

# Natuurlijk Veilig – Landschapvormende processen



Invloed van suppleties en beheer  
op dynamiek in de zeereep



# **Natuurlijk Veilig - Landschapsvormende processen**

**Invloed van suppleties en beheer op dynamiek in de zeereep**

Stéphanie IJff  
Bob Smits  
Vincent van Zelst  
Bas Arens (Arens bureau voor strand -en duinonderzoek)



**Titel**

Natuurlijk Veilig - Landschapsvormende processen

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, LELYSTAD	11202190-001	11202190-001-ZKS-0012	49

**Trefwoorden**

Suppleties, zeereepbeheer, duinen, eolisch transport, zeereep

**Samenvatting**

Dit rapport presenteert de resultaten van het onderdeel 'Duinen' binnen het programma Natuurlijk Veilig. Centraal in dit onderzoek staat de vraag of, en zo ja hoe, het mogelijk is om door middel van variatie in de uitvoering van suppleties en het zeereepbeheer de diversiteit van kustduinlandschappen te vergroten. In het onderzoek wordt het effect van suppleren, via morfologische en ecologische processen, op de ontwikkeling van het kustduingebied onderzocht. Tevens wordt nagegaan welk type zeereepbeheer bijdraagt aan het doorstuiven naar het achterliggende duingebied en welke processen hierin sturend zijn.

In Natuurlijk Veilig wordt, net als in EGS I, de dynamiek en doorstuiving van de zeereep gecategoriseerd in zogenoemde 'responstypen'. Binnen deze responstypen wordt de overstuivingsgradiënt van Type 1 naar Type 5 steeds uitgestrekter in de kustdwarse richting, met een steeds grotere beïnvloeding van de achter de zeereep liggende duinen. De responstypen zijn voor de Nederlandse kust geïdentificeerd m.b.v. luchtfoto's, hoogtekaarten en hoogteverschilkaarten (o.b.v. laseraltimetriegegevens). Tevens is langs de gehele Nederlandse kust per Jarkusraai het zandbudget bepaald voor de volledige periode 1965-2017. Hierbij zijn trendbreuken geïdentificeerd met het oog op veranderingen in het beheer (conventioneel versus dynamisch zeereepbeheer) en autonome ontwikkeling.



Het volume van de zeereep is toegenomen in vrijwel alle kustvakken én perioden (1997-2008, 2008-2013 en 2013-2017). Fluctuaties in het zandvolume van de intergetijdezone en de zeereep zijn groter dan die van de vooroever. Er wordt een lichte toename in dynamiek in de zeereep geobserveerd langs de Nederlandse kust, welke vooral wordt veroorzaakt door een toename in dynamiek aan de voorzijde en top van de zeereep. Het aandeel van responstypen 4 en 5 (matig en hoge doorstuiving) neemt nauwelijks toe over de tijd. Op meerdere locaties langs de Nederlandse kust neemt de dynamiek van de zeereep toe, op andere locaties af. Mogelijk doordat kerven en stuifkuilen met de tijd ook weer dichtgroeien. Vanaf de jaren '90 neemt het volume van vooroeversuppleties langs de Nederlandse kust sterk toe. Met het toenemen van het suppletievolumen (strand -en vooroeversuppleties) neemt ook het duinvolumen toe. Dit ondersteunt de hypothese dat de toename van het volume in de zeereep (deels) veroorzaakt wordt door het uitvoeren van suppleties. Er is geen verschil gevonden tussen het effect van vooroeversuppleties en strandsuppleties. Hoewel de hypothese is dat suppleties een positief effect hebben op aanzanding vóór en op de zeereep (responstypen 2 en 3) en een negatief effect hebben op doorstuiving (responstypen 4 en 5), laten de resultaten het tegenovergestelde beeld zien. Op plaatsen waar gesuppleerd wordt (zowel strand- en duinsuppleties als geulwand- en vooroeversuppleties) neemt het aandeel in responstypen 4 en 5 toe, ten koste van het aandeel responstypen 2 en 3.

Naast suppleties is zeereepbeheer een van de mogelijke stuurknoppen voor veranderingen in duinvolumen en mate van doorstuiving. Vanaf 1990 is het aandeel van dynamisch duinbeheer langs de Nederlandse kust gestegen van 11% in 1990 tot 51% in 2017. Het was de verwachting dat zeereepbeheer vooral invloed heeft op de mate van dynamiek, en niet op veranderingen in het volume. Doordat suppletievolumen en beheertypen niet onafhankelijk

zijn lijkt er op het eerste gezicht een relatie te zijn tussen het toegepaste beheertype en duinvolumeveranderingen. Het is echter aannemelijk dat de suppleties aan de kust de drijvende factor zijn achter de geobserveerde volume veranderingen. Zoals verwacht is er een verband gevonden tussen zeereepbeheer en de mate van dynamiek in de zeereep. Vooral het responstype 5 (sterke mate van doorstuiving) lijkt alleen voor te komen op locaties waar sprake is van dynamisch zeereepbeheer. Dit resultaat suggereert dat dynamisch zeereepbeheer effect heeft.

Concluderend, wijzen de resultaten erop dat suppleties een sterk positief verband vertonen met het volume van de zeereep. Zeereepbeheer correleert sterk met de mate van dynamiek in de zeereep. Dit komt overeen met de hypothesen. De correlaties tussen suppleties en dynamiek in de zeereep, en tussen zeereepbeheer en volumeveranderingen zijn minder uitgesproken.

Hoewel de effecten van suppleties (of kustzonebeheer) en zeereepbeheer op de zeereep in dit rapport apart worden onderzocht, zijn deze stuurknoppen moeilijk los van elkaar te beoordelen. Ze beïnvloeden elkaar namelijk niet alleen via fysische processen, maar ook via uitvoering van beheer en beleid. Daarnaast verschilt de relatie tussen de stuurknoppen en het volume en dynamiek in de zeereep per kustvak. Het is dan ook onze aanbeveling om in vervolgonderzoek de effecten van suppleties en beheer op de zeereep verder te ontrafelen door het uitvoeren van aanvullende statistische analyses, en door het inzoomen op een aantal kleinere gebieden. Ook verdient het de aanbeveling om het corrigeren van fouten in hoogtedata door vegetatie te verbeteren. Hiervoor kan o.b.v. satellietdata de vegetatiegrenzen in kaart worden gebracht, waarna het oppervlak met struikgewas (waar de grootste fout van wordt verwacht) kan worden uitgesloten van de analyses.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1.1	jan. 2019	Stéphanie IJff Bob Smits Vincent van Zelst Bas Arens (Arens bureau voor strand- en duinonderzoek)		Marieke Eleveld		Frank Hoozemans	

**Status**  
definitief

**Titel**

Natuurlijk Veilig - Landschapsvormende processen

<b>Opdrachtgever</b>	<b>Project</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Pagina's</b>
Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, LELYSTAD	11202190-001	11202190-001-ZKS-0012	49

**Inhoud**

<b>1 Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1 Doel en aanleiding	1
1.2 Resultaten van Ecologisch Gericht Suppleren (EGS) I in het kort	2
1.3 Onderzoeksvraag en hypothesen	4
1.4 Leeswijzer	5
<b>2 Methode</b>	<b>7</b>
2.1 Beschikbare gegevens en software	7
2.2 Betrouwbaarheid gegevens	8
2.3 Analyses	9
<b>3 Volumeveranderingen en dynamiek van de zeereep langs de Nederlandse kust</b>	<b>13</b>
3.1 Volumeveranderingen in de zeereep	13
3.2 Dynamiek van de zeereep	17
3.3 Verband tussen volumeverandering en dynamiek in de zeereep	21
<b>4 Effect van suppleties op volumeveranderingen in de zeereep</b>	<b>25</b>
4.1 Inleiding	25
4.2 Resultaten analyses	26
4.3 Conclusie	30
<b>5 Effect van suppleties op dynamiek van de zeereep</b>	<b>31</b>
5.1 Inleiding	31
5.2 Resultaten analyses	32
5.3 Conclusie	33
<b>6 Effect van zeereepbeheer op volumeveranderingen in de zeereep</b>	<b>35</b>
6.1 Inleiding	35
6.1.1 Situatie dynamisch kustbeheer vóór 1990 (uit: Löffler and Veer 1999)	36
6.1.2 Situatie dynamisch kustbeheer in 1999 (uit: Löffler and Veer 1999)	36
6.1.3 Situatie dynamisch kustbeheer in 2017 (uit: Löffler and Van der Togt 2018)	37
6.2 Resultaten analyses	38
6.3 Conclusie	40
<b>7 Effect van zeereepbeheer op dynamiek van de zeereep</b>	<b>41</b>
7.1 Inleiding	41
7.2 Resultaten analyses	41
7.3 Conclusie	43
<b>8 Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>45</b>
8.1 Conclusies	45
8.2 Aanbevelingen	46

<b>9 Referenties</b>	<b>47</b>
<b>10 Bijlagen</b>	<b>49</b>



# 1 Inleiding

## 1.1 Doel en aanleiding

Om de kustlijn intact te houden voert Rijkswaterstaat ieder jaar zandsuppleties uit binnen het kader van Dynamisch Kustbeheer (DK). Samen met natuurorganisaties onderzoekt Rijkswaterstaat al ruim 10 jaar het effect van het opnieuw aanbrengen van zand (zandsuppletie). Het onderzoek Ecologische effecten van kustsuppleties, onder de naam 'Natuurlijk veilig', richt zich op de gevolgen voor de natuur van het opspuiten van zand aan de Nederlandse kust. Dit onderzoek wordt, in opdracht van Rijkswaterstaat, uitgevoerd door Wageningen Marine Research en Deltares. Het onderzoek richt zich zowel op de effecten onder water als boven water (strand en duinen). Het eerste deel van het onderzoek (Ecologisch gericht suppleren I, 2009-2015) is inmiddels afgerond.

Dit rapport presenteert de resultaten van het onderdeel 'Duinen' binnen het programma Natuurlijk Veilig. Centraal in dit onderdeel van Natuurlijk Veilig staat de vraag of, en zo ja hoe, het mogelijk is om door middel van variatie in de uitvoering van suppleties en het zeereepbeheer de diversiteit van kustduinlandschappen te vergroten. De eerste aanname is dat suppleties de sedimentuitwisseling tussen het strand en de duinen als gevolg van eolische processen kan veranderen (Van der Wal 2004). Vervolgens is de verwachting dat een divers landschap zal leiden tot een optimale biodiversiteit op nationale schaal (Lammerts and Van Haperen 2014; Oost et al. 2012). In het onderzoek wordt het effect van suppleren, via morfologische en ecologische processen, op de ontwikkeling van het kustduingebied onderzocht (Oost et al. 2017). Tevens wordt nagegaan welk type zeereepbeheer bijdraagt aan het doorstuiven naar het achterliggende duingebied en welke processen hierin sturend zijn. In 2019 wordt het onderzoek voortgezet door de invloed van suppleties en zeereepbeheer op duinhabitats en ecologische diversiteit van het achterduin te analyseren.

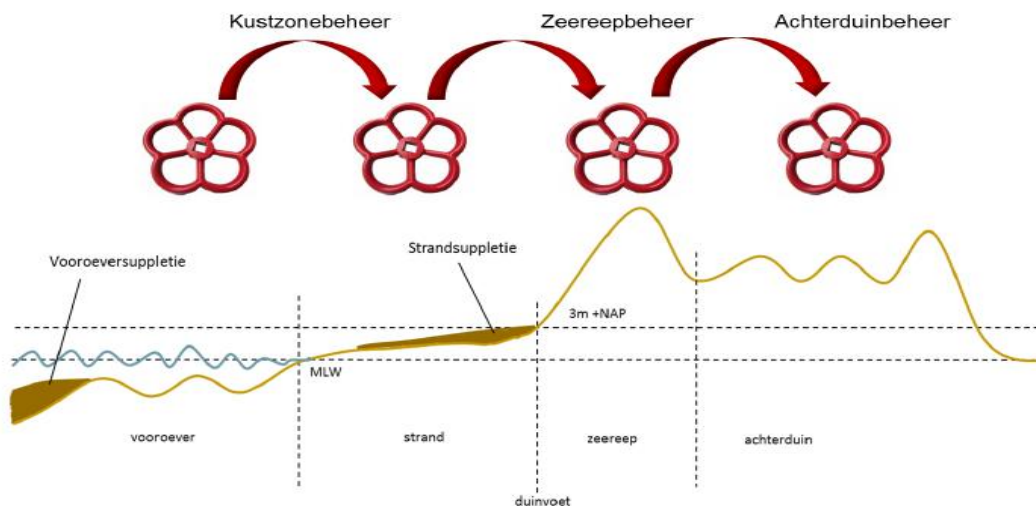
Sinds ongeveer 25 jaar worden veel duinen langs het strand 'dynamisch' beheerd, waarbij verstuing van zand vanaf het strand naar de zeereep en de duinen wordt toegelaten of zelfs gestimuleerd. Stuivend zand is belangrijk voor verschillende doeleinden (Löffler and Van der Togt 2018):

- Het op sterkte houden van de zandige waterkering (korte termijn): Doordat er zand vanaf het strand in de waterkering stuift en deze daardoor op orde blijft.
- Het in evenwicht houden van het 'kustfundament' met de zeespiegelstijging (veiligheid op lange termijn): Doordat er zand vanaf het strand via kuilen en kerven in de zeereep naar de achterliggende duinen stuift, die daardoor meegroeien met de stijgende zeespiegel. Een dynamische zeereep is een doorgeefluik van sediment.
- Ecologische en landschappelijke variatie: Doordat stuivend zand een 'motor' is voor ecologische verjonging en bijdraagt aan het behoud/ontwikkeling van habitats en biodiversiteit. Dit heeft voor veel gebieden een wettelijke grondslag: bijna het gehele duingebied is aangewezen als Natura2000 gebied en valt onder de Wet natuurbescherming. Bovendien vormt stuivend zand/dynamisch kustbeheer een herstelstrategie in het kader van de Programmatische Aanpak Stikstof.

- Vergroten zoetwaterbel/ bijdrage drinkwatervoorziening: Doordat stuivend zand kan zorgen voor bredere en hogere duinen. Hierdoor neemt de zoetwaterbel in omvang toe, hetgeen belangrijk is voor de drinkwatervoorziening op langere termijn.

Daarentegen is stuivend zand soms juist niet wenselijk, bijvoorbeeld vanwege infrastructuur, bebouwing of bijzondere vegetatietypen die niet goed gedijen bij (teveel) stuivend zand (Löffler and Van der Togt 2018). In diverse discussies tussen natuurbeheerders, ecologen en morfologen wordt onderkend dat het niet het doel is om maximale, maar om de gewenste hoeveelheden zand van het strand naar het achterduin te geleiden. Voor de ontwikkeling van witte duinen (Habitatype (H) 2120) is veel stuivend zand nodig, terwijl grijze duinen (H2130) gebaat zijn bij een lichte tot matige overstuiving.

In principe is er keuze tussen de volgende potentiële stuurknoppen om een gewenste hoeveelheid zand vanuit zee en strand naar het achterduin te verplaatsen: de stuurknop Kustzonebeheer (met keuze tussen vooroever-, geul- en/of strandsuppleties), de stuurknop zeereepbeheer en de stuurknop achterduinbeheer (alle duinen landwaarts van de zeereep) (Figuur 1.1). Daarbij gaat het vooral om de grotere en langetermijneffecten van suppleties en de resulterende doorstuiving landwaarts van de zeereep. Merk op dat de diverse zones waarin activiteiten plaats kunnen vinden verschillende beheerders hebben: suppleties vinden vooral plaats in het gebied waar Waterstaat de beheerder is, de zeereep wordt vooral beheerd door de waterschappen en lokaal, zoals op Vlieland en Terschelling door Rijkswaterstaat, terwijl het duingebied veelal beheerd wordt door natuurorganisaties of drinkwatermaatschappijen.



Figuur 1.1 Drie stuurknoppen om de doorvoer van suppletiezand naar het achterduin te beïnvloeden (figuur door S. D. Jff en B. van der Valk)

## 1.2 Resultaten van Ecologisch Gericht Suppleren (EGS) I in het kort

Uit het EGS I onderzoek kwam duidelijk naar voren dat er door de uitvoering van het suppletieprogramma meer zand de duinen in wordt getransporteerd, dan vóór die tijd het geval was. Daarbij bleek tevens dat de morfodynamiek van de zeereep de belangrijkste bepalende factor is voor geomorfologie, bodemchemie, vegetatieontwikkeling en bodemfauna van het achterduingebied. Voor morfologische diversiteit van landschap spelen zowel kustlijnbeheer als zeereepbeheer beide een belangrijke rol; voor de ecologische diversiteit

lijkt dit ook het geval te zijn op habitat niveau. Daarmee is de vraag geboren of, en zo ja hoe, één en ander op elkaar kan worden afgestemd.

Over de ruimtelijke verspreiding van suppletiezand vanuit suppletielocaties is nog weinig bekend (Arens, van Puijvelde, and Brière 2010; van der Wal 1999). Dat geldt in nog sterkere mate voor onderwatersuppleties. Van het, over een langere periode op de kust aangebrachte suppletiezand komt gemiddeld grofweg 25% ten goede aan een volumetoename van de duinen (Arens et al. 2010). De fluctuatie van de duinvoet lijkt minder te worden wanneer er gesuppleerd wordt. Vermoedelijk wordt dit veroorzaakt doordat het kustlijnbeheer ervoor zorgt dat afslag van de duinvoet wordt onderdrukt en daarmee de amplitude van de fluctuaties in de kustlijnligging afneemt.

Ook is in vrijwel alle onderzochte gebieden van de studie van Arens et al. (2010) het totaal aan dynamische duinvormen in oppervlak toegenomen sinds de start van het dynamisch kustbeheer. In het kader van 'zwakke schakels' zijn langs de Nederlandse kust in de periode 2003-2016 kustversterkingsprojecten uitgevoerd. Hierbij zijn soms ook nieuwe duingebieden ontstaan, zoals de Hondsbossche Duinen of in West Zeeuws-Vlaanderen. De Nederlandse zeereep reageert op dynamisch kustbeheer in de vorm van vijf 'responstypen' (RT, Arens et al. 2010). Binnen deze responstypen wordt de overstuivingsgradiënt van Type 1 naar Type 5 steeds uitgestrekter in de kustdwarse richting:

Type 1: Er is nauwelijks of geen dynamiek in de zeereep. Er is geen sprake van doorstuiving of ontwikkeling van embryonale duinen. Een lichte mate van aanstuiving bij de duinvoet is mogelijk. Op en achter de zeereep zouden grijze duinen zich kunnen ontwikkelen (H2140) of duindoornstruweel (H2160)

Type 2: Er is vooral sprake van toegenomen dynamiek vóór de zeereep, door de ontwikkeling van embryonale duinen (H2110). Embryonale duinen worden hier gedefinieerd als solitaire duintjes op een breed strand die zich vormen rond een hoog vloedmerk en biestarwegras. Het bredere strand dat ontstaat door strandsuppleties, leidt ertoe dat de frequentie van duinvoeterosie door golven afneemt wat duinaangroei (tijdelijk) stimuleert (van der Wal 1999; Van der Wal 2004). Doordat de embryonale duinen het grootste deel van de dynamiek wegvangen is er weinig of geen dynamiek meer in de oorspronkelijke zeereep zelf (Arens et al. 2012). Doorstuiving door de zeereep heen is verwaarloosbaar; opstuiving op de zeereep is wel aanwezig. Bij doorgroeien van de embryonale duinen ontstaat habitatype H2120, witte duinen. Potentie voor onderhoud van grijze duinen achter de zeereep door 'overpoedering' met zand is laag tot zeer laag. Bij dit responstype neemt de successie in de achterliggende duinen toe, wat leidt tot veroudering van het landschap. Witte duinen op de zeereep zouden zich door een afname van de dynamiek op den duur wel kunnen ontwikkelen tot grijze duinen.

Type 3: Er is sprake van een matige tot forse dynamiek die tot aanstuiving leidt aan de voorzijde en tot ophoging van de top van de zeereep. De zeereep breidt daardoor zeewaarts en in de hoogte uit. Embryonale duinen kunnen al dan niet voorkomen. De doorstuiving van de voorzijde over de top naar de achterzijde van de zeereep is verwaarloosbaar. Habitatype 2120 is goed ontwikkeld in de zeereep, 2110 is wel of niet aanwezig. De potentie voor onderhoud van grijze duinen door 'overpoedering' is wel aanwezig, maar zeer beperkt.

Type 4: Net als bij type 3 is er sprake van een matige tot forse dynamiek, maar nu strekt deze zich ook uit tot achter de zeereep. De potentie voor onderhoud van grijze duinen is dan matig tot goed. Habitatype 2120 is in de zeereep en in een relatief smalle zone erachter goed ontwikkeld, H2110 is wel of niet aanwezig. Bij een dynamische zeereep is de vegetatie onregelmatig over het oppervlak verdeeld. Een dynamische zeereep ontwikkelt zich logischerwijs alleen als er geen stabilisatie van de zeereep plaatsvindt. Vaak moet de

zeereep een handje geholpen worden (de Groot et al. 2012), hoewel ook spontane dynamisering optreedt, bijvoorbeeld in Noord-Holland.

Type 5: Het laatste type kent de grootste dynamiek door extreme aanstuiving, secundaire verstuing, of een combinatie van beide. Afhankelijk van de mate van aanstuiving, of de rol die afslag speelt bij de mobilisatie van zand, zijn embryonale duinen wel of niet aanwezig. Door de ontwikkeling van kerven met de daarbij behorende parabolisering en stuifkuilen is de doorstuiving naar achteren toe veel groter dan in de andere typen. Depositie van zeer veel zand kan leiden tot algehele overstuing van duinvegetatie (Van der Wal 2004), waardoor de dynamiek zelfversterkend kan worden. Er is een grote lange-termijn potentie voor onderhoud van grijze duinen. De ontwikkelingsprocessen kunnen meerdere decennia duren, waarna de daarop volgende successie ook nog decennia in beslag kan nemen.

### 1.3 Onderzoeksvraag en hypothesen

De onderzoeksvraag die centraal staat in dit rapport, is: *Wat is de invloed van suppleties en zeereepbeheer op veranderingen in volume en dynamiek van de zeereep langs de Nederlandse kust?*

Voor afbakening van de analyses wordt de hoofdvraag gesplitst in vier deelvragen met bijbehorende hypothesen.

**Deelvraag 1** *Wat is de invloed van suppleties op volumeveranderingen in de zeereep?*

**Hypothese:** Suppleties leiden tot een volumetoename in de zeereep. Strand- en duinsuppleties hebben een groter effect, en op kortere termijn, dan vooroever- en geulwandsuppleties.

**Deelvraag 2** *Wat is de invloed van suppleties op (veranderingen in) de dynamiek van de zeereep?*

**Hypothese:** De hypothese is dat erosie van de zeereep een positief effect heeft op het doorstuiven van zand, en dat suppleties daarom een negatieve invloed hebben op het vóórkomen van hoge dynamiek in de zeereep (responstypen 4 en 5). Suppleties worden verwacht wel een positief effect te hebben op aanzanding vóór en op de zeereep (responstypen 2 en 3).

**Deelvraag 3** *Wat is de invloed van zeereepbeheer op volumeveranderingen in de zeereep?*

**Hypothese:** De hypothese is dat volumeveranderingen in de zeereep primair bepaald worden door het zandaanbod, en dat zeereepbeheer daarom geen invloed heeft op veranderingen in volume van de zeereep.

**Deelvraag 4** *Wat is de invloed van zeereepbeheer op (veranderingen in) de dynamiek van de zeereep?*

**Hypothese:** De beheerstrategie/beheeringrepen zijn in belangrijke mate sturend voor de mate van dynamiek in de zeereep.

Hoewel de effecten van suppleties (of kustzonebeheer) en zeereepbeheer op de zeereep in dit rapport apart worden onderzocht, zijn deze stuurknoppen moeilijk los van elkaar te beoordelen. Ze beïnvloeden elkaar namelijk niet alleen via fysische processen, maar ook via uitvoering van beheer en beleid. Door de per jaar en per strekkende meter grotere toevoer van zand naar de zeereep is er sinds 1991 meer ruimte gekomen om dynamische experimenten met zand toe te staan, zoals het aanbrengen van kerven in de zeereep.

#### 1.4 Leeswijzer

Dit rapport presenteert de volumeveranderingen en dynamiek in de zeereep langs de Nederlandse kust tot 2017. Tevens worden de invloeden van zandsuppleties en zeereepbeheer op deze ontwikkelingen onderzocht. **Hoofdstuk 2** beschrijft de methode, waaronder de gebruikte data en toegepaste analyses. **Hoofdstuk 3** presenteert de resultaten van volumeveranderingen en dynamiek van de zeereep langs de Nederlandse kust. **Hoofdstuk 4 en 5** bediscussiëren de effecten van zandsuppleties op respectievelijk volumeveranderingen en veranderingen in dynamiek van de zeereep. **Hoofdstuk 6 en 7** presenteren de effecten van zeereepbeheer op respectievelijk de volumeveranderingen en veranderingen in dynamiek van de zeereep. **Hoofdstuk 8** bevat de conclusies en aanbevelingen. In de **Bijlagen** zijn de resultaten per kustvak te vinden.



## 2 Methode

### 2.1 Beschikbare gegevens en software

Voor het in kaart brengen van de responstypen zijn luchtfoto's gebruikt van de Nederlandse kust. De luchtfoto's zijn als WMS beschikbaar gesteld door PDOK.

- Luchtfoto 2008; Landsdekkende dataset, 25cm resolutie, kleuren (RGB). Beschikbaar gesteld door Rijkswaterstaat Data en ICT Dienst.
- Luchtfoto 2013. Landsdekkende dataset, 25cm resolutie, false colour (ECW). Beschikbaar gesteld door Rijkswaterstaat Data en ICT Dienst.
- Luchtfoto 2017. Landsdekkende dataset, 25cm resolutie, kleuren (RGB). WMS server door Landelijke Voorziening Beeldmateriaal.

Sinds 1997 wordt de hoogteligging van de gehele kust gebiedsdekkend opgenomen met behulp van laseraltimetrie (LA), de zogenaamde AHN-bestanden. Deze LA-gegevens zijn gebruikt voor de jaren 2008, 2013 en 2017. De hoogtegegevens zijn beschikbaar in 5x5m<sup>2</sup> grids (2008 en 2013) en 2x2m<sup>2</sup> grids (2013 en 2017).

De analyses zijn uitgevoerd in ArcGIS Desktop 10.05, met extensies Spatial Analyst, 3D Analyst en Geostatistical Analyst.

De data die is gebruikt voor de analyse van de zandbudgetten is afkomstig uit Jarkus-gegevens. Sinds 1964 worden de Jarkus-gegevens per raai ingewonnen langs de gehele kust. Over het algemeen hebben de raaien een onderlinge afstand van 200m (Wadden, Delta) tot 250m (Hollandse kust). De raaien worden zowel onder als bovenwater opgenomen. De onderwatermetingen worden verricht door lodingen. De bovenwatermetingen zijn tot 1997 fotogrammetrisch uitgevoerd aan de hand van luchtfoto's, vaak aangevuld met waterpassingen op het strand. Sinds 1997 worden de hoogtemetingen afgeleid uit de laseraltimetriegegevens. Hiermee kunnen zandbudgetten tevens vlakdekkend worden berekend, zodat het volume en de volumeverandering van de zeereep voor een willekeurig op te geven kustvak en periode bepaald kunnen worden.

De beschikbaarheid van de laseraltimetriegegevens tussen 1997 en 2003 wisselt echter per kustvak en per jaar. Tot 2004 is het slechts voor een beperkt aantal kustvakken mogelijk jaarlijkse volumeveranderingen te bepalen, vanwege deze onvolledige beschikbaarheid. Vanaf 2004 worden alle kustvakken jaarlijks opgenomen. Voor een bespreking van betrouwbaarheid en methode van uitwerking van de LA-data wordt verwezen naar het RWS-rapport (Arens, 2009).

Data die is gebruikt voor analyse van de invloed van suppleties afkomstig uit de suppletie database van Rijkswaterstaat en WVL (RWS-WVL, 2017), verkregen via Bas Arens. De database bevat een overzicht van de verrichte suppleties vanaf omstreek 1960 tot 2017. De suppleties zijn gekarakteriseerd aan de hand van de locatie, start –en einddatum, volume en typesuppletie.

Voor de gegevens over zeereepbeheer zijn twee rapporten gebruikt: 'Grasduinen in de Waterkering? Evaluatie van dynamisch kustbeheer' (Löffler and Veer 1999) en 'Dynamiek in de kustzone. Doelen en achtergronden op grond van bezoeken aan de regio' (Löffler and Van der Togt 2018). Het eerste rapport is een evaluatie van het dynamisch kustbeheer langs de

Nederlandse kust in de periode vóór 1990, de veranderingen sinds 1990 en de ambities voor de toekomst. Waterkering- en duinbeheerders zijn benaderd om informatie te verkrijgen over o.a. veranderingen in het waterkeringbeheer, oorzaken en effecten hiervan en ideeën voor de toekomst. Het rapport van (Löffler and Van der Togt 2018) presenteert de resultaten van dynamisch kustbeheer in 2017. Dit is een vervolg op een inventarisatie uit 2015 waarin door DGRW (nu DGWB) het dynamisch kustbeheer in beeld heeft gebracht. Er is toen echter niet geïnventariseerd wat het doel is van het toelaten van dynamiek op een bepaalde locatie en ook niet hoeveel zand hiervoor (bij benadering) nodig is. Doel van het vervolgtraject is om meer inzicht te krijgen in de doelen en achtergronden van het huidige dynamisch kustbeheer, waarbij de in 2015 gemaakte kaarten als uitgangspunt dienen.

## 2.2 Betrouwbaarheid gegevens

Vanaf 2013 is de resolutie van de hoogtegegevens uit laseraltimetrie toegenomen van een 5x5m<sup>2</sup> resolutie naar een 2x2m<sup>2</sup> resolutie. Dit betekent ook dat voor het bepalen van de responstypen in de periode 2008-2013 een lagere resolutie laseraltimetrie beschikbaar is dan voor de periode 2013-2017. Voor dit rapport wordt de 95,4% foutmarge van AHN2 aangehouden (15 cm). Wanneer hoogteverschilkaarten worden berekend, waarbij het verschil tussen twee hoogtekarten wordt bepaald, wordt een foutmarge aangehouden van  $\sqrt{15^2 + 15^2} = 21$  cm (Eleveld 1999). De resolutie van de luchtfotografie is wel voor alle jaren gelijk. Door ook de luchtfoto's te bestuderen bij het bepalen van de responstypen, wordt de onbetrouwbaarheid door een lagere resolutie laseraltimetriegegevens tot een minimum beperkt.

De betrouwbaarheid van de Jarkus hoogtegegevens is voldoende om ook kleine hoogteveranderingen (orde 10 cm of meer) vast te stellen. Trends in de volumeontwikkeling, zoals de geleidelijke ophoging door overstuiving of juist verlaging door erosie, zijn over het algemeen goed waarneembaar als ze over een voldoende lange periode bekeken worden. Van jaar tot jaar kunnen echter grote fluctuaties optreden. Hierbij valt op dat transporthoeveelheden erg groot kunnen zijn en positieve en negatieve veranderingen elkaar direct opvolgen. Dit is waarschijnlijk het gevolg van meetfouten, waardoor de gegevens minder geschikt zijn om een verandering tussen opeenvolgende jaren te bepalen, tenzij de fouten uitgefilterd kunnen worden (wat erg arbeidsintensief is).

Voor de hoogtegegevens uit laseraltimetrie geldt in principe dezelfde nauwkeurigheid op lange termijn als voor de Jarkus hoogtegegevens. De belangrijkste bronnen van onzekerheid zijn de volgende:

- In sommige kustvakken is de hoogte niet gemeten tot een punt landwaarts van de zeereep waar geen zandtransport meer plaatsvindt. Dit leidt op sommige plaatsen tot een onderschatting van de volumeveranderingen. De fouten die hiermee gemaakt worden zijn echter beperkt, omdat verreweg het grootste deel van het transport zich binnen de zeereep afspeelt. Alleen bij responstype 5 kan dit een probleem zijn.
- In een aantal kustvakken (Ameland en Goeree) blijkt de uitfiltering van vegetatie onvoldoende te zijn waardoor ook vegetatiegroei als hoogteverandering wordt aangemerkt. Hier moet in de interpretatie rekening mee worden gehouden. Voor een nauwkeurige verschilberekening zou het gebied waar vegetatiegroei een rol speelt uit de data verwijderd moeten worden. Anders moet worden uitgezocht hoe groot het aandeel van de vegetatiegroei in de zandbalans is. Het gebruik van landgrenzen, aangeleverd door Bas Arens, in de zandbudgetten berekeningen is onderzocht. De uitkomsten waren onwenselijk, omdat voor een groot deel van de kust de landgrens midden of voor de duin was gepositioneerd. Dit resulteerde in de uitsluiting van delen



van de duinen. In de toekomst zou het gebruik van satelliet data om de vegetatiegrens te implementeren onderzocht kunnen worden. Hierbij is het belangrijk dat er onderscheid tussen struikgewas en helmgras kan worden gemaakt.

- Een fout in de geo-referentie zorgt voor ruis, waarbij een kleine verschuiving kan leiden tot een groot hoogteverschil.
- De beschikbaarheid van data kan leiden tot onnauwkeurigheid doordat bij iedere periode een verschillend oppervlak wordt geanalyseerd (zie uitgewerkt voorbeeld in Arens, Van Puijvelde, & Brière (2010)).

De belangrijkste consequentie van deze onzekerheden is dat er geen volumeverandering beschouwd wordt tussen opeenvolgende jaren, maar dat alleen trends onderzocht worden. Daarnaast is de mate van overstuiving vanaf de zeereep landinwaarts over het algemeen te klein om met laseraltimetriegegevens over een periode van 10 jaar te kunnen worden bepaald. Hierdoor kan geringe overstuiving, een belangrijke abiotische randvoorwaarde voor habitatype 2130 (Grijs duin), niet goed worden bepaald..

De Jarkus- en lasteraltimetriegegevens worden vanwege de betrouwbaarheid gebruikt voor de bestudering van de lange-termijnontwikkeling van zandbudgetten langs de gehele Nederlandse kust en eventuele trendbreuken daarin.

Hoewel voor de inventarisatie van het dynamisch kustbeheer in (Löffler and Veer 1999) waterkering- en duinbeheerders langs de gehele Nederlandse kust hebben benaderd, bevat het rapport niet voor alle delen van de kust informatie over het type beheer. In (Löffler and Van der Togt 2018) is wel voor de gehele Nederlandse kust informatie beschikbaar over het type beheer en de doelen van dit beheer.

### 2.3 Analyses

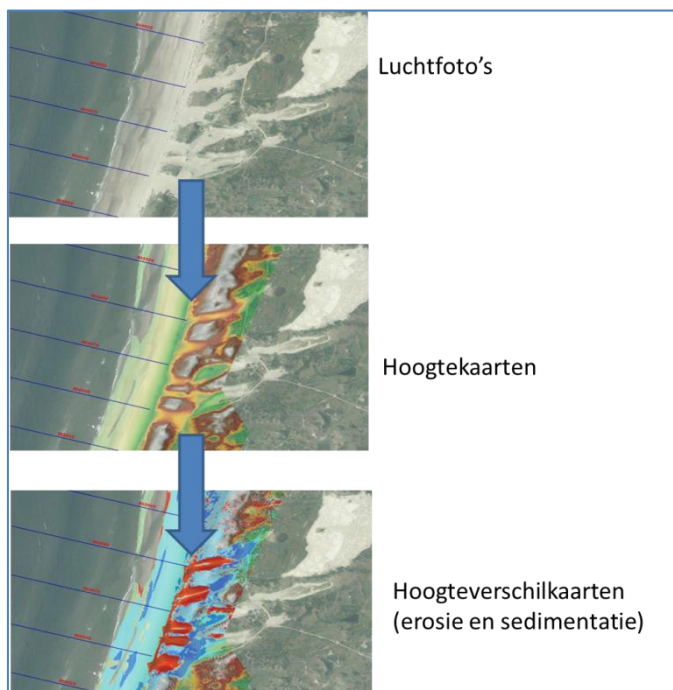
In Natuurlijk Veilig wordt, net als in EGS I, de dynamiek en doorstuiving van de zeereep gecategoriseerd in zogenoemde 'responstypen'. Binnen deze responstypen wordt de overstuivingsgradiënt van Type 1 naar Type 5 steeds uitgestrekter in de kustdwarse richting, met een steeds grotere beïnvloeding van de achter de zeereep liggende duinen (Tabel 2.1).

Tabel 2.1 Beschrijving criteria waarmee de responstypen zijn bepaald. Lichte sedimentatie = minimaal 10cm aanstuiving in een periode van 5 jaar voor 10% van het oppervlak waar naar gekeken wordt (gebied voor de zeereep, de kruin, of achter de zeereep, behorend tot een bepaalde jarkusraai).

Responstype	Criteria
<b>Type 1) Nauwelijks dynamiek</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geen sedimentatie op de kruin of achter de zeereep</li> <li>• Geen embryonale duinen</li> <li>• Evt. lichte sedimentatie aan duinvoet</li> </ul>
<b>Type 2) Beperkte dynamiek voorzijde zeereep</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sedimentatie vóór de zeereep</li> <li>• Evt. aanwezigheid en/of ontwikkeling van embryonale duinen</li> <li>• Geen sedimentatie op of achter de zeereep</li> </ul>
<b>Type 3) Matig tot forse dynamiek voorzijde en ophoging zeereep</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sedimentatie vóór de zeereep</li> <li>• Sedimentatie op de kruin van de zeereep</li> <li>• Evt. aanwezigheid en/of ontwikkeling van embryonale duinen</li> <li>• Geen sedimentatie achter de zeereep</li> </ul>
<b>Type 4) Dynamische zeereep met beperkte doorstuiving</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sedimentatie vóór en op de kruin van de zeereep</li> <li>• Aanwezigheid van stuifkuilen en/of kerven in en/of achter de zeereep</li> <li>• Lichte Sedimentatie achter de zeereep</li> </ul>

<p><b>Type 5) Gekerfde zeereep met sterke doorstuiving</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sterke sedimentatie vóór en op de kruin van de zeereep (&gt;50 cm in 5 jaar voor 10% van het oppervlak tussen twee Jarkus-raaien in)</li> <li>• Aanwezigheid van kerven die de zeereep helemaal doorklieven</li> <li>• Evt. aanwezigheid van stuifkuilen achter de zeereep</li> <li>• Sterke sedimentatie achter de zeereep (&gt;50 cm in 5 jaar voor 10% van het oppervlak)</li> </ul>
--	--

De responstypen zijn voor de Nederlandse kust geïdentificeerd m.b.v. luchtfoto's, hoogtekaarten en hoogteverschilkaarten (o.b.v. laseraltimetriegegevens), zie Figuur 2.1. Voor EGS I zijn al de responstypen voor de periode 1988-2008 in kaart gebracht (Arens et al., 2010). Voor Natuurlijk Veilig worden voor twee perioden de responstypen bepaald: 2008-2013 en 2013-2017. Er is gekozen voor 2013 als 'breekpunt', omdat voor 2013 zowel een lage resolutie (5x5m) als een hoge resolutie (2x2m) laseraltimetrie kaart beschikbaar was. De 5x5m<sup>2</sup> hoogtekaart van 2013 is gebruikt voor de periode 2008-2013, en de 2x2m<sup>2</sup> hoogtekaart van 2013 is gebruikt voor de periode 2013-2017. Op basis van de criteria (Tabel 2.1) is per Jarkus raai het responstype bepaald. Met de hoogteverschilkaarten is het aantal cm sedimentatie en erosie bepaald, en met een combinatie van de hoogtekaart en de luchtfoto zijn embryonale duinen, kerven en stuifkuilen geïdentificeerd. Er is zowel gekeken naar het gebied direct achter de raai en het gebied aan weerszijden van de raai.



Figuur 2.1 Gebruik van luchtfoto's, hoogtekaarten en hoogteverschilkaarten om responstypen in kaart te brengen

Langs de gehele Nederlandse kust is het zandbudget bepaald per Jarkus raai voor de volledige periode 1965-2017. De zandbudgetten per Jarkus raai zijn opgedeeld in meerdere compartimenten (Tabel 2.2, Tabel 2.3). De grenzen van de compartimenten zijn per kustvak verschillend door afhankelijk van het getijverschil. Laag astronomisch tij (LAT) en hoog astronomisch tij (HAT) zijn bepaald per kustvak op basis van (Zijl, 2018). Voor de vooroever en de duinen is respectievelijk geen ondergrens en bovengrens gehanteerd. In deze gevallen is het laagste en hoogste punt voor de betreffende Jarkus raai bepalend.

Tabel 2.2 Gehanteerde compartimentgrenzen vooroever, intertidale zone en strand.

Compartiment	Ondergrens	Bovengrens
Vooroever	-	LAT
Intertidale zone	LAT	HAT
Strand	LAT	3m

Voor de duinen is zowel het volume berekend boven 3m +NAP en +5m NAP (voor alle Jarkus raaien zijn twee waarden berekend).

Tabel 2.3 Gehanteerde compartimentsgrenzen voor de duinen.

Duinen (3m)	3m	-
Duinen (5m)	5m	-

In de studie zijn de volumeberekeningen gebaseerd op jarkus raaien, resulterend in een volume verandering per strekkende meter. De jarkus raaien zijn in de berekeningen opgedeeld in meerdere compartimenten (Tabel 2.2, Tabel 2.3), echter zijn de systeemgrenzen formeel niet gesloten.

Hierbij zijn trendbreuken geïdentificeerd met het oog op veranderingen in het beheer (conventioneel versus dynamisch zeereepbeheer) en autonome ontwikkeling. Vervolgens is de jaarlijkse trend in de volumeontwikkeling bepaald voor de periodes 1997-2008, 2008-2013 en 2013-2017, analoog aan de periodes waarvoor de responstypen zijn bepaald. Deze trends zijn bepaald door het fitten van een trendlijn aan alle data van de betreffende periode (N.B. er is dus niet alleen gekeken naar het eerste en laatste jaar).

Op basis van (Löffler and Van der Togt 2018; Löffler and Veer 1999) is per Jarkus raai de beheerstrategie in de periodes <1990, 1990-1999 en 2015-2017 bepaald. Hiervoor zijn de categorieën aangehouden uit Tabel 2.4. Omdat er een verschil is in het aantal klassen (3 klassen voor <1990 en 1990-1999, en 4 klassen voor 2015-2017) zijn de klassen van 2015-2017 genormaliseerd met '1' als minimale, en '3' als maximale waarde.

Tabel 2.4 Klassen beheerstrategie uit (Löffler and Veer 1999) en (Löffler and Togt 2018) en de categorieën die worden aangehouden in dit rapport.

Klassen beheerstrategie <1990, 1990-1999 (Löffler and Veer 1999)	Klassen beheerstrategie 2015-2017 (Löffler and Van der Togt 2018)	Categorie
Actief zeereeponderhoud/Vastleggingsbeheer	Geen instuiving	1
Incidenteel zeereeponderhoud/Beperkt dynamisch kustbeheer	Instuiving alleen zeereep	2
Geen zeereeponderhoud/Dynamisch kustbeheer	Instuiving van en voorbij de zeereep	3
	Maximale dynamiek	4

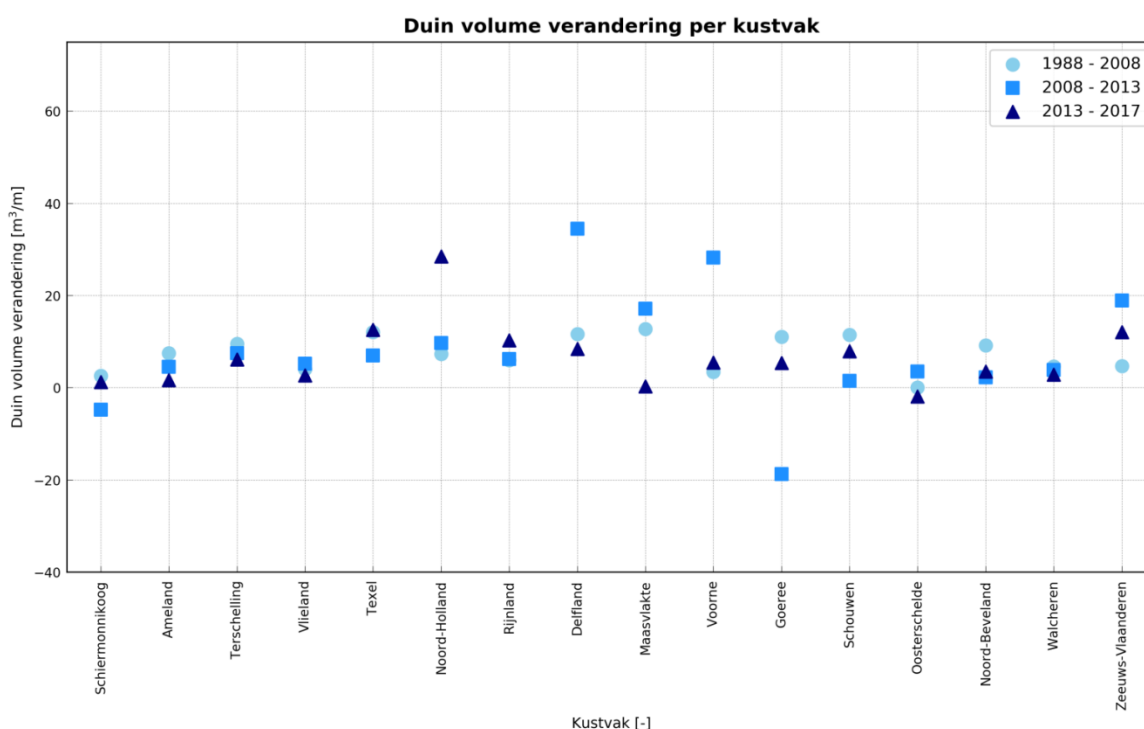


### 3 Volumeveranderingen en dynamiek van de zeereep langs de Nederlandse kust

In dit hoofdstuk worden de resultaten besproken van volumeveranderingen in de zeereep, en de mate van dynamiek in de zeereep (de responstypen).

#### 3.1 Volumeveranderingen in de zeereep

Met de methode zoals uitgelegd in hoofdstuk 2 is langs de gehele Nederlandse kust het duinvolume bepaald per Jarkusraai voor de volledige periode 1965-2017. De jaarlijkse trend in de volumeontwikkeling is bepaald voor de periodes 1997-2008, 2008-2013 en 2013-2017. In Figuur 3.1 wordt voor deze perioden de gemiddelde volumeverandering weergegeven per kustvak. De figuur laat zien dat in vrijwel alle kustvakken én perioden het volume van de zeereep is toegenomen. Er zijn positieve uitschieters zichtbaar voor Noord-Holland, Delfland en Voorne, en een negatieve uitschieter voor Goeree. In Goeree speelt mogelijk de nauwkeurigheid van de hoogtebepaling door aanwezigheid van vegetatie een rol. De positieve uitschieters zijn het gevolg van grote kustversterkingsprojecten, zoals de Zandmotor (Delfland 2011), Hondsbossche Duinen (Noord-Holland 2015) en de kustversterking bij Voorne (2009-2010).



Figuur 3.1 Gemiddelde volumeverandering in de zeereep, berekend per kustvak voor de perioden 1988-2008, 2008-2013 en 2013-2017.

In dit onderzoek is naast de volumeverandering van de zeereep, ook de volumeverandering van de vooroever, intergetijdzone en het strand bepaald. Uit (Arens et al. 2010) blijkt dat er verschillende combinaties mogelijk zijn tussen zandbudgetten van de vooroever, het strand en de zeereep (Tabel 3.1). Hoewel alle combinaties in theorie mogelijk zijn, komen in de

proefgebieden uit Arens et al. 2010 de combinaties “negatief zandbudget vooroever/strand en positief/neutraal budget zeereep” niet voor.

Tabel 3.1 Mogelijke combinaties van zandbudgetten op vooroever/strand en zeereep (Arens et al. 2010)

		vooroever/strand		
		+	0	-
zeereep	+	aanzanding, aangroei, kustwaartse uitbreiding, zand komt van elders binnen <b>Groote Keeten, Langeveld</b>	vooroever fungeert als doorvoerzone, of zandverlies naar zeereep wordt gecompenseerd door aanvoer van elders <b>Castricum</b>	erosie vooroever zorgt voor zand op het strand voor duinvorming
	0	aanzanding op vooroever heeft zeereep nog niet bereikt, aanpassing van te steil profiel? <b>Walcheren</b>	stabiel <b>Wassenaar</b>	erosie op vooroever heeft zeereep nog niet bereikt, aanpassing van te flauw profiel?
	-	afslag en erosie zeereep, ophoping zand op vooroever <b>Schoorl, Bergen-Egmond</b>	vooroever fungeert als doorvoerzone, of zandaanbod van zeereep wordt afgevoerd naar elders, mogelijk zandverlies uit zeereep door secundaire verstuiving <b>Heemskerk</b>	erosie, afslag, terug schrijdende kust, zand verdwijnt naar elders <b>Texel noord, Schouwen</b>

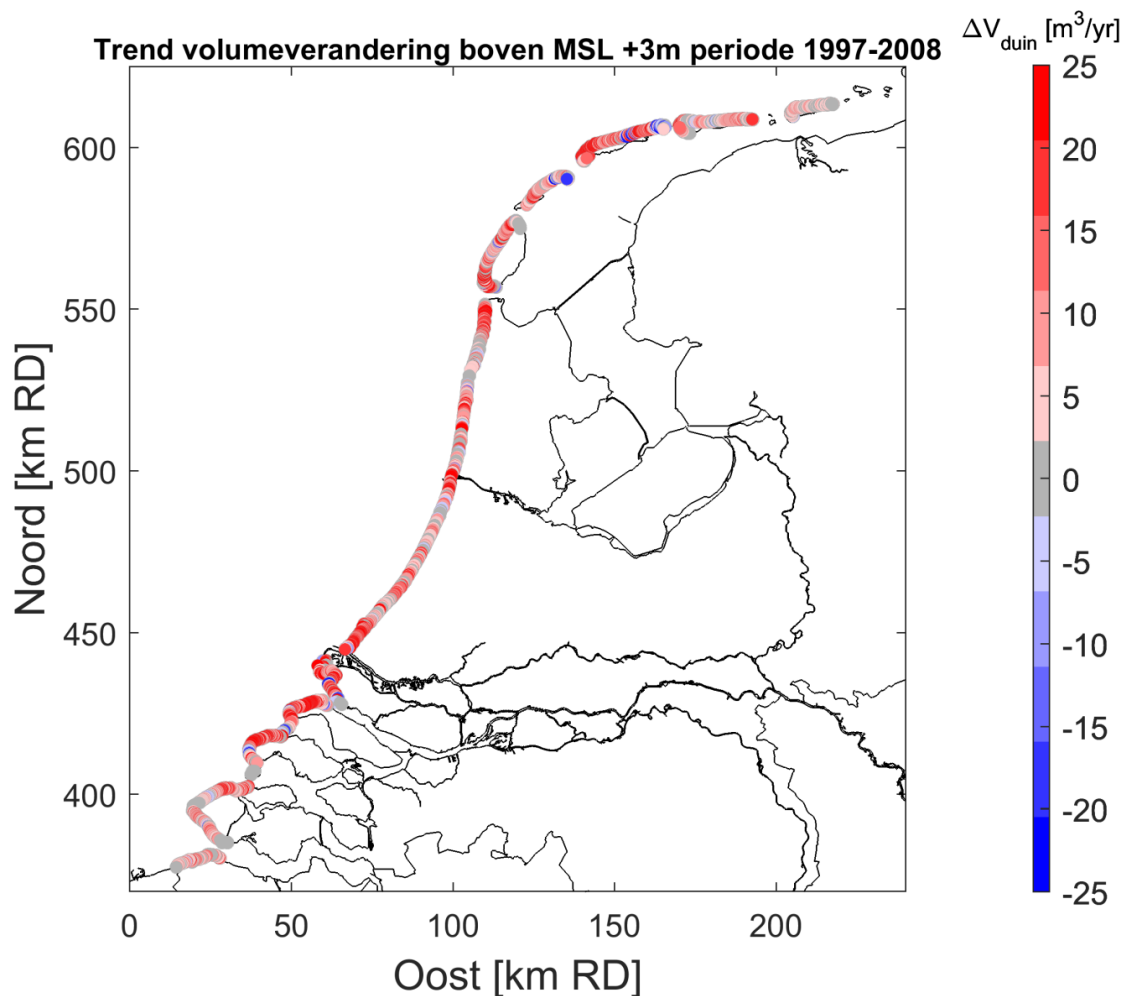
Figuur 3.2, Figuur 3.3 en Figuur 3.4 tonen de jaarlijkse trend in de volumeontwikkeling in de zeereep langs de Nederlandse kust, respectievelijk voor de periodes 1997-2008, 2008-2013 en 2013-2017. Hieronder worden per regio (Waddengebied, Hollandse kust en Zeeuwse kust) de belangrijkste ontwikkelingen genoemd.

In het Waddengebied worden grote volumeveranderingen waargenomen voor zowel de periode 2008-2013 als 2013-2018. Met name op de eilanden in de oostelijke Waddenzee lijken zowel de volumetoenames als de -afnames af te zwakken voor de meest recente jaren (periode 2013-2017). In de periode 2008-2013 zijn volumetoenames waargenomen langs de kust van midden- en oost-Ameland, delen van west- en midden-Terschelling, en langs de kusten van Vlieland en Texel. Volumeafnames vonden met name plaats op delen van west- en oost-Terschelling, een enkele locatie op midden-Texel (km 28-29). In de periode 2013-2017 waren de volumeafnames langs de kust van Schiermonnikoog en midden-Texel afgezwakt of zelfs veranderd in lichte volumetoenames. Langs de kust van midden- en Oost-Ameland en op de zuidpunt en noordoostkust van Vlieland waren juist de volumetoenames afgezwakt of zelfs veranderd in lichte volumeafnames. Langs de kust van west-Ameland, Terschelling en de rest van Vlieland en Texel zijn de trends nauwelijks veranderd tussen de twee periodes. Veranderingen in duinen van de Waddeneilanden worden beïnvloed door de dynamiek in de voordelta's. Geulen en de migratie van zandplaten in voordelta's spelen een belangrijke rol in sedimentbudgetten en erosie van de eilandkusten (met name de eiland kop en -staart) (Eleveld 1999).

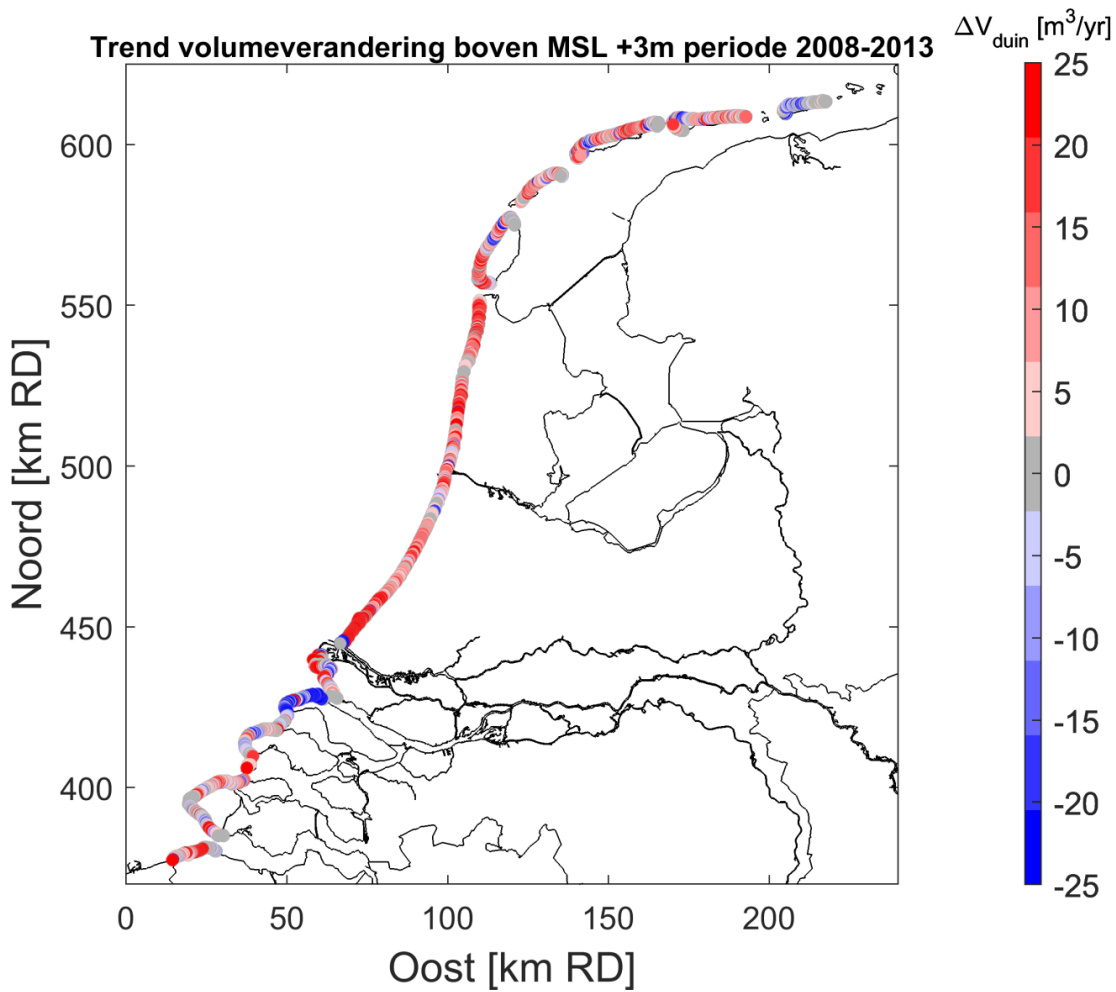
De Hollandse kust vertoont voor beide periodes over het algemeen volumetoenames. Langs de kust van Noord-Holland vonden in de periode 2008-2013 zeer grote volumetoenames plaats langs de eerste 15 km vanaf Den Helder, tussen Schoorl en Egmond (km 30-37). In de periode 2013-2017 vonden zeer grote volumetoenames plaats in de Hondsbossche duinen (km 20-26) en waren er enkele lokale volumeafnames (km 4 en km 14). Langs de kust van

Zuid-Holland vonden in de periode 2008-2013 grote volumetoenames plaats in de buurt van Bloemendaal (km 57-59), Noordwijk (km 79-82), Scheveningen (km 99-101) en langs de vrijwel gehele kust tussen Den Haag en Hoek van Holland. Tussen km 61-71 vonden slechts geringe volumetoenames of zelfs volumeafnames plaats. In de periode 2013-2017 vonden er volumeafnames plaats bij Wassenaar (km 93-94) en de Zandmotor (km 108-109). De sterke volumetoename van de periode hiervoor was langs de gehele Delflandkust wat afgezwakt.

Langs de Zeeuwse kust worden ook grote volumeveranderingen waargenomen voor zowel de periode 2008-2013 als 2013-2018. In de periode 2008-2013 vertonen met name de kust van Goeree en de noordkust van Schouwen sterke volumeafnames, terwijl langs de zuidkust van Voorne, de noordkust én zuidelijke punt van Walcheren en de kust van Zeeuws-Vlaanderen juist sterke volumetoenames zijn waargenomen. In de periode 2013-2017 lijken deze sterke volumeveranderingen wat afgezwakt (noordkust van Goeree, noordkust van Schouwen, noordkust van Walcheren) of zelfs omgeslagen naar volumetoename (kop van Goeree) of -afname (kop van Voorne). Er is zo meer lokale afwisseling ontstaan tussen toenames en afnames.

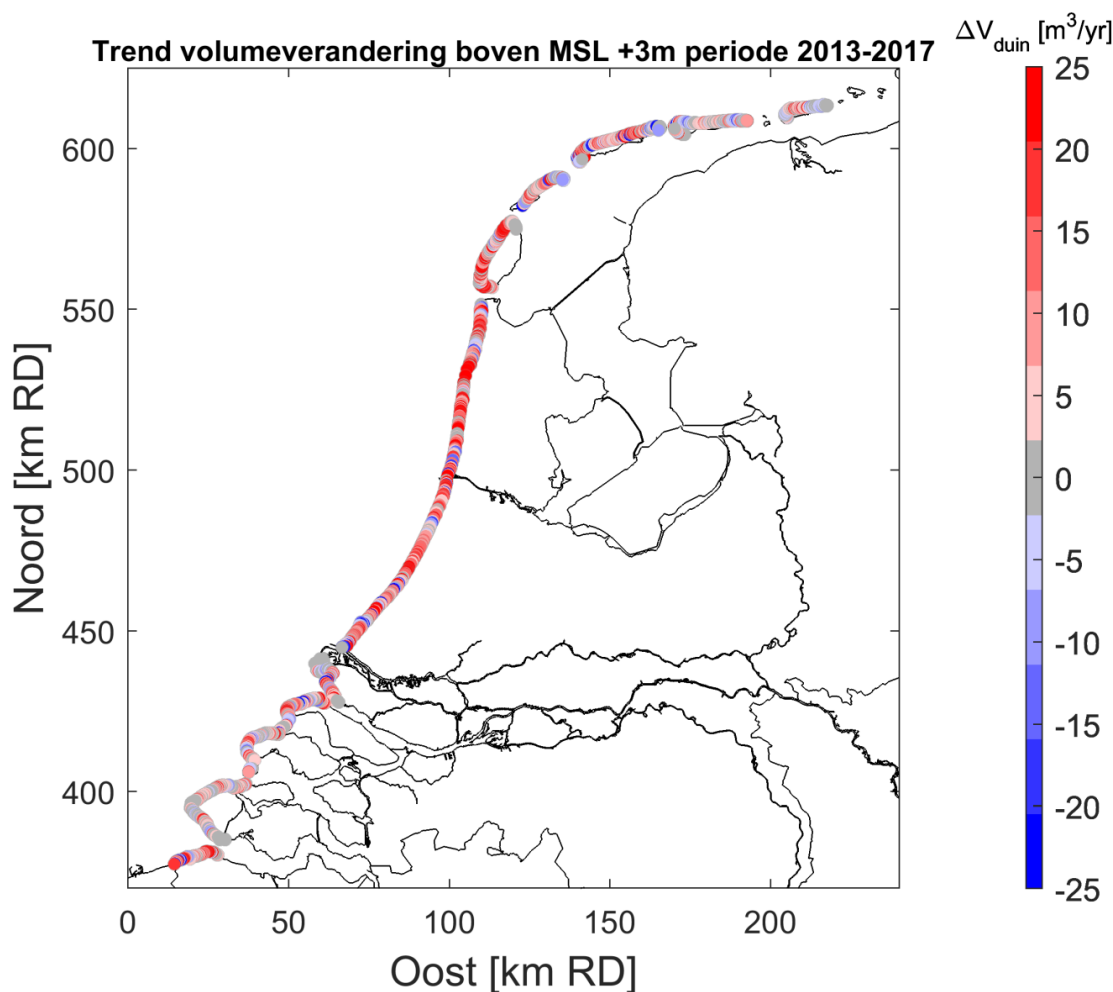


Figuur 3.2 Trend in zeeleepvolume langs de Nederlandse kust voor periode 1997-2008



Figuur 3.3 Trend in zeereepvolume langs de Nederlandse kust voor periode 2008-2013



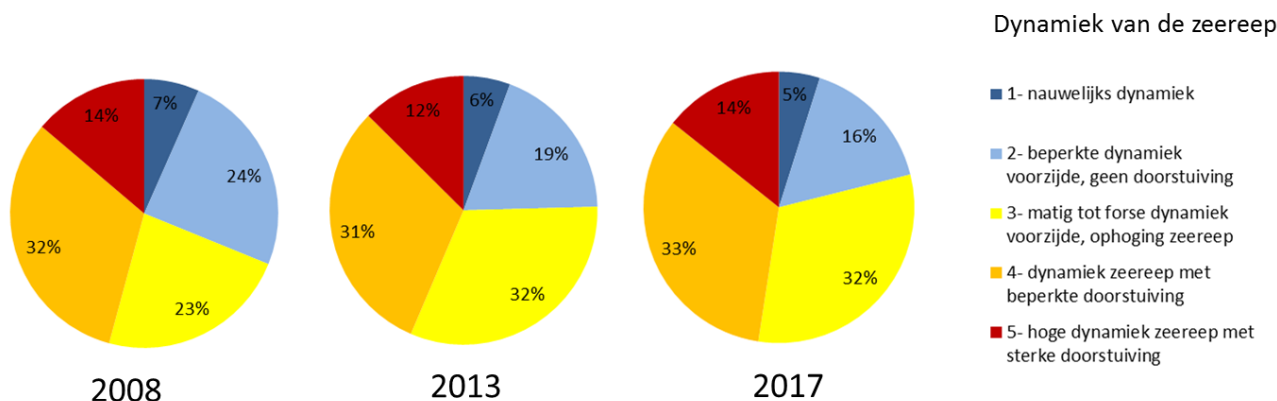


Figuur 3.4 Trend in zeereepvolume langs de Nederlandse kust voor periode 2013-2017

### 3.2 Dynamiek van de zeereep

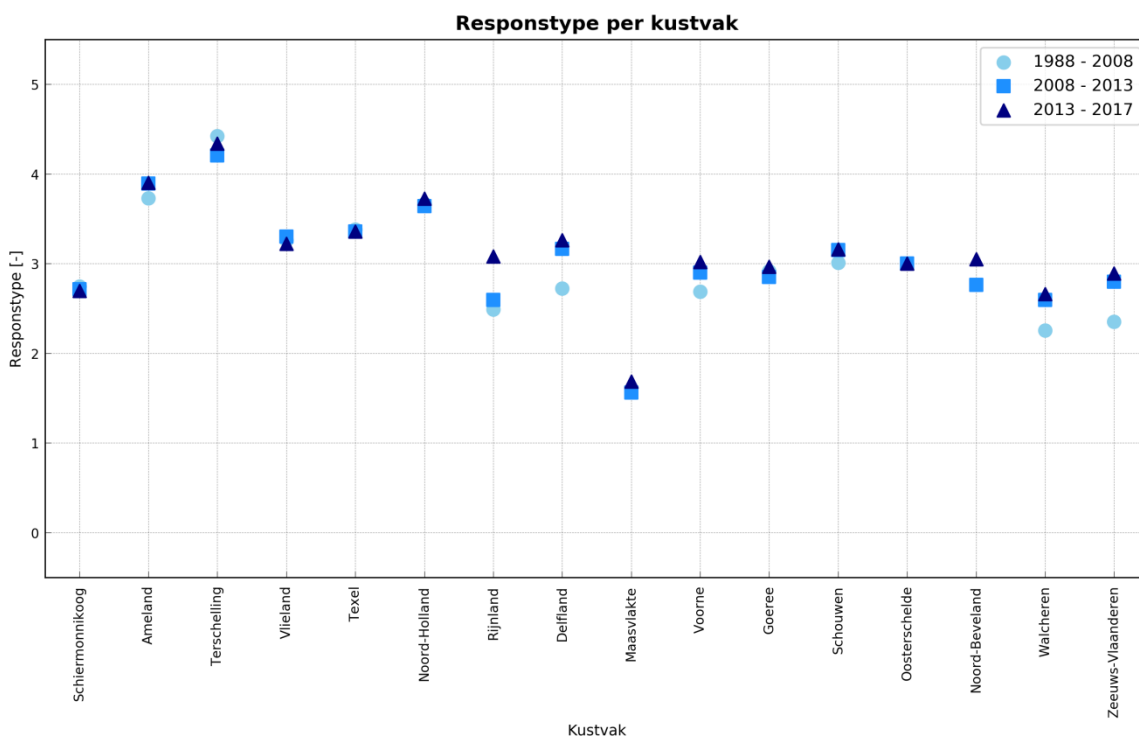
Voor dit onderzoek zijn voor de periode 2008-2013 en 2013-2017 voor de gehele Nederlandse kust de dynamiek en doorstuiving van de zeereep in kaart gebracht door middel van responstypen. Voor de vergelijking is ook de kaart uit 2008 (Arens et al. 2010) in de analyses gebruikt.

Figuur 3.5 toont de mate van dynamiek in de zeereep langs de gehele Nederlandse kust voor 2008, 2013 en 2017. Over de jaren is vooral responstype 3 in aandeel toegenomen, ten koste van responstypen 1 en 2. Het aandeel van de responstypen 1 en 2 (geen dynamiek en beperkte dynamiek voorzijde) neemt over de jaren af van 7% naar 5% (RT1) en 24% naar 16% (RT2). Responstype 3 (matige dynamiek) laat in 2013 een sprong zien van 23% naar 32%, welke in 2017 gelijk blijft. Responstypen 4 en 5 (dynamisch met beperkte doorstuiving en hoge dynamiek met sterke doorstuiving) schommelen respectievelijk rond de 31-33% en 12-14%. De toename van dynamiek in de zeereep over de tijd is dus gering, en wordt vooral veroorzaakt door een toename in RT3 ten koste van RT1 en RT2 (matig tot forse dynamiek voorzijde van de zeereep). Het aandeel van zeereep met beperkte of hoge doorstuiving (RT 4 en 5) neemt nauwelijks toe over de tijd.



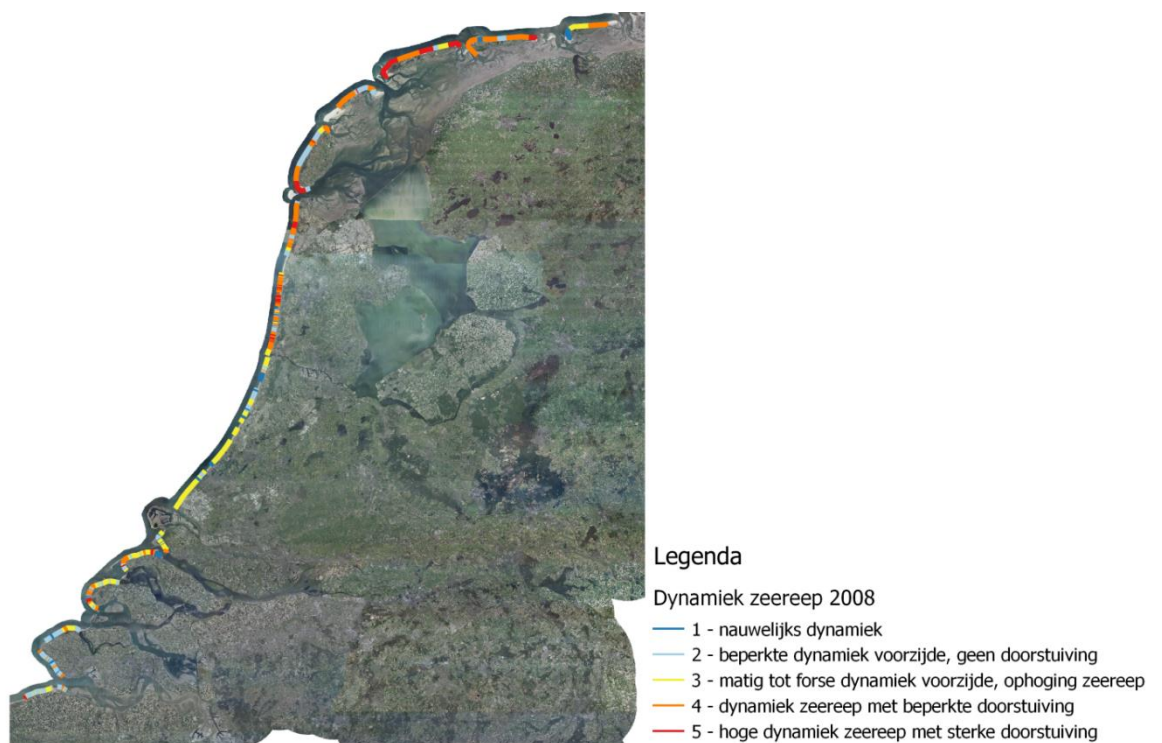
Figuur 3.5 Mate van dynamiek van de zeereep voor de gehele Nederlandse kust in 2008, 2013 en 2017

Ook wanneer per kustvak de gemiddelde waarde voor de responstypen wordt berekend (Figuur 3.6), is te zien dat de verschillen tussen de perioden vaak klein zijn. In Rijnland, Delfland, Voorne, Walcheren en Zeeuws-Vlaanderen is een toename te zien in de dynamiek. De gemiddelde dynamiek van de zeereep is het grootst op Terschelling. De duinen van de Maasvlakte laat de laagste dynamiek zien, maar dit is slechts een zeer klein stuk van de kust. De stukken kust waar geen duinen aanwezig zijn (zoals een groot deel van de Maasvlakte, of de boulevard bij Scheveningen) zijn niet meegenomen in deze berekening. Wanneer deze figuur wordt vergeleken met Figuur 3.1, is te zien dat kustvakken met een hoge dynamiek (zoals Ameland en Terschelling) niet de hoogste volumetoename vertonen. Verderop in dit hoofdstuk wordt dieper ingegaan op dit verschil.

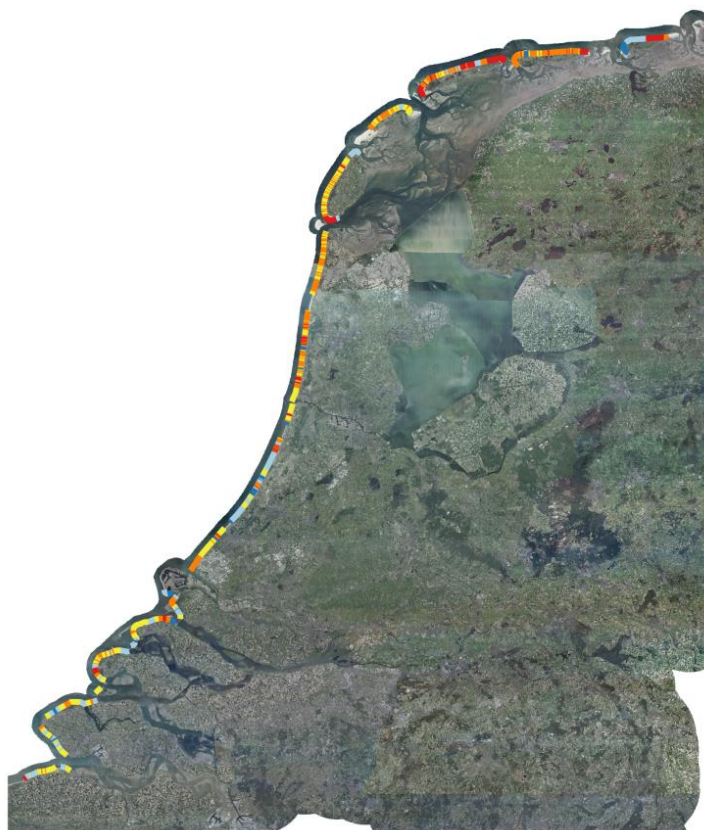


Figuur 3.6 Gemiddelde responstypen per kustvak, voor de perioden 1988-2008, 2008-2013 en 2013-2017

Figuur 3.7 t/m Figuur 3.9 tonen de verdeling van responstypen over de Nederlandse kust. In Figuur 3.10 staat de verandering in dynamiek weergegeven, berekend als het verschil in responstypen tussen de kaart van 2008 en 2017. In Noord Holland vallen grote versterkingsprojecten direct op, zoals de aanleg van de Hondsbossche Duinen tussen Camperduin en Petten (aangegeven in Figuur 3.10). In Figuur 3.6 is deze toename in dynamiek in Noord-Holland niet zo duidelijk te zien. Dat komt doordat stukken kust zonder duin (zoals de HPZ in de perioden 1999-2008 en 2008-2013) niet zijn meegenomen in het berekenen van gemiddelde waarden voor die perioden. Ook zijn er delen van de kust waar de dynamiek is afgenomen, waardoor dat de gemiddelde waarde voor dynamiek minder hoog uitvalt. Op de Waddeneilanden zijn zowel (lichte) afnames als toenames van dynamiek in de zeereep te zien. Sommige delen van de Zeeuwse kust zijn dynamischer geworden met meer doorstuiving, zoals de kust van Walcheren waar een groter deel van de zeereep in hoogte toeneemt (verandering van responstype 2 naar responstype 3). Zie de bijlagen voor de kaarten met dynamiek per kustvak.



Figuur 3.7 Dynamiek zeereep 2008 (Arens, Van Puijvelde, & Brière, 2010)



### Legenda

#### Dynamiek zeereep 2013

- 1 - nauwelijks dynamiek
- 2 - beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
- 3 - matig tot forse dynamiek voorzijde, ophoging zeereep
- 4 - dynamiek zeereep met beperkte doorstuiving
- 5 - hoge dynamiek zeereep met sterke doorstuiving

Figuur 3.8 Dynamiek zeereep 2013

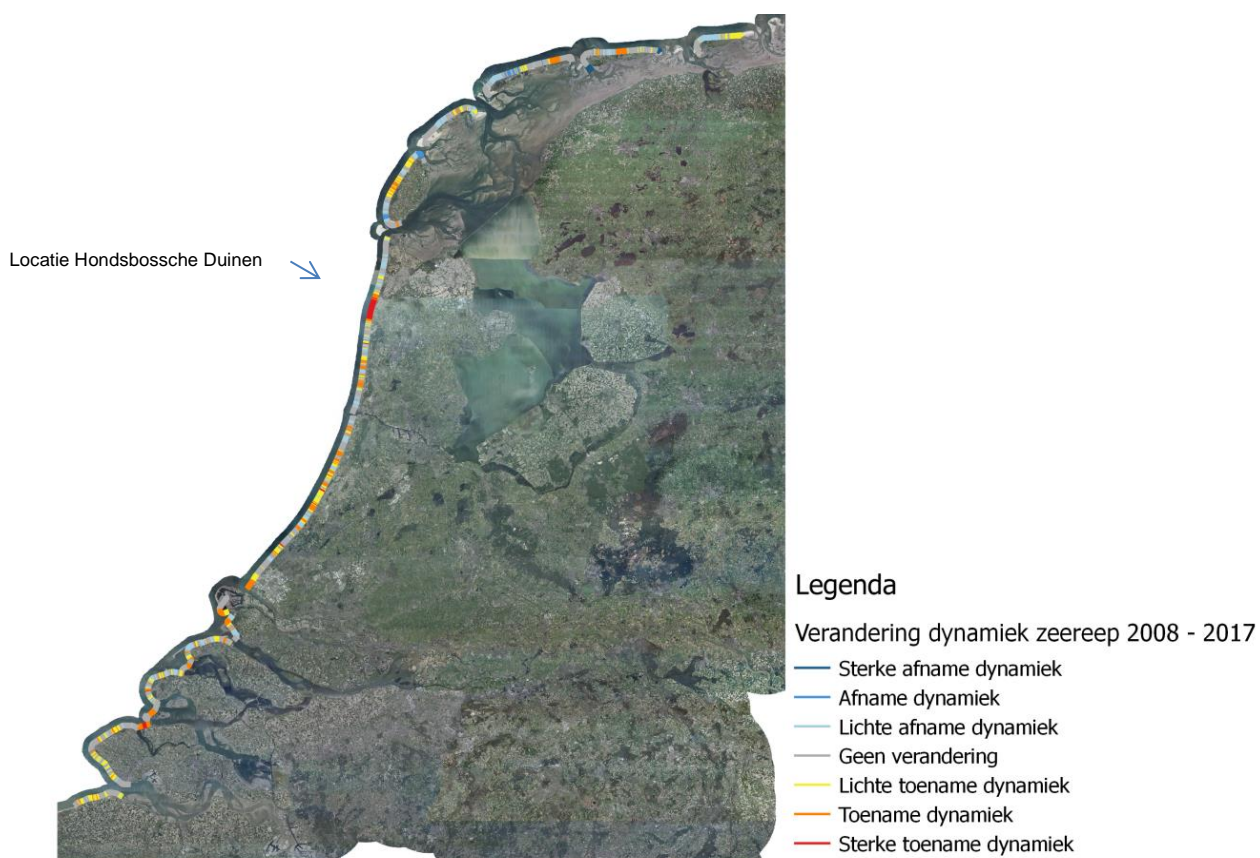


### Legenda

#### Dynamiek zeereep 2017

- 1 - nauwelijks dynamiek
- 2 - beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
- 3 - matig tot forse dynamiek voorzijde, ophoging zeereep
- 4 - dynamiek zeereep met beperkte doorstuiving
- 5 - hoge dynamiek zeereep met sterke doorstuiving

Figuur 3.9 Dynamiek zeereep 2017



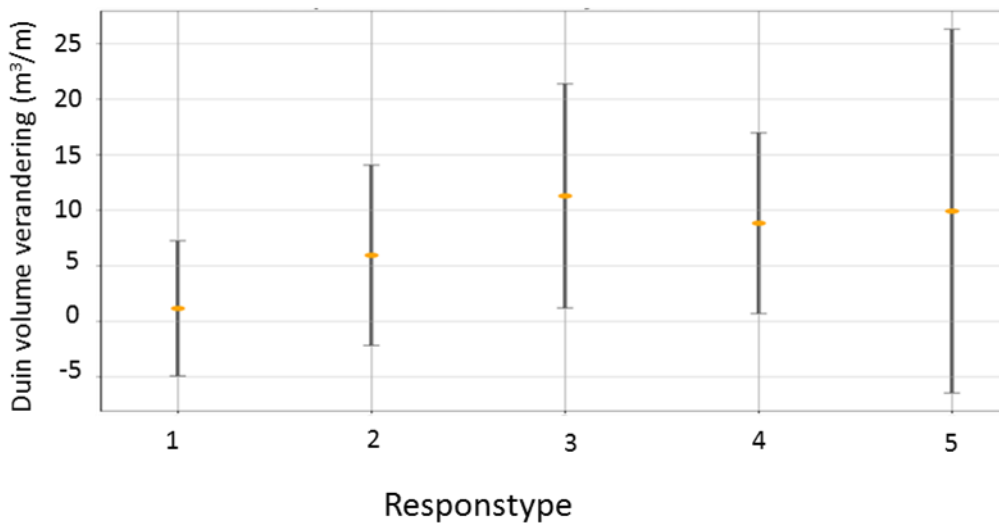
Figuur 3.10 Verandering in dynamiek in de periode van 2008 tot 2017

### 3.3 Verband tussen volumeverandering en dynamiek in de zeereep

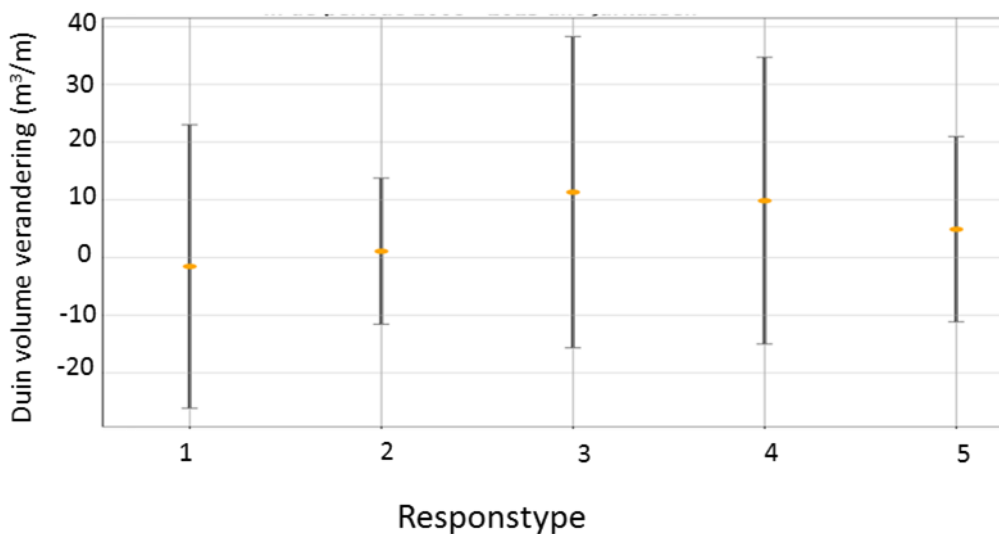
In dit rapport worden zowel het volume als de mate van dynamiek gebruikt om veranderingen in de zeereep in kaart te brengen. Volumeveranderingen zijn op geautomatiseerde wijze berekend op basis van Jarkus-data. Het is niet altijd mogelijk om hiermee de mate van doorstuiving te detecteren omdat dit verschil te klein is om te detecteren. Daarnaast wordt de overstuiving deels gemaskeerd door de aanwezigheid van vegetatie. Daarom is ook de dynamiek gemeten als mate van aanstuiving en doorstuiving (responstypen), op basis van een combinatie van hoogteverschillen en luchtfoto's. Door ook de luchtfoto's handmatig te beoordelen kan overstuiving worden gedetecteerd, waar dat met hoogtekaarten alleen niet mogelijk is.

Dit roept de vraag op of er een verband is tussen veranderingen in volume en dynamiek van de zeereep. De verwachting is dat voor responstypen waarbij de zeereep aan de voorkant of bovenkant aanstuift, maar er geen doorstuiving plaats vindt (RT 2 en 3) het volume van de zeereep toeneemt. Voor de responstypen waarbij doorstuiving plaats vindt naar de duinen achter de zeereep (RT 4 en 5) zou de volumeverandering zowel positief als negatief kunnen zijn, afhankelijk van het verschil tussen de hoeveelheid instuiving en doorstuiving van zand. Tevens zal een deel van het zand dat stuift naar het deel direct achter de zeereep worden meegerekend in het volume van de zeereep, waardoor dit niet zichtbaar is als volumeafname (zie begrenzing van de compartimenten in de methode). Voor responstype 1 (nauwelijks dynamiek) wordt geen volumeverandering verwacht.

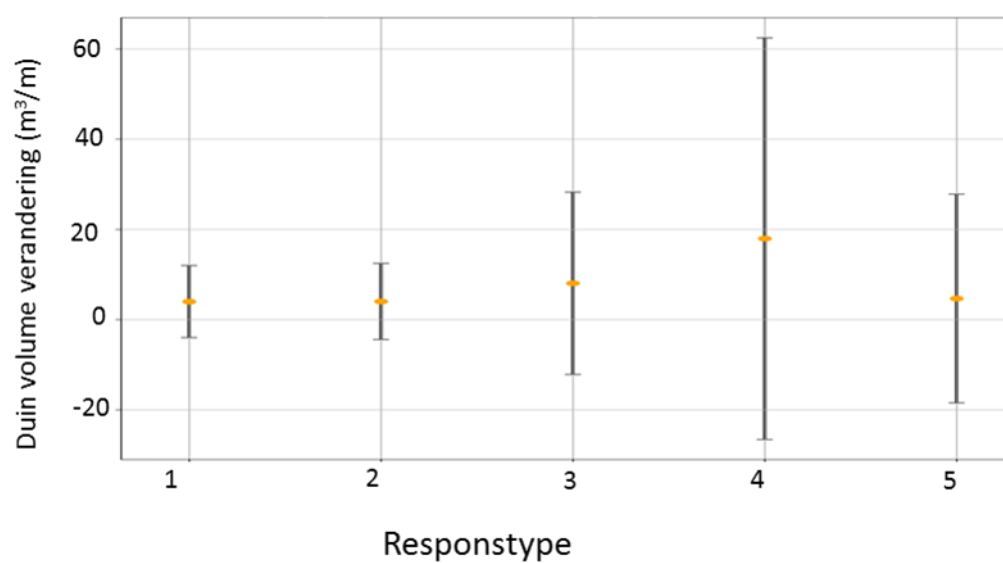
Figuur 3.11 t/m Figuur 3.13 geven de spreiding aan van volumeverandering uitgezet tegen de vijf responstypen, voor de perioden 1988-2008, 2008-2013 en 2013-2017. Omdat de volumeveranderingen toenemen met de tijd, is de schaal van de y-as verschillend per grafiek. Uit de figuren wordt duidelijk dat er geen verband is tussen de mate van dynamiek en verandering in volume van de zeereep, mede door de grote mate van spreiding. In de volgende hoofdstukken zullen daarom de sturende factoren van volumeveranderingen en veranderingen in dynamiek apart van elkaar worden onderzocht.



Figuur 3.11 Gemiddelde verandering van duinvolume (m³/m) en standaarddeviatie per responstype in de periode 1988-2008 voor de hele Nederlandse kust



Figuur 3.12 Gemiddelde verandering van duinvolume (m³/m) en standaarddeviatie per responstype in de periode 2008-2013 voor de hele Nederlandse kust



Figuur 3.13 Gemiddelde verandering van duinvolume (m³/m) en standaarddeviatie per responstype in de periode 2013-2017 voor de hele Nederlandse kust





## 4 Effect van suppleties op volumeveranderingen in de zeereep

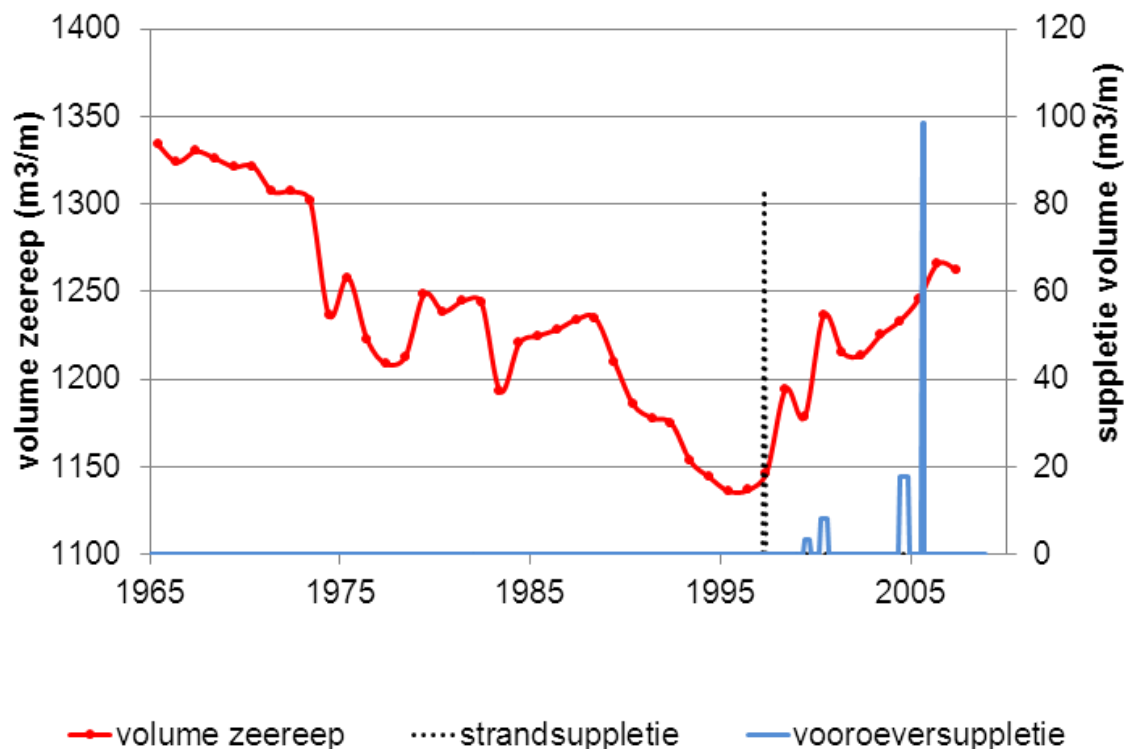
### 4.1 Inleiding

De deelvraag die in dit hoofdstuk centraal staat, is:

*Wat is de invloed van suppleties op volumeveranderingen in de zeereep?*

Sinds de jaren '90 worden langs de Nederlandse kust suppleties uitgevoerd. Eerst waren dit vooral strandsuppleties, vanaf eind jaren '90 kwamen hier ook vooroever-suppleties bij. De hypothese is dat suppleties leiden tot een volumetoename in de zeereep. Strandsuppleties hebben volgens deze hypothese een groter effect, en op kortere termijn, dan vooroever- en geulwandsuppleties.

In (Arens et al. 2010) wordt al beschreven dat het volume van de zeereep langs de gehele Nederlandse kust toeneemt. Over de periode 1997-2008 bedraagt de totale hoeveelheid zand die in de zeereep wordt opgeslagen circa 34 miljoen m<sup>3</sup> (14 op de Wadden, 12 op de Hollandse kust, 8 in de Delta), ofwel 3.2 miljoen m<sup>3</sup> per jaar en gemiddeld kustlangs 9.3 m<sup>3</sup>/m.jaar. Hoewel het niet bewezen is dat deze aanzanding door suppleren veranderd is, is dit wel aannemelijk. Dit wordt geïllustreerd door de trendbreuk in aanzanding die is opgetreden sinds de uitvoer van het suppletieprogramma (Figuur 4.1).



Figuur 4.1 Het volume van de zeereep en de volumes van strand- en vooroeversuppleties in de periode 1965-2008 (Arens et al., 2010)

Strandsuppleties hebben vooral in de eerste 1,5 jaar een groot effect op de beschikbaarheid van zand voor eolisch transport; die beschikbaarheid wordt snel lager na die relatief korte periode (van der Wal 1999). Het zand kan door de wind ook sterk kustparallel, dus zeer

breed, verspreid worden, waardoor de zandaanvoer niet noodzakelijkerwijs hoeft op te treden in de direct achter de suppletie liggende duinen. Onderzoek door Van der Wal laat echter zien dat in het algemeen wel degelijk in het eerste jaar na de suppletie een effect optreedt op de duinen achter de strandsuppletie (van der Wal 1999; Van der Wal 2004):

*“One year after nourishment, the erosion of the beach between the 1 and 3 m +DOD level is more than in the control situation. [...] One year after nourishment, the rate of aeolian sand transport to the dunes significantly increased to about 14 m<sup>3</sup>m<sup>-1</sup>y<sup>-1</sup>, as compared to about 9 m<sup>3</sup>m<sup>-1</sup>y<sup>-1</sup> in the control situation, despite the large variation in aeolian sand transport. In the second and third year following nourishment, the rates of aeolian sand transport did not differ from the control situation.”* (van der Wal 1999)

De uiteindelijke vraag is hoeveel van het toegevoegde volume ook daadwerkelijk richting de zeereep van het gesuppleerde vak gaat en of dat is te sturen. De levering van zand van het strand naar het duin is vaak aanbod-gelimiteerd (Aagaard et al. 2004; de Vries et al. 2012). Factoren die daarbij een rol spelen zijn (gerangschikt van autonoom naar mogelijk beïnvloedbaar): windklimaat, vochtgehalte van het strand, schelpen en stenenvloertjes, vegetatie en duinvorming, strijklengte, geometrie (hoogteligging) strand en frequentie en volume suppleties (Oost et al. 2017).

De mate waarin sediment gevoelig is voor erosie, is een belangrijke factor voor duingroei (de Groot et al. 2012). Grover sediment, inclusief schelpen en schelpdelen, blijft langer liggen en doet op den duur zandopname door de wind afnemen onder vorming van een schelpenpantser ('desert pavement') waarvan de oppervlaktebedekking met de tijd toeneemt. Gezien de korrelgroottesamenstelling van het suppletiezand (ongesorteerd) is dat een gebruikelijk proces. Als gevolg hiervan is het eolisch zandtransport aanbod-gelimiteerd en wordt het intergetijdengebied de belangrijkste bron voor zandtransport. Van der Wal (1999) meldt dat de grootste effecten van een suppletie in termen van eolisch zandtransport na 1,5 jaar wel gedaan zijn. Beheermaatregelen in de vorm van omwoelen of oppervlakkig afgraven worden bij uitzondering toegepast, alleen in die gevallen waar de natuurlijke ontwikkeling werd verhinderd (bijvoorbeeld de versterkte zeereep van Voorne). Een andere maatregel zou zijn om de suppletie niet te hoog te leggen, waardoor het omwoelen door de zee in de intergetijdzone kan gebeuren (van der Wal 1999).

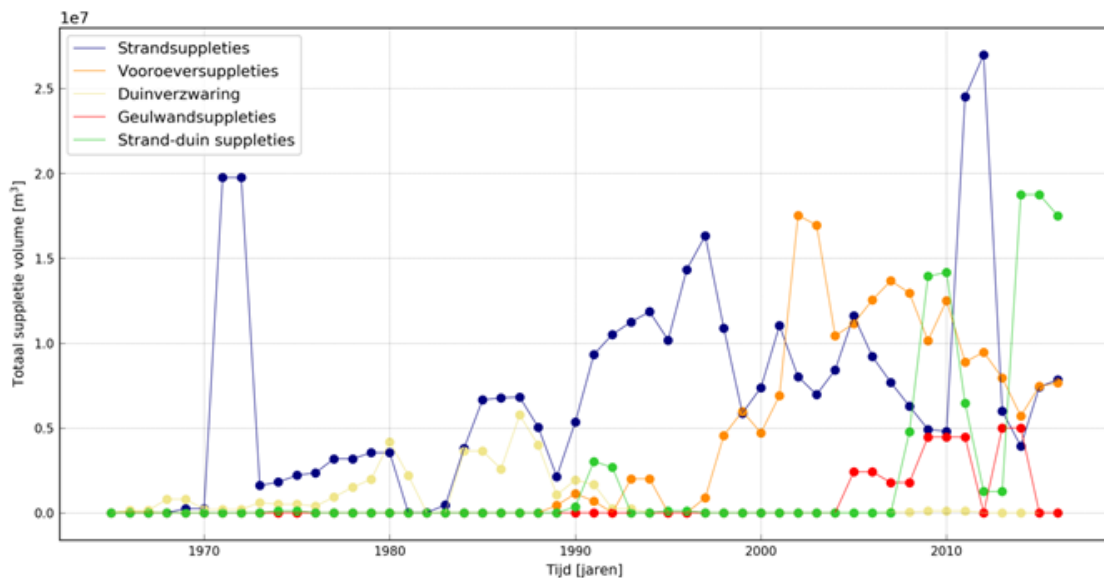
Tabel 4.1 De mogelijke stuurbare factoren van de stuurknop 'kustzonebeheer'

Stuurknop 'kustzonebeheer'	Werking
Frequentie	Zandaanbod/jaar
Volume	Zandaanbod/jaar
Strandbreedte	Zandaanbod/jaar
Hoogte	Golferosie/windactiviteit
Korrelgrootte	Grove korrels en schelpenvloertjes beperken zandaanbod

## 4.2 Resultaten analyses

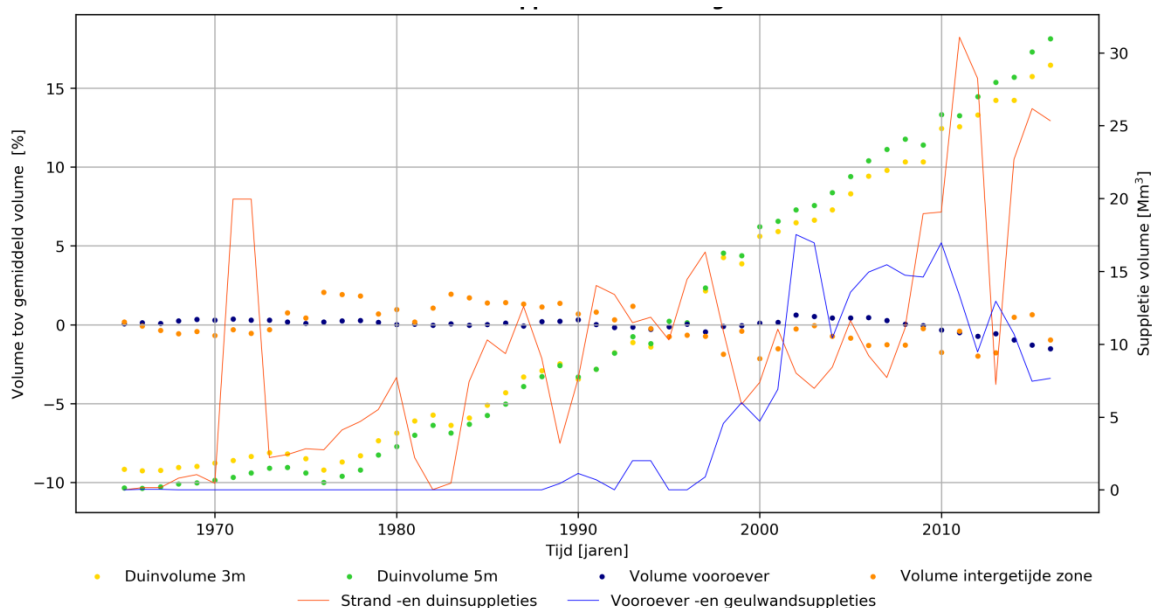
Sinds de jaren '90 is in Nederland gestart met het suppletieprogramma. Toch zijn er al sinds de jaren '70 strandsuppleties uitgevoerd. De verkregen suppletie data uit (RWS-WVL, 2017) is weergegeven in Figuur 4.2. Deze figuur toont de totale suppletievolumes langs de Nederlandse kust voor vijf typen suppleties: strandsuppleties, vooroever-suppleties, duinverzwaringen, geulwandsuppleties en strand-duinsuppleties. Wat direct opvalt, zijn de twee pieken in het volume aan strandsuppleties in de jaren '70 en '10. In de jaren '70 is een grote strandsuppletie uitgevoerd in Hoek van Holland. In de jaren '10 zijn op meerdere

plekken langs de Nederlandse kust suppleties uitgevoerd in het kader van de ‘zwakke schakels’. Vanaf eind jaren '90 neemt het volume aan vooroeversuppleties sterk toe. De strand-duinsuppletie in '13-'14 is de suppletie bij Katwijk (tevens één van de zwakke schakels).



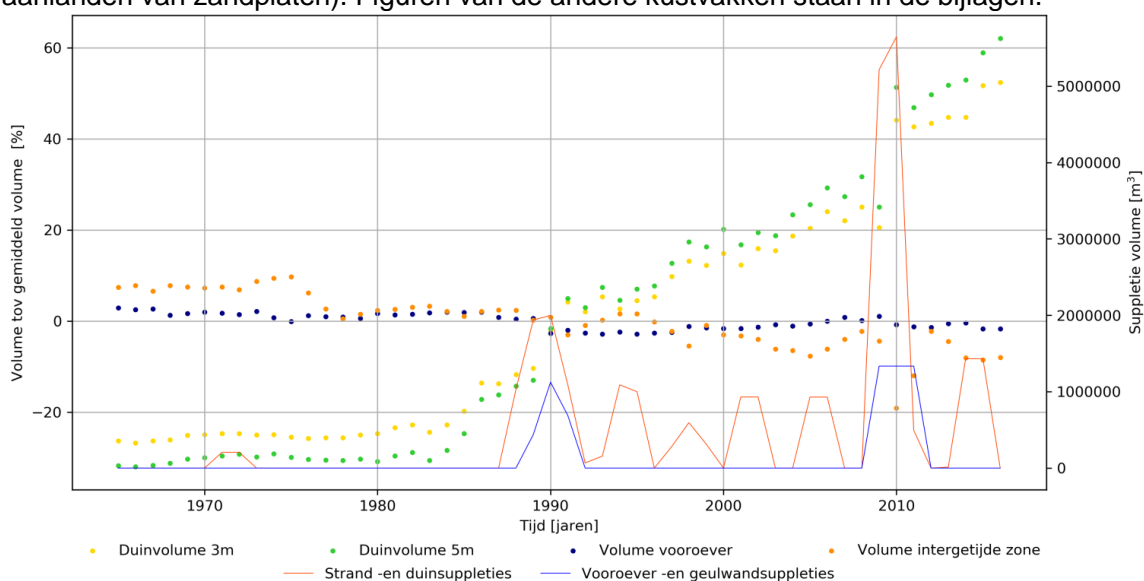
Figuur 4.2 Totaal suppletievolume langs de Nederlandse kust

Wanneer de veranderingen in het suppletievolume worden vergeleken met veranderingen in het volume van de zeereep, valt op dat met het toenemen van het suppletievolume ook het duinvolume toeneemt. Dit ondersteunt de hypothese uit (Arens et al. 2010) dat de toename van het volume in de zeereep (deels) veroorzaakt wordt door het uitvoeren van suppleties. In Figuur 4.3 is een tijdserie weergegeven van de suppleties en volumeveranderingen langs de gehele Nederlandse kust. De suppleties zijn opgesplitst in twee groepen: (1) suppleties die bovenwater zijn aangebracht, bestaande uit strand –en duinsuppleties en (2) suppleties die onderwater zijn aangebracht, bestaande uit vooroever –en geulwandsuppleties. Dit onderscheid is gemaakt aangezien er een verschil in transport proces bestaat tussen deze groepen. De volumeveranderingen zijn niet in absolute volumes weergegeven, maar als percentage van het gemiddelde volume per compartiment. Dit maakt het mogelijk om de volumeveranderingen van alle compartimenten samen in een enkel figuur te tonen. Belangrijk om te vermelden dat het volume van de vooroever het grootst is van alle compartimenten, hier kan een kleine procentuele volume verandering gelijk staan aan een significant absoluut volume. De grenzen van de compartimenten in hoofdstuk leiden ertoe dat het volume van het strand nagenoeg gelijk is aan nul. Om deze reden is dit compartiment niet weergegeven in onderstaande figuren.

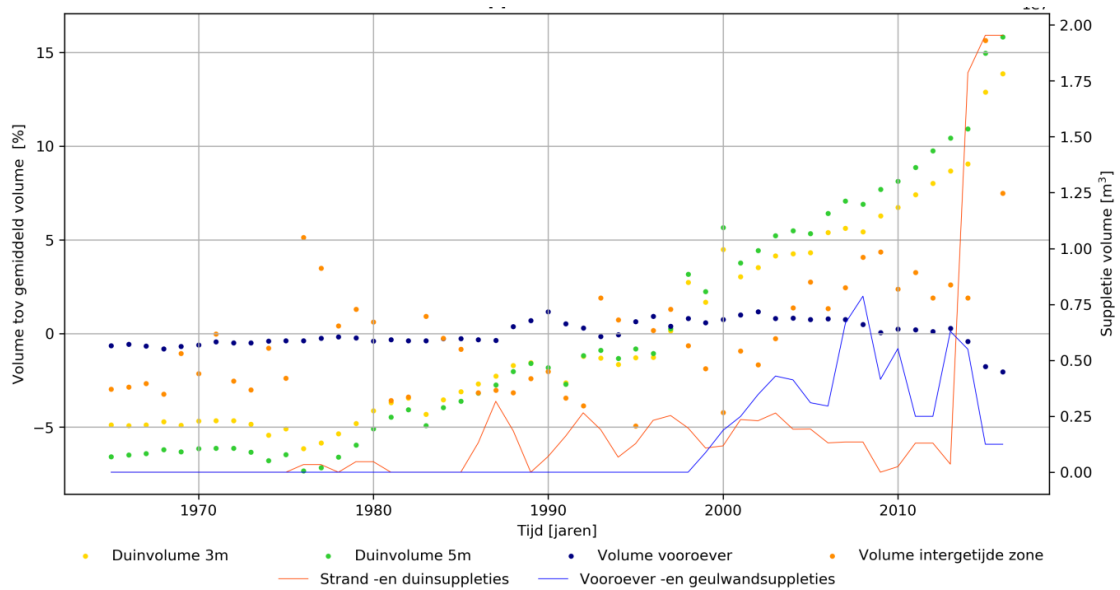


Figuur 4.3 Volumeverandering van de zeereep langs de gehele Nederlandse kust (berekend met een duinvoet van 3m en 5m), de vooroever en de intergetijdzone (stippellijnen) en de volumeverandering van vooroeverssuppleties (inclusief geulwandsuppleties, blauwe lijn) en strand- en duinsuppleties (oranje lijn).

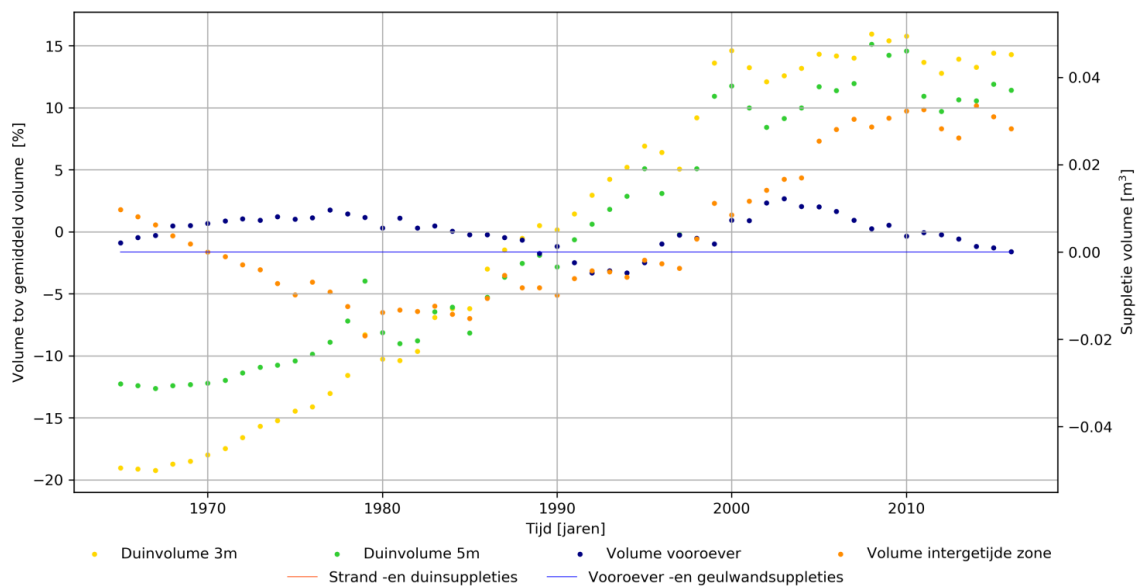
Kleine kustvakken zoals Zeeuws-Vlaanderen (Figuur 4.4) of Voorne laten ook dit positieve verband zien tussen suppletievolumes en een toename in volume van de zeereep. Ook voor de kust van Noord-Holland lijkt dit het geval. Een toename in het duinvolume hoeft echter niet altijd veroorzaakt te worden door een suppletie. Dit is het geval voor Schiermonnikoog, waar nooit is gesuppleerd maar toch een autonoom positieve trend waar te nemen is (Figuur 4.6). Hier vinden 'natuurlijke' suppleties plaats in de vorm van het aanlanden van zandplaten en strandhaken (met name op de eilandkop). Andere voorbeelden zijn het Kennemerstrand (door aanleg van een pier), de kop van Texel en de Noordsvaarder op Terschelling (door aanlanden van zandplaten). Figuren van de andere kustvakken staan in de bijlagen.



Figuur 4.4 Volumeverandering in Zeeuws-Vlaanderen van de zeereep (berekend met een duinvoet van 3m en 5m), de vooroever en de intergetijdzone (stippellijnen) en de volumeverandering van vooroeverssuppleties (inclusief geulwandsuppleties, blauwe lijn) en strand- en duinsuppleties (oranje lijn)

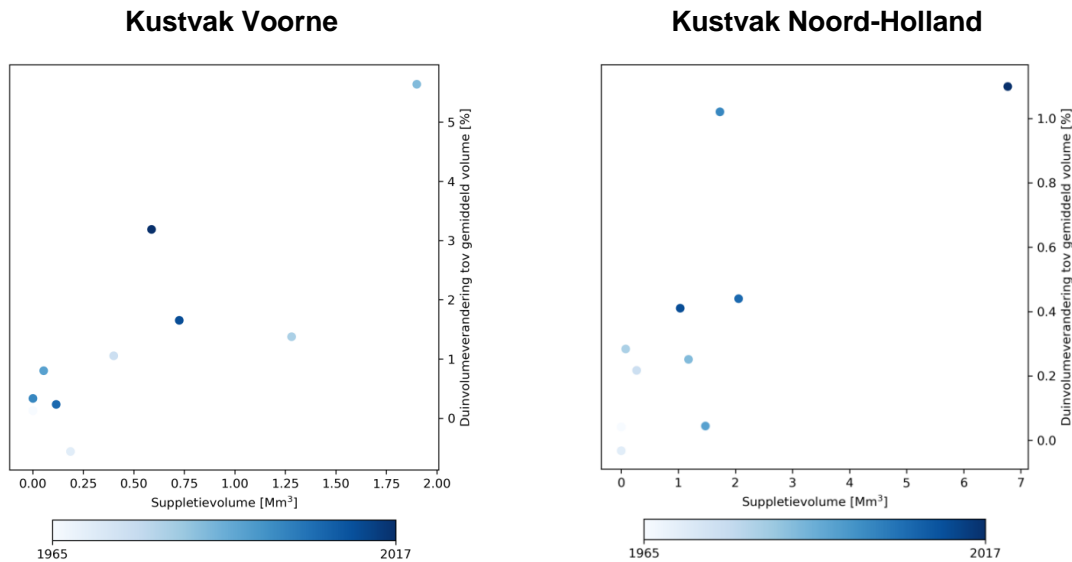


Figuur 4.5 Volumeverandering in Noord-Holland van de zeereep (berekend met een duinvoet van 3m en 5m), de vooroever en de intergetijdzone (stippellijnen) en de volumeverandering van vooroeverssuppleties (inclusief geulwandsuppleties, blauwe lijn) en strand- en duinsuppleties (oranje lijn)



Figuur 4.6 Volumeverandering in Schiermonnikoog van de zeereep (berekend met een duinvoet van 3m en 5m), de vooroever en de intergetijdzone (stippellijnen) en de volumeverandering van vooroeverssuppleties (inclusief geulwandsuppleties, blauwe lijn)

Naast de tijdseries zoals weergegeven in Figuur 4.4, Figuur 4.5 en Figuur 4.6 is het bovenwater suppletievolume per kustvak uitgezet tegen de procentuele duinvolume verandering. In Figuur 4.7 zijn als voorbeeld kustvak Voorne en Noord-Holland weergegeven. Deze figuren laten een positief verband zien tussen het suppletievolume en duinvolume.



Figuur 4.7 Puntengrafiek met op de horizontale-as het suppletievolume en op de verticale-as de duinvolumeverandering voor kustvakken Voorne en Noord-Holland. De kleur correspondeert met tijd van suppletie (1965 (licht), 2017 (donker)).

### 4.3 Conclusie

De resultaten in dit hoofdstuk geven bewijs dat suppleties leiden tot een volumetoename in de zeereep, waarmee de hypothese wordt onderbouwd. Er is op het eerste gezicht echter geen verschil gevonden tussen het effect van strandsuppleties en vooroever-suppleties. Hoe sterk dit verband is, verschilt per kustvak. Sterkste correlatie is voornamelijk geobserveerd voor kustvak Zeeuws-Vlaanderen, Rijnland, Noord-Holland, Goeree. Er zijn ook kustvakken waar een autonome toename van het zeereepvolume is geobserveerd, dus zonder dat er sprake is van een suppletie. Dit is bijvoorbeeld het geval voor de zeereep van Schiermonnikoog.

## 5 Effect van suppleties op dynamiek van de zeereep

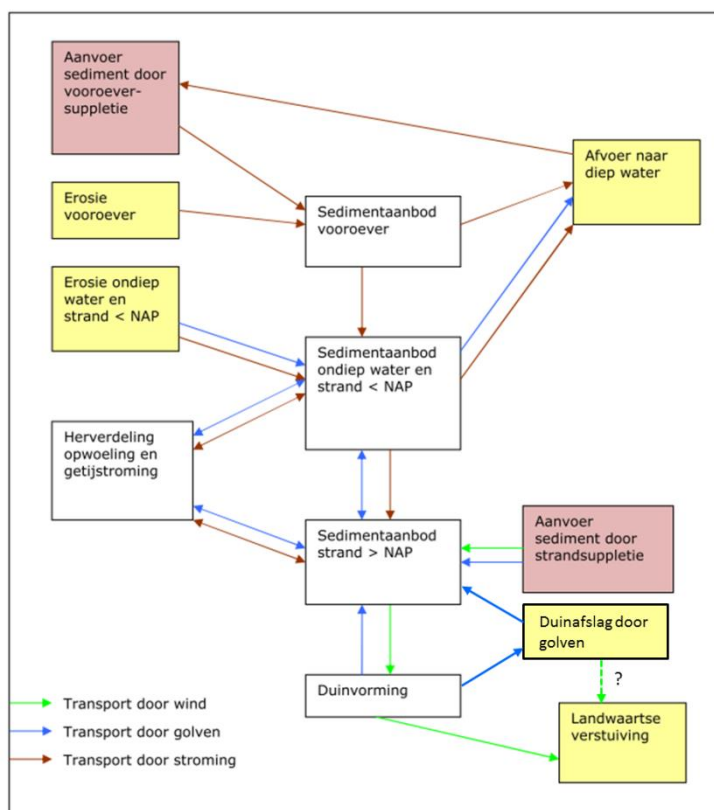
### 5.1 Inleiding

De deelvraag die in dit hoofdstuk centraal staat, is:

*Wat is de invloed van suppleties op (veranderingen in) de dynamiek van de zeereep?*

De hypothese is dat erosie van de zeereep een positief effect heeft op het doorstuiven van zand, en dat suppleties daarom een negatieve invloed hebben op het vóórkomen van hoge dynamiek in de zeereep (responstypen 4 en 5). Dit geldt voor alle typen suppleties. Suppleties worden verwacht wel een positief effect te hebben op aanzanding vóór en op de zeereep (responstypen 2 en 3). De verwachting is dat er een sterker positief verband is tussen het vóórkomen van responstypen 2 en 3 met strandsuppleties dan met vooroever- of geulwandsuppleties.

Uit (Arens et al. 2010) blijkt dat hoewel delen van de kust een toename in dynamiek laten zien, het doorstuiven van zand ook geremd wordt door de vorming van embryonale duinen en het dichtgroeien van kerven. Naast aanzanding is golferosie een secundaire factor in het bepalen van de morfologie van de zeereep (Hesp 2002). Stormvloed en kunnen zorgen voor verlaging van het strand en vernietiging van bestaande vegetatie, en daarmee ook op duinvorming ter plekke (de Groot et al. 2012). Na een erosieve stormvloed is de daaropvolgende ontwikkeling van de zeereep een herstel van het profiel door aanstuiving tegen de duinvoet of landwaartse verstuiving vanuit het kale klif. Voor zandtransport door een zeereep heen lijkt het wenselijk dat duinvorming zeewaarts van een kerf af en toe teniet wordt gedaan door stormvloed. In hoeverre dat noodzakelijk is voor het doorstuiven van zand is echter nog onderwerp van debat. Figuur 5.1 is een schematische weergave van het effect van vooroever- en strandsuppleties op zandbudget en processen van vooroever, strand en duinen.



Figuur 5.1 Effecten van suppleties op processen op vooroever, strand en duinen. Naar (Arens et al. 2010)

## 5.2 Resultaten analyses

Het gesuppleerde zand kan zich door meerdere mechanismes verspreiden over de kustzone, Figuur 5.1. Met de tijd zal het gesuppleerde volume zich verspreiden over de kustzone en mogelijk uiteindelijk in de zeereep terecht komen. Na een strandsuppletie is het sedimentaanbod op het droge strand direct gestegen, waardoor eerder zand richting de zeereep zal stuiven dan na een vooroever-suppletie. De responstypen die de dynamiek in de zeereep beschrijven, paragraaf 3.2, zijn bepaald voor drie periodes: 1988-2008, 2008-2013 en 2013-2017. De cumulatieve suppletievolumes zijn berekend per kustvak voor deze drie periodes. Hierin is onderscheid gemaakt tussen suppleties aangebracht bovenwater (strand – en duinsuppleties) en onderwater (vooroeversuppleties – en geulwandsuppleties). Het cumulatieve suppletievolume is berekend om te voorkomen dat het effect van een suppletie, dat mogelijk in volgende periode pas zichtbaar is, gemist zou worden. De gemiddelde responstypen per vak zijn berekend voor de beschouwde periodes. Om een vergelijking te maken tussen de vakken is de verandering van de gemiddelde responstypen per vak uitgezet tegen het cumulatieve natte – en droge suppletievolume, zie Figuur 5.2. De twee punten per vak corresponderen respectievelijk tot het cumulatieve suppletievolume 2008-2013 en het cumulatieve suppletievolume 2008-2017. Voor veel kustvakken zijn in dezelfde periode zowel suppleties onder- als bovenwater aangebracht. Dit maakt het zeer lastig om onderscheid te maken tussen de bijdrage van de verschillende suppletietypen.

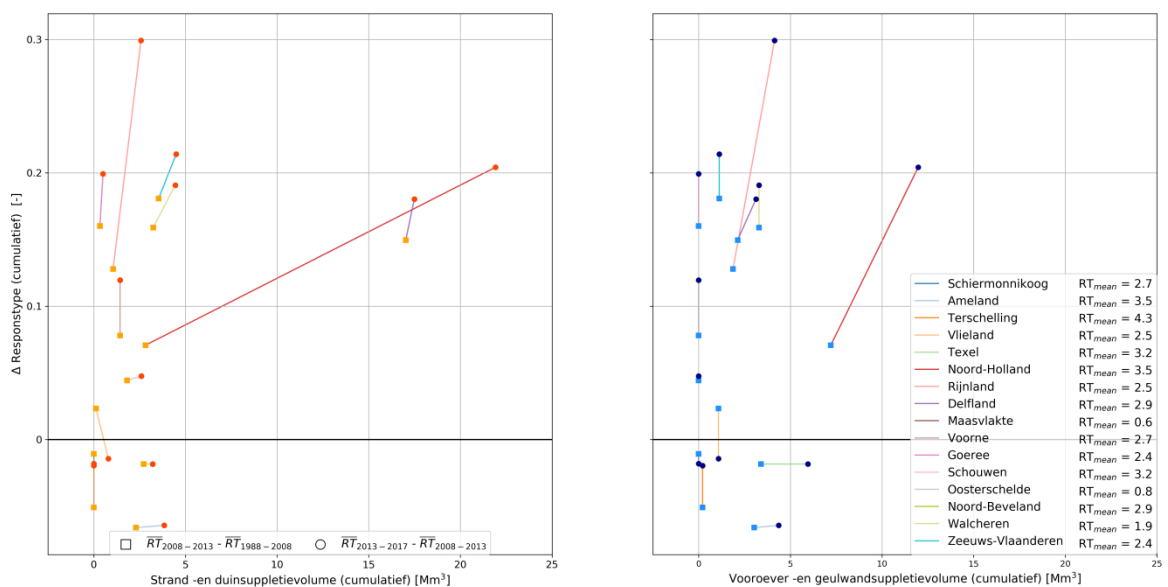
Voor een deel van de kustvakken is een positieve correlatie zichtbaar tussen het suppletievolume (nat en droog) en de mate van dynamiek. Hoe sterk deze correlatie is, verschilt tussen de kustvakken. In kustvak Noord-Holland is over de tijd een groot suppletievolume aangebracht, echter is een vergelijkbare stijging in dynamiek geobserveerd



voor kust Rijnland waar een veel kleiner suppletievolume is aangebracht. Een daling in dynamiek na suppleren is enkel geobserveerd voor kustvak Vlieland. Opmerkelijk is de autonome stijging van dynamiek op o.a. Terschelling.

Naast het analyseren van de verandering van de gemiddelde dynamiek per kustvak, is binnen ieder vak ook geanalyseerd in welke mate het percentage Jarkusraaien met hoge dynamiek (responstypen 4 en 5) zich verhoudt tot het percentage Jarkusraaien met lagere dynamiek (responstypen 2 en 3). Voor de kustvakken Delfland, Rijnland en Noord-Holland laat een sterke stijging van een aantal Jarkus raaien met een hoge mate van dynamiek zien. Dit zelfde beeld is in mindere mate gevonden voor Voorne, Walcheren en Zeeuws-Vlaanderen. Op Texel, Vlieland en Ameland is het aantal Jarkus raaien met responstypen 4 en 5 juist gedaald.

Suppletievolume versus responstype langs de Nederlandse kust



Figuur 5.2 Cumulatief suppletievolume versus verandering in responstype per kustvak over de periode 1988 tot 2017. Strand- en duinsuppleties (links) en vooroever- en geulwandsuppleties (rechts).

### 5.3 Conclusie

Voornamelijk kustvakken aan de Hollandse kust (Delfland, Rijnland en Noord-Holland) en kustvakken in de Delta (Walcheren, Goeree en Voorne) laten een positief verband zien tussen het suppletievolume en de mate van dynamiek in de zeereep. Deze stijging gaat voor de meeste vakken gepaard met een stijging van het aantal Jarkusraaien met een responstype 4 of 5 en een daling van het aantal Jarkus raaien met een responstype van 2 of 3. Deze observatie gaat dus in tegen de hypothese dat suppleties een positief effect hebben op het vóórkomen van responstypen 2 en 3 en een negatief effect op het vóórkomen van responstypen 4 en 5. Mogelijk is na een grote suppletie de hoeveelheid stuivend zand zo groot dat de embryonale duinen en de zeereep het niet meer kunnen verwerken en er doorstuiving plaats vindt. Daarnaast is het belangrijk dat een verandering van RT1 naar RT2 of RT3 wel een toename is aan dynamiek, maar geeft nog geen doorstuiving. Uiteindelijk is het belangrijk of RT4 en RT5 meer tot ontwikkeling kunnen komen, omdat doorstuiving leidt tot dynamisering van het duingebied achter de zeereep.



## 6 Effect van zeereepbeheer op volumeveranderingen in de zeereep

### 6.1 Inleiding

De deelvraag die in dit hoofdstuk centraal staat, is:

*Wat is de invloed van zeereepbeheer op volumeveranderingen in de zeereep?*

De hypothese is dat volumeveranderingen in de zeereep primair bepaald worden door het zandaanbod, en dat zeereepbeheer daarom geen invloed heeft op veranderingen in volume van de zeereep.

Zeereepbeheer is moeilijk los te zien van suppleties, omdat ze elkaar niet alleen via de fysische processen beïnvloeden, maar ook via de uitvoering van beleid en beheer. Door de per jaar en per strekkende meter grotere toevoer van zand naar de zeereep is er sinds 1991 meer ruimte gekomen om dynamische experimenten met zand toe te staan: o.a. door zeerepen te kerven. Het is de verwachting dat het dynamiseren van de zeereep bijdraagt aan het herstellen van windgedreven processen en de ontwikkeling van een gevarieerd kustduinlandschap op lange termijn (>10 jaar) (Arens et al. 2012). Ook kan het effect van beheeringrepen op sedimentdoorvoer naar het achterduin worden (bij)gestuurd, bijvoorbeeld met het aantal kerven en de dimensies ervan aan te passen. Echter, er zijn ook factoren die de mens niet of minder goed in de hand heeft, zoals hydrodynamica, windklimaat, korrelgrootte en vegetatie (Oost et al. 2017).

*Tabel 6.1 De mogelijk stuurbare factoren van de stuurknop 'zeereepbeheer'*

Stuurknop 'zeereepbeheer'	Werking
Wijze van uitvoering zeereepbeheer	Zandaanbod/jaar
Korrelgrootte	Grove korrels belemmeren op den duur zanddoorvoer
Vegetatiebedekking	Verhindert zanddoorvoer
Kerven (aantal, breedte, aanleghoogte en beheerhoogte)	Zandaanbod/jaar
Kerven (lengte door het duin heen)	Geleiding zand
Kerven (oriëntatie)	Erosie-effect van (overheersende) windrichting

Sinds ongeveer 25 jaar worden veel duinen langs het strand 'dynamisch' beheerd: de verstuiwing van zand vanaf het strand naar de zeereep en de duinen wordt toegelaten of zelfs gestimuleerd. Stuivend zand is belangrijk voor verschillende doeleinden, namelijk natuur, veiligheid, intrinsieke waarde of een combinatie daarvan (Löffler and Van der Togt 2018). Hieronder worden kort de ontwikkelingen in het kustbeheer van Nederland weergegeven (Löffler and Van der Togt 2018; Löffler and Veer 1999).

## 6.1.1 Situatie dynamisch kustbeheer vóór 1990 (uit: Löffler and Veer 1999)

In 1990 heeft Arens een classificatie van de zeereep uitgebracht, op grond van luchtfoto's uit '79 en '88 (schaal 1:4000 van de Meetkundige Dienst), zwart-wit luchtfoto's uit de Tweede Wereldoorlog (schaal 1:8000 van het Staringcentrum) en JARKUS-bestanden ('63 tot '89). Doelstelling hiervan was (geografisch) inzicht te verschaffen in het voorkomen van verschillende vormen, de mate van natuurlijkheid van de zeereep en het belang van eolisch transport in de Nederlandse zeereep.

Uit de classificatie (Arens and Wiersma 1990) blijkt dat de invloed van het beheer op de zeereep groot is. Het beheer richt zich op het in stand houden en waar mogelijk vergroten van het zeereepvolume; ook in gebieden met aangroei wordt ingegrepen, waardoor vaak rechte structuren in het landschap ontstaan. Fixatie verstoort het dynamische proces van zanduitwisseling tussen onderwateroever, strand en duin.

Slechts 11% van de Nederlandse zeereep kende in 1990 een natuurlijke ontwikkeling, waar de wind vrij spel had (Figuur 6.1). Afhankelijk van de hoeveelheid aangevoerd zand en van de stabilisatie van een natuurlijke vegetatie ontstaat dan een of erosief of opbouwend karakter. Op elf plaatsen 'mag' de Noordzee het land, al dan niet dagelijks, binnendringen. Een groot deel van de natuurlijke zeerepen bevindt zich op de Wadden, waar 20% van de zeerepen niet wordt onderhouden. Langs de Hollandse kust is dit percentage veel geringer. In Zeeland wordt de gehele zeereep actief onderhouden.



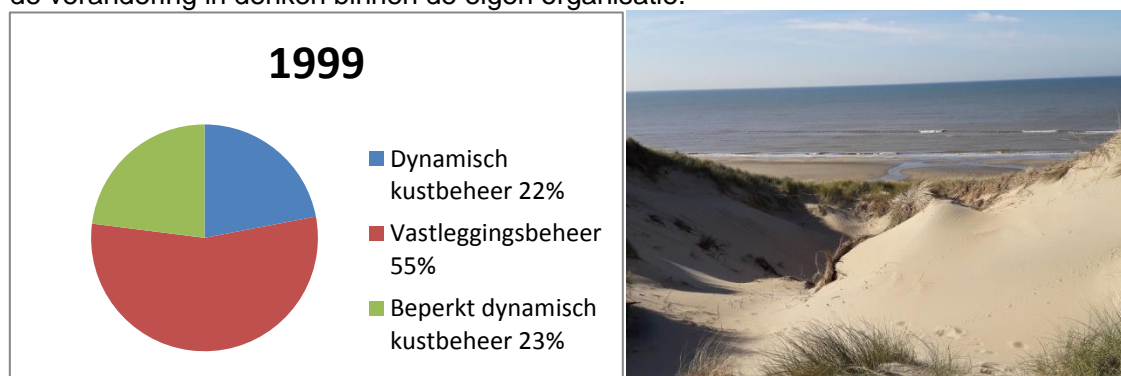
Figuur 6.1 Links: Zeereepbeheer in 1990 (Löffler and Veer 1999) Rechts: Schermzetter (foto M. Löffler)

## 6.1.2 Situatie dynamisch kustbeheer in 1999 (uit: Löffler and Veer 1999)

Figuur 6.2 geeft het onderhoud van de zeereep in 1999 weer. In de periode 1990-1999 hebben de beheerders van de waterkering de meest zeewaartse duinen (zeereep) veel minder intensief onderhouden: In 1999 in 22% van de zeereep geen onderhoud wordt uitgevoerd en er ruimte wordt gelaten aan natuurlijke dynamiek. Bij nog eens 23% van de zeereep wordt alleen onderhoud gepleegd indien dit strikt noodzakelijk is. De meeste dynamiek wordt toegelaten op de Waddeneilanden. Bij 65% van de zeereep vindt geen of slechts incidenteel onderhoud plaats. Noord- en Zuid-Holland kennen over het algemeen het meest intensieve onderhoud. In 1999 is op vier plaatsen de invloed van de zee toegenomen, deels door de uitvoering van natuurontwikkelingsprojecten. Belangrijk voorbeeld hiervan is de Kerf tussen Schoorl en Bergen aan Zee, waar in 1997 de zeereep werd doorgestoken om ruimte te geven aan dynamiek. Ook op Terschelling (het Groene Strand), Maasvlakte en Neeltje Jans (aangelegde sluffers) en Ameland-oost (experiment met dynamisch kustbeheer) komt de zee regelmatig in aanraking met het land.

De meeste waterkeringbeheerders vinden dat de beleidswijziging in 1990 (Min. VenW 1990) een belangrijke rol heeft gespeeld bij veranderingen in het kustbeheer. Met name de

zandsuppleties hebben de noodzaak tot actief beheer van de zeewering verminderd. Ook andere oorzaken worden genoemd. De belangrijkste is, dat in de jaren '70 en '80 een flinke inhaalslag is gemaakt bij het ophogen en vastleggen van de zeewering. Als gevolg daarvan kon het waterkeringbeheer in de jaren '90 op een lager peil worden voortgezet. Andere genoemde oorzaken zijn het achterwege blijven van zware stormen in de periode '93-'98 en de verandering in denken binnen de eigen organisatie.

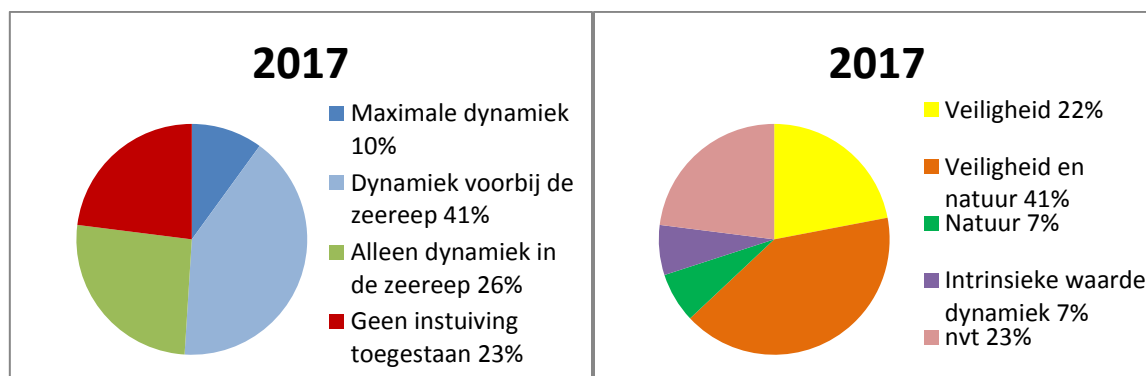


Figuur 6.2 Links: Zeereepbeheer in 1990 (Löffler and Veer 1999) Rechts: Gekerfde zeereep (foto S.D. IJff)

### 6.1.3 Situatie dynamisch kustbeheer in 2017 (uit: Löffler and Van der Togt 2018)

Figuur 6.3 (links) laat de situatie van het dynamisch kustbeheer zien in 2017. Het dynamisch kustbeheer is geïnventariseerd als de mate van toelaatbare zeereepdynamiek. Langs bijna een kwart van de kustlengte wordt geen dynamiek toegestaan (dit zijn dammen, boulevards, Maasvlakte). Langs nog eens ruim een kwart van de kust wordt alleen instuiving in de zeereep toegestaan. Het gaat hierbij vooral om Zuid-Holland en Zeeland. Langs het grootste deel van de kust wordt instuiving tot voorbij de zeereep toegestaan. Het grootste deel hiervan ligt op de Waddeneilanden en in Noord-Holland. Langs 10% van de kust wordt maximale dynamiek toegelaten (vooral op de Waddeneilanden en op Schouwen).

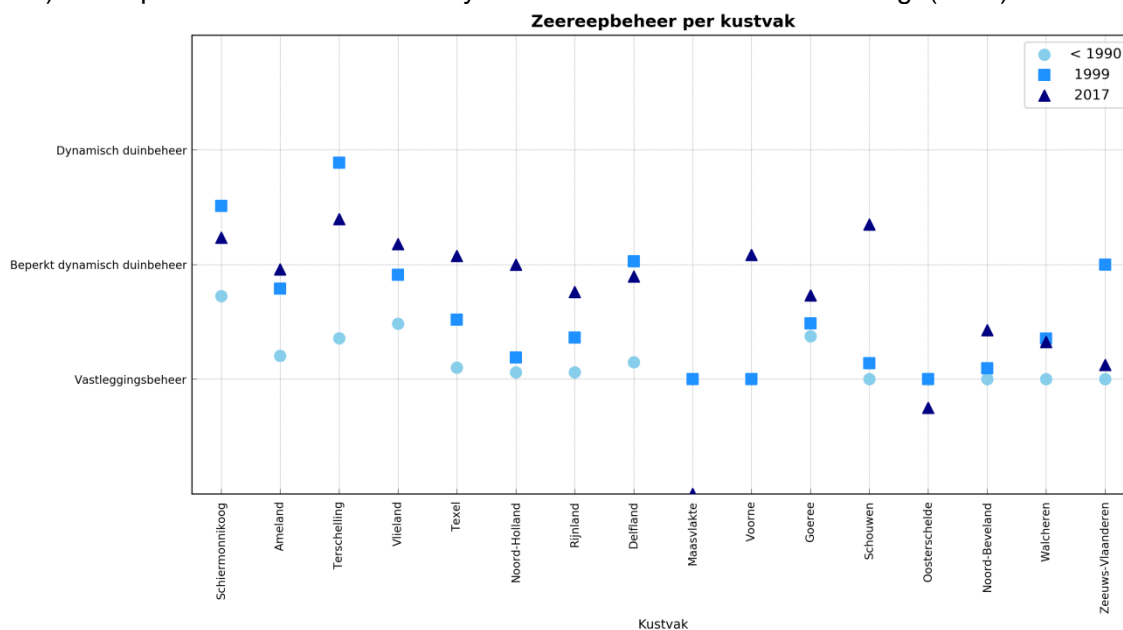
Uit de inventarisatie volgt dat dynamiek in verreweg de meeste kustdelen een dubbeldoel heeft, voor zowel veiligheid als natuur (Figuur 6.3 rechts). In kustdelen met smalle duinen is (korte termijn) veiligheid het hoofddoel van het toelaten van verstuiving. Hier wordt alleen instuiving van de zeereep toegestaan, om de waterkering op orde te houden. Slechts op enkele plaatsen heeft het toelaten van dynamiek alleen een natuurdoel. Dit geldt vooral voor de Waddeneilanden. De 7% intrinsiek betekent dat het toelaten van dynamiek eigen is aan het systeem en vanuit die intrinsieke waarde wordt toegelaten. Dit geldt vooral voor het Waddensysteem.



Figuur 6.3 Links: Toelaatbare zeereepdynamiek in 2017 Rechts: Belang van stuivend zand (Löffler and Van der Togt 2018)

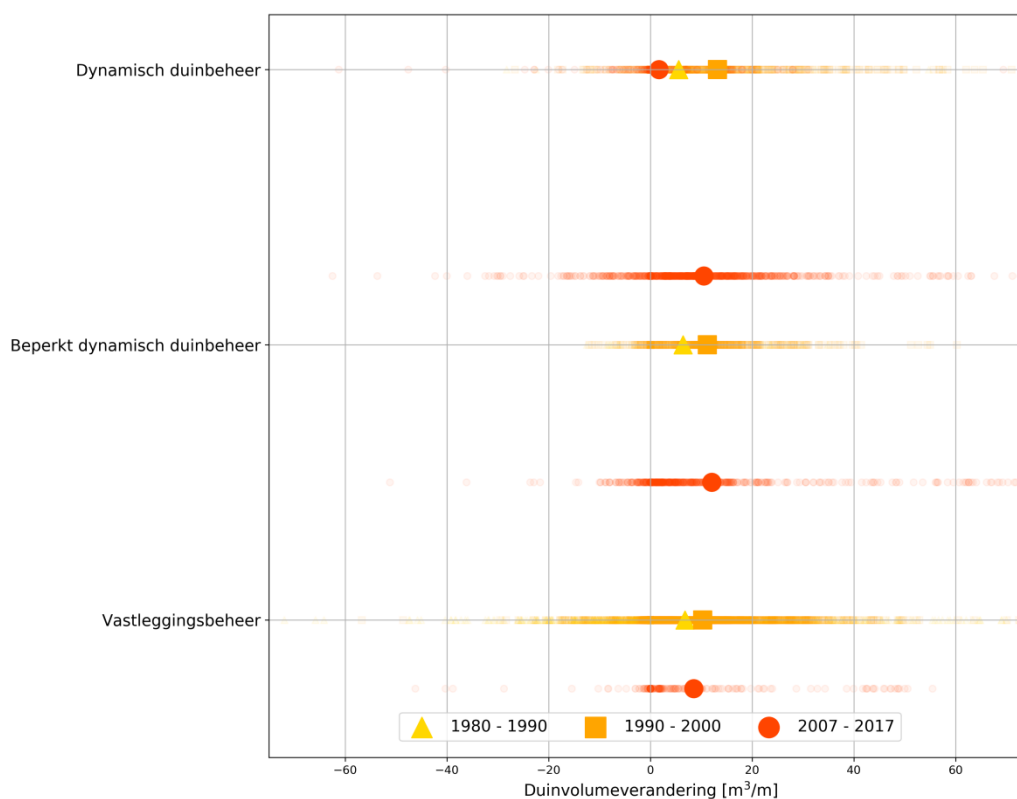
## 6.2 Resultaten analyses

In Figuur 6.4 staan de typen zeereepbeheer voor de verschillende kustvakken weergegeven. Hierin is te zien dat voor de meeste kustvakken het zeereepbeheer over de jaren steeds meer gericht is op dynamisch kustbeheer. Voor Schiermonnikoog, Terschelling, Delfland en Zeeuws-Vlaanderen is het kustbeheer tussen 1999 en 2017 minder dynamisch geworden. Dit zou kunnen komen doordat grote dynamiseringsprojecten zijn afgerond. Hierbij moet opgemerkt worden dat de gepresenteerde duinbeheervormen betrekking hebben op gehanteerd beleid. In de praktijk hoeft echter niet direct sprake te zijn van een verandering. Een andere mogelijkheid is dat dit resultaat een artefact is door de verschillende manieren van classificatie tussen (Löffler and Veer 1999) en (Löffler and Van der Togt 2018). Om het zeereepbeheer van de verschillende periodes te vergelijken, zijn de vier zeereepbeheerclassen uit Löffler and Van der Togt (2018) omgerekend naar de drie schalen uit de eerdere publicaties onder de aanname dat ‘Dynamisch dynamiek’ uit (Löffler and Veer 1999) correspondeert met ‘Maximale dynamiek’ uit Löffler and Van der Togt (2018).



Figuur 6.4 Zeereepbeheer per kustvak, voor de periodes <1990, 1999 en 2017.

Het effect van zeereepbeheer op het volume van de zeereep langs gehele Nederlandse kust is weergegeven in Figuur 6.5. In deze figuur is het beheer uitgezet tegen de trend in volumeverandering in de zeereep per Jarkusraai voor de periodes 1980-1990, 1990-2000 en 2007-2017. Er is gekozen voor periodes van 10 jaar voorafgaand aan het jaar waarvan het zeereepbeheer is onderzocht: <1990, 1999 (hier gerekend als 2000 om overlap met voorgaande periode te voorkomen) en 2017. Ieder punt in deze figuren correspondeert met een Jarkusraai voor een van de periodes. De grote markers laten de gemiddelde duinvolume verandering zien die is geobserveerd op basis van alle Jarkus raaien met een specifiek soort beheer. Per periode is geanalyseerd of een soort beheer samenvalt met een grotere/kleinere duinvolume verandering.



Figuur 6.5 Duinvolumeverandering en beheerstrategie langs de Nederlandse kust voor de perioden 1980-1990, 1990-2000 en 2007-2017.

De resultaten voor de eerste periode laten een vergelijkbare gemiddelde positieve trend in duinvolumeverandering zien tussen vastleggingsbeheer en beperkt dynamisch beheer, respectievelijk  $6.7 \text{ m}^3/\text{m}$  en  $6.4 \text{ m}^3/\text{m}$ . De gemiddelde volumetrend voor de Jarkus raaien waarop dynamisch duinbeheer is toegepast is echter zo'n 15% lager in deze periode.

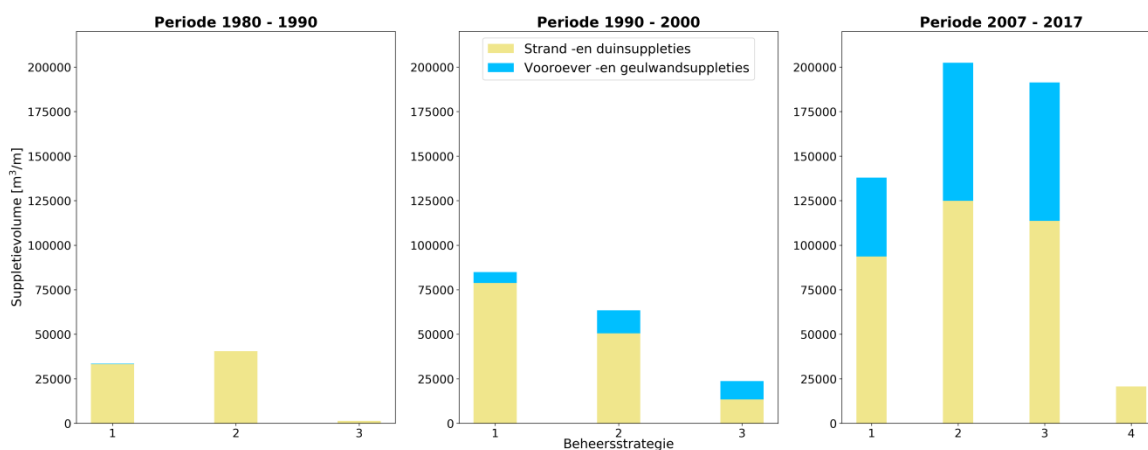
De resultaten voor de periode 1990 – 2000 laten een stijging van de duinvolumeverandering trend zien voor Jarkus raaien waar (beperkt) dynamisch duinbeheer is toegepast. De stijging bedraagt respectievelijk 9% en 28% ten opzichte van de gemiddelde trend voor vastleggingsbeheer. Het verschil tussen de twee periodes wordt mogelijk veroorzaakt door de hogere suppletievolumes in de periode 1990 – 2000. Dit duidt mogelijk op een sterkere invloed van suppleties op duinvolume veranderingen, dan invloed van beheer op volume veranderingen in de zeereep.

De laatste geanalyseerde periode, 2007-2017, is uitgezet tegen zeereepbeheer data uit Löffler and Van der Togt (2018). De bijhorende vier klassen (zie Figuur 6.3, links), specificeren de toelaatbare mate van doorstuiving. De beheertypen van deze periode liggen tussen de lijnen van de eerdere periodes, doordat de beheertypen uit Löffler and Van der Togt (2018) zijn geprojecteerd op een schaal van 1 tot 3. De resultaten in Figuur 6.5 laten een positief verband zien tussen beperkt dynamisch duinbeheer (dynamiek in en voorbij de zeereep) met de volumeverandering: In Jarkus raaien waar dynamiek in en voorbij de zeereep is toegestaan is de volumeverandering in de zeereep gemiddeld met 42% en 23% toe, in vergelijking met de gemiddelde duinvolume verandering voor Jarkus raaien met vastleggingsbeheer. Echter, de gemiddelde volumeverandering in de zeereep waar maximale dynamiek is toegestaan, neemt af met 80%, ten opzichte van vastleggingsbeheer in dezelfde periode. De resultaten voor deze periode geven indicatie dat het toelaten van dynamiek in de

zeereep de grootste duinvolume stijging tot gevolg heeft. Dit is een verwacht resultaat, omdat instuiving wordt gesimuleerd (wat leidt tot toename in volume). Als de duinvolumes zijn berekend van duinvoet tot de achterzijde van de zeereep, zou maximale dynamiek er niet toe kunnen leiden dat zand de duin verlaat. De enorme afname in duinvolume geobserveerd voor Jarkus raaien met maximale dynamiek, doet dan ook vermoeden dat andere processen hier verantwoordelijk voor zijn.

Voor de periode 2007-2017 laten de resultaten per kustvak eveneens een stijging in duinvolume zien in vergelijking tot het volume bij vastleggingsbeheer. Voor alle Waddeneilanden behalve Ameland, correspondeert de hoogste waarde van de gemiddelde duinvolumeverandering met Jarkus raaien waar dynamiek voorbij de zeereep is toegestaan. In tegenstelling tot de Hollandse kust, waar voor de kustvakken Rijnland, Delfland en Noord-Holland de maximale trend is gevonden voor Jarkus raaien waar enkel instuiving in de zeereep is toegestaan. In de Delta is sprake van tegenstrijdigheid. Voor kustvak Goeree en Zeeuws Vlaanderen neemt de gemiddelde duinvolume stijging af met toenemende mate van toegestane dynamiek. Het beeld voor Walcheren is echter in lijn met de kustvakken langs de Hollandse kust.

Vergelijking tussen de drie periodes is lastig aangezien de suppletievolumes in de tijd sterk zijn gestegen. In Figuur 6.6 is het gemiddeld suppletievolume per Jarkus raai weergegeven in de drie periodes. Uit deze figuur blijkt dat er niet evenredig is gesuppleerd over de verschillende zeereepbeheer typen. Vergelijking tussen Figuur 6.5 en Figuur 6.6 voor periode 2007-2017 laat dezelfde trend zien. Dit wijst erop dat de suppleties verantwoordelijk zijn voor de geobserveerde trend.



Figuur 6.6 Gemiddeld suppletievolume per Jarkus raai (verticale as) in de periodes 1980-1990, 1990-2000 en 2007-2017 per type zeereepbeheer (horizontale as). Voor de beheers strategieën (1,2,3,4) zie Figuur 6.2 en Figuur 6.3.

### 6.3 Conclusie

Er lijkt op het eerste gezicht een relatie te zijn tussen het toegepaste beheertype en duinvolumeveranderingen. Doordat suppletievolumes en beheertypen niet onafhankelijk zijn, is echter aannemelijk dat de suppleties aan de kust de drijvende factor zijn achter de geobserveerde volume veranderingen.



## 7 Effect van zeereepbeheer op dynamiek van de zeereep

### 7.1 Inleiding

De deelvraag die in dit hoofdstuk centraal staat, is:

*Wat is de invloed van zeereepbeheer op (veranderingen in) de dynamiek van de zeereep?*

De hypothese is dat het zeereepbeheer sturend is voor de mate van dynamiek in de zeereep.

Waar vegetatie ontbreekt (tijdelijk, bijvoorbeeld door stormvloed) kunnen stuifkuilen en kerven ontstaan en wordt de zeereep dynamisch en/of instabiel (Hesp 2002). Dit kan gestimuleerd worden door actieve verwijdering van de vegetatie. Beheer in de zeereep zoals het planten van helm en het neerzetten van omheiningen en stuifschermen zorgen juist voor het vasthouden van zand en vermindert de dynamiek van de zeereep (Arens and Wiersma 1994; Bochev-van der Burgh 2012).

De beheerhoogte van de drempel van een kerf wordt meestal in de hand gehouden door de beheerder, die daarvoor vaak om de veiligheid van de primaire kering te garanderen een minimumhoogte vaststelt; deze ligt veelal onder de aanleghoogte (in het geval van een aangelegde kerf). De breedte ontwikkelt zich door vooral eolische erosie en sedimentatie. De oriëntatie van de kerf ten opzichte van de overheersende windrichting is ook van belang. Dit geldt tevens voor de lengte in landwaartse richting (welke zorgt voor geleiding van doorstuivend zand naar het achterduin). De kerf wordt hierdoor langer. Aan de zeezijde krijgen nieuwe duinen nauwelijks een kans door de eroderende werking van de wind die de kerf in wordt getrokken. Als vuistregel geldt: hoe meer kerven hoe meer sedimentdoorvoer plaats kan vinden. Het is echter voorstelbaar dat kerven elkaar onderling kunnen gaan beïnvloeden, door hun windaanzuigende werking. Ze kunnen elkaar onderling gaan beconcurreren voor wat betreft de sedimentaanvoer vanaf het strand.

Al met al zijn er ook beperkingen aan de stuurbaarheid van de stuurknop 'Zeereepbeheer', maar deze lijken door de hoge stuurbaarheid van gegraven kerven zelf beter te controleren dan de stuurbaarheid van de suppleties, die van veel meer toevalsprocessen afhankelijk is en nauwelijks bijgestuurd kan worden als ze eenmaal is aangelegd. Het meest interessant qua mogelijke stuurbaarheid lijken factoren gerelateerd aan het ontwerp van kerven. Daarbij kan mogelijk gestuurd worden op: aantal kerven, hun onderlinge ligging (als er meer kerven dicht bijeen in een en hetzelfde kustvak liggen), aanleghoogte, breedte, lengte door het duin heen, hoogte drempel en vegetatiebedekking.

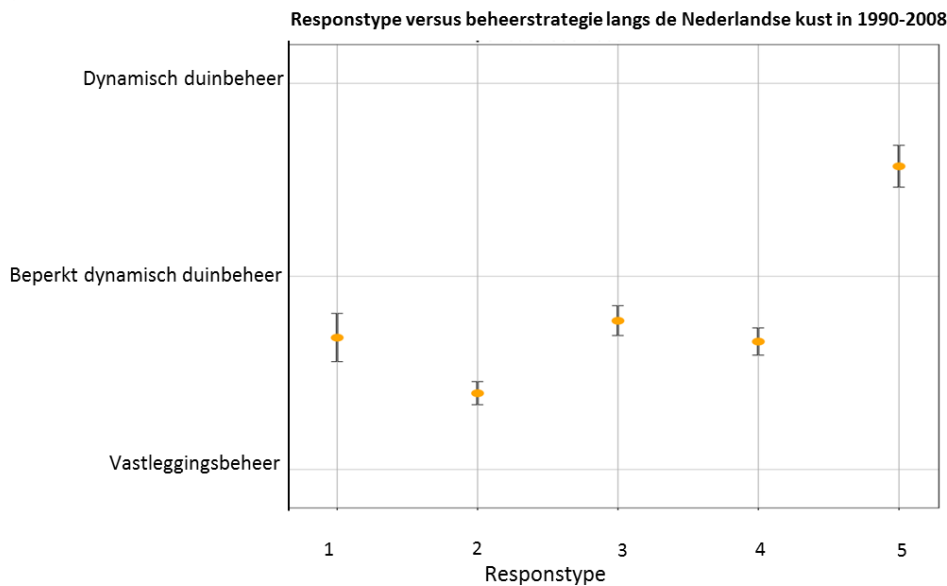
### 7.2 Resultaten analyses

Voor dit onderzoek is de mate van dynamiek in de zeereep (responstypen) vergeleken met de beheerstrategie op die locaties. De beheerstrategieën zijn alleen bekend voor de perioden <1990, 1999 en 2017. Dit komt niet geheel overeen met de perioden die zijn gebruikt voor het bepalen van de dynamiek in de zeereep (1988-2008, 2008-2013 en 2013-2017). Omdat voor de periode 2008-2013 geen informatie is over de beheerstrategie, is deze periode niet meegenomen in de analyse.

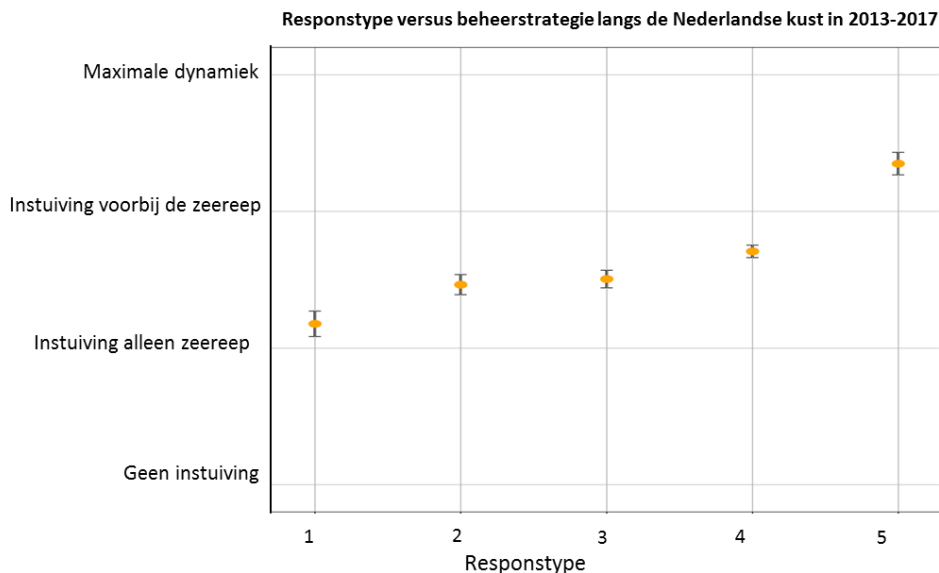
Figuur 7.1 toont de relatie tussen de responstypen en beheerstrategie in de periode 1990-2008. Het grootste verschil is zichtbaar tussen responstype 5 (maximale dynamiek) en de andere vier responstypen (nauwelijks dynamiek tot beperkte dynamiek). De resultaten tonen aan dat een zeereep met maximale dynamiek (vrijwel) alleen voorkomt op locaties waar er

sprake is van (beperkt) dynamisch kustbeheer. Tussen de responstypen 1 t/m 4 is weinig verschil tussen de gemiddelde beheerstrategie.

Figuur 7.2 toont de relatie tussen de dynamiek van de zeereep en het zeereepbeheer voor de periode 2013-2017. Voor deze periode is duidelijk een positieve trend zichtbaar tussen de dynamiek van de zeereep en het type zeereepbeheer (van vastleggingsbeheer tot maximale dynamiek).



Figuur 7.1 Relatie tussen de dynamiek van de zeereep (responstype) en het type zeereepbeheer in de periode 1990-2008.



Figuur 7.2 Relatie tussen de dynamiek van de zeereep (responstype) en het type zeereepbeheer in de periode 2013-2017.

De gemiddelde responstype per kustvak (Figuur 3.6) voor de periodes 1988-2008, 2008-2013 en 2013-2017 zijn vergeleken met het gemiddelde zeereepbeheer per kustvak voor de jaren <1990, 1999, 2017 (Figuur 6.4). Vooral de Wadden kennen een hogere vorm van dynamiek in de zeereep in vergelijking met de overige kustvakken langs de Nederlandse kust. Echter, het gemiddelde responstype voor Schiermoninkoog, Terschelling en Vlieland ligt in de meeste recente periode lager in vergelijking met de periode 1988-2008. Dit terwijl de toelaatbare mate van dynamiek juist hoger ligt in 2017 dan in de periode voor 1990. Dit geeft indicatie dat zeereepbeheer voor de Waddeneilanden mindert sturend is voor de mate van dynamiek in de zeereep. In de kustvakken Noord-Holland, Rijnland en Delfland is de het beleid rond zeereepbeheer veranderd van vastleggingsbeheer voor de 1990 naar beperkt dynamische duinbeheer in 2017. In deze periode is voor deze kustvakken een toename in dynamiek waargenomen. De mate van de stijging van het gemiddelde responstype per kustvak komt echter niet duidelijk overeen met de gemiddelde verandering in zeereepbeheer. Een vergelijkbare observatie is zichtbaar voor kustvakken Voorne en Schouwen. Voor dit kustvak heeft het vastleggingsbeheer van de jaren '90 plaatsgemaakt voor beperkt dynamisch beheer, echter is het gemiddelde responstype in deze kustvakken niet duidelijk gestegen. In het kustvak Zeeuws-Vlaanderen is het beleid juist tegenovergesteld gewijzigd naar vastleggingsbeheer. Ook hier is geen duidelijk verandering zichtbaar. Mogelijk is een verandering van het gemiddelde responstype nog niet zichtbaar, doordat het zeereepbeheer recent is gewijzigd. Verder leidt een verandering van beleid rond zeereepbeheer niet direct tot ingerepen in de zeereep.

### 7.3 Conclusie

De resultaten bevestigen de hypothese dat zeereepbeheer sturend is voor de dynamiek van de zeereep. Vooral het responstype 5 (sterke mate van doorstuiving) lijkt alleen voor te komen op locaties waar sprake is van dynamisch zeereepbeheer. Echter is niet voor elk kustvak eenzelfde verband waargenomen tussen verandering van het gemiddelde responstype en verandering van het zeereepbeheer.



## 8 Conclusies en aanbevelingen

### 8.1 Conclusies

De hoofdvraag in dit rapport is: Wat is de invloed van suppleties en zeereepbeheer op veranderingen in volume en dynamiek van de zeereep langs de Nederlandse kust? Om hier antwoord op te kunnen geven, is het verband onderzocht tussen suppleties met zeereepvolume en doorstuiving, en tussen zeereepbeheer met –volume en doorstuiving. Hieronder worden de belangrijkste bevindingen beschreven.

Het volume van de zeereep is toegenomen in vrijwel alle kustvakken én perioden (1997-2008, 2008-2013 en 2013-2017). Fluctuaties in het zandvolume van de intergetijdzone en de zeereep zijn groter dan die van de vooroever. Er wordt een lichte toename in dynamiek in de zeereep geobserveerd langs de Nederlandse kust, welke vooral wordt veroorzaakt door een toename in dynamiek aan de voorzijde en top van de zeereep. Het aandeel van responstypen 4 en 5 (matig en hoge doorstuiving) neemt nauwelijks toe over de tijd. Op meerdere locaties langs de Nederlandse kust neemt de dynamiek van de zeereep toe, op andere locaties af. Mogelijk doordat kerven en stuifkuilen met de tijd ook weer dichtgroeien. De grootste stijging in dynamiek is waargenomen in de kustvakken Rijnland en Delfland, door actief ingrijpen (het aanleggen van nieuwe duingebieden en kerven in de zeereep). Terschelling heeft de meeste doorstuiving in de zeereep en dus hoogste mate dynamiek. Er is geen verband gevonden tussen de mate van dynamiek en volumeverandering in de zeereep. Dit komt deels doordat het doorgestoven zand wordt meegerekend in het volume van de zeereep, wanneer het zand zich binnen de gehanteerde grenzen van de zeereep bevindt.

Vanaf de jaren '90 neemt het volume van vooroeversuppleties langs de Nederlandse kust sterk toe. Met het toenemen van het suppletievolumen (strand- en vooroeversuppleties) neemt ook het duinvolumen toe. Dit ondersteunt de hypothese dat de toename van het volume in de zeereep (deels) veroorzaakt wordt door het uitvoeren van suppleties. Er is geen verschil gevonden tussen het effect van vooroeversuppleties en strandsuppleties. Hoe sterk het verband is tussen het suppletievolumen en volumeveranderingen in de zeereep, verschilt per kustvak. Sterkste correlatie voornamelijk geobserveerd voor kustvak Zeeuws-Vlaanderen, Rijnland, Noord-Holland, Goeree. Er zijn ook kustvakken waar een autonome toename van het zeereepvolume is geobserveerd, dus zonder dat er sprake is van een suppletie. Dit is bijvoorbeeld het geval voor de zeereep van Schiermonnikoog.

Hoewel de hypothese is dat suppleties een positief effect hebben op aanzanding vóór en op de zeereep (responstypen 2 en 3) en een negatief effect hebben op doorstuiving (responstypen 4 en 5), laten de resultaten het tegenovergestelde beeld zien. Op plaatsen waar gesuppleerd wordt (zowel strand- en duinsuppleties als geulwand- en vooroeversuppleties) neemt het aandeel in responstypen 4 en 5 toe, ten kosten van het aandeel responstypen 2 en 3. Voornamelijk kustvakken aan de Hollandse kust (Delfland, Rijnland en Noord-Holland) en kustvakken in de Delta (Walcheren, Goeree en Voorne) laten een positief verband zien tussen het suppletievolumen en de mate van dynamiek in de zeereep.

Naast suppleties is zeereepbeheer een van de mogelijke stuurknoppen voor veranderingen in duinvolumen en mate van doorstuiving. Vanaf 1990 is het aandeel van dynamisch duinbeheer langs de Nederlandse kust gestegen van 11% in 1990 tot 51% in 2017 (beheer waarbij

dynamiek voorbij de zeereep is toegestaan). Het was de verwachting dat zeereepbeheer vooral invloed heeft op de mate van dynamiek, en niet op veranderingen in het volume. Er lijkt op het eerste gezicht een relatie te zijn tussen het toegepaste beheertype en duinvolumeveranderingen. Doordat suppletievolumes en beheertypen niet onafhankelijk zijn, is echter aannemelijk dat de suppleties aan de kust de drijvende factor zijn achter de geobserveerde volume veranderingen. Zoals verwacht is er een verband gevonden tussen zeereepbeheer en de mate van dynamiek in de zeereep. Vooral het responstype 5 (sterke mate van doorstuiving) lijkt alleen voor te komen op locaties waar sprake is van dynamisch zeereepbeheer. Dit resultaat suggereert dat dynamisch zeereepbeheer effect heeft.

Concluderend, wijzen de resultaten erop dat suppleties een sterk positief verband vertonen met het volume van de zeereep. Zeereepbeheer correleert sterk met de mate van dynamiek in de zeereep. Dit komt overeen met de hypothesen. De correlaties tussen suppleties en dynamiek in de zeereep, en tussen zeereepbeheer en volumeveranderingen zijn minder uitgesproken.

## 8.2 Aanbevelingen

Omdat voor dit rapport de veranderingen in de zeereep, en bijbehorende stuurknoppen voor de gehele Nederlandse kust is onderzocht, is er vaak sprake van een grote spreiding in de resultaten en zijn de verbanden niet altijd even sterk. Dit komt doordat deze stuurknoppen moeilijk los van elkaar te beoordelen. Ze beïnvloeden elkaar namelijk niet alleen via fysische processen, maar ook via uitvoering van beheer en beleid. Daarnaast verschilt de relatie tussen de stuurknoppen en het volume en dynamiek in de zeereep per kustvak.

Het is dan ook onze aanbeveling om in vervolgonderzoek de effecten van suppleties en beheer op de zeereep verder te ontrafelen door het uitvoeren van aanvullende statistische analyses, en door het inzoomen op een aantal kleinere gebieden. Hiervoor kan bijvoorbeeld de techniek bayesian modeling worden gebruikt, welke al succesvol is toegepast om de effectiviteit van suppleties voor kustveiligheid te onderzoeken (Giardino et al. 2019).

De beschikbaarheid voor laseraltimetriegegevens tussen 1997 en 2003 wisselt per jaar. Er is een uitgebreidere dataset beschikbaar, die in de analyses voor dit rapport nog niet is meegenomen. Het wordt aanbevolen om in vervolganalyses de dataset aan te vullen met de 'raw kustlidar' data van Rijkswaterstaat. Ook verdient het de aanbeveling om het corrigeren van fouten in hoogtedata door vegetatie te verbeteren. Hoewel met satellietdata de grens tussen vegetatie en zand in kaart kan worden gebracht, is het is op dit moment nog niet mogelijk om ook de grenzen van verschillende vegetatietypen (helm versus struikgewas) te detecteren. Omdat het de verwachting is dat struiken een grotere fout veroorzaken in hoogtedata dan helm, is onze aanbeveling om allereerst de techniek voor het detecteren van verschillende vegetatietypen te ontwikkelen. Vervolgens kunnen oppervlakten die begroeid zijn met struiken worden uitgesloten van de volumeberekeningen, om de foutmarge in die gebieden te verkleinen.

## 9 Referenties

- Aagaard, Troels, Robin Davidson-Arnott, Brian Greenwood, and Jørgen Nielsen. 2004. "Sediment Supply from Shoreface to Dunes: Linking Sediment Transport Measurements and Long-Term Morphological Evolution." *Geomorphology* 60(1–2):205–24.
- Arens, S. M. et al. 2012. *Ecologische Effecten van Zandsuppletie Op de Duinen Langs de Nederlandse Kust*.
- Arens, S. M., L. H. W. T. Geelen, H. G. J. M. van der Hagen, and Q. L. Slings. 2012. "Is Zandaanvoer Door de Zeereep de Sleutel Tot Succes?" *Landschap* 3:131–39.
- Arens, S. M., S. P. van Puijvelde, and C. Brière. 2010. *Effecten van Suppleties Op Duinontwikkeling Rapportage Geomorfologie*.
- Arens, S. M. and J. Wiersma. 1990. "De Zeereep Langs de Nederlandse Kust; Een Klassificatie." *KNAG, Geografisch Tijdschrift* 5(themanummer kustduinen):394–405.
- Arens, Sebastiaan M. 1994. "Aeolian Processes in the Dutch Foredues. PhD-Thesis." University of Amsterdam.
- Arens, Sebastiaan M.18.202 and J. Wiersma. 1994. "The Dutch Foredues - Inventory and Classification." *Journal of Coastal Research* 10(1):189–202.
- Bochev-van der Burgh, Lisette M. 2012. *Decadal-Scale Morphologic Variability of Foredues Subject to Human Interventions. Thesis*.
- Eleveld, M. A. 1999. "Exploring Coastal Morphodynamics of Ameland (the Netherlands) with Remote Sensing Monitoring Techniques and Dynamic Modelling in GIS." 225.
- de Groot, a. V. et al. 2012. "Measuring and Modeling Coastal Dune Development in the Netherlands." *NCK-Days 2012: Crossing Borders in Coastal Research: Jubilee Conference Proceedings* 6. Retrieved (<http://purl.utwente.nl/proceedings/178>).
- Griardino, A., et al. 2019. "A Regional Application of Bayesian Modeling for Coastal Erosion and Sand Nourishment Management." *Water* 11(1): 61
- Hesp, Patrick. 2002. "Foredues and Blowouts: Initiation, Geomorphology and Dynamics." *Geomorphology* 48(1–3):245–68.
- Lammerts, Evert Jan and A. M. M. Van Haperen. 2014. *De Natuur van de Kust; Tussen Aangroei En Afslag*. Amsterdam: NatuurMedia.
- Löffler, M. A. M. and M. A. C. Veer. 1999. *Grasduinen in de Waterkering? Evaluatie van Dynamisch Kustbeheer*.
- Löffler, Moniek and Remco van der Togt. 2018. *Dynamiëk in de Kustzone. Doelen En Achtergronden Op Grond van Bezoeken Aan de Regio's (Concept)*.
- Min. VenW. 1990. *Kustverdediging Na 1990: Beleidskeuze Voor de Kustlijn*zorg.
- Oost, A. et al. 2017. *Plan van Aanpak Op Hoofdlijnen: Effecten van Suppleren Op Het Kustduingebied Onder EGS II*.
- Oost, A. P. et al. 2012. "Barrier Island Management: Lessons from the Past and Directions for the Future." *Ocean & Coastal Management* 68:18–38.
- RWS-WVL. (2017). Suppletie database.
- de Vries, S., H. N. Southgate, W. Kanning, and R. Ranasinghe. 2012. "Dune Behavior and Aeolian Transport on Decadal Timescales." *Coastal Engineering* 67:41–53. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/j.coastaleng.2012.04.002>).
- van der Wal, D. 1999. "Aeolian Transport of Nourishment Sand in Beach-Dune Environments."
- Van der Wal, Daphne. 2004. "Beach-Dune Interactions in Nourishment Areas along the Dutch Coast." *Journal of Coastal Research* 20(1):317–25.
- Zijl, F. V. (2018). The 3D Dutch Continental Shelf model - Flexible Mesh. Delft: Deltares.





## 10 Bijlagen

In de bijlagen worden aanvullende kaarten en grafieken getoond. Voor de kustvakken (bijlage B t/m N) gaat het om de volgende gegevens:

1. Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep
2. Dynamiek van de zeereep
3. Duinvolumeverandering versus beheerstrategie
4. Dynamiek van de zeereep versus suppletievolume

### Lijst van Bijlagen

- A. Responstypen en volumeveranderingen
- B. Schiermonnikoog
- C. Ameland
- D. Terschelling
- E. Vlieland
- F. Texel
- G. Noord-Holland
- H. Rijnland
- I. Delfland
- J. Voorne en Goeree
- K. Schouwen en Oosterscheldekering
- L. Noord-Beverland
- M. Walcheren
- N. Zeeuws-Vlaanderen



## A Bijlage – Responstypen en volumeveranderingen

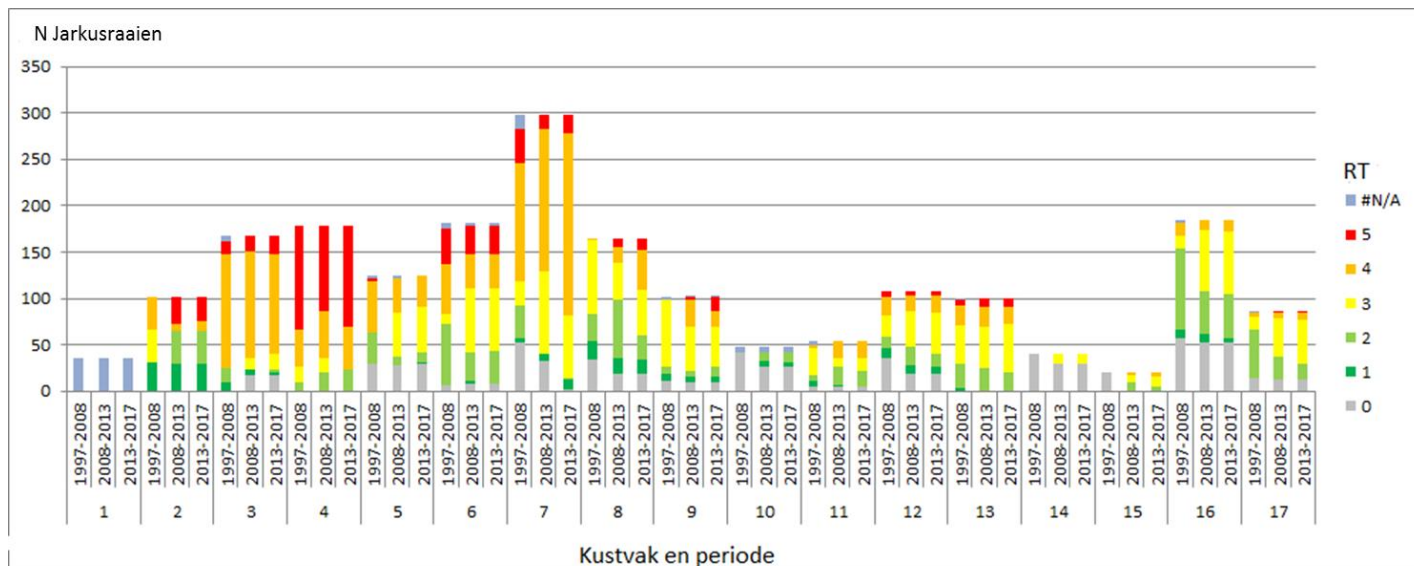


Figure 10.1 Responstype per kustvak en periode (1997-2008, 2008-2013 en 2013-2017)

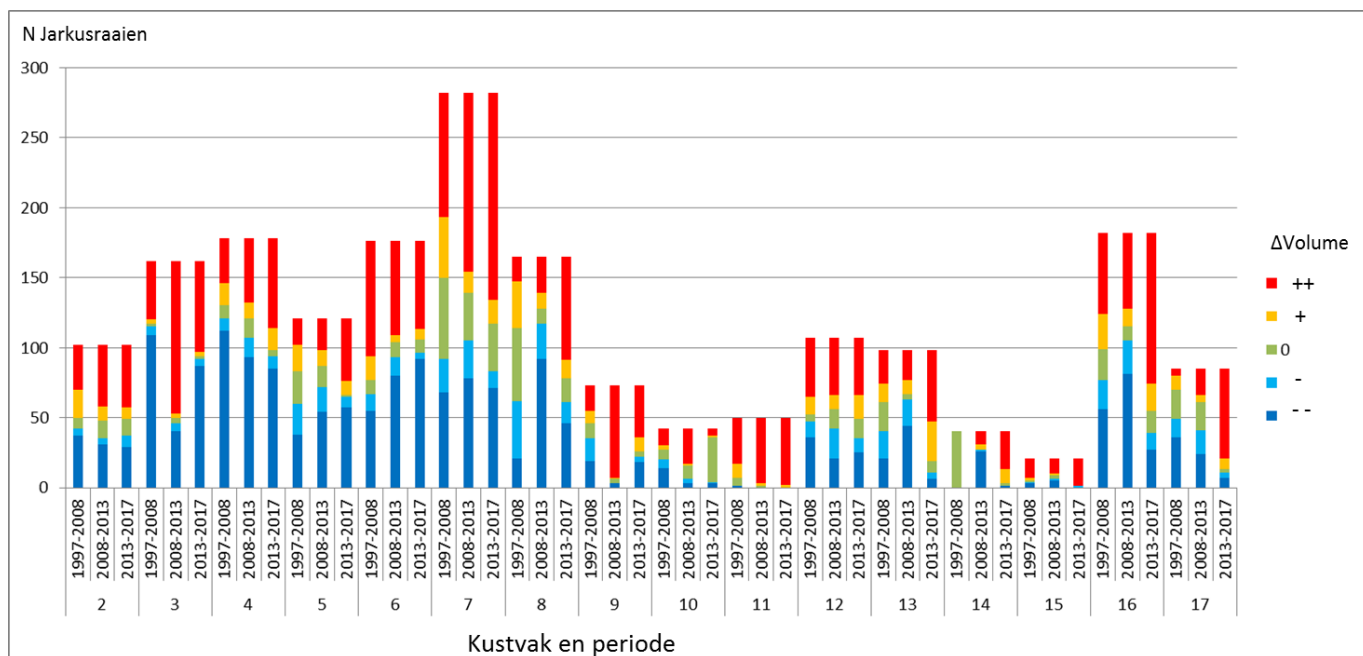


Figure 10.2 Volumeverandering in de vooroever, per kustvak en periode (1997-2008, 2008-2013 en 2013-2017) (++) >10, (+) 3 tot 10, (0) -3 tot 3, (-) -3 tot -10, (--) < -10 m³/m.jaar

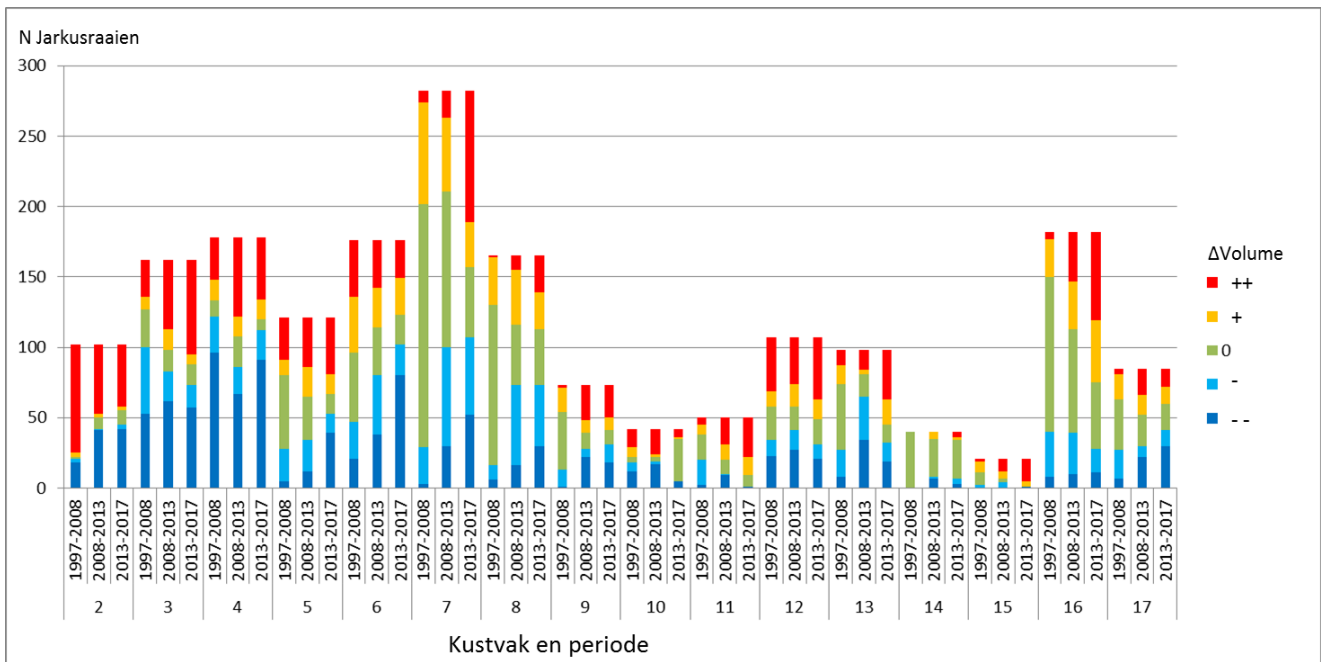


Figure 10.3 Volumeverandering intergetijdezone, per kustvak en periode (1997-2008, 2008-2013 en 2013-2017)  
 (++) >10, (+) 3 tot 10, (0) -3 tot 3, (-) -3 tot -10, (--) < -10 m<sup>3</sup>/m.jaar

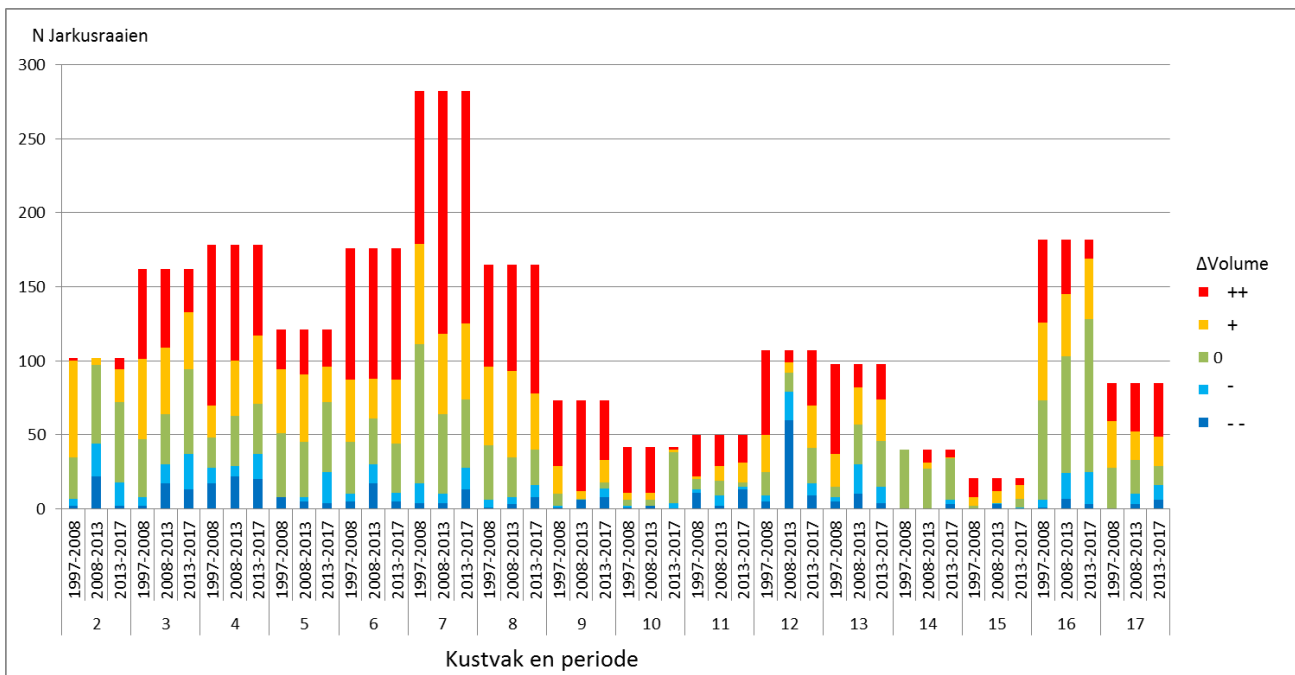
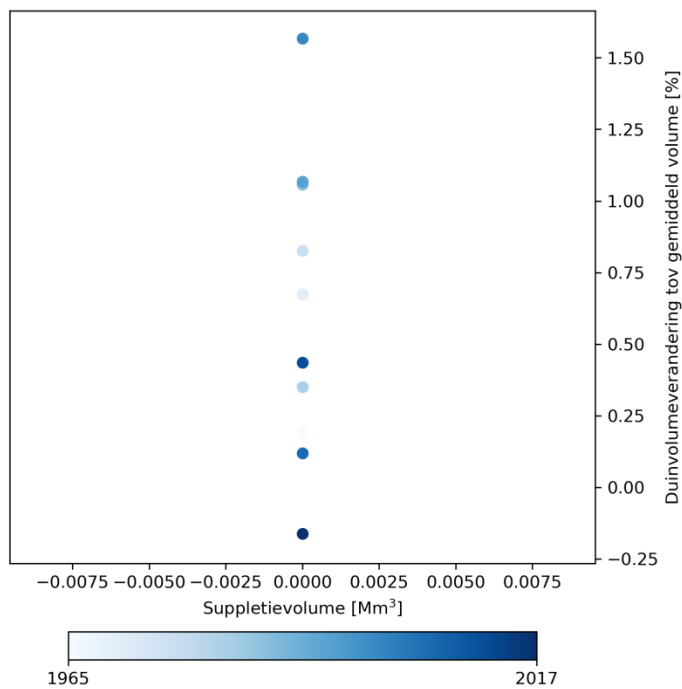
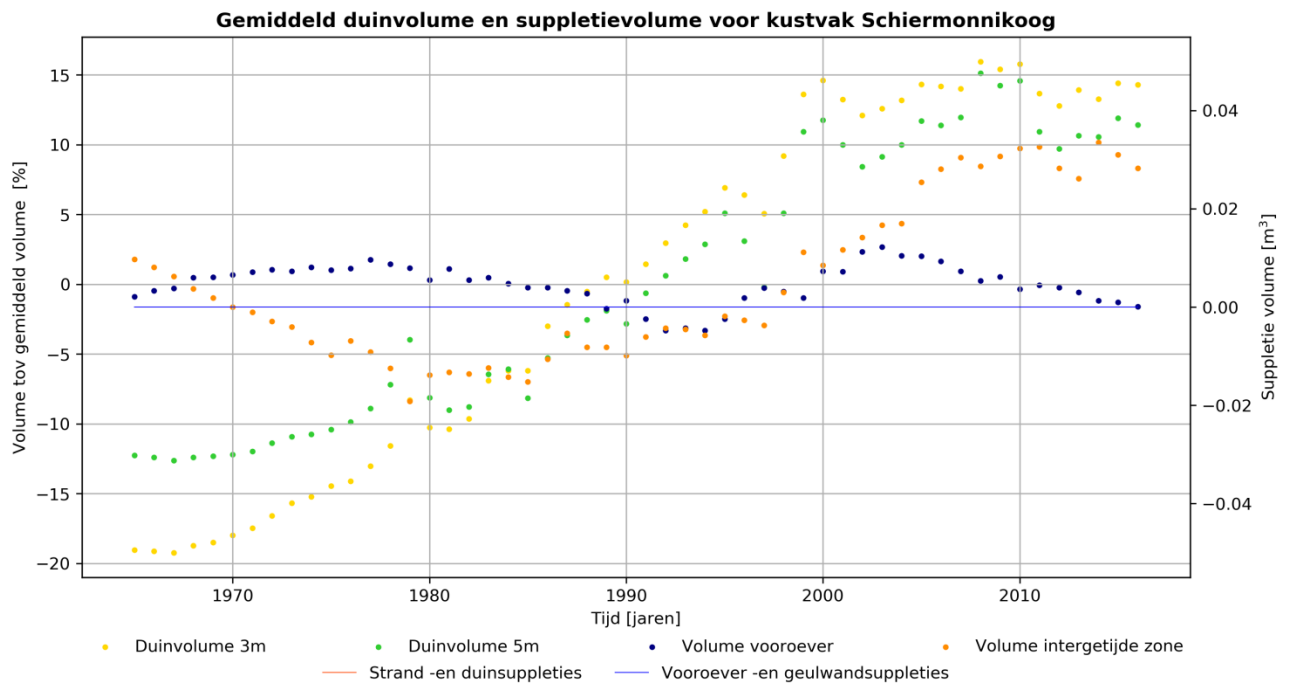


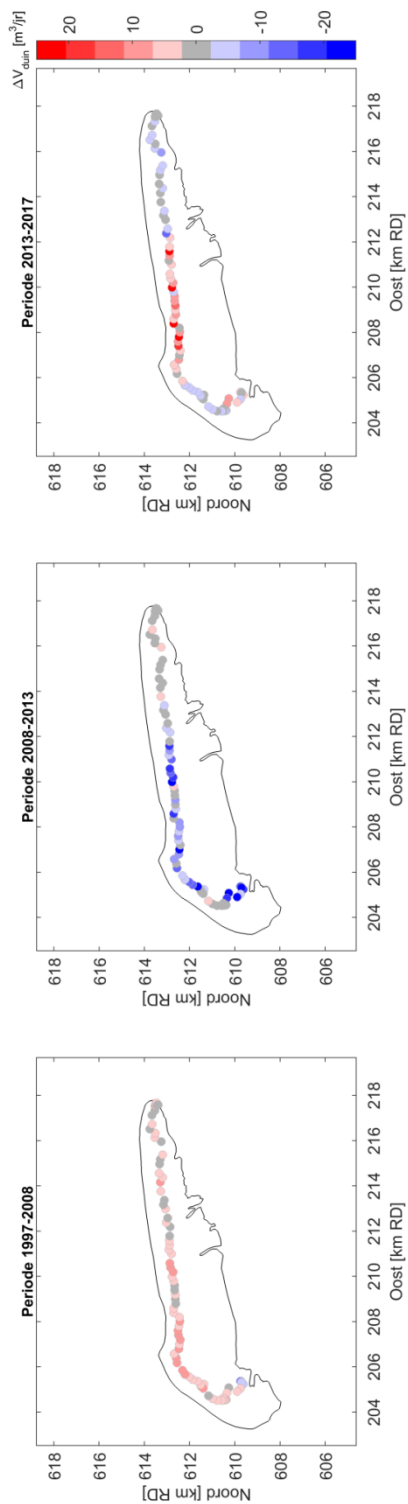
Figure 10.4 Volumeverandering zeereep (dv +3m), per kustvak en periode (1997-2008, 2008-2013 en 2013-2017)  
 (++) >10, (+) 3 tot 10, (0) -3 tot 3, (-) -3 tot -10, (--) < -10 m<sup>3</sup>/m.jaar

## B Bijlage – Schiermonnikoog

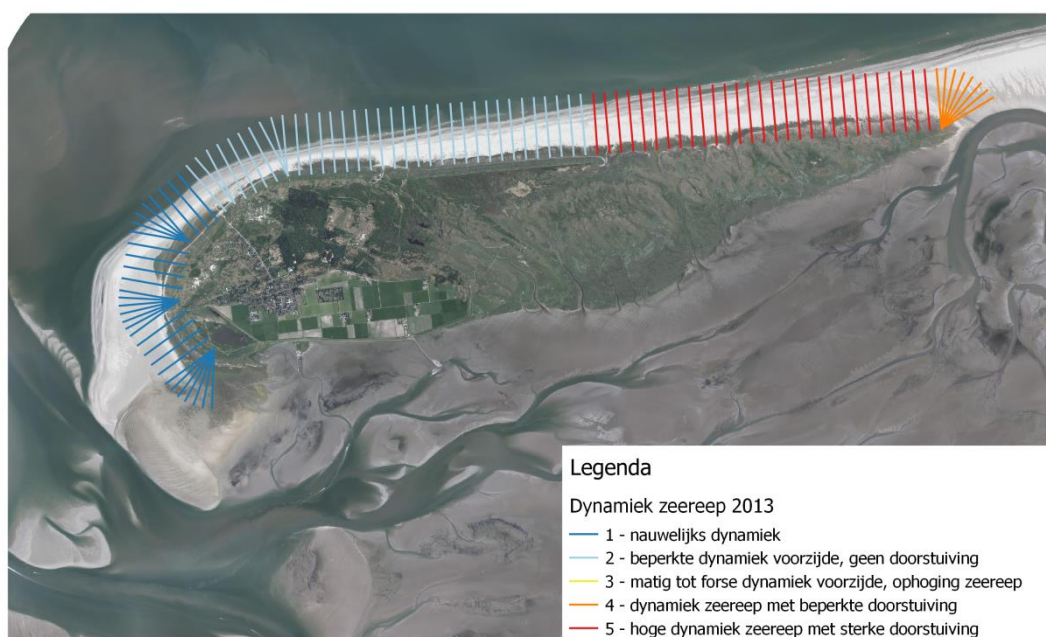
### B.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep



Trend volumeverandering boven MSL +3m



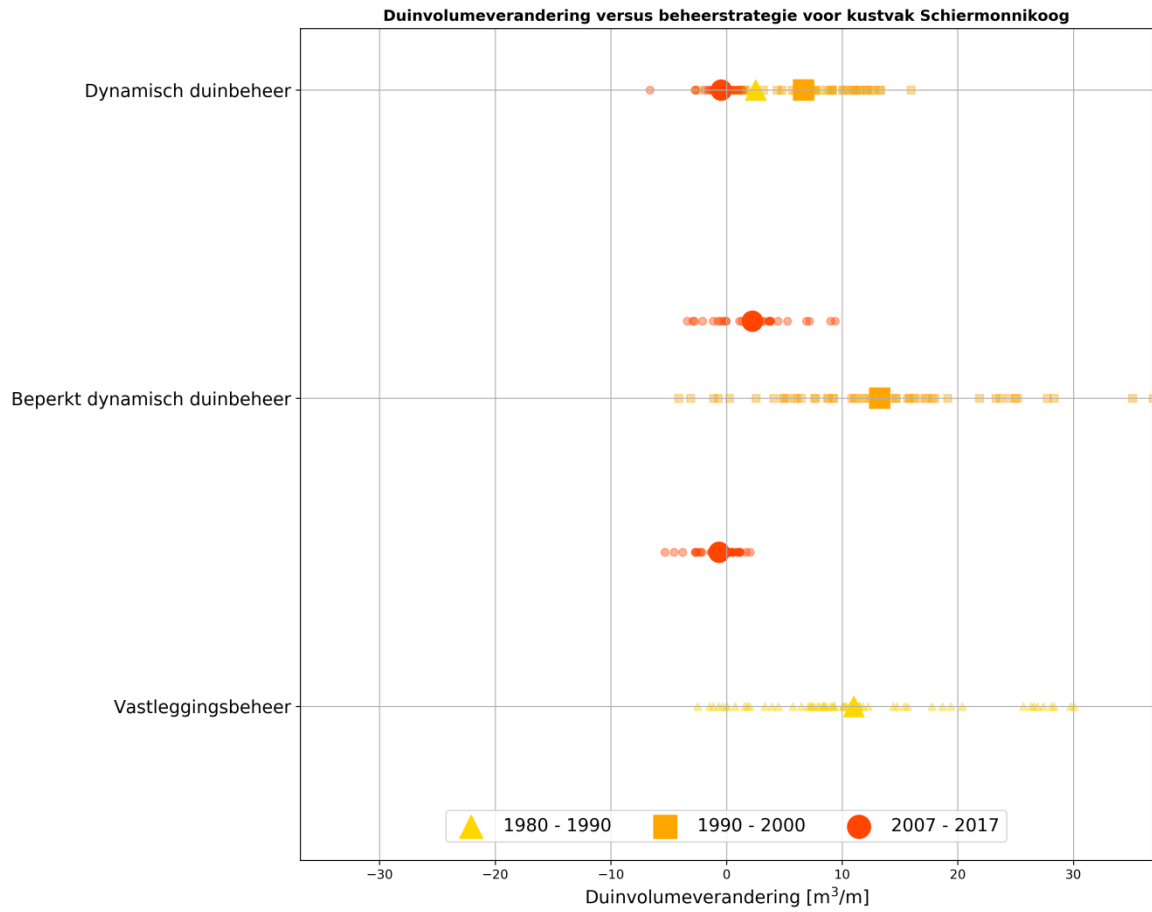
## B.2 Dynamiek van de zeereep





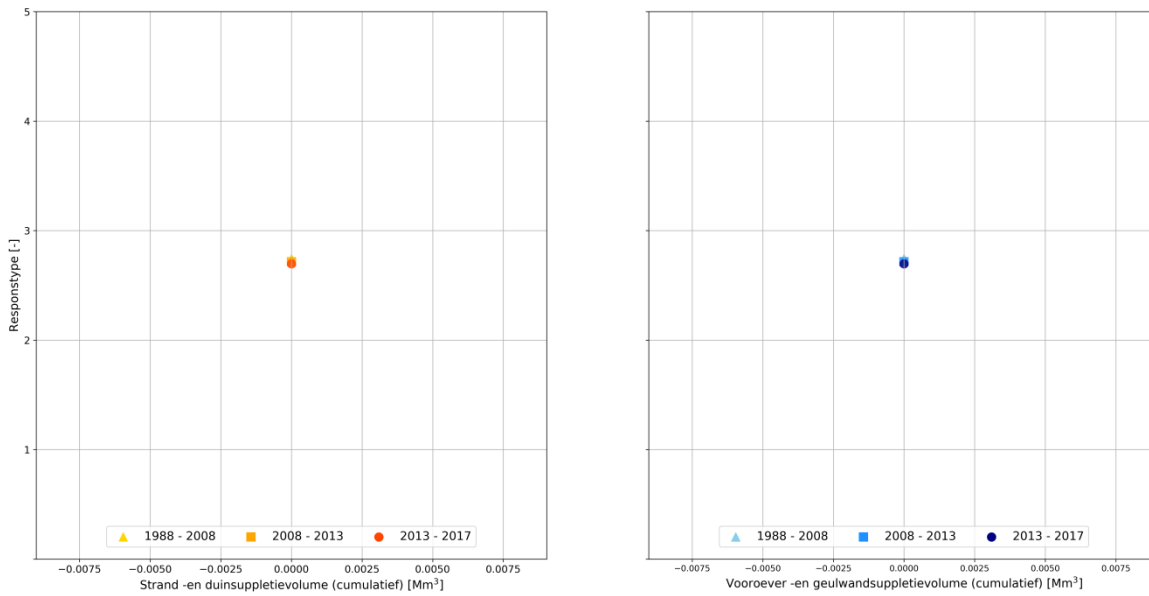


### B.3 Duinvolume verandering versus beheerstrategie

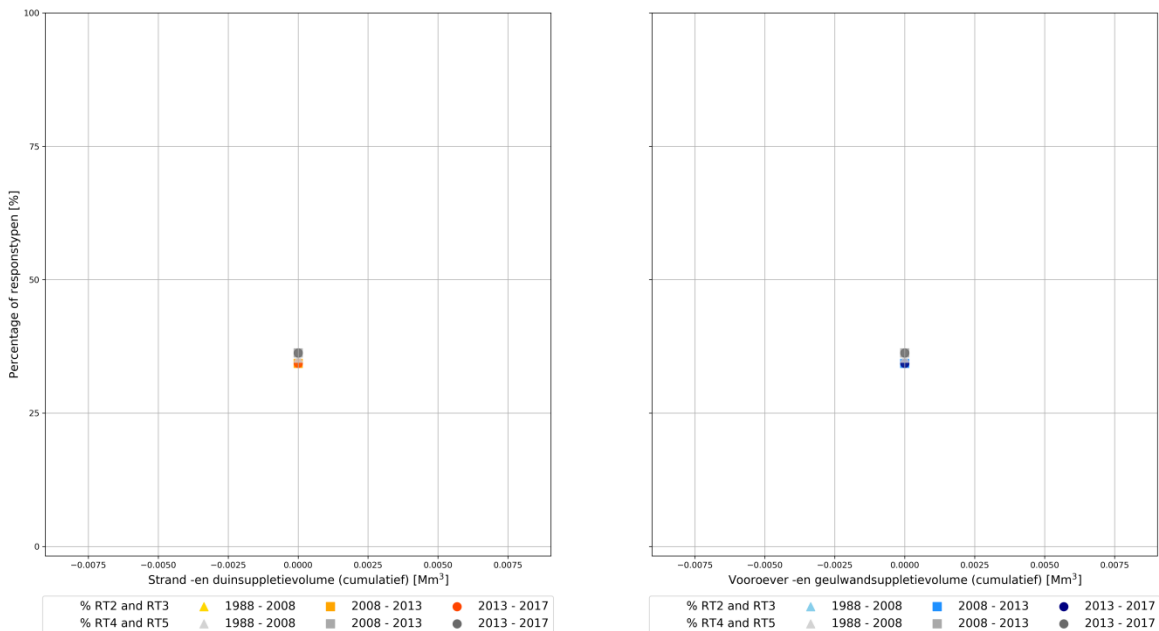


## B.4 Dynamiek van de zeereep versus suppletievolumen

Suppletievolumen versus gem. responstype voor kustvak Schiermonnikoog

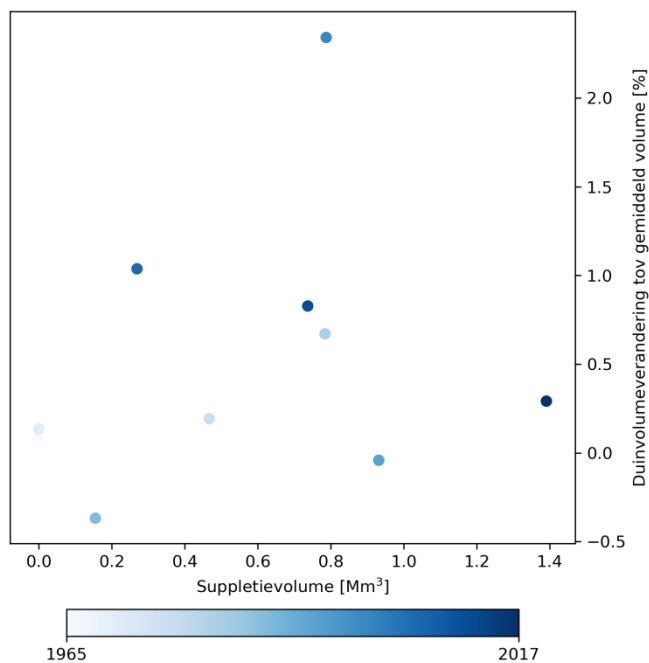
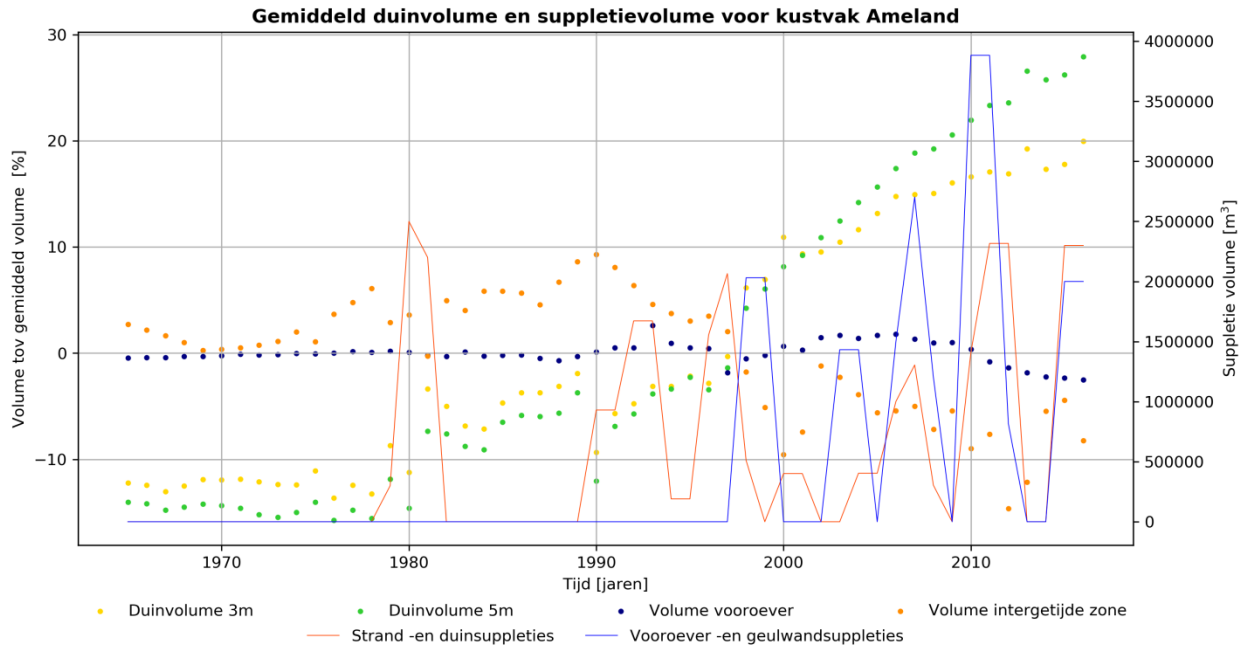


Suppletievolumen versus verdeling responstypen voor kustvak Schiermonnikoog

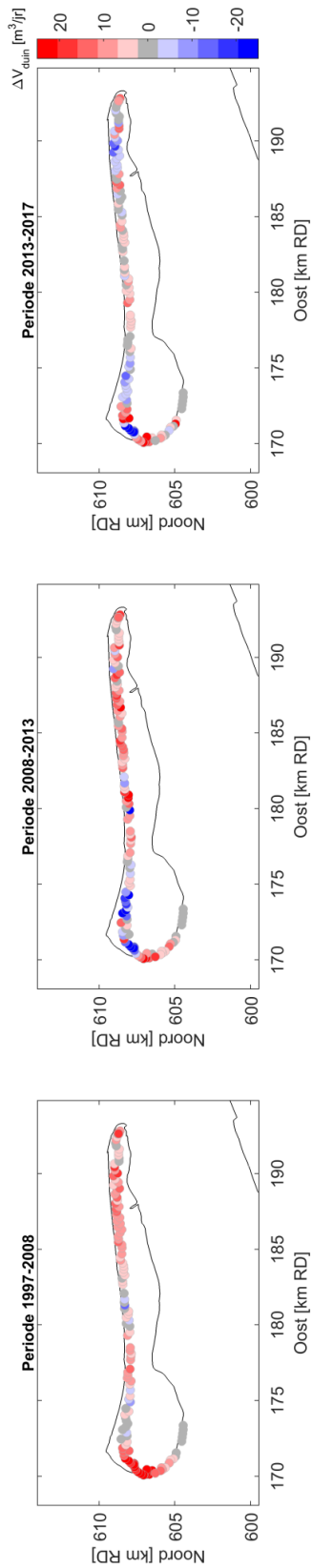


## C Bijlage – Ameland

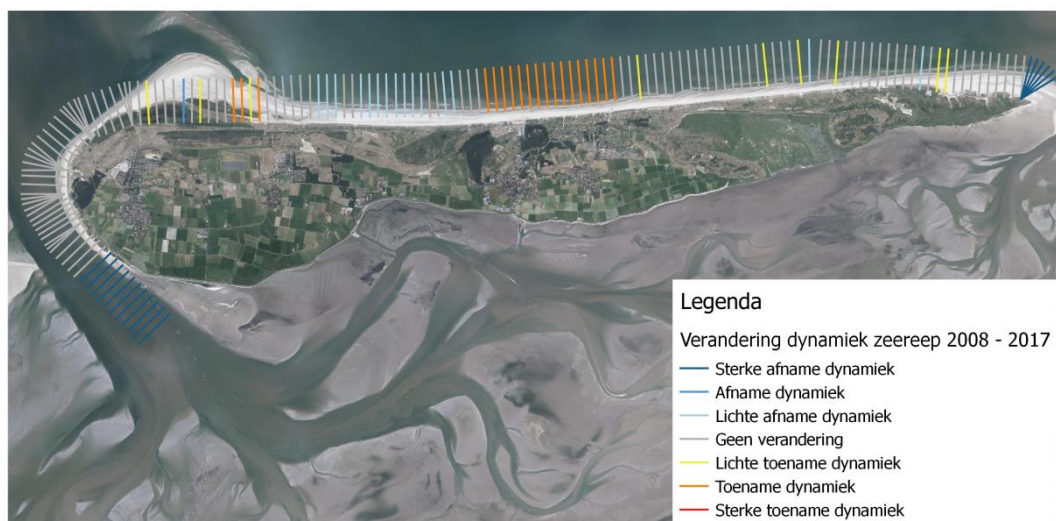
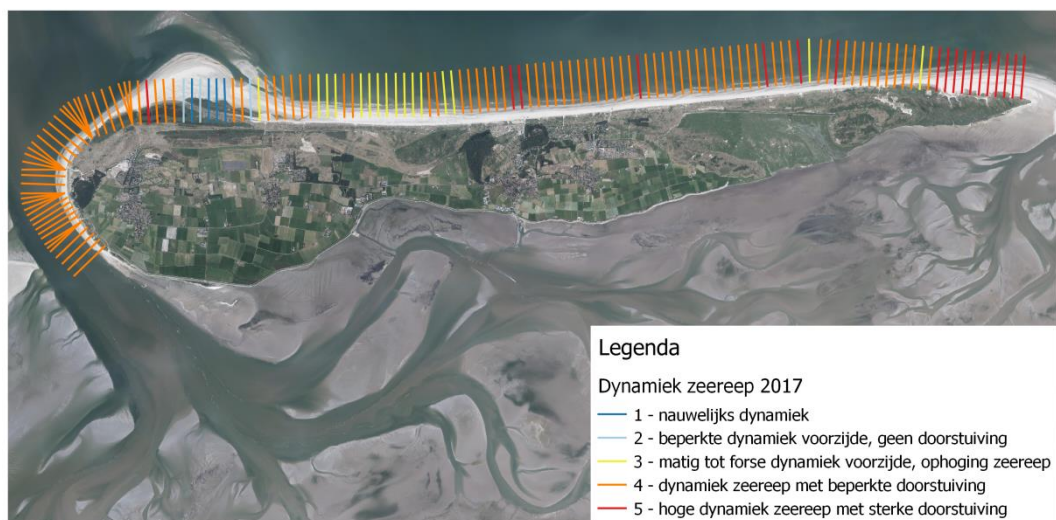
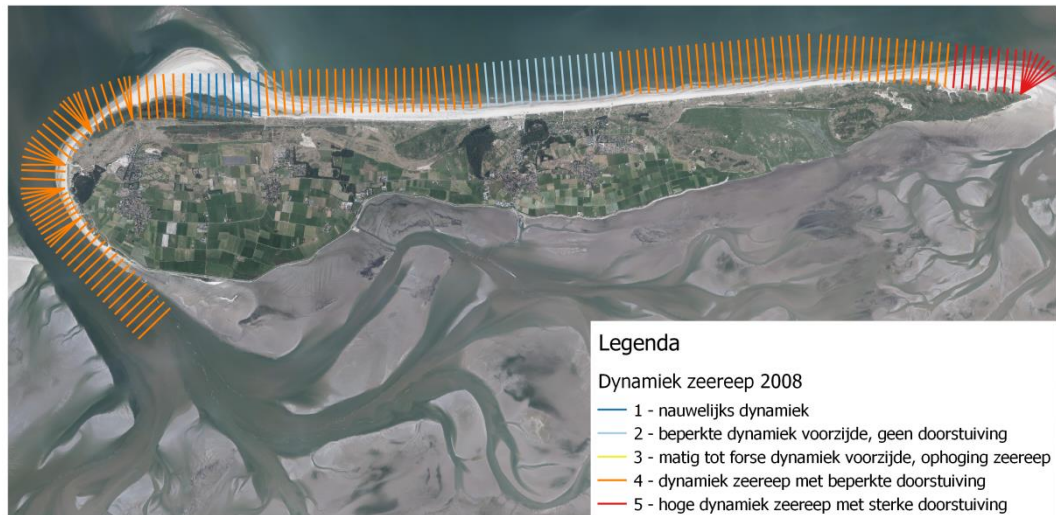
### C.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep



**Trend volumeverandering boven MSL +3m**

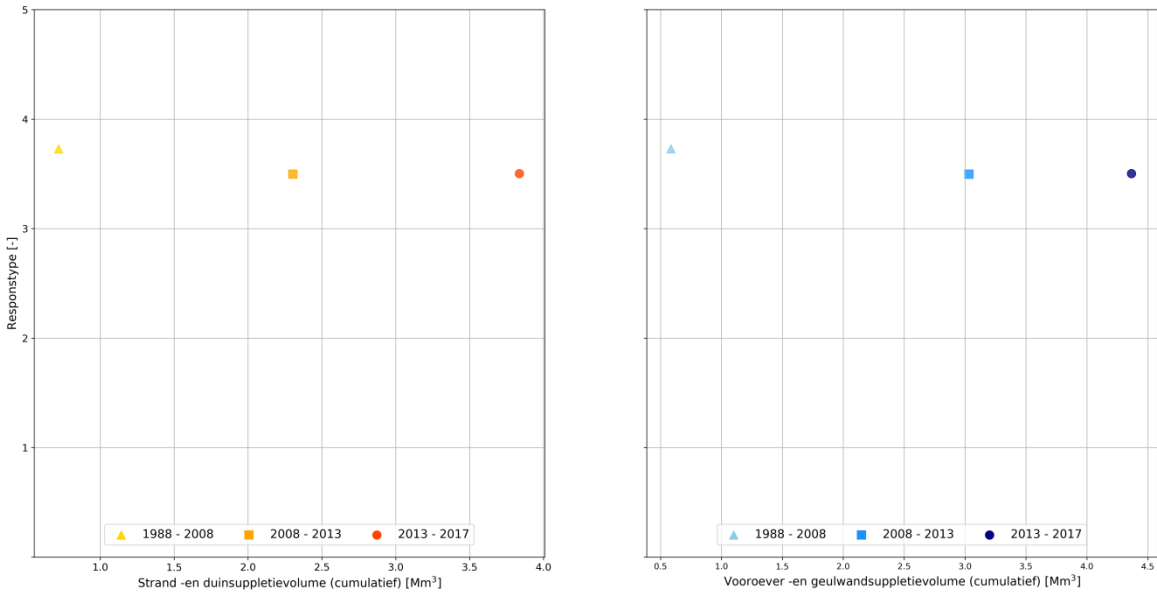


## C.2 Dynamiek van de zeereep



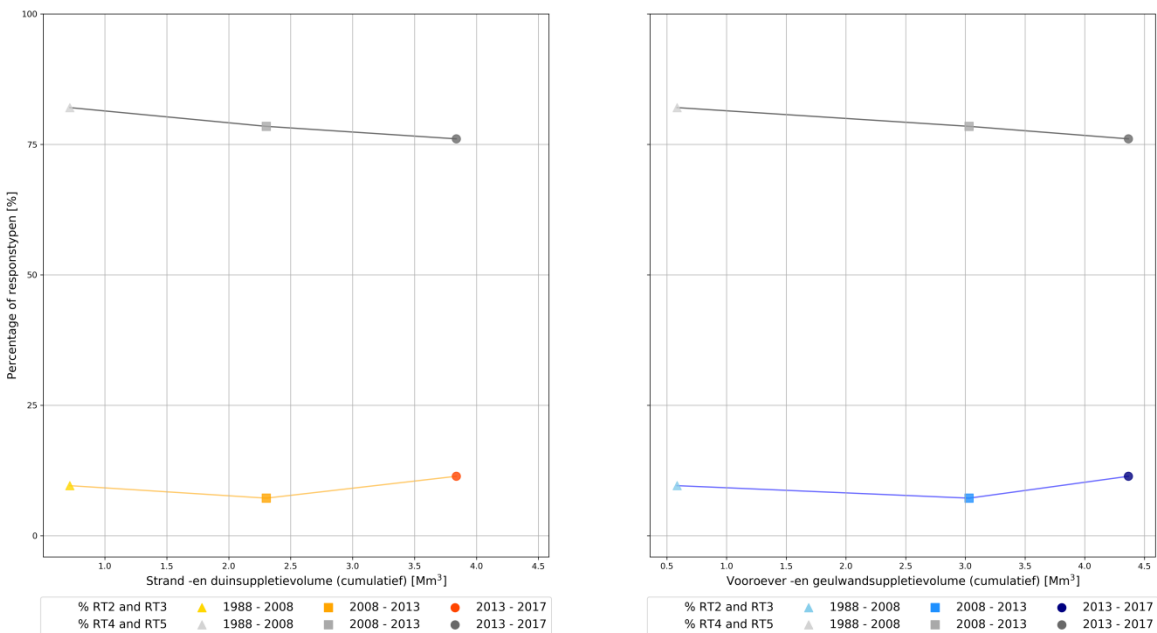
## C.3 Dynamiek van de zeereep versus suppletievolumen

Suppletievolumen versus gem. responstype voor kustvak Ameland

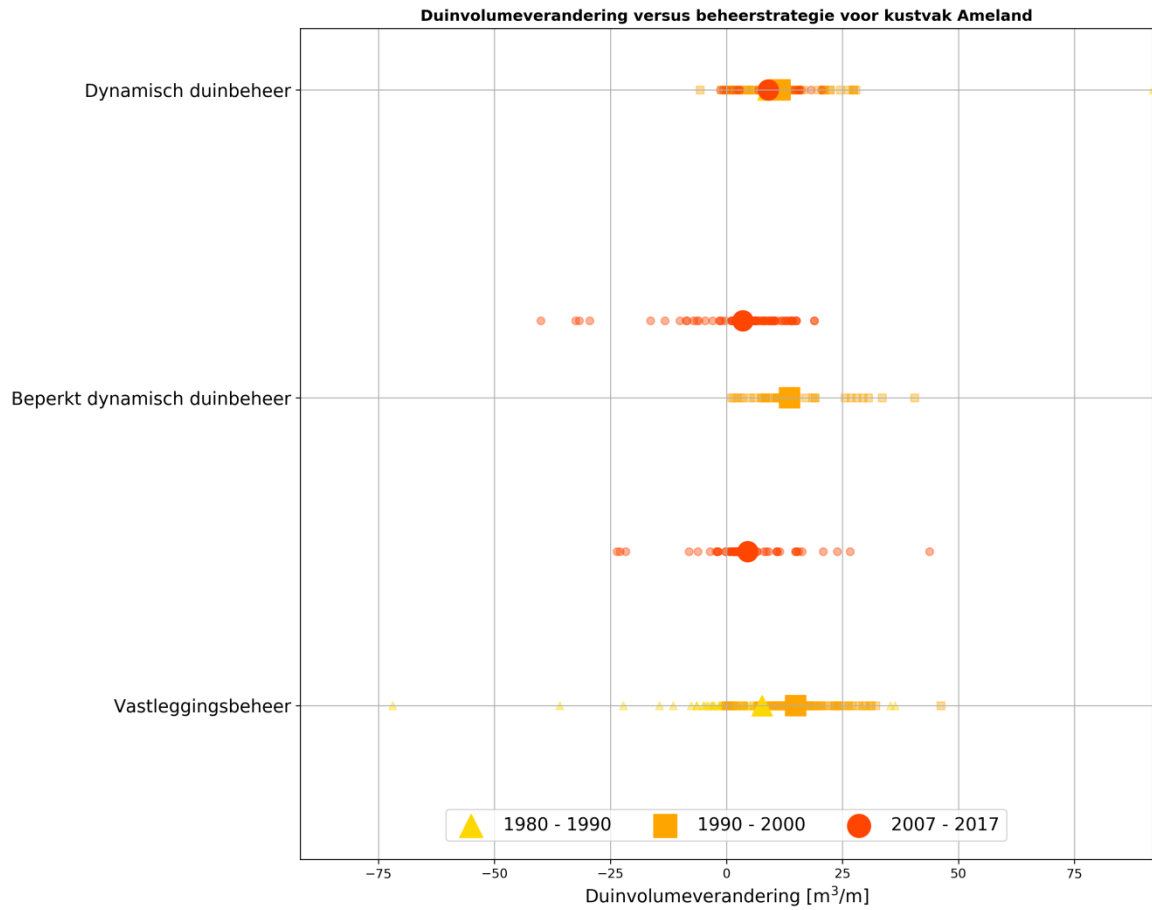


Ik kan deze getallen niet rijmen met die in de eerste grafiek van Ameland. 1988-2008 is hier een suppletievolumen duin van ca 0.3Mm<sup>3</sup>, en in de eerste grafiek in 1980 al 2.5Mm<sup>3</sup> neergelegd.

Suppletievolumen versus verdeling responstypen voor kustvak Ameland



### C.4 Duinvolume verandering versus beheerstrategie

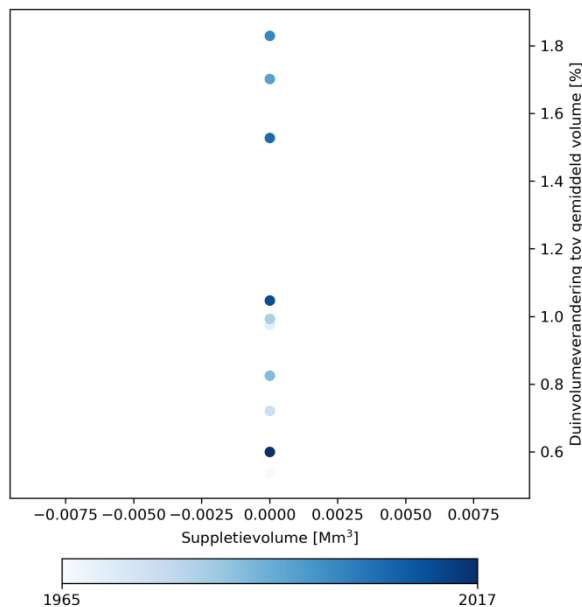
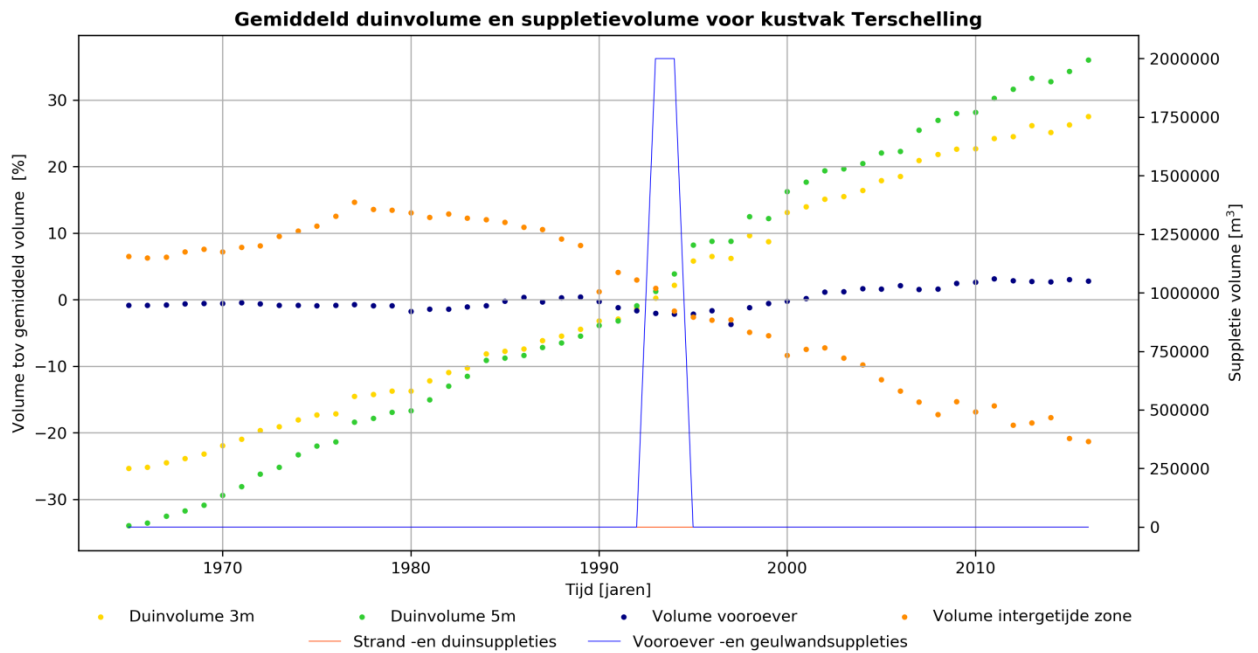




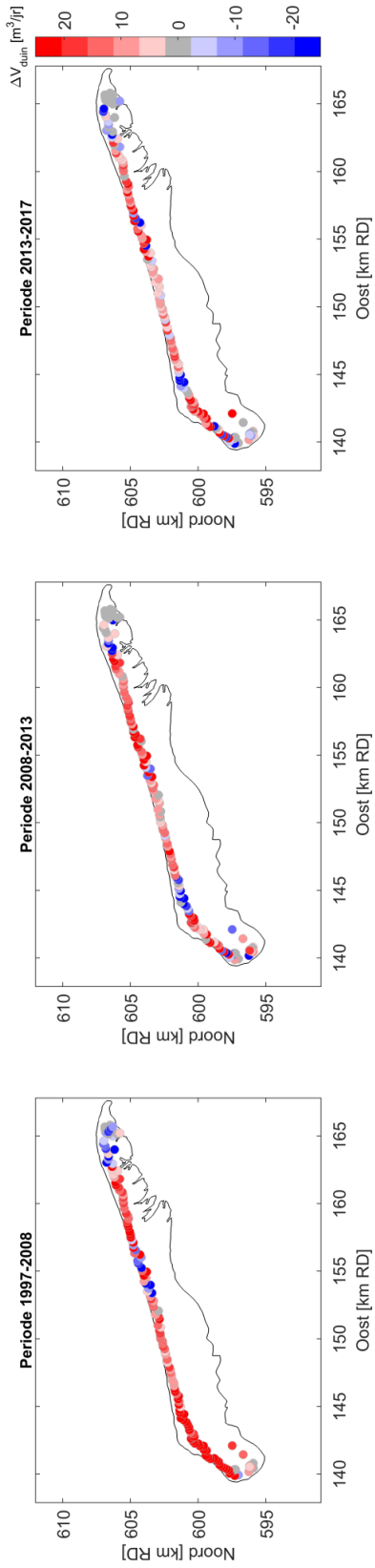


## D Bijlage – Terschelling

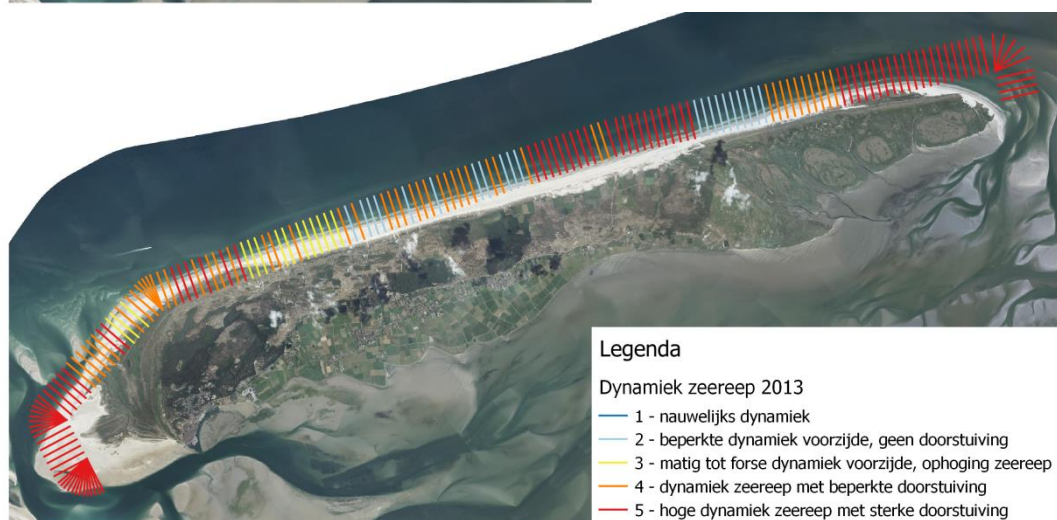
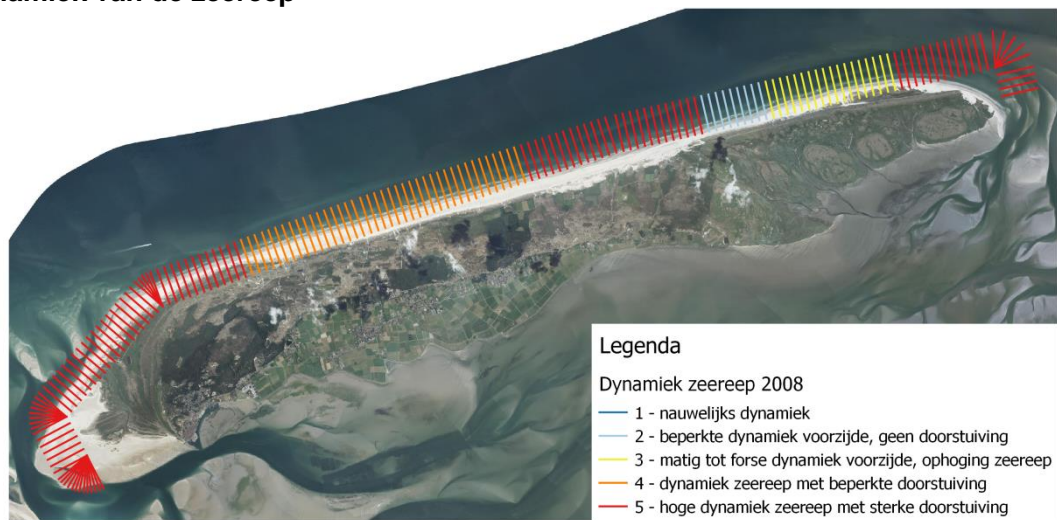
### D.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep

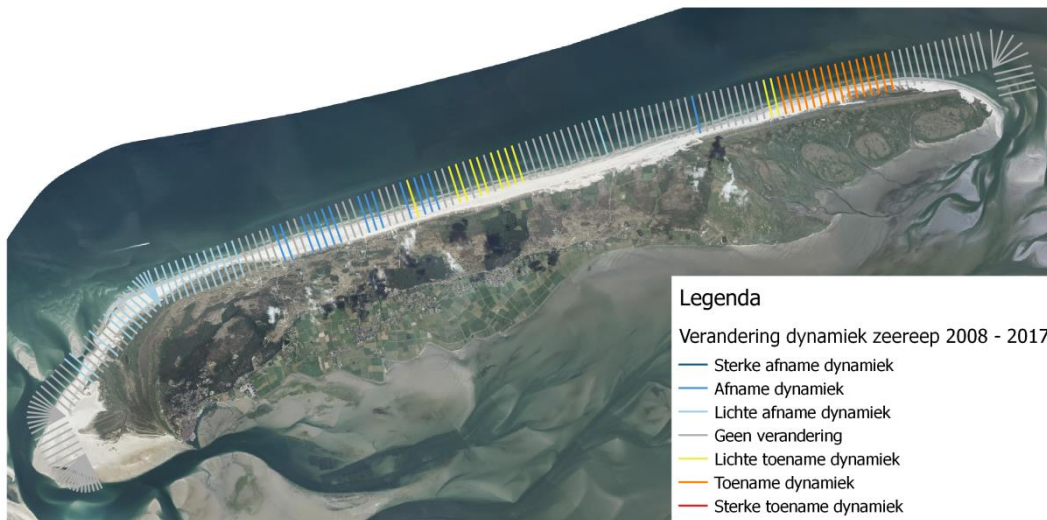
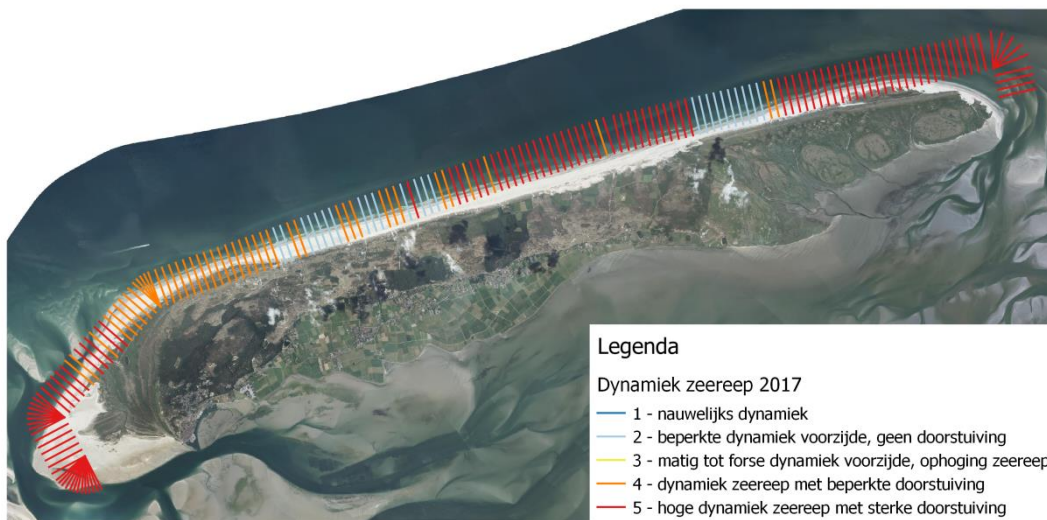


**Trend volumeverandering boven MSL +3m**



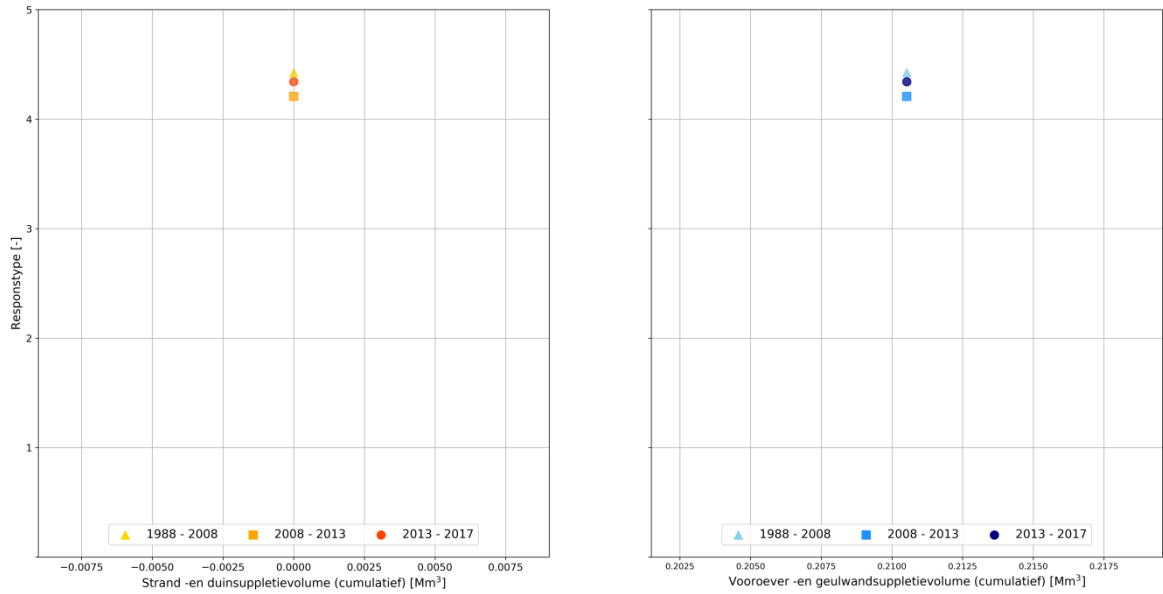
## D.2 Dynamiek van de zeereep



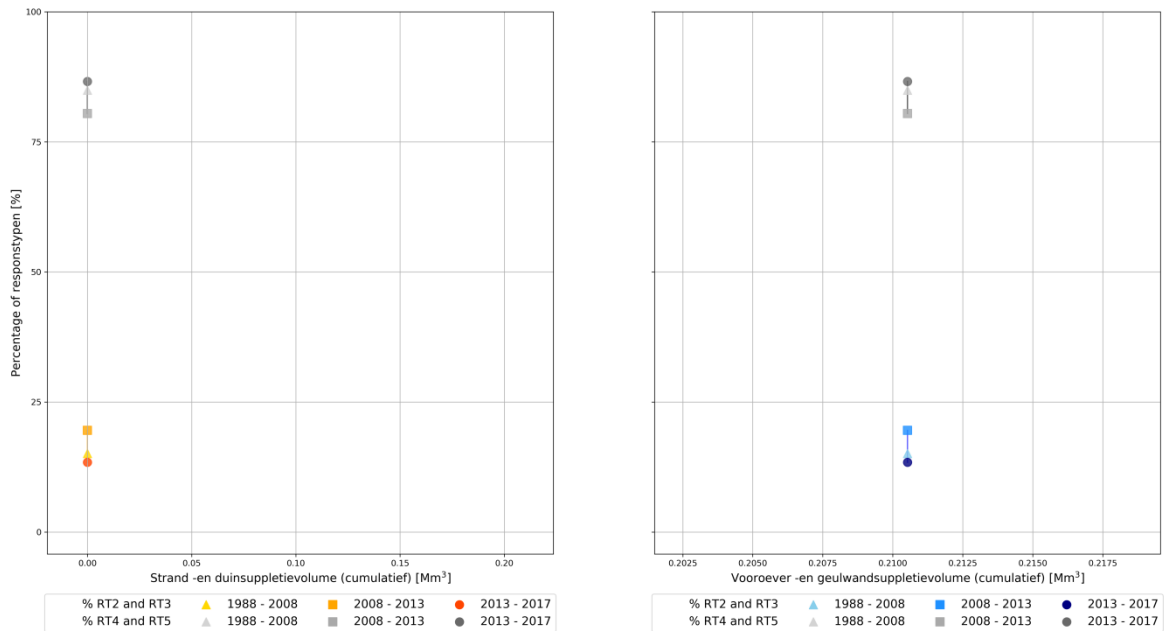


### D.3 Dynamiek van de zeereep versus suppletievolumen

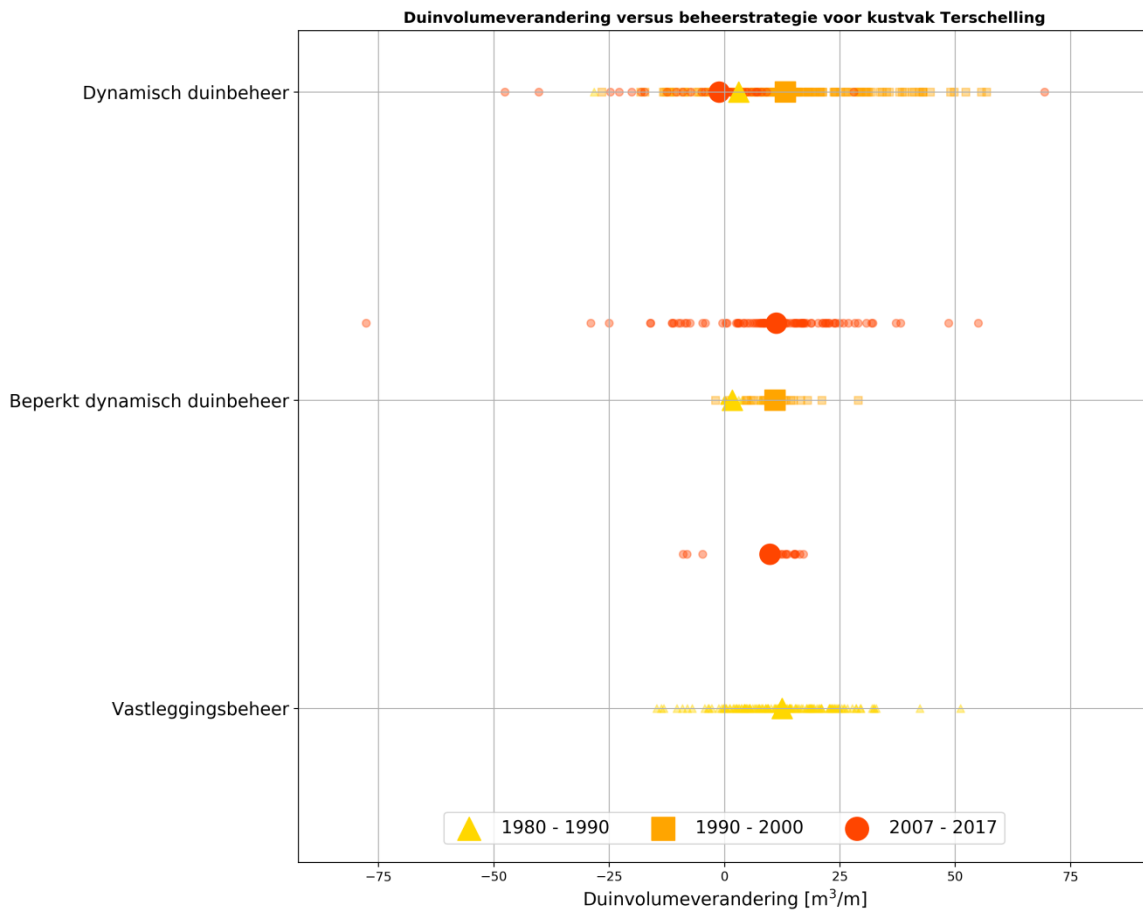
Suppletievolumen versus gem. responstype voor kustvak Terschelling



Suppletievolumen versus verdeling responstypen voor kustvak Terschelling

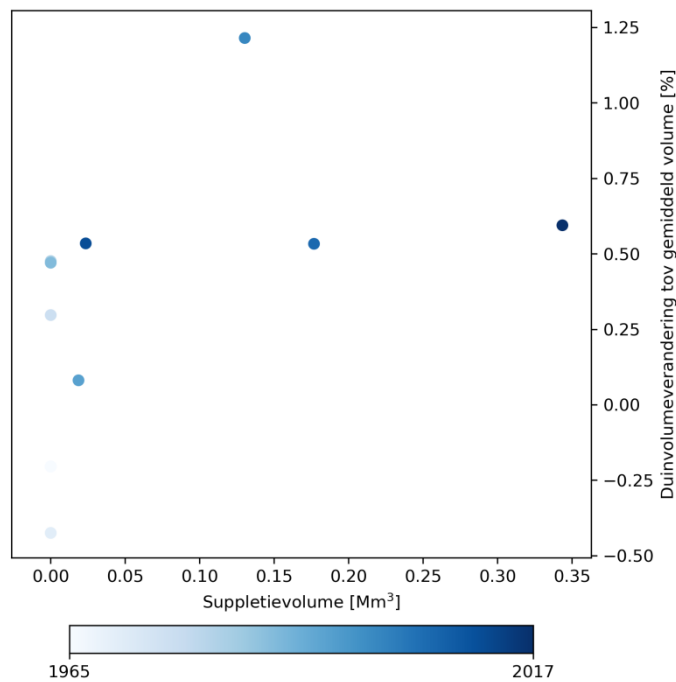
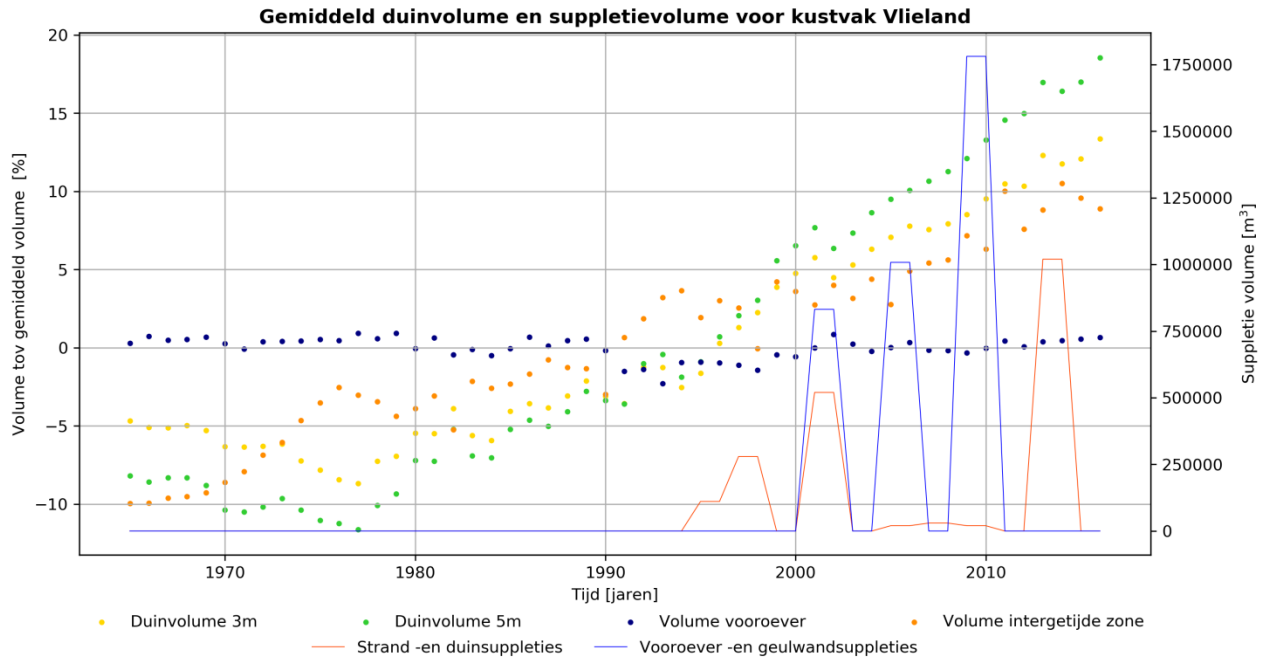


## D.4 Duinvolume verandering versus beheerstrategie

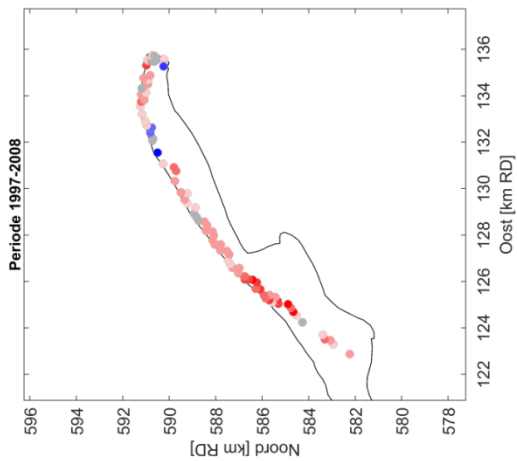
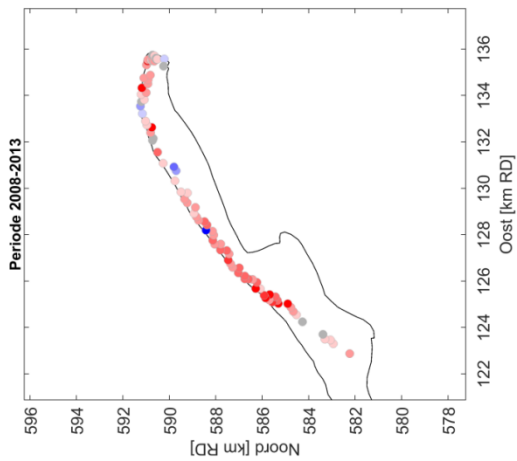
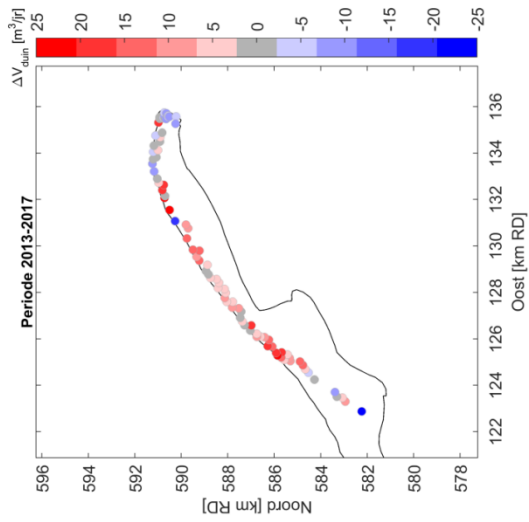


## E Bijlage – Vlieland

### E.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep

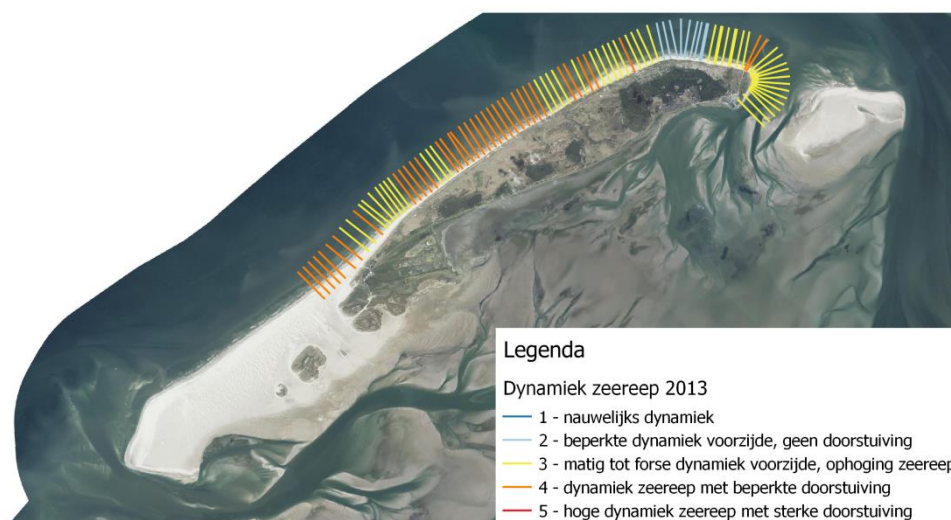
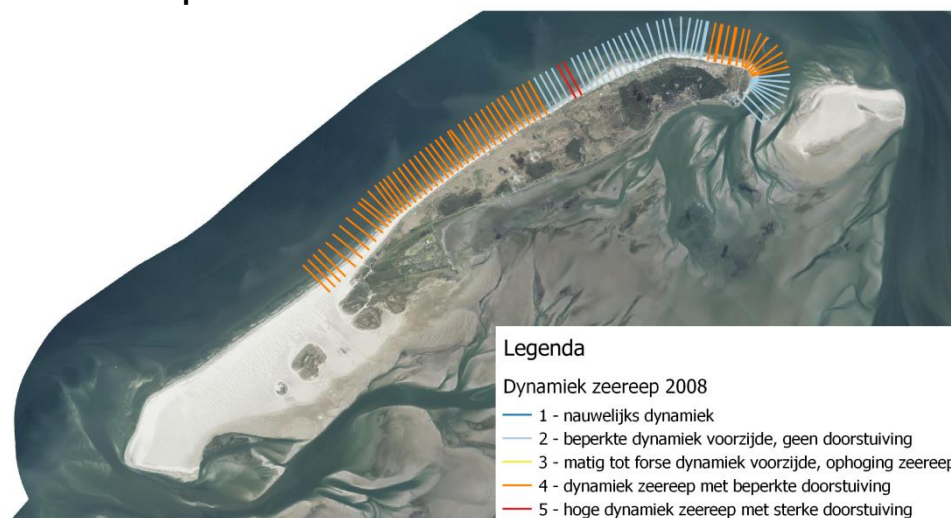


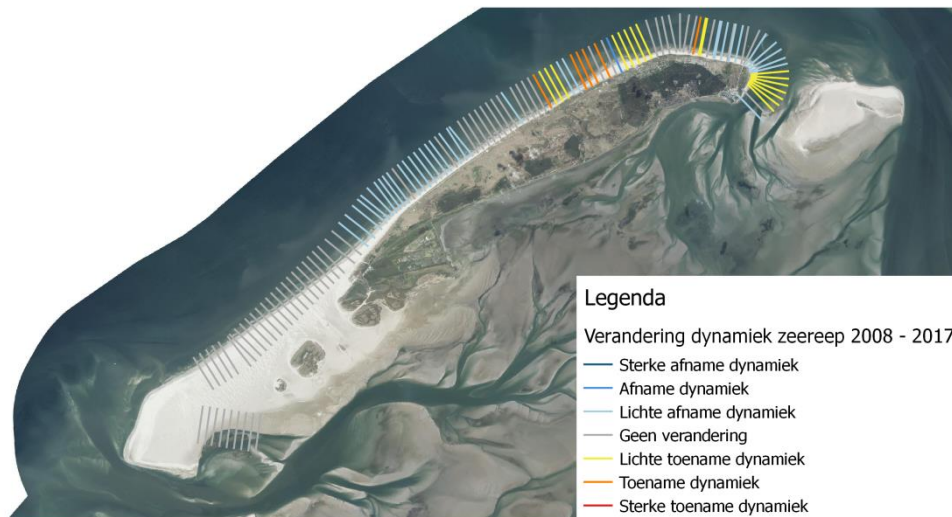
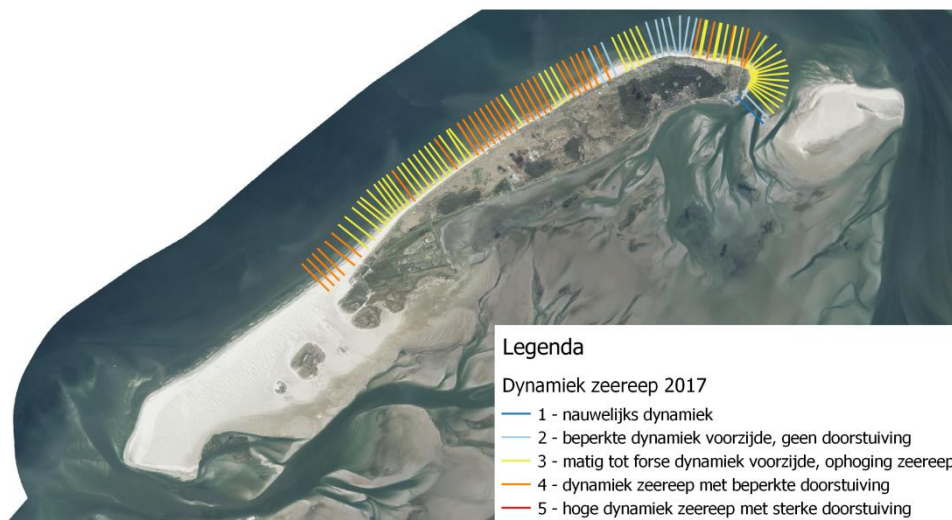
**Trend volumeverandering boven MSL +3m**





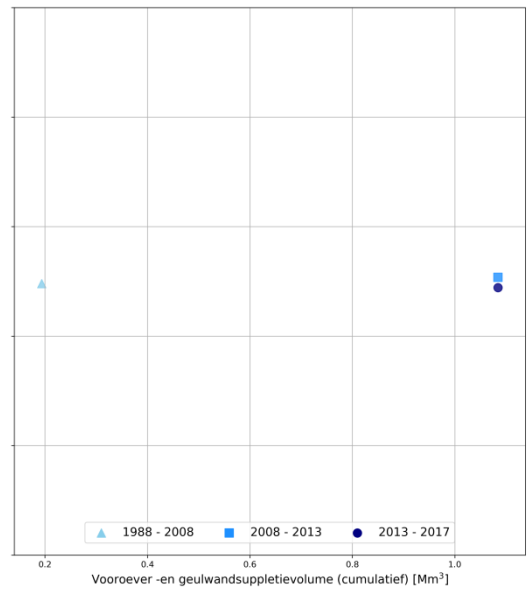
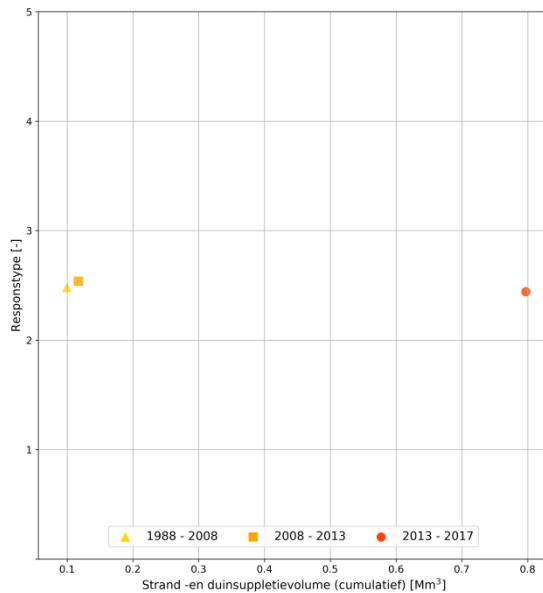
## E.2 Dynamiek van de zeereep



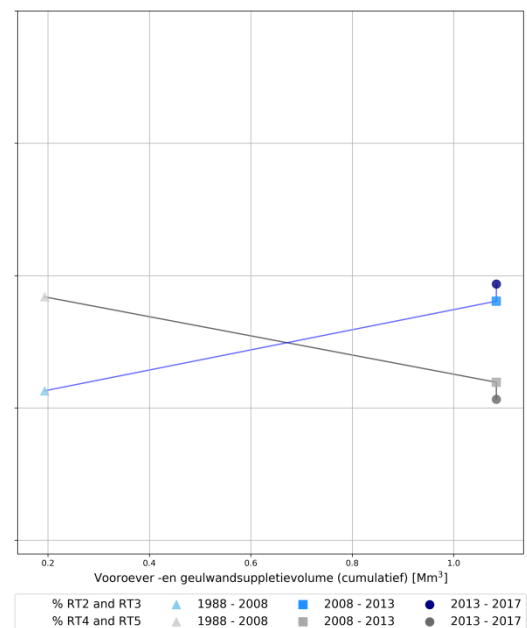
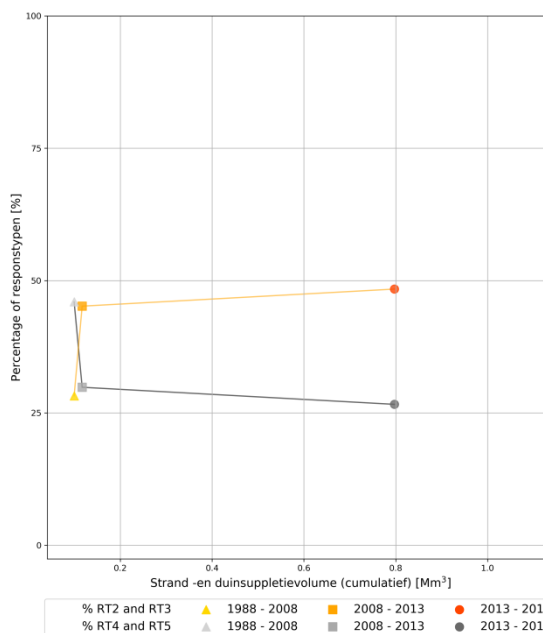


### E.3 Dynamiek van de zeereep versus suppletievolumen

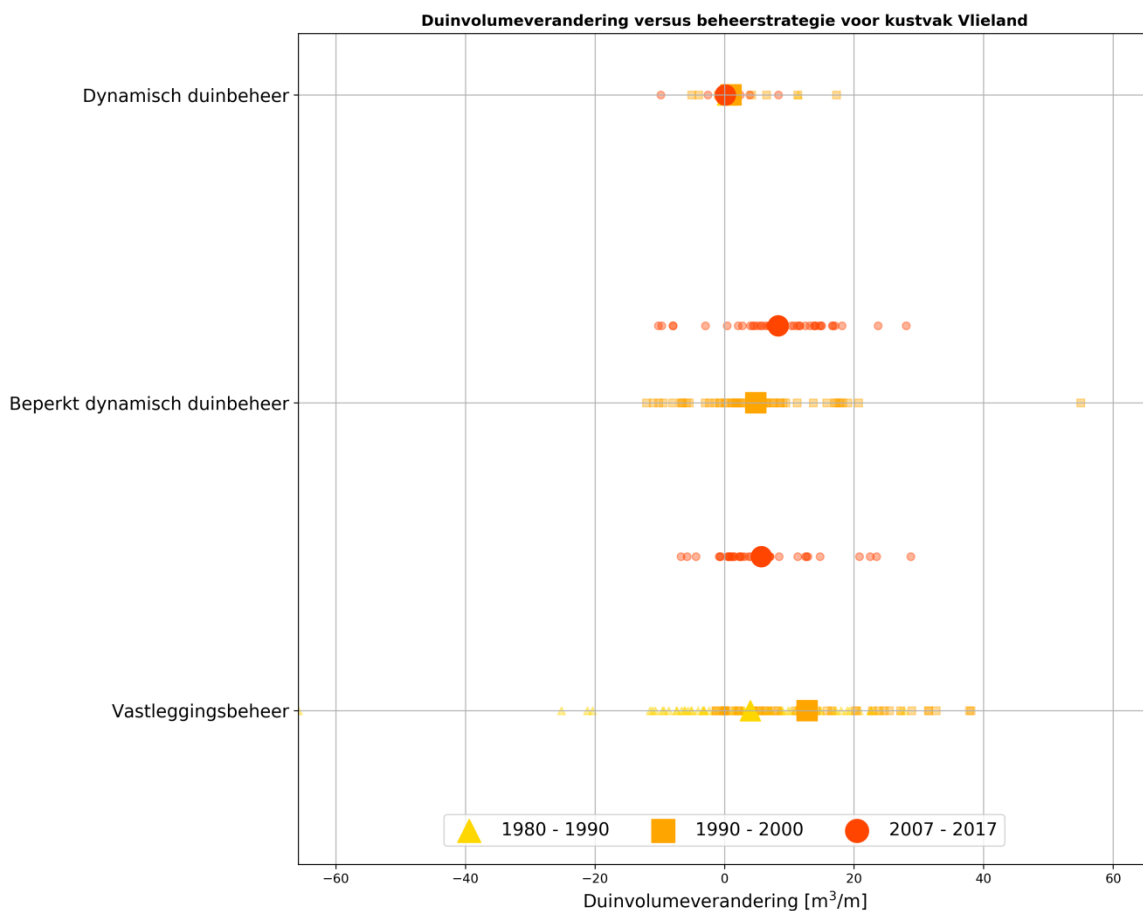
Suppletievolumen versus gem. responstype voor kustvak Vlieland



Suppletievolumen versus verdeling responstypen voor kustvak Vlieland

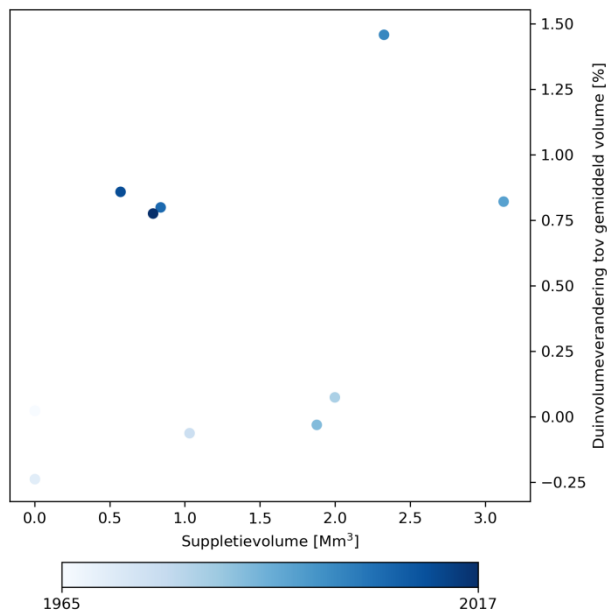
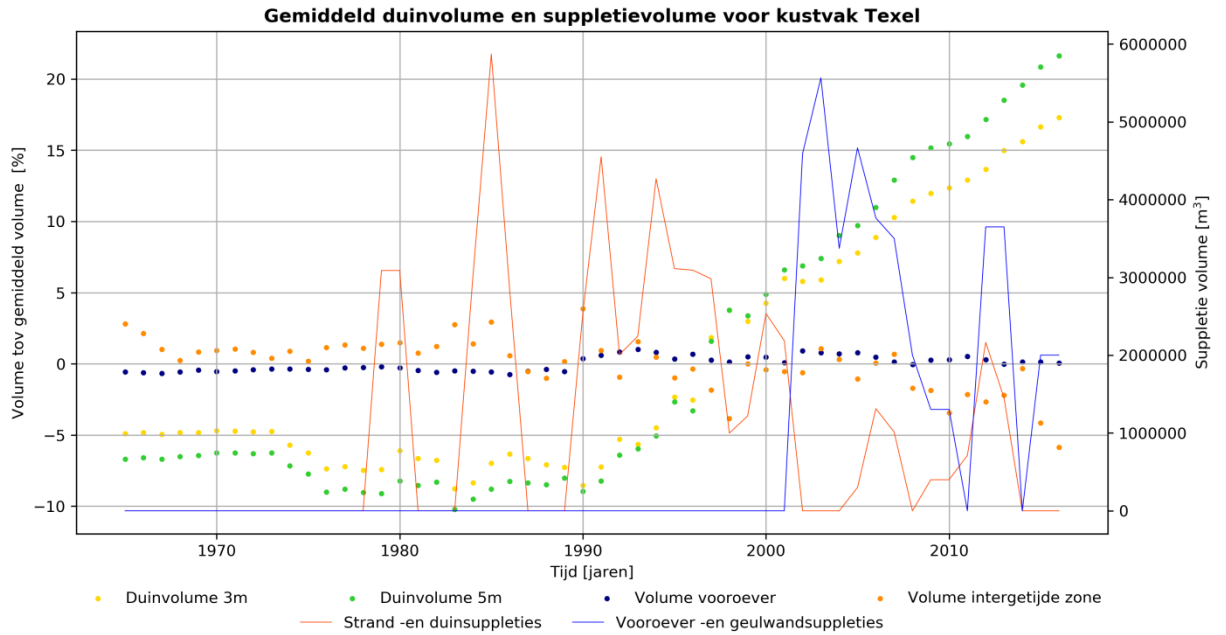


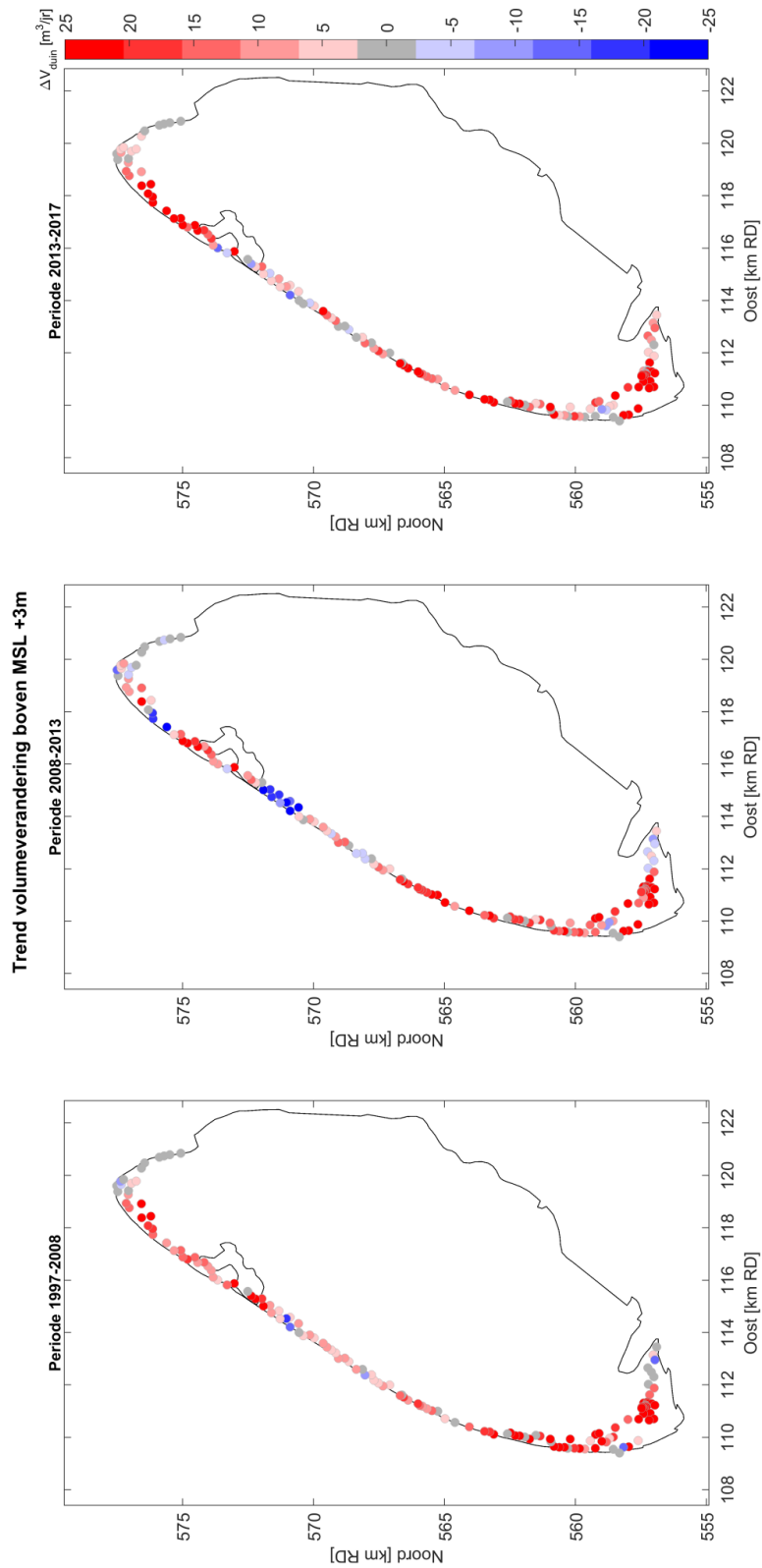
## E.4 Duinvolume verandering versus beheerstrategie



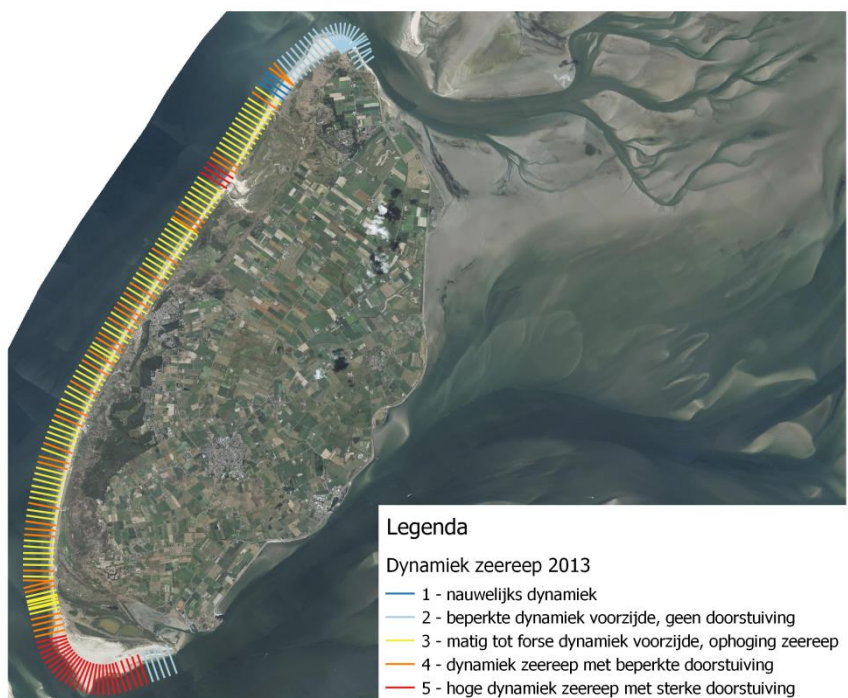
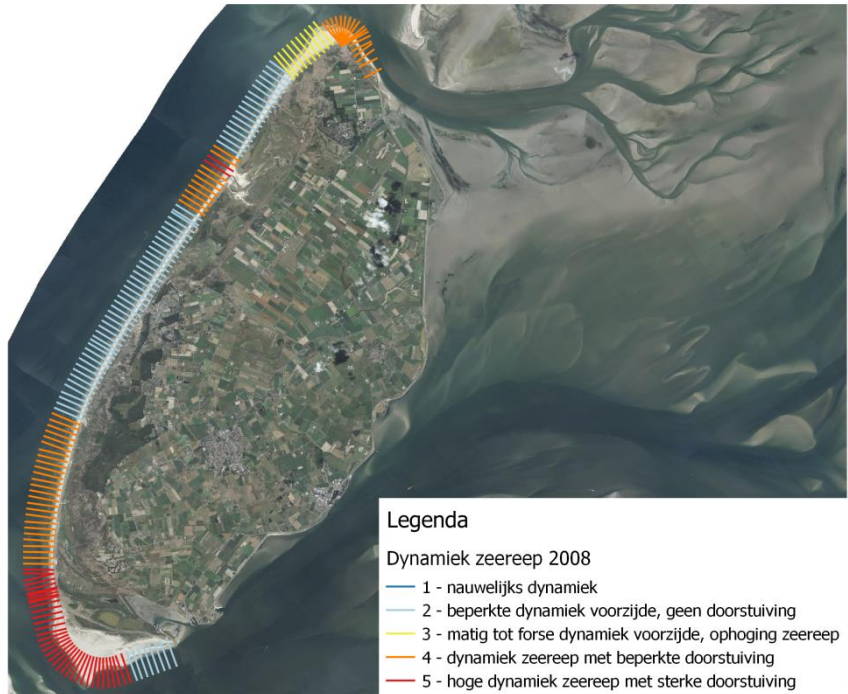
## F Bijlage – Texel

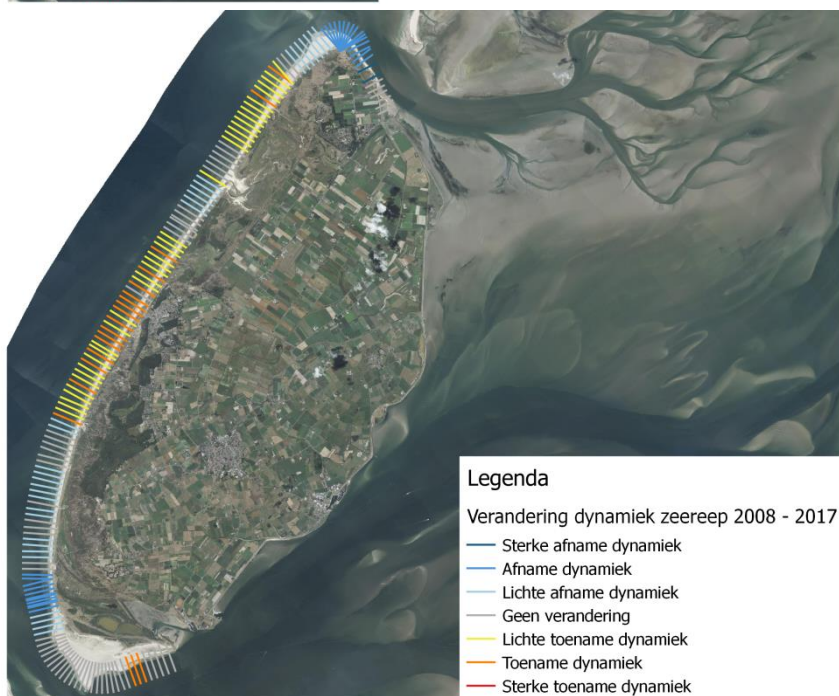
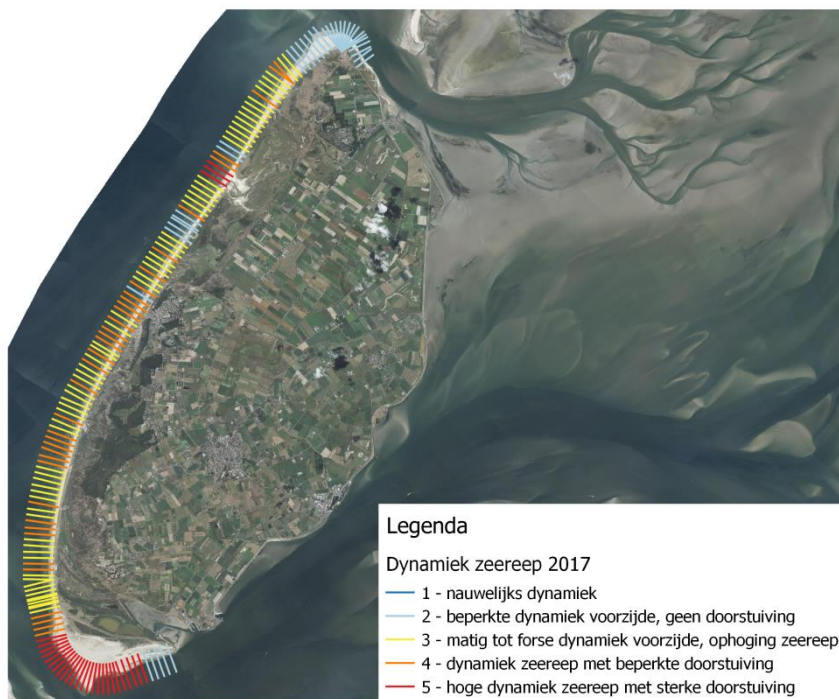
### F.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep





## F.2 Dynamiek van de zeereep

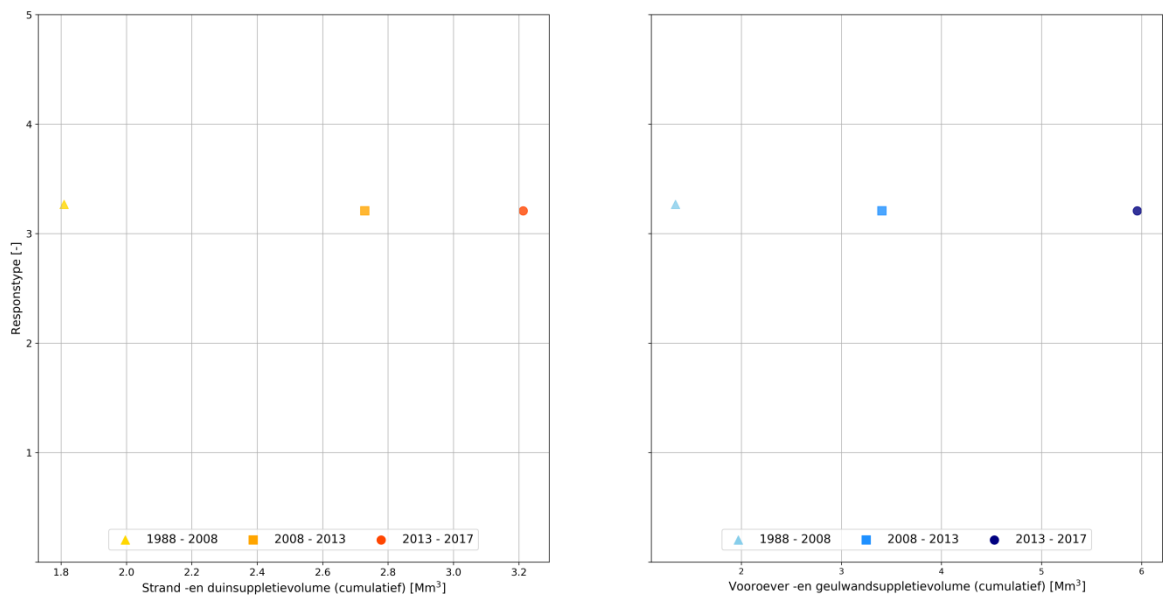




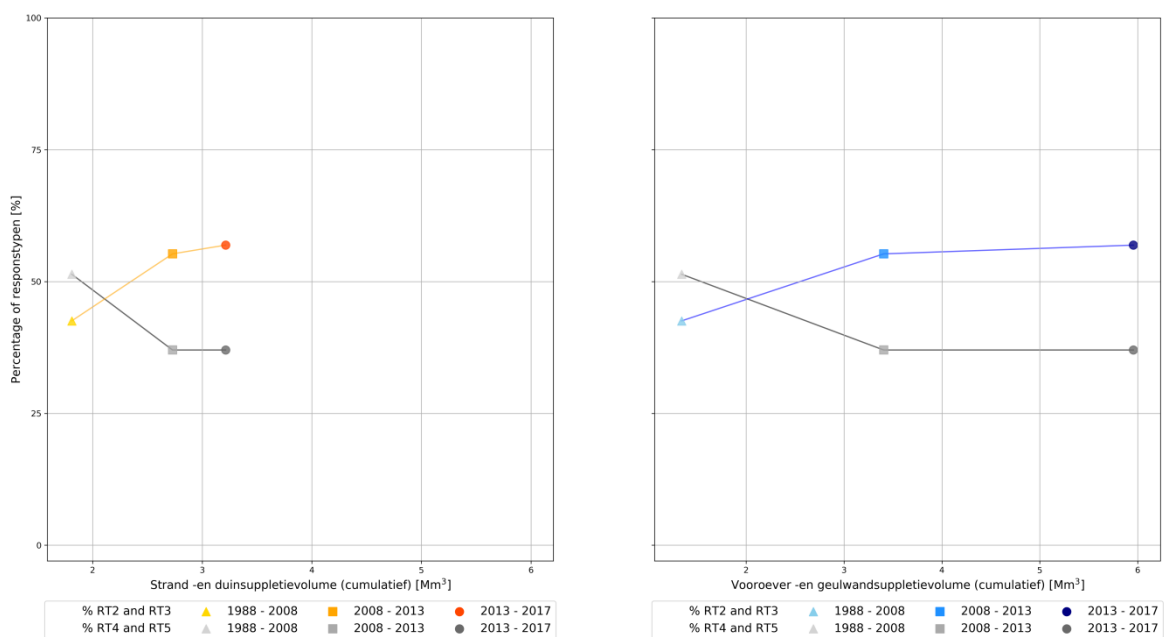


### F.3 Dynamiek van de zeereep versus suppletievolumen

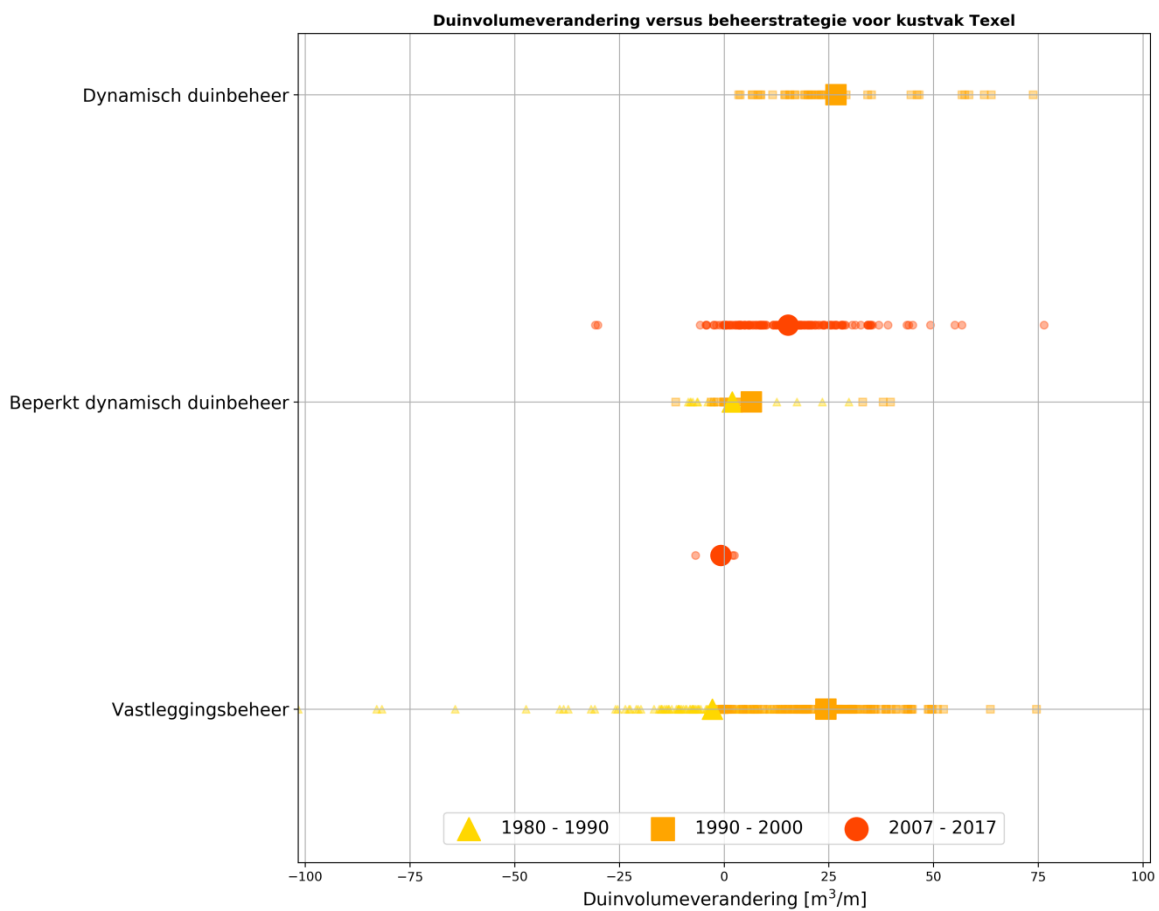
Suppletievolumen versus gem. responstype voor kustvak Texel



Suppletievolumen versus verdeling responstypen voor kustvak Texel

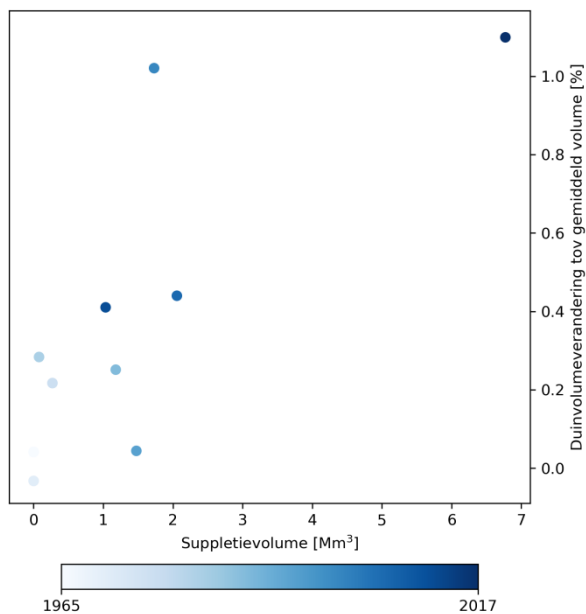
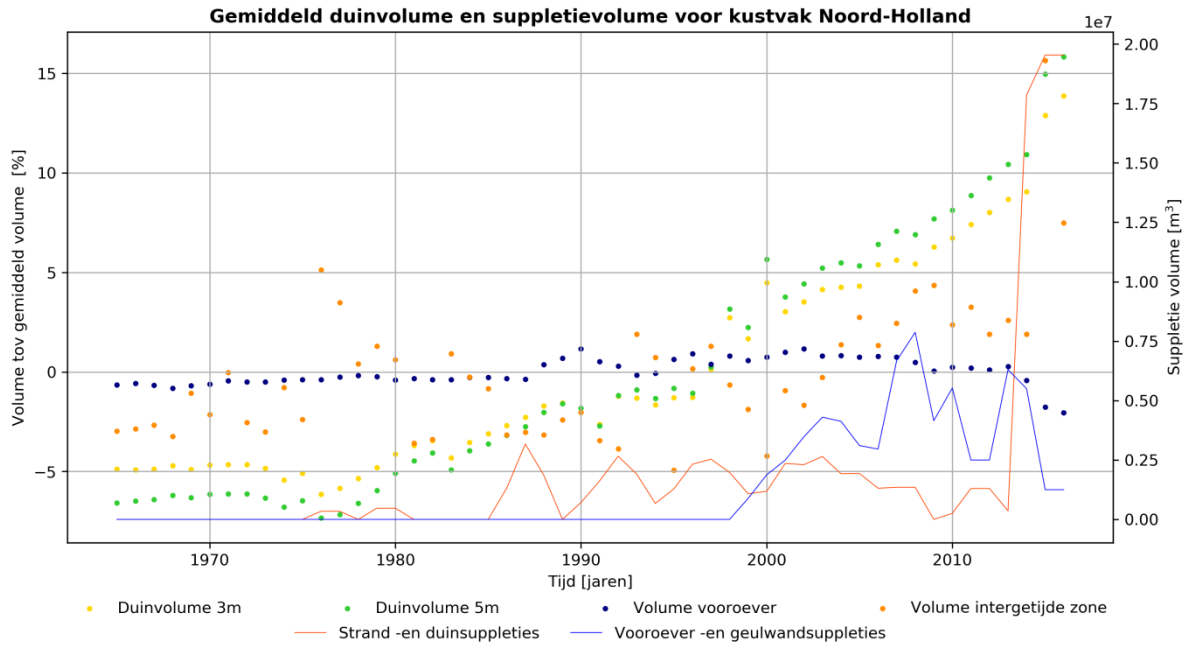


## F.4 Duinvolume verandering versus beheerstrategie

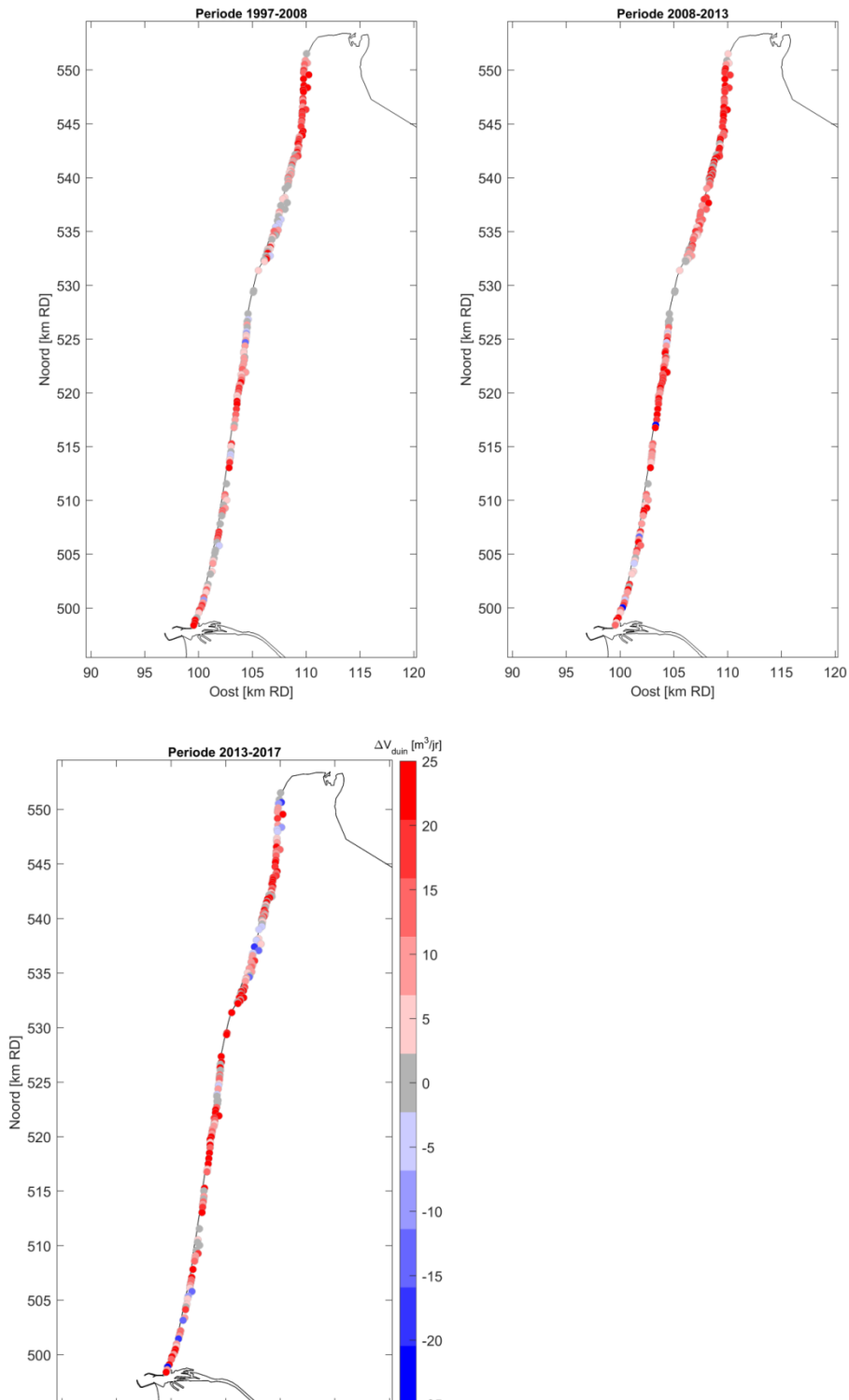


## G Bijlage – Noord-Holland

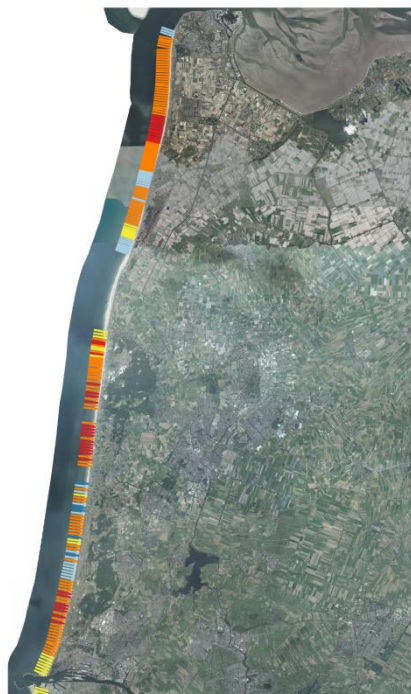
### G.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep



## Trend volumeverandering boven MSL +3m



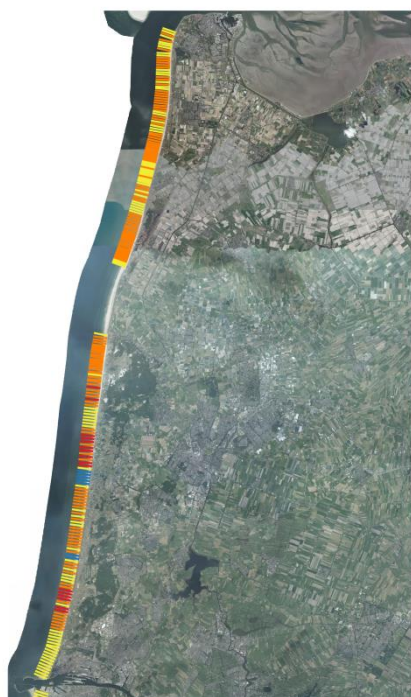
## G.2 Dynamiek van de zeereep



### Legenda

#### Dynamiek zeereep 2008

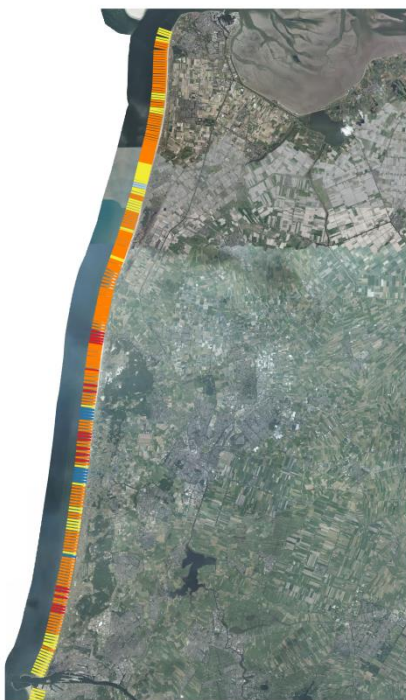
- 1 - nauwelijks dynamiek
- 2 - beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
- 3 - matig tot forse dynamiek voorzijde, ophoging zeereep
- 4 - dynamiek zeereep met beperkte doorstuiving
- 5 - hoge dynamiek zeereep met sterke doorstuiving



### Legenda

#### Dynamiek zeereep 2013

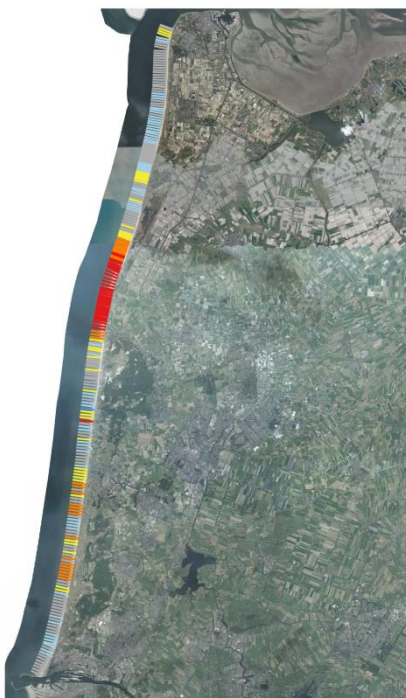
- 1 - nauwelijks dynamiek
- 2 - beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
- 3 - matig tot forse dynamiek voorzijde, ophoging zeereep
- 4 - dynamiek zeereep met beperkte doorstuiving
- 5 - hoge dynamiek zeereep met sterke doorstuiving



### Legenda

#### Dynamiek zeereep 2017

- 1 - nauwelijks dynamiek
- 2 - beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
- 3 - matig tot forse dynamiek voorzijde, ophoging zeereep
- 4 - dynamiek zeereep met beperkte doorstuiving
- 5 - hoge dynamiek zeereep met sterke doorstuiving



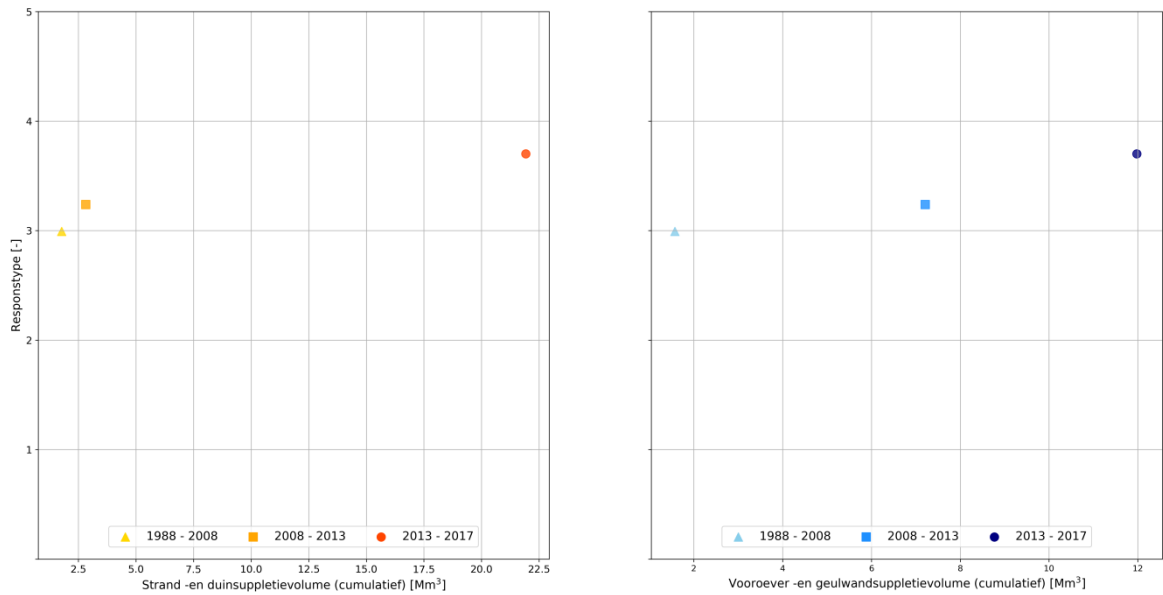
### Legenda

#### Verandering dynamiek zeereep 2008 - 2017

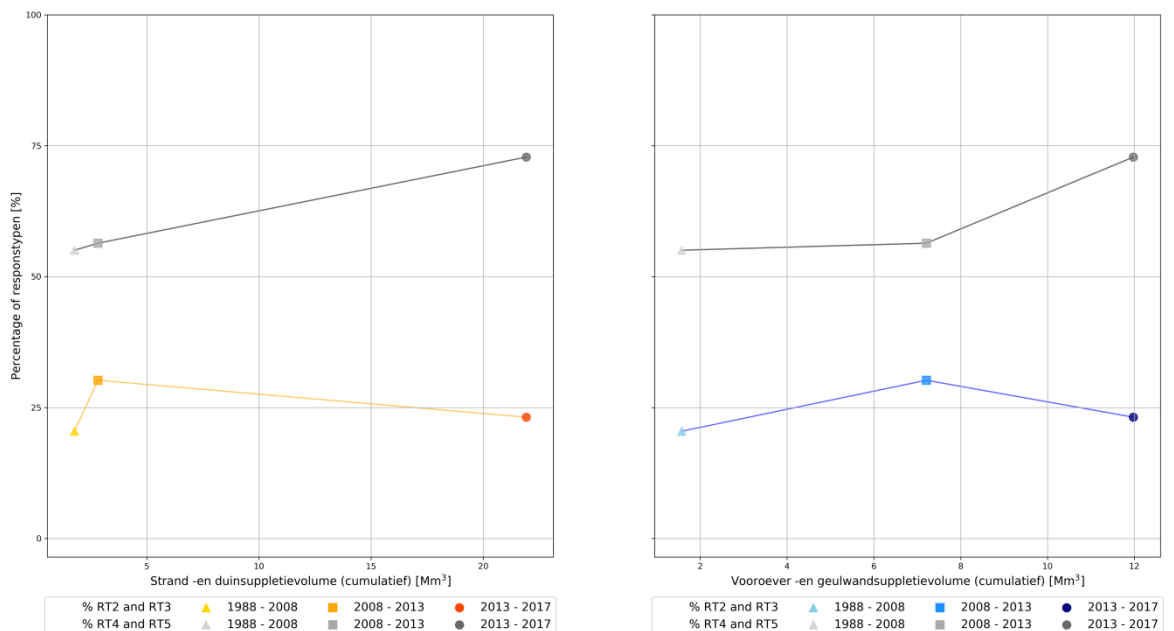
- Sterke afname dynamiek
- Afname dynamiek
- Lichte afname dynamiek
- Geen verandering
- Lichte toename dynamiek
- Toename dynamiek
- Sterke toename dynamiek

### G.3 Dynamiek van de zeereep versus suppletievolumen

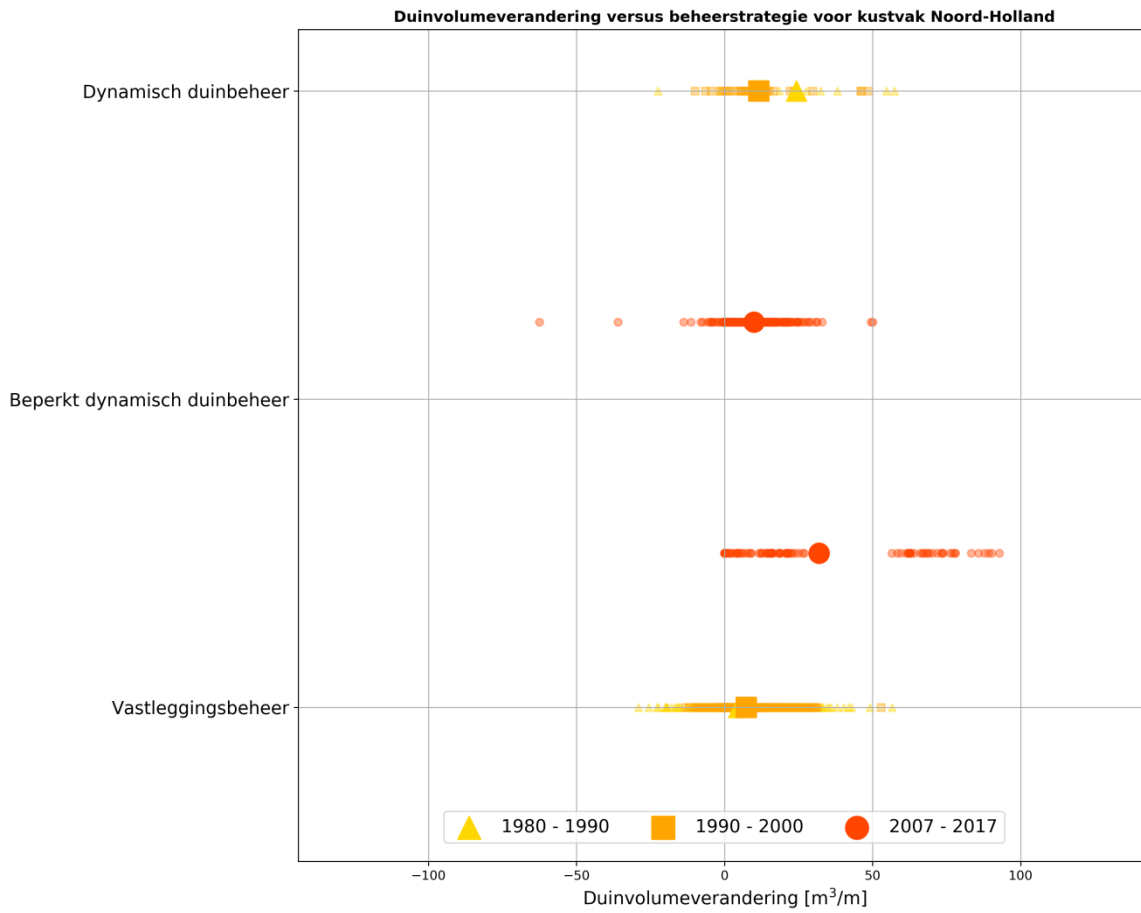
Suppletievolumen versus gem. responstype voor kustvak Noord-Holland



Suppletievolumen versus verdeling responstypen voor kustvak Noord-Holland



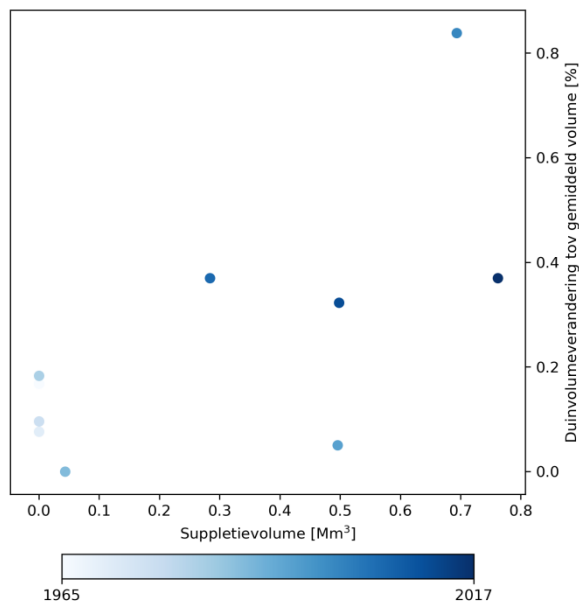
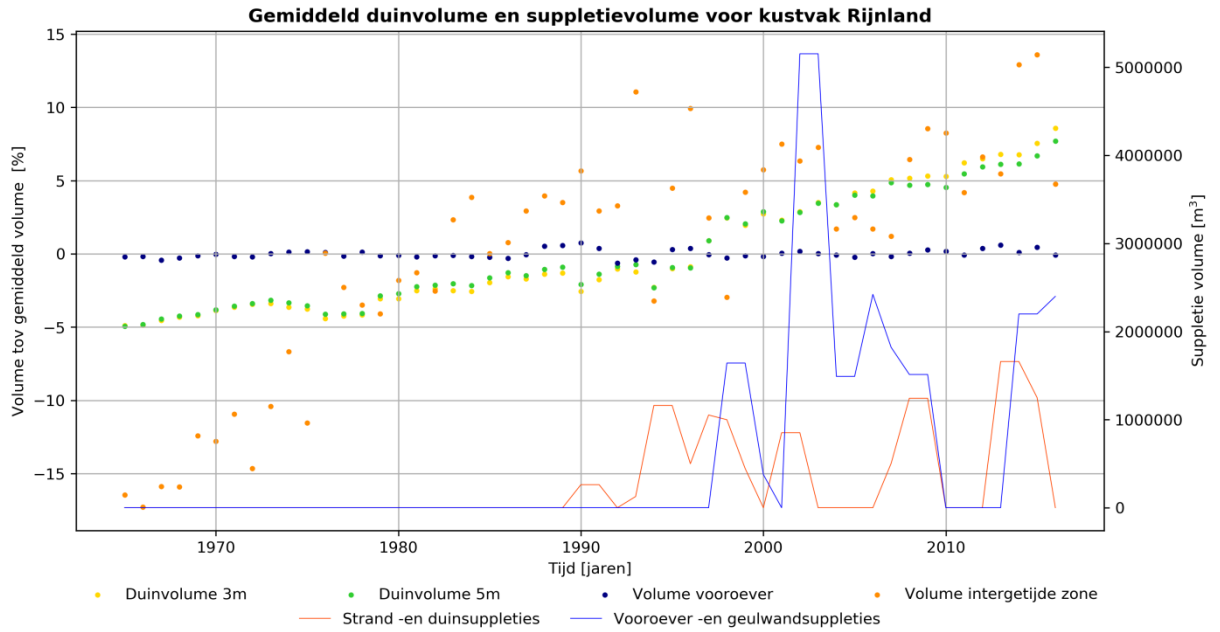
## G.4 Duinvolume verandering versus beheerstrategie

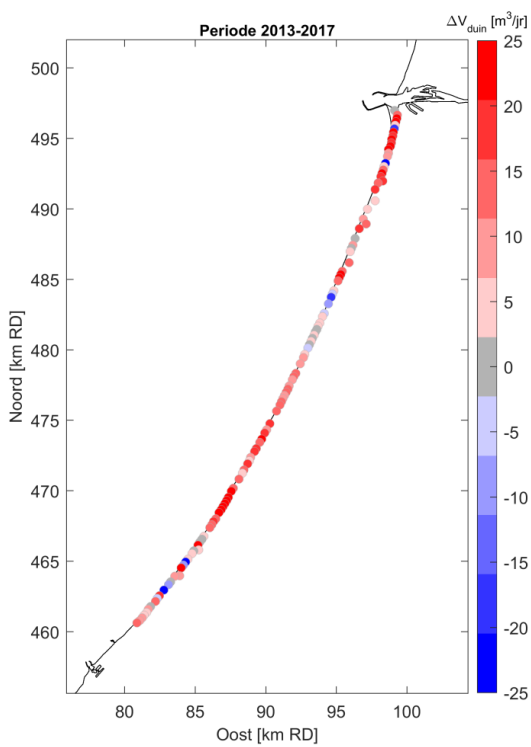
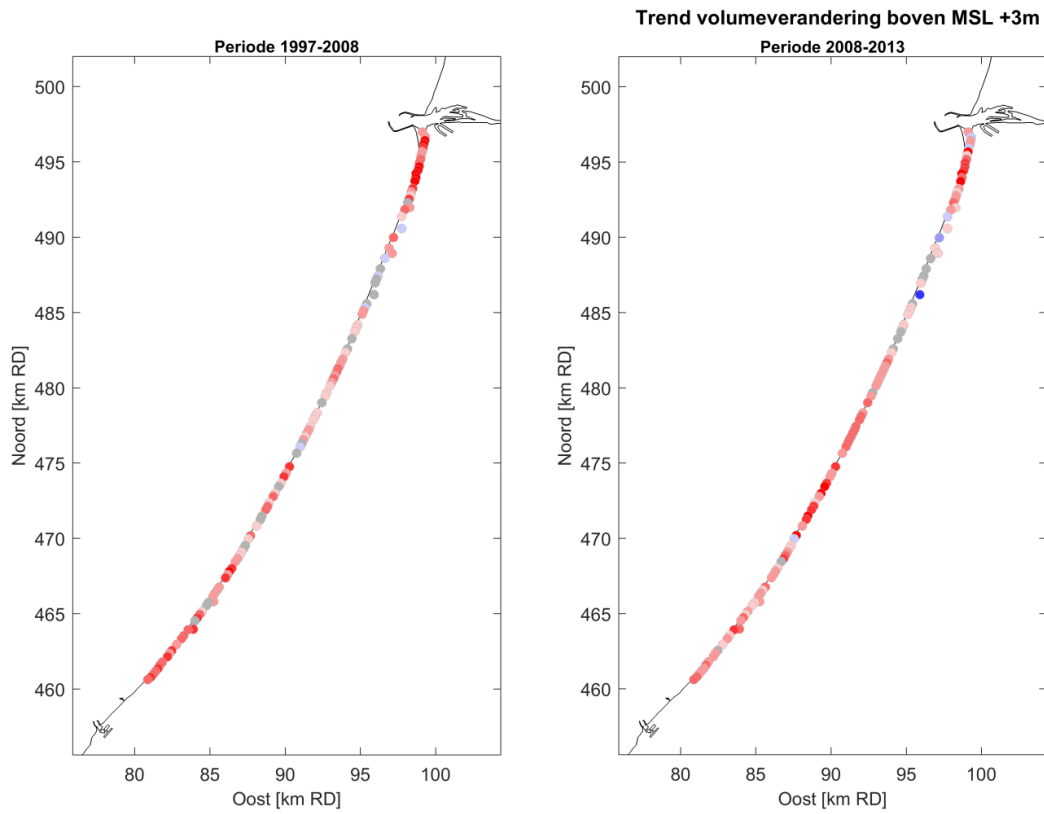




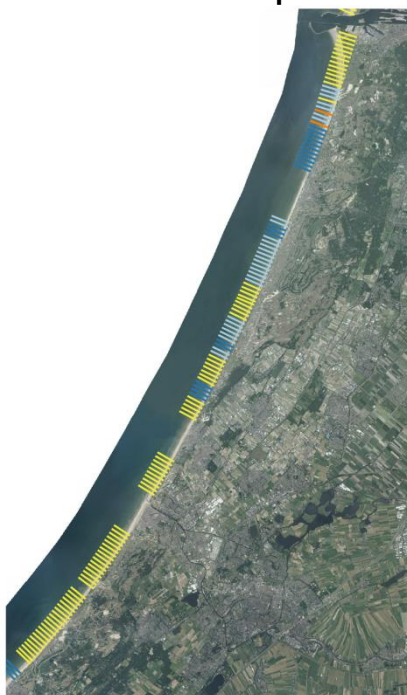
## H Bijlage – Rijnland

### H.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep





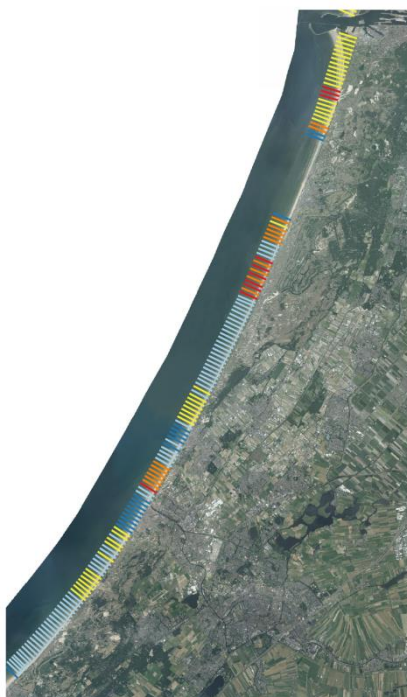
## H.2 Dynamiek van de zeereep



### Legenda

#### Dynamiek zeereep 2008

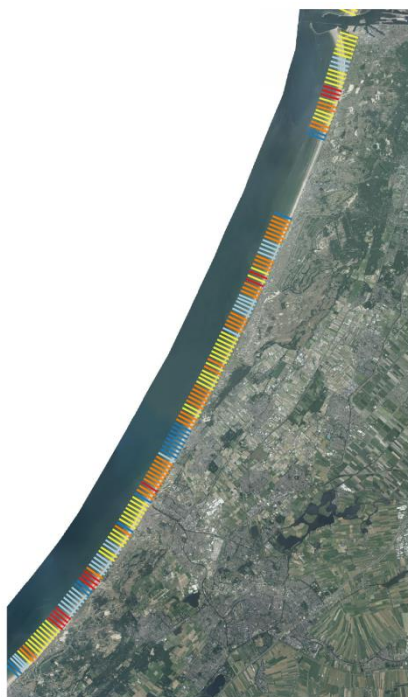
- 1 - nauwelijks dynamiek
- 2 - beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
- 3 - matig tot forse dynamiek voorzijde, ophoging zeereep
- 4 - dynamiek zeereep met beperkte doorstuiving
- 5 - hoge dynamiek zeereep met sterke doorstuiving



### Legenda

#### Dynamiek zeereep 2013

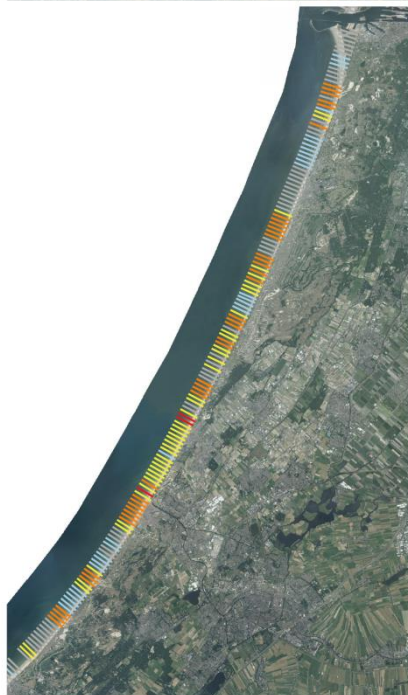
- 1 - nauwelijks dynamiek
- 2 - beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
- 3 - matig tot forse dynamiek voorzijde, ophoging zeereep
- 4 - dynamiek zeereep met beperkte doorstuiving
- 5 - hoge dynamiek zeereep met sterke doorstuiving



### Legenda

#### Dynamiek zeereep 2017

- 1 - nauwelijks dynamiek
- 2 - beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
- 3 - matig tot forse dynamiek voorzijde, ophoging zeereep
- 4 - dynamiek zeereep met beperkte doorstuiving
- 5 - hoge dynamiek zeereep met sterke doorstuiving



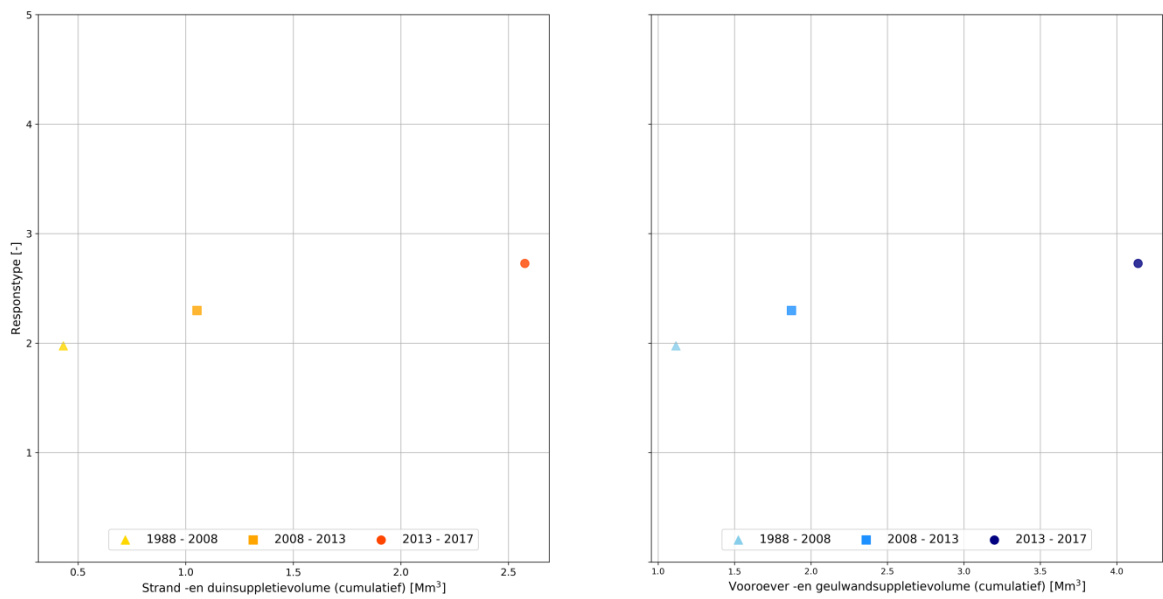
### Legenda

#### Verandering dynamiek zeereep 2008 - 2017

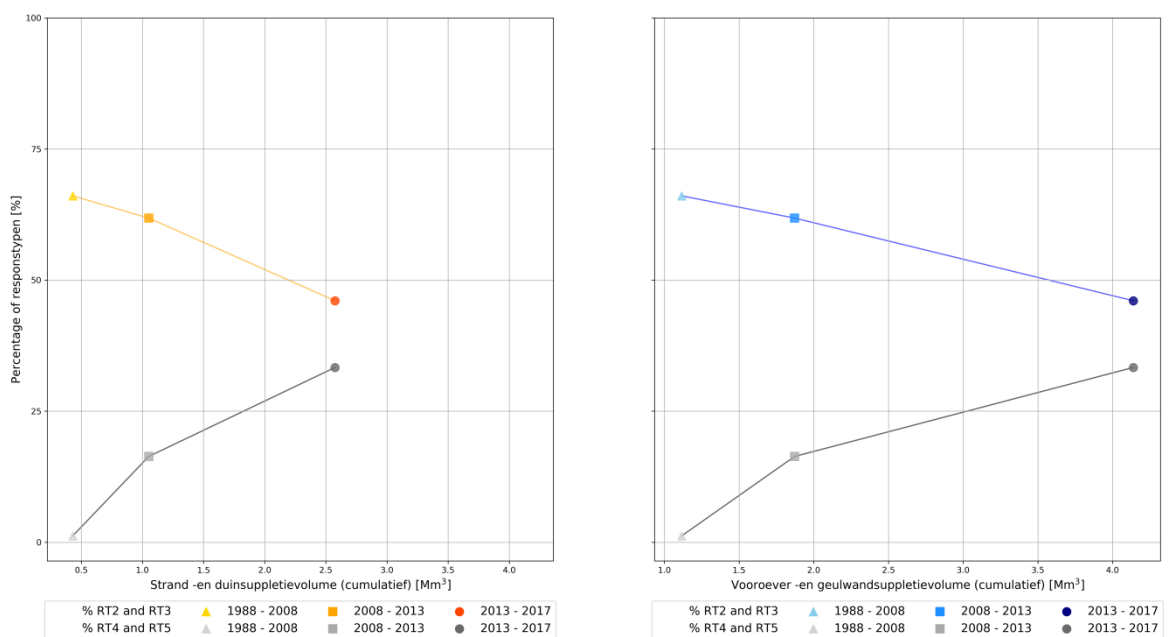
- Sterke afname dynamiek
- Afname dynamiek
- Lichte afname dynamiek
- Geen verandering
- Lichte toename dynamiek
- Toename dynamiek
- Sterke toename dynamiek

### H.3 Dynamiek van de zeereep versus suppletievolumen

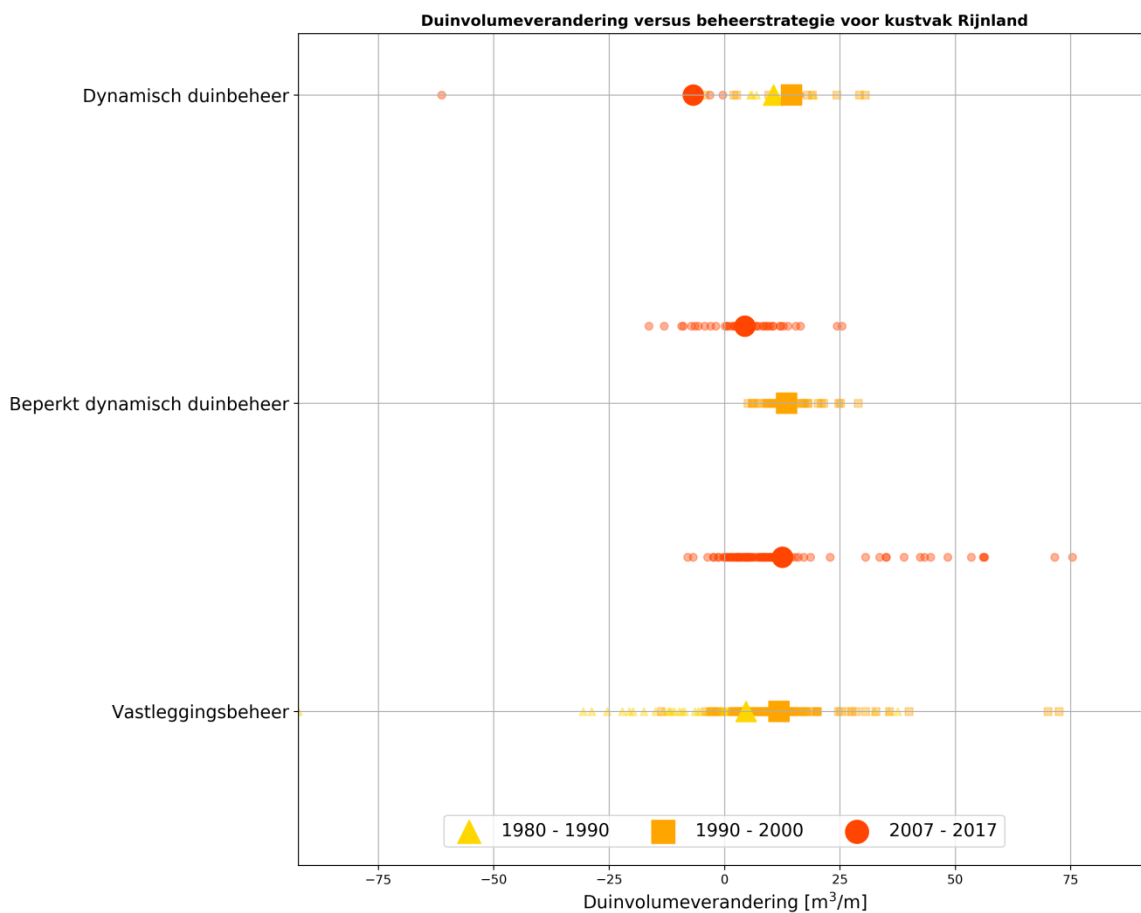
Suppletievolumen versus gem. responstype voor kustvak Rijnland



Suppletievolumen versus verdeling responstypen voor kustvak Rijnland

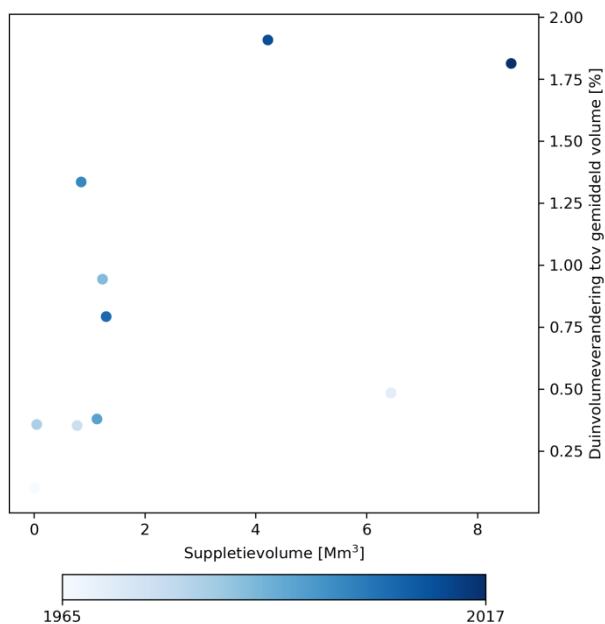
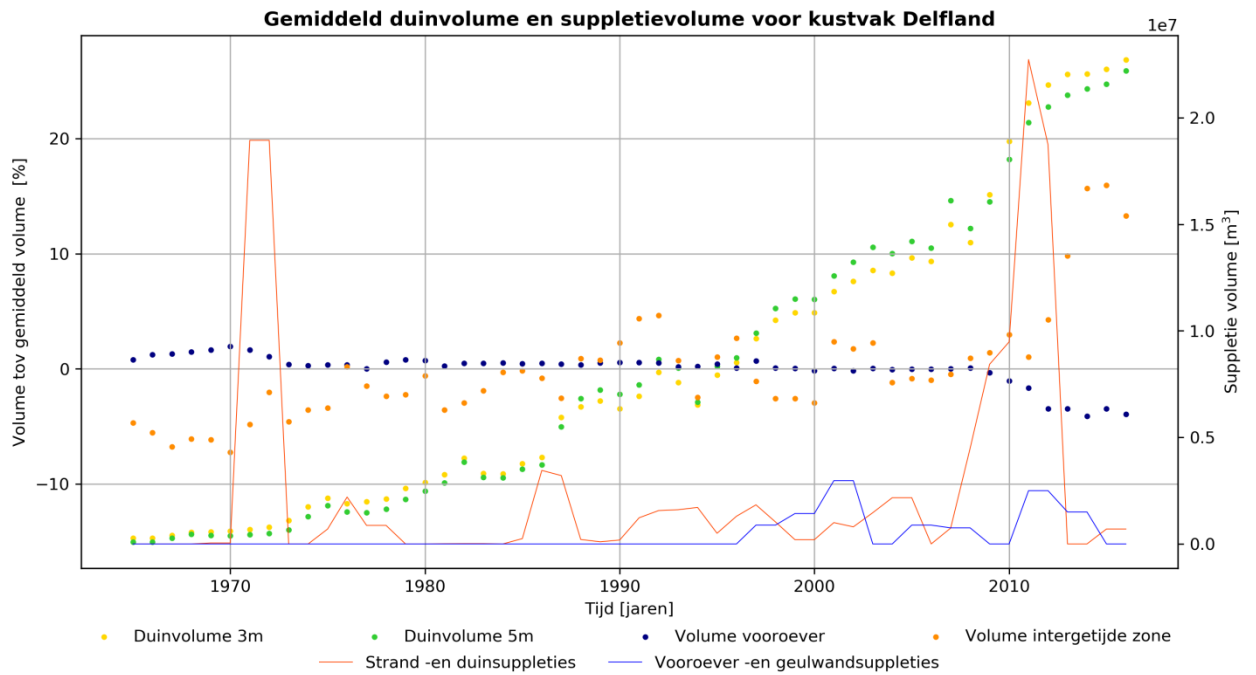


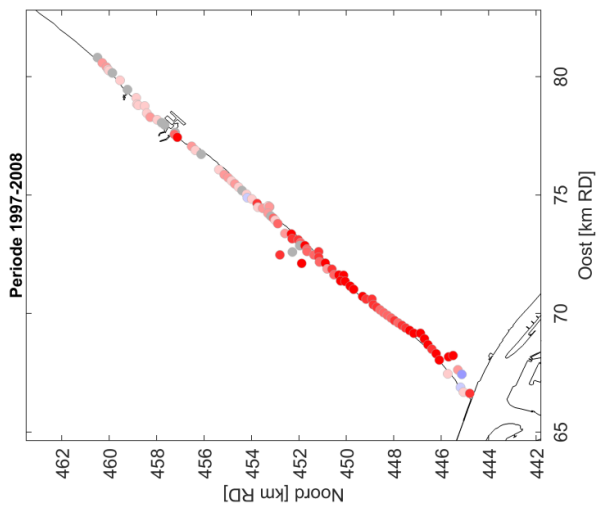
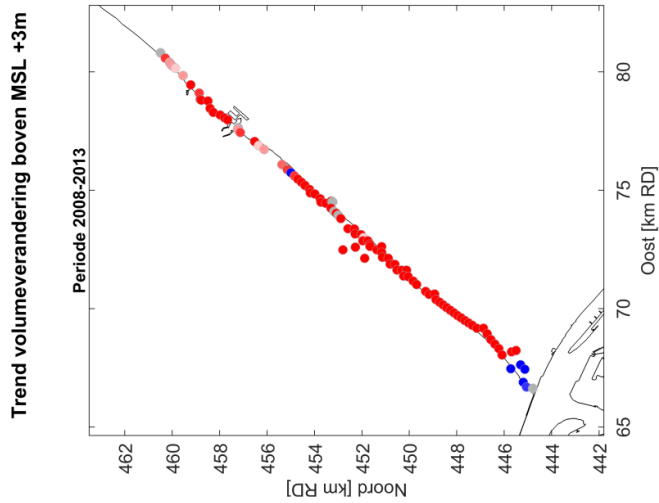
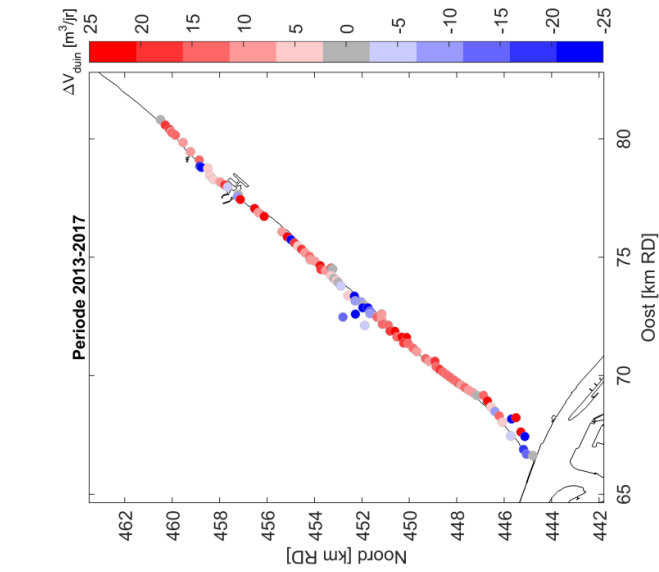
## H.4 Duinvolume verandering versus beheerstrategie



## I Bijlage – Delfland

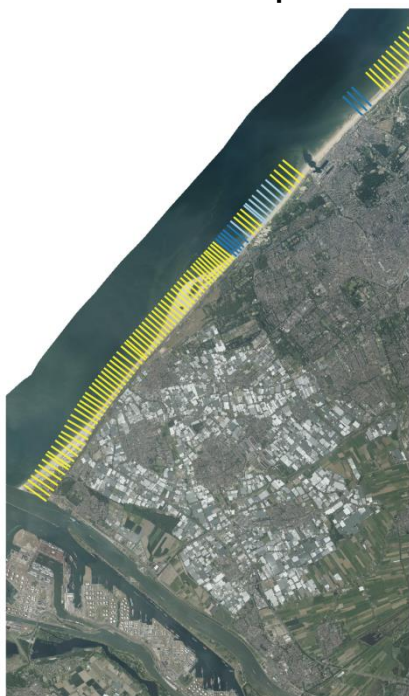
### I.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep







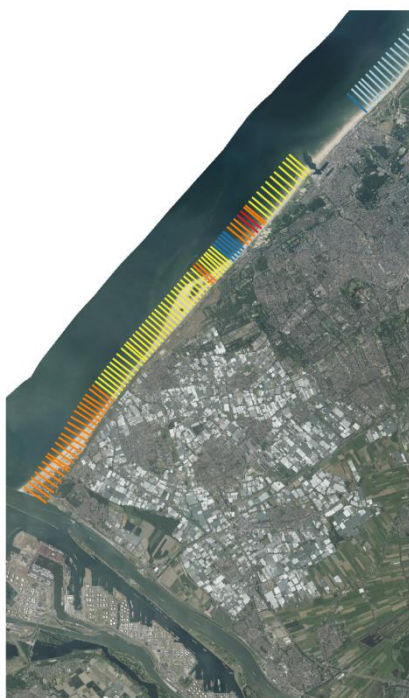
## I.2 Dynamiek van de zeereep



### Legenda

#### Dynamiek zeereep 2008

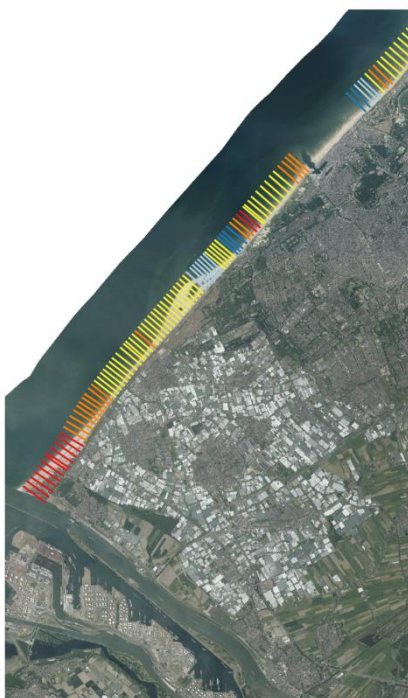
- 1 - nauwelijks dynamiek
- 2 - beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
- 3 - matig tot forse dynamiek voorzijde, ophoging zeereep
- 4 - dynamiek zeereep met beperkte doorstuiving
- 5 - hoge dynamiek zeereep met sterke doorstuiving



### Legenda

#### Dynamiek zeereep 2013

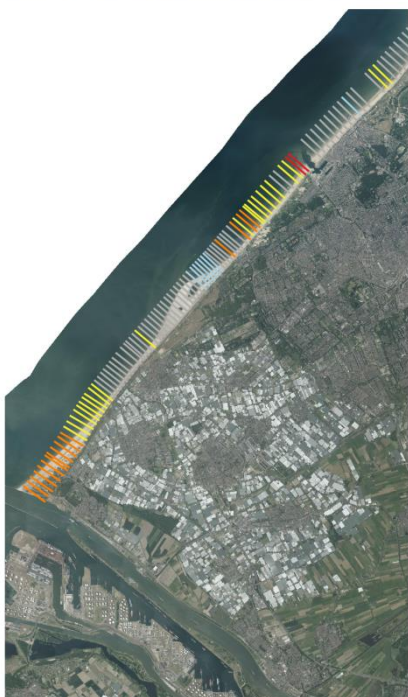
- 1 - nauwelijks dynamiek
- 2 - beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
- 3 - matig tot forse dynamiek voorzijde, ophoging zeereep
- 4 - dynamiek zeereep met beperkte doorstuiving
- 5 - hoge dynamiek zeereep met sterke doorstuiving



### Legenda

#### Dynamiek zeereep 2017

- 1 - nauwelijks dynamiek
- 2 - beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
- 3 - matig tot forse dynamiek voorzijde, ophoging zeereep
- 4 - dynamiek zeereep met beperkte doorstuiving
- 5 - hoge dynamiek zeereep met sterke doorstuiving



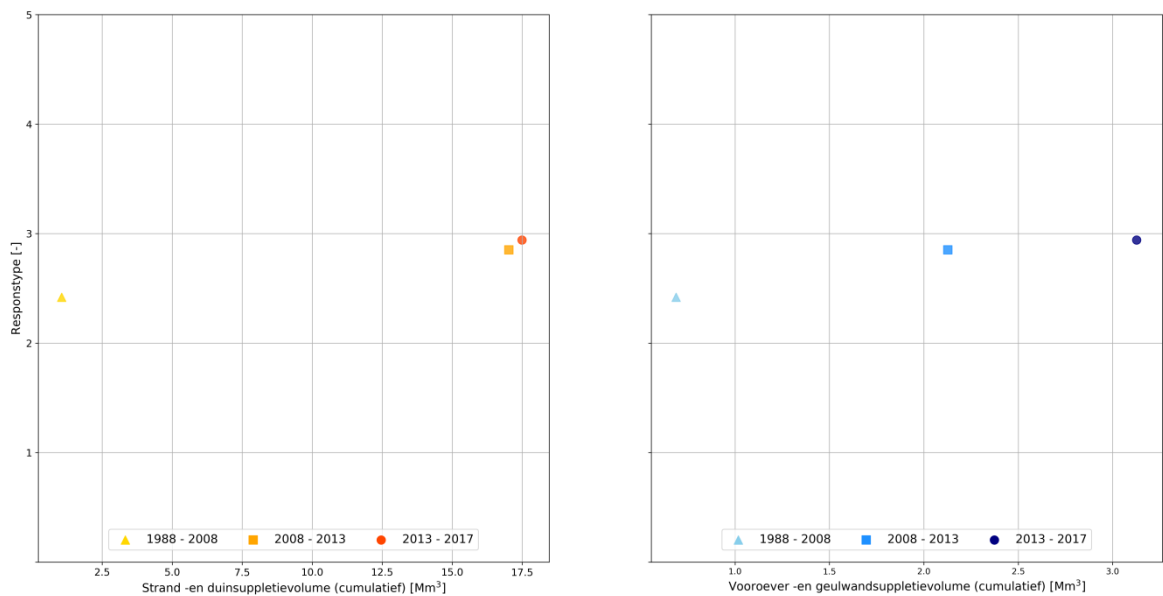
### Legenda

#### Verandering dynamiek zeereep 2008 - 2017

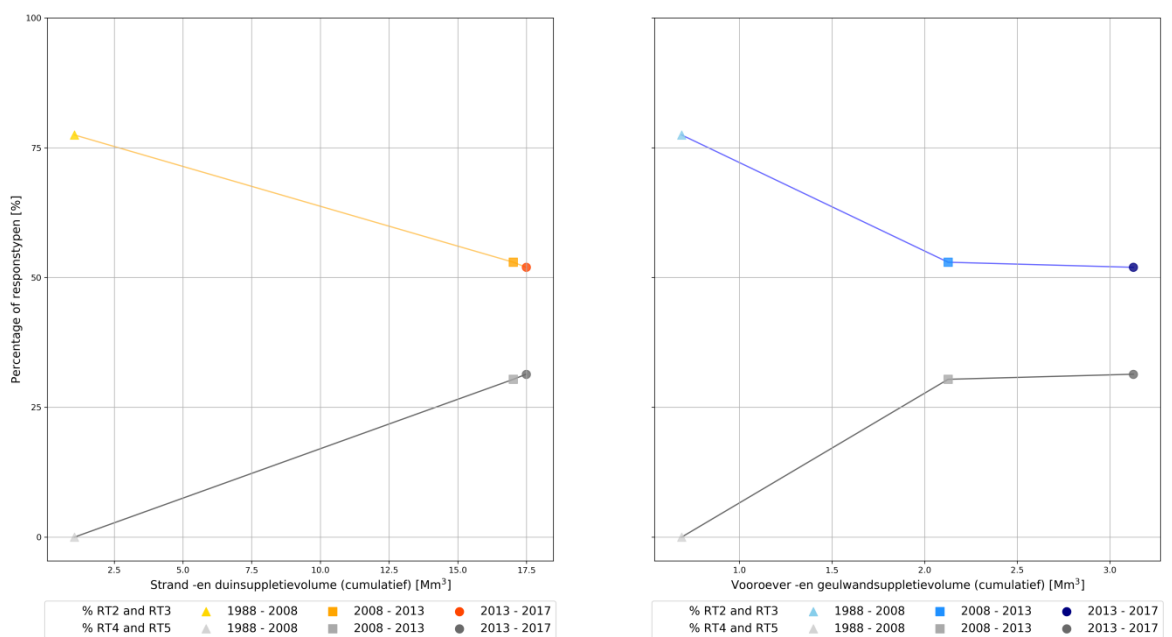
- Sterke afname dynamiek
- Afname dynamiek
- Lichte afname dynamiek
- Geen verandering
- Lichte toename dynamiek
- Toename dynamiek
- Sterke toename dynamiek

### I.3 Dynamiek van de zeereep versus suppletievolumen

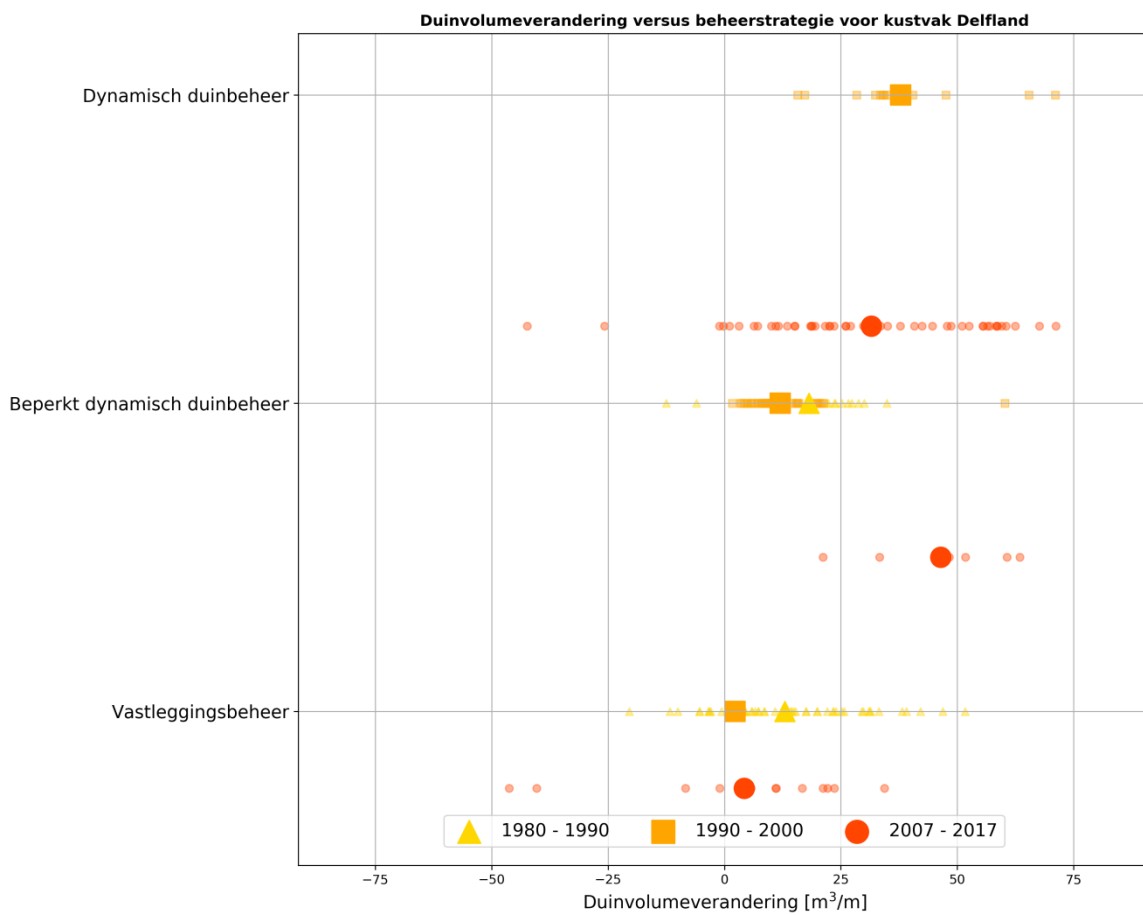
Suppletievolumen versus gem. responstype voor kustvak Delfland



Suppletievolumen versus verdeling responstypen voor kustvak Delfland

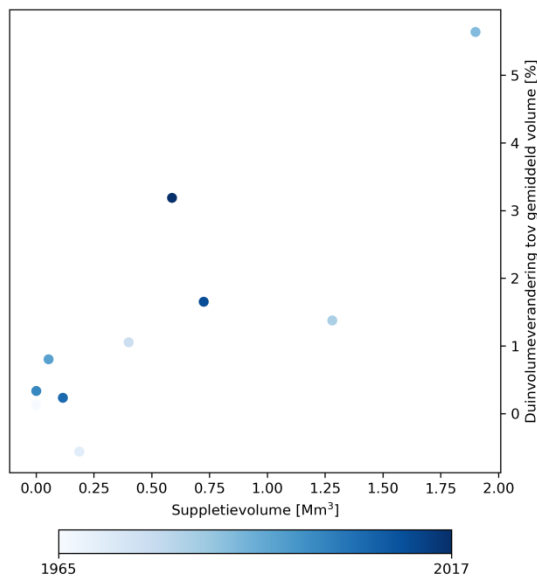
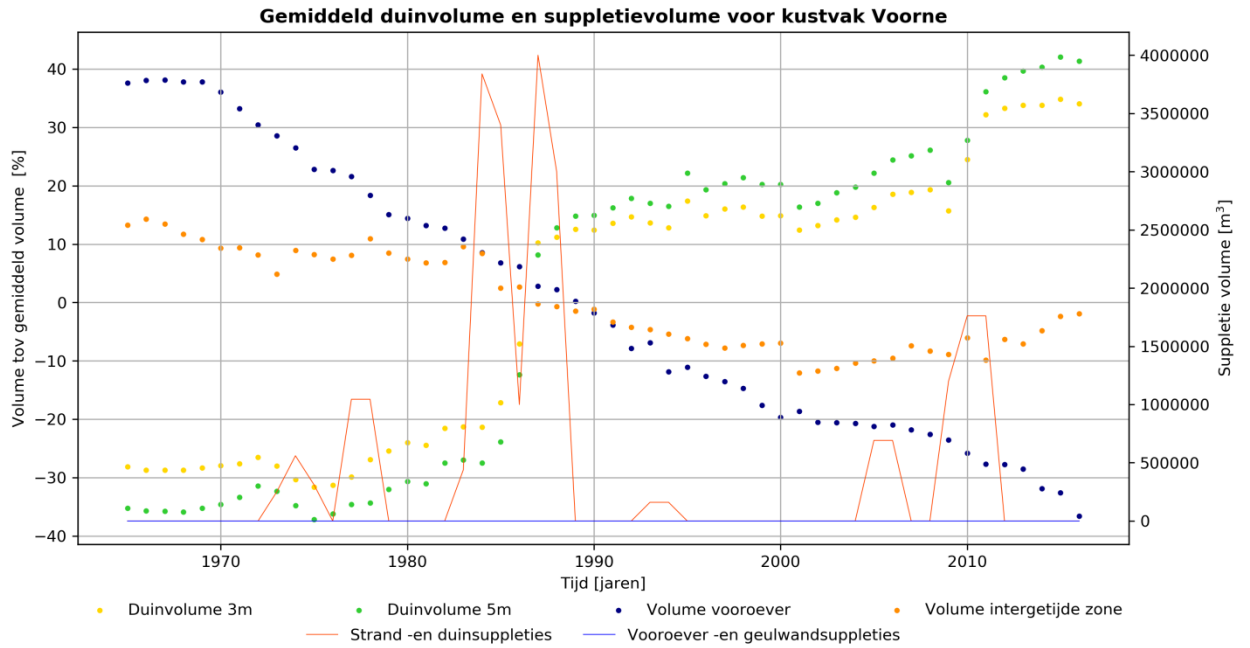


## I.4 Duinvolume verandering versus beheerstrategie

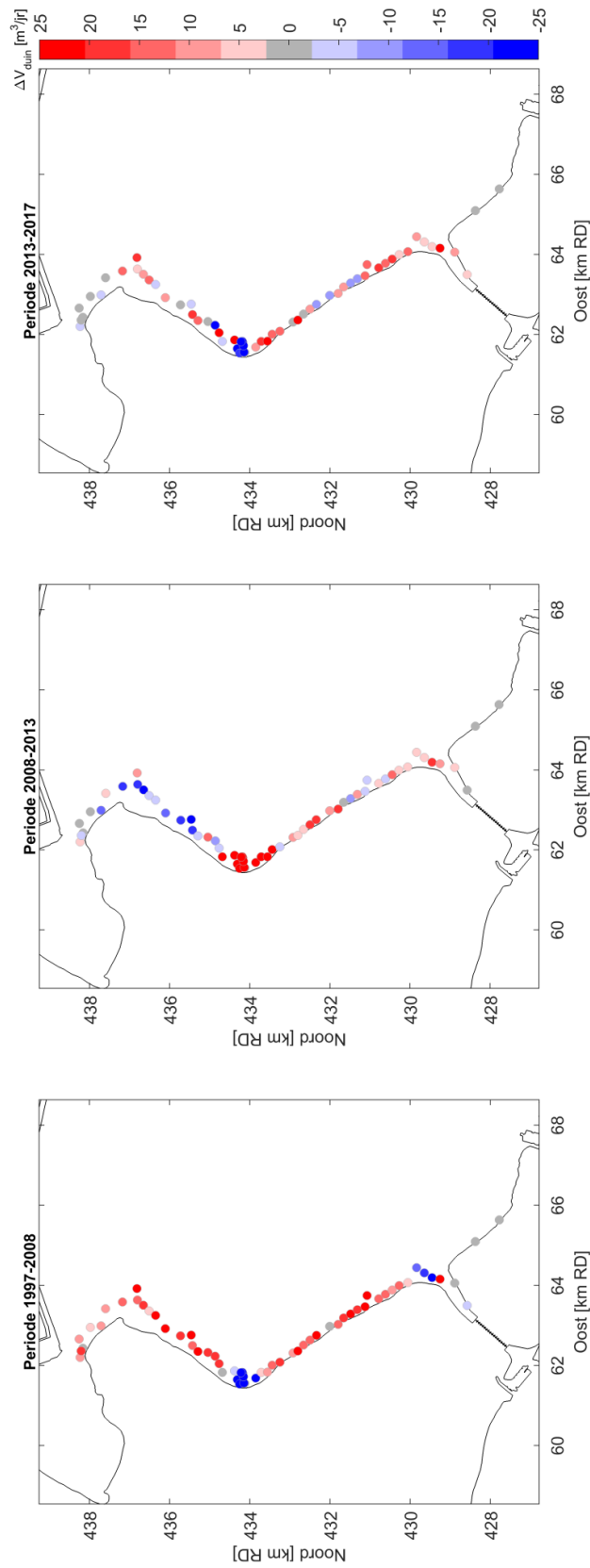


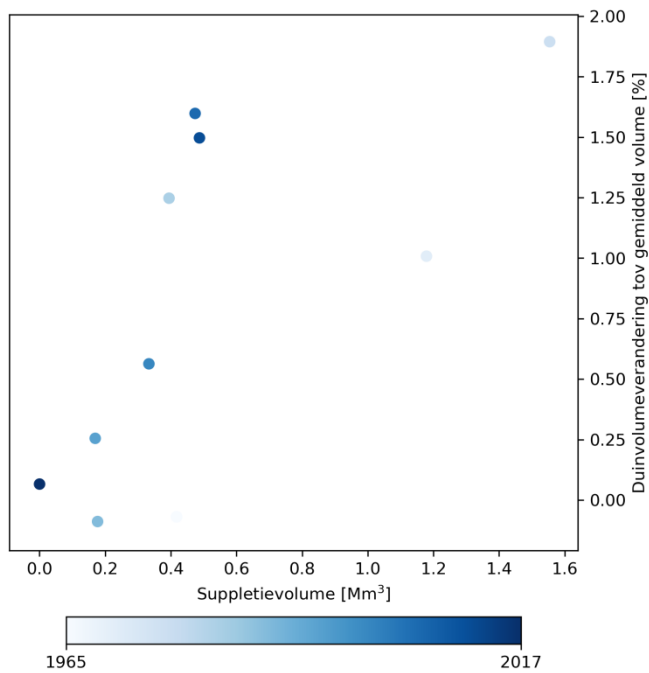
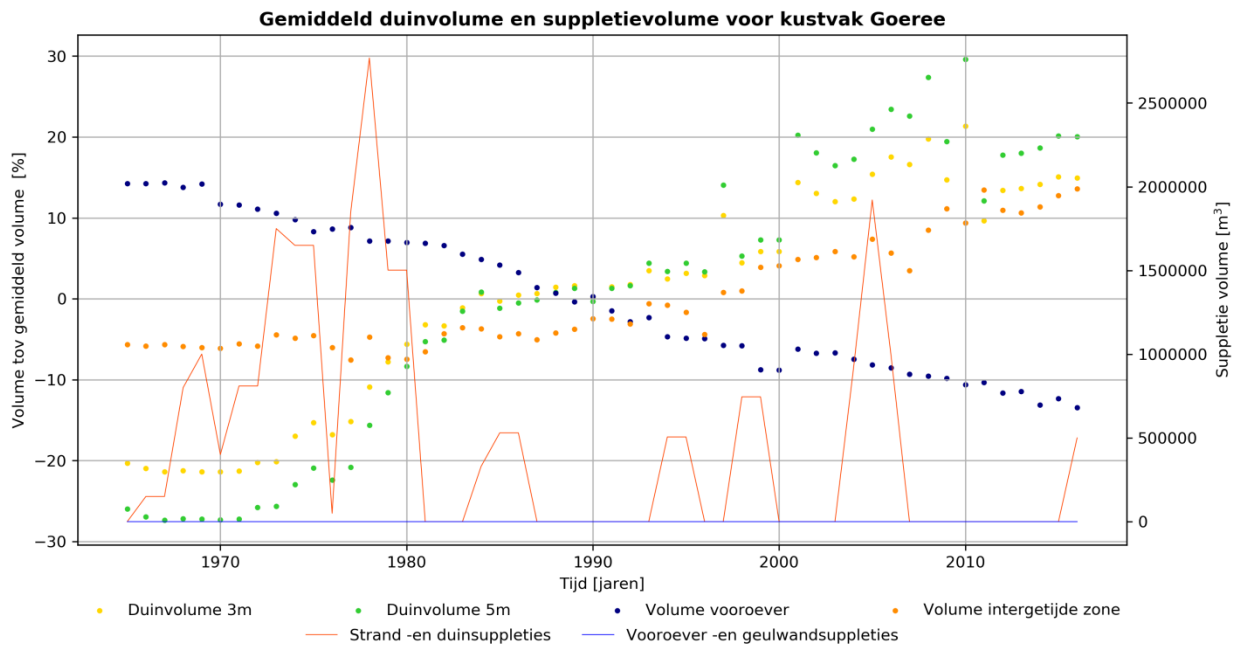
## J Bijlage – Voorne en Goeree

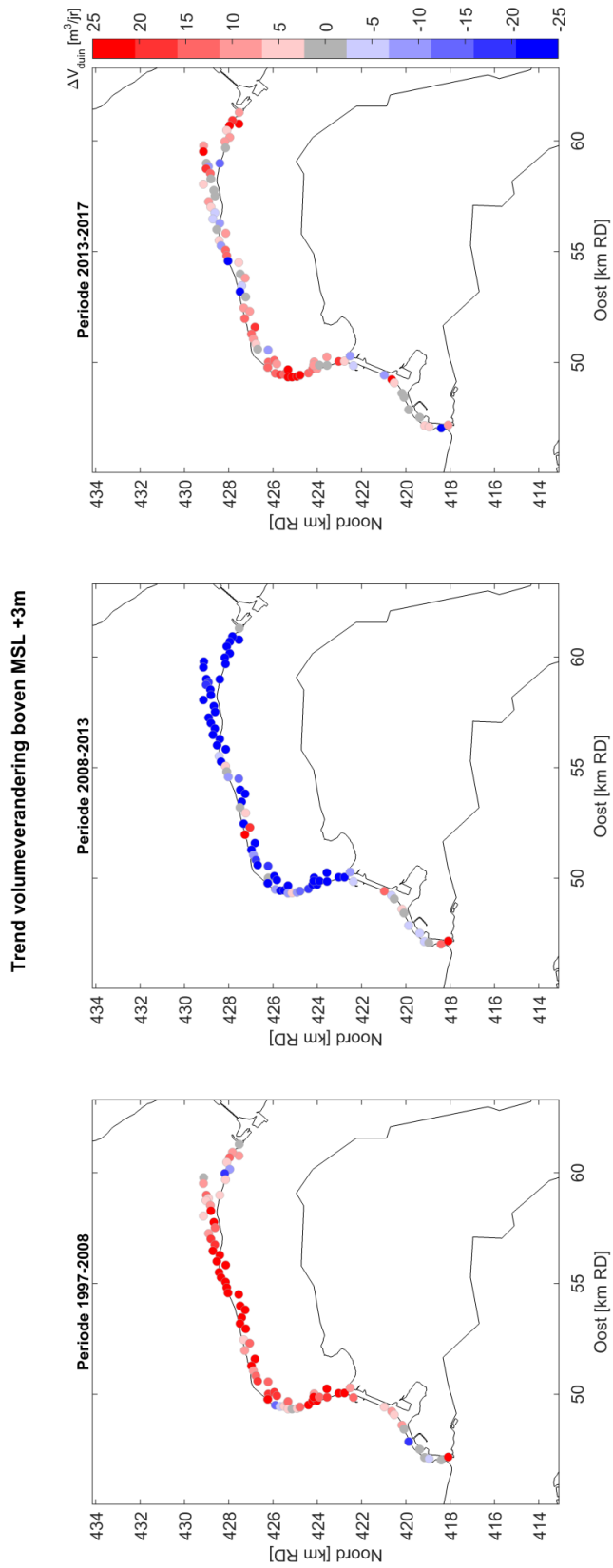
### J.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep



Trend volumeverandering boven MSL +3m

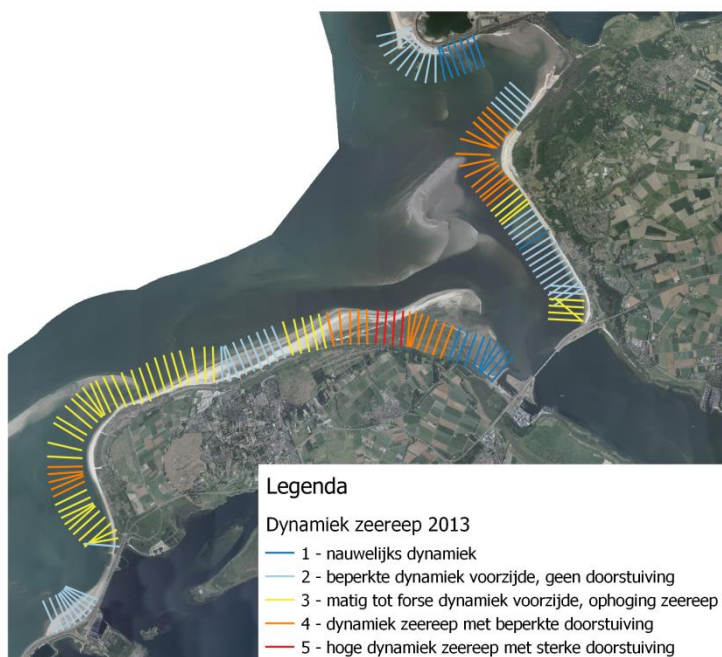
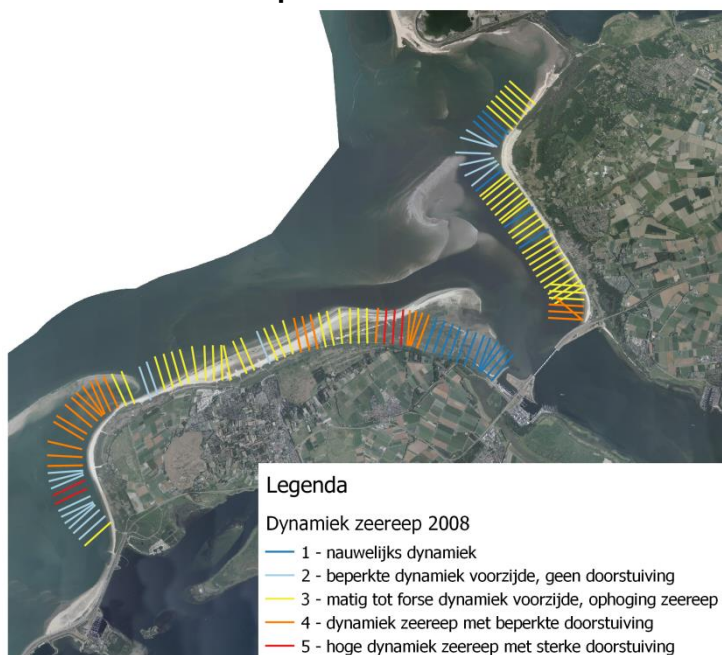


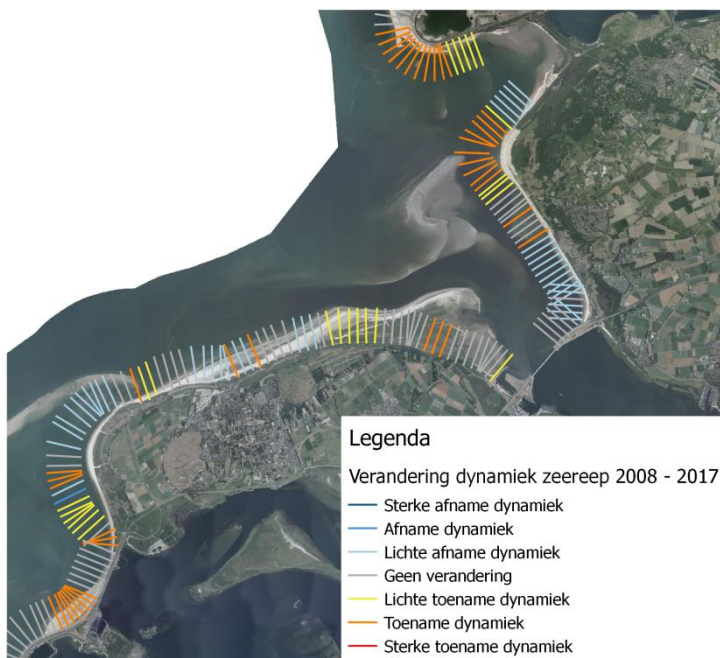
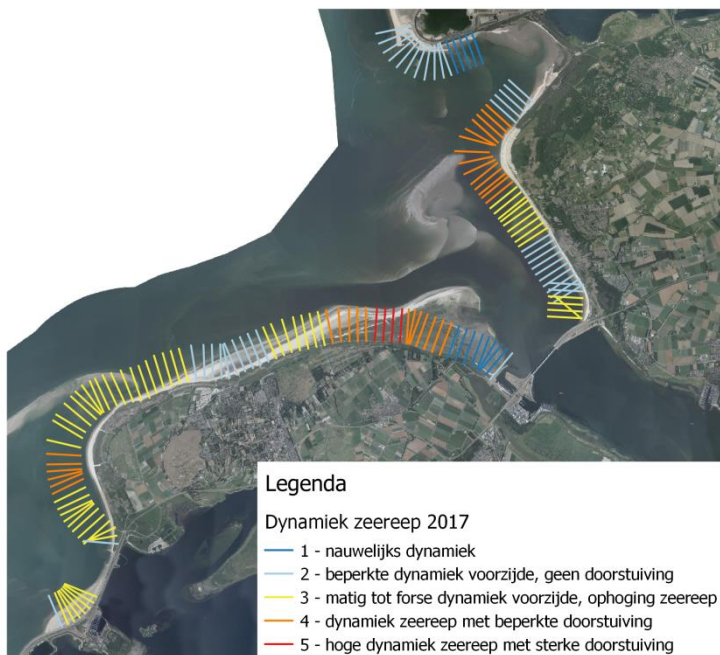






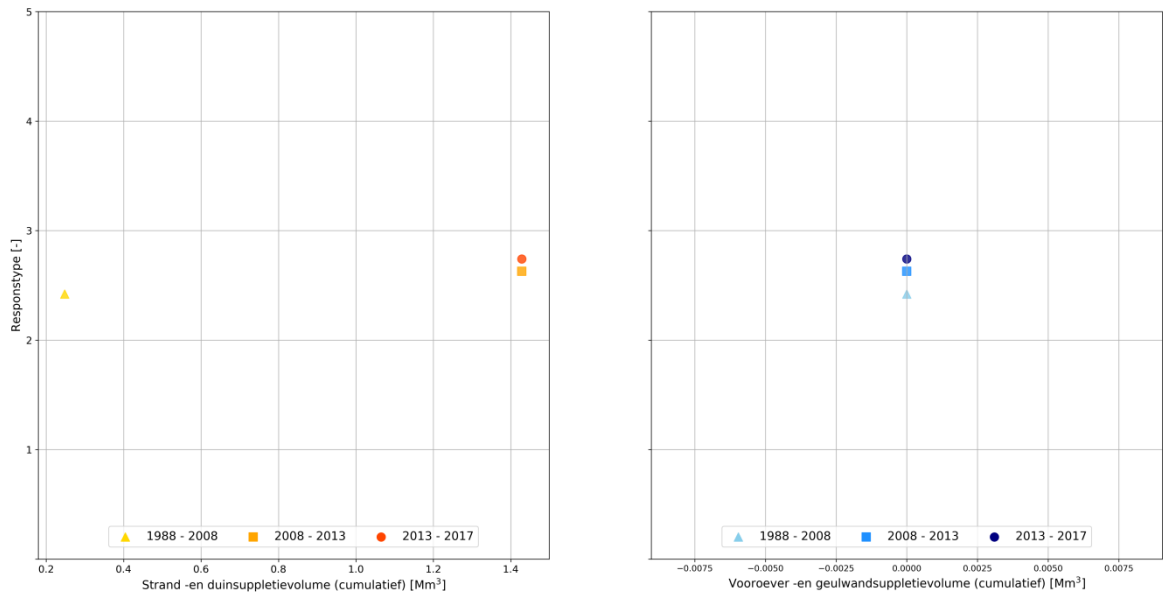
## J.2 Dynamiek van de zeereep



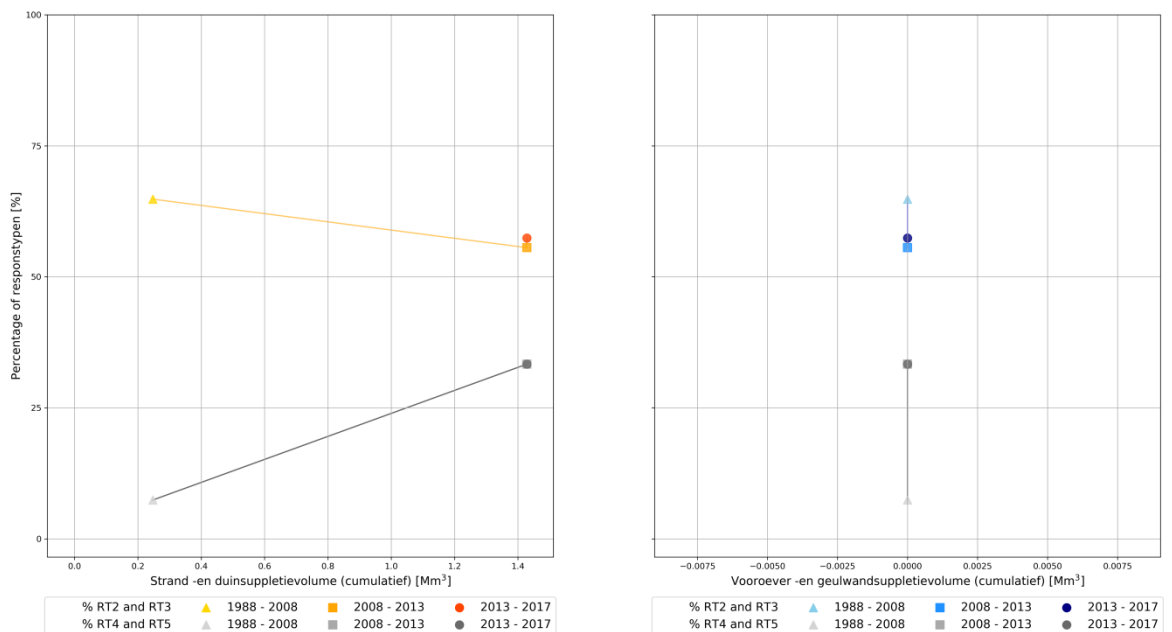


### J.3 Dynamiek van de zeereep versus suppletievolumen

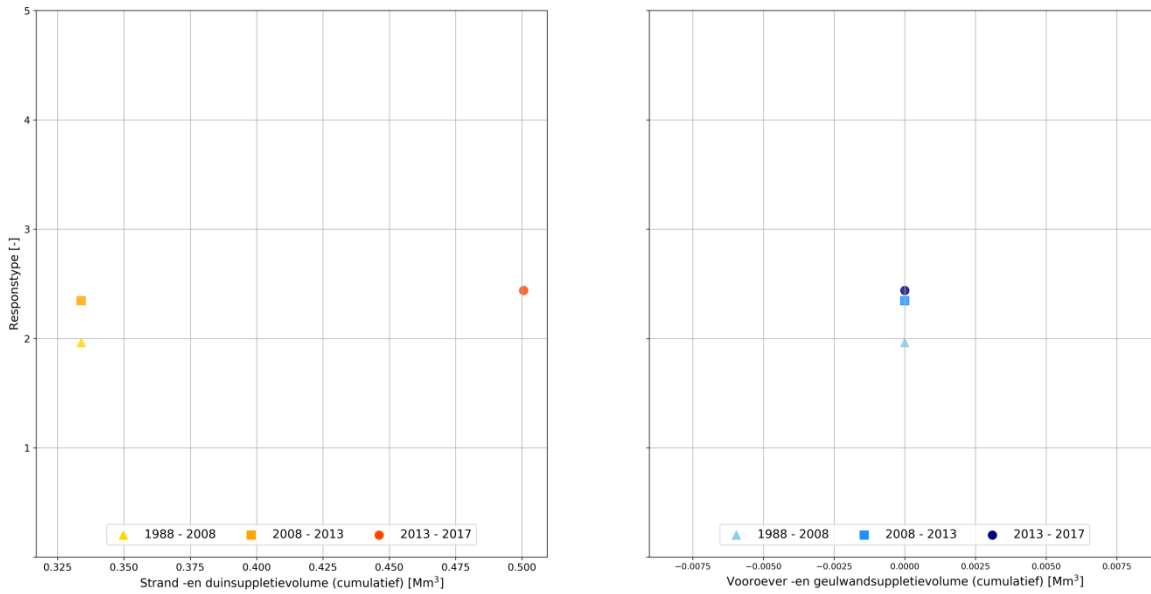
Suppletievolumen versus gem. responstype voor kustvak Voorne



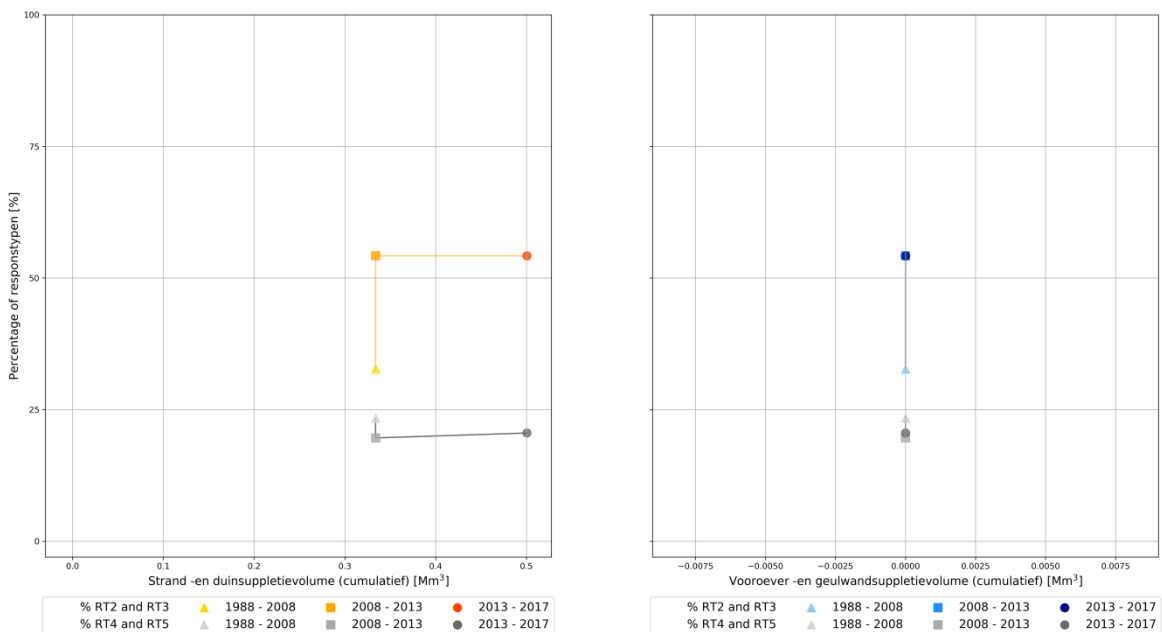
Suppletievolumen versus verdeling responstypen voor kustvak Voorne



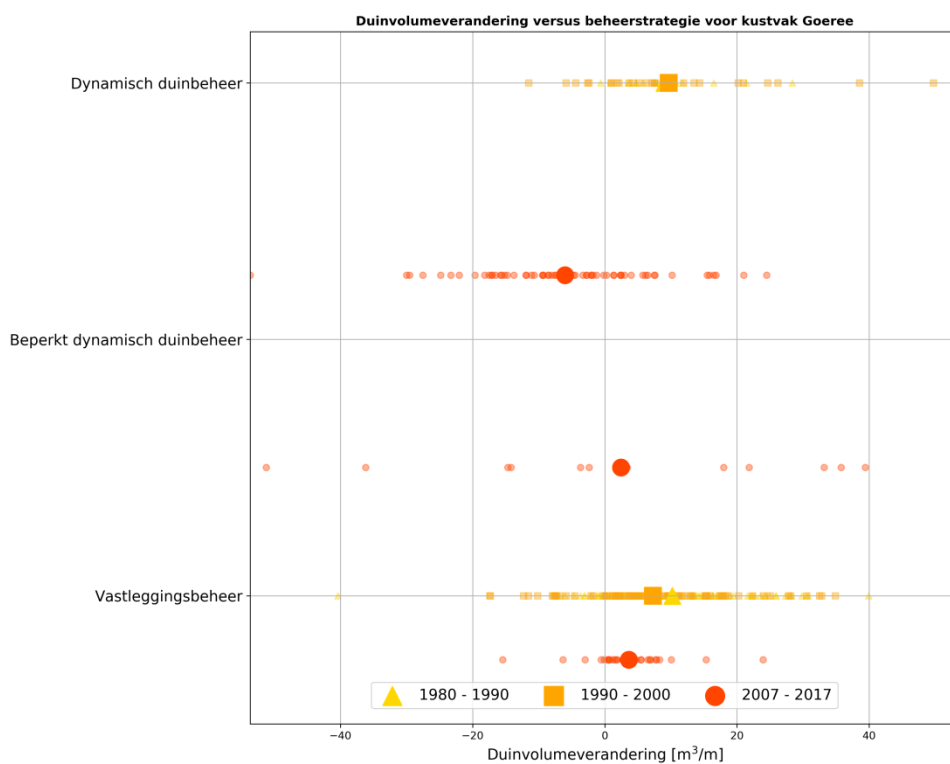
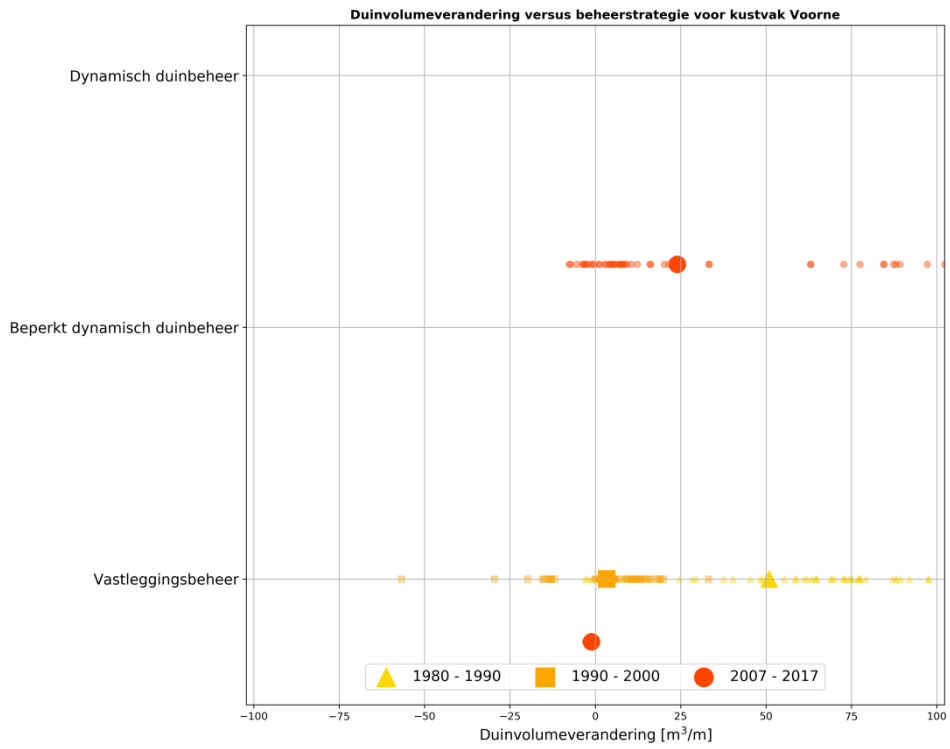
**Suppletievolume versus gem. responstype voor kustvak Goeree**



**Suppletievolume versus verdeling responstypen voor kustvak Goeree**



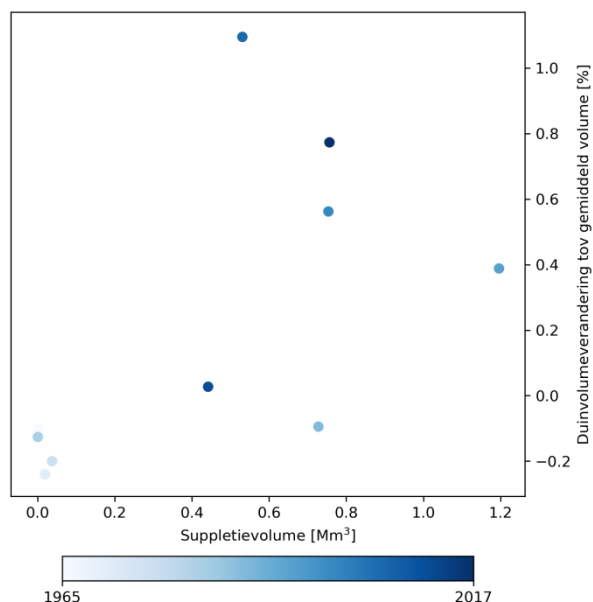
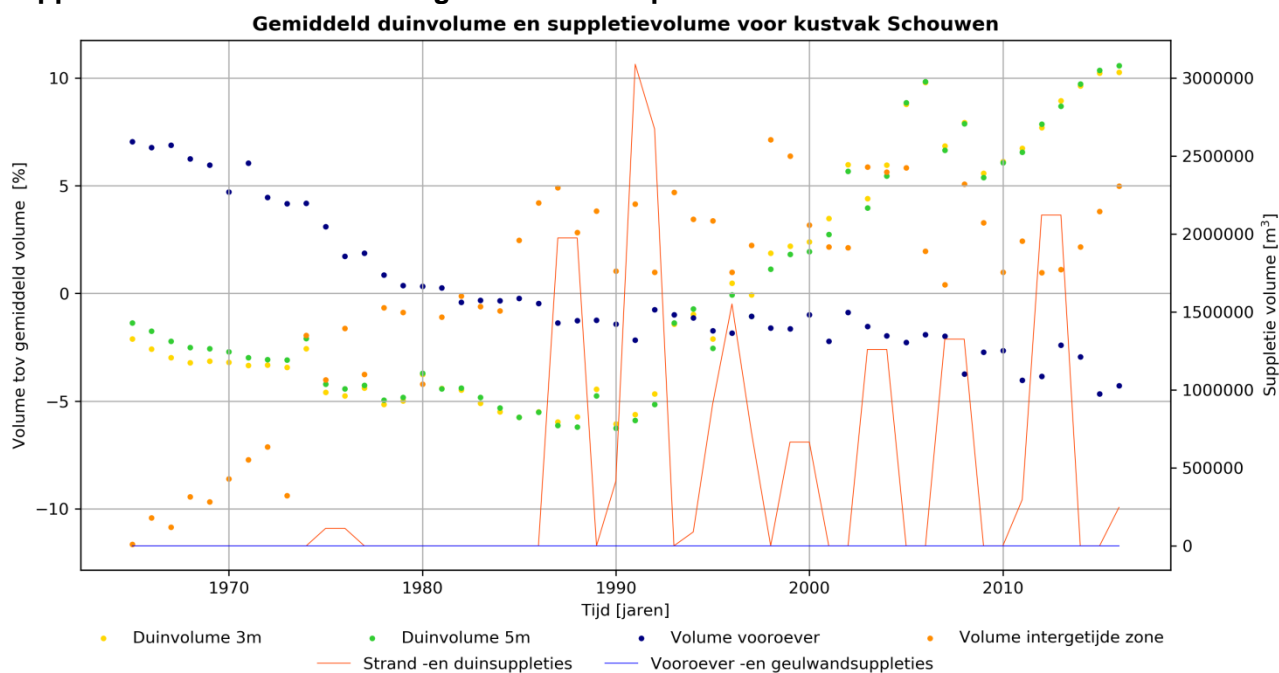
### J.4 Duinvolume verandering versus beheerstrategie

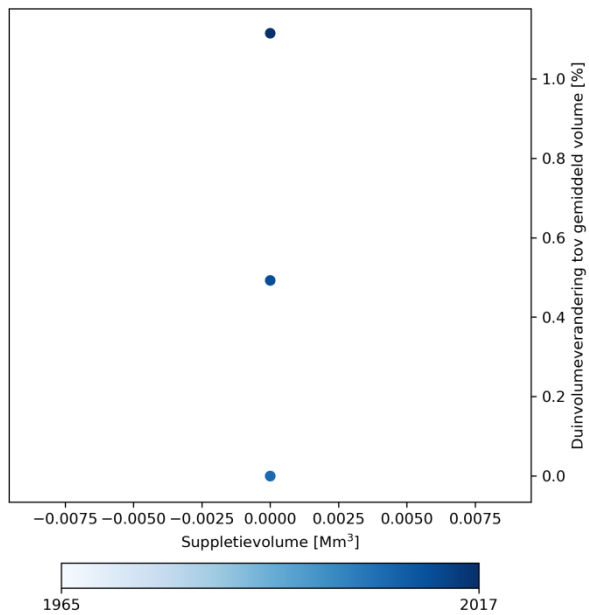
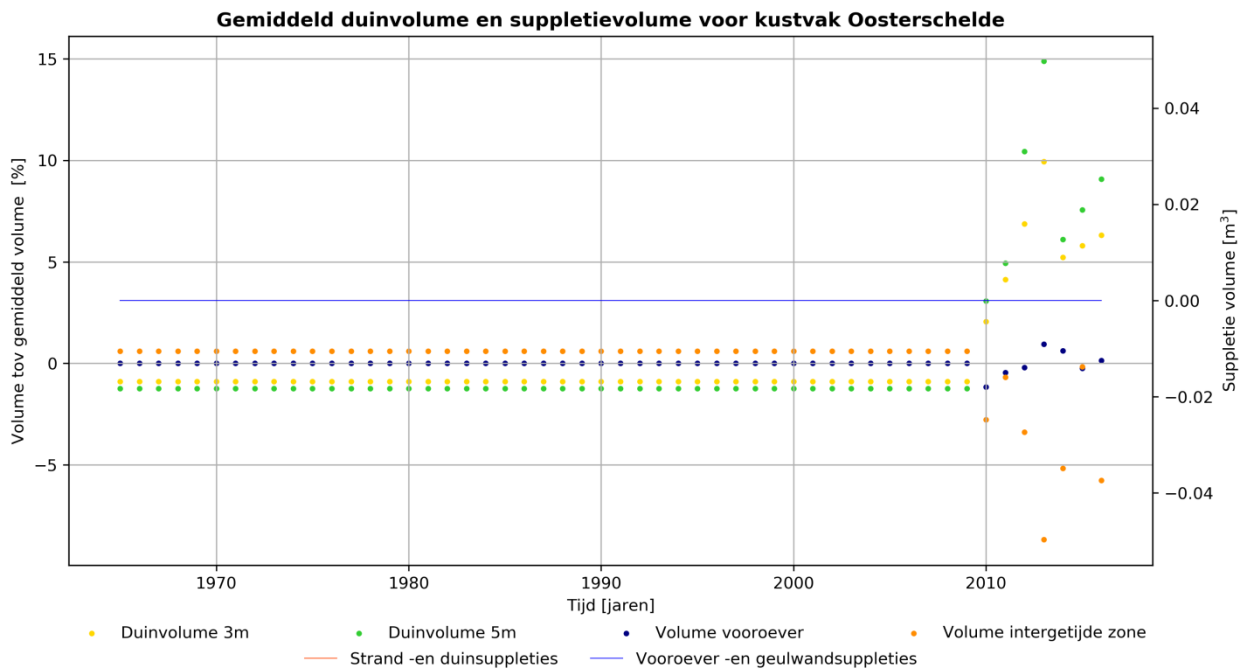




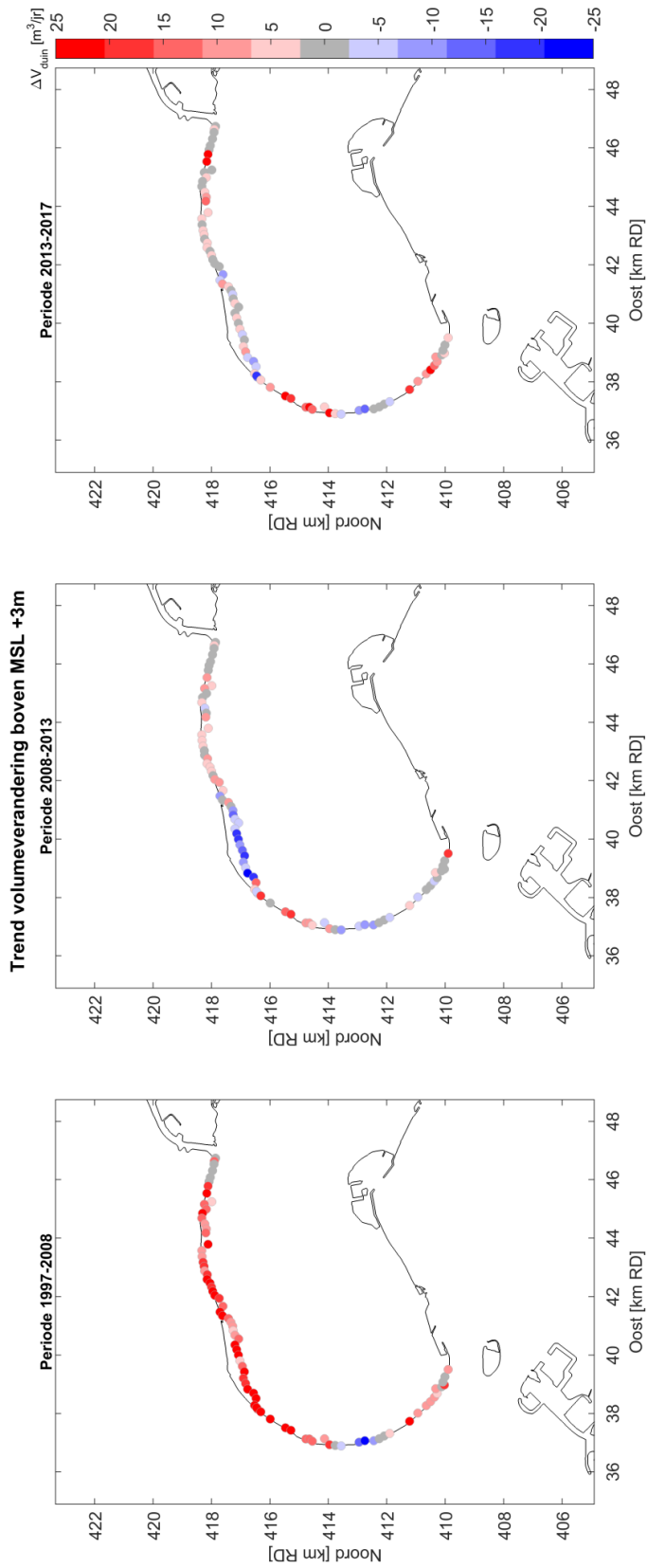
## K Bijlage – Schouwen en Oosterscheldekering

### K.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep

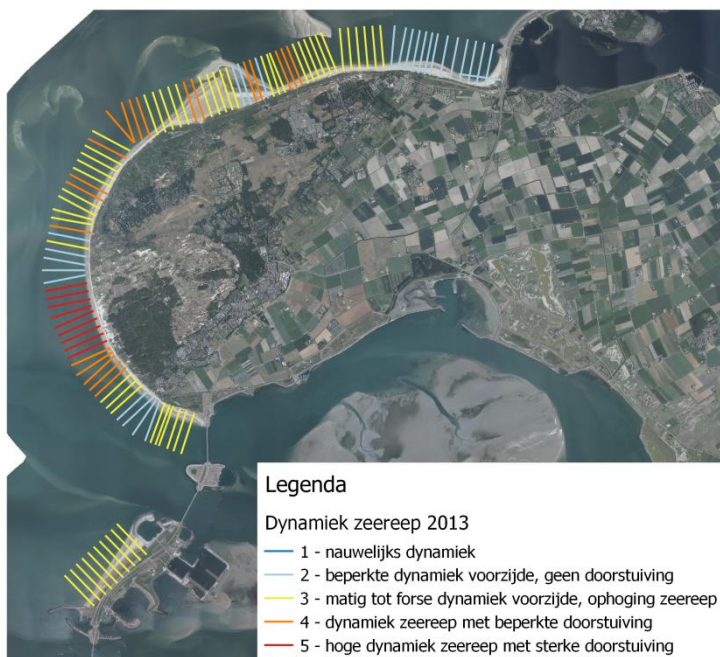
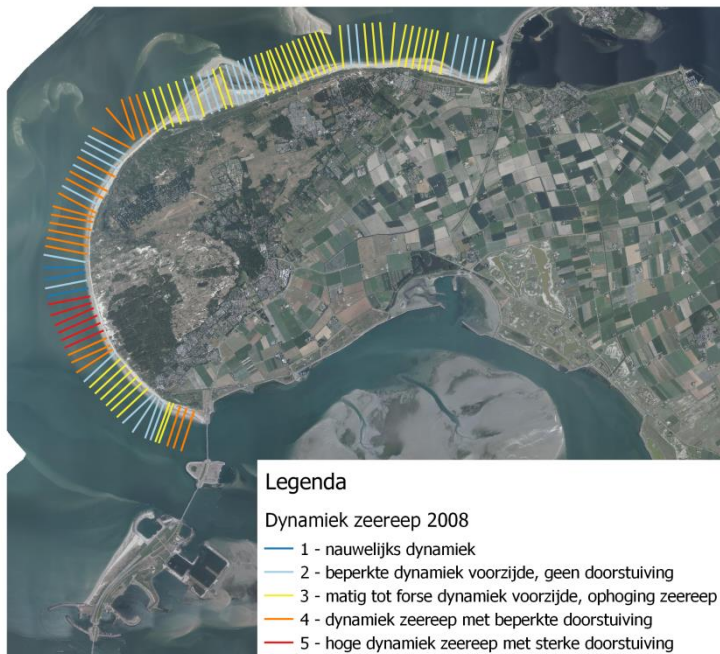


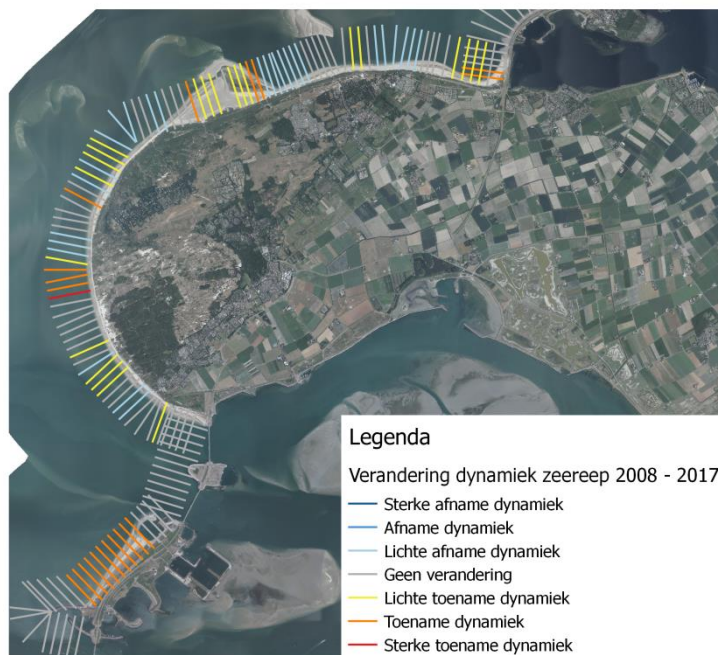
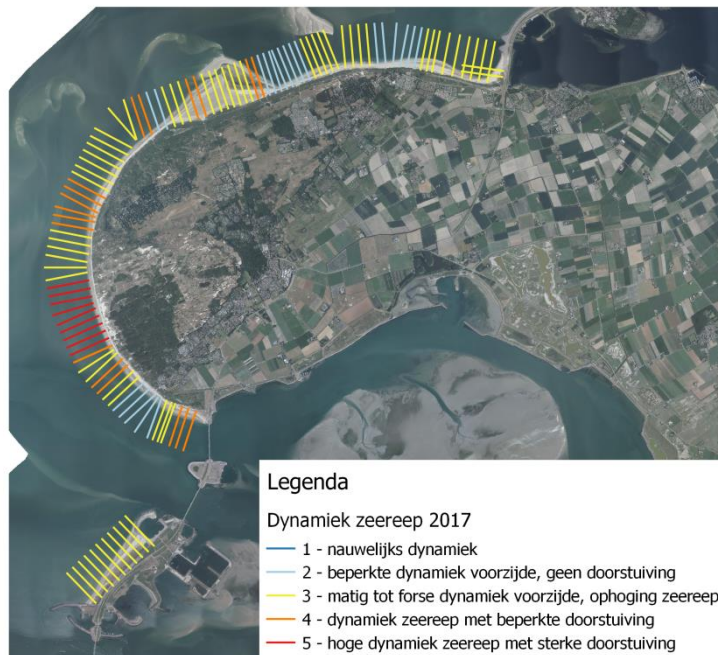






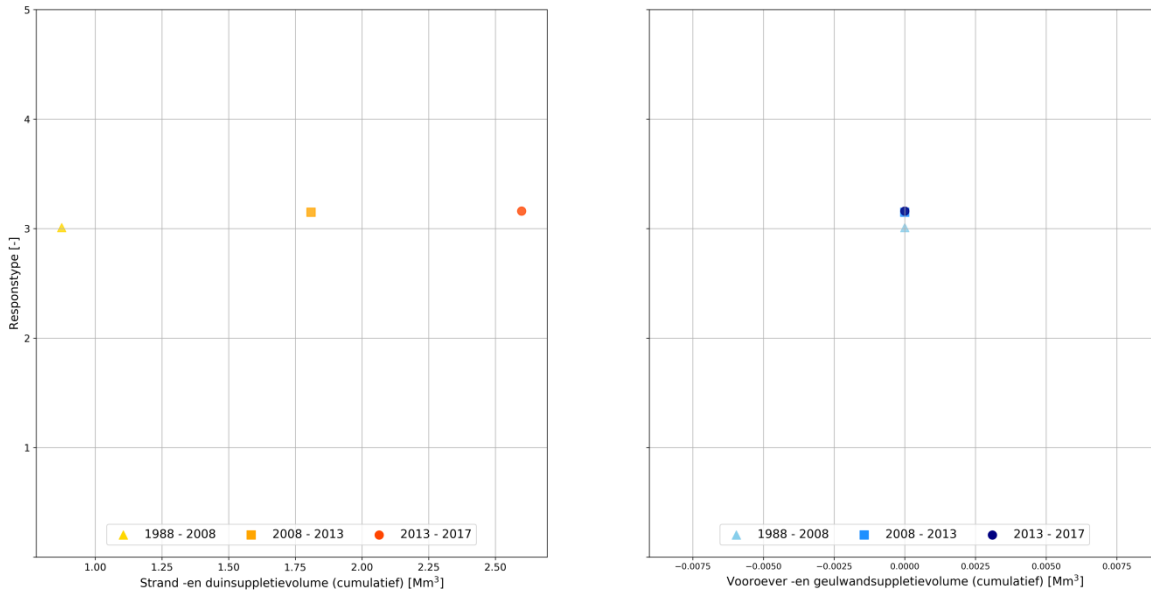
## K.2 Dynamiek van de zeereep



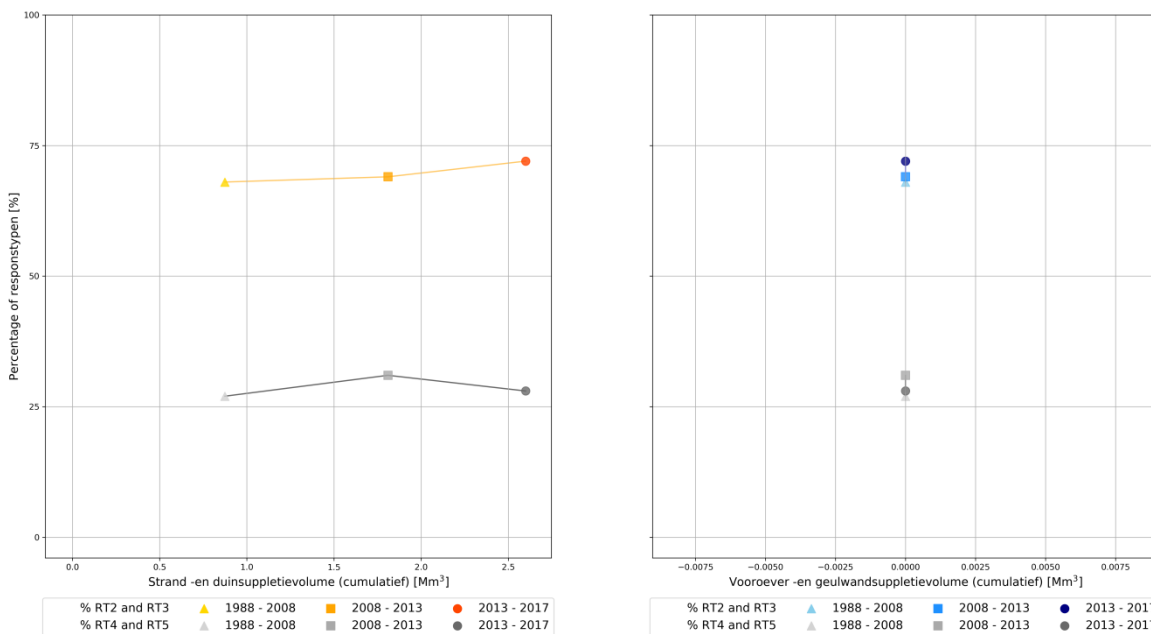


## K.3 Dynamiek van de zeereep versus suppletievolume

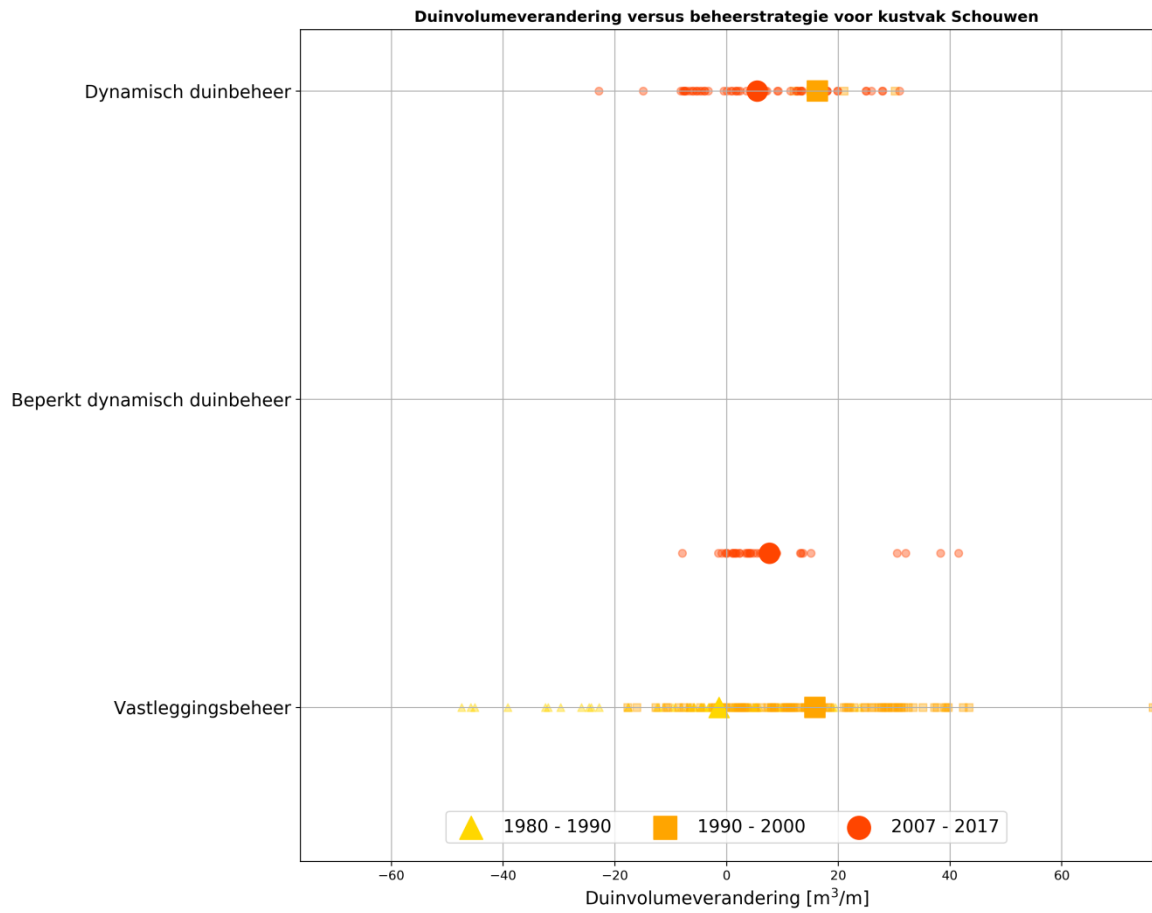
Suppletievolume versus gem. responstype voor kustvak Schouwen



Suppletievolume versus verdeling responstypen voor kustvak Schouwen



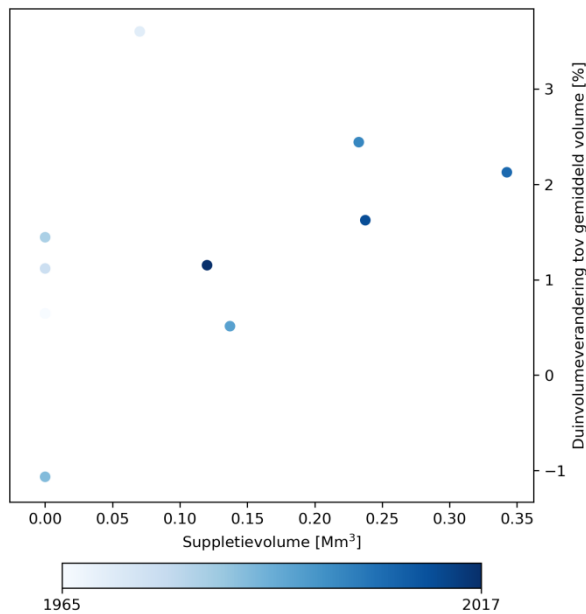
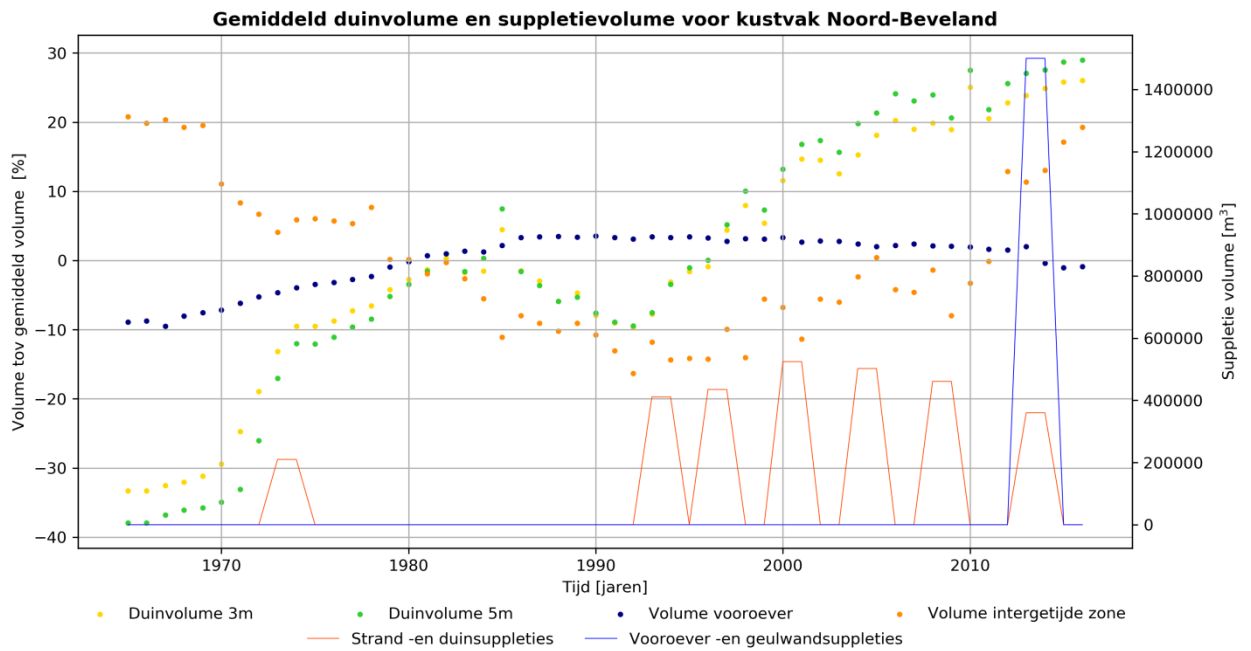
#### K.4 Duinvolume verandering versus beheerstrategie



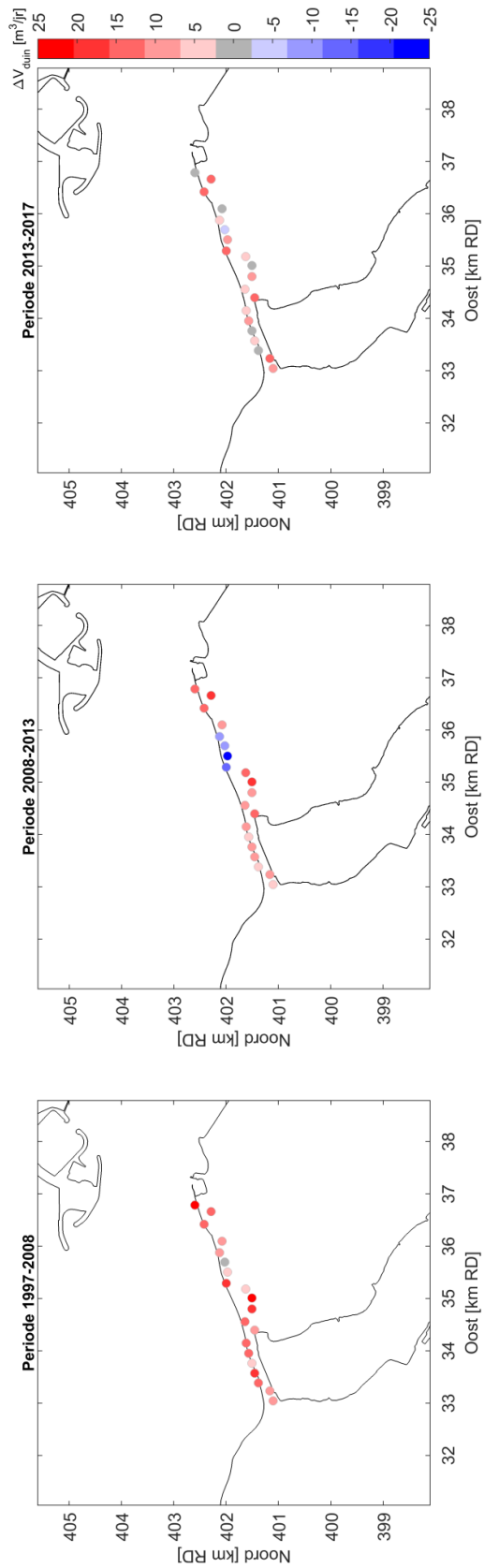


## L Bijlage – Noord-Beverland

### L.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep



**Trend volumeverandering boven MSL +3m**





## L.2 Dynamiek van de zeereep



### Legenda

#### Dynamiek zeereep 2008

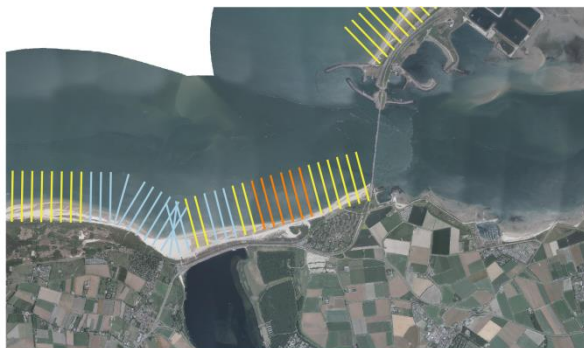
- 1 - nauwelijks dynamiek
- 2 - beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
- 3 - matig tot forse dynamiek voorzijde, ophoging zeereep
- 4 - dynamiek zeereep met beperkte doorstuiving
- 5 - hoge dynamiek zeereep met sterke doorstuiving



### Legenda

#### Dynamiek zeereep 2013

- 1 - nauwelijks dynamiek
- 2 - beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
- 3 - matig tot forse dynamiek voorzijde, ophoging zeereep
- 4 - dynamiek zeereep met beperkte doorstuiving
- 5 - hoge dynamiek zeereep met sterke doorstuiving



### Legenda

#### Dynamiek zeereep 2017

- 1 - nauwelijks dynamiek
- 2 - beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
- 3 - matig tot forse dynamiek voorzijde, ophoging zeereep
- 4 - dynamiek zeereep met beperkte doorstuiving
- 5 - hoge dynamiek zeereep met sterke doorstuiving



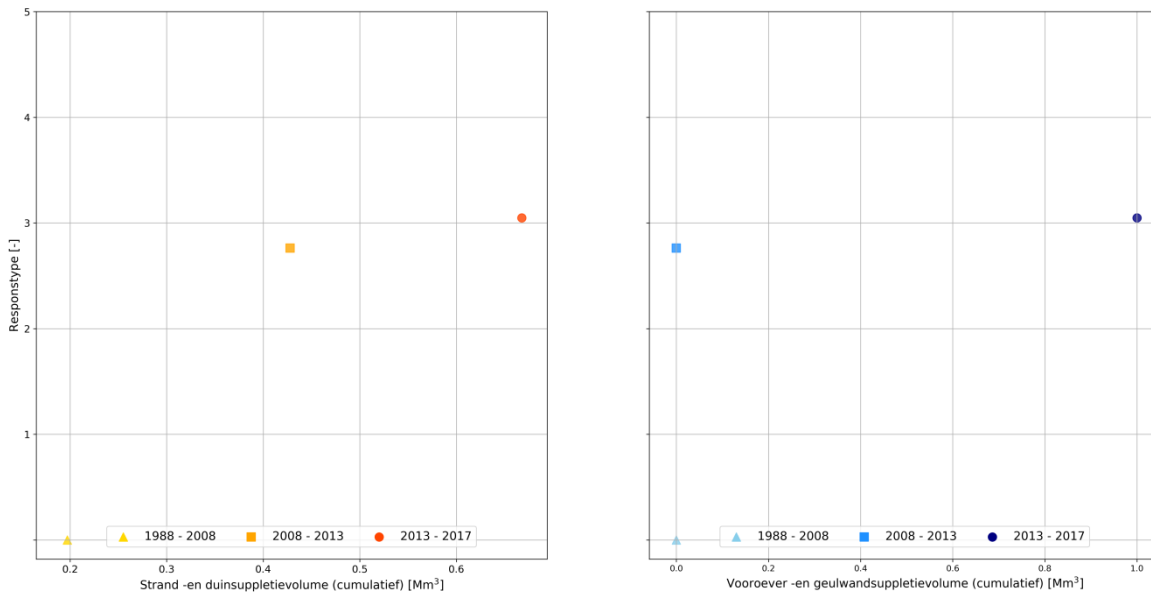
### Legenda

#### Verandering dynamiek zeereep 2008 - 2017

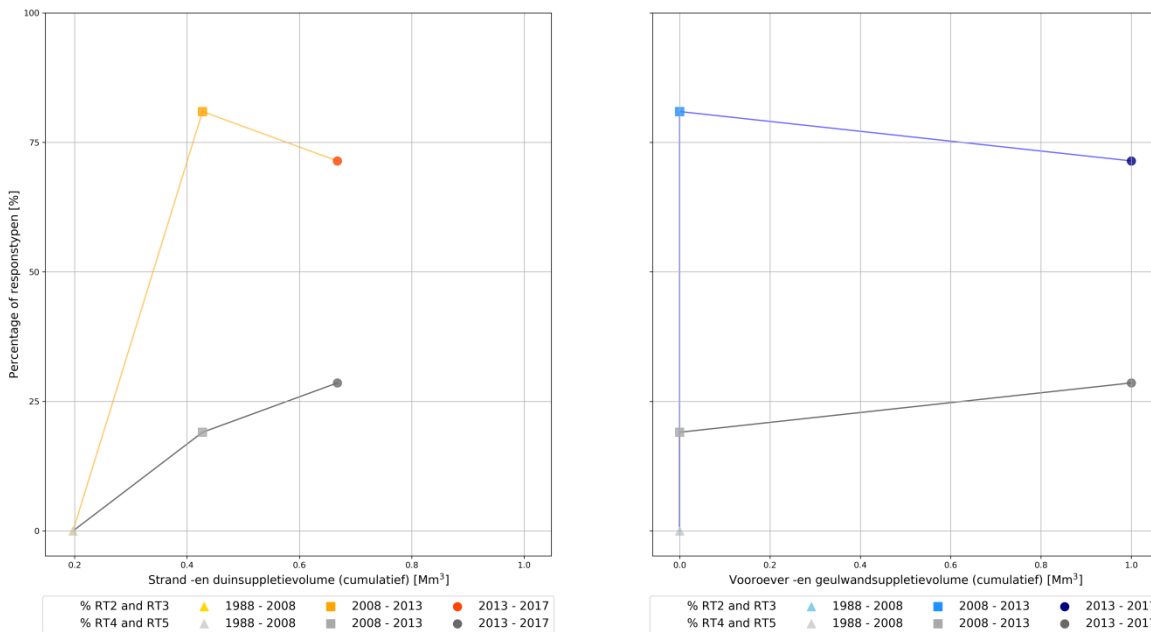
- Sterke afname dynamiek
- Afname dynamiek
- Lichte afname dynamiek
- Geen verandering
- Lichte toename dynamiek
- Toename dynamiek
- Sterke toename dynamiek

## L.3 Dynamiek van de zeereep versus suppletievolumen

Suppletievolumen versus gem. responstype voor kustvak Noord-Beveland



Suppletievolumen versus verdeling responstypen voor kustvak Noord-Beveland

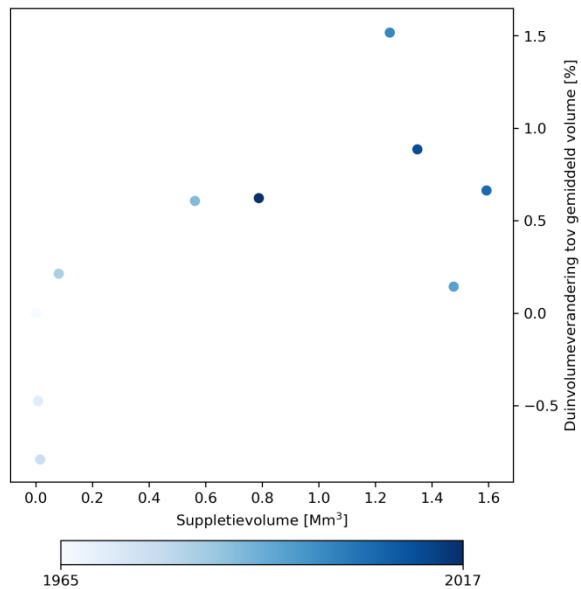
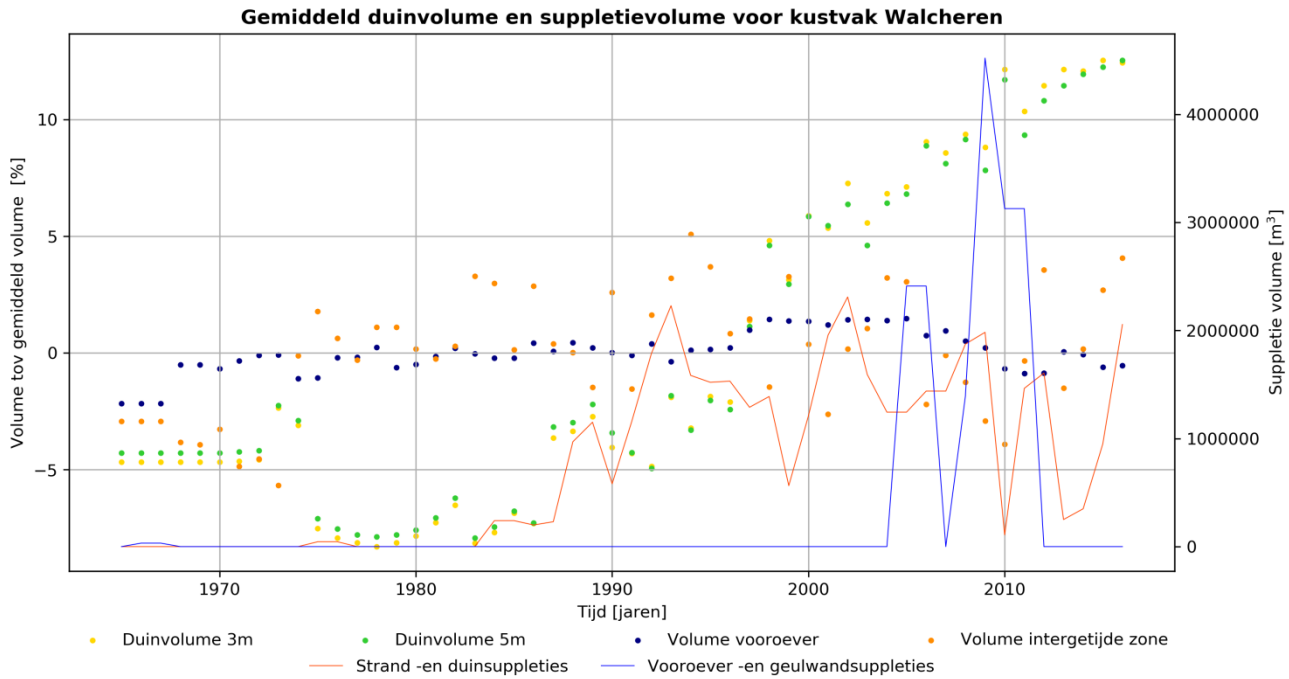




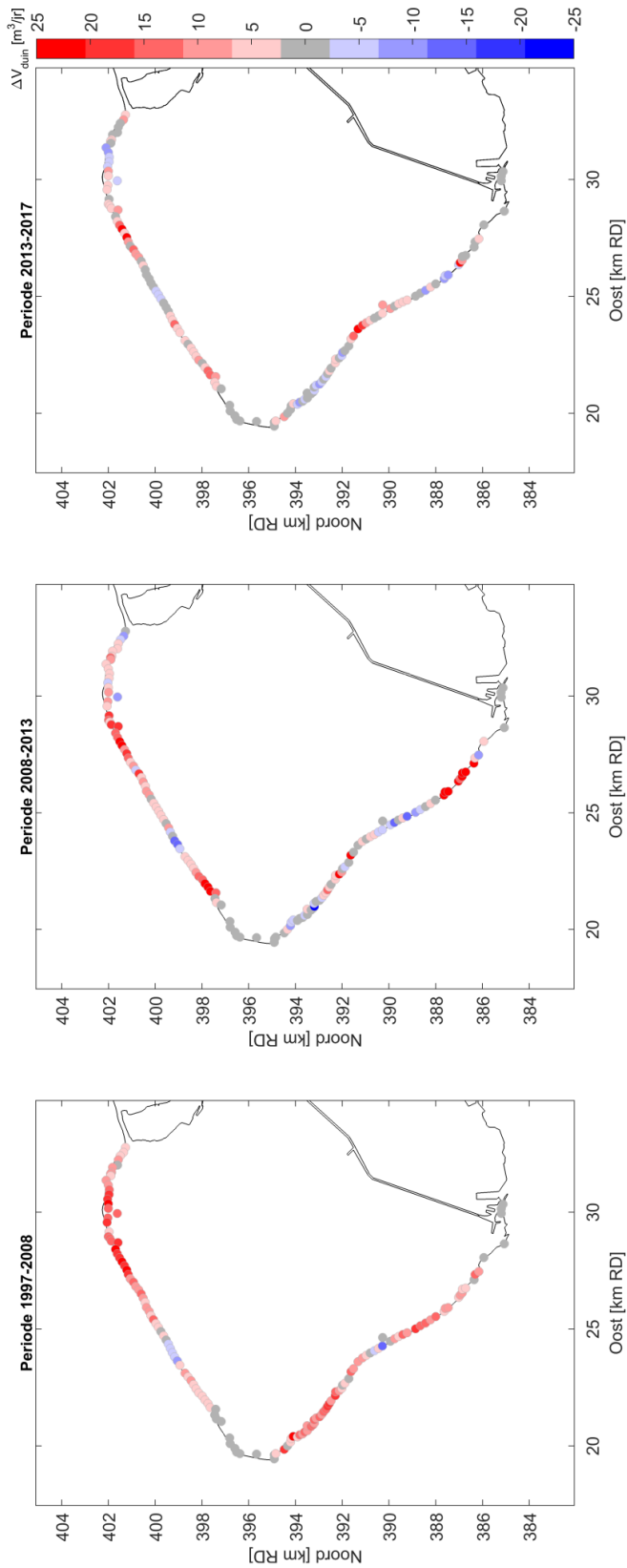


## M Bijlage – Walcheren

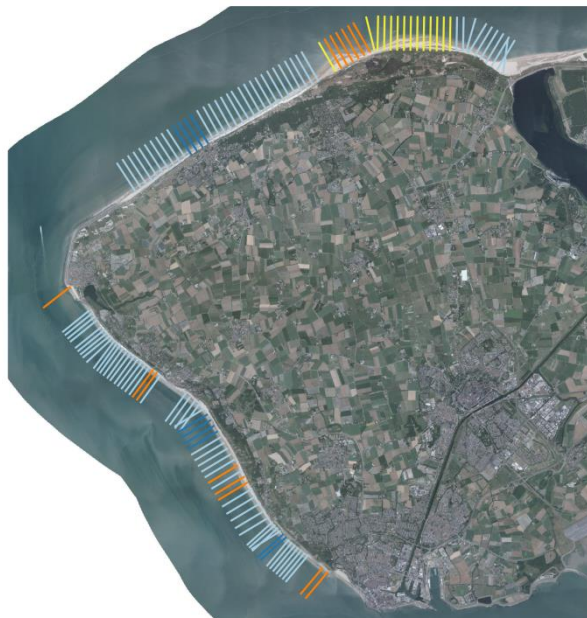
### M.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep



**Trend volumeverandering boven MSL +3m**



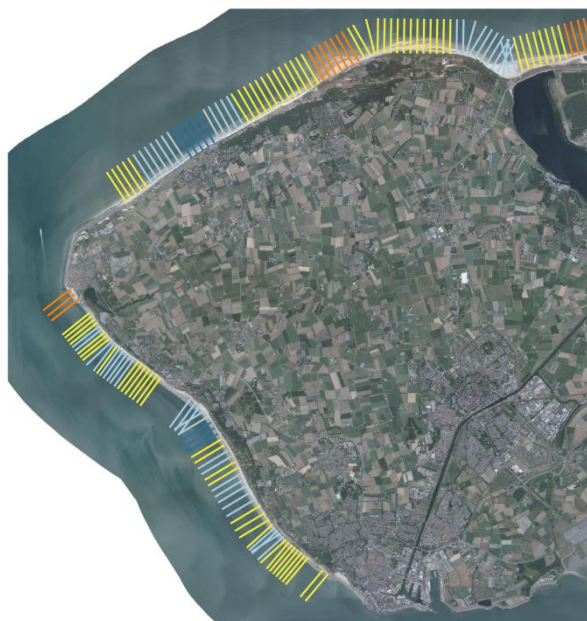
## M.2 Dynamiek van de zeereep



### Legenda

#### Dynamiek zeereep 2008

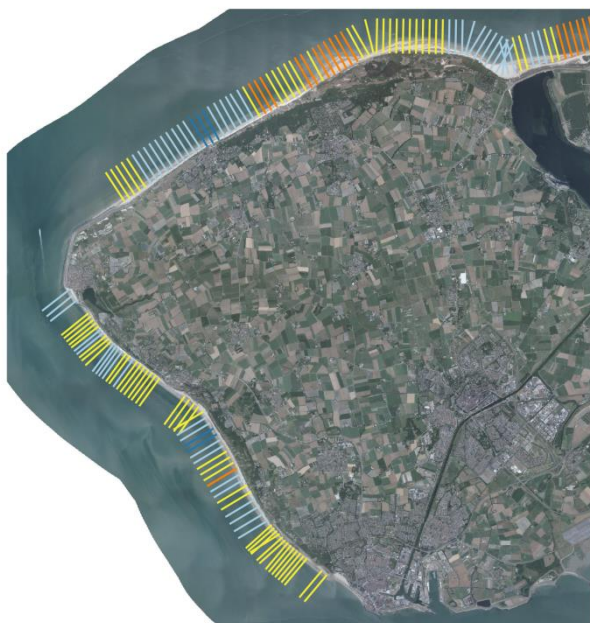
- 1 - nauwelijks dynamiek
- 2 - beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
- 3 - matig tot forse dynamiek voorzijde, ophoging zeereep
- 4 - dynamiek zeereep met beperkte doorstuiving
- 5 - hoge dynamiek zeereep met sterke doorstuiving



### Legenda

#### Dynamiek zeereep 2013

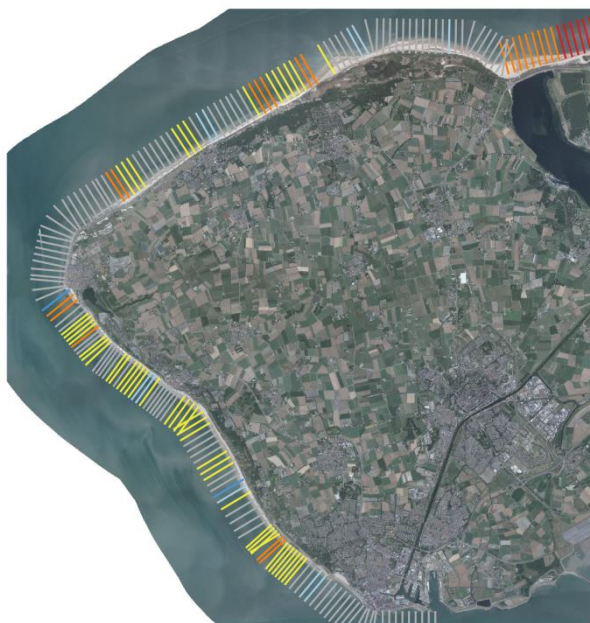
- 1 - nauwelijks dynamiek
- 2 - beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
- 3 - matig tot forse dynamiek voorzijde, ophoging zeereep
- 4 - dynamiek zeereep met beperkte doorstuiving
- 5 - hoge dynamiek zeereep met sterke doorstuiving



### Legenda

#### Dynamiek zeereep 2017

- 1 - nauwelijks dynamiek
- 2 - beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
- 3 - matig tot forse dynamiek voorzijde, ophoging zeereep
- 4 - dynamiek zeereep met beperkte doorstuiving
- 5 - hoge dynamiek zeereep met sterke doorstuiving



### Legenda

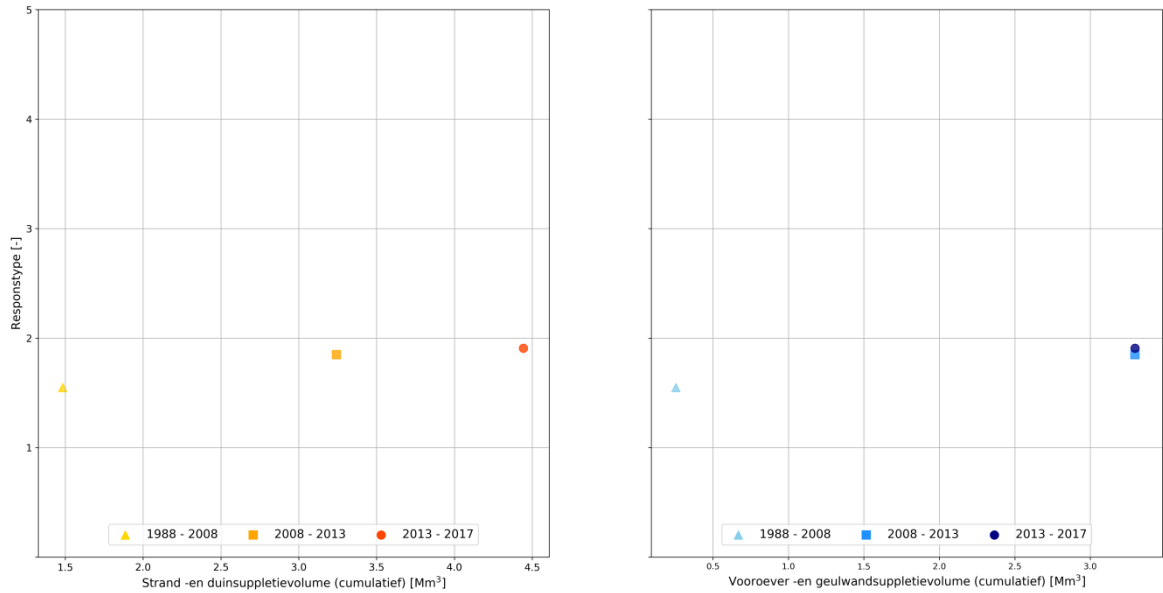
#### Verandering dynamiek zeereep 2008 - 2017

- Sterke afname dynamiek
- Afname dynamiek
- Lichte afname dynamiek
- Geen verandering
- Lichte toename dynamiek
- Toename dynamiek
- Sterke toename dynamiek

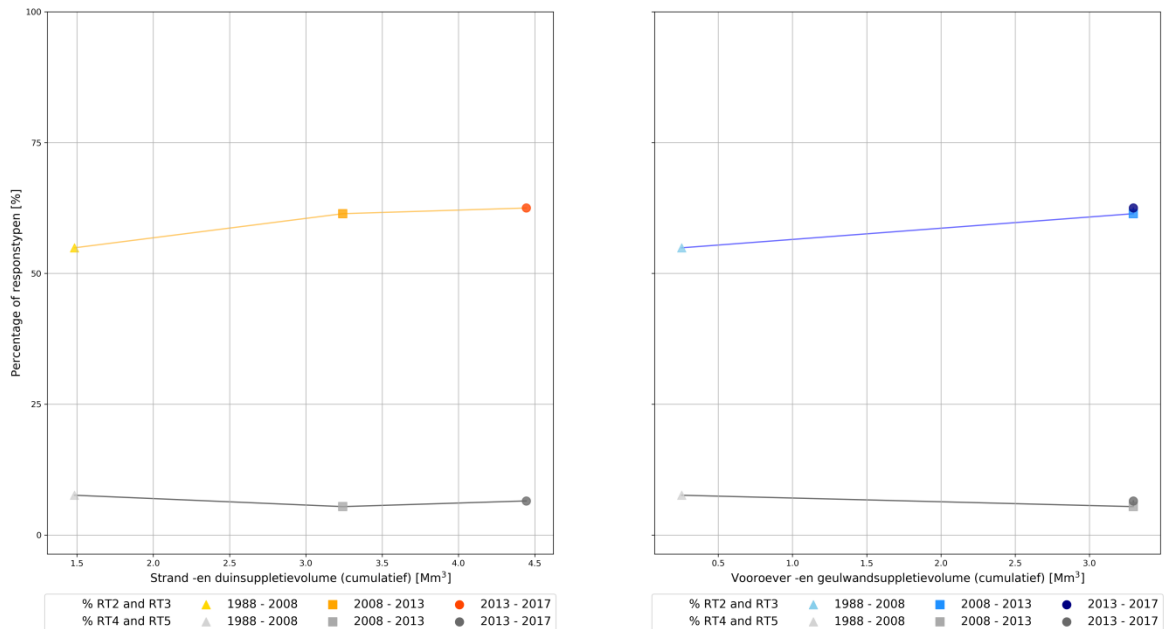


### M.3 Dynamiek van de zeereep versus suppletievolumen

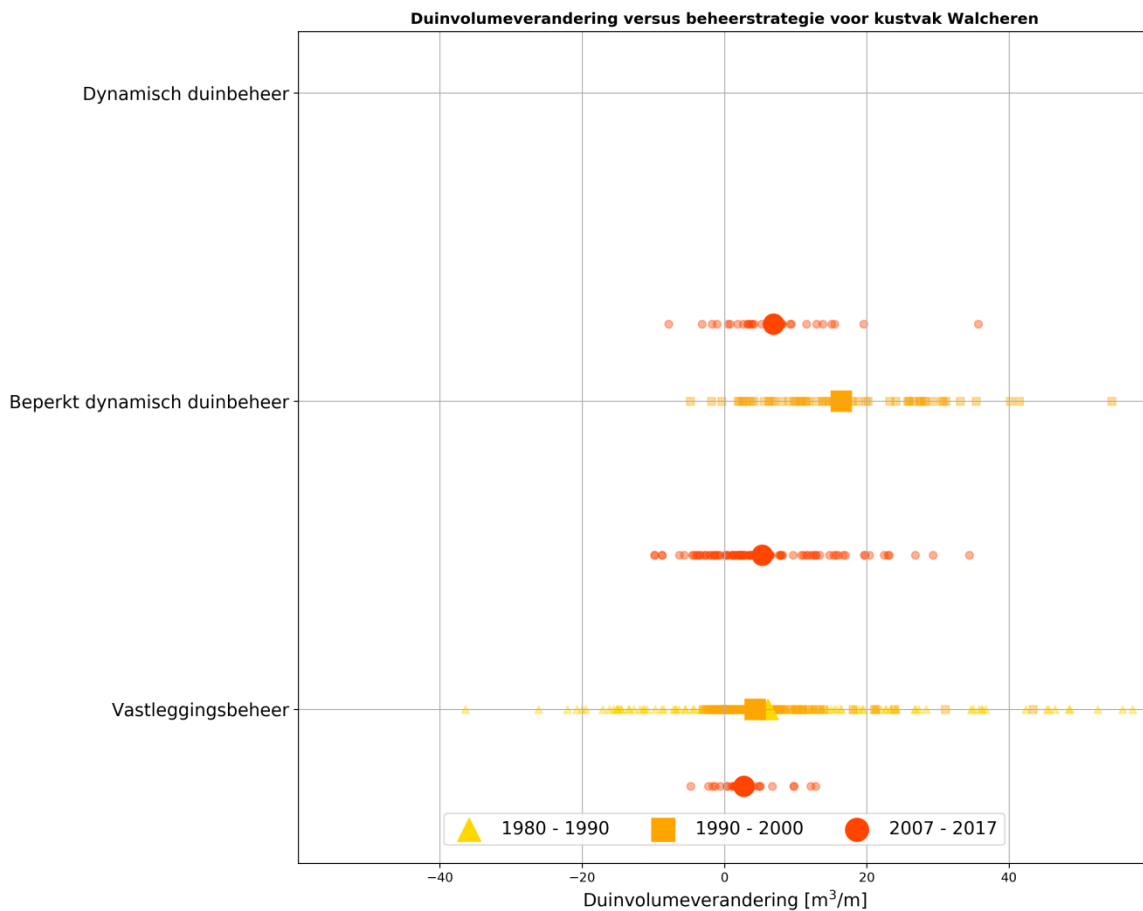
Suppletievolumen versus gem. responstype voor kustvak Walcheren



Suppletievolumen versus verdeling responstypen voor kustvak Walcheren

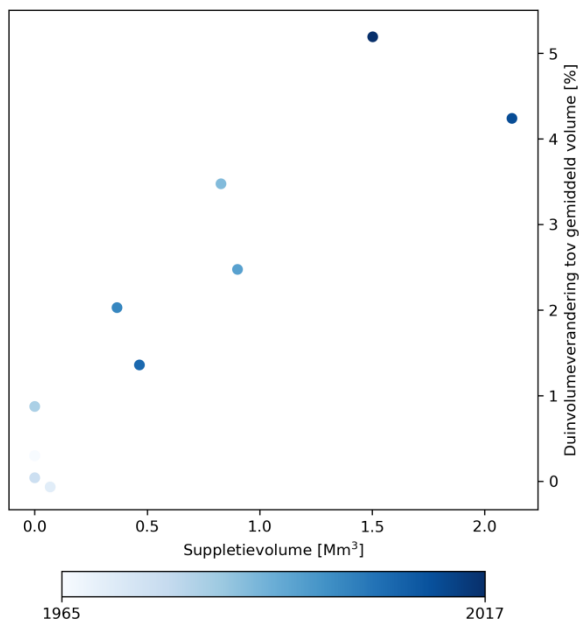
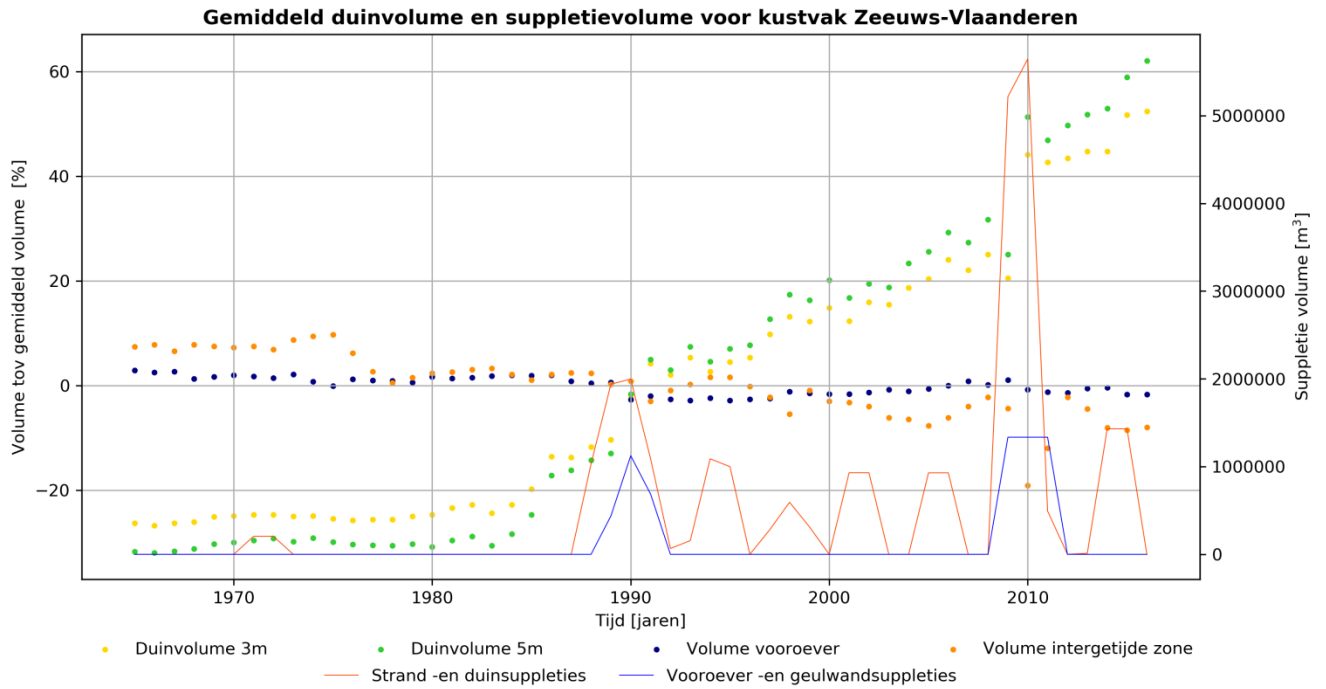


## M.4 Duinvolume verandering versus beheerstrategie

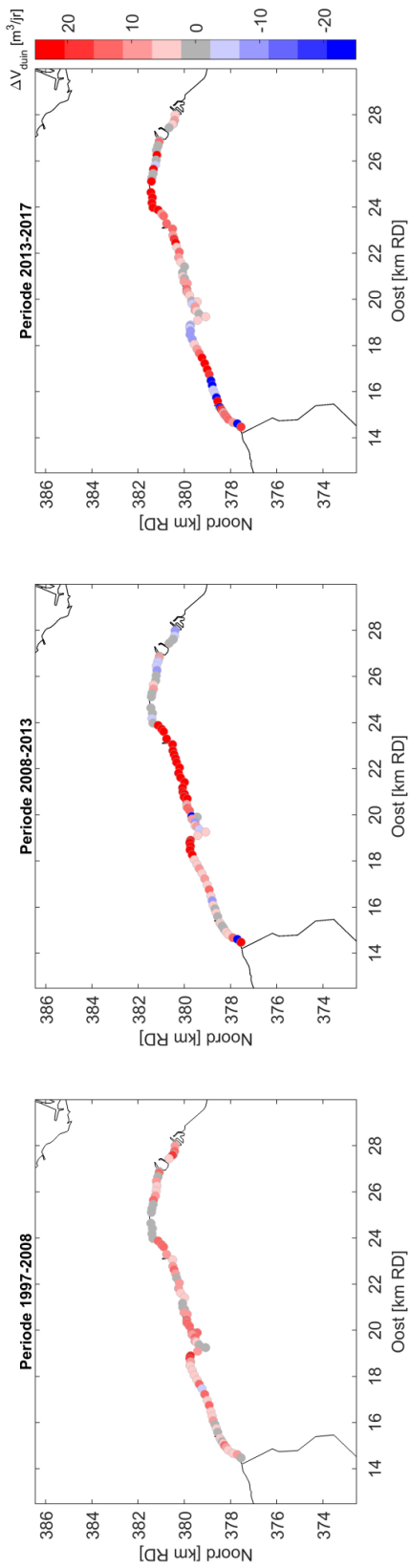


## N Bijlage – Zeeuws-Vlaanderen

### N.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep



**Trend volumeverandering boven MSL +3m**



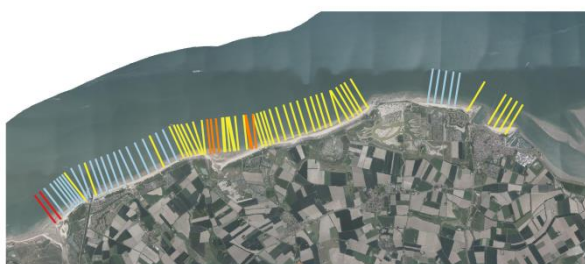
## N.2 Dynamiek van de zeereep



### Legenda

#### Dynamiek zeereep 2008

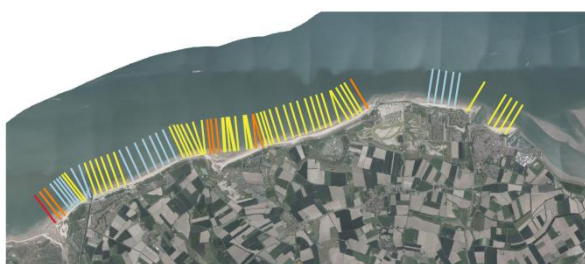
- 1 - nauwelijks dynamiek
- 2 - beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
- 3 - matig tot forse dynamiek voorzijde, ophoging zeereep
- 4 - dynamiek zeereep met beperkte doorstuiving
- 5 - hoge dynamiek zeereep met sterke doorstuiving



### Legenda

#### Dynamiek zeereep 2013

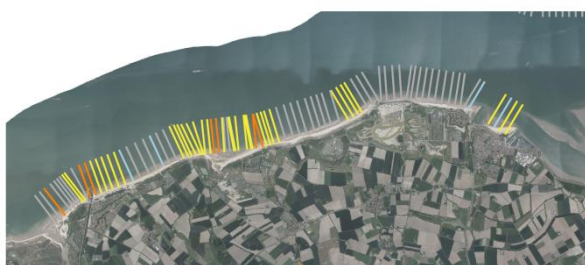
- 1 - nauwelijks dynamiek
- 2 - beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
- 3 - matig tot forse dynamiek voorzijde, ophoging zeereep
- 4 - dynamiek zeereep met beperkte doorstuiving
- 5 - hoge dynamiek zeereep met sterke doorstuiving



### Legenda

#### Dynamiek zeereep 2017

- 1 - nauwelijks dynamiek
- 2 - beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
- 3 - matig tot forse dynamiek voorzijde, ophoging zeereep
- 4 - dynamiek zeereep met beperkte doorstuiving
- 5 - hoge dynamiek zeereep met sterke doorstuiving



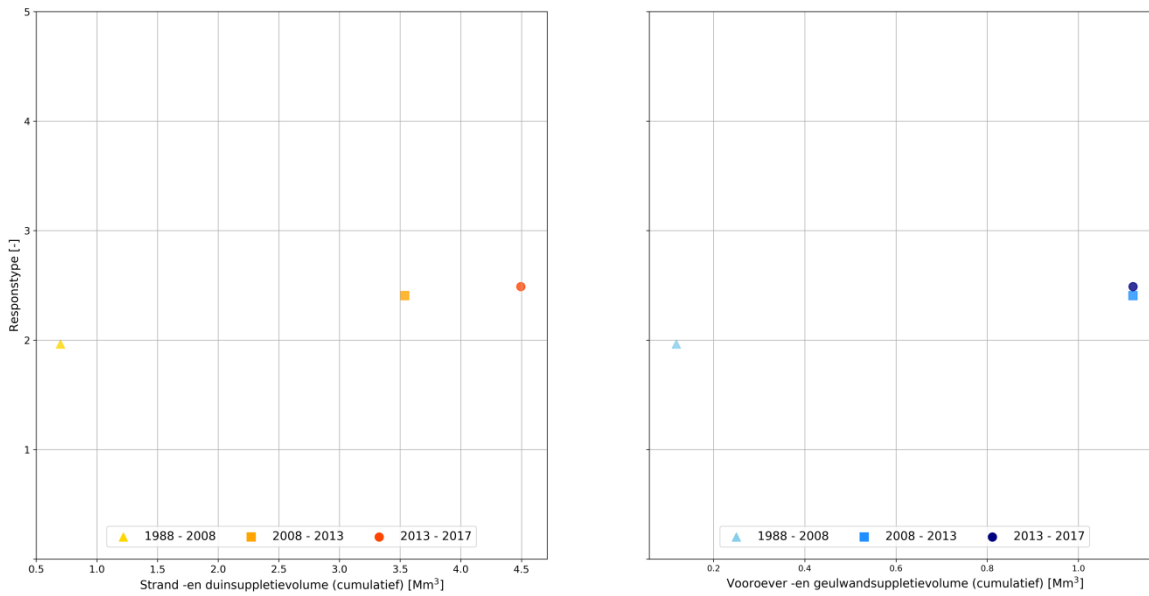
### Legenda

#### Verandering dynamiek zeereep 2008 - 2017

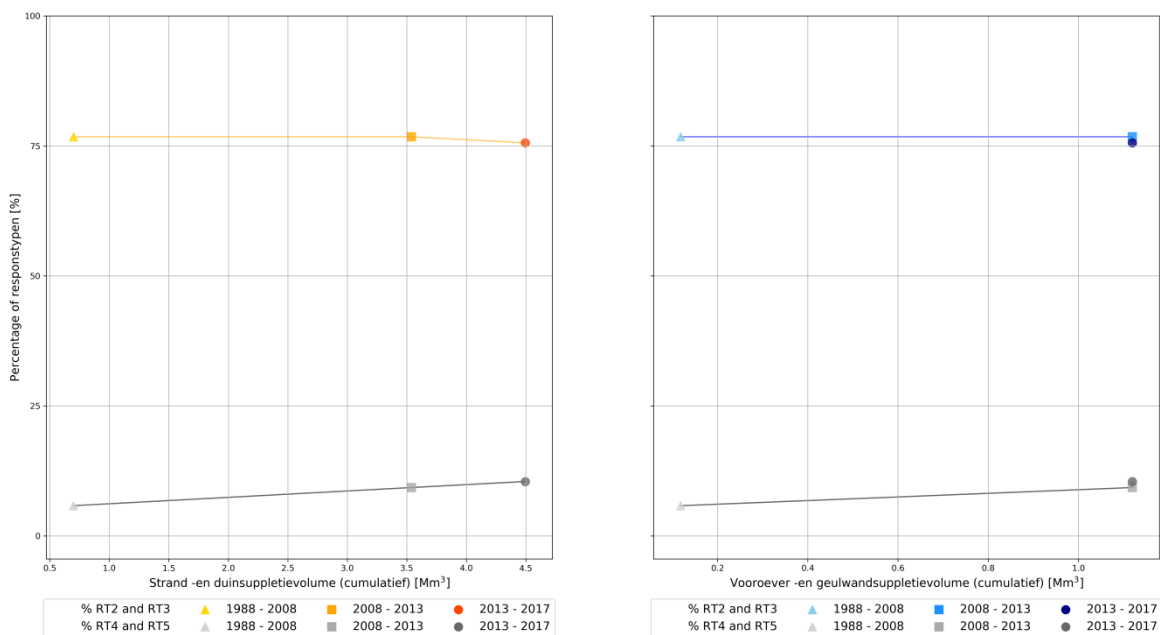
- Sterke afname dynamiek
- Afname dynamiek
- Lichte afname dynamiek
- Geen verandering
- Lichte toename dynamiek
- Toename dynamiek
- Sterke toename dynamiek

## N.3 Dynamiek van de zeereep versus suppletievolume

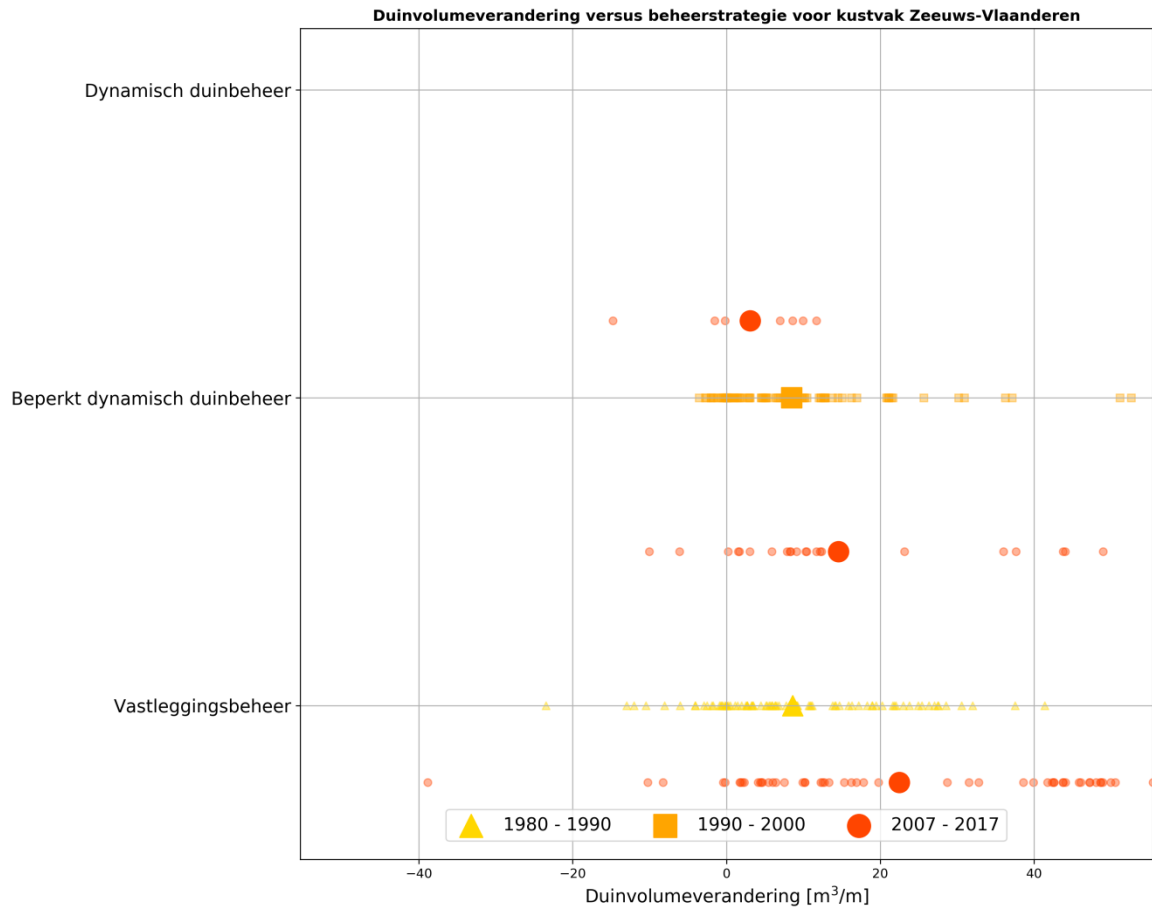
Suppletievolume versus gem. responstype voor kustvak Zeeuws-Vlaanderen

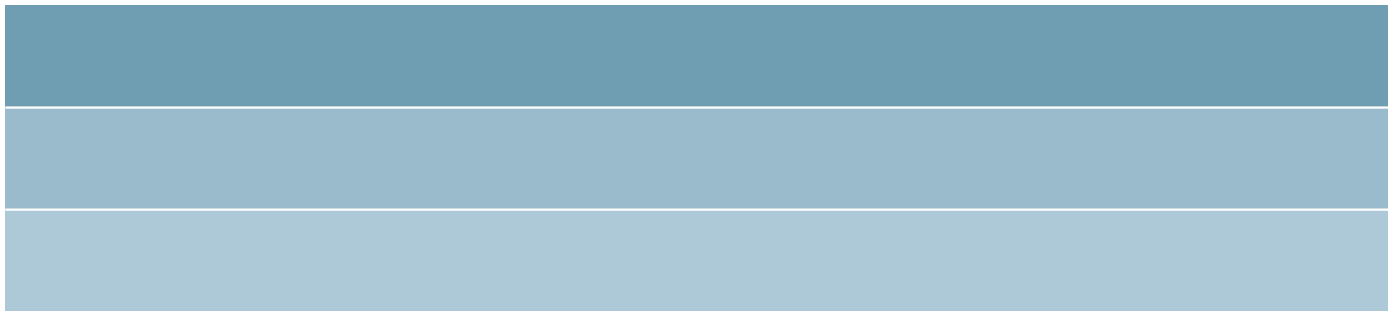


Suppletievolume versus verdeling responstypen voor kustvak Zeeuws-Vlaanderen



#### N.4 Duinvolume verandering versus beheerstrategie





**Deltares**