik Ankie Bruens bedanken.

Bij Deltares heb ik op alle fronten enorme hulp gehad van Tommer Vermaas, inhoudelijk en organisatorisch. Mijn ontbrekende kennis in het kader van de morfologie bleek binnen deze opdracht geen groot probleem. Tommer Vermaas en Edwin Elias waren altijd bereidt om vragen te beantwoorden en feedback te geven op de huidige stand van zaken. Ik heb beiden als goede en open begeleiders ervaren, mijn dank.

Ten slotte werd ik vanuit de Universiteit begeleidt door Suzanne Hulscher. Ik werd vrijgelaten in mijn doen en laten binnen Deltares. Tijdens de feedbackmomenten was er betrokkenheid en opbouwende kritiek. Ik heb deze manier van werken positief ervaren. Bedankt hiervoor.

## INHOUDSOPGAVE

|      |                                                                          |    |
|------|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.   | Inleiding.....                                                           | 7  |
| 1.1. | Doelstelling .....                                                       | 7  |
| 1.2. | Onderzoeksvragen .....                                                   | 7  |
| 1.3. | Afbakening .....                                                         | 9  |
| 1.4. | Data .....                                                               | 9  |
| 1.5. | Methodes .....                                                           | 10 |
| 2.   | Theoretisch kader .....                                                  | 11 |
| 3.   | Onderzoeksmethode .....                                                  | 13 |
| 3.1. | Volumeveranderingen door middel van geaggregeerde rasters .....          | 13 |
| 3.2. | Oppervlakteverschil middels hoogte intervallen .....                     | 16 |
| 3.3. | Volumeveranderingen aan de hand van polygonen op verschilkaarten .....   | 17 |
| 3.4. | Volumeveranderingen van morfologische eenheden .....                     | 18 |
| 3.5. | Combinatie methode één, drie en vier .....                               | 22 |
| 3.6. | Vergelijking van de methodes.....                                        | 23 |
| 4.   | Onderzoeksresultaten.....                                                | 25 |
| 4.1. | Volumeveranderingen door middel van geaggregeerde rasters .....          | 26 |
| 4.2. | Oppervlakteverschil middels hoogte intervallen .....                     | 26 |
| 4.3. | Volumeveranderingen aan de hand van polygonen op verschilkaarten .....   | 27 |
| 4.4. | Volumeveranderingen van morfologische eenheden .....                     | 27 |
| 4.5. | Combinatie methode één, drie en vier .....                               | 28 |
| 5.   | Discussie.....                                                           | 29 |
| 6.   | Conclusie .....                                                          | 31 |
| 7.   | Aanbevelingen .....                                                      | 32 |
| 8.   | Literatuur .....                                                         | 34 |
| 9.   | Bijlagen.....                                                            | 35 |
| 9.1. | Bijlage 1; ArcGIS model geaggregeerde rasters .....                      | 36 |
| 9.2. | Bijlage 2; Verschilkaarten Geaggregeerde rasters Amelanders Zeegat ..... | 37 |
| 9.3. | Bijlage 3; Geaggregeerde rasters Boschplaat .....                        | 39 |
| 9.4. | Bijlage 4; Gebruikte gebieden calculaties hoogte intervallen .....       | 42 |
| 9.5. | Bijlage 5; Histogrammen bij oppervlaktes per hoogte intervallen .....    | 43 |

|       |                                                                             |    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| 9.6.  | Bijlage 6; ArcGIS Model sedimentatie en erosie kaarten .....                | 45 |
| 9.7.  | Bijlage 7; Sedimentatie en erosie kaarten .....                             | 46 |
| 9.8.  | Bijlage 8; Stappenplan volgen van morfologisch samenhangende gebieden ..... | 49 |
| 9.9.  | Bijlage 9; Volumeberekeningen morfologisch samenhangende gebieden .....     | 50 |
| 9.10. | Bijlage 10; Stappenplan combinatie methode.....                             | 58 |
| 9.11. | Bijlage 11; Verschilkaarten met polygonen combinatie methode .....          | 59 |

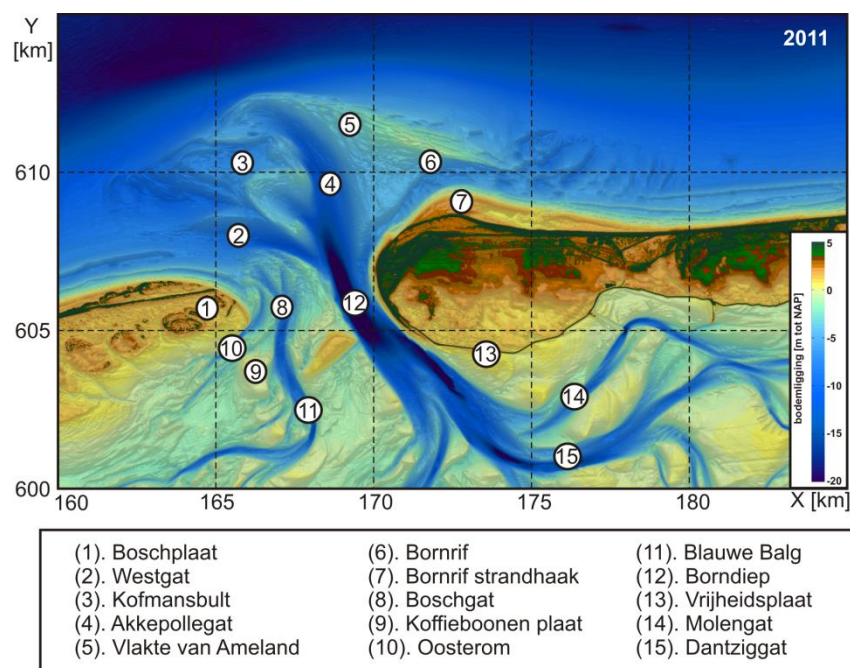
## 1. INLEIDING

De laatste jaren wordt geregeld de vraag gesteld of de opgetreden erosie van de Boschplaat zich zal voortzetten (Elias & Bruens, 2012). Volgens Israël en Dunsbergen (1998) vertoont het zeegat (figuur 1) een cyclische trend (gebaseerd op historische data), waarin één en twee geulen configuraties elkaar afwisselen. Momenteel erodeert de Boschplaat. Uitgaande van een cyclus van 50 – 60 jaar, zou deze erosie nog 10 jaar kunnen voortduren. (Elias & Bruens, 2012)

Bovenstaande theorie roept verschillende vragen op; blijft de cyclus, gebaseerd op historische data, in stand? Zal de Boschplaat in de nabije toekomst een natuurlijke groei doormaken? De meest typerende vraag die in vrijwel ieder onderzoek naar voren komt, is de volgende: gaat het huidige Boschgat verzanden? Een positief antwoord zou wijzen op de eerste tekenen van een volgende fase binnen de cyclus, die gevolgd wordt door een oostwaartse groei van de Boschplaat.

Een verdere analyse van deze veranderingen zou ondersteund kunnen worden door het bepalen van volumeveranderingen (sedimentatie en erosie, patronen en omvang) per tijdseenheid (Elias, van der Spek, Wang, & de Ronde, 2012). Op die manier kan op verschillende schaalniveaus het gedrag van de onderdelen van het systeem Amelanders Zeegat bepaald worden. Het bepalen van deze veranderingen moet op een kleiner schaalniveau plaatsvinden dan voorheen

gebeurde. Voorheen werd de binnen- en buitendelta als kleinste gebied beschouwd. De morfologisch samenhangende gebieden als geulen en platen moeten allen als separate eenheden worden beschouwd. Uit de dynamiek van deze eenheden kan mogelijk een trend worden gehaald die vervolgens een voorspelling voor de toekomst kan geven.



**FIGUUR 1: MORFOLOGISCH SAMENHANGENDE GEBIEDEN AMELANDER ZEEGAT (ELIAS & BRUENS, 2012)**

### 1.1. DOELSTELLING

Een methode ontwikkelen voor het bepalen van volumeveranderingen van morfologisch samenhangende gebieden voor het Amelanders Zeegat/Boschplaat en het interpreteren van deze volumeveranderingen samen met morfologische experts.

### 1.2. ONDERZOEKSVRAGEN

De onderzoeksvragen zijn gericht op de ontwikkeling van methodes voor het berekenen van

volumeveranderingen per eenheid en het interpreteren van de gevonden veranderingen. De eenheid wisselt per methode.

De eerste vraag is een praktische oriënterende vraag.

1. *Op welke wijze kunnen de volumeveranderingen bepaald worden?*

Er zijn een aantal methodes beschikbaar, daarnaast is het van belang om een nieuwe methode te ontwikkelen. De volgende methodes met betrekking tot volumeberekeningen gaan onderzocht worden:

- 1.1 *Volumeveranderingen door middel van geaggregeerde rasters.*
- 1.2 *Oppervlakteveranderingen door middel van hoogte intervallen met als basis contourkaarten.*
- 1.3 *Volumeveranderingen door middel van sedimentatie- en erosiepolygonen op verschilkaarten.*
- 1.4 *Volumeveranderingen door middel van polygonen om morfologisch samenhangende gebieden.*
- 1.5 *Een combinatie tussen bovenstaande methodes.*

De te ontwikkelen methodes zijn een middel om de veranderingen van de bathymetrie te beschrijven, te verklaren en eventueel te voorspellen.

2. *Welke morfologische veranderingen hebben plaatsgevonden en gaan plaatsvinden in het Amelandse Zeegat?*

Een bijkomende vraag is de volgende:

- 2.1 *Welke samenhang hebben de veranderingen van de morfologische eenheden als platen en geulen?*

De twee laatstgenoemde methodes bij deelvraag 1 brengen de volgende onderzoeksvraag met zich mee:

3. *Op welke wijze kunnen de morfologisch samenhangende gebieden op basis van bathymetrische data (automatisch) worden onderscheiden?*

Als vervolg op het voorgaande, zou een goede ontwikkeling zijn dat de morfologisch samenhangende gebieden op verschillende tijdstippen gekenmerkt en gekoppeld kunnen worden aan hetzelfde gebied in een eerder of later tijdstip. Dit is nodig om deelvraag 1.4 en eventueel 1.5 verder uit te werken, deze onderdelen hebben dan ook een wisselwerking met elkaar. Met beantwoording op de volgende vraag zouden bewegingen van morfologisch samenhangende gebieden of een cyclus van de morfologie ter plaatse geïnterpreteerd kunnen worden:

4. *Hoe kan (vorm- en plaatsverandering meegenomen) de verandering van de morfologisch samenhangende gebieden gekenmerkt worden en gevolgd worden*

*door de tijd?*

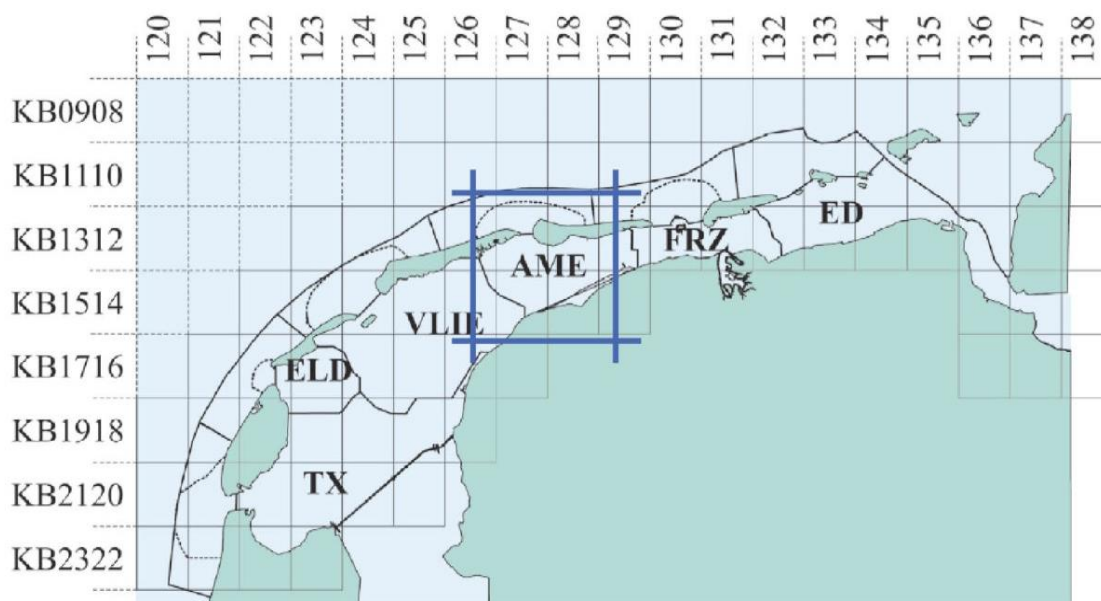
De data analyse is een middel om een verklaring te geven voor de beweging van morfologisch samenhangende gebieden. Het is van belang dat de te ontwikkelen methodes ook van voorspellende waarde zijn:

5. *Welke, uit de kwantitatieve analyse volgende informatie, kan gebruikt worden om een voorspelling van de toekomstige dynamiek ter plaatse te ondersteunen?*

### 1.3. AFBAKENING

Ten behoeve van het onderzoek wordt alleen de binnen- en buitendelta van het Amelanders zeeget bekeken (figuur 2) tussen Ameland en Terschelling.

Geografisch meer specifiek wordt de omgeving van het Amelanders Zeeget onderzocht waarin kaartblad 1312\_127 centraal ligt (figuur 2). Tussen 1970 en 2011 is data uit verschillende bronnen beschikbaar, waaruit het te beschouwen gebied samengesteld kan worden. Een samengestelde dataset bestaat uit data van één jaar. De data wordt samengesteld uit Vaklodingen en Jarkus - grids (Jaarlijkse kustmetingen).



FIGUUR 2: OVERZICHT VAN DE VAKLODINGEN, BINNEN- EN BUITENDELTA (ELIAS ET. AL., 2012)

### 1.4. DATA

De basis van de beschikbare data zijn de vaklodingen aangevuld met Jarkus - grids. Van de volgende jaren zijn er vaklodingen beschikbaar:

- 1971
- 1975
- 1981
- 1989
- 1993

- 1996
- 1999
- 2002
- 2004
- 2008
- 2011

Bovengenoemde data zijn voor de volledigheid aangevuld met Jarkus - grids uit hetzelfde jaar. Dit geeft echter geen garantie op een volledige dekking, vandaar dat er een subset geselecteerd is uit deze data. De subset behelst wel het gehele gebied, maar heeft alsnog geen eenduidige grenzen. De subset bestaat uit de volgende jaren:

- 1971
- 1975
- 1981
- 1989
- 1999
- 2011

De analyse van de Boschplaat geschiedt voor de volledigheid eveneens met een subset, deze verschilt enigszins van de bovenstaande subset. Het jaar 2011 wordt in deze set niet meegenomen, het jaar 2004 wordt wel meegenomen, vanwege het meer complete beeld dat dit jaar laat zien specifiek voor de Boschplaat.

### 1.5. METHODES

De volgende methodes en een combinatie van deze methodes wordt/worden gebruikt om de volume- of oppervlakteveranderingen van het afgebakende gebied te bepalen:

- Volumeveranderingen door middel van geaggregeerde rasters.
- Oppervlakteveranderingen door middel van hoogte intervallen met als basis contourkaarten.
- Volumeveranderingen door middel van sedimentatie- en erosiepolygonen op verschilkaarten.
- Volumeveranderingen door middel van polygonen om morfologisch samenhangende gebieden.

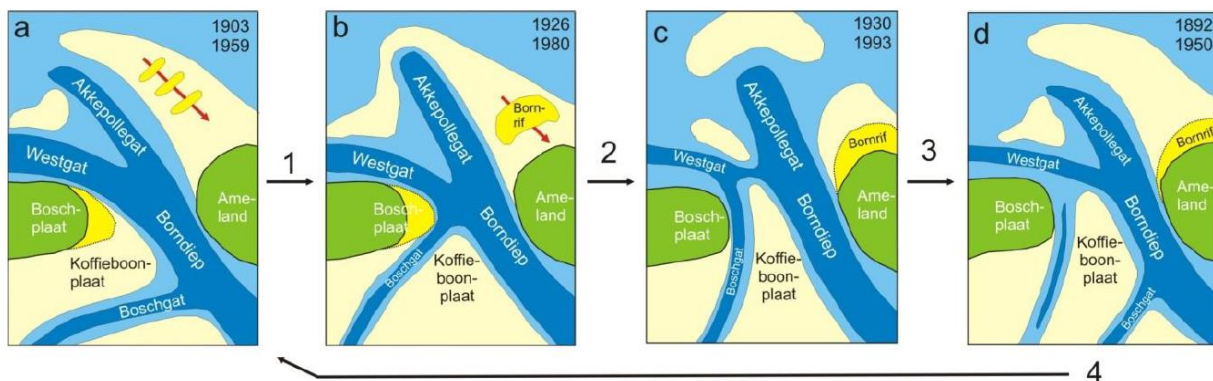
Door middel van bovenstaande methodes kan het gedrag van de onderdelen van het Amelandse Zeegat bepaald worden. Hieronder vallen ook de verschillende morfologisch samenhangende gebieden. Middels deze methodes worden de onderzoeksresultaten gepresenteerd. Hieruit volgen de belangrijkste conclusies en volgen aanbevelingen met betrekking tot de methodes.

## 2. THEORETISCH KADER

De Boschplaat, te zien in figuur 1, heeft een nauwe samenhang met het Boschgat. Indien het Boschgat verdwijnt tussen de Boschplaat en de Koffieboonplaat, kan er een 'goed in het zand zittende' Boschplaat gevormd worden, aldus Israël en Dunsbergen (1998). De huidige morfologie in het zeegat duidt nog niet op deze ontwikkeling. Momenteel erodeert de Boschplaat en zou dit nog een kleine tien jaar kunnen voortduren, uitgaande van een 50 tot 60 jarige cyclus (gevormd middels historische data). Nader onderzoek naar het zeegat is noodzakelijk om meer inzicht te krijgen. (Elias & Bruens, 2012)

De Waddenzee is ontstaan in het Holoceen, 7000 jaar geleden. Onderwijl heeft het zijn bestaansrecht verworven door temperatuurveranderingen, klimaatveranderingen en stijging van de zeespiegel te "overleven" (Beets & Van der Spek, 1994). Dit natuurlijke systeem kan zichzelf in stand houden. In de laatste recente periode heeft de invloed van de mens impact gehad op dit natuurlijke systeem. Dit is gebeurd om het natuurlijke systeem in stand te houden, de vraag is echter of er dan nog sprake is van een natuurlijk systeem. (Elias et. al., 2012)

Zorgt het geografisch in stand houden van het systeem niet juist voor meer problemen met betrekking tot de zeespiegelstijging? Het Waddensysteem heeft verschillende zeespiegelstijgingen overleefd, toentertijd hadden de eilanden echter wel de mogelijkheid tot verplaatsen, eroderen en sedimenteren. Voor de toekomst kan geen absoluut beeld geschetst worden met betrekking tot welke onderdelen van het systeem het hoofd boven water kunnen houden en welke onderdelen verdrinken (Elias et. al., 2012).



FIGUUR 3A T/M 3D: CYCLICITEIT IN HET AMELANDER ZEEGAT (ISRAËL C. G., 1998)

Het Amelandse Zeegat waarin de Boschplaat zich bevindt wordt gekenmerkt door een cyclische ontwikkeling van 50 à 60 jaar (Van der Spek & Noorbergen, 1992; Israël, 1998; Cleveringa, Israel, & Dunsbergen, 2005; Chueng, Gerritsen, & Cleveringa, 2007), weergegeven in figuur 3A t/m 3D. Het model is een middel om de opgetreden veranderingen te verklaren en het geeft eveneens een basale hypothese voor de toekomstige veranderingen. Hierbij moet gewezen worden op de recente kunstmatige ontwikkelingen die mogelijk nog geen volledige invloed uit hebben kunnen oefenen op het systeem. Te denken valt aan de Deltawet, die sinds 1 januari 2012 van kracht is. Daarnaast is sinds de jaren '90 het dynamische kustbeheer van kracht, de kustlijn wordt gehandhaafd door

middel van suppleties (Löffler, Van der Spek, & Van Gelder-Maas, 2011).

In de eerste fase, weergegeven in figuur 3A, bestaat het systeem uit één geul. De Boschplaat zit hier 'ruim in het zand'. Dit systeem ontwikkelt zich geleidelijk tot een tweegeulensysteem, weergegeven in figuur 3B en figuur 3C. De Boschplaat wordt gedurende de ontwikkeling spitzer en wordt vervolgens afgebroken door de migratie van het Boschgat richting de Boschplaat. Figuur 3D laat de laatste fase van de cycliciteit zien. Hier wordt de tweede geul langzaam afgebroken, waardoor het systeem convergeert naar een ééngeulensysteem.

Thans bevindt het systeem zich in overgangsfase 4 (fase D), aldus Israël (1998). Dit was toentertijd een prognose voor het jaar 2010. Deze overgangsfase houdt in dat het 'oude' Boschgat in zijn geheel zou moeten verzanden. Het 'nieuwe' Boschgat ontwikkelt zich ten zuiden van de Koffieboonplaat. Deze geul mondt uit in het Borndiep, waardoor het ééngeulensysteem tot stand kan komen. De verzanding van het 'oude' Boschgat maakt een aansluiting van de Boschplaat en Koffieboonplaat mogelijk, met een oostwaartse groei van Terschelling als gevolg.

Op dit moment is er nog geen sprake van het verzanden van het Boschgat. Door de huidige aanwezigheid van de kortsluitgeultjes tussen het Westgat en het Boschgat, vindt er nog steeds erosie plaats van de Boschplaat. Ook op basis van het cyclische model zou het nog 10 jaar kunnen duren, voordat het Boschgat langzaam zal verzanden. De toekomstige ontwikkelingen van het Boschgat hoeven de cyclus echter niet te volgen, hiervoor zijn ook aanwijzingen. Veranderingen in het achterliggende kombergingsgebied kunnen als oorzaak worden aangewezen. Hier is op en rond het wantij achter Terschelling significante aanzanding opgetreden, verderop in dit rapport wordt hierop teruggekomen. (Elias & Bruens, 2012)

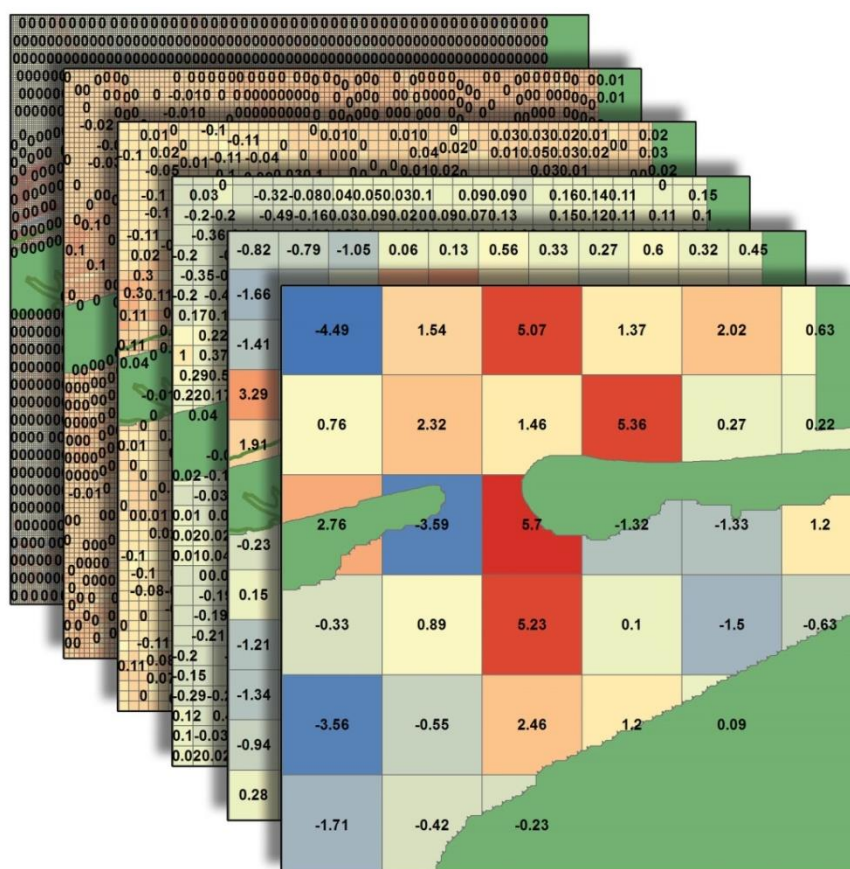
De toekomstige ontwikkelingen van het Amelanders Zeegat zijn vooralsnog niet volledig duidelijk. Sommige huidige ontwikkelingen lijken de theorie te volgen, andere ontwikkelingen spreken de theorie juist tegen. Daarnaast zou, indien men de theorie volgt, het Zeegat nu in een overgangsfase moeten zitten. Dit zorgt logischerwijze niet voor een absoluut beeld, waardoor niet naar één fase gerefereerd kan worden. De te ontwikkelen methodes kunnen als middel worden gebruikt om enige duidelijkheid te scheppen in de toekomstige ontwikkelingen.

### 3. ONDERZOEKSMETHODE

Er zijn verschillende methodes om hoogte-, oppervlakte- en volumeveranderingen van de kust en de zeebodem te bepalen. Achtereenvolgens zullen volumeveranderingen door middel van geaggregeerde rasters en oppervlakteverschillen middels hoogte intervallen worden toegepast op het Amelandse Zeegat. Elias et. al. (2012) gebruiken de hoogteverschillen tussen twee jaren in bepaalde gebieden om de hoogte- en volumeveranderingen te bepalen. Dit wordt gedaan voor de gehele Waddenzee, maar ook in de binnen- en buitendelta van verschillende zeegaten tussen twee Waddeneilanden. Deze methode wordt in paragraaf 3.3 behandeld. Vervolgens worden de volumeveranderingen van morfologische eenheden onderzocht en wordt een combinatie van de verschillende methodes uitgewerkt. Ten slotte worden de methodes vergeleken.

#### 3.1. VOLUMEVERANDERINGEN DOOR MIDDEL VAN GEAGGREGEERDE RASTERS

De 'ruwe' data bestaat uit een raster van 20 maal 20 meter, dit is te fijnmazig om te analyseren met betrekking tot het beheer van de eilanden, er kunnen geen kwantitatieve (uitgedrukt in getallen) en kwalitatieve volumeveranderingen (uitgedrukt in kleur) per cel worden weergegeven in de afbeelding. Een meer eenduidig beeld van samenhangende gebieden kan geschept worden door een grotere schaalgrootte te bekijken. De cellen geven in een vierkant raster het gemiddelde weer van de onderliggende ruwe data. De vierkante cellen zorgen voor eenvoudige calculaties, omdat er geen vormverandering is in vergelijking met de ruwe data. Daarnaast geven de vierkante cellen rechte



FIGUUR 4: VERSCHILLENDE FORMATEN GRIDS, VAN ONDER NAAR BOVEN: 100M, 250M, 500M, 1000M, 2500M, 5000M [VOLUME IN MIJLJOEN M<sup>3</sup>]

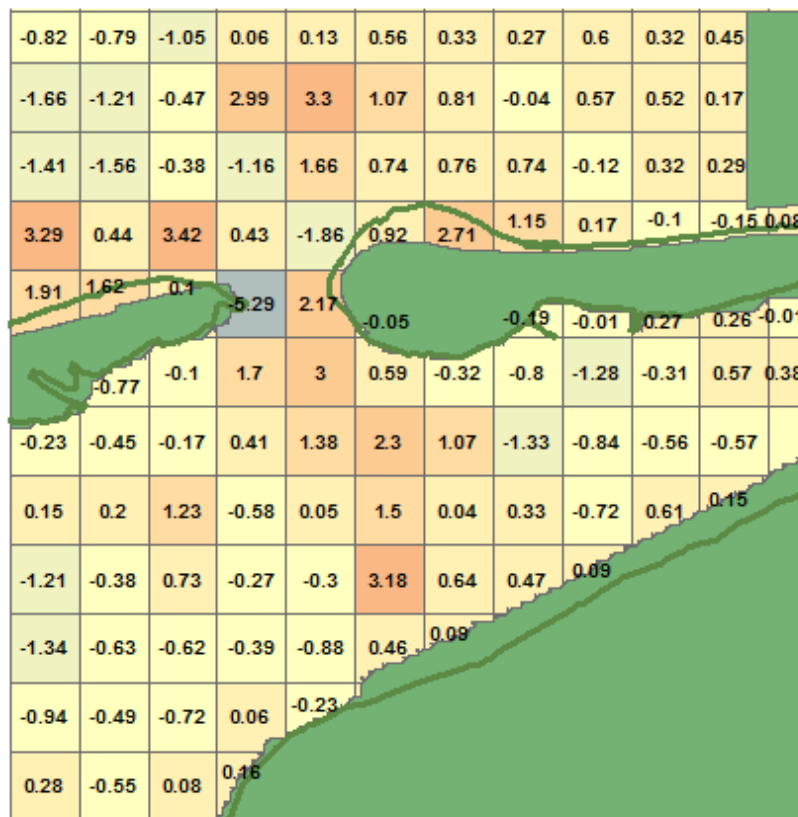
grenzen aan de rand van de beschikbare data. De keuze voor een bepaald resolutie niveau hangt nauw samen met de grootte van het presentatiemedium, daarnaast moet de hoeveelheid informatie te bevatten zijn voor degene die de afbeelding analyseert. Het hoogste resolutie niveau geeft een volumeverandering per pixel, in dit geval een verandering per 20 maal 20 meter, deze resolutie is niet te hanteren om het geheel inzichtelijk te krijgen. In figuur 4 is te zien dat het raster van 100 maal 100 meter te klein is om een kwantitatieve en kwalitatieve weergave van het Amelanders Zeegat af te beelden. De rasters van 250 maal 250 meter tot en met 1000 maal 1000 meter zijn te gedetailleerd voor een kwalitatieve weergave van de volumeveranderingen van het Amelanders Zeegat, een kwalitatieve (kleur) weergave is echter wel mogelijk. Het grootste raster (5000 maal 5000 meter), geeft een te kleine mate van detail.

In dit geval is gekozen voor een schaal van 2500 maal 2500 meter (figuur 5). Dit raster geeft de beheerders van de Boschplaat en van Ameland een kwalitatief en kwantitatief overzichtelijk beeld. De kleine veranderingen tussen twee verschillende verschiljaren zijn niet zichtbaar, maar de algemene tendens wordt duidelijk weergegeven. Ook kunnen specifieke cellen van verschillende verschilkaarten met elkaar vergeleken worden, zo kan er een stijgende of dalende volumeverandering worden ontdekt of een omslag van sedimentatie naar erosie en vice versa. In de bovenste afbeelding van figuur 5 is deze methode toegepast op het eerste beschikbare verschiljaar van de dataset (1975 min 1971). Het ArcGIS model van deze methode is terug te vinden in bijlage 9.1.

In het paper van Elias et. al. (2012) is gekozen voor een schaalniveau van de morfologische eenheden, hierin komen onder andere de bekkens, kust, et cetera naar voren. Evenals de gekozen schaalgrootte voor het gehele zeegat, is dit te hoog om een interactie van de Boschplaat met het Boschgat te beschrijven. Vandaar dat de Boschplaat op een kleinere schaalgrootte wordt weergegeven in figuur 6, er wordt dan ook een kleiner gebied weergegeven. Hier wordt een specifiek beeld geschetst, doordat er gekozen is voor een raster van 1000 maal 1000 meter. Door middel van deze resolutie kunnen de verschillende kustvakken geanalyseerd worden en ook vergeleken worden met het raster van het gehele zeegat. De resultaten van de methode, toegepast op het gebied rondom de Boschplaat corresponderen niet volledig met de analyse van het gehele gebied. De oorzaak hiervan ligt bij de verschillende groottes van aggregatie en de gebieden die vervolgens in de cellen worden meegenomen. Voor het in beeld brengen van de data is de subset voor de Boschplaat gebruikt. De analyse over de gehele subdataset wordt weergegeven in

Bijlage 2; Verschilkaarten Geaggregeerde rasters Amelanders Zeegat en in Bijlage 3; Geaggregeerde rasters Boschplaat voor de Boschplaat

Bovenstaande methode kan geen bijdrage leveren aan een specifieke analyse van sedimentatie en erosie van morfologisch samenhangende gebieden als zandplaten en geulen. Dit zou wel mogelijk zijn in combinatie met de methode om sedimentatie en erosie in kaart te brengen (paragraaf 3.3), maar dan met een niet handmatige selectie van morfologisch samenhangende gebieden. Hier wordt dieper op ingegaan in paragraaf 3.5.



FIGUUR 5: VOLUME RASTER, 2500 MAAL 2500 METER, 1975 MINUS 1971. IN MILJOEN M<sup>3</sup>

### Legenda

No data

Kustlijn

### Volume maal miljoen [m<sup>3</sup>]

< -12.00

-11.99 - -11.00

-10.99 - -10.00

-9.99 - -9.00

-8.99 - -8.00

-7.99 - -7.00

-6.99 - -6.00

-5.99 - -5.00

-4.99 - -4.00

-3.99 - -3.00

-2.99 - -2.00

-1.99 - -1.00

-0.99 - 0.00

0.01 - 1.00

1.01 - 2.00

2.01 - 3.00

3.01 - 4.00

4.01 - 5.00

5.01 - 6.00

6.01 - 7.00

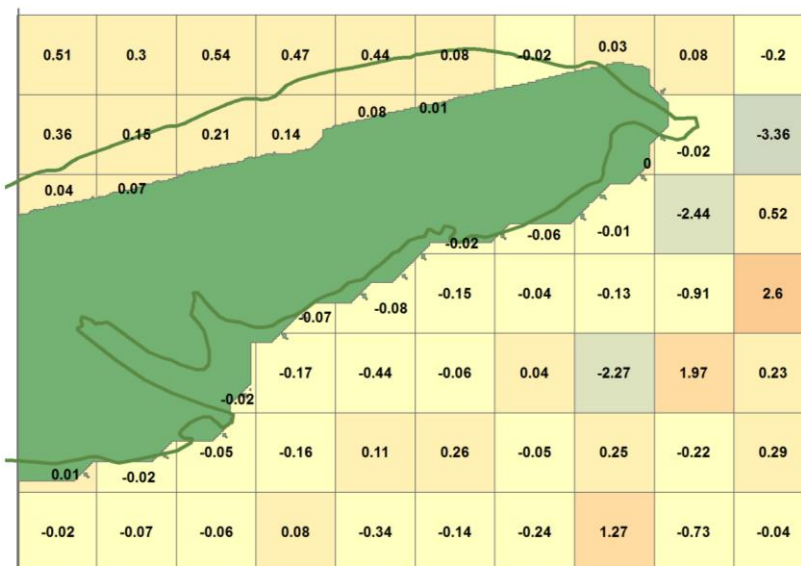
7.01 - 8.00

8.01 - 9.00

9.01 - 10.00

10.01 - 11.00

11.01 - <



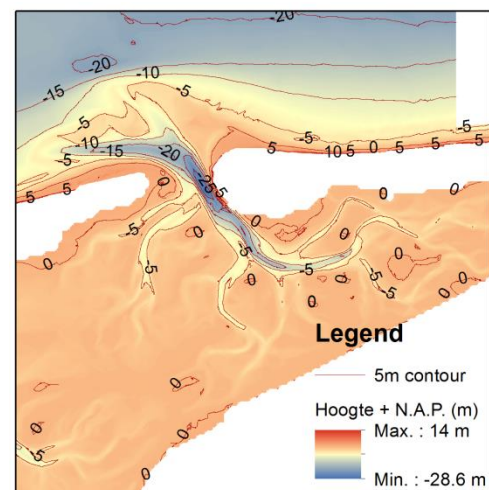
FIGUUR 6: VOLUME RASTER BOSCHPLAAT, 1000 MAAL 1000 METER, 1975 MINUS 1971. IN MILJOEN M<sup>3</sup>

### 3.2. OPPERVLAKTEVERSCHIL MIDDELS HOOGTE INTERVALLEN

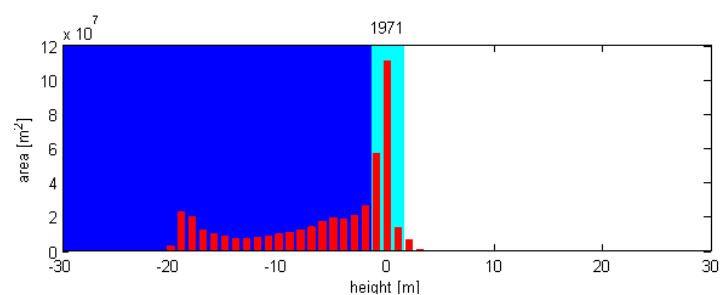
Door middel van contourlijnen op hoogtekaarten van een specifiek jaar (figuur 7), kan het oppervlak per hoogte interval bepaald worden. De oppervlaktes per interval zijn (niet – cumulatief) geplot in figuur 8, hier wordt het jaar 1971 weergegeven. Het histogram in figuur 9 geeft de oppervlaktetoename en -afname per interval voor het verschil tussen opeenvolgende jaren weer, in dit geval van het jaar 2004 ten opzichte van 1999. Ten slotte geeft het histogram in figuur 10 het oppervlakteverschil per interval ten opzichte van basisjaar 1971 weer, in dit geval 1999 ten opzichte van het basisjaar. Bij de calculaties waarin twee jaren voorkomen is alleen het gebied meegenomen waarvan in beide jaren data van beschikbaar is. Dit maakt een eerlijke vergelijking mogelijk. De gebruikte gebieden worden weergegeven in bijlage 9.4.

De verschillende histogrammen geven een bathymetrische karakteristiek van een bepaald jaar of een bepaald verschiljaar weer. De blauwe banden geven de typische dieptes van de geulen en zandplaten in het Amelanders Zeegat weer. De geulen bevinden zich lager dan één meter onder N.A.P., gebaseerd op de referentiewaarden waterstanden van Rijkswaterstaat. Het laag water bij gemiddeld tij bevindt zich voor Terschelling tussen -1 en -2 meter (Rijkswaterstaat, 1991). Dit wordt weergegeven door de blauwe verticale band in de histogrammen. De zandplaten bevinden zich tussen één meter onder en 2 meter boven N.A.P., weergegeven door de cyaankleurige band. In figuur 10 is te zien dat er een groei is geweest van het oppervlak zandplaten ten opzichte van basisjaar 1971. Het verschil in oppervlak van geulen laat geen duidelijke trend zien, evenals in figuur 9. De histogrammen van de andere jaren in de dataset worden weergegeven in bijlage 9.5.

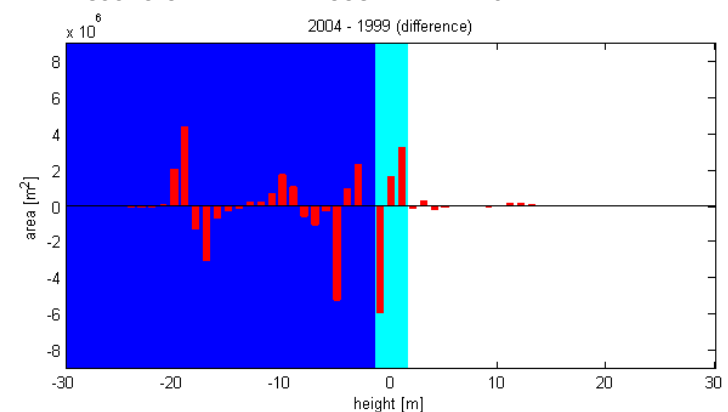
Het script waaruit de histogrammen voortvloeien, is beschikbaar in Matlab.



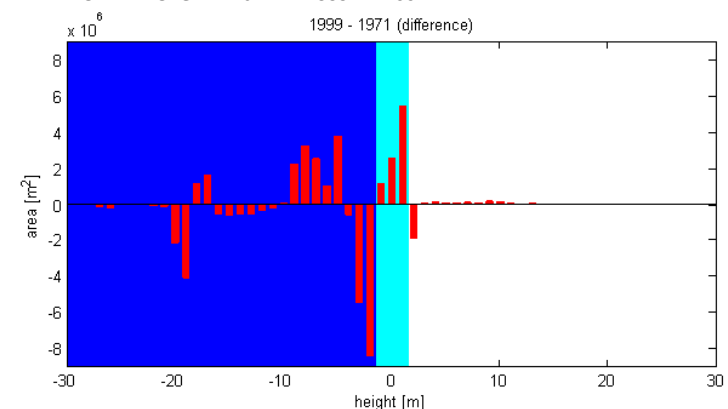
FIGUUR 7: CONTOURLIJNEN (5M) OP HOOGTEKAART 1971



FIGUUR 8: OPPERVLAK PER HOOGTEINTERVAL 1971



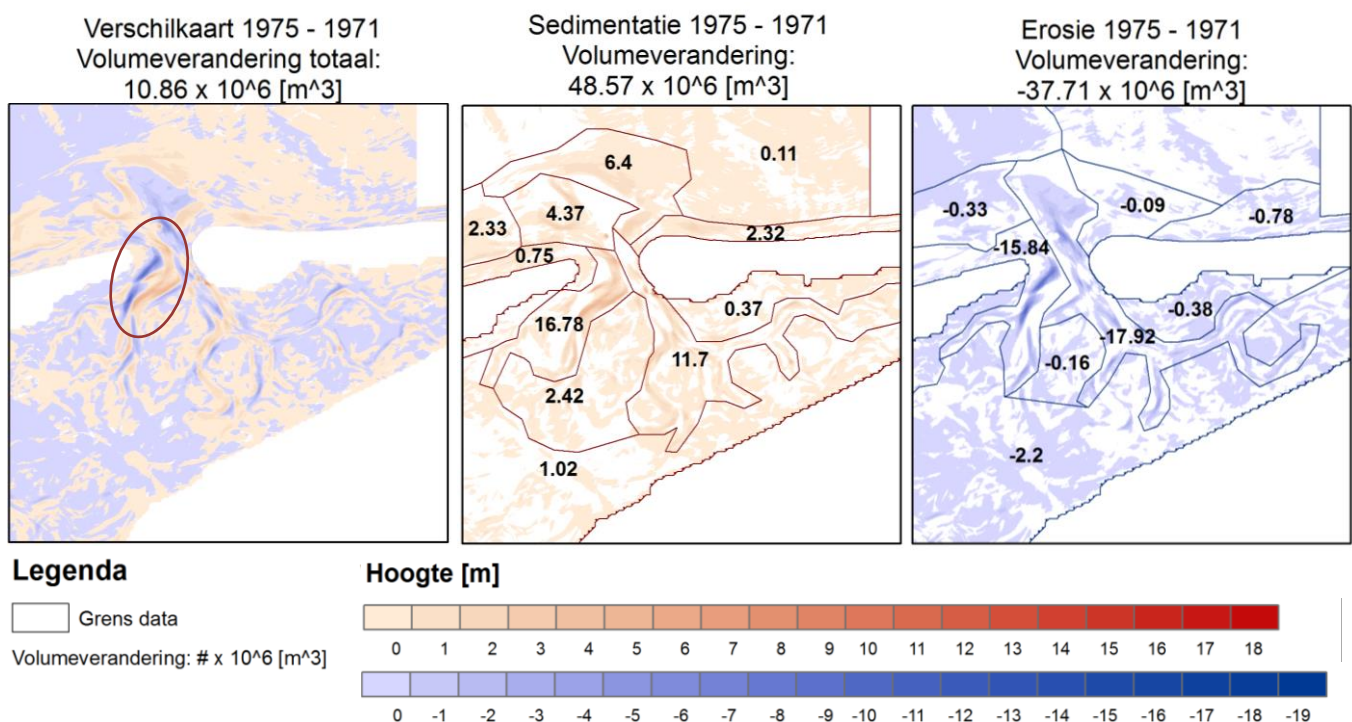
FIGUUR 9: OPPERVLAKTEVERSCHIL PER HOOGTE INTERVAL, OPEÉNVOLGENDE JAREN 1999 EN 2004



FIGUUR 10: OPPERVLAKTEVERSCHIL PER HOOGTE INTERVAL, 1999 T.O.V. BASISJAAR 1971

### 3.3. VOLUMEVERANDERINGEN AAN DE HAND VAN POLYGONEN OP VERSCHILKAARTEN

De verschilkaarten (figuur 11) geven een realistisch beeld weer van de gebieden waar sedimentatie en erosie optreedt. Dit wordt in onderstaande figuur 11 weergegeven voor de volumeveranderingen tussen 1975 en 1971. De verschilkaarten van het overige deel van de dataset worden weergegeven in bijlage 9.7, hier worden de opeenvolgende jaren gepresenteerd en het totaalverschil tussen 1971 en 2011. Deze kaarten worden opgesteld aan de hand van de ruwe data, voor ieder data punt (20 maal 20 meter) wordt het volumeverschil tussen twee jaren berekend. Dit geeft een visuele weergave van de toename of afname van sediment, in meters hoogteverschil tussen de betreffende jaren. Een gebied waar sedimentatie optreedt en een naastliggend gebied waar erosie optreedt, kunnen gezamenlijk een verplaatsing van een morfologische eenheid weergeven. Hierbij wordt aangenomen dat dicht bij elkaar liggende gebieden meer samenhang hebben dan verder uit elkaar gelegen gebieden. Het rood omlijnde gebied op de linkerkaart in figuur 11, geeft globaal de locatie van het Boschgat weer. Hier zijn een gebied van sedimentatie en een gebied van erosie aanwezig. Het roodgekleurde gebied (sedimentatie) geeft het verzanden van het oorspronkelijke Boschgat binnen deze tijdshorizon weer. Het blauwgekleurde gebied (erosie) geeft het insnijden van de meeste recente locatie van het Boschgat binnen deze tijdshorizon weer. Deze gebieden gezamenlijk geven dus een westwaartse verschuiving van het Boschgat aan. Een kanttekening die gemaakt moet worden, is de volgende: indien morfologische eenheden in tegengestelde richting schuiven, ontstaat tussen deze twee eenheden een gebied dat lastig te verklaren is en niet eenduidig toegewezen kan worden aan één eenheid.



FIGUUR 11: VERSCHILKAARTEN SEDIMENTATIE EN EROSIE 1975 - 1971

De bijpassende kwalitatieve volumeveranderingen per data punt kunnen niet worden weergegeven, vanwege de hoeveelheid data. Vandaar dat de morfologisch samenhangende gebieden geselecteerd zijn, door met de hand in ArcGIS polygonen te tekenen. Binnen deze polygonen wordt het volumeverschil berekend en weergegeven.

Deze methode kan gebruikt worden ter analyse, echter kleven er een aantal nadelen aan: de selectie van polygonen is arbeidsintensief en het kan niet geautomatiseerd worden. Daarnaast zijn er verschillende interpretaties mogelijk, dit kan discussie oproepen. Door middel van een combinatie van de geaggregeerde raster methode, de methode: volumeverandering van morfologische eenheden en deze methode, kunnen er op niet arbitraire wijze volumeberekeningen worden uitgevoerd ten aanzien van sedimentatie en erosie van morfologisch samenhangende gebieden. Deze methode wordt verder toegelicht in paragraaf 3.5.

### 3.4. VOLUMEVERANDERINGEN VAN MORFOLOGISCHE EENHEDEN

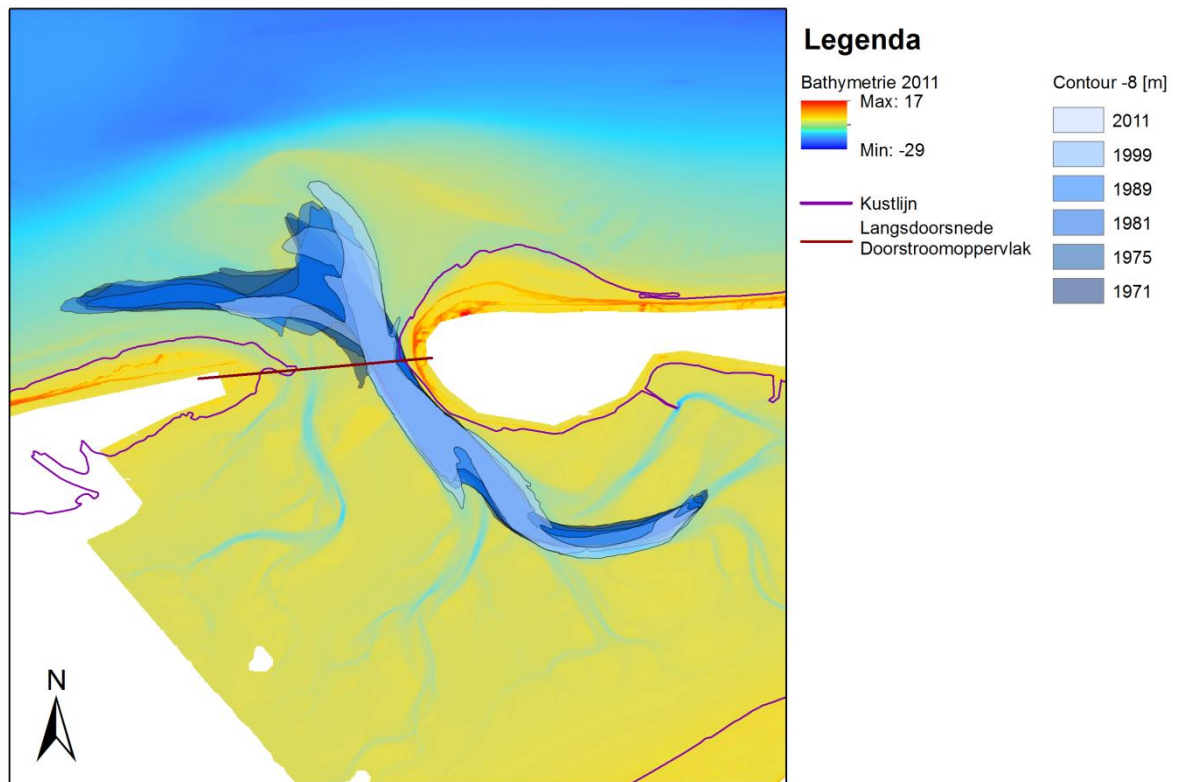
Deze methode laat de volumeverandering per morfologisch samenhangend gebied zien met de bathymetrie als achtergrondkaart. Dit geeft een overzicht van een mogelijke trend in de binnen- en buitendelta. Over een langere periode zullen bepaalde morfologische samenhangende gebieden ontstaan en verdwijnen, volgens Elias & Bruens (2012) verandert het systeem van een één- naar een tweegeulensysteem. Deze trend heeft zich inmiddels tweemaal laten zien over de afgelopen 100 tot 120 jaar (Elias & Bruens, 2012).

Het gedrag van verschillende morfologisch samenhangende gebieden kan door middel van deze methode zichtbaar worden gemaakt. De gebieden worden geselecteerd met behulp van contourlijnen. Uitgaande van een startjaar, in dit geval 1971, wordt een contourlijn op een bepaalde hoogte als uitgangspunt genomen. Dit zorgt voor een niet arbitraire selectie van geulen en zandplaten, een selectie waar handwerk van uitgesloten is. Indien één specifiek jaar niet voldoende data bezit voor de contourlijn die in de andere jaren wel voorkomt, kan er gekozen worden voor een andere contourlijn. Daarnaast kan er gekozen worden om dit specifieke jaar niet mee te nemen in de analyse. Indien een bepaalde contourlijn niet sluitend is, bijvoorbeeld het Boschgat, kan er gekozen worden om op een bepaald punt arbitrair een grens te trekken. Hier wordt later in deze paragraaf op teruggekomen. Het gemiddelde volume ten opzichte van de desbetreffende contourlijn kan bepaald worden per jaar, indien data beschikbaar is. Daarnaast kan er gekeken worden naar het volumeverschil over de jaren heen. Het stappenplan met betrekking tot deze methode is terug te vinden in bijlage 9.8.

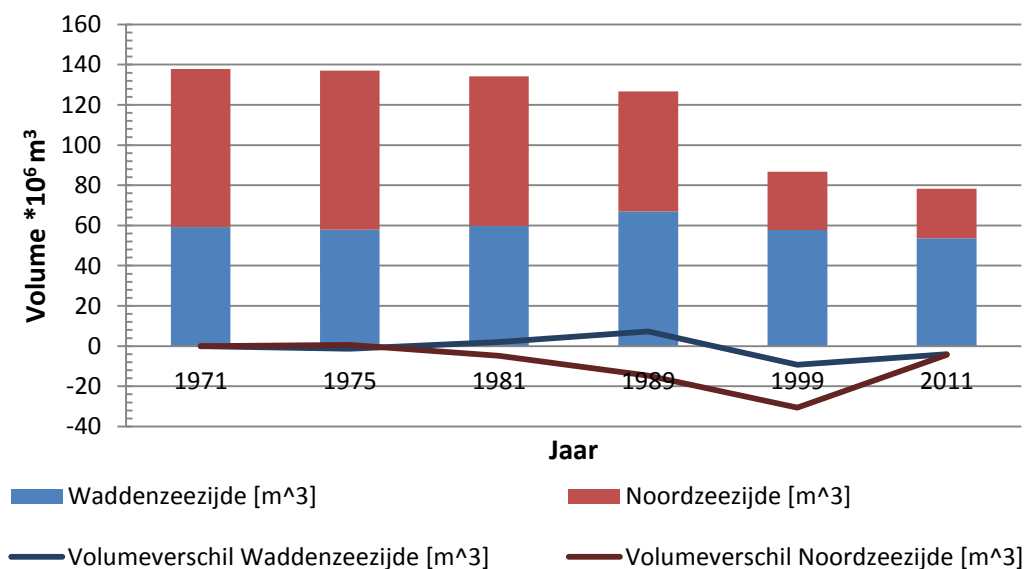
De methode is toegepast op het Akkepollegat in combinatie met het Borndiep, daarnaast is de methode toegepast op het Boschgat en de Boschplaat. In de berekening is een onderscheid gemaakt tussen de binnen- en buitendelta, de grens hiertussen wordt gevormd door een denkbeeldige lijn tussen de twee uiterste punten van de beide eilanden. In figuur 12 is de -8 meter contour te zien voor de beschikbare jaren met betrekking tot het Akkepollegat en het Borndiep, de polygonen zijn opgedeeld in de Noordzee zijde en de Waddenzee zijde. De selectie van de geul wordt gedaan aan de hand van de contourlijn -8 (meter), dit is de meest ondiep sluitende contourlijn voor het Akkepollegat en Borndiep over alle jaren in de dataset. In figuur 13 zijn de bijbehorende volumes

terug te vinden, berekend aan de hand van deze methode. Dit laat ook meteen het nadeel van deze methode zien, de minimale diepte van de geulen in het Amelandse Zeegat zijn in dit geval ongeveer -1 meter (Rijkswaterstaat, 1991). Het ondiepe deel van deze geul kan hier niet beschouwd worden.

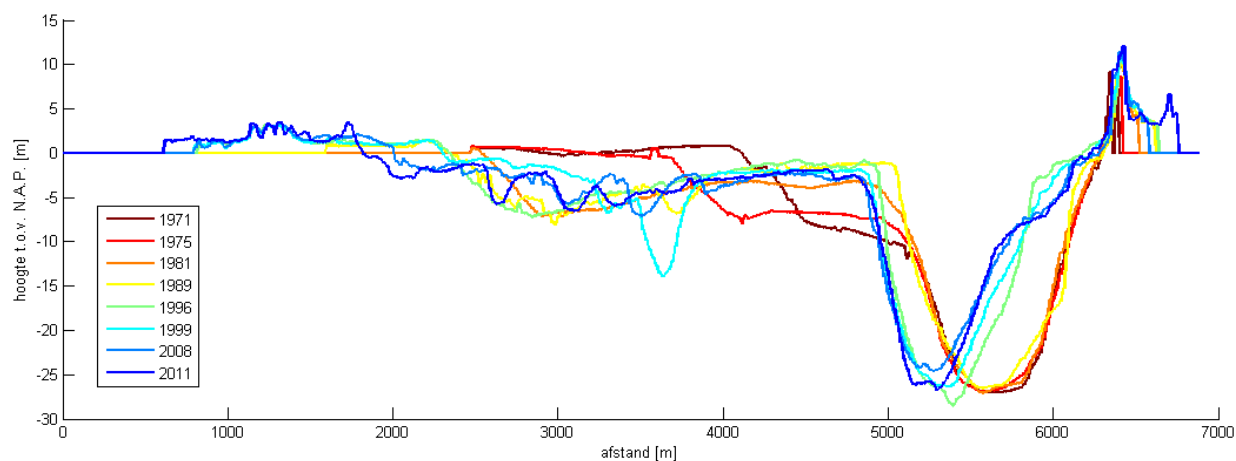
### Beweging Akkepollegat en Borndiep



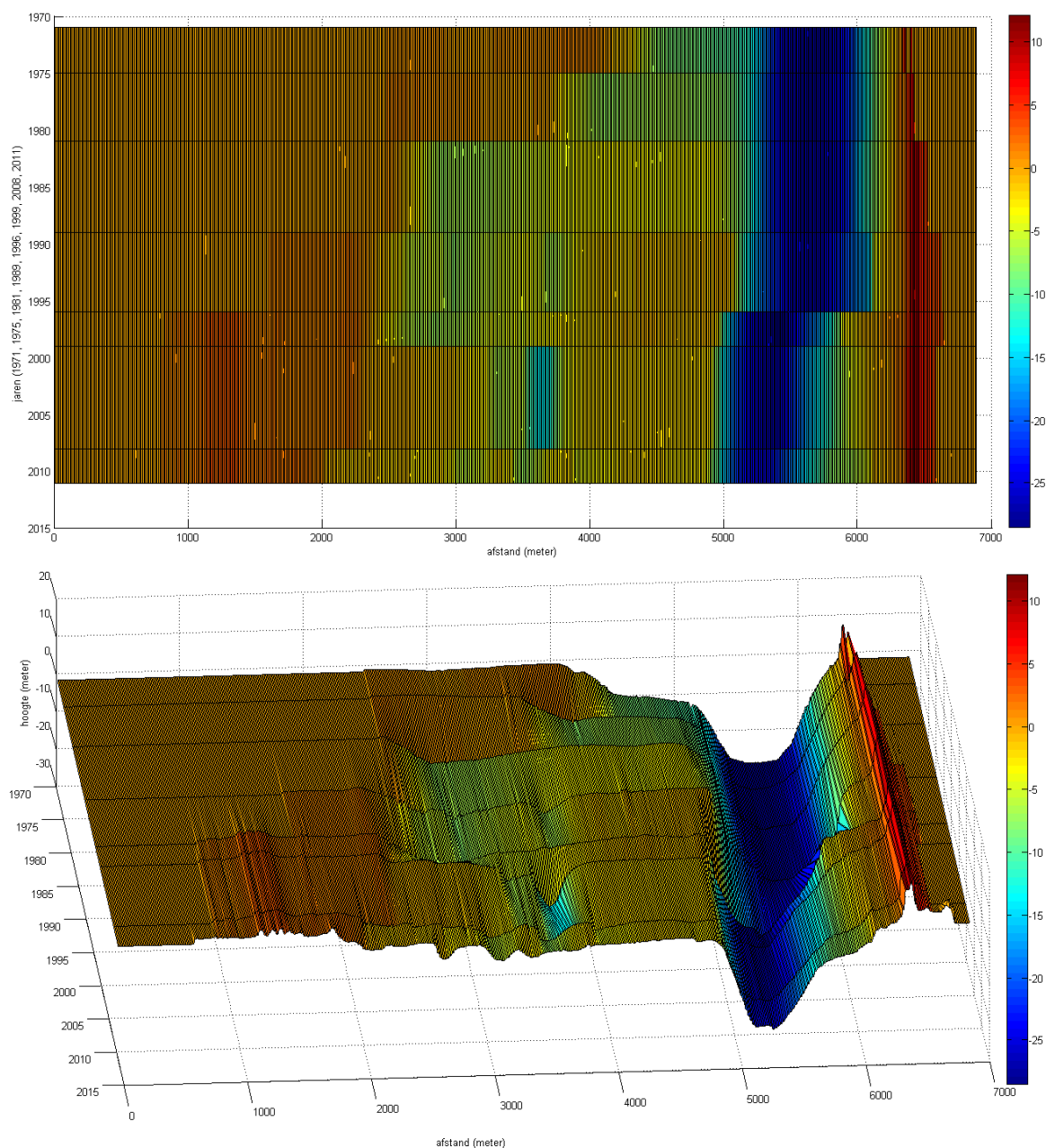
FIGUUR 12: VORM- EN PLAATSVERANDERING VAN HET AKKEPOLLEGAT EN BORNDIEP



FIGUUR 13: VOLUME AKKEPOLLEGATE EN BORNDIEP MIDDELS CONTOURLIJN -8M



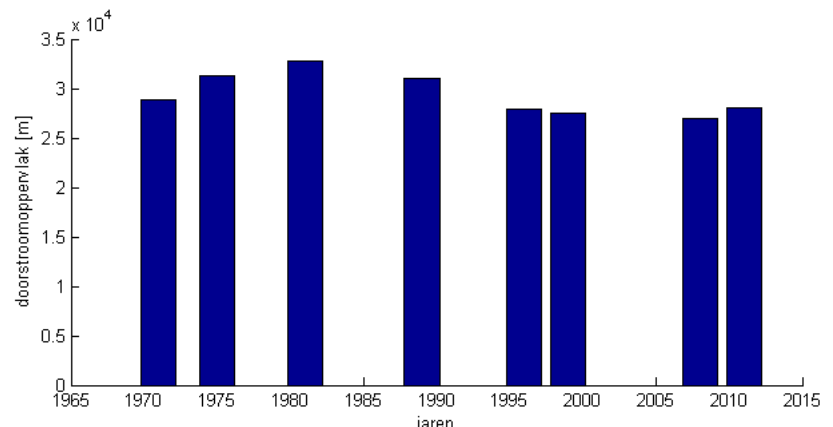
FIGUUR 14: DOORSTROOMOPPERVLAK AMELANDER ZEEGAT



FIGUUR 15: BOVENAANZICHT EN ISO-AANZICHT DOORSTROOMOPPERVLAK DOOR DE JAREN

Het Akkepollegat en het Borndiep zijn ook geanalyseerd met de contourlijn op hoogte -17 meter als basis. In combinatie met de eerdere berekening voor dit gebied, kunnen conclusies getrokken worden ten aanzien van de doorsnede van de geul. De geul kan namelijk op een bepaalde diepte breder worden, indien de geul in hetzelfde jaar ondieper wordt, kan de inhoud alsnog afnemen. Dit is eveneens te controleren met de grafieken in figuur 14, figuur 15 en figuur 16. Hier wordt de doorsnede van het Amelanders zeegat weergegeven op verschillende wijzen. In figuur 12 wordt de locatie van de doorsnede weergegeven door middel van de rode lijn. Tussen het jaar 1989 en 1996 vindt er een opmerkelijke verschuiving plaats. Deze verschuiving wordt uitvoerig bediscussieerd in hoofdstuk 5 Discussie.

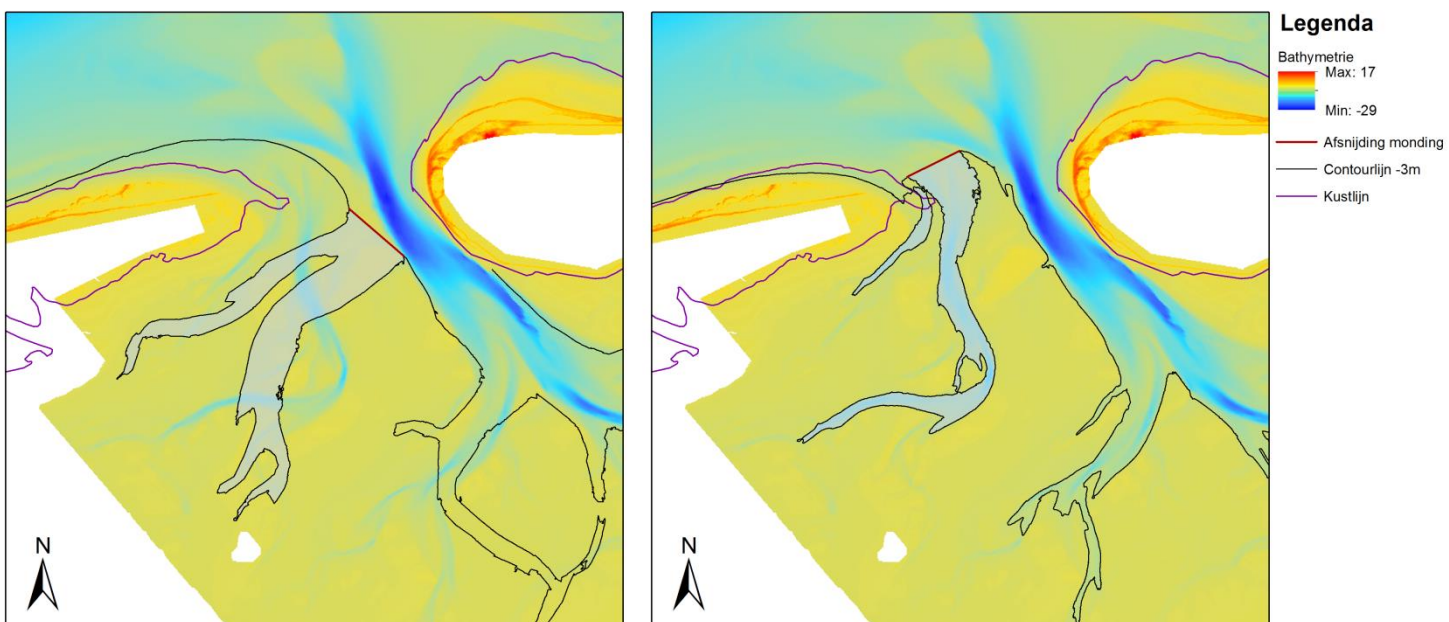
De methode heeft enige beperkingen die op te merken zijn bij de analyse van de Boschplaat en de analyse van het Boschgat. De Boschplaat heeft qua data geen volledige dekking, de polygonen worden aan de binnenzijde afgesneden door een gebied met 'no data'. Het Boschgat heeft daarentegen wel voldoende data beschikbaar, echter is dit geen volledig afgesloten geul. Er is gekozen om de monding van de geul als 'arbitraire' locatie van afsnijden te kiezen (figuur 17). Wel is er een onderscheid gemaakt tussen de Waddenzee zijde en de Noordzee zijde, de analyse is in dit geval voornamelijk van toepassing op de Waddenzee zijde, als te zien in onderstaande figuur (figuur 17). De berekeningen en afbeeldingen met betrekking tot de genoemde morfologisch samenhangende gebieden zijn terug te vinden in bijlage 9.9.



**FIGUUR 16: DOORSTROOMOPPERVLAK AMELANDER ZEEGAT GEBASEERD OP DWARSDOORSNEDE VAN FIGUUR 14**

Boschgat 1971

Boschgat 2011

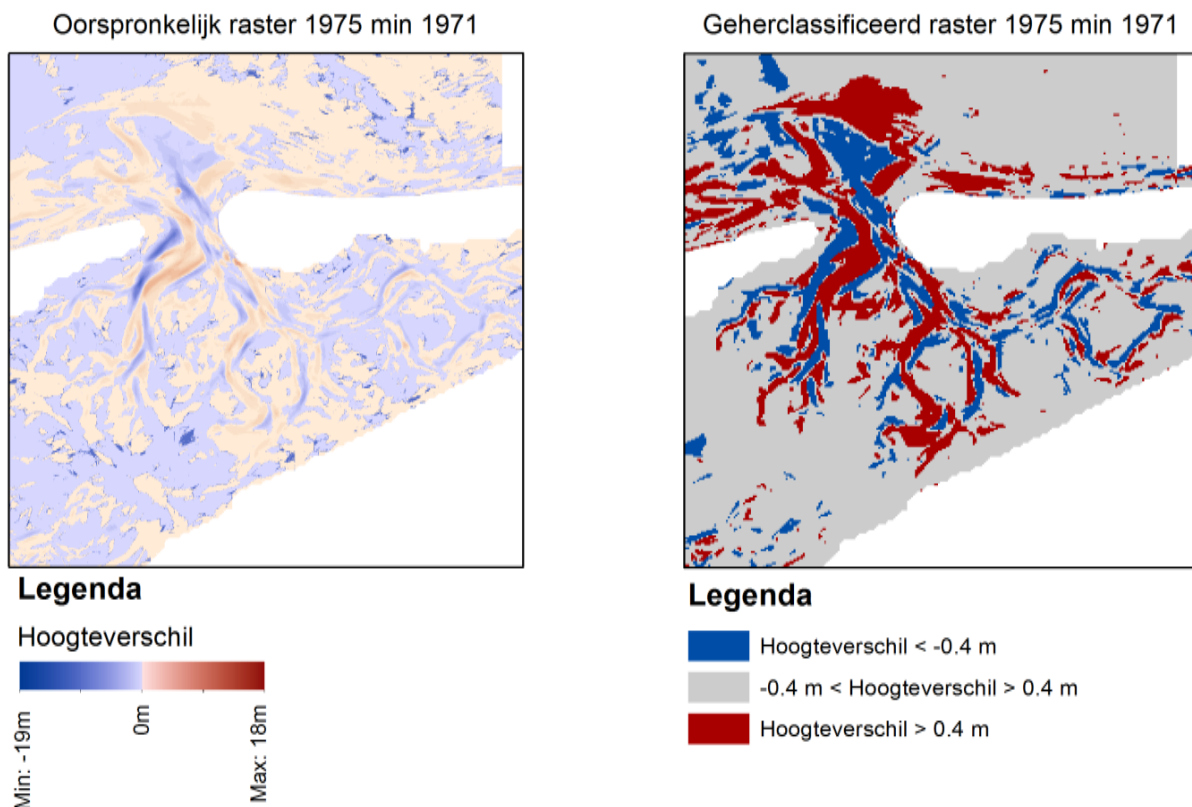


**FIGUUR 17: WIJZE VAN AFSNIJDEN BOSCHGAT**

### 3.5. COMBINATIE METHODE ÉÉN, DRIE EN VIER.

Met behulp van deze methode worden de methode met geaggregeerde rasters, de methode met verschilkaarten en de methode met polygonen rondom morfologische eenheden gecombineerd. De methodes worden geautomatiseerd en er ontstaat rondom alle morfologisch samenhangende gebieden een niet arbitrair ontwikkelde polygoon.

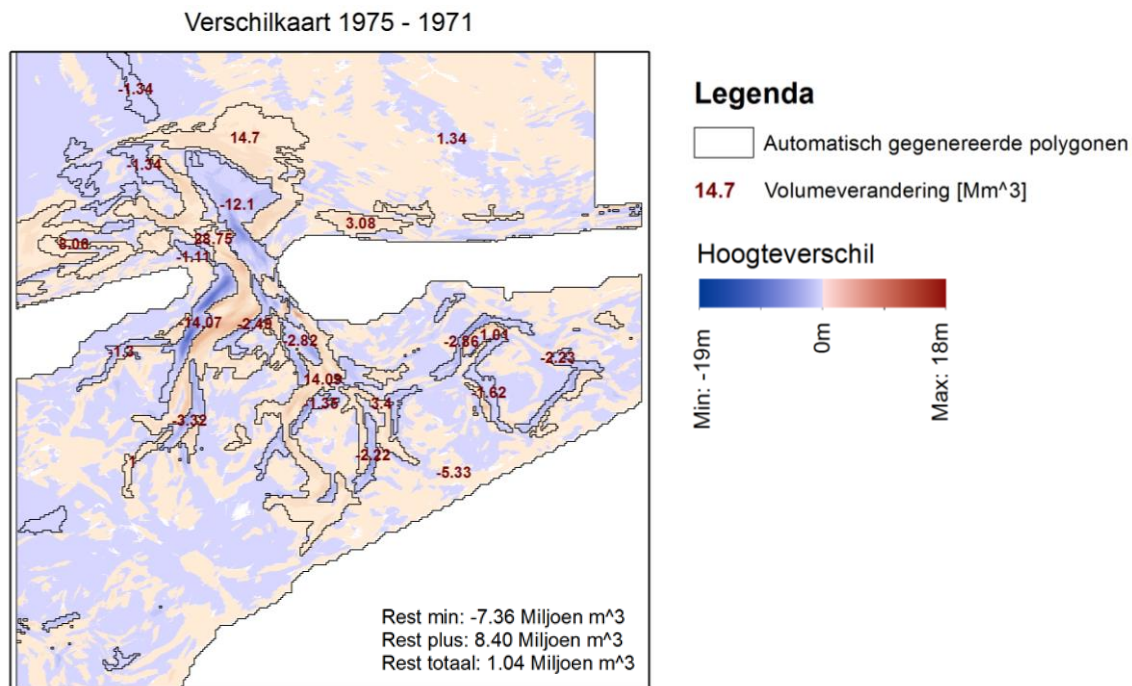
Deze methode maakt gebruik van een geaggregeerd raster uit de eerste methode. Door middel van aggregatie van de hoogteverschillen, ontstaat er een beeld met een lagere resolutie. Er kan gekozen worden voor verschillende aggregatieniveaus, afhankelijk van het te beschouwen gebied. Dit maakt een duidelijkere scheiding mogelijk tussen verschillende samenhangende gebieden. Vervolgens wordt het raster onderverdeeld in drie klassen, positieve hoogteverandering, negatieve hoogteverandering en een grensgebied. Dit grensgebied zorgt voor een duidelijke grens tussen positieve en negatieve veranderingen. In figuur 18 is deze herclassificatie te zien, in dit geval is er gekozen voor een raster van 100 maal 100 meter en een grensgebied dat loopt tussen -0,4 en 0,4 meter. Dit raster wordt geconverteerd naar polygonen.



FIGUUR 18: OORSPRONKELIJK NAAR GERECLASSIFICEERD RASTER

Ten slotte worden polygonen met een oppervlakte kleiner dan 500.000 m<sup>2</sup> geëlimineerd en opgenomen in de omringende of dichtstbijzijnde grote polygoon, om een overzichtelijk beeld te creëren. Een stappenplan van deze methode is terug te vinden in bijlage 9.10. Het resultaat van deze methode, voor het verschiljaar 1975 – 1971, wordt weergegeven in figuur 19, hierin zijn aan de hand van de gecreëerde polygonen en de oorspronkelijke data de volumeverschillen berekend. De

volumeverschillen worden weergegeven, mits het volumeverschil groter dan één miljoen of kleiner dan min één miljoen kubieke meter is. Hiervoor is gekozen ten behoeve van de overzichtelijkheid. De resultaten van alle verschiljaren zijn terug te vinden in bijlage 9.11.



FIGUUR 19: VERSCHILKAART COMBINATIEMETHODE

De verschilkaarten geven per polygoon een volumeverschil weer. Per verschiljaar geeft dit een beeld van de volumeveranderingen per morfologisch samenhangend gebied. In dit geval kunnen er dus meerdere geulen in één polygoon vallen. Niet iedere geul en/of zandplaat wordt separaat meegenomen, vanwege de automatische selectie. Vandaar dat de resultaten in dit geval lastig met elkaar vergeleken kunnen worden op het niveau van separate geulen en platen door de beschouwde jaren heen. In paragraaf 3.3 Volumeveranderingen aan de hand van polygoenen op verschilkaarten, geven de polygoenen evenals bij deze methode de volumeverandering weer. Echter vertonen de polygoenen in deze kaarten meer samenhang, de morfologisch samenhangende gebieden worden preciezer omsloten. Gebieden met sedimentatie en erosie kunnen dus beter onderscheiden worden.

### 3.6. VERGELIJKING VAN DE METHODES

De methodes zijn stuk voor stuk nodig voor een zo compleet mogelijke analyse. De toepassing en waarde per methode verschilt echter wel, vandaar dat onderzocht is welke functies de verschillende methodes kunnen vervullen, dit wordt weergegeven in tabel 1. Hierbij is gekeken naar de volgende onderdelen:

#### 1. Volumeveranderingen weergeven

De doelstelling is methodes ontwikkelen om volumeveranderingen te bepalen. Echter is er ook een methode ontwikkeld (oppervlakteverandering door middel van hoogte intervallen) die de analyse van het gebied ondersteund met behulp van oppervlakteverandering.

2. Resultaten ruimtelijk weergeven  
Voor een duidelijk overzicht is een ruimtelijke weergave van belang, dit maakt een adequate analyse mogelijk.
3. Niet arbitraire selectie van morfologische eenheden  
Om patronen te ontdekken in het Amelanders Zeegat moeten de morfologische eenheden separaat geselecteerd kunnen worden. Dit moet echter gebeuren op een niet arbitraire wijze voor een eerlijke vergelijking tussen de jaren.
4. Volgen van eenheden door de tijd  
Na selectie van de eenheden, moeten de eenheden door de tijd gekenmerkt en gekoppeld worden. Dit zorgt ervoor dat ze gevolgd en vergeleken kunnen worden door de tijd. Vooralsnog is dit alleen mogelijk bij het selecteren met behulp van contourlijnen. De combinatie methode biedt ook potentie, echter moet deze dan wel doorontwikkeld worden.
5. Volledig dekkende methode  
Voor een volledige analyse van het gebied, kan het van belang zijn dat de methode ook het gehele gebied beschouwd.
6. Automatische methode  
De derde onderzoeksvraag vraagt om een automatisch onderscheid van morfologische eenheden. Binnen dit onderdeel wordt alleen gekeken of de methode automatisch werkend is, in combinatie met andere functionaliteiten is te zien of deze onderzoeksvraag positief beantwoord wordt.
7. Veranderlijk op wisselende resolutieniveaus  
Indien de methode wisselende uitkomsten heeft als gekozen wordt voor een ander resolutieniveau, kan dit ten goede komen aan de analyse en de overzichtelijkheid van de uitkomsten.
8. No Data heeft geen invloed  
No Data heeft vrijwel altijd invloed op de analyse, omdat er een kleiner gebied beschouwd moet worden. Echter heeft het bij de meeste methodes geen invloed op de berekende waarden. Bij de vierde methode heeft No Data echter veel invloed, als te zien bij het toepassen van de methode op de Boschplaat in paragraaf 3.4.

TABEL 1: VERGELIJKING VAN METHODES OP FUNCTIONALITEITEN

|                                                        | 1. Geaggregeerde rasters | 2. Hoogte intervallen | 3. Polygonen op verschildaarten | 4. Morfologische eenheden | 5. Combinatie methode |
|--------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------|-----------------------|
| 1. Volumeveranderingen weergeven                       | ✓                        |                       | ✓                               | ✓                         | ✓                     |
| 2. Resultaten ruimtelijk weergeven                     | ✓                        |                       | ✓                               | ✓                         | ✓                     |
| 3. Niet arbitraire selectie van morfologische eenheden |                          |                       |                                 | ✓                         | ✓                     |
| 4. Volgen van eenheden door de tijd                    |                          |                       |                                 | ✓                         |                       |
| 5. Volledig dekkende methode                           | ✓                        | ✓                     | ✓                               |                           | ✓                     |
| 6. Automatische methode                                | ✓                        | ✓                     |                                 |                           | ✓                     |
| 7. Veranderlijk op wisselende resolutieniveaus         | ✓                        |                       |                                 |                           | ✓                     |
| 8. No Data heeft geen invloed                          | ✓                        | ✓                     | ✓                               |                           | ✓                     |

Gesteld kan worden dat de 4<sup>e</sup> en 5<sup>e</sup> methode voldoen aan het eerste deel van de doelstelling: een methode ontwikkelen voor het bepalen van volumeveranderingen van morfologisch samenhangende gebieden voor het Amelandse Zeegat/Boschplaat. De andere uitgevoerde en ontwikkelde methodes dragen echter wel degelijk bij aan de morfologische analyse van het Zeegat. Een compleet beeld kan dan ook alleen geschetst worden met behulp van een breed scala aan analyses.

## 4. ONDERZOEKSRESULTATEN

De ontwikkelde methodes zijn gebruikt om morfologische veranderingen in het Amelanders Zeegat te analyseren en interpreteren. De tweede onderzoeksvraag zal dan ook leidend zijn voor het presenteren van de resultaten: Welke morfologische veranderingen hebben plaatsgevonden en gaan plaatsvinden in het Amelanders Zeegat? Een bijkomende vraag was de volgende: Welke samenhang hebben de veranderingen van de morfologische eenheden als platen en geulen? Per methode zal onderzocht worden welke morfologische veranderingen hebben plaatsgevonden. Nadruk in de samenhang zal gelegd worden op de Boschplaat in combinatie met het Boschgat.

### 4.1. VOLUMEVERANDERINGEN DOOR MIDDEL VAN GEAGGREGEEERDE RASTERS

Het grid dat het gehele gebied beschouwt (bijlage 9.2), laat geen duidelijk onderscheid in morfologisch samenhangende gebieden zien. Er zijn echter wel een aantal trends te onderscheiden: de cel rondom de Boschplaat (eilandstaart van Terschelling) geeft de eerste vier verschiljaren, tussen 1971 en 1999, erosie aan. Het laatste verschiljaar, tussen 1999 en 2011, is er sprake van sedimentatie. De cel die de eilandkop van Ameland omvat laat een tegenovergesteld verschijnsel zien, de eerste vier verschiljaren is er sprake van sedimentatie en het laatste verschiljaar wordt getypeerd door erosie. Dit laatste verschiljaar zou voor beide gebieden een verandering van de trend kunnen visualiseren. De kaarten zijn terug te vinden in bijlage 9.2. De kaarten laten zien dat vooral de buitendelta een dynamisch gebied is. In vergelijking met de rest van het te beschouwen gebied, is de buitendelta onderhevig aan flinke veranderingen. Dit wordt extremer naarmate de tijd vordert, daarnaast lijkt het van sedimentatie in de beginjaren te transformeren naar erosie in de latere jaren.

Verder ingezoomd (1000 maal 1000 meter) laten de cellen rondom de Boschplaat geen absolute erosie zien in de eerste verschiljaren en vervolgens ook geen eenduidige sedimentatie. Wel lijkt er een geleidelijke omslag plaats te vinden van erosie naar sedimentatie, gelijk aan de eerdere analyse van het gehele gebied, rondom de oostpunt van het eiland. Ten slotte is er aan de Noordzee zijde van de Boschplaat erosie waar te nemen die zich westwaarts verplaatst. Dit lijkt in zekere mate overeen te komen met het meer zuidelijk gelegen langsprofiel (figuur 14).

Uit deze analyse volgt dat de Boschplaat in de beschouwde jaren gestaag lijkt te eroderen en zich terugtrekt in westelijke richting. Daarnaast wordt bevestigd dat het Zeegat een dynamisch systeem is dat onderhevig is aan heftige veranderingen in vergelijking met het omringende gebied.

### 4.2. OPPERVLAKEVERSCHIL MIDDELS HOOGTE INTERVALLEN

De niet cumulatieve hoogte – oppervlakte grafieken in bijlage 9.5, laten in de beschouwde jaren een gelijke verdeling zien qua aandeel oppervlaktes in de verschillende intervallen. Er is een piek rondom het 0 meter (N.A.P.) interval. Daarnaast is er in ieder jaar een kleine piek rond het -20 (meter) interval, dit geeft de bodem van de verschillende diepe geulen weer (Akkepollegat en Borndiep).

De grafieken die de verandering ten opzichte van basisjaar 1971 weergeven (bijlage 9.5), laten vooral in de latere verschiljaren een duidelijk daling zien van het oppervlak in de hoogte intervallen

tussen -10 meter en -17 meter. Daarbij komt een duidelijke stijging tussen -5 meter en -10 meter. In dezelfde latere jaren, is er een afname van het oppervlak tussen 0 en -5 meter.

De grafieken die de opeenvolgende verschiljaren weergeven, laten een ietwat onregelmatig beeld zien. Het oppervlak dat gezien wordt als geulen (blauw) blijft over het algemeen gelijk. Binnen dit omvattende interval is er wel verschuiving van oppervlaktes per interval. Wat aan de zandplaten (cyaan) opvalt, is dat het oppervlak tussen 1975 en 1989 in zijn geheel toeneemt. Tussen 1989 en 2011 nemen de oppervlaktes van de 'lager gelegen' zandplaten af, het oppervlak zandplaten boven N.A.P. neemt echter toe.

#### 4.3. VOLUMEVERANDERINGEN AAN DE HAND VAN POLYGONEN OP VERSCHILKAARTEN

In de veranderingen op de verschilkaarten lijkt geen duidelijk patroon te zitten. De totaalvolumes nemen in het ene verschiljaar af, het andere verschiljaar laat juist een toename zien.

Het Boschgat lijkt zich in de beschouwde jaren te verplaatsen richting de Boschplaat. De eerste verschiljaren laten in het Amelanders Zeegat één geul zien, dat duidt op het ééngeulensysteem. Naarmate het Boschgat zich verder beweegt richting de Boschplaat, ontstaat er een tweede geul. De laatste verschiljaren laten de ontwikkeling van een geul zien tegen de eilandkop van Ameland. Dit is het Akkepollegat en het Borndiep tijdens het tweegeulensysteem. Het Bornrif laat in de eerste vier verschiljaren een duidelijk groeipatroon zien, deze zandplaat sedimenteert in dit tijdsbestek. In het vierde verschiljaar (1989 – 1999) erodeert de kop van de zandplaat, echter blijft het overige deel sedimenteren. In het laatste verschiljaar lijkt er een geul in de zandplaat te snijden.

De absolute gehele sedimentatie-, erosie en totaalvolumes geven geen patroon weer. De methode toegepast op het eerste jaar (1971) en laatste jaar (2011) van de dataset dragen wel bij aan de analyse. Het Boschgat aan de Waddenzeezijde verplaatst zich oostwaarts. Het Borndiep lijkt juist een westwaartse beweging te maken. De beide geulen in het bekken maken een convergerende beweging. Indien deze beweging doorzet, zou dit kunnen duiden op een ontwikkeling naar een ééngeulensysteem.

#### 4.4. VOLUMEVERANDERINGEN VAN MORFOLOGISCHE EENHEDEN

Het Akkepollegat en het Borndiep zijn op -8 meter en -17 meter geanalyseerd met behulp van deze methode. Het totaalvolume inhoud onder -8 meter, neemt af. Hetzelfde geldt voor de geul onder -17 meter. Het deel van de geul onder de -8 meter dat zich bevindt aan de Waddenzee zijde, blijft vrijwel gelijk. Het deel van de geul dat zich aan de Noordzee zijde bevindt neemt af. De geul weergegeven onder de -17 meter laat aan beide zijden een afname zien. De afname in beide analyses geldt voor alle beschouwde jaren.

Ten slotte is het Boschgat beschouwd met behulp van deze methode. Er kunnen alleen uitspraken gedaan worden over het deel van de geul dat zich aan de Waddenzee zijde bevindt. Dit vanwege het afsnijden van de geul bij de monding van de geul. De inhoud van de geul onder -3 meter aan de Waddenzee zijde laat een golvend patroon zien. In 1971 en 1989 bevindt zich een piek, in 1975 en

2004 bevindt zich een dal. Vanaf 2004 wordt de inhoud weer ietwat groter. Dit patroon vertoont een kleine mate van overeenkomst met het patroon van het doorstroomoppervlak van het volledige Amelanders Zeegat (figuur 16). De verklaring voor de fluctuatie van dit patroon zou kunnen liggen bij de aanzanding van het wantij achter Terschelling. Volgens Elias & Bruens (2012) kan hierdoor de aansturing van de stroming naar het zeegat gewijzigd zijn. De monding van de geul verplaatst zich vanaf 1971 naar 2011 volgens een patroon. De monding is in het eerst bewschouwde jaar gelegen aan de Waddenzeezijde met een ongeveer verticale monding. Deze schuift (bij een noordelijke oriëntatie) tot 1989 in noordelijke richting, de monding draait tegelijkertijd in een horizontale positie. Vanaf 1989 trekt de monding zich terug richting de Waddenzee. De gehele geul schuift in dezelfde periode richting de Boschplaat die een duidelijke eroderende westwaartse beweging laat zien. In 2011 lijkt een omslag te zitten in de beweging, echter is niet duidelijk aan de hand van één jaar of dit ook daadwerkelijk wordt voortgezet.

De afname van het Akkepollegat en Borndiep, stroken niet met de theorie van de cycliciteit. De inhoud van deze geulen zou juist toe moeten nemen, om de getijdenstroom van een qua volume afnemend Boschgat op te vangen. Hierbij wordt aangenomen dat de getijdenstroom ongeveer gelijk blijft. Het Boschgat zou qua volume namelijk af moeten nemen, zodat de Boschplaat “groei kansen” krijgt. Dit leek het geval tussen 1999 en 2004, echter vanaf 2011 wordt de inhoud weer groter (bijlage 9.9).

#### 4.5. COMBINATIE METHODE ÉÉN, DRIE EN VIER.

Met behulp van deze methode wordt duidelijk dat de strandhaak boven Ameland zich in oostwaartse richting verplaatst. De verschilkaart over de gehele tijdshorizon van de dataset (laatste kaart bijlage 9.11), laat ook duidelijk zien dat de Boschplaat erodeert en dus een westwaartse beweging maakt. Daarnaast kan opgemerkt worden dat het Boschgat van een ligging rondom de Boschplaat (tweede kaart bijlage 9.11) zich ontwikkeld naar een meer noord – zuid georiënteerde ligging. Ten slotte lijkt het deel van de geulen gelegen tussen Ameland en Terschelling zich in een westwaartse richting te verplaatsen. Dat laat de laatste kaart in de eerder genoemde bijlage zien. Een eroderende westwaartse verplaatsing van de Boschplaat is een logisch gevolg hiervan.

## 5. DISCUSSIE

De verschillende methodes die gebruikt en ontwikkeld zijn in dit onderzoek, zijn niet allen inzetbaar om conclusies te trekken over de volumeveranderingen van morfologisch samenhangende gebieden. Daarnaast moet men rekening houden met de beperkingen die sommige methodes met zich meebrengen.

De eerste methode, het geaggregeerde raster, is sterk afhankelijk van het presentatiemedium dat gebruikt wordt. Dit heeft invloed op de grootte van weergave, dus op de grootte van de cellen waarin de volumes worden weergegeven. Daarnaast moeten verschillende celgroottes gebruikt worden om niet te generaliseren. Als te zien in bijlage 9.2 en bijlage 9.3 kunnen verschillende groottes een andere visualisatie geven. Daarnaast moet de kaart niet bestaan uit teveel cellen (een te kleine celgrootte), want dan is er geen overzicht meer. De toepassing van de methode wordt op die wijze voorbijgestreefd.

De methode waarbij verschillende oppervlaktes in een bijbehorend interval worden weergegeven geeft alleen een karakteristiek van het gehele gebied dat beschouwd wordt. Aan de hand van karakteristieke hoogtes van zandplaten en geulen, kan er grofweg gezegd worden in welke mate deze aanwezig zijn. Echter zegt deze methode niets over verschillende morfologische samenhangende gebieden als separate eenheden.

De sedimentatie en erosie kaarten geven een beeld van de verplaatsingen door aan te nemen dat dichtbij elkaar gelegen gebieden waar sedimentatie en erosie plaatsvinden, meer samenhang hebben. Het is echter lastig om morfologische eenheden als geulen en zandplaten te onderscheiden op de kaarten. Daarnaast zijn de morfologisch samenhangende gebieden alleen arbitrair te onderscheiden. Voor een specifiek gebied in één verschiljaar geeft het een overzicht, maar de gebieden kunnen, door de wijze van selectie, niet vergeleken worden door de jaren heen. Waarschijnlijk wordt een beter beeld verkregen door verschilkaarten te maken met 2011 als basisjaar. Door één jaar als vaste oriëntatie te nemen, is de samenhang tussen sedimentatie en erosie door de tijd beter te bevatten. Ook wordt de verplaatsing binnen de gehele tijdshorizon beter gevisualiseerd. Wel moeten de verschillen dan in  $m^3$  per jaar worden weergegeven, omdat er geen gelijk aantal jaren zit tussen de meegenomen jaren.

De vierde methode, die een positief antwoord geeft op de tweede en derde deelvraag, volgt morfologische eenheden op niet arbitraire wijze. Deze methode brengt wel een aantal randvoorwaarden met zich mee: sluitende contourpolygonen op eenzelfde hoogte in alle te beschouwen jaren. Indien er no – data valt binnen de betreffende polygoon, moet er een maximaal en minimaal sluitende polygoon zijn in alle te beschouwen jaren. Hier moet het no – data gebied buiten vallen. Indien een morfologisch samenhangend gebied niet gesloten is, moet op arbitraire wijze een grens getrokken worden. Deze kan vanzelfsprekend worden getrokken aan de hand van een eigenschap van een specifiek gebied, bijvoorbeeld de monding van een geul (figuur 17). Al het bovenstaande geeft aan dat deze methode vooralsnog deels bestaat uit handwerk, men moet altijd een polygoon vinden op dezelfde hoogte voor alle jaren. Daarnaast moeten de grenzen van de polygonen gecontroleerd worden. Alleen door bathymetrie afgebakende morfologisch

samenhangende gebieden kunnen beschouwd worden. Ten slotte blijven met het gebruik van deze methode blijven altijd restgebieden over.

In paragraaf 3.4 Volumeveranderingen van morfologische eenheden, wordt in de figuren 14 en 15 een opmerkelijke verplaatsing van het Borndiep weergegeven. Deze verschuiving kan in relatie staan met het zand dat het bekken instroomt als gevolg van de aanlanding van het Bornrif. Dit zand wordt voor de westkust van Ameland vastgehouden (Elias E. et al., 2013). Daarnaast kan de suppletie met zink- en stortwerk tussen raai 48,6 en 49,6 van invloed zijn geweest op de geul. Dit werk bevindt zich enkele kilometers ten zuiden van de gemaakt doorsnede. Het is uitgevoerd om de achteruitgang van de westkust van Ameland tegen te gaan. In 1994 is dit werk voltooid, dit gebeurde dus voor de verschuiving in 1996 (figuur 14 en figuur 15). (Gotjé, Vanagt, & Hermsen, 2009)

De laatste, combinatie, methode omvat de verschillende morfologisch samenhangende gebieden met automatisch gegenereerde polygonen. Dit is dus mogelijk. Echter blijkt het lastig om de parameters (rastergrootte en herclassificatiegrenzen) zo te kiezen dat de polygonen in ieder jaar de morfologische eenheden als geulen en platen separaat benaderen. Dit nadeel maakt het kenmerken en koppelen van de geulen en platen door de verschillende jaren vrijwel onmogelijk. Daarbij zijn de polygonen op iedere verschilkaart anders.

## 6. CONCLUSIE

Binnen dit onderzoek naar volumeveranderingen van het Amelanders Zeegat zijn vijf methodes gebruikt. Deze methodes zijn allen nodig om een zo compleet mogelijk beeld te schetsen van het Amelanders Zeegat. De volumes zijn berekend met behulp van een geaggregeerd raster, hoogte intervallen, verschilkaarten en ten slotte zijn de morfologisch samenhangende gebieden beschouwd, hierin zijn plaats- en vormverandering meegenomen. Met behulp van bovenstaande methodes is het eerste deel van de doelstelling bereikt: een methode ontwikkelen voor het bepalen van volumeveranderingen van morfologisch samenhangende gebieden voor het Amelanders Zeegat/Boschplaat. Voor het tweede deel van de doelstelling, het interpreteren van deze volumeveranderingen met behulp van morfologische experts, is de data geïnterpreteerd. Hieruit volgen de conclusies.

De Boschplaat trekt zich binnen de beschouwde jaren terug, de geaggregeerde rasters laten dit beknopt zien (paragraaf 4.1), dit wordt bevestigd door het volgen van dit morfologisch samenhangend gebied met behulp van de vierde methode. Het Boschgat is onder andere de oorzaak van het terugtrekken van de Boschplaat. De verschilkaarten in bijlage 9.7 en de laatste verschilkaart in bijlage 9.11 laten het terugtrekken van de Boschplaat en het verplaatsen van het Boschgat duidelijk zien (paragraaf 4.3 en 4.5). Het Boschgat schommelt enigszins qua volume en lijkt in het meest recente jaar toe te nemen qua volume. Daarvoor is juist een forse afname geweest. Indien deze dynamiek gerefereerd wordt aan de theorie van de cyclus (gebaseerd op historische data), zou het Boschgat qua volume af moeten blijven nemen, zodat de Boschplaat zich kan ontwikkelen. Dit wordt niet bevestigd door het Akkepollegat en Borndiep: indien er tekenen zijn van afname van het Boschgat, zouden het Akkepollegat en Borndiep groter moeten worden qua inhoud. Dit vanwege de getijdenstroming waarvan het volume zo goed als gelijk blijft (paragraaf 4.4). Het Akkepollegat en het Borndiep nemen juist af qua volume. Dit wordt eveneens bevestigd door de histogrammen in bijlage 9.5. De histogrammen van de opeenvolgende jaren laten zien dat het oppervlak diepe geulen afneemt. De histogrammen laten niet eenduidig zien dat de minder diep gelegen gebieden in het zeegat momenteel eroderen (paragraaf 4.2). Dus lijkt het doorstroomoppervlak vooralsnog kleiner te worden. Echter laat de grafiek in figuur 16 zien dat het doorstroomoppervlak met enige schommeling redelijk constant blijft. Dit zegt niets over de veranderingen van de geulen separaat en de verhouding tussen de geulen. Hier wordt in de aanbevelingen op teruggekomen.

Een voortgang van de cycliciteit wordt in geen van de methodes duidelijk bevestigd. De convergerende dynamiek van het Boschgat en het Borndiep lijkt wel te wijzen op een ontwikkeling richting een ééngeulensysteem (paragraaf 4.3). Daarnaast lijkt het bewegingspatroon van het Boschgat ook te wijzen op een dynamiek richting een ééngeulensysteem (paragraaf 4.4). Een lange termijn voorspelling aan de hand van het uitgevoerde onderzoek is echter alleen met grote mate van onzekerheid uit te voeren. De minimale kennis van de invloed van menselijke ingrepen (hoofdstuk 5), speelt hier ook een rol in. Extra onderzoek is nodig om de onzekerheid te laten afnemen, hoofdstuk 7 geeft hier inzicht in.

## 7. Aanbevelingen

De gebruikte en ontwikkelde methodes moeten een inzicht geven in de dynamiek van het Amelanders Zeegat. Daarbij is het doel een voorspelling doen voor de toekomstige ontwikkelingen van de morfologisch samenhangende gebieden ter plaatse. Uit het onderzoek is gebleken dat het lastig blijft om gefundeerde uitspraken over de toekomst te doen aan de hand van meet data. Meer gefundeerde uitspraken kunnen gedaan worden als de methodes verder ontwikkeld worden en als de methodes toegepast worden op meer onderdelen binnen het systeem van het Amelanders Zeegat. Ten slotte zou voor een meer volledige analyse een dekkende dataset over een brede tijdshorizon nodig zijn. Alle methodes kunnen dan toegepast worden op de betreffende dataset.

In de conclusie wordt aangegeven dat er aanwijzingen zijn, dat voor de toekomstige ontwikkelingen niet uitgegaan mag worden van de theorie. Hier kan meer over gezegd worden als middels een eenduidige contourlijn over de gehele dataset de inhoud van de twee volledige geulen wordt beschouwd. Zo kan de verdeling van de instroom van de getijden in het bassin onderzocht worden. Daarnaast kan het totale volume van het bassin bekeken worden onder een bepaalde hoogte. Op die wijze kan, in combinatie met het doorstroomoppervlak, onderzocht worden of het getijdenprisma veranderd. Dit zou kunnen betekenen dat het wantij achter Ameland en/of Terschelling zich verplaatst.

Het volgen van de morfologisch samenhangende gebieden in de methode in paragraaf 3.4, kan geoptimaliseerd worden. Voor een meer efficiënt gebruik, moet het handwerk zoveel mogelijk beperkt worden. Een tool of script in ArcGIS die/dat een deel van het handwerk overneemt, zou een volgende stap zijn.

De combinatiemethode zou verder ontwikkeld kunnen worden. Een aantal polygonen omvat nu een veelvoud aan verschillend gedefinieerde geulen, als te zien in bijlage 9.11. Er moet binnen een bepaalde tijdshorizon onderzocht worden of het mogelijk is de polygonen beter te begrenzen door het kiezen van andere grenswaarden. Vervolgens kan onderzocht worden of er polygonen zijn die een bepaalde geul of zandplaat kenmerken. Deze polygonen kunnen door de tijd aan elkaar gekoppeld worden. Met behulp van de vierde methode: volumeveranderingen van morfologische eenheden kan gecontroleerd worden of de desbetreffende volumeveranderingen door de tijd binnen de juiste orde grootte vallen. Zo kan bepaald worden of de polygonen daadwerkelijk geschikt zijn om morfologische eenheden te selecteren en de selecties door de jaren niet teveel afwijken in vergelijking met elkaar. Daarnaast kan deze en de methode waarin de polygonen op arbitraire wijze getekend worden toegepast worden met 2011 als basisjaar. Door één jaar als vaste oriëntatie te nemen, is de samenhang tussen sedimentatie en erosie door de tijd beter te bevatten. Ook wordt de verplaatsing binnen de gehele tijdshorizon beter gevisualiseerd. Wel moeten de verschillen dan in  $m^3$  per jaar worden weergegeven, omdat er geen gelijk aantal jaren zit tussen de meegenomen jaren.

De parameters van de laatste methode, waar de polygonen automatisch gegenereerd worden kunnen getest worden op gevoeligheid. Dit kan de methode effectiever maken. De grote van het gebied zou eventueel ook van invloed kunnen zijn. Indien een kleiner gebied met minder

hoogteveranderingen onderzocht wordt, kunnen de parameters hierop aangepast worden. Het onderzoeken van deze verschillen zou de methode kunnen verbeteren.

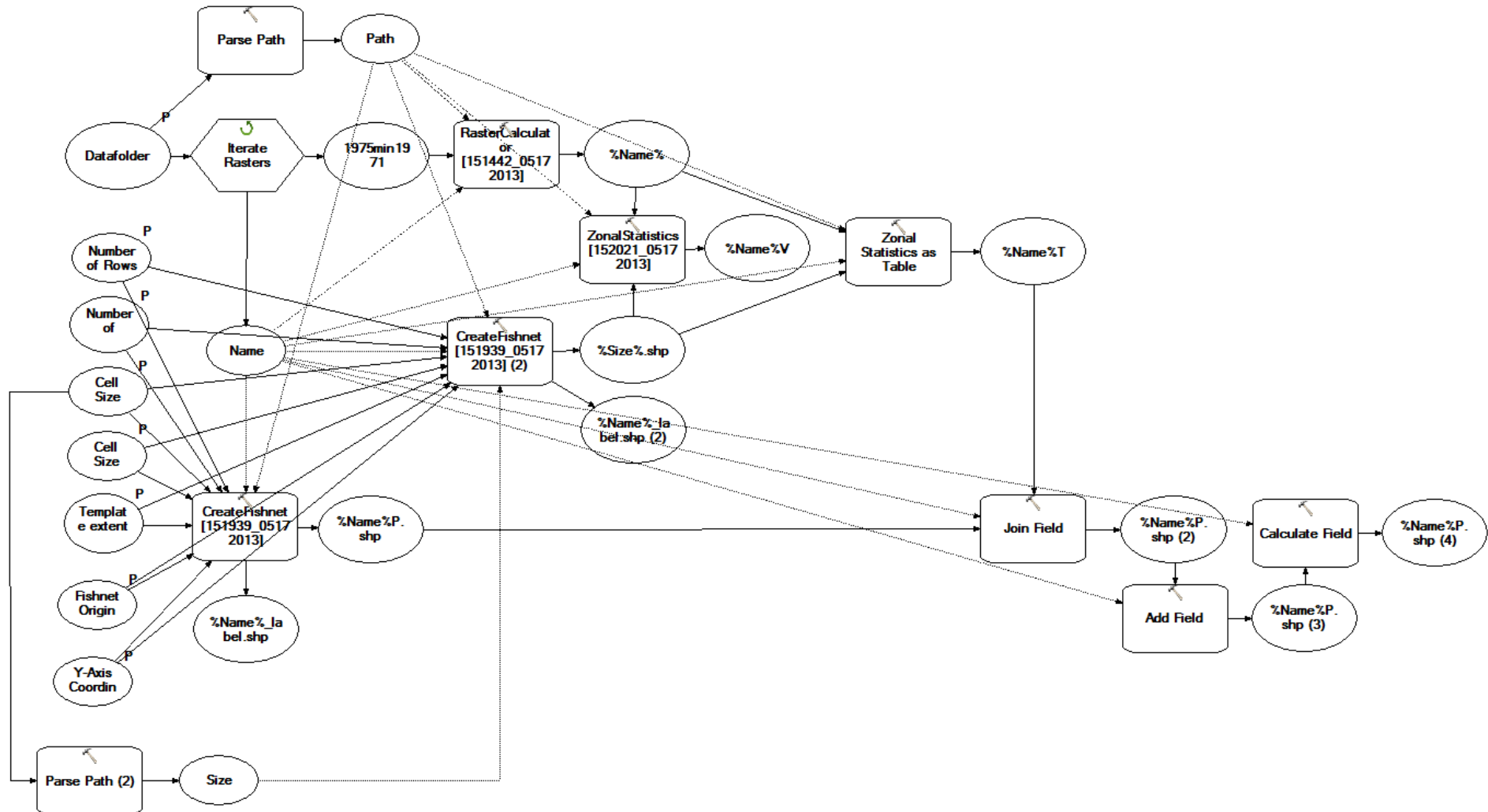
Ten slotte kunnen de methodes die toegepast zijn op het Amelandse Zeegat toegepast worden op zeegaten elders in de wereld. Dit test enerzijds de verschillende methodes, anderzijds geeft het een duidelijke en brede analyse van de betreffende zeegaten.

## 8. LITERATUUR

- Beets, D., & Van der Spek, A. (1994). Het Nederlandse Waddengebied: ontstaansgeschiedenis en toekomstige ontwikkeling. *GEA*, pp. 51-57.
- Chueng, K., Gerritsen, F., & Cleveringa, J. (2007). Morphodynamics and sand bypassing at Ameland Inlet, the Netherlands. *Journal of Coastal Research*, pp. 106-118.
- Cleveringa, J., Israel, C. G., & Dunsbergen, D. W. (2005). *De Westkust van Ameland. Resultaten van 10 jaar morfologisch onderzoek in het kader van de Rijkswaterstaatsprogramma's KUST2000 en KUST2005*. Den Haag: Rijkswaterstaat, National Institute for Coastal and Marine Management RIKZ.
- Elias, E. et al. (2013). *Rijkswaterstaat Beheerbibliotheek Amelandse kust*. Deltares rapport in wording.
- Elias, E., & Bruens, A. (2012). *Morfologische Analyse Boschplaat (Terschelling), Quickscan*. Deltares.
- Elias, E., van der Spek, A., Wang, Z., & de Ronde, A. (2012, November). Morphodynamic development and sediment budget of the Dutch Wadden Sea over the last century. *Netherlands Journal of Geosciences, Geologie en Mijnbouw*, pp. 293-310.
- Gotjé, W., Vanagt, T., & Hermesen, A. (2009). *Passende beoordeling suppleties bij Ameland*. Amsterdam: Grontmij & AquaSense.
- Israël, C. (1998). *Morfologische ontwikkeling Amelandse Zeegat*. Den Haag: Rijkswaterstaat RIKZ.
- Israël, C. G. (1998). *Morfologische ontwikkeling Amelandse Zeegat*. Den Haag: Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
- Löffler, M., Van der Spek, A., & Van Gelder-Maas, C. (2011). *Mogelijkheden voor dynamisch kustbeheer een handreiking voor beheerders*. Deltares.
- Rijkswaterstaat. (1991). *Referentiewaarden waterstanden*. Rijkswaterstaat.
- Van der Spek, A., & Noorbergen, H. (1992). *Morphodynamics of tidal flats*. Delft: Netherlands Remote Sensing Board.
- Van Houdt, J. (2011, augustus 02). *Luchtfotoserie Nederlandse Kust Terschelling*. Opgeroepen op mei 08, 2013, van Beeldbank Rijkswaterstaat: <https://beeldbank.rws.nl/MediaObject/Details/412696?resultArea=53,56|5,238|53,2834|5,64|&resultType=Map&mapId=80>

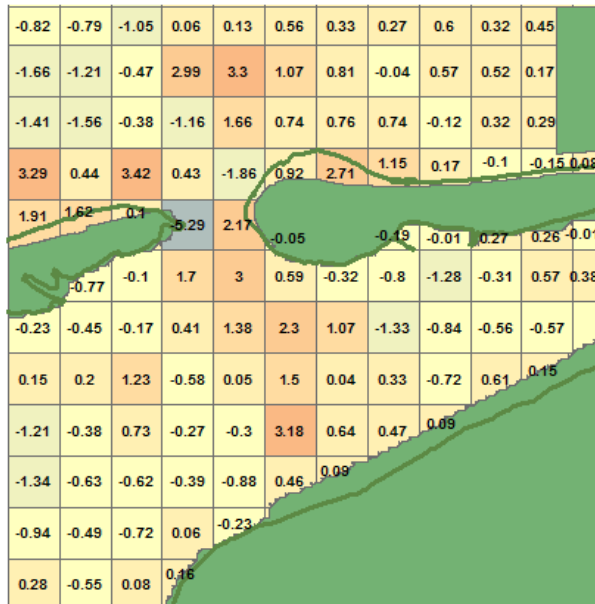
## 9. BIJLAGEN

## 9.1. BIJLAGE 1; ARCGIS MODEL GEAGGREGEEERDE RASTERS

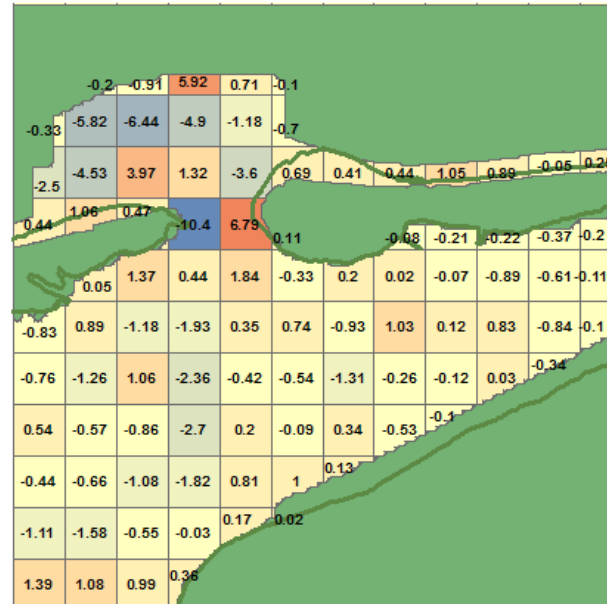


## 9.2. BIJLAGE 2; VERSCHILKAARTEN GEAGGREGEEERDE RASTERS AMELANDER ZEEGAT

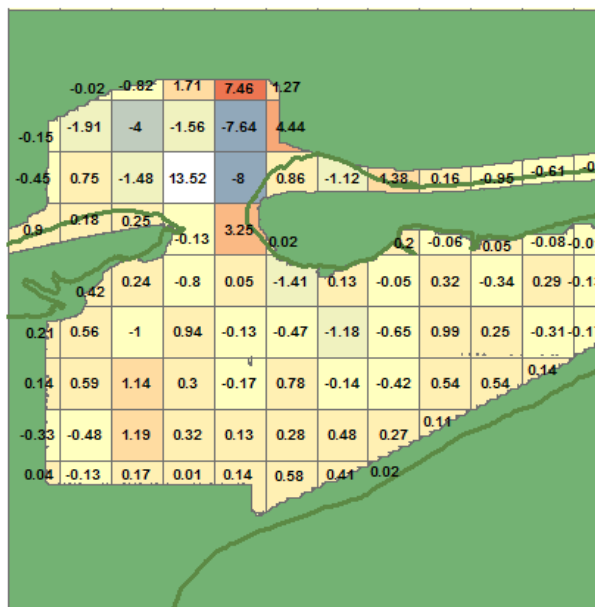
2500 X 2500 [m] 1975 minus 1971



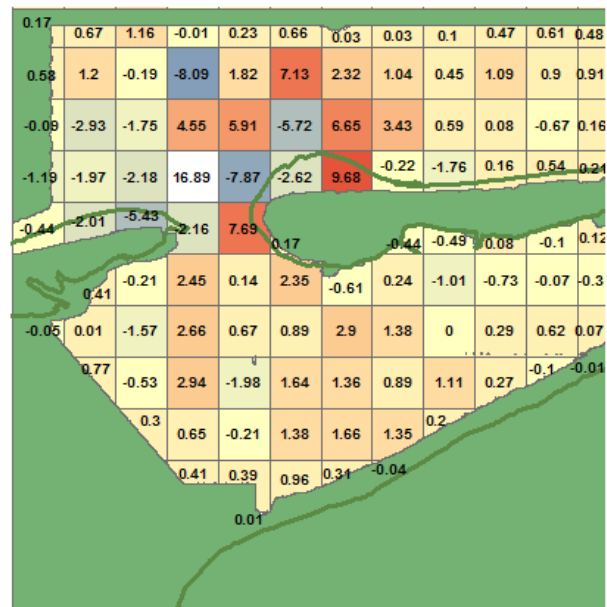
2500 X 2500 [m] 1981 minus 1975



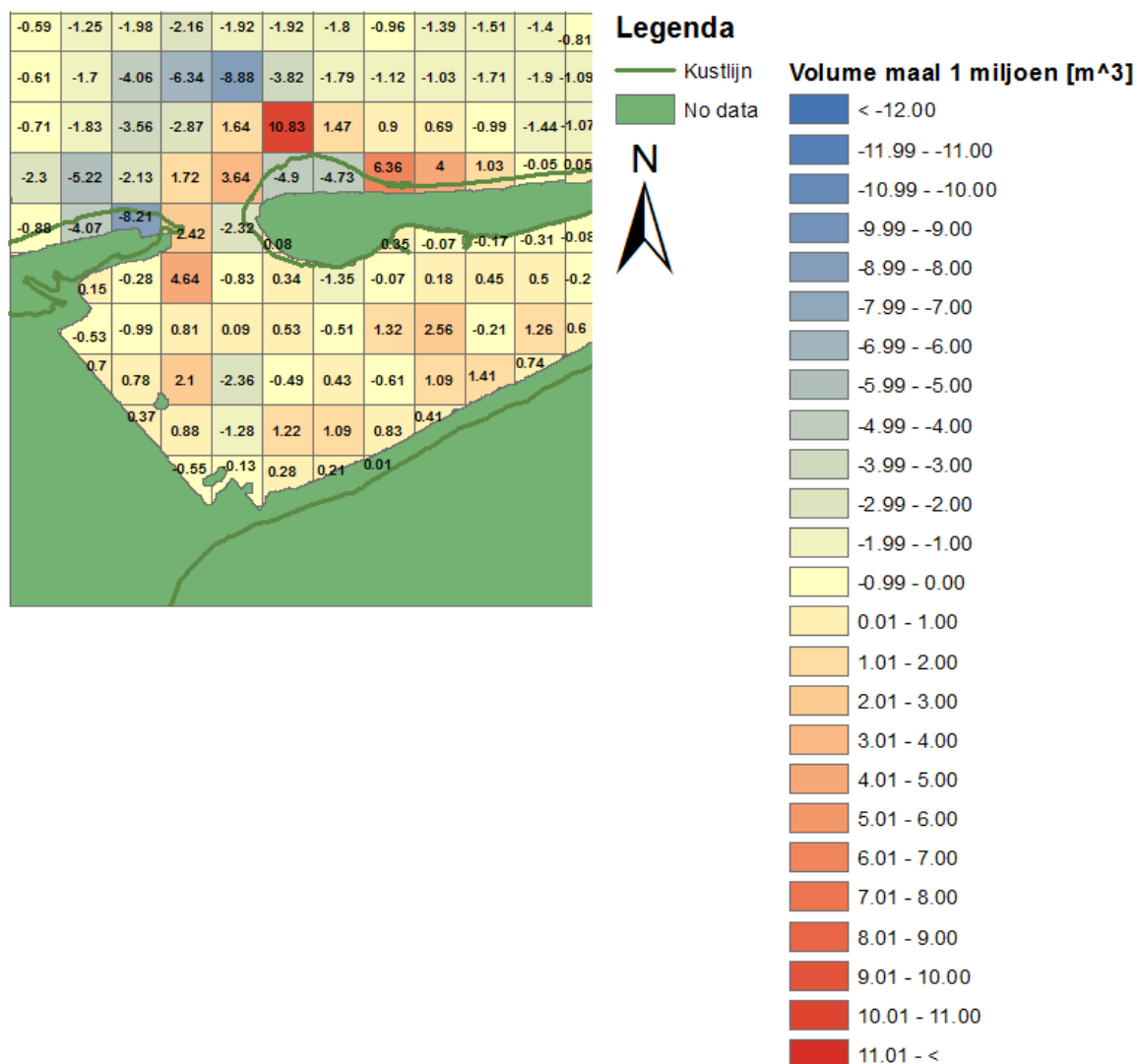
2500 X 2500 [m] 1989 minus 1981



2500 X 2500 [m] 1999 minus 1989

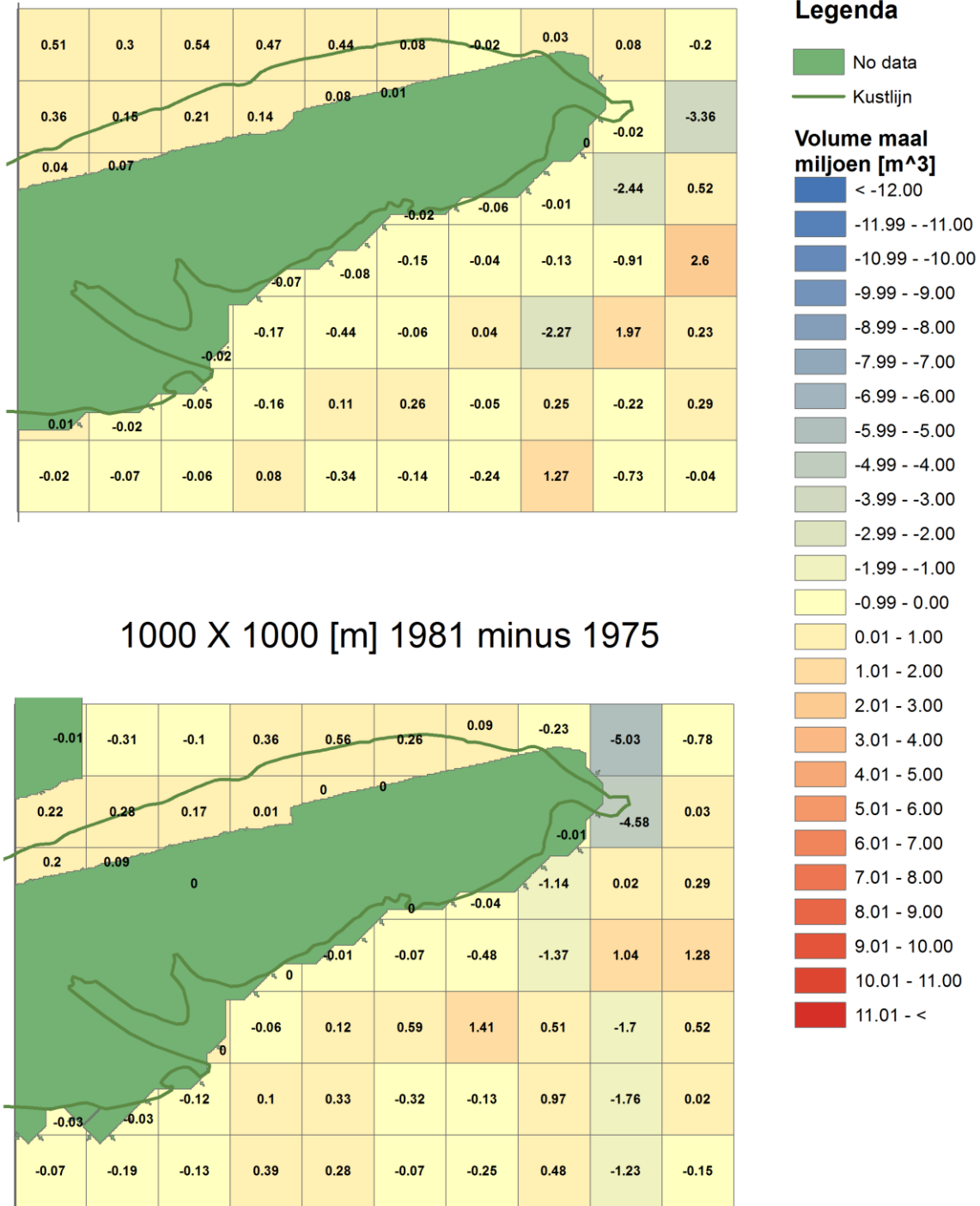


2500 X 2500 [m] 2011 minus 1999

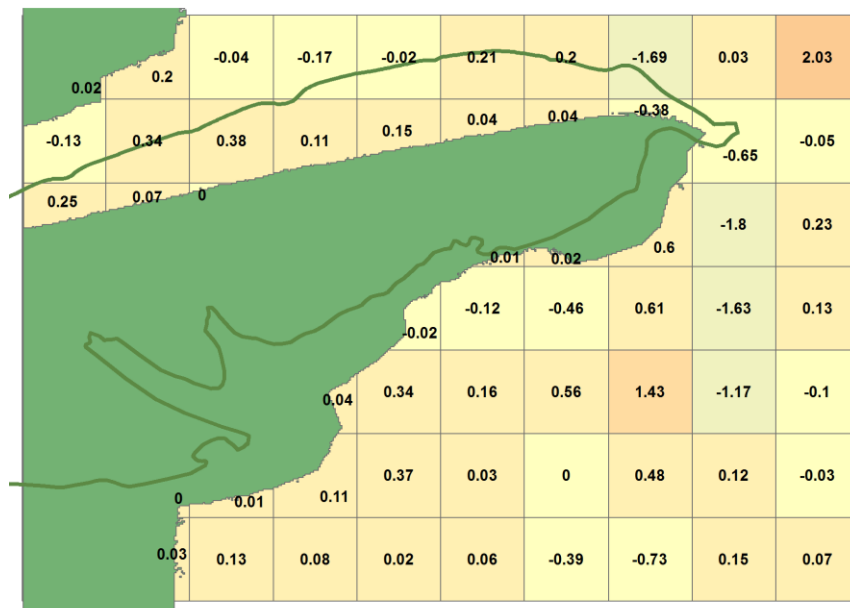


### 9.3. BIJLAGE 3; GEAGGREGEERDE RASTERS BOSCHPLAAT

1000 X 1000 [m] 1975 minus 1971



## 1000 X 1000 [m] 1989 minus 1981



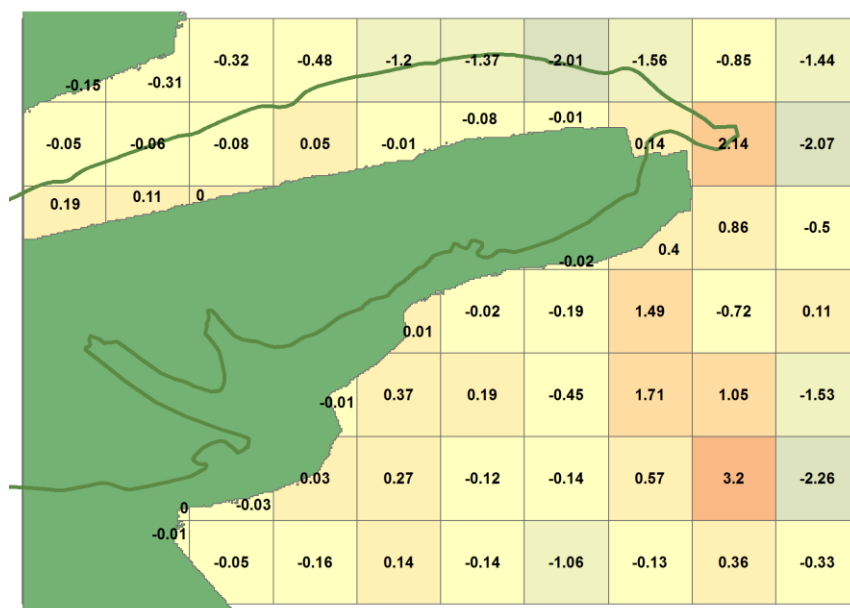
### Legenda

- No data
- Kustlijn

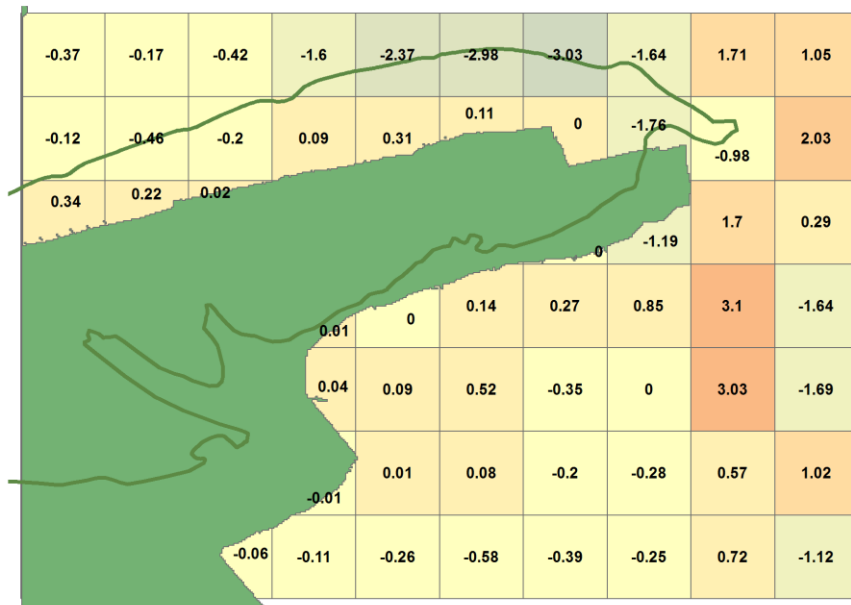
### Volume maal miljoen [m<sup>3</sup>]

- < -12.00
- 11.99 - -11.00
- 10.99 - -10.00
- 9.99 - -9.00
- 8.99 - -8.00
- 7.99 - -7.00
- 6.99 - -6.00
- 5.99 - -5.00
- 4.99 - -4.00
- 3.99 - -3.00
- 2.99 - -2.00
- 1.99 - -1.00
- 0.99 - 0.00
- 0.01 - 1.00
- 1.01 - 2.00
- 2.01 - 3.00
- 3.01 - 4.00
- 4.01 - 5.00
- 5.01 - 6.00
- 6.01 - 7.00
- 7.01 - 8.00
- 8.01 - 9.00
- 9.01 - 10.00
- 10.01 - 11.00
- 11.01 - <

## 1000 X 1000 [m] 1999 minus 1989



## 1000 X 1000 [m] 2011 minus 1999

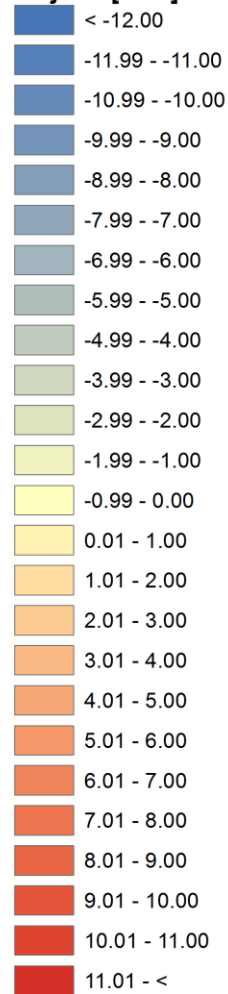


### Legenda

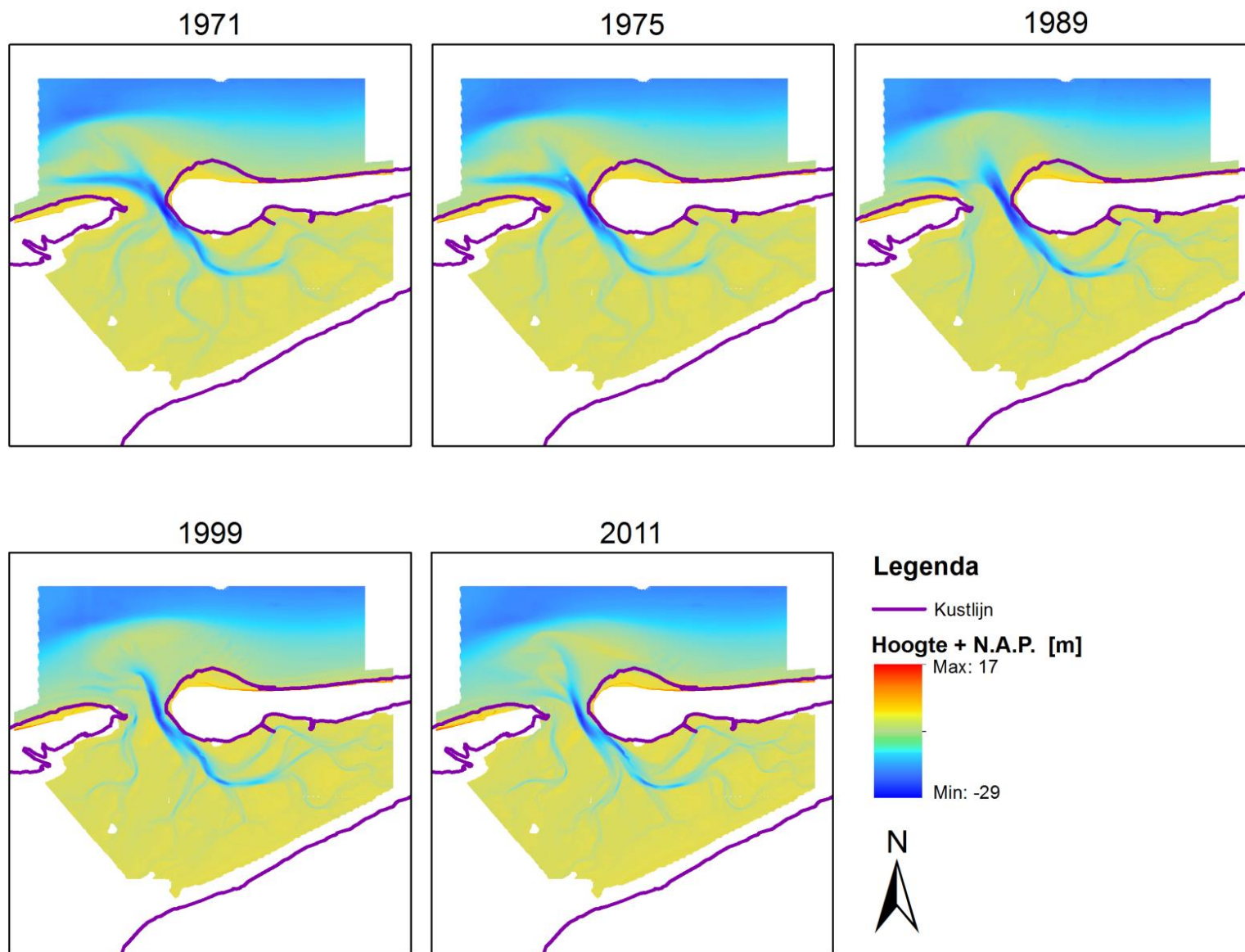
No data

Kustlijn

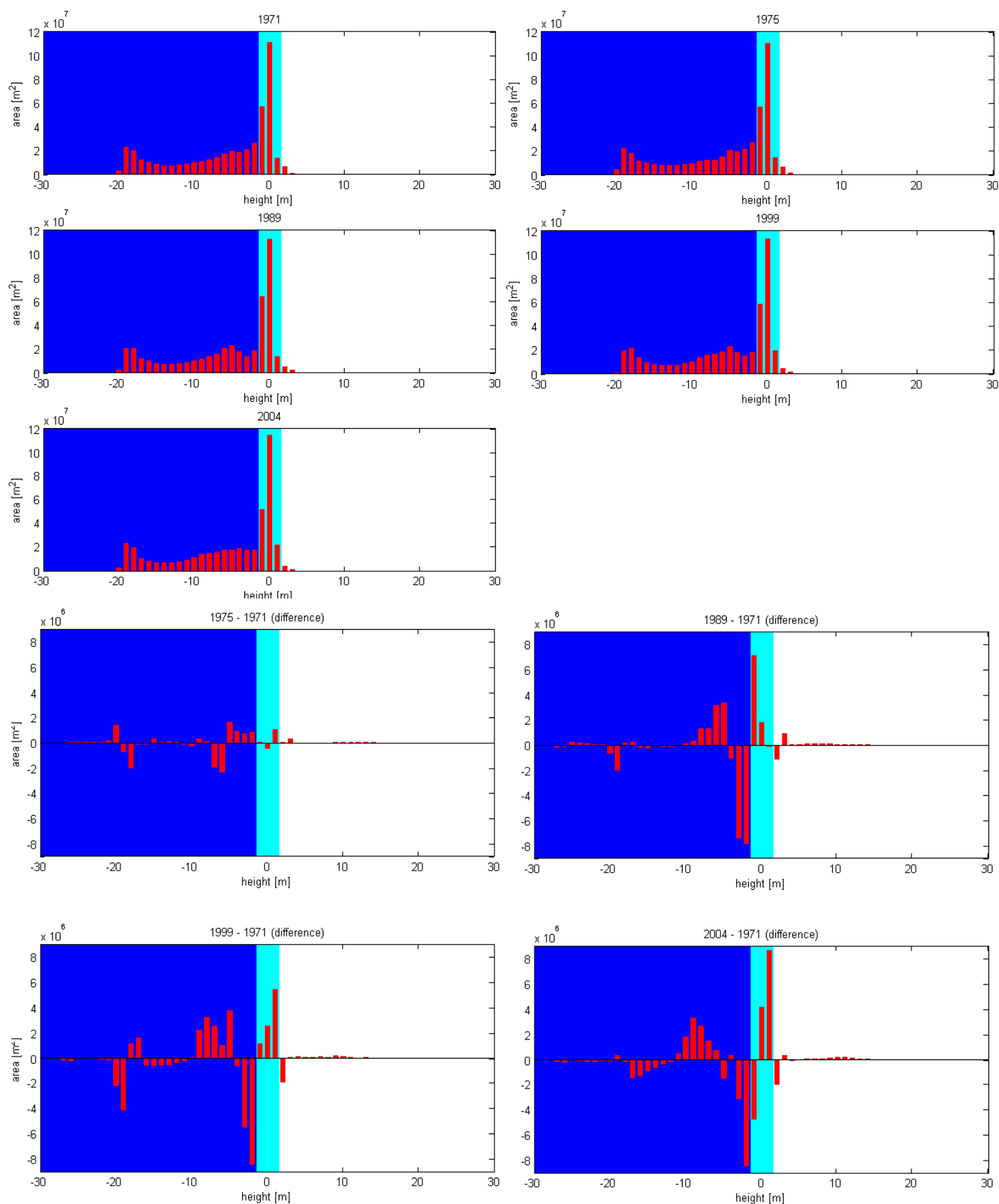
### Volume maal miljoen [m<sup>3</sup>]

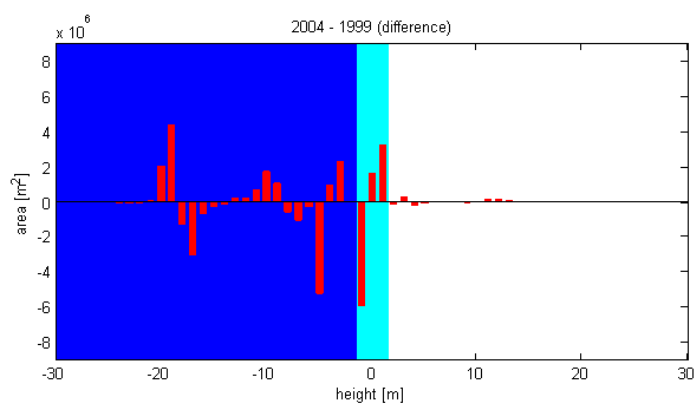
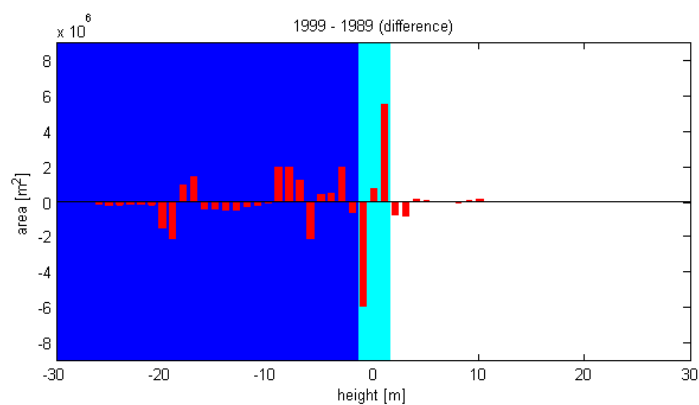
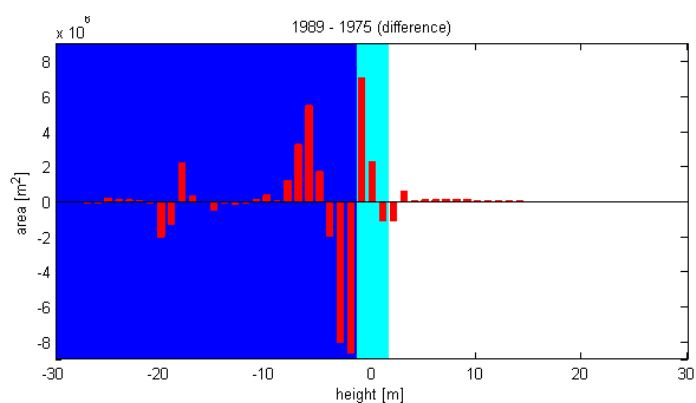
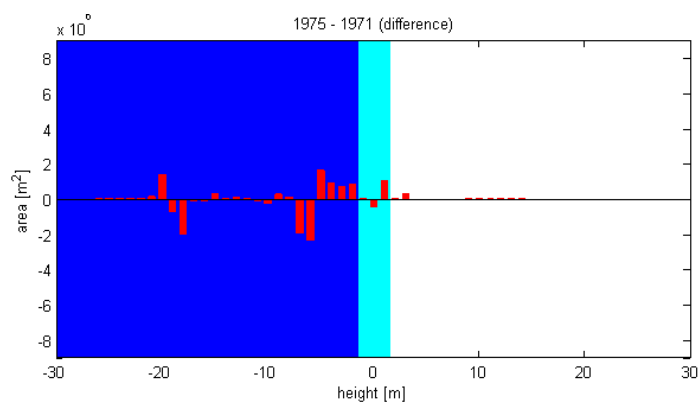


9.4. BIJLAGE 4; GEBRUIKTE GEBIEDEN CALCULATIES HOOGTE INTERVALLEN

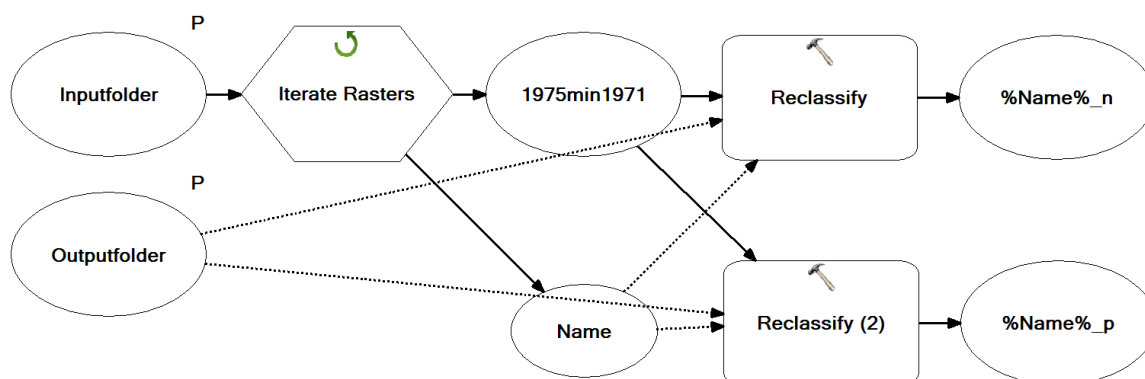


## 9.5. BIJLAGE 5; HISTOGRAMMEN BIJ OPPERVLAKTES PER HOOGTE INTERVALLEN



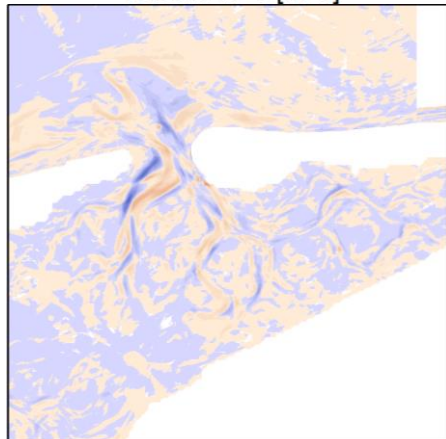


## 9.6. BIJLAGE 6; ARCGIS MODEL SEDIMENTATIE EN EROSIE KAARTEN

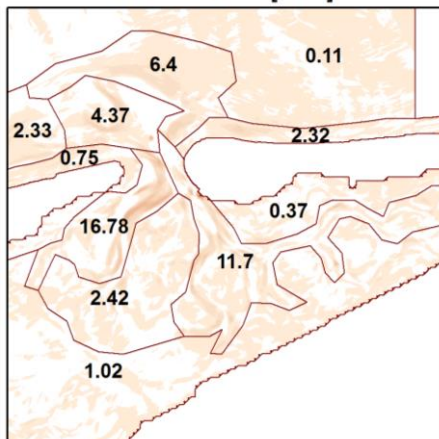


## 9.7. BIJLAGE 7; SEDIMENTATIE EN EROSIE KAARTEN

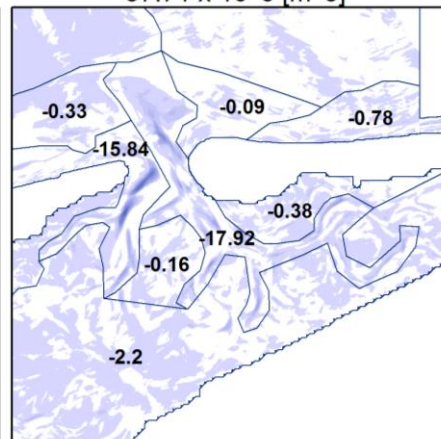
Verschilkaart 1975 - 1971  
Volumeverandering totaal:  
 $10.86 \times 10^6 \text{ [m}^3\text{]}$



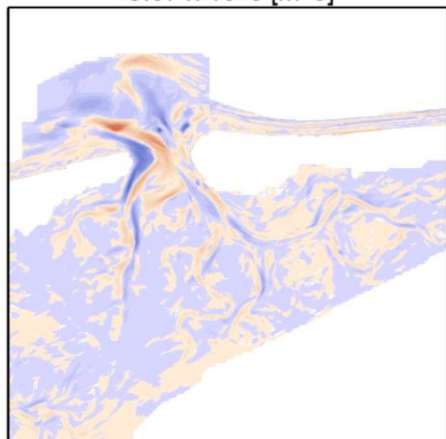
Sedimentatie 1975 - 1971  
Volumeverandering:  
 $48.57 \times 10^6 \text{ [m}^3\text{]}$



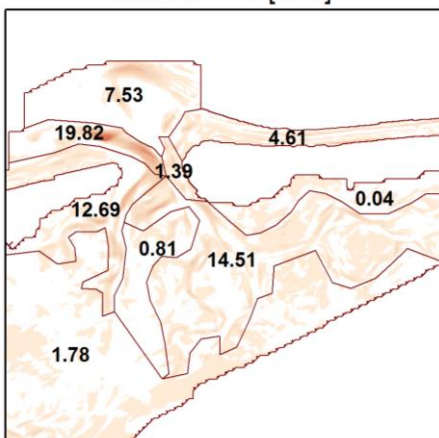
Erosie 1975 - 1971  
Volumeverandering:  
 $-37.71 \times 10^6 \text{ [m}^3\text{]}$



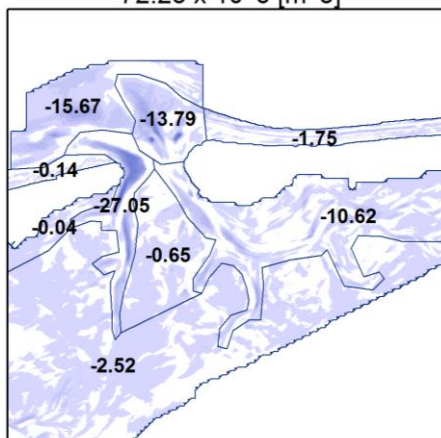
Verschilkaart 1981 - 1975  
Volumeverandering totaal:  
 $-9.07 \times 10^6 \text{ [m}^3\text{]}$



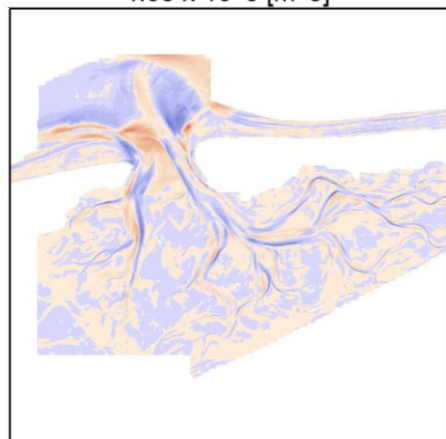
Sedimentatie 1981 - 1975  
Volumeverandering:  
 $63.16 \times 10^6 \text{ [m}^3\text{]}$



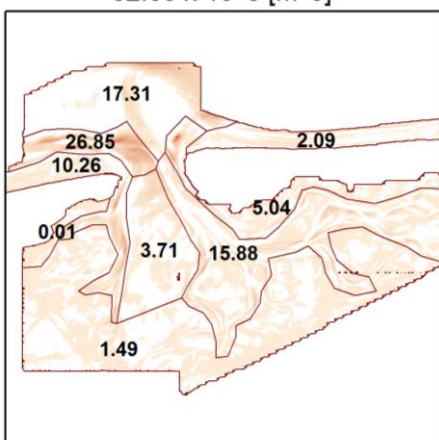
Erosie 1981 - 1975  
Volumeverandering:  
 $-72.23 \times 10^6 \text{ [m}^3\text{]}$



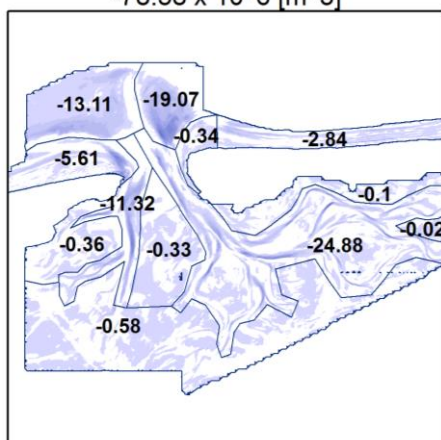
Verschilkaart 1989 - 1981  
Volumeverandering totaal:  
 $4.05 \times 10^6 \text{ [m}^3\text{]}$



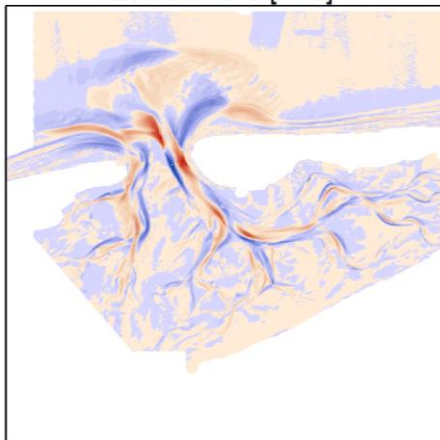
Sedimentatie 1989 - 1981  
Volumeverandering:  
 $82.63 \times 10^6 \text{ [m}^3\text{]}$



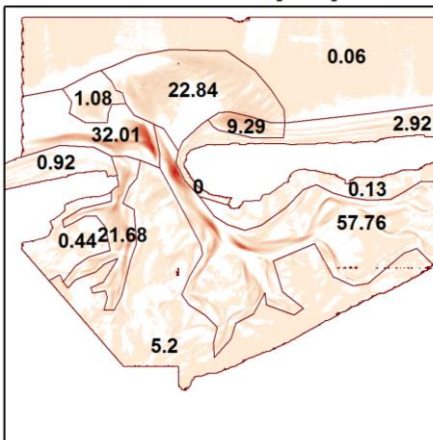
Erosie 1989 - 1981  
Volumeverandering:  
 $-78.58 \times 10^6 \text{ [m}^3\text{]}$



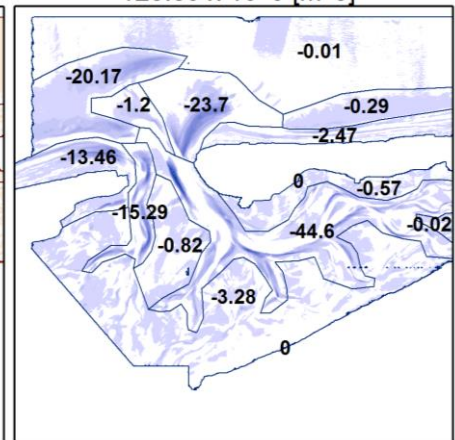
Verschilkaart 1999 - 1989  
Volumeverandering totaal:  
 $28.45 \times 10^6 \text{ [m}^3\text{]}$



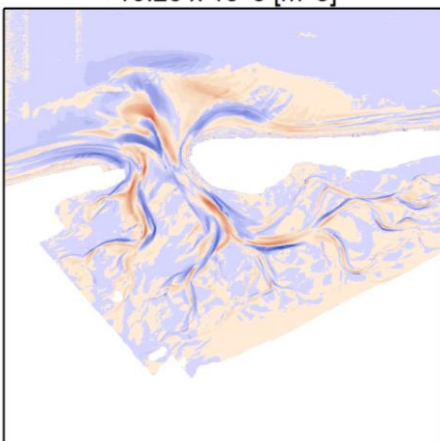
Sedimentatie 1999 - 1989  
Volumeverandering:  
 $154.33 \times 10^6 \text{ [m}^3\text{]}$



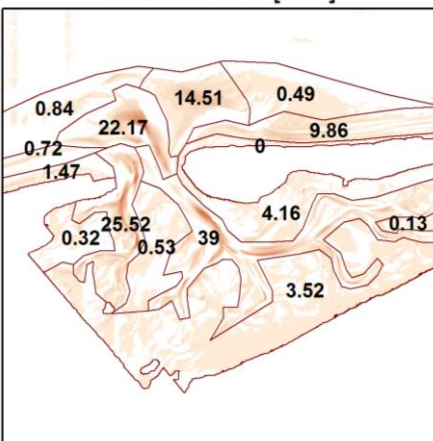
Erosie 1999 - 1989  
Volumeverandering:  
 $-125.89 \times 10^6 \text{ [m}^3\text{]}$



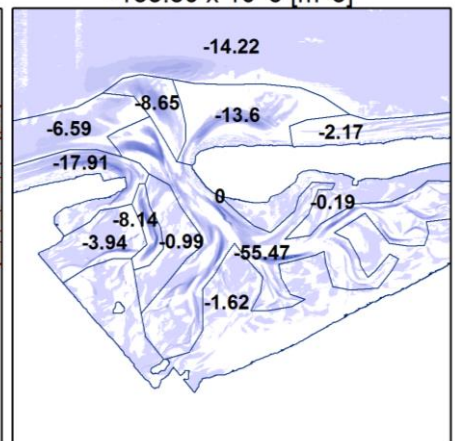
Verschilkaart 2011 - 1999  
Volumeverandering totaal:  
 $-10.26 \times 10^6 \text{ [m}^3\text{]}$



Sedimentatie 2011 - 1999  
Volumeverandering:  
 $123.24 \times 10^6 \text{ [m}^3\text{]}$



Erosie 2011 - 1999  
Volumeverandering:  
 $-133.50 \times 10^6 \text{ [m}^3\text{]}$

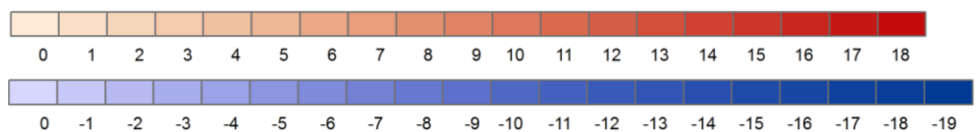


## Legenda

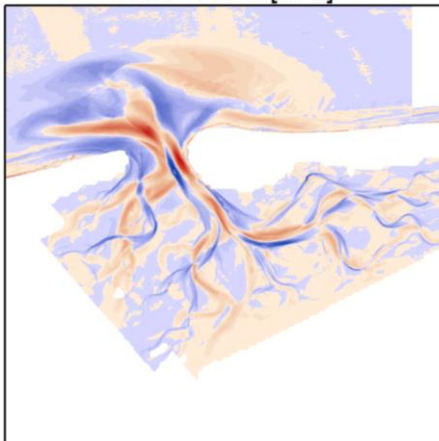
 Grens data

Volumeverandering: # x  $10^6 \text{ [m}^3\text{]}$

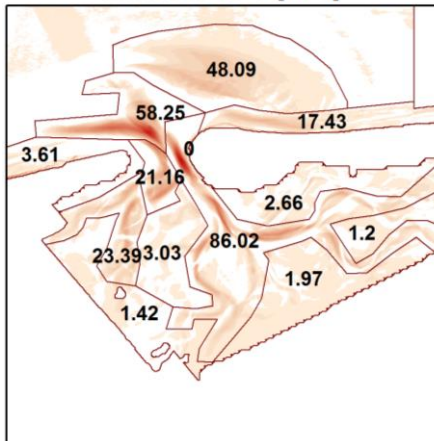
## Hoogte [m]



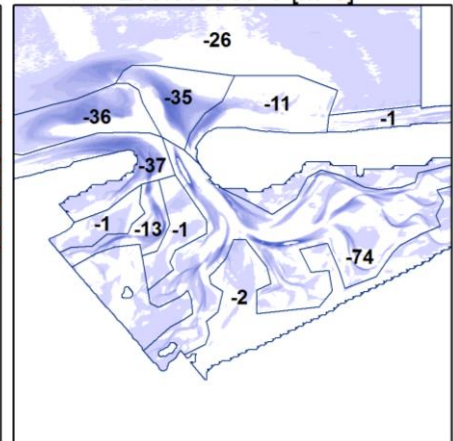
Verschilkaart 2011 - 1971  
Volumeverandering totaal:  
 $32.23 \times 10^6 \text{ [m}^3\text{]}$



Sedimentatie 2011 - 1971  
Volumeverandering:  
 $268.23 \times 10^6 \text{ [m}^3\text{]}$



Erosie 2011 - 1971  
Volumeverandering:  
 $-236.00 \times 10^6 \text{ [m}^3\text{]}$

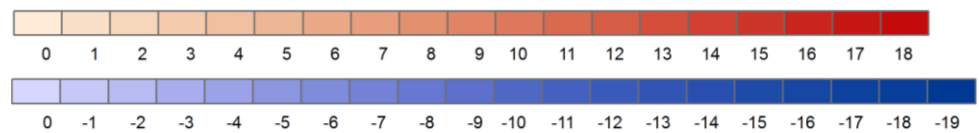


## Legenda

 Grens data

Volumeverandering: # x  $10^6 \text{ [m}^3\text{]}$

## Hoogte [m]



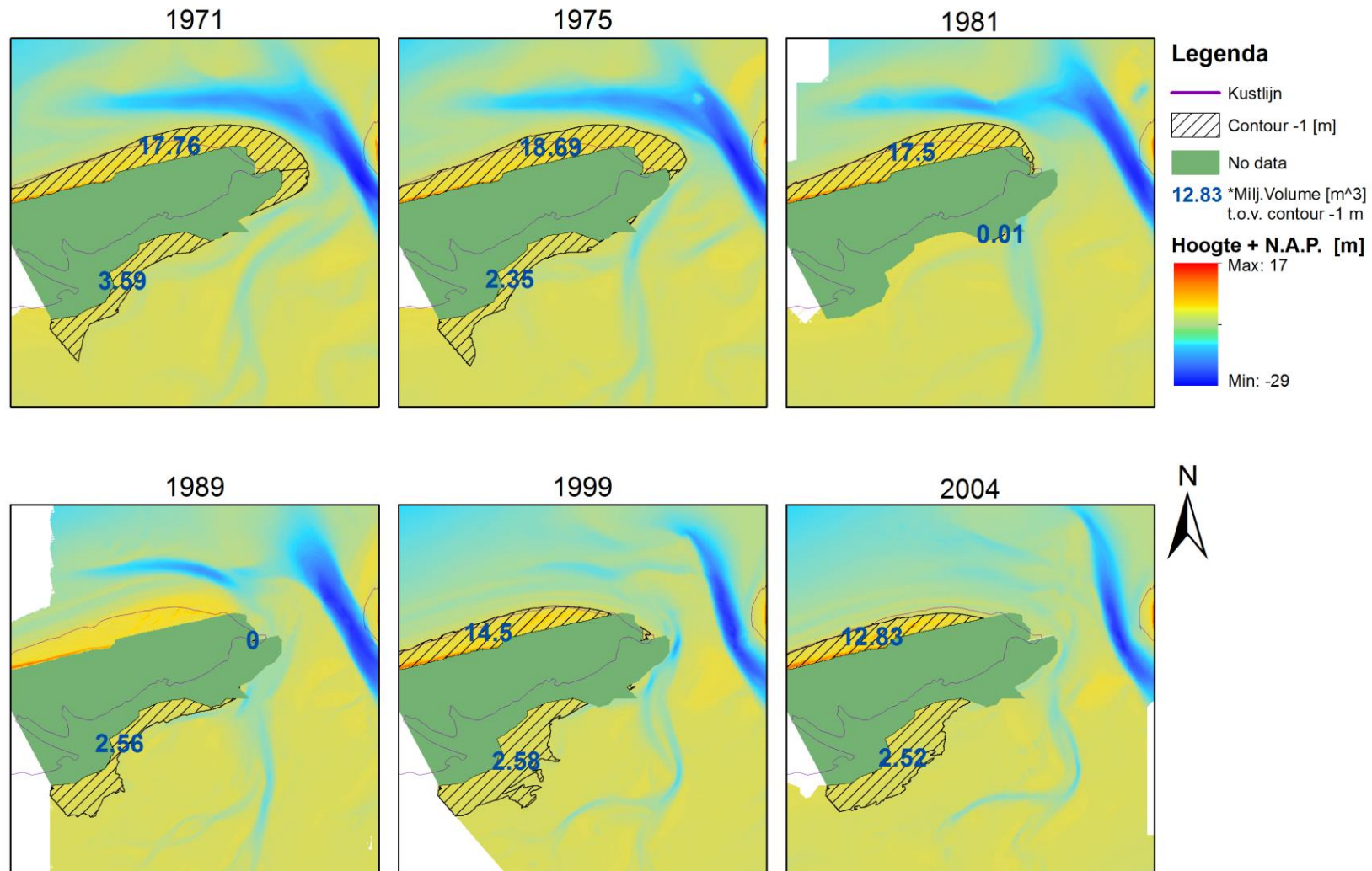
## 9.8. BIJLAGE 8; STAPPENPLAN VOLGEN VAN MORFOLOGISCH SAMENHANGENDE GEBIEDEN

Met behulp van ArcGIS:

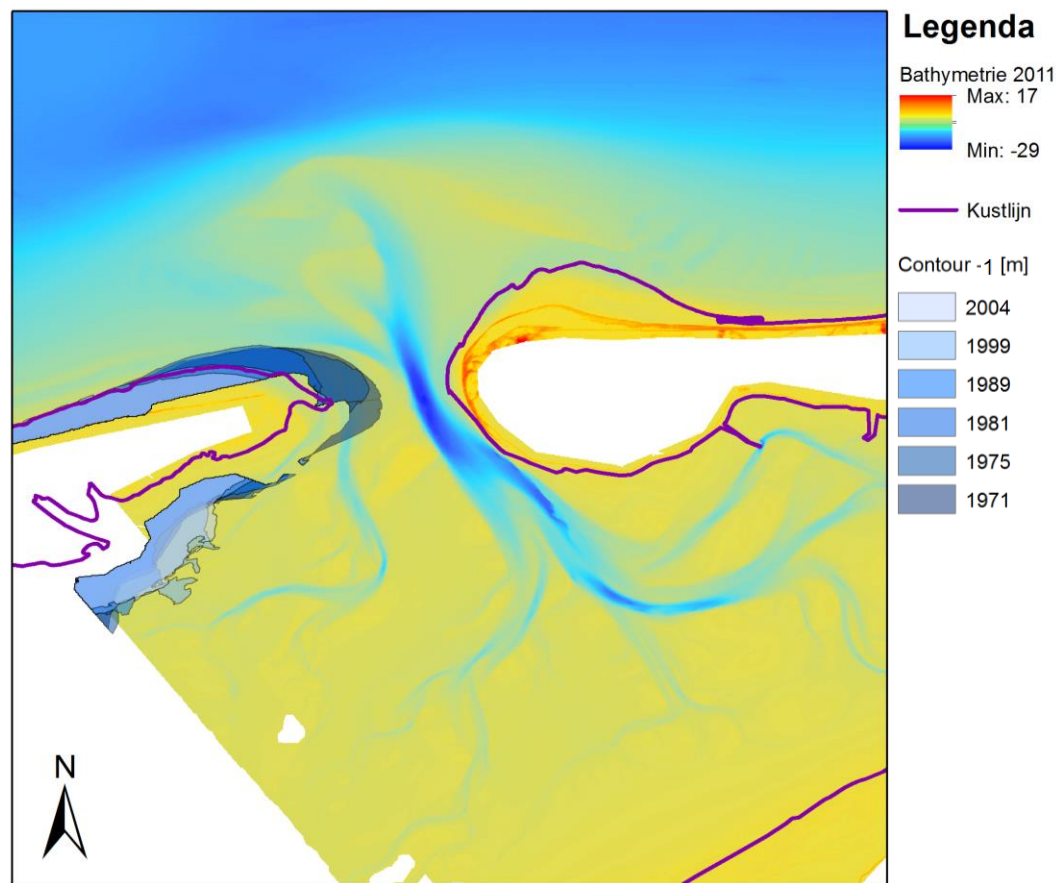
1. Maak verschilkaarten met behulp van de rastercalculator.
2. Maak contourlijnen met interval 1m en basis N.A.P.
3. Zoek de contourlijn waardoor het desbetreffende morfologisch samenhangende gebied omsloten wordt (handmatig). Deze contourlijn moet zich vanzelfsprekend ieder jaar op dezelfde hoogte bevinden.
4. Start de editor.
  - 4.1. Selecteer de contourlijn uit de voorgaande stap.
  - 4.2. Switch de selectie.
  - 4.3. Delete de selectie.
5. Pas de tool feature to polygon toe op de overgebleven contourlijn.
6. Pas de tool zonal statistics as table toe op de polygonen.
7. Join de zonal statistics table aan de polygon.
8. Bereken met de field calculator het volume ten opzichte van de desbetreffende contourlijn.

Ten slotte kunnen de verschillende jaren weergegeven worden en kunnen er verschillen worden berekend tussen de morfologisch samenhangende gebieden in de verschillende jaren.

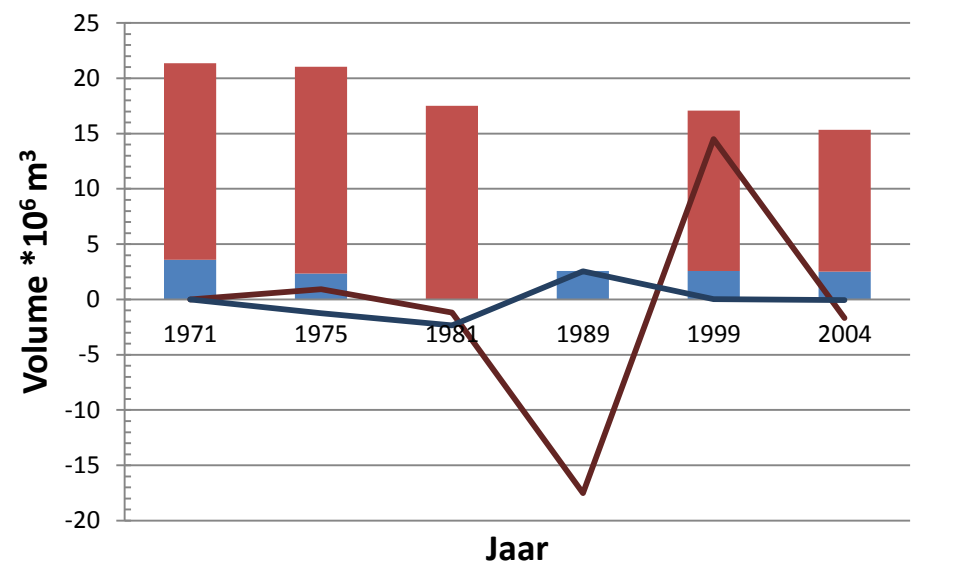
9.9. BIJLAGE 9; VOLUMEBEREKENINGEN MORFOLOGISCH SAMENHANGENDE GEBIEDEN



# Beweging Boschplaat



## Volume(verschil) per jaar t.o.v. -1m

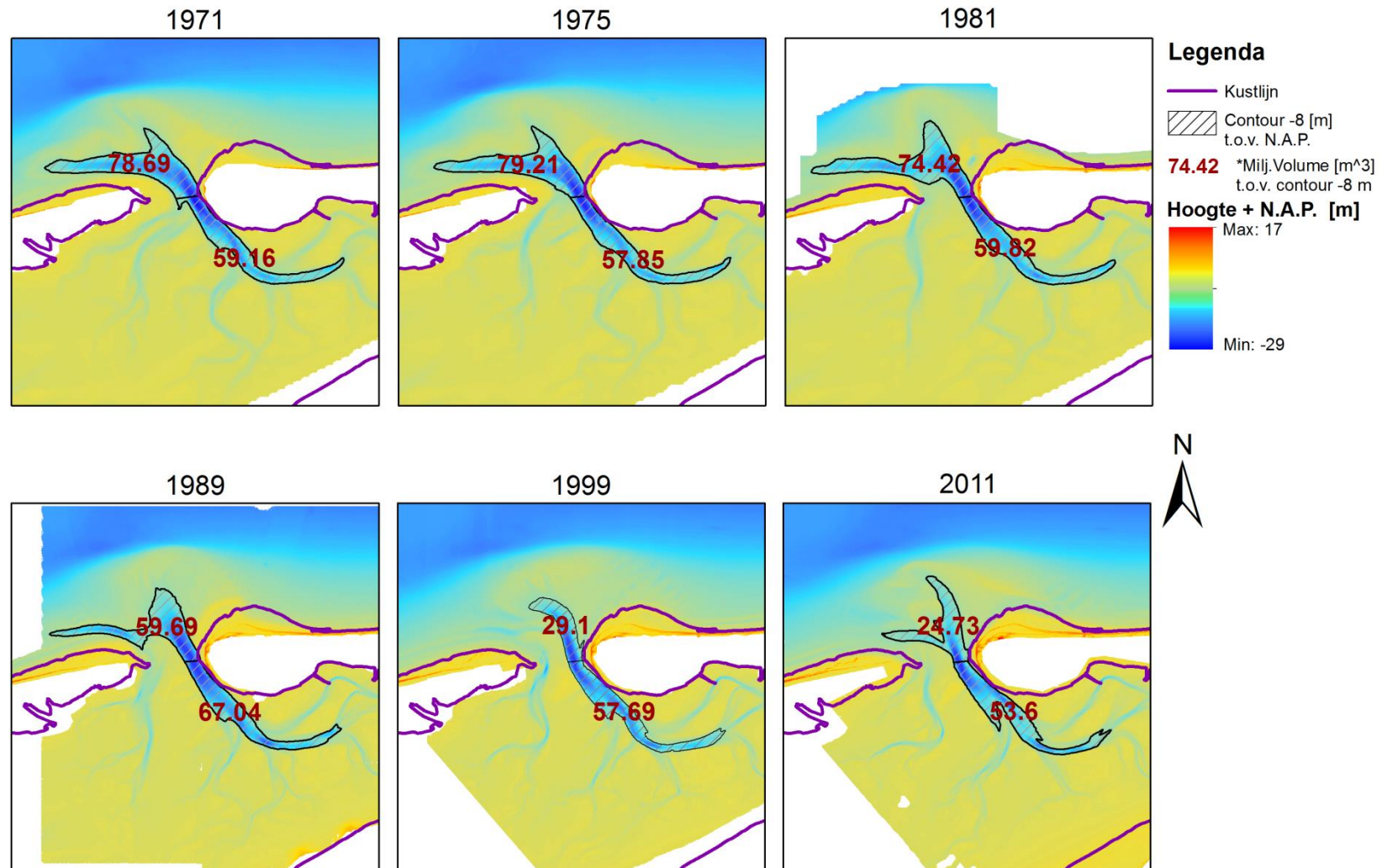


Noordzeezijde [m<sup>3</sup>]

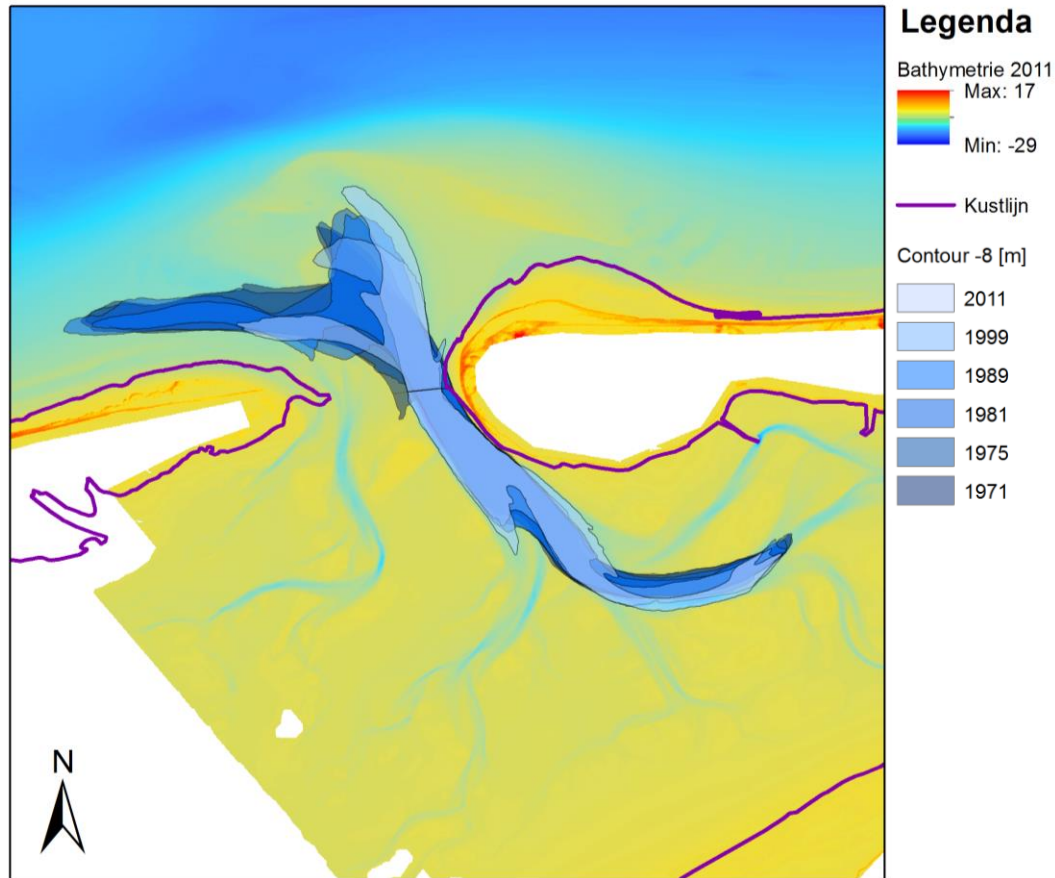
Waddenzeezijde [m<sup>3</sup>]

Volumeverschil Noordzeezijde [m<sup>3</sup>]

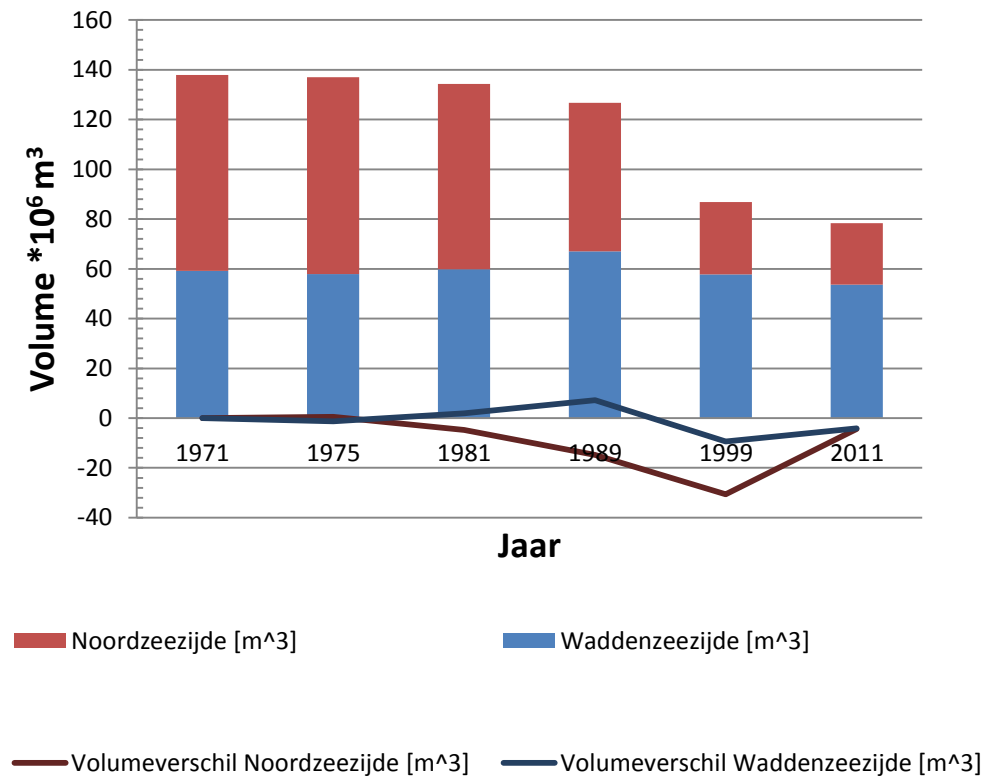
Volumeverschil Waddenzeezijde [m<sup>3</sup>]

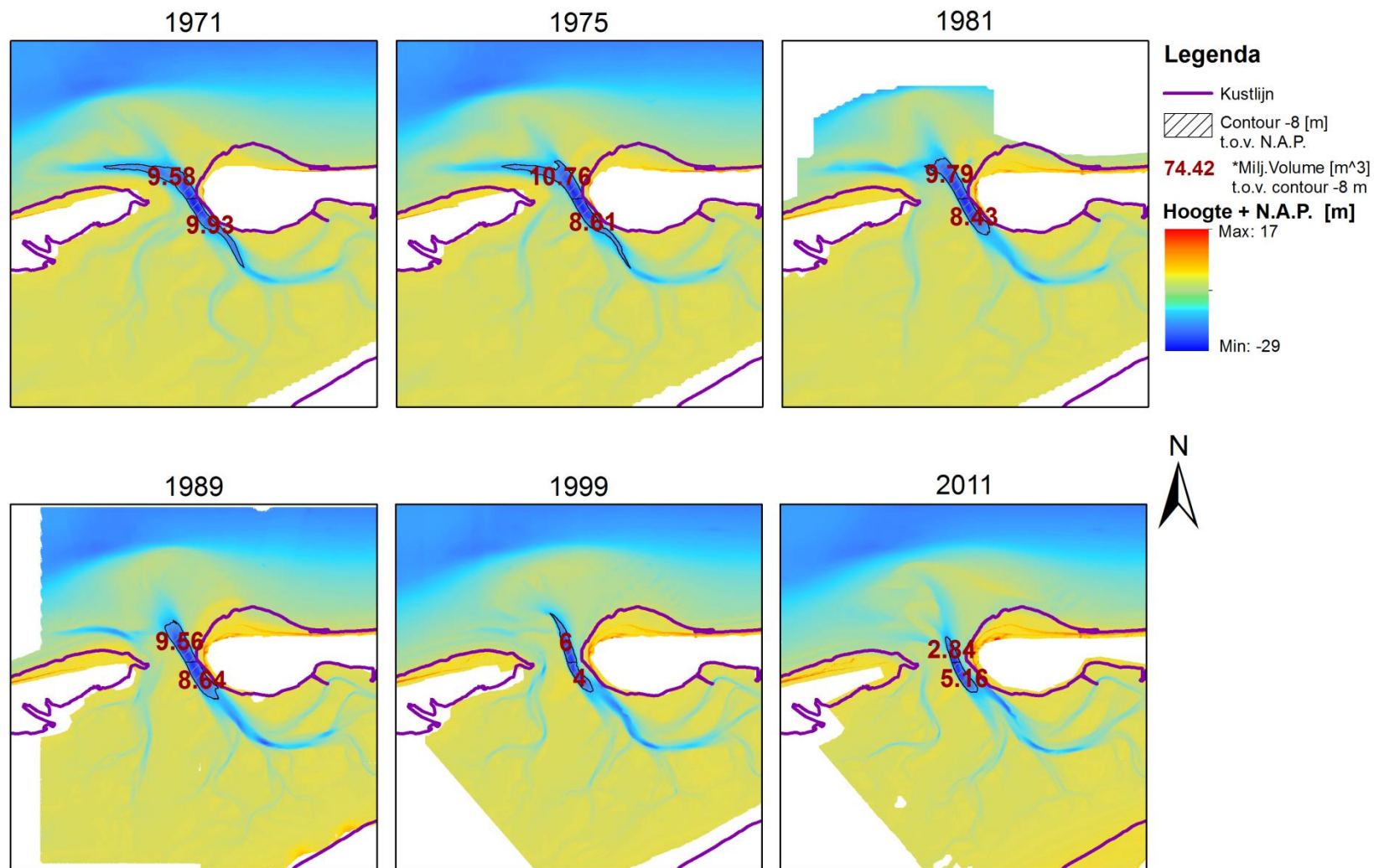


## Beweging Akkepollegat en Borndiep

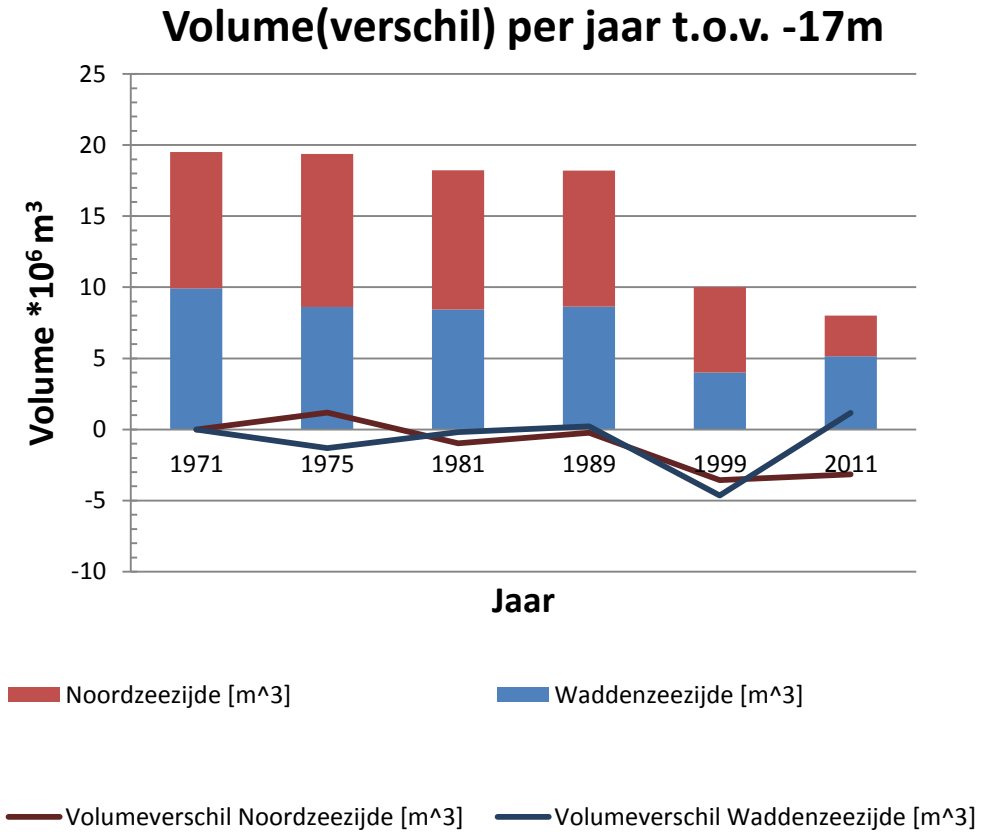
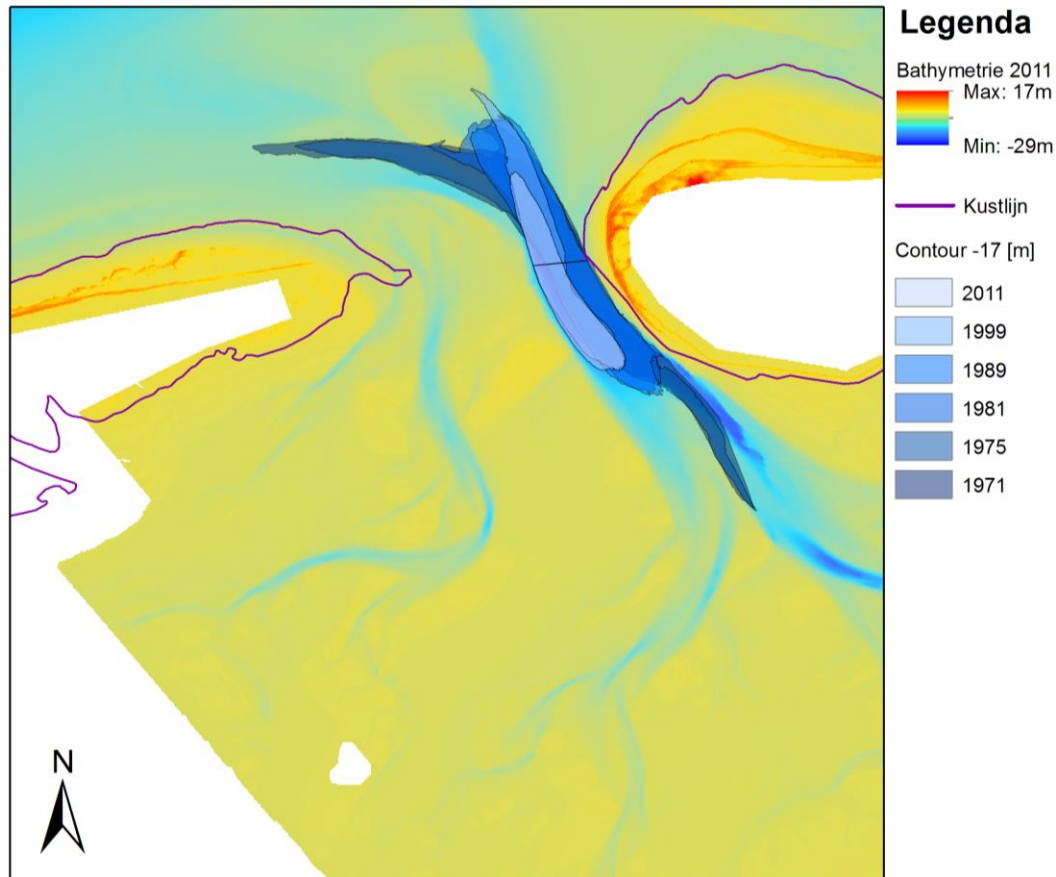


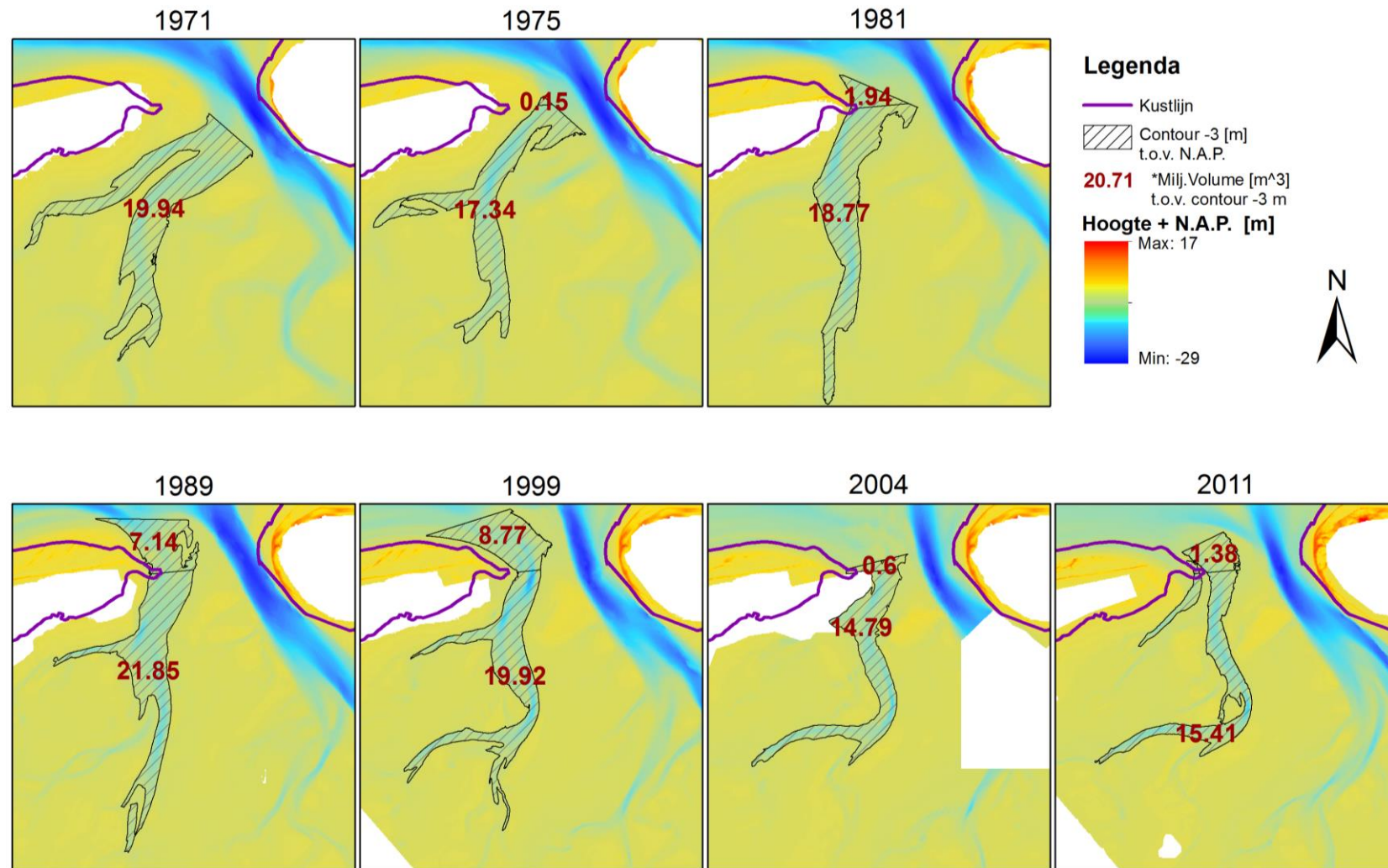
## Volume(verschil) per jaar t.o.v. -8m



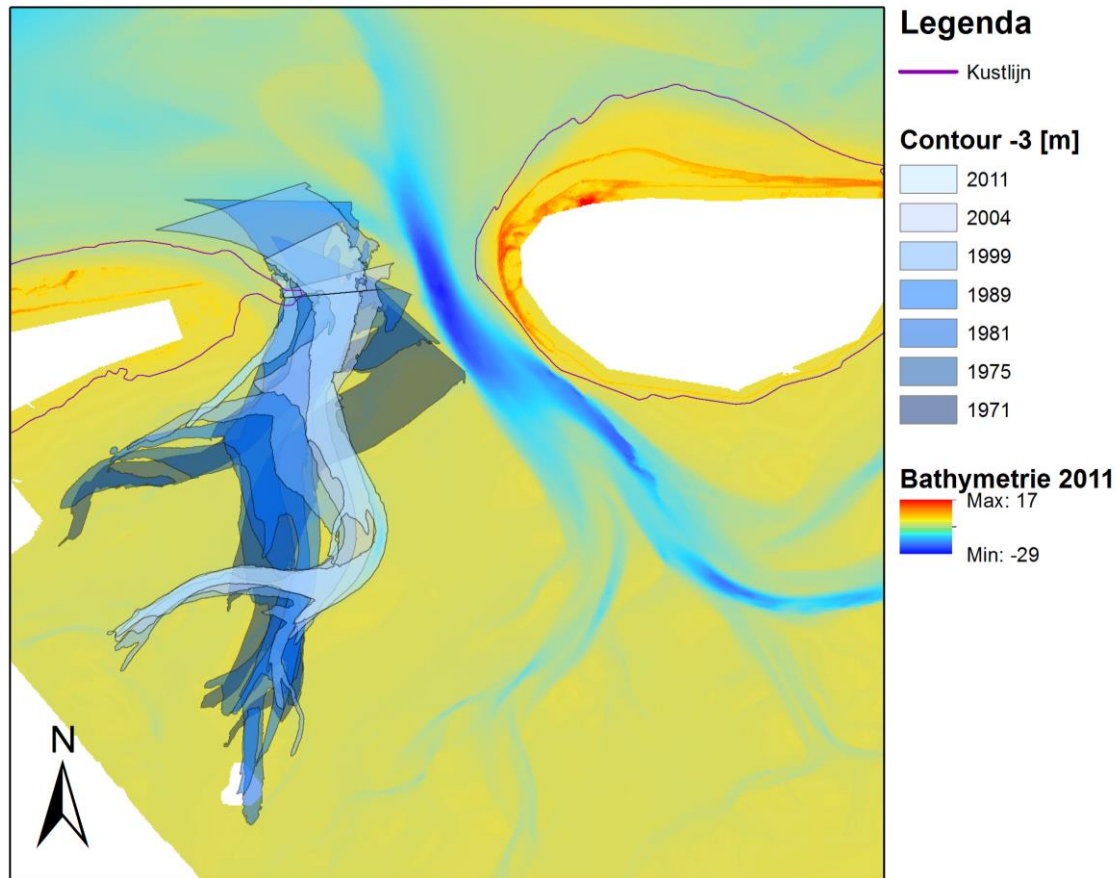


## Beweging Akkepollegat en Borndiep

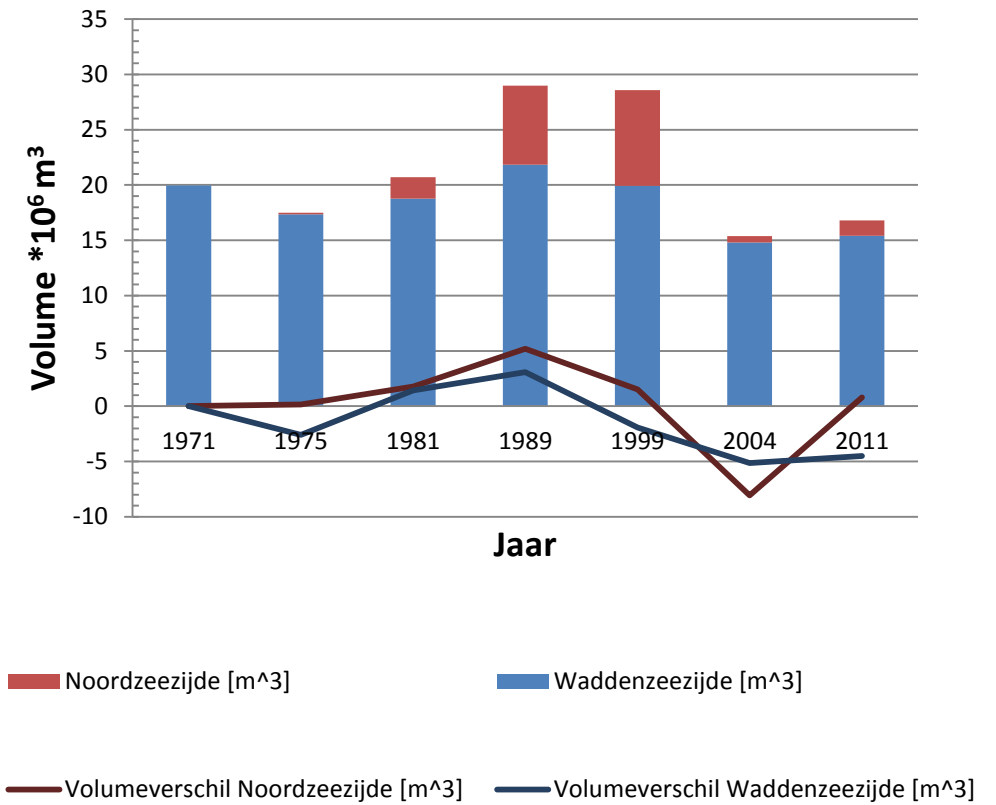




## Beweging Boschgat



## Volume(verschil) per jaar t.o.v. -3m



## 9.10. BIJLAGE 10; STAPPENPLAN COMBINATIE METHODE

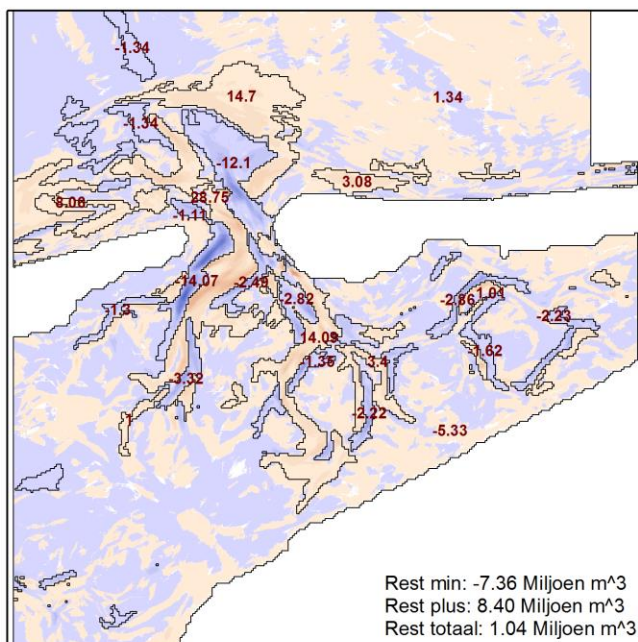
Met behulp van ArcGIS:

1. Maak verschilkaarten met behulp van de rastercalculator.
2. Kies een aggregatieniveau voor de polygonen.
  - 2.1. Maak een fishnet met het desbetreffende aggregatieniveau.
3. Pas zonal statistics toe op alle verschilkaarten in combinatie met het fishnet.
4. Herclassificeer de cellen met een vrij interval rondom het nulpunt.
5. Gebruik de tool raster to polygon.
6. Gebruik de tool eliminate polygon parts.
7. Gebruik de tool calculate areas.
8. Selecteer met behulp van “select by attributes”, de te kleine polygonen aan de hand van het oppervlak.
9. Gebruik de tool eliminate.
10. Gebruik voor een laatste maal de tool eliminate polygon parts.
11. Bereken de volumeverandering in miljoenen m<sup>3</sup>.
  - 11.1. Gebruik de tool add field.
  - 11.2. Gebruik de field calculator.

Ten slotte kunnen de verschillende jaren weergegeven worden.

## 9.11. BIJLAGE 11; VERSCHILKAARTEN MET POLYGONEN COMBINATIE METHODE

Verschilkaart 1975 - 1971

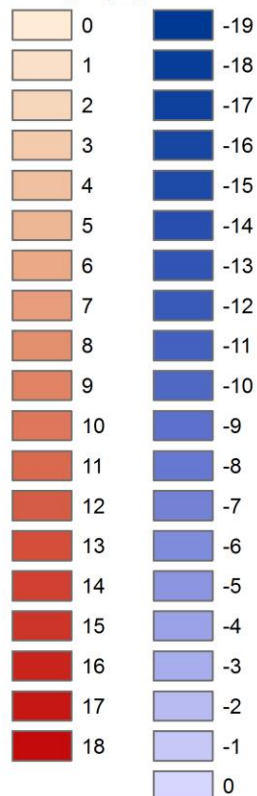


### Legenda

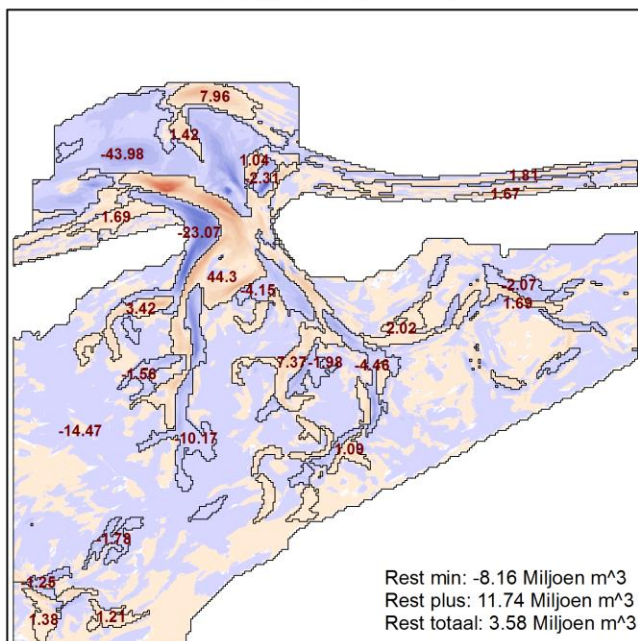
Automatisch gegenereerde polygonen

**14.7** Volumeverandering [Mm<sup>3</sup>]

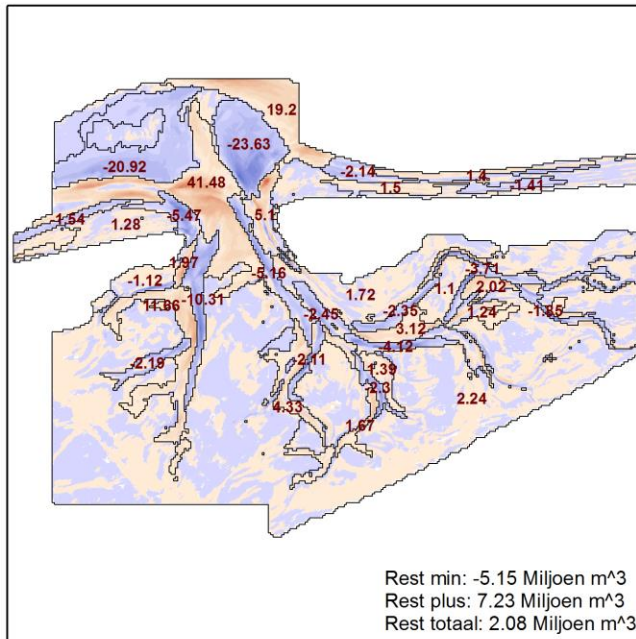
### Hoogte [m]



Verschilkaart 1981 - 1975



Verschilkaart 1989 - 1981



### Legenda

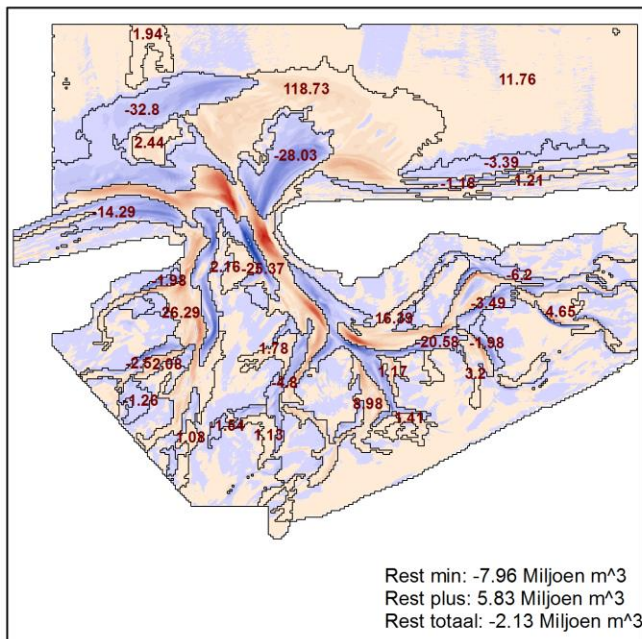
Automatisch gegenereerde polygoenen

14.7 Volumeverandering [Mm<sup>3</sup>]

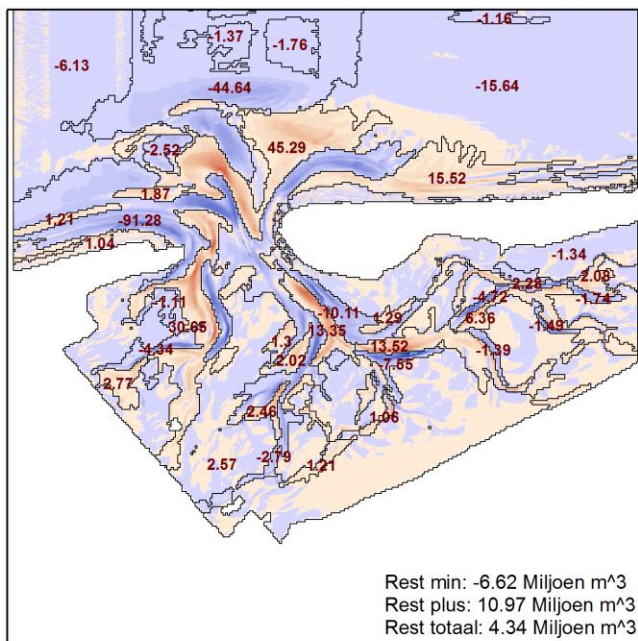
### Hoogte [m]



Verschilkaart 1999 - 1989



Verschilkaart 2011 - 1999

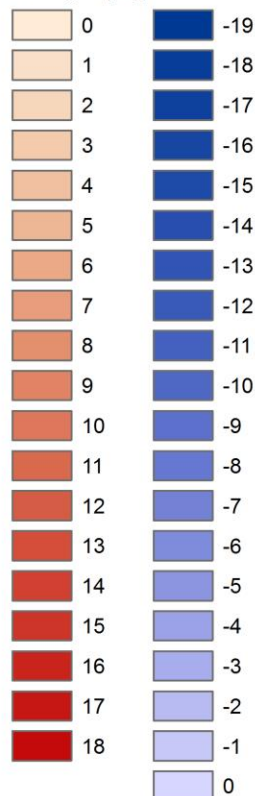


### Legenda

Automatisch gegenereerde polygonen

14.7 Volumeverandering [Mm<sup>3</sup>]

Hoogte [m]



Verschilkaart 2011 - 1971

