

**Natuurlijk Veilig -  
Landschapsvormende  
processen**

Invloed van suppleties en beheer op dynamiek in de

**concept**





# **Natuurlijk Veilig - Landschapsvormende processen**

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

Stéphanie IJff  
Bob Smits  
Vincent van Zelst  
Bas Arens



**Titel**

Natuurlijk Veilig - Landschapsvormende processen

**Opdrachtgever**

Rijkswaterstaat Water,  
Verkeer en Leefomgeving,  
UTRECHT

**Project**

11202190-001

**Kenmerk**

11202190-001-ZKS-0012

**Pagina's**

78

**Trefwoorden**

Type hier de trefwoorden

**Samenvatting**

Type hier de samenvatting

**Referenties**

Type hier de referenties

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
0.1	sep. 2018	Stéphanie IJff DELTARES - > de heer B.P. Smit s DELTARES - > de heer V. van Zel st		Marieke Eleveld			

**Status**

concept

Dit document is een concept en uitsluitend bedoeld voor discussiedoeleinden. Aan de inhoud van dit rapport kunnen noch door de opdrachtgever, noch door derden rechten worden ontleend.



## Inhoud

<b>1 Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1 Doel en aanleiding	1
1.2 Leeswijzer	4
1.3 Resultaten van Ecologisch Gericht Suppleren (EGS) I in het kort	2
1.4 Onderzoeksvraag en hypothesen	4
<b>2 Methode</b>	<b>4</b>
2.1 Dynamiek en doorstuiving	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2 Beschikbare gegevens en software	5
2.3 Betrouwbaarheid gegevens	6
2.4 Methode	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>3 Volumeveranderingen en dynamiek van de zeereep langs de Nederlandse kust</b>	<b>10</b>
3.1 Volumeveranderingen in de zeereep	10
3.2 Dynamiek van de zeereep	15
3.3 Verband tussen volumeverandering en dynamiek in de zeereep	19
<b>4 Effect van suppleties op volumeveranderingen in de zeereep</b>	<b>22</b>
4.1 Inleiding	22
4.2 Resultaten analyses	23
4.3 Conclusie	26
<b>5 Effect van suppleties op dynamiek van de zeereep</b>	<b>27</b>
5.1 Inleiding	27
5.2 Resultaten analyses	28
5.3 Conclusie	29
<b>6 Effect van zeereepbeheer op volumeveranderingen in de zeereep</b>	<b>30</b>
6.1 Inleiding	30
6.1.1 Situatie dynamisch kustbeheer vóór 1990 (Löffler and Veer 1999)	31
6.1.2 Situatie dynamisch kustbeheer in 1999 (Löffler and Veer 1999)	31
6.1.3 Situatie dynamisch kustbeheer in 2017 (Löffler and Togt 2018)	32
6.2 Resultaten analyses	33
6.3 Conclusie	34
<b>7 Effect van zeereepbeheer op dynamiek van de zeereep</b>	<b>35</b>
7.1 Inleiding	35
7.2 Resultaten analyses	35
7.3 Conclusie	36
<b>8 Discussie</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>9 Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>37</b>
<b>10 Referenties</b>	<b>39</b>
<b>11 Bijlagen</b>	<b>40</b>

<b>12 Schiermonnikoog</b>	<b>41</b>
12.1 Introductie	41
12.2 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep	41
12.3 Dynamiek van de zeereep	42
<b>13 Ameland</b>	<b>46</b>
13.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep	46
13.2 Dynamiek van de zeereep	47
<b>14 Terschelling</b>	<b>50</b>
14.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep	50
14.2 Dynamiek van de zeereep	51
<b>15 Vlieland</b>	<b>55</b>
15.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep	55
15.2 Dynamiek van de zeereep	56
<b>16 Texel</b>	<b>59</b>
16.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep	60
16.2 Dynamiek van de zeereep	61
<b>17 Noord-Holland</b>	<b>64</b>
17.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep	65
17.2 Dynamiek van de zeereep	66
<b>18 Rijnland</b>	<b>69</b>
18.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep	70
18.2 Dynamiek van de zeereep	71
<b>19 Delfland</b>	<b>74</b>
19.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep	75
19.2 Dynamiek van de zeereep	76
<b>20 Voorne en Goeree</b>	<b>79</b>
20.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep	80
20.2 Dynamiek van de zeereep	82
<b>21 Schouwen en Oosterscheldekering</b>	<b>86</b>
21.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep	87
21.2 Dynamiek van de zeereep	89
<b>22 Noord-Beverland</b>	<b>92</b>
22.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep	93
22.2 Dynamiek van de zeereep	94
<b>23 Walcheren</b>	<b>96</b>
23.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep	97
23.2 Dynamiek van de zeereep	98
<b>24 Zeeuws-Vlaanderen</b>	<b>101</b>
24.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep	102



24.2 Dynamiek van de zeereep

103



# 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.

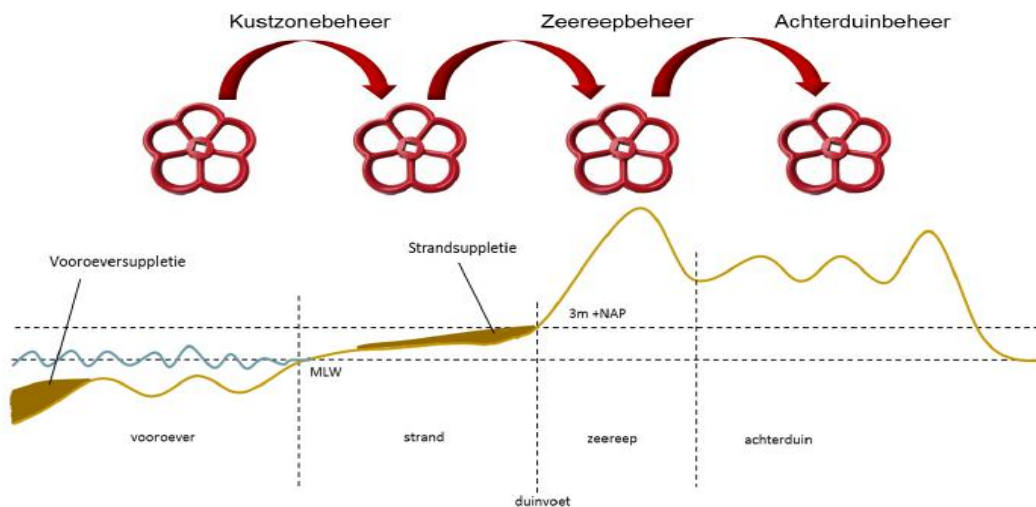
Dit rapport presenteert de resultaten van het onderdeel 'Duinen' binnen het programma Natuurlijk Veilig. Centraal in dit onderdeel van Natuurlijk Veilig staat de vraag of, en zo ja hoe, het mogelijk is om door middel van variatie in de uitvoering van suppleties en het zeereepbeheer de diversiteit van kustduinlandschappen te vergroten. De aanname daarbij is 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 verstuiwing 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 Togh 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 Programmatiese 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 Togt 2018). In diverse discussies tussen natuurbeheerders, ecologen en morfologen wordt onderkend dat het niet het doel is om maximale, maar gewenste hoeveelheden zand van het strand naar het achterduin te geleiden. Voor de ontwikkeling van witte duinen (Habitattype (H) 2120) is veel stuivend zand nodig, terwijl grijze duinen (H2130) gebaat zijn bij weinig zand en een lichte tot matige overstuiving. Daarnaast kan zand bijdragen aan de ophoging van achterliggende duinen dat leidt tot een robuustere en veiligere kust.

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 (Figuur 1.1). Daarbij gaat het vooral om de grotere en langetermijneffecten van suppleren en de resulterende doorstuiving naar het achterduin. 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. IJff 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 1994; 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. De Nederlandse zeereep reageert op dynamisch kustbeheer in de vorm van vijf 'responstypen' (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. Potentie voor ontwikkeling van alle N2000 habitattypen is negatief.

Type 2: Er is vooral sprake van toegenomen dynamiek vóór de zeereep, door de ontwikkeling van embryonale duinen (H2110). 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 habitattype H2120, witte duinen. Potentie voor onderhoud van grijze duinen achter de zeereep door 'overpoedering' met zand is laag tot zeer laag. Witte duinen op de zeereep zouden zich door een afname van de dynamiek op den duur 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. Habitattype 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. Habitattype 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 verstuiving, 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 overstuiving 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 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** gaan over 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 grids (2008 en 2013) en 2x2m 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).

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 Togh 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 Togh 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 hoogtekaarten 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 betrouwbaarheid door een lagere resolutie laseraltimetriegegevens tot een minimum beperkt.

De betrouwbaarheid van de Jarkus hoogtegegevens is voldoende om flinke 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 onrealistisch 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 (Schiermonnikoog, Goeree en Schouwen) 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.
- 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 habitattype 2130 (Grijs duin), niet goed worden bepaald, terwijl het over langere periode wel kan leiden tot een noemenswaardige volumeafname in de zeereep.

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. Op deze manier wordt rekening gehouden met de betrouwbaarheid van de gegevens en zijn fouten die door onzekerheden worden veroorzaakt gering.

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 Togt 2018) is wel voor de gehele Nederlandse kust informatie beschikbaar over het type beheer en de doelen van dit beheer.

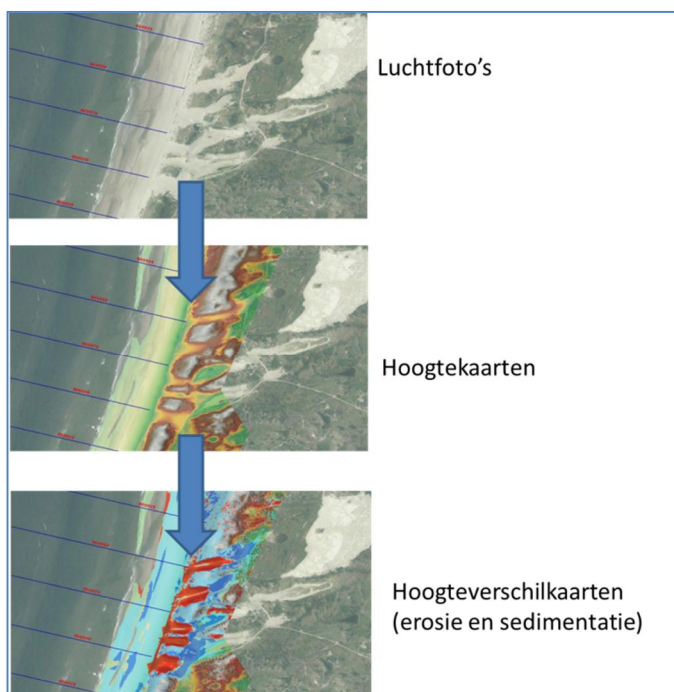
## 2.3 Analyses

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) Dynamiek beperkt tot embryonale duinen, geen doorstuiving</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sedimentatie vóór de zeereep</li> <li>• Aanwezigheid en/of ontwikkeling van embryonale duinen</li> <li>• Evt. lichte sedimentatie op de kruin van de zeereep</li> <li>• Geen sedimentatie achter de zeereep</li> </ul>
<b>Type 3) Beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sedimentatie vóór de zeereep</li> <li>• Lichte 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>
<b>Type 5) Gekerfde zeereep met sterke doorstuiving</b>	<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)</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, hoogtekarten en hoogteverschilkaarten (o.b.v. laseraltimetriegegevens), zie Figuur 2.1. Bas Arens heeft voor EGS I al de responstypen voor de periode 1988-2008 in kaart gebracht. 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) laseraltimetriekaart beschikbaar was. De 5x5m hoogtekarte van 2013 is gebruikt voor de periode 2008-2013, en de 2x2m hoogtekarte van 2013 is gebruikt voor de periode 2013-2017. Op basis van de criteria (Tabel 2.1) is per Jarkusraai het responstype bepaald. Met de hoogteverschilkaarten is het aantal cm sedimentatie en erosie bepaald, en met een combinatie van de hoogtekarte 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, hoogtekarten en hoogteverschilkaarten om responstypen in kaart te brengen

Tevens is langs de gehele Nederlandse kust het zandbudget bepaald per Jarkusraai 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, conventioneel zeereepbeheer en dynamisch zeereepbeheer. 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 Togh 2018; Löffler and Veer 1999) is per Jarkusraai de beheerstrategie in de periodes <1990, 1990-1999 en 2015-2017 bepaald. Hiervoor zijn de categorieën aangehouden uit Tabel 2.2. 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 2.2 Klassen beheerstrategie uit (Löffler and Veer 1999) en (Löffler and Togt 2018) en de categorieën die worden aangehouden in dit rapport.

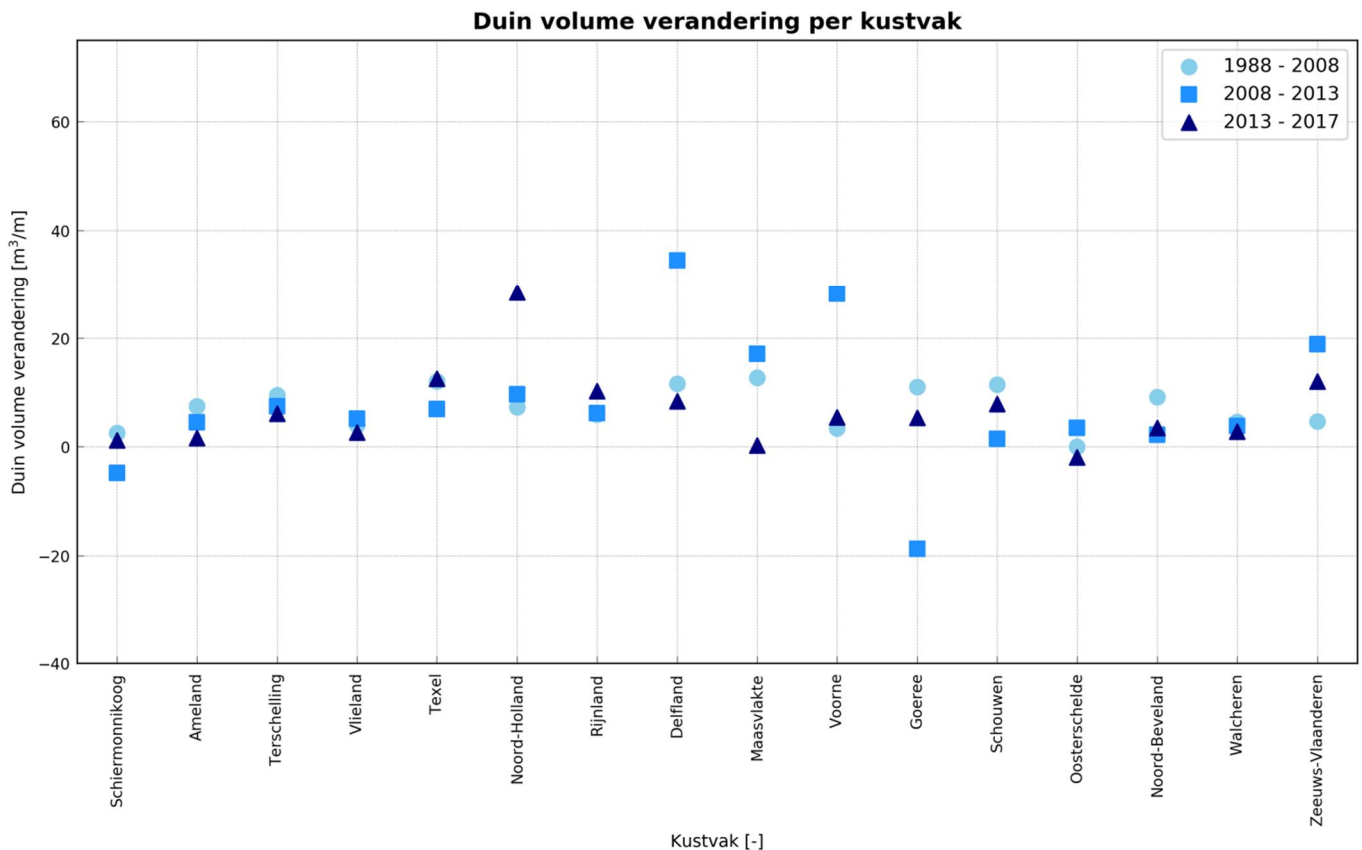
Klassen beheerstrategie <1990, 1990-1999 (Löffler and Veer 1999)	Klassen beheerstrategie 2015-2017 (Löffler and Togt 2018)	Categorie
Actief zeeereponderhoud/Vastleggings beheer	Geen instuiving	1
Incidenteel zeeereponderhoud/Beperkt dynamisch kustbeheer	Instuiving alleen zeeereep	2
Geen zeeereponderhoud/Dynamisch kustbeheer	Instuiving van en voorbij de zeeereep	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. 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.

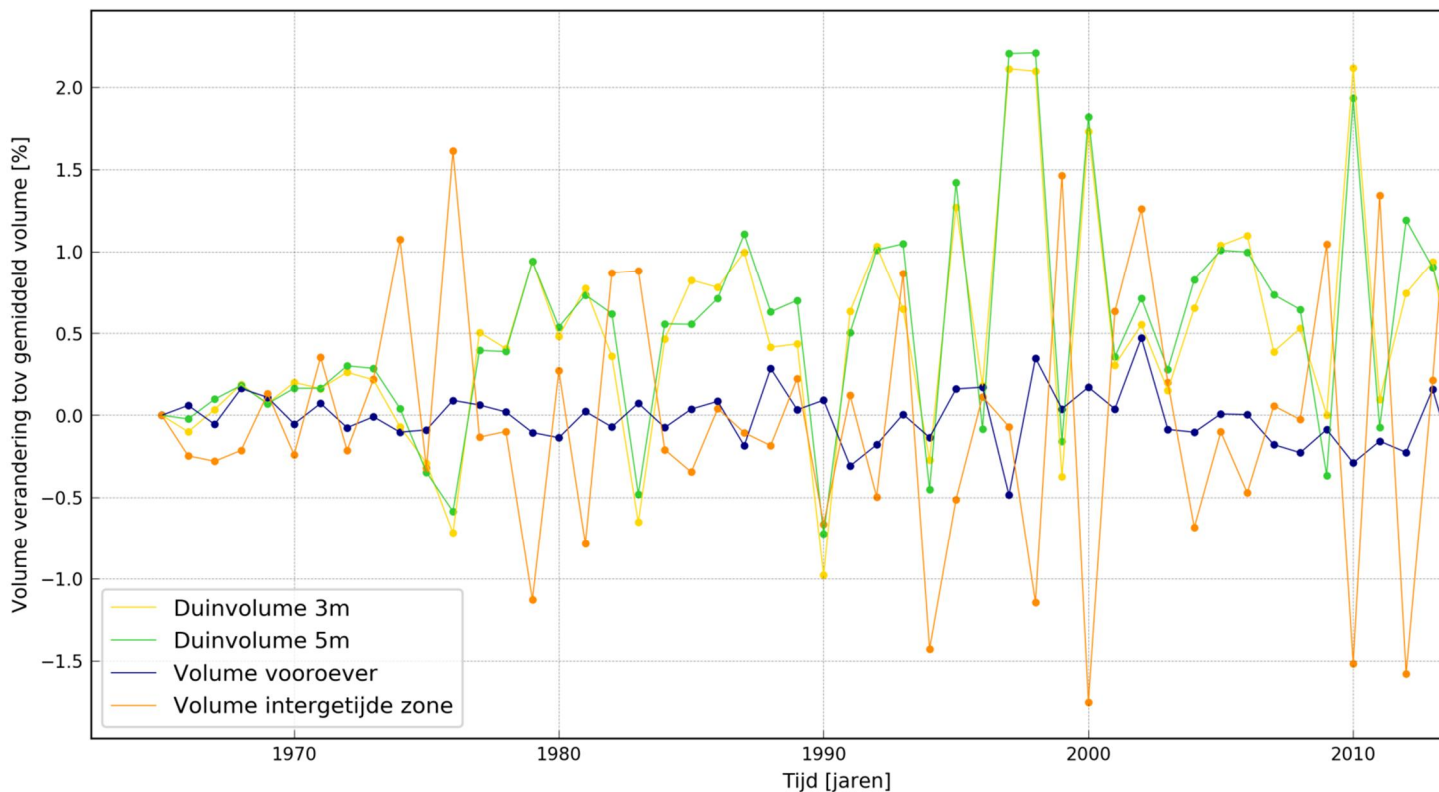
In dit onderzoek is naast de volumeverandering van de zeereep, ook de volumeverandering van de vooroever, intergetijdzone en het strand bepaald. Uit (Arens et al. 2010) blijkt dat er verschillende combinaties mogelijk zijn tussen zandbudgetten van de vooroever, het strand en de zeereep (Tabel 3.1). Hoewel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

In Figuur 3.2 worden de relatieve volumeveranderingen in de zeereep (berekend met een duinvoet van 3m en 5m) vergeleken met de volumeveranderingen van de vooroever en intergetijdzone. Het strand is in deze vergelijking niet meegenomen, omdat er geen volumeveranderingen zijn gemeten voor het strand (waarschijnlijk doordat de strandbreedte tussen de intergetijdzone en de duinvoet relatief klein is). In de figuur valt op dat de volumeverandering in de vooroever een veel kleinere variatie heeft dan dat van de zeereep of de intergetijdzone. In de jaren '90 zijn een paar hoge uitschieters te zien in het volume van de zeereep. Dit zou veroorzaakt kunnen zijn door de strandsuppleties in die periode (zie ook hoofdstuk 4). Vanaf eind jaren '90 tot nu wordt een toename in de volumeverandering van de zeereep voorafgegaan door een piek van de intergetijdzone. Dat zou kunnen wijzen op een effect van vooroeversuppleties. In Hoofdstuk 4 wordt hier verder op ingegaan.



Figuur 3.2 Volumeverandering ten opzichte van het gemiddeld volume van de zeereep (berekend met een duinvoet van 3m en 5m), de vooroever en de intergetijdzone

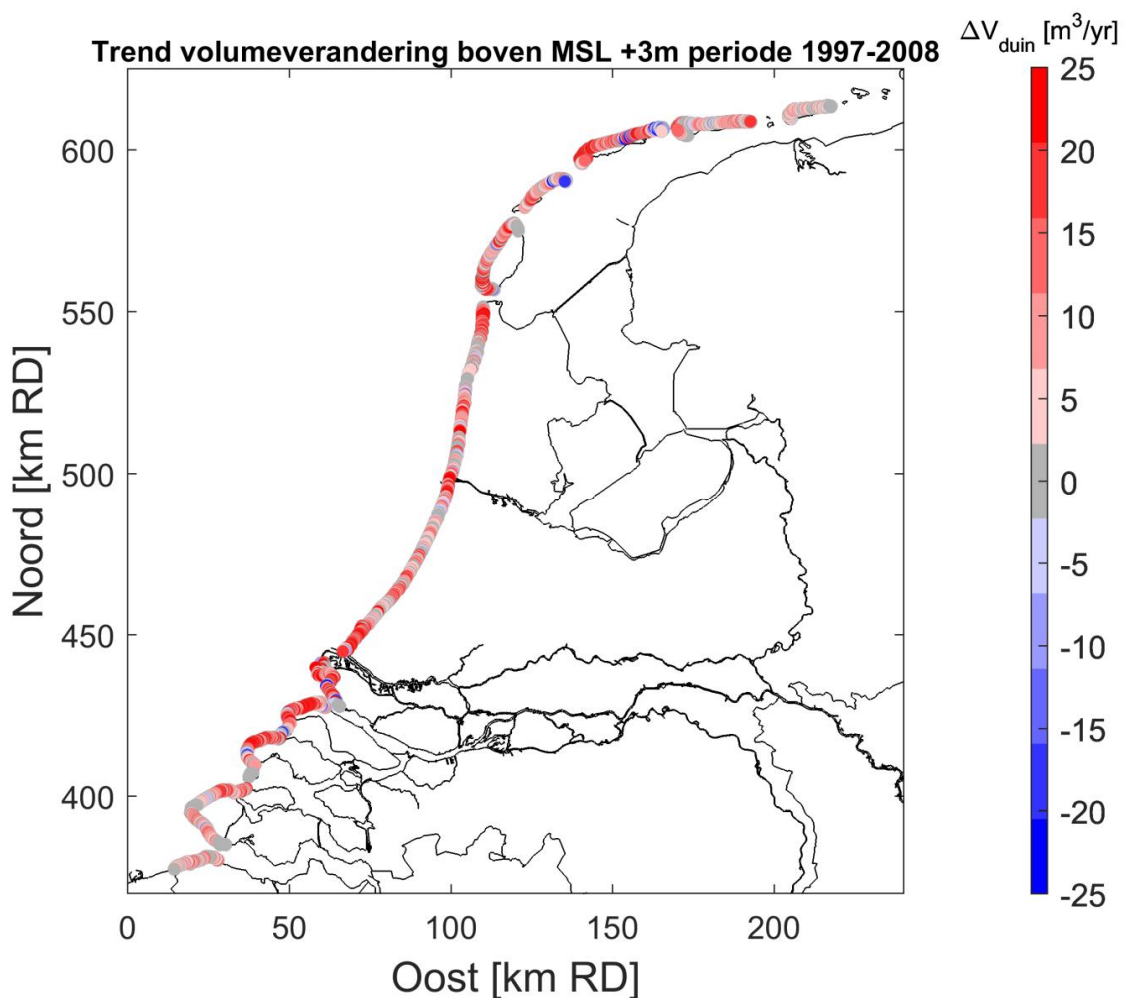
Figuur 3.3, Figuur 3.4 en Figuur 3.5 tonen de jaarlijkse trend in de volumeontwikkeling in de zeereep langs de Nederlandse kust, respectievelijk voor de periodes 1997-2008, 2008-2013 en 2013-2017. In de bijlagen staan deze per kustvak weergegeven. Hieronder worden per regio (Waddengebied, Hollandse kust 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 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 niet veel veranderd tussen de twee periodes.

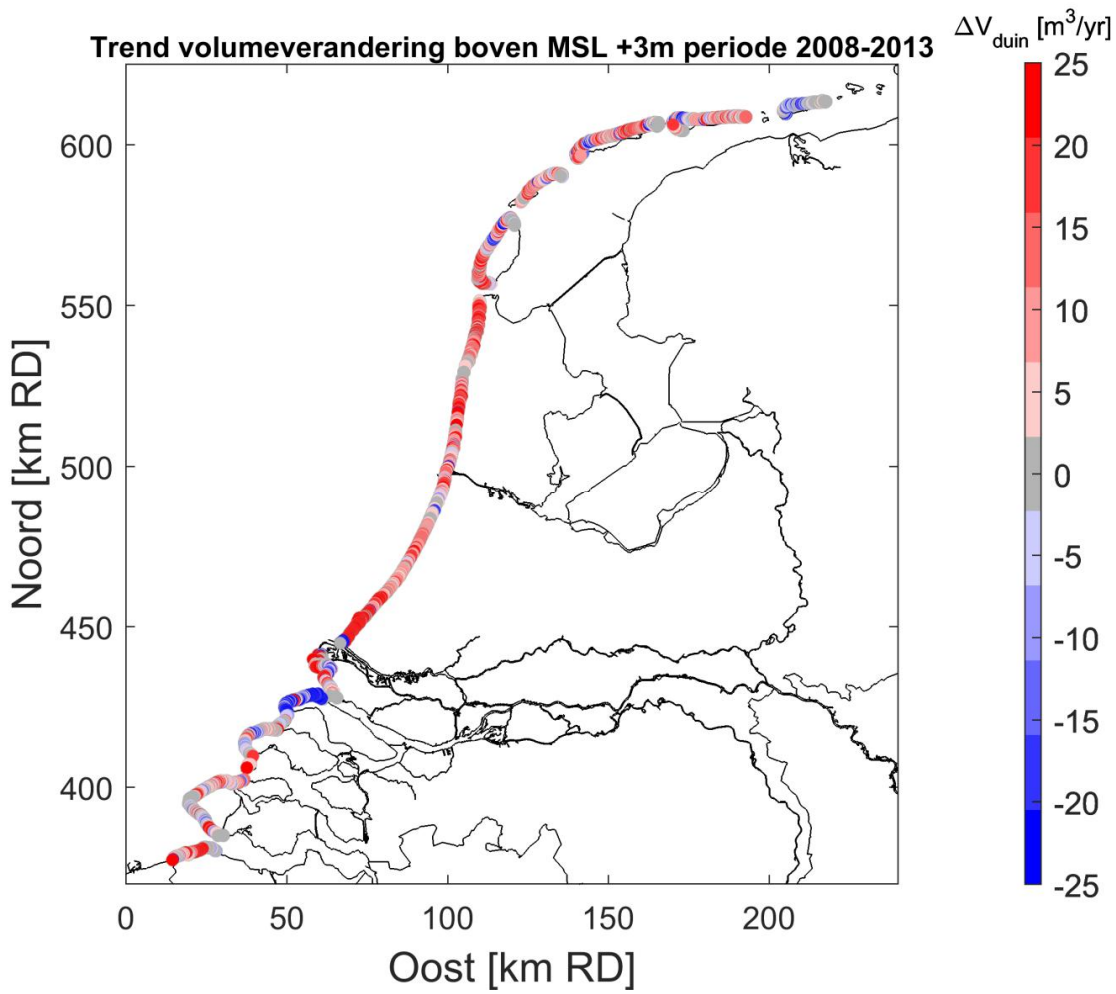
De Hollandse kust vertoont voor beide periodes over het algemeen volumetoenames. Langs de kust van Noord-Holland vonden in de periode 2008-2013 zeer grote volumetoenames plaats langs de eerste 15 km vanaf Den Helder, tussen Schoorl en Egmond (km 30-37). In de periode 2013-2017 vonden zeer grote volumetoenames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

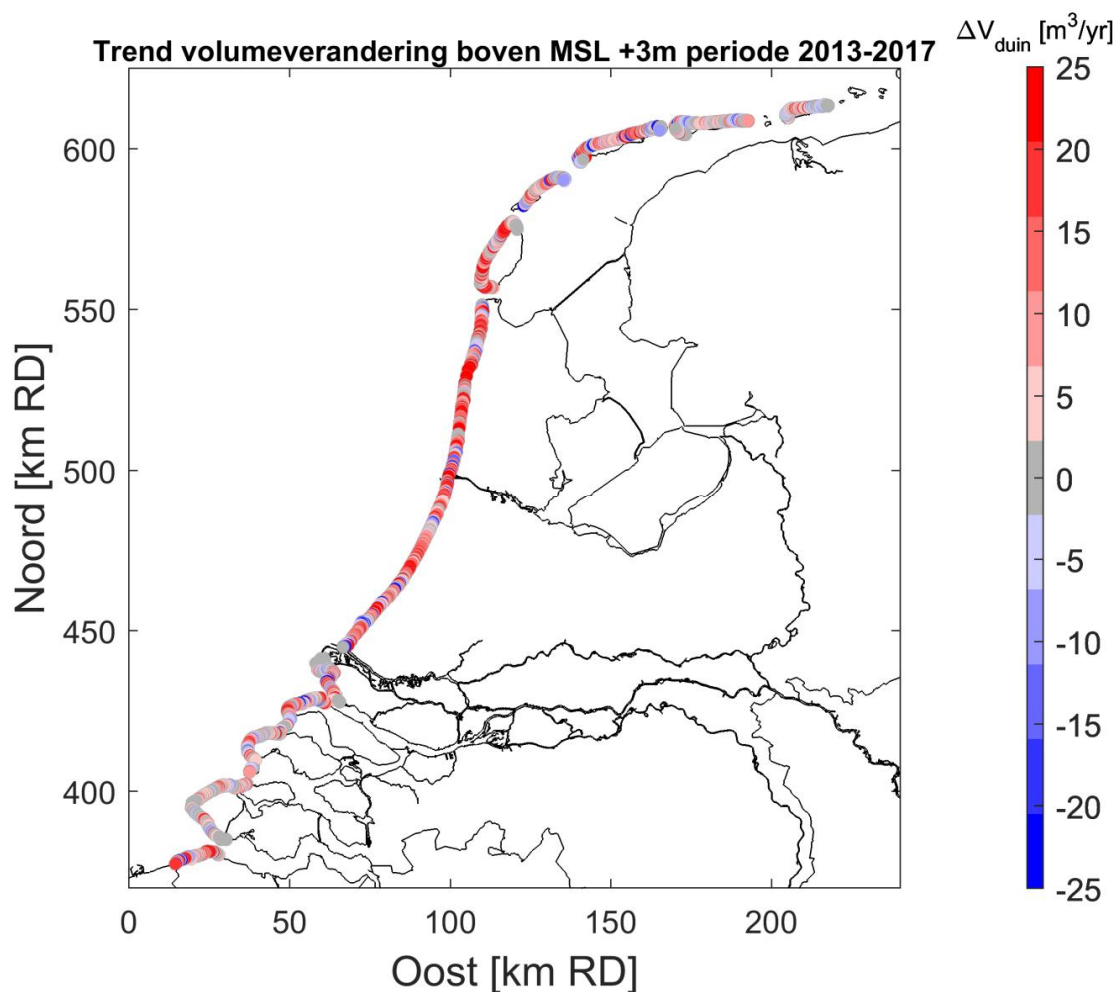


Figuur 3.3 Trend in zeereepvolume langs de Nederlandse kust voor periode 1997-2008



Figuur 3.4 Trend in zeereepvolume langs de Nederlandse kust voor periode 2008-2013



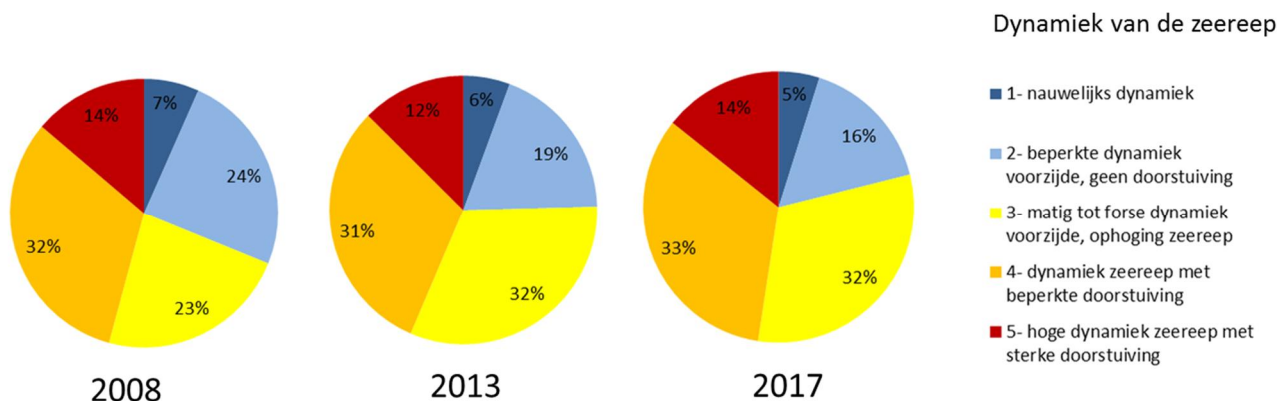


Figuur 3.5 Trend in zeereepvolume langs de Nederlandse kust voor periode 2013-2017

### 3.2 Dynamiek van de zeereep

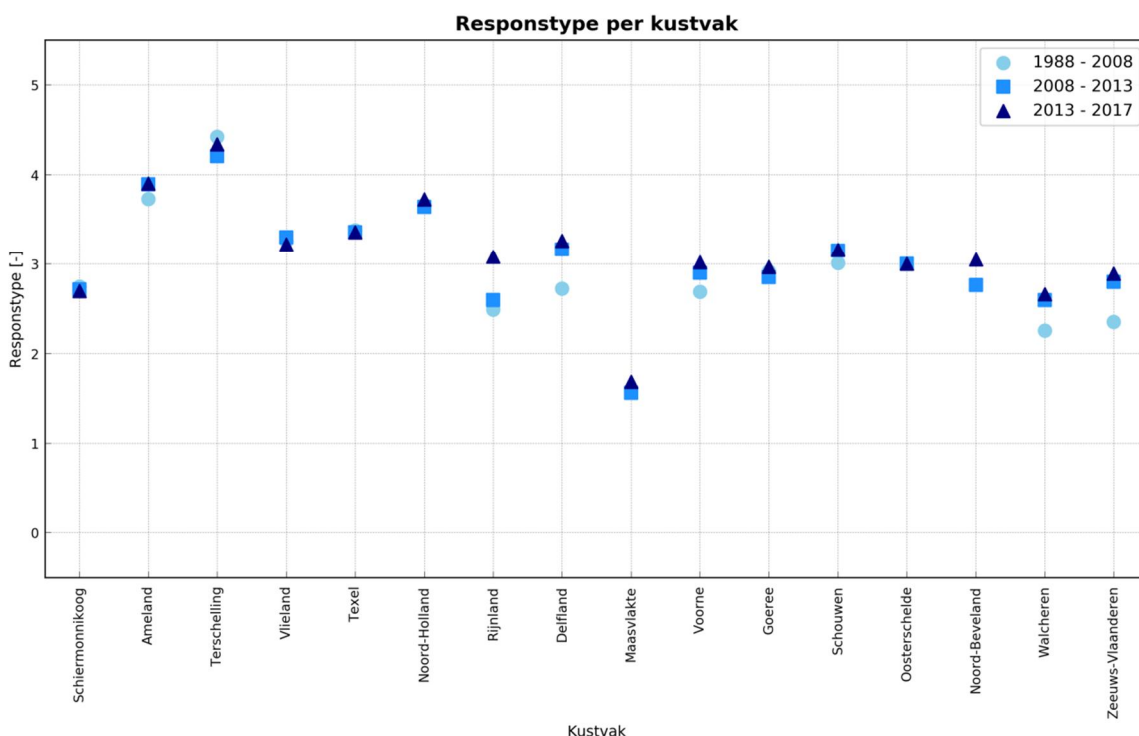
Voor dit onderzoek zijn voor de periode 2008-2013 en 2013-2017 voor de gehele Nederlandse kust de dynamiek en doorstuiving van de zeereep in kaart gebracht door middel van responstypen. Voor de vergelijking is ook de kaart uit 2008 (Arens et al. 2010) in de analyses gebruikt.

Figuur 3.6 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 (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 3.6 Mate van dynamiek van de zeereep voor de gehele Nederlandse kust in 2008, 2013 en 2017

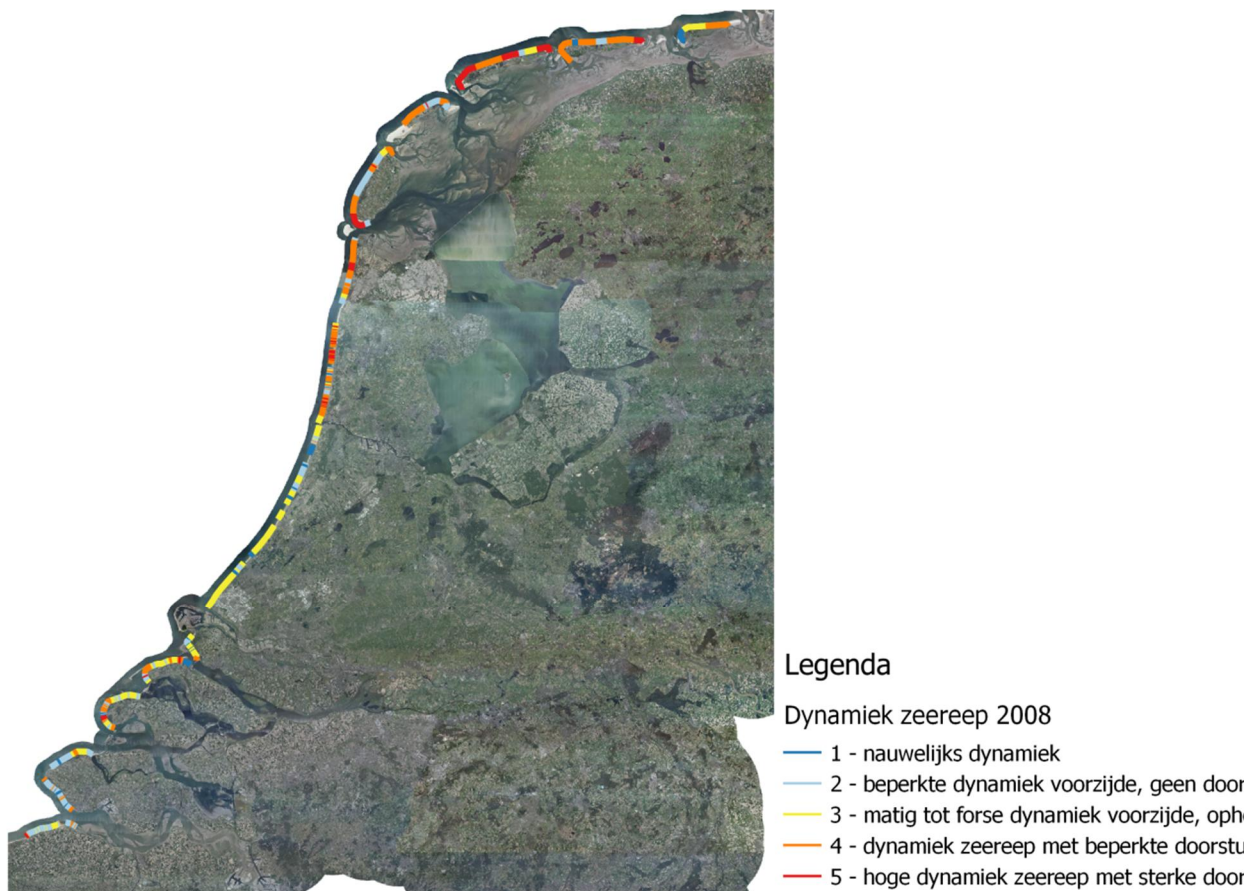
Ook wanneer per kustvak de gemiddelde waarde voor de responstypen wordt berekend (Figuur 3.7), is te zien dat de verschillen tussen de perioden vaak klein zijn. In Rijnland, Delfland, Voorne, Walcheren en Zeeuws-Vlaanderen is een toename te zien in de dynamiek. De gemiddelde dynamiek van de zeereep is 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.



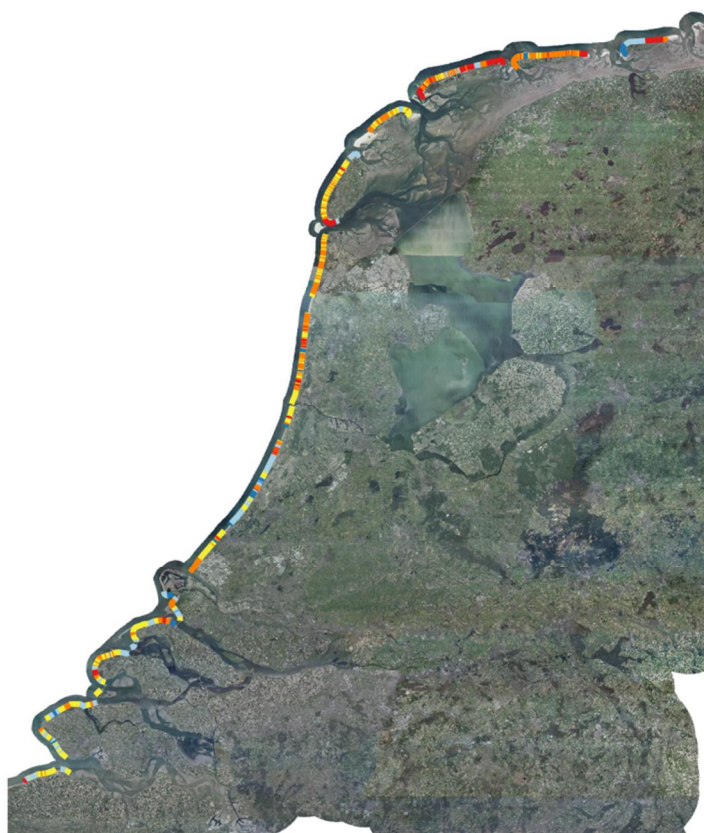
Figuur 3.7 Gemiddelde responstypen per kustvak, voor de perioden 1988-2008, 2008-2013 en 2013-2017

Figuur 3.8 t/m Figuur 3.10 tonen de verdeling van responstypen over de Nederlandse kust. In Figuur 3.11 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 3.11). 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 3.8 Dynamiek zeereep 2008 (Arens, Van Puijvelde, & Brière, 2010)

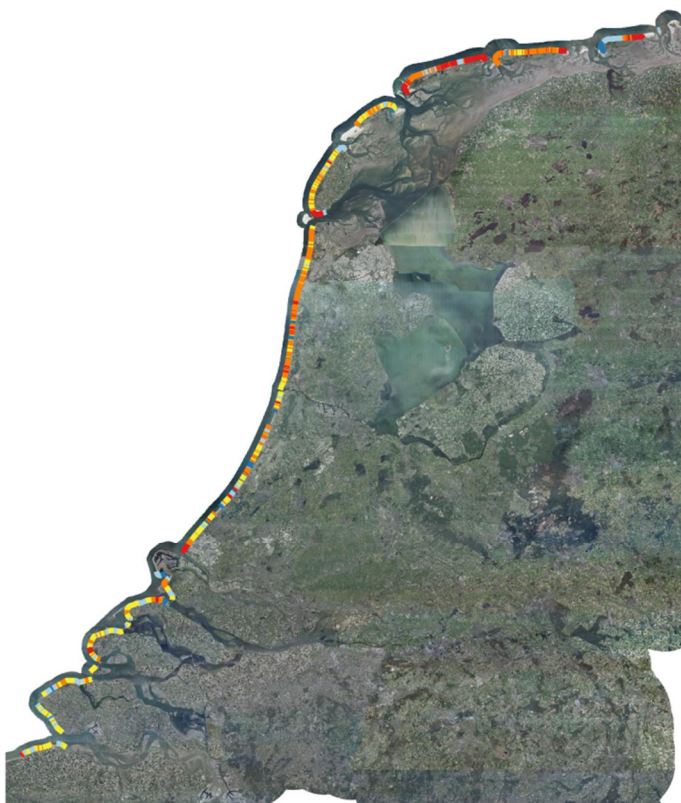


## Legenda

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 3.9 Dynamiek zeereep 2013

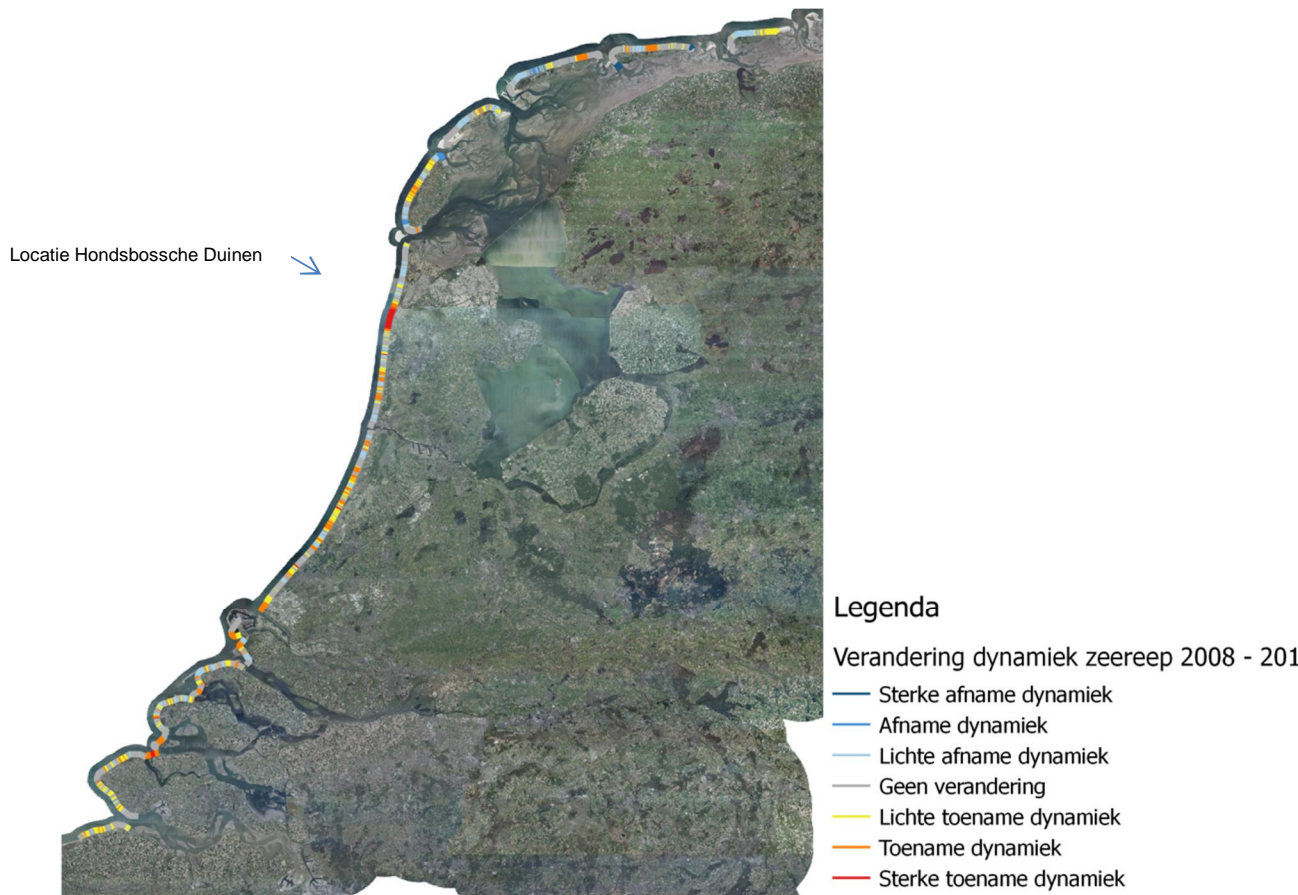


## Legenda

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 3.10 Dynamiek zeereep 2017



Figuur 3.11 Verandering in dynamiek in de periode van 2008 tot 2017

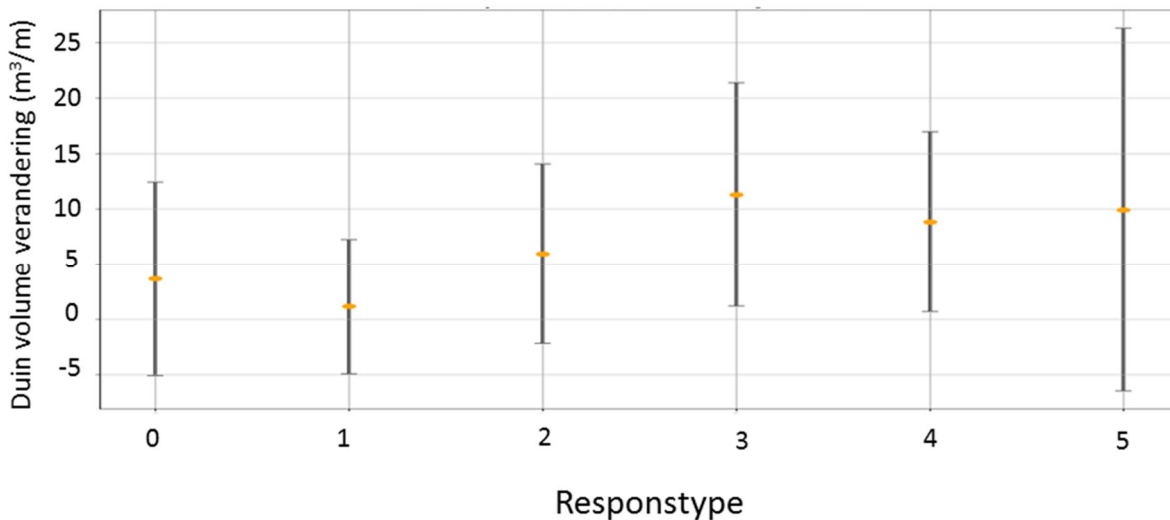
### 3.3 Verband tussen volumeverandering en dynamiek in de zeereep

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.

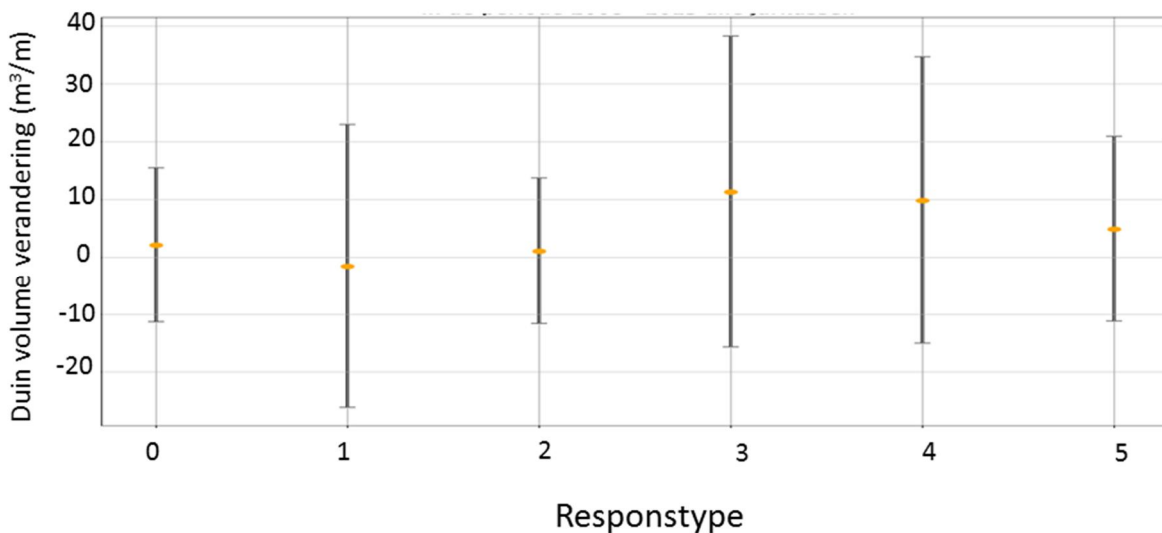
Dit roept de vraag op of er een verband is tussen veranderingen in volume en dynamiek van de zeereep. De verwachting is dat voor responstypen waarbij de zeereep aan de voorkant of bovenkant aanstuift, maar er geen doorstuiving plaats vindt (RT 2 en 3) het volume van de zeereep toeneemt. Voor de responstypen 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. Voor responstype 1 (nauwelijks dynamiek) wordt geen volumeverandering verwacht.

Figuur 3.12 t/m Figuur 3.14 geven de spreiding aan van volumeverandering uitgezet tegen de vijf responstypen, voor de perioden 1988-2008, 2008-2013 en 2013-2017 (let op dat de

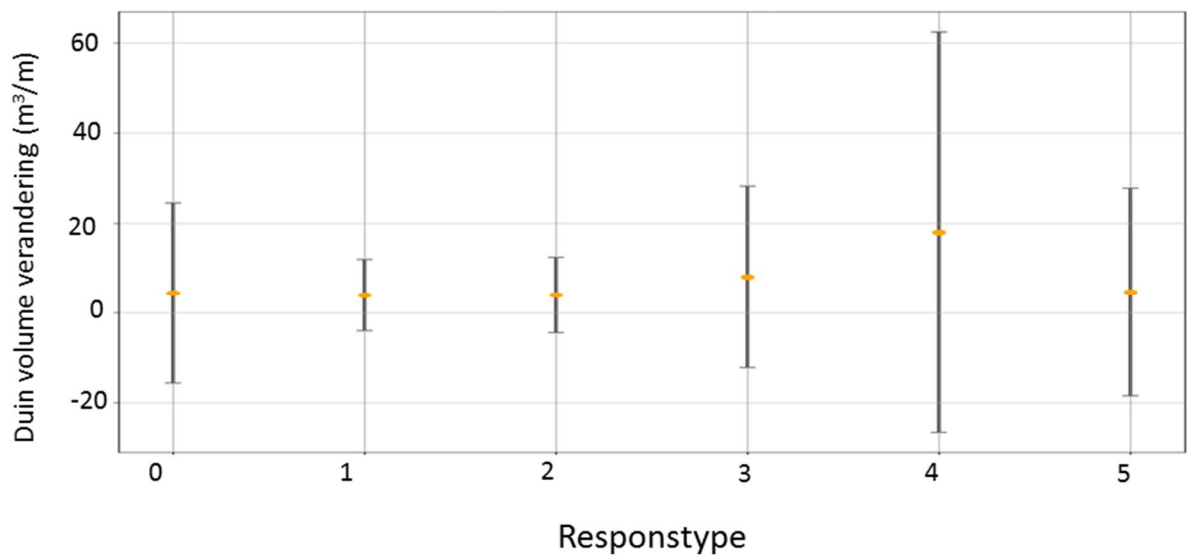
schaalverdeling verschilt per figuur). Uit de figuren wordt duidelijk dat er geen verband is tussen de mate van dynamiek en verandering in volume van de zeereep, mede door de grote mate van spreiding. In de volgende hoofdstukken zullen daarom de sturende factoren van volumeveranderingen en veranderingen in dynamiek apart van elkaar worden onderzocht.



Figuur 3.12 Gemiddelde verandering van duinvolume (m³/m) en standaarddeviatie per responstype in de periode 1988-2008 voor de hele Nederlandse kust



Figuur 3.13 Gemiddelde verandering van duinvolume (m³/m) en standaarddeviatie per responstype in de periode 2008-2013 voor de hele Nederlandse kust



Figuur 3.14 Gemiddelde verandering van duinvolume ( $m^3/m$ ) en standaarddeviatie per responstype in de periode 2013-2017 voor de hele Nederlandse kust

## 4 Effect van suppleties op volumeveranderingen in de zeereep

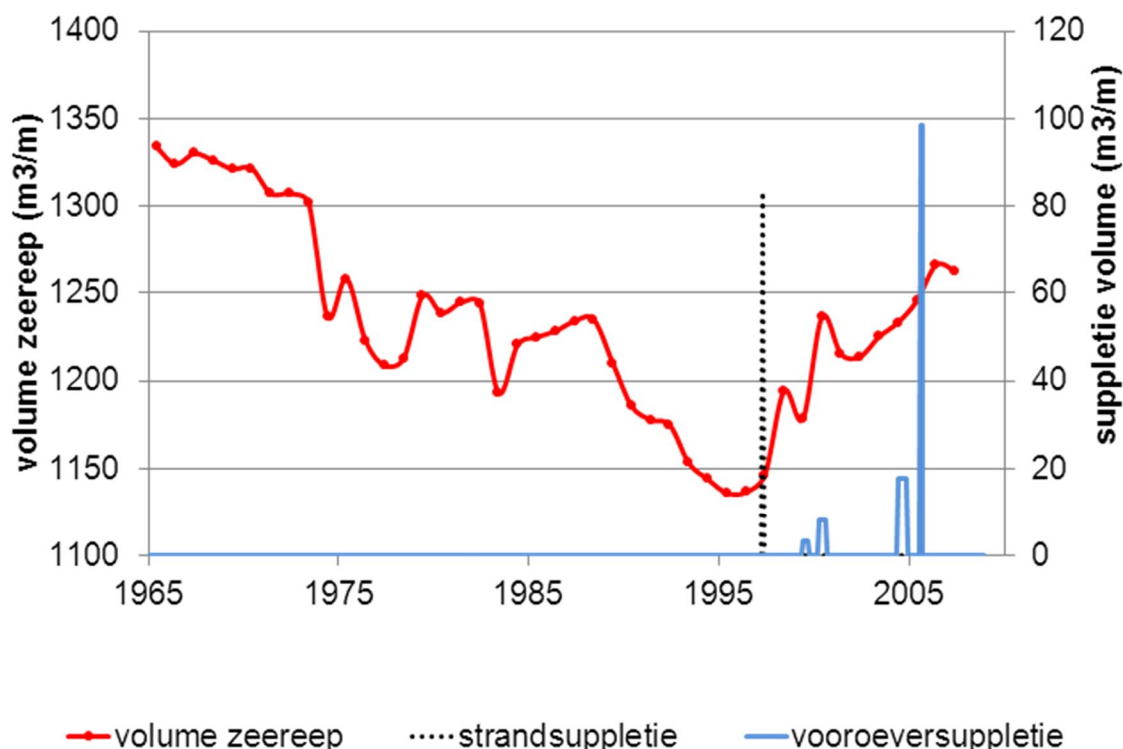
### 4.1 Inleiding

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 vooroever-suppleties in de periode 1965-2008 (ref?)

Strandsuppleties hebben vooral in de eerste 1,5 jaar een groot effect op de beschikbaarheid van zand voor verwaaiing; die beschikbaarheid wordt snel lager na die relatief korte periode (van der Wal 1999). Een beperking van de stuurknop Kustzonebeheer is dat het zand door de wind ook sterk kustparallel, dus zeer breed, verspreid kan worden, waardoor de zandaanvoer



niet noodzakelijkerwijs hoeft op te treden in de direct achter de suppletie liggende duinen. De enige gedetailleerde studie op dit vlak (van der Wal 1999) 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:

*“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.”*

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 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 strand en frequentie en volume suppleties (Oost et al. 2017).

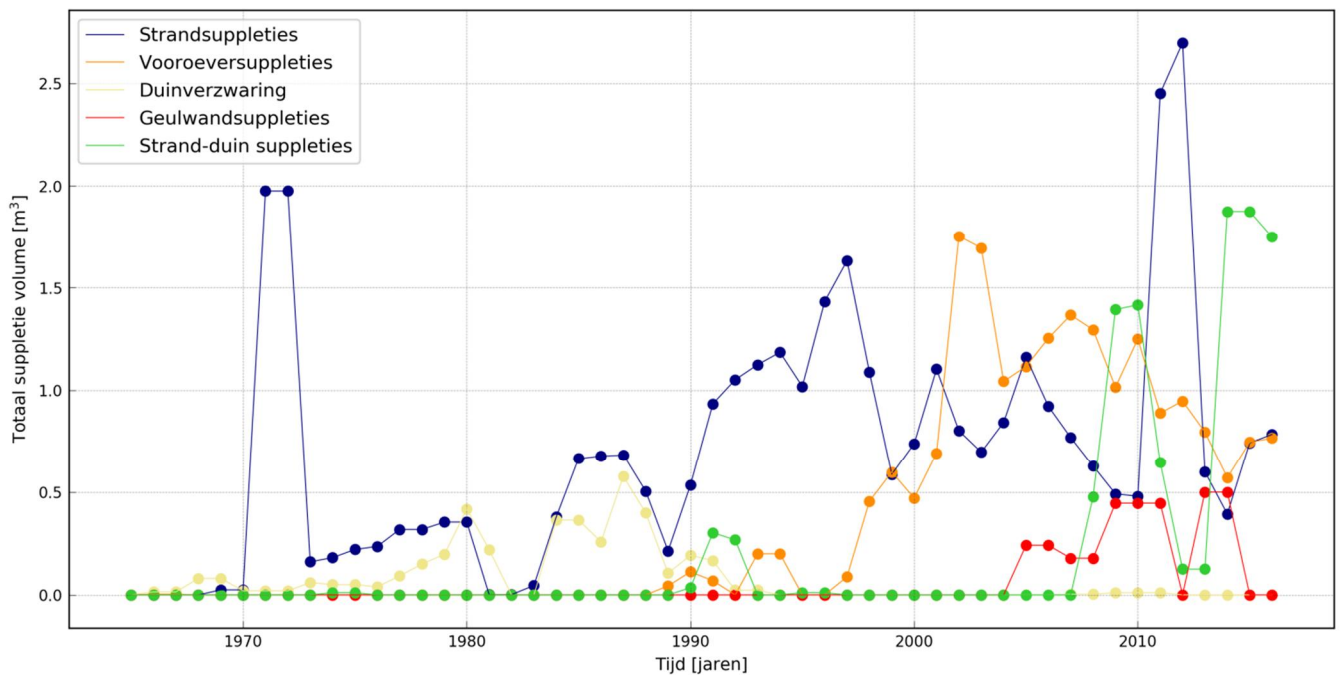
De mate waarin sediment gevoelig is voor erosie, is een belangrijke factor voor duingroei (de Groot et al. 2012). Grover sediment, inclusief schelpen en schelpdelen, blijft langer liggen en doet op den duur zandopname door de wind afnemen onder vorming van een schelpenpantser ('desert pavement') waarvan de oppervlaktebedekking met de tijd toeneemt. Gezien de korrelgroottesamenstelling van het suppletiezand (ongesorteerd) is dat een gebruikelijk proces. (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).

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

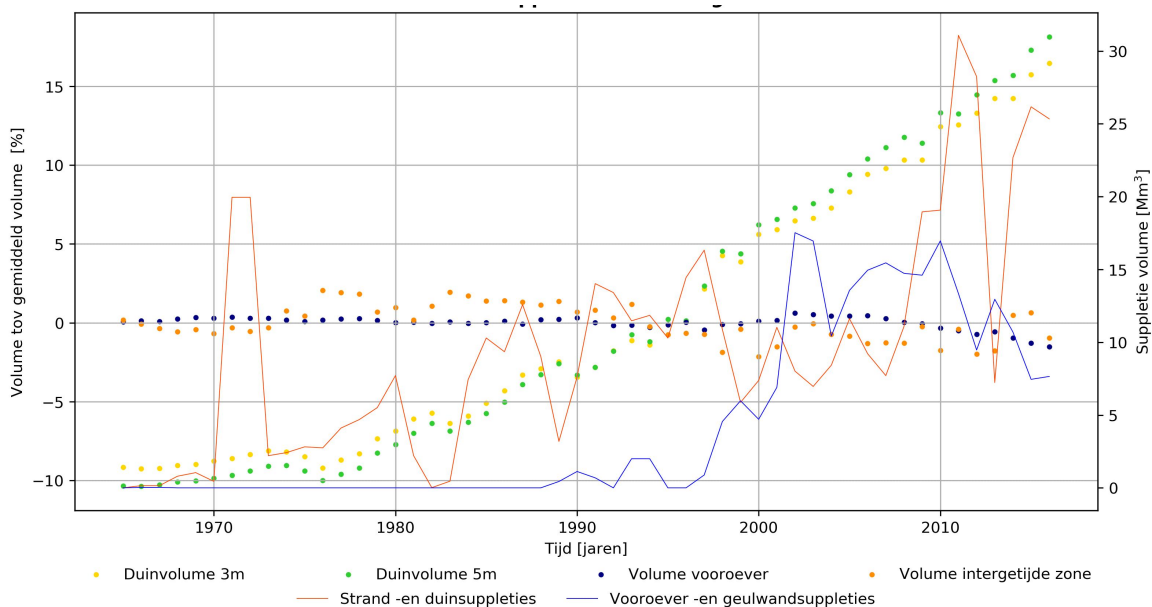
#### 4.2 Resultaten analyses

Sinds de jaren '90 is in Nederland gestart met het suppletieprogramma. Toch zijn er al sinds de jaren '70 strandsuppleties uitgevoerd. Figuur 4.2 toont de gemiddelde suppletievolumes langs de Nederlandse kust voor vijf typen suppleties: strandsuppleties, vooroeversuppleties, duinverzwaringen, geulwandsuppleties en strand-duinsuppleties. Wat direct opvalt, zijn de twee pieken in het volume aan strandsuppleties in de jaren '70 en '00. Dit zou veroorzaakt kunnen zijn door de aanleg van de Eerste Maasvlakte in de jaren '70 en de Tweede Maasvlakte in de periode 2008-2013. Vanaf eind jaren '90 neemt het volume aan vooroeversuppleties sterk toe. De strand-duinsuppletie in '13-'14 is de suppletie bij Katwijk.



Figuur 4.2 Gemiddeld suppletievolumen langs de Nederlandse kust

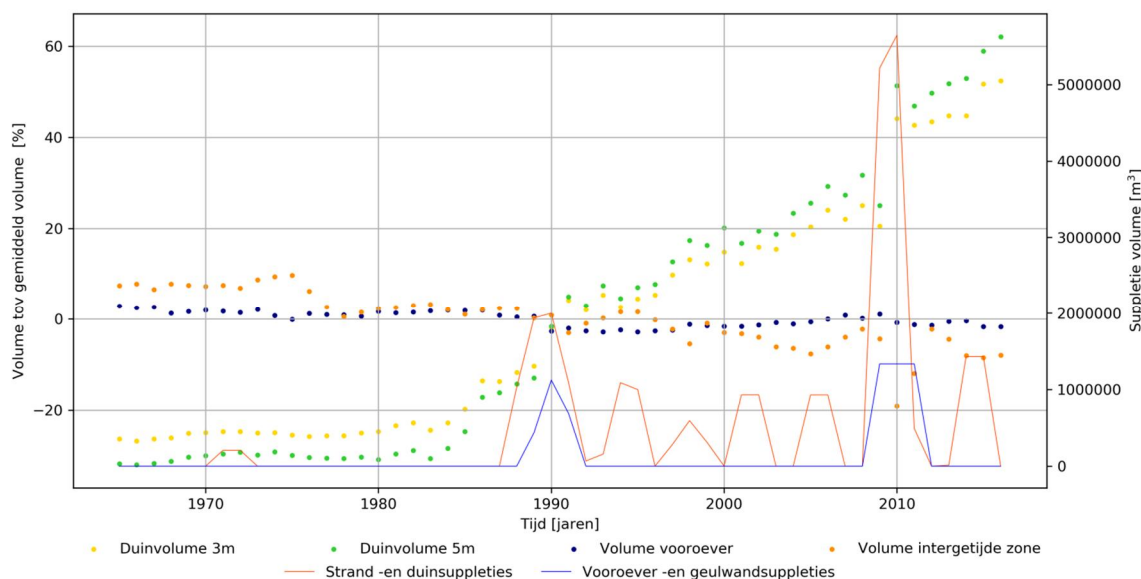
Wanneer de veranderingen in het suppletievolumen wordt vergeleken met veranderingen in het volume van de zeereep, valt op dat met het toenemen van het suppletievolumen ook het duinvolumen toeneemt. Dit ondersteunt de hypothese uit (Arens et al. 2010) dat de toename van het volume in de zeereep (deels) veroorzaakt wordt door het uitvoeren van suppleties.



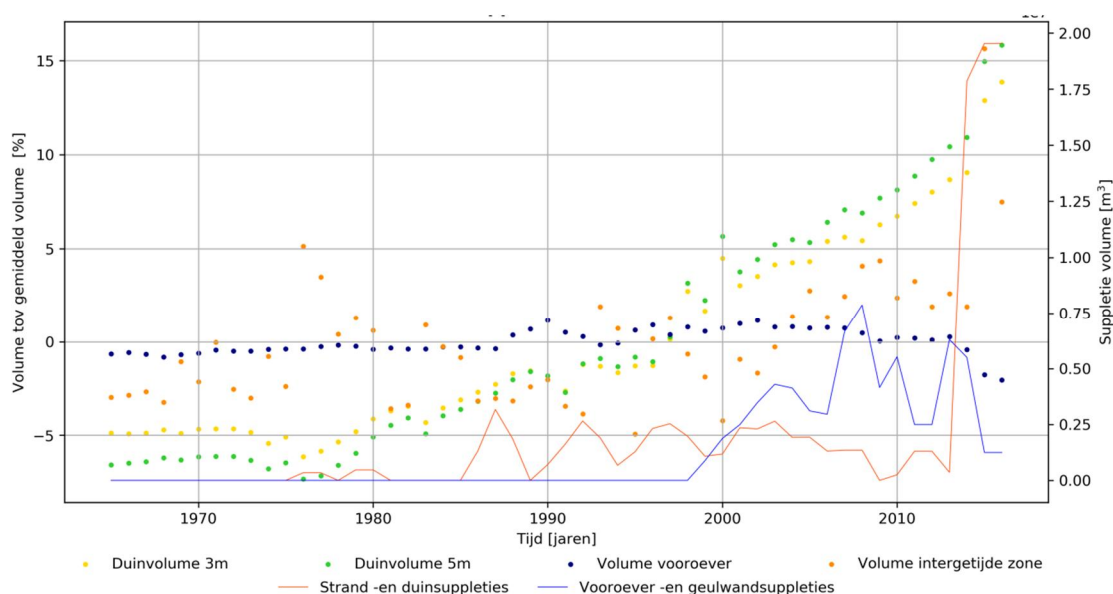
Figuur 4.3 Volumeverandering van de zeereep (berekend met een duinvoet van 3m en 5m), de vooroever en de intergetijdzone (stippellijnen) en de volumeverandering van vooroever-suppleties (inclusief geulwandsuppleties, blauwe lijn) en strand- en duinsuppleties (oranje lijn).

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

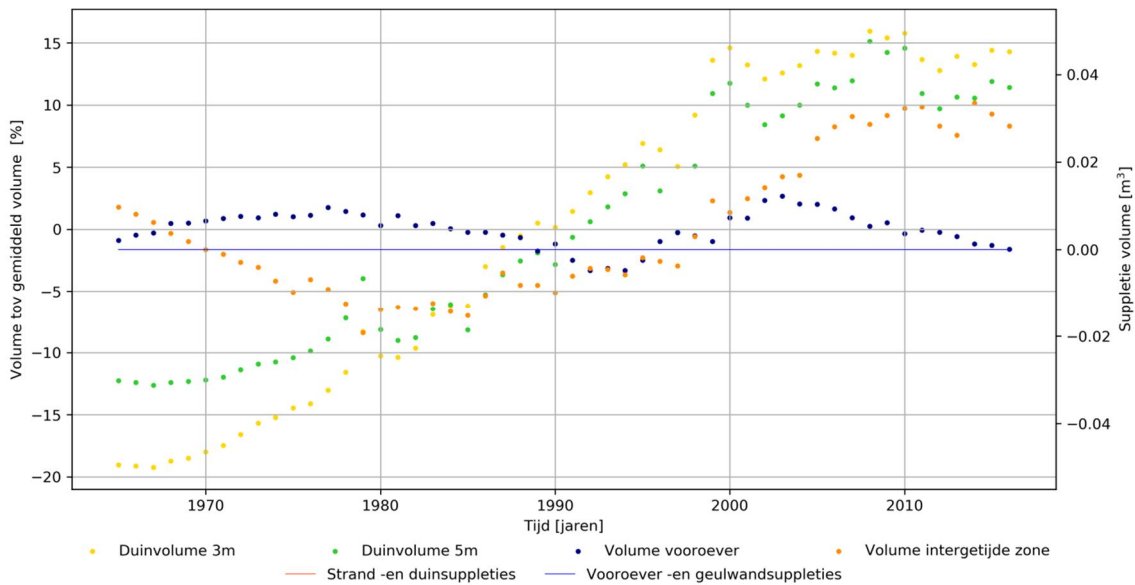
de kust van Noord-Holland lijkt dit het geval. Een toename in het duinvolume hoeft echter niet altijd veroorzaakt te worden door een suppletie. Dit is het geval voor Schiermonnikoog, waar nooit is gesuppleerd maar toch een autonoom positieve trend waar te nemen is (Figuur 4.6). Hier vinden wel 'natuurlijke' suppleties plaats in de vorm van het aanlanden van zandplaten en strandhaken (met name op de eilandkop). 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 vooroeversuppleties (inclusief geulwandsuppleties, blauwe lijn) en strand- en duinsuppleties (oranje lijn)

### 4.3 Conclusie

De hypothese dat suppleties leiden tot een volumetoename in de zeereep, wordt onderbouwd door onze resultaten. Er is echter geen verschil gevonden tussen het effect van strandsuppleties en vooroeversuppleties. Hoe sterk dit verband is, verschilt per kustvak. Sterkte 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.

## 5 Effect van suppleties op dynamiek van de zeereep

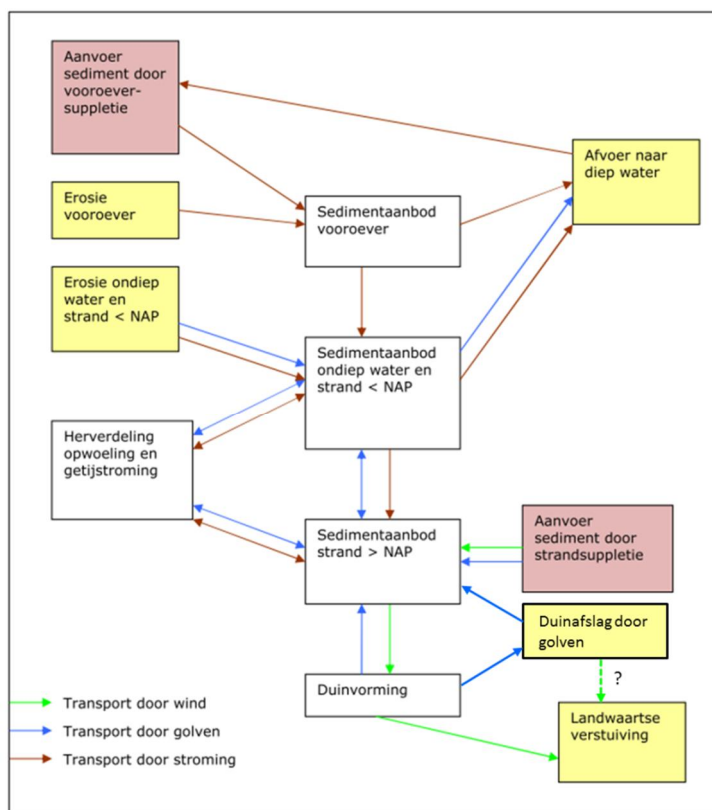
### 5.1 Inleiding

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 vegetatie hebben vaak een negatieve invloed op de vestiging van vegetatie op het strand, en daarmee ook op duinvorming ter plekke (de Groot et al. 2012). Na een stormvloed waardoor erosie ontstaat, is de daaropvolgende ontwikkeling van de zeereep een herstel van het profiel door aanstuiving tegen de duinvoet. Voor zandtransport door een zeereep heen lijkt het wenselijk dat duinvorming zeewaarts van de 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)

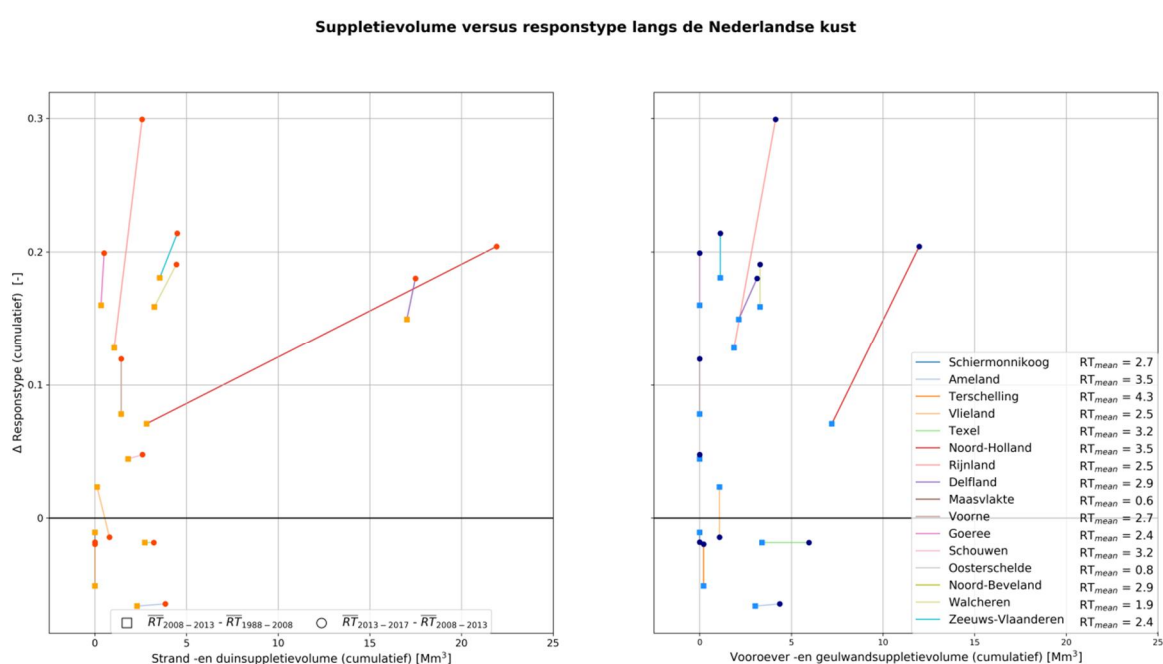
## 5.2 Resultaten analyses

Het aangebrachte zand middels suppleren kan zich door meerdere mechanismes verspreiden over de kustzone, Figuur 5.1. Over 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 duinvorming zal plaatsvinden 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 vak voor deze drie periodes. Hierin is onderscheid gemaakt tussen suppleties aangebracht bovenwater (strand –en duinsuppleties) en onderwater (vooroever –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 beschikbare 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. 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 jarkussen met hoge dynamiek (responstypen 4 en 5) zich verhoudt tot het percentage jarkussen met lagere dynamiek (responstypen 2 en 3). Voor de kustvakken Delfland, Rijnland en Noord-Holland laat een sterke stijging van een aantal jarkussen 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 jarkussen met responstypen 4 en 5 juist gedaald.



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

### 5.3 Conclusie

Voorname 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 zee. Deze stijging gaat voor de meeste vakken gepaard met een stijging van het aantal jarkusraaien met een responstype 4 of 5. Dit gaat gepaard met een daling van het aantal jarkussen met een responstype van 2 of 3. Deze observatie gaat dus tegen de hypothese in 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.

## 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. in zeerepen te kerven. Waar het gaat om het herstellen van de door de wind gedreven processen en om lange termijn ontwikkeling van een gevarieerd kustduinlandschap (>10 jaar) te bevorderen kan het dynamiseren van de zeereep wel eens de grootste potentie hebben (S.M. Arens et al. 2012). Ook kan ze veel beter stuurbaar blijken te zijn dan strandsuppleties doordat het aantal kerven en de dimensies ervan door de mens gemakkelijk kunnen worden (bij)gestuurd om daarmee behoorlijk gecontroleerd de sedimentdoorvoer naar het achterduin te bepalen. Echter, ook daar zijn een aantal die de mens niet in de hand heeft (gerangschikt van autonoom naar mogelijk beïnvloedbaar): Hydrodynamica, windklimaat, korrelgrootte, vegetatie en beheer en kerven (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. Stuiwend zand is belangrijk voor verschillende doeleinden, namelijk natuur, veiligheid, intrinsieke waarde of een combinatie daarvan (Löffler and Togh 2018). Hieronder worden kort de ontwikkelingen in het kustbeheer van Nederland weergegeven (Löffler and Togh 2018; Löffler and Veer 1999).

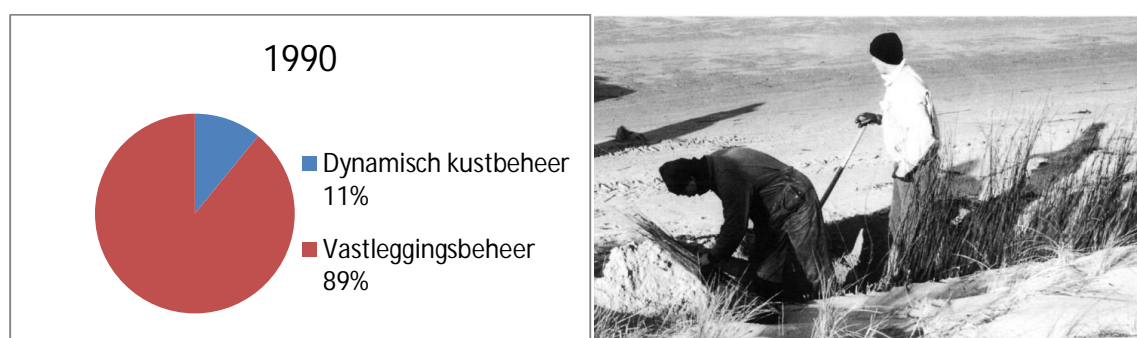


### 6.1.1 Situatie dynamisch kustbeheer vóór 1990 (Löffler and Veer 1999)

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.



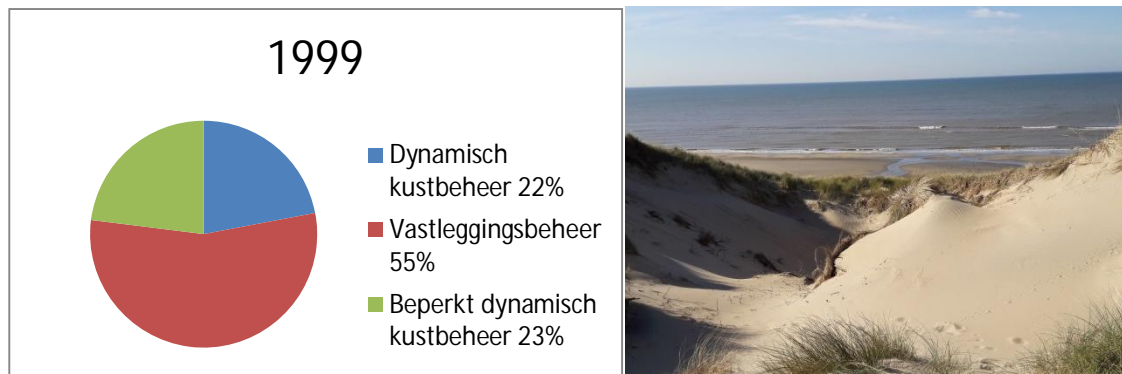
Figuur 6.1 Links: Zeereepbeheer in 1990 (Löffler and Veer 1999) Rechts: Schermzetterij (foto M. Löffler)

### 6.1.2 Situatie dynamisch kustbeheer in 1999 (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.

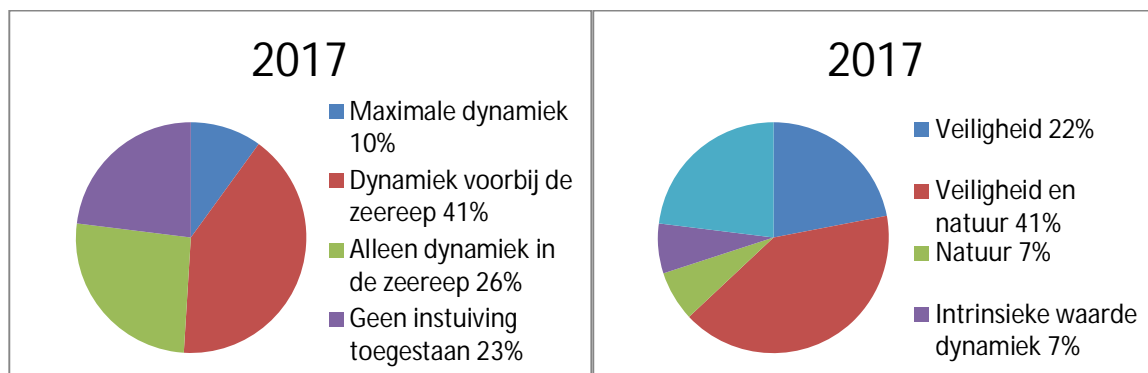


Figuur 6.2 Links: Zeereepbeheer in 1990 (Löffler and Veer 1999) Rechts: Gekerfde zeereep (foto S.D. IJff)

### 6.1.3 Situatie dynamisch kustbeheer in 2017 (Löffler and Togat 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).

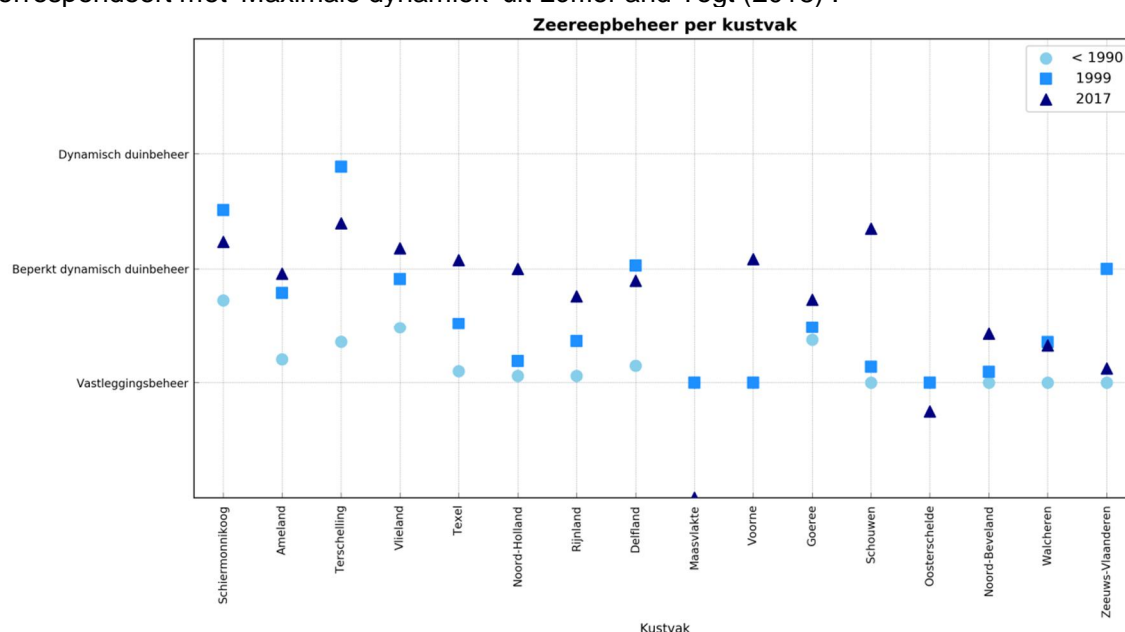
Uit de inventarisatie volgt dat dynamiek in verreweg de meeste kustdelen een dubbeldoel heeft, voor zowel veiligheid als natuur (Figuur 6.3 rechts). In kustdelen met smalle duinen is (korte termijn) veiligheid het hoofddoel van het toelaten van verstuing. Hier wordt alleen instuiving van de zeereep toegestaan, 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 Togat 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. Een andere mogelijkheid is dat dit resultaat een artefact is door de verschillende manieren van classificatie tussen (Löffler and Veer 1999) en (Löffler and Togt 2018). Om het zeereepbeheer van de verschillende periodes te vergelijken, zijn de vier zeereepbeheerclassen uit Löffler and 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 Togt (2018).



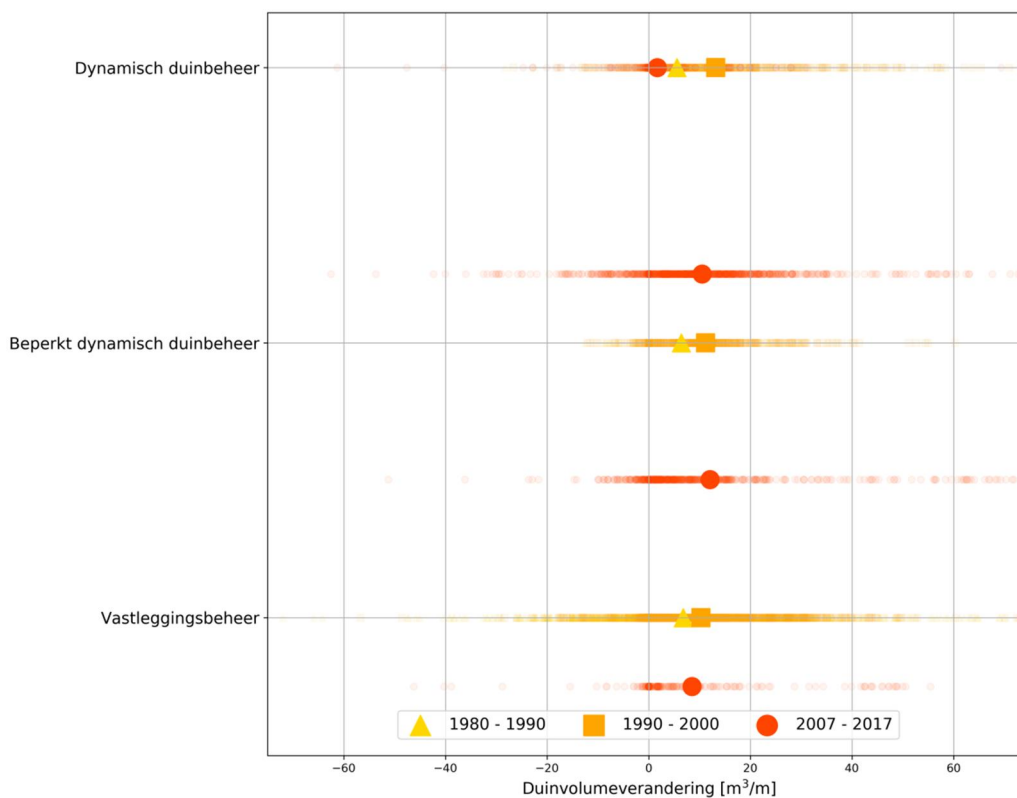
Figuur 6.4 Zeereepbeheer per kustvak, voor de perioden <1990, 1999 en 2017.

Het effect van zeereepbeheer op het volume van de zeereep langs gehele Nederlandse kust is weergegeven in Figuur 6.5. In dit 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. De resultaten voor de eerste periode laten een vergelijkbare gemiddelde 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 jarkussen 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 jarkussen 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. In andere woorden, het effect zeereepbeheer op de volumeveranderingen is tot bepaalde hoogte afhankelijk van de beschikbare hoeveelheid zand.

De laatste geanalyseerde periode, 2007-2017, is uitgezet tegen zeereepbeheer data uit Löffler and Togt (2018). De bijhorende vier klassen (zie Figuur 6.3, links), specificeren de toelaatbare mate van doorstuiving. De resultaten in Figuur 6.5 laten positief verband zien

tussen beperkt dynamisch duinbeheer (dynamiek in en voorbij de zeereep) met de volumeverandering: In jarkussen waar dynamiek in en voorbij de zeereep is toegestaan is de volumeverandering in de zeereep gemiddeld met 42% en 23% toe. Echter, de volumeverandering in de zeereep waar maximale dynamiek is toegestaan, neemt af met 80%. Deze resultaten 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) terwijl doorstuiving voorbij de zeereep waarbij zand de duin verlaat niet is toegelaten.



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

De resultaten per kustvak laten 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 jarkussen 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 jarkussen 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 in langs de Hollandse kust.

### 6.3 Conclusie

Het toelaten van beperkte mate van dynamiek heeft een positief effect op het totale duinvolume. Het toelaten van maximale dynamiek resulteert echter in een daling van het duinvolume voor de meeste kustvakken. Een uitzondering hierop is geobserveerd voor de kustvakken langs de Hollandse kust, hier zijn de grootste duinvolume stijging geobserveerd voor jarkussen waar maximale dynamiek is toegestaan.

## 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 de 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. 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 de 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.

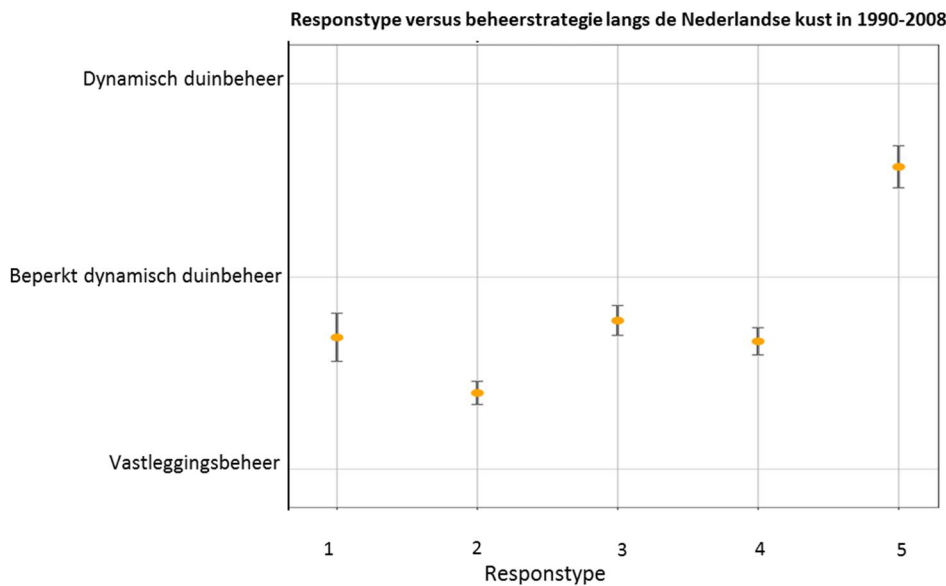
### 7.2 Resultaten analyses

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.

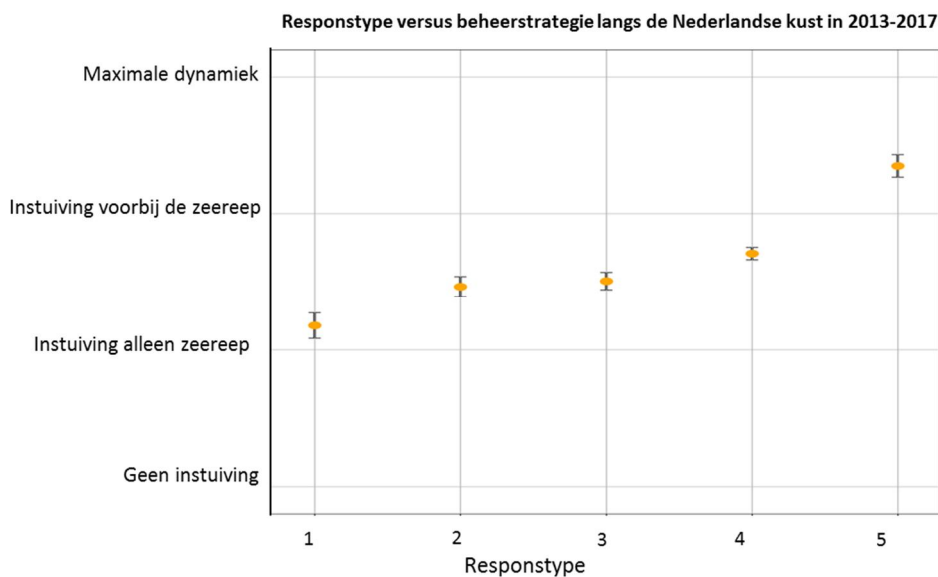
Figuur 7.1 toont de relatie tussen de responstypen en beheerstrategie in de periode 1990-2008. Het grootste verschil is zichtbaar tussen responstype 5 (maximale dynamiek) en de andere vier responstypen (nauwelijks dynamiek tot beperkte dynamiek). De resultaten tonen aan dat een zeereep met maximale dynamiek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

### 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.

## 8 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 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. Hoewel op meerdere locaties langs de Nederlandse kust de dynamiek van de zeereep toeneemt, neemt deze op andere locaties weer 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. 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.

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. Sterkte 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 toegestaan). Het was de verwachting dat zeereepbeheer vooral invloed heeft op de mate van dynamiek, en niet op veranderingen in het volume. De resultaten laten echter wel een verband zien tussen zeereepbeheer en het volume in de

zeereep. Het toelaten van beperkte mate van dynamiek heeft een positief effect op het totale duinvolume. Het toelaten van maximale dynamiek resulteert echter in een daling van het duinvolume voor de meeste kustvakken. Een uitzondering hierop is geobserveerd voor de kustvakken langs de Hollandse kust, hier zijn de grootste duinvolume stijging geobserveerd voor jarkussen waar maximale dynamiek is toegestaan. 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.

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. Toch lijkt er een positief verband te zijn tussen suppleties en een toename in zeereepdynamiek. Daarnaast lijkt beperkte dynamisch duinbeheer te leiden tot een toename aan volume in de zeereep.

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. Het doel is om een indruk te geven van de ontwikkelingen op grote schaal, sinds de invoering van het suppletieprogramma. Om precies te weten wat de invloed is van suppleties en zeereepbeheer op volumeveranderingen en dynamiek in de zeereep, is meer gedetailleerd onderzoek nodig naar de processen die hieraan ten grondslag liggen.



## 9 Referenties

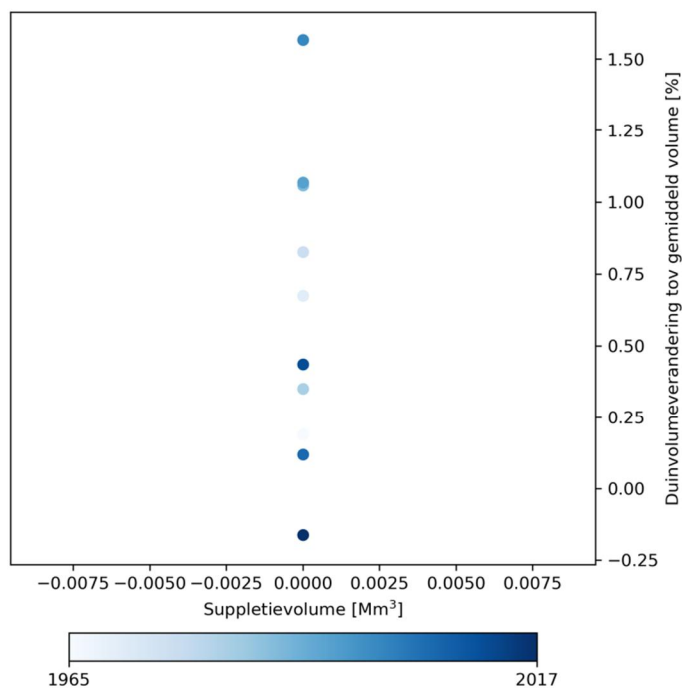
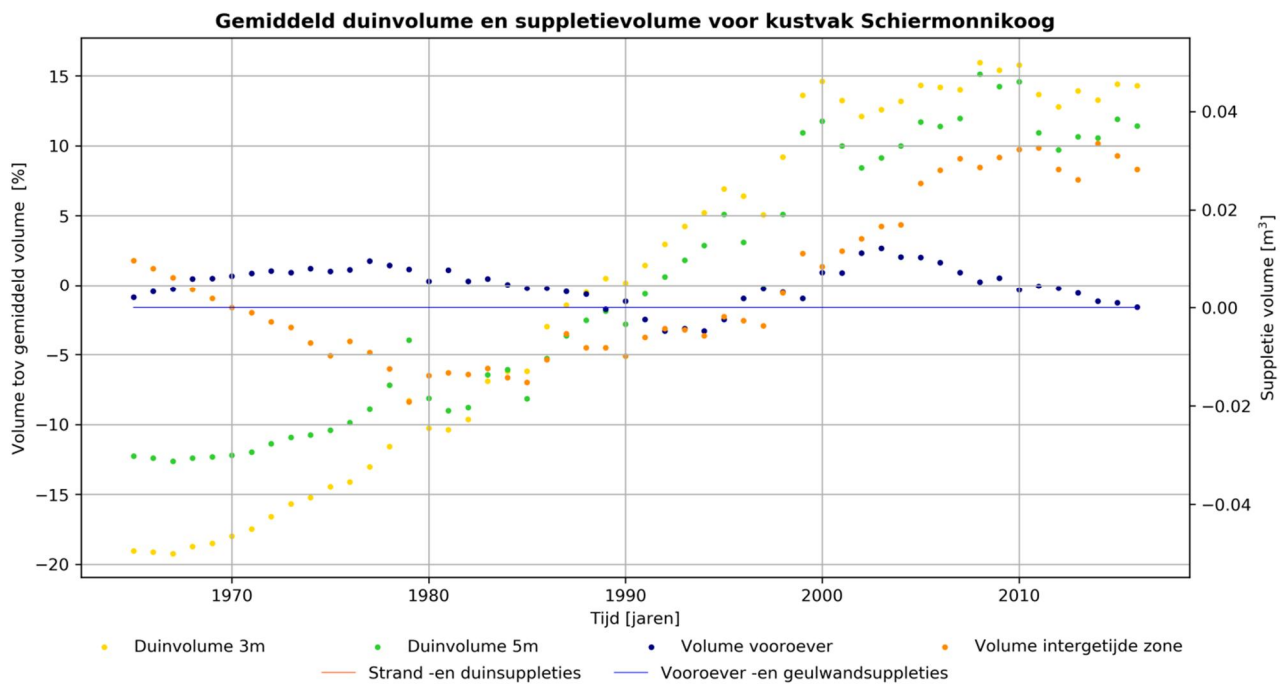
- Aagaard, Troels, Robin Davidson-Arnott, Brian Greenwood, and Jørgen Nielsen. 2004. "Sediment Supply from Shoreface to Dunes: Linking Sediment Transport Measurements and Long-Term Morphological Evolution." *Geomorphology* 60(1–2):205–24.
- Arens, S. M. et al. 2012. *Ecologische Effecten van Zandsuppletie 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 Foredunes. PhD-Thesis." University of Amsterdam.
- Arens, Sebastiaan M.18.202 and J. Wiersma. 1994. "The Dutch Foredunes - Inventory and Classification." *Journal of Coastal Research* 10(1):189–202.
- Bochev-van der Burgh, Lisette M. 2012. *Decadal-Scale Morphologic Variability of Foredunes 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>).
- Hesp, Patrick. 2002. "Foredunes 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 Kustlijnzorg*.
- Oost, A. et al. 2017. *Plan van Aanpak Op Hoofdpijnen: 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.
- 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.

## 10 Bijlagen

# 11 Schiermonnikoog

## 11.1 Introductie

## 11.2 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep

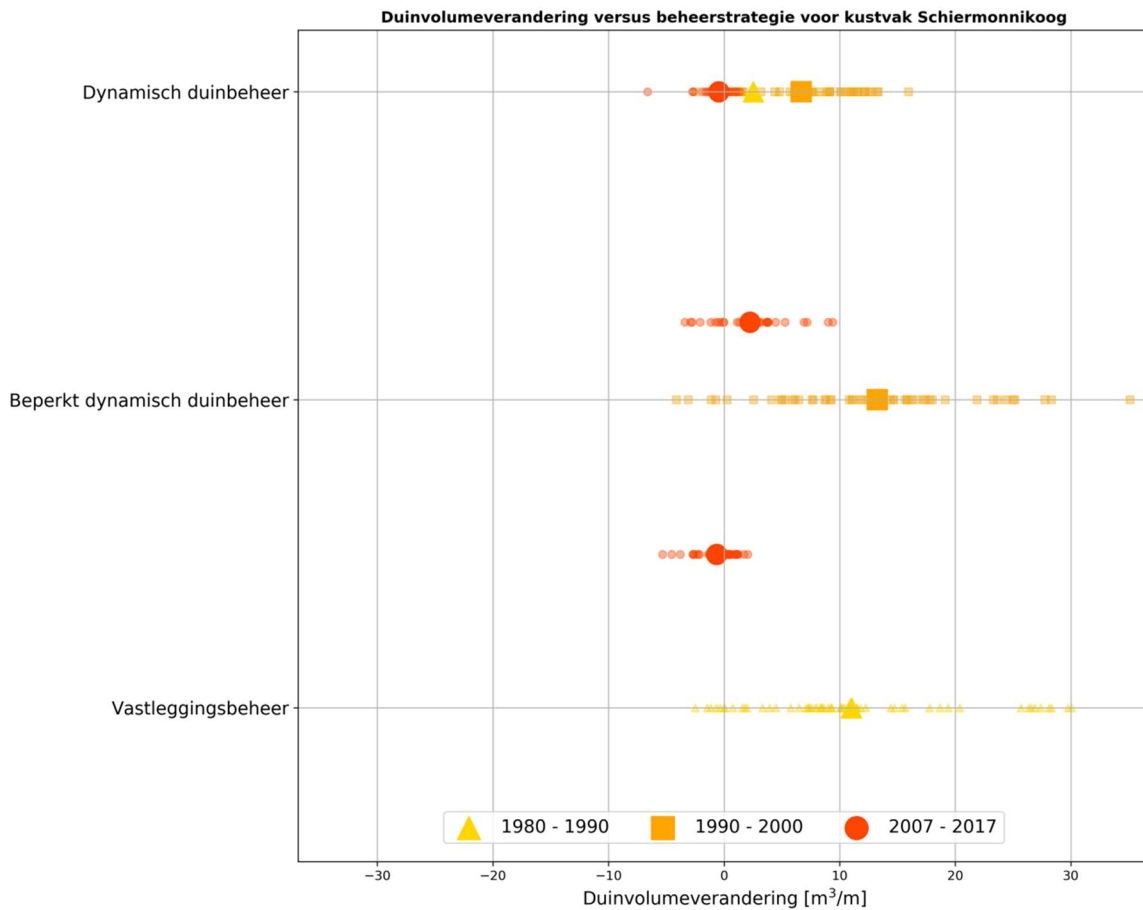


## 11.3 Dynamiek van de zeereep



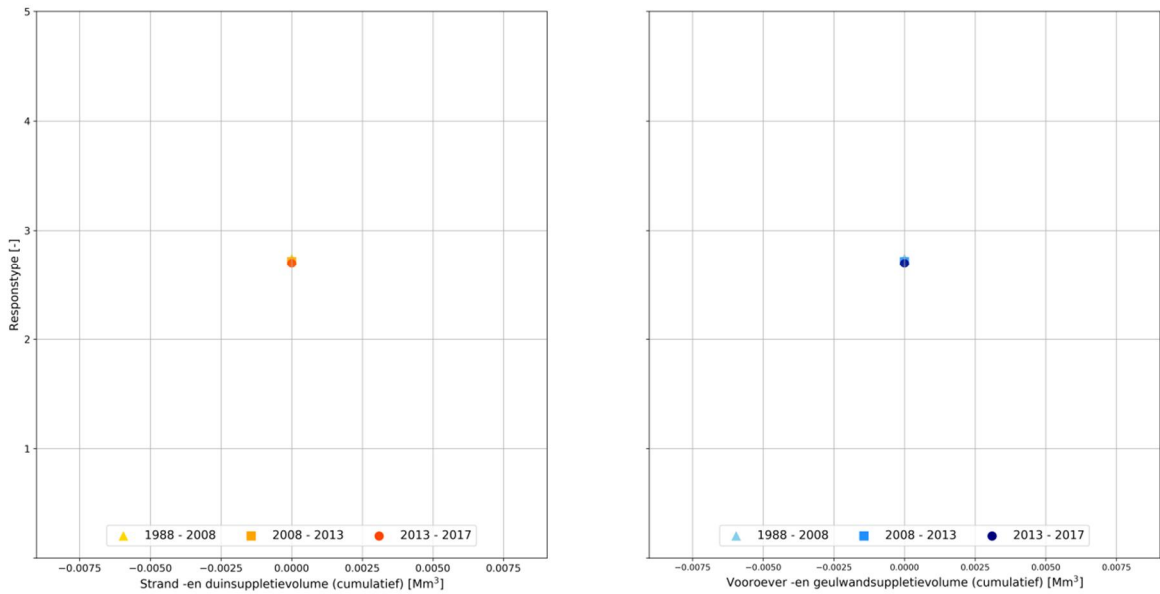


## 11.4 Duinvolume verandering versus beheerstrategie

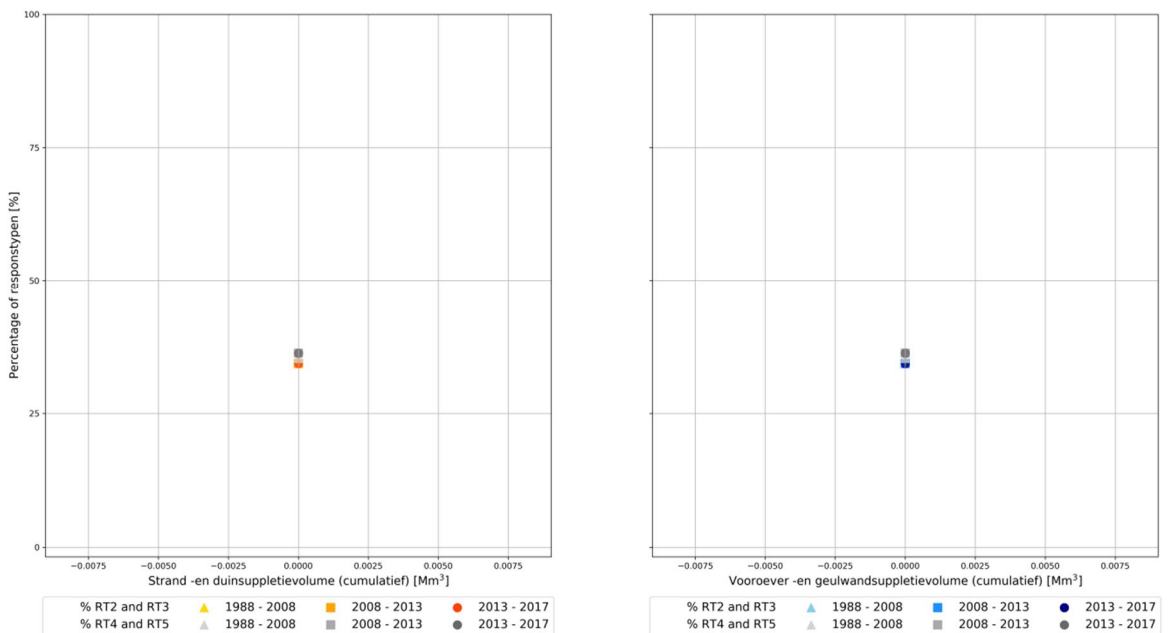


## 11.5 Dynamiek van de zeereep versus suppletievolumen

Suppletievolumen versus gem. responstype voor kustvak Schiermonnikoog

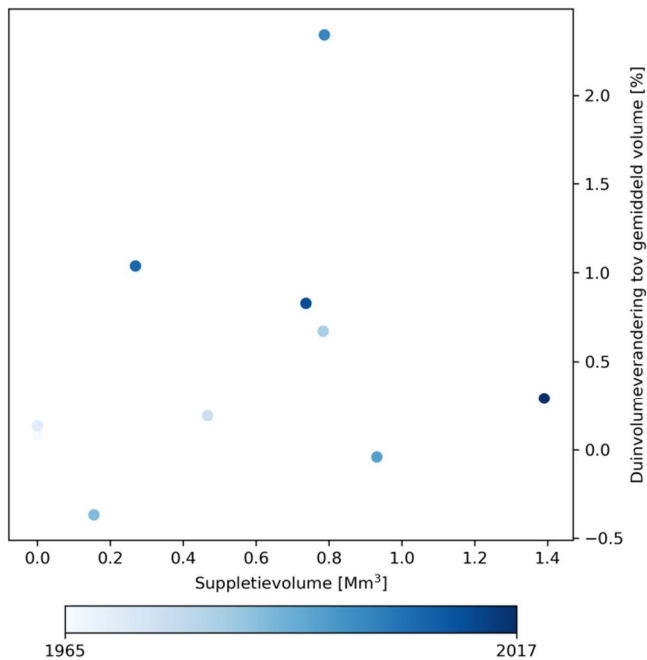
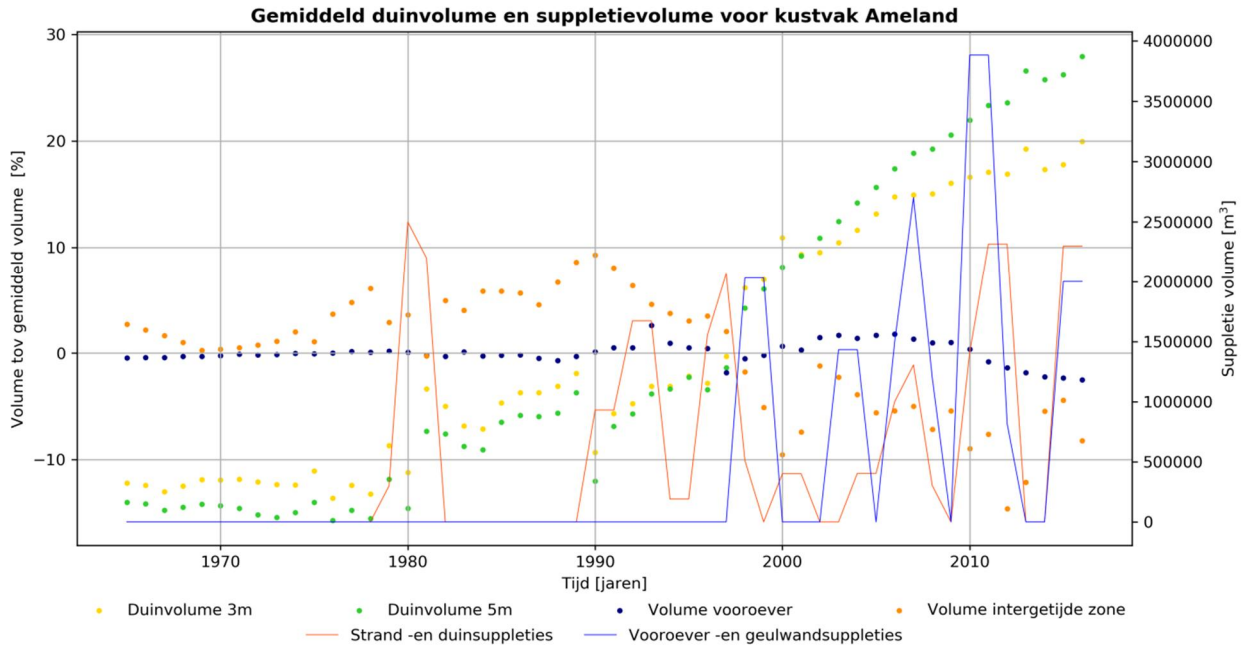


Suppletievolumen versus verdeling responstypen voor kustvak Schiermonnikoog



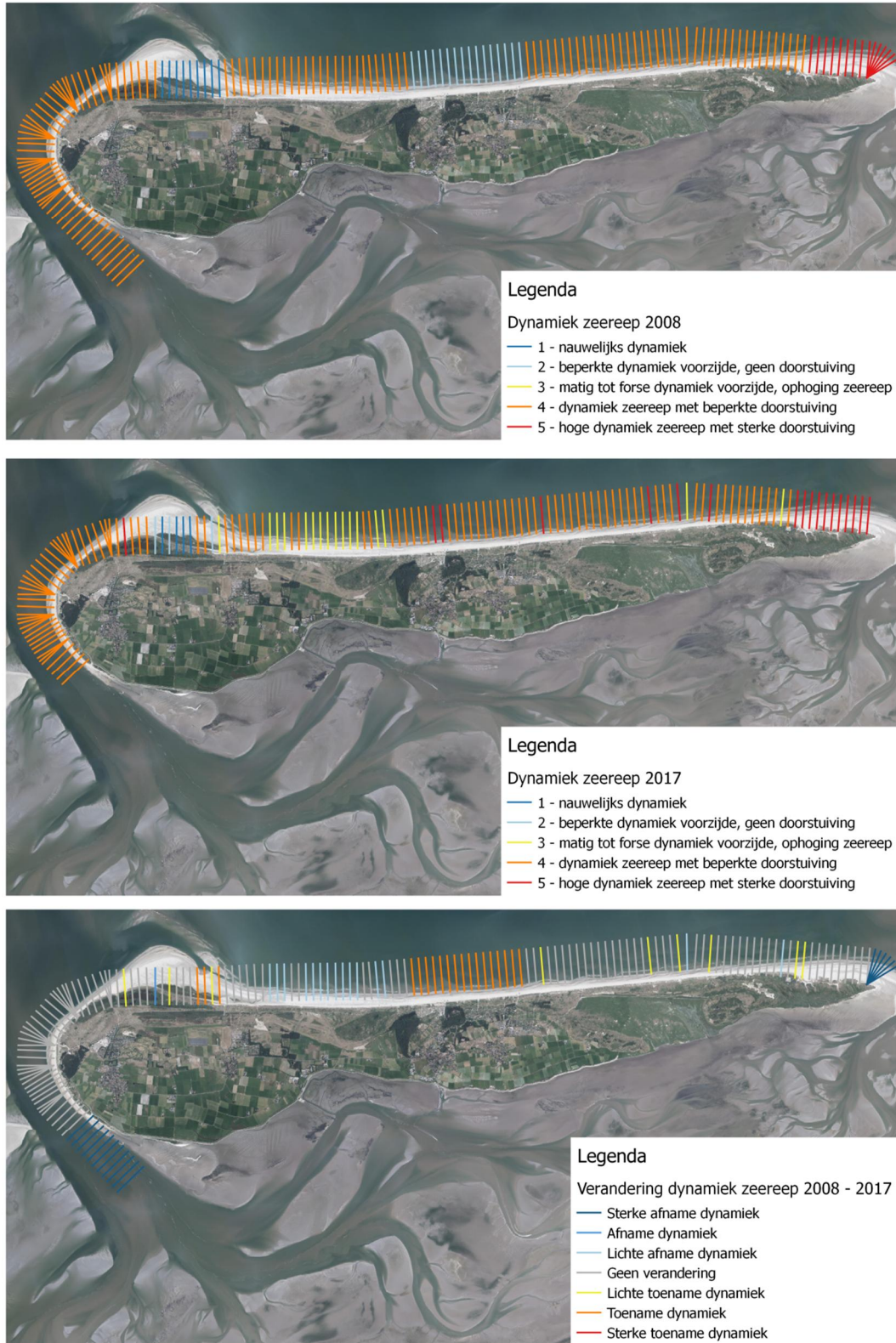
## 12 Ameland

### 12.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep



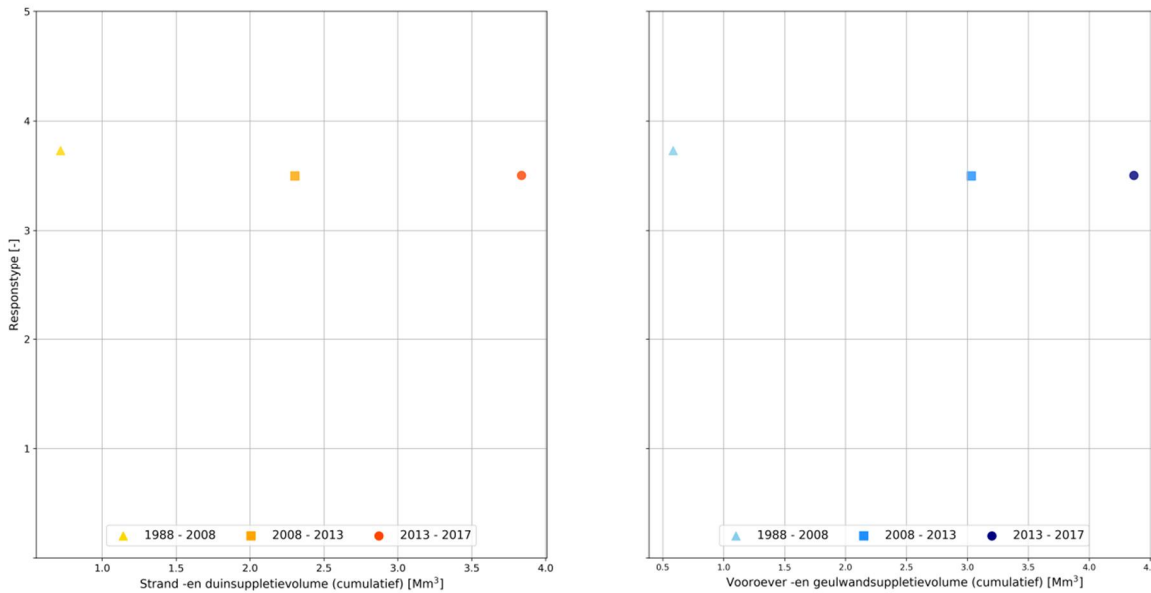


## 12.2 Dynamiek van de zeereep

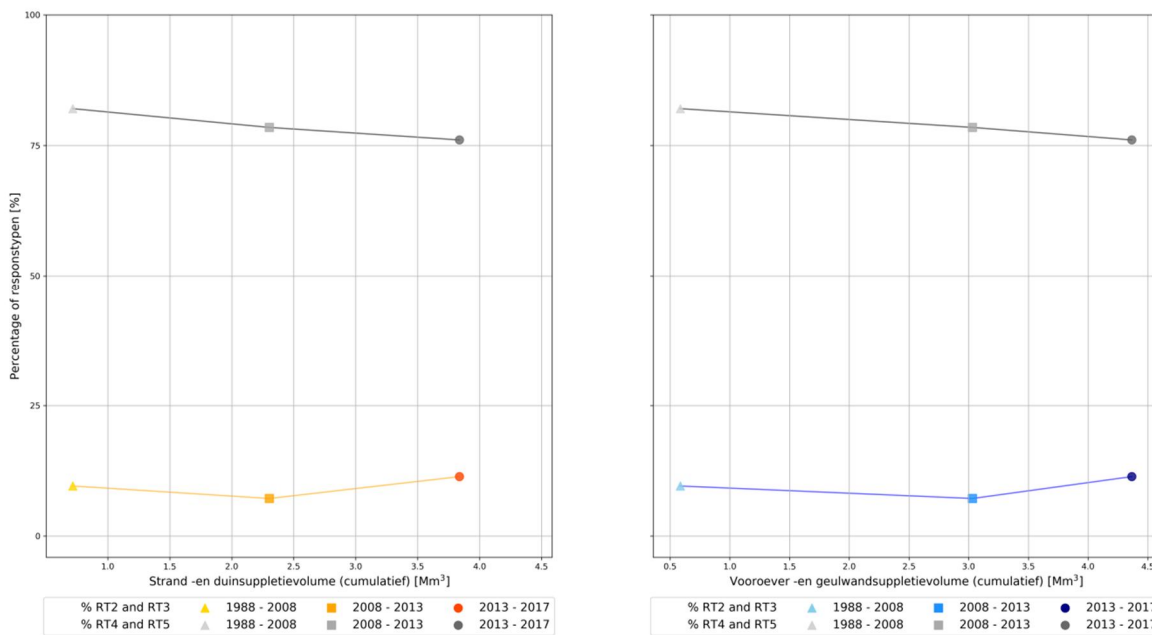


## 12.3 Dynamiek van de zeereep versus suppletievolume

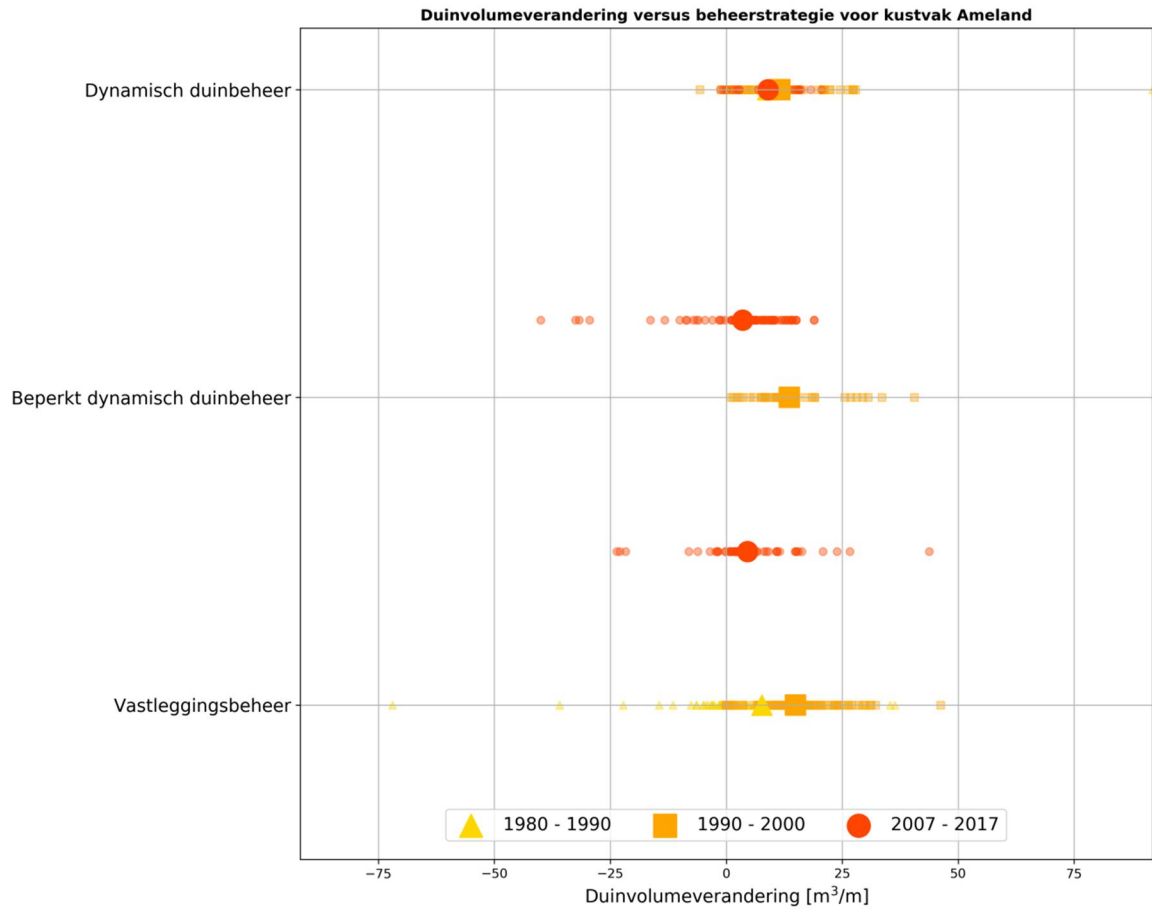
Suppletievolume versus gem. responstype voor kustvak Ameland



Suppletievolume versus verdeling responstypen voor kustvak Ameland

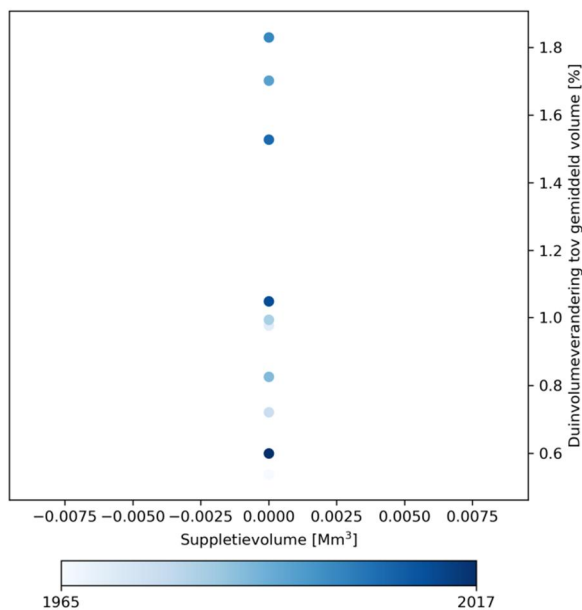
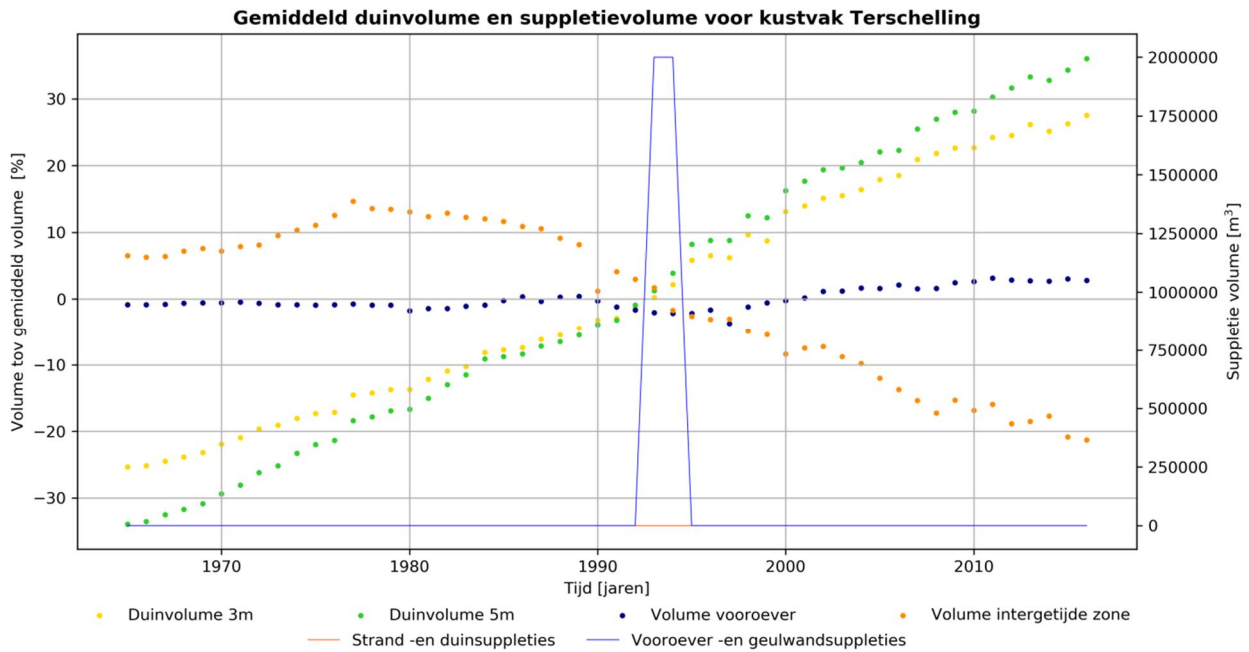


## 12.4 Duinvolume verandering versus beheerstrategie

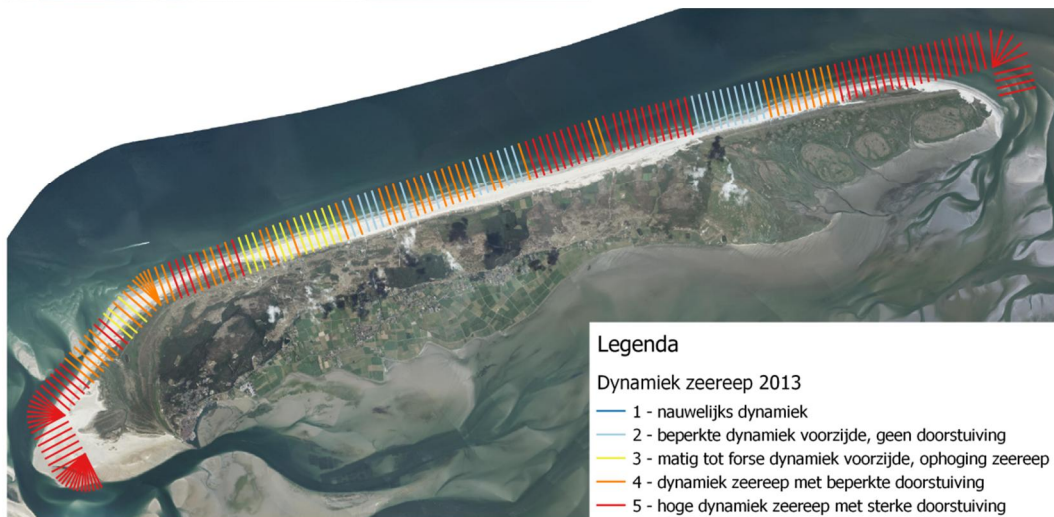
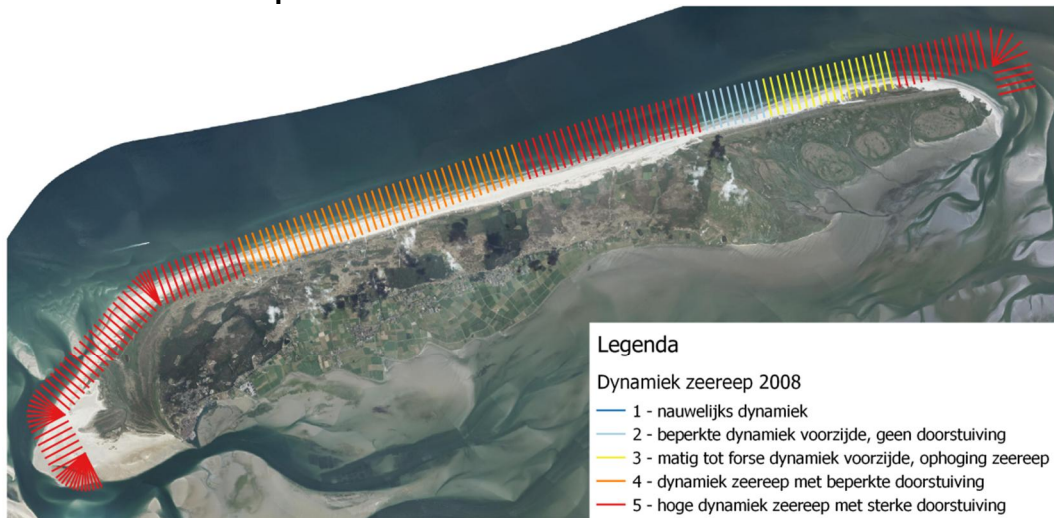


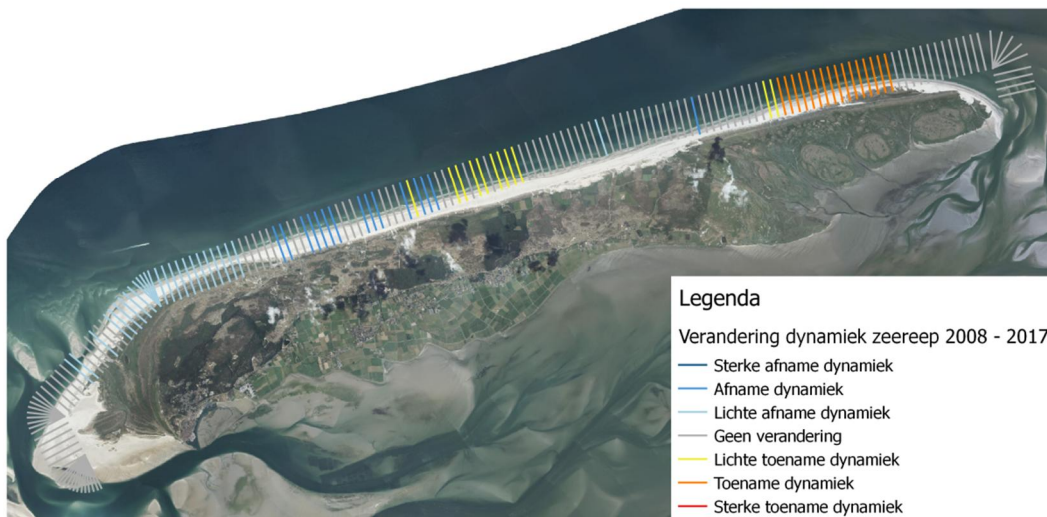
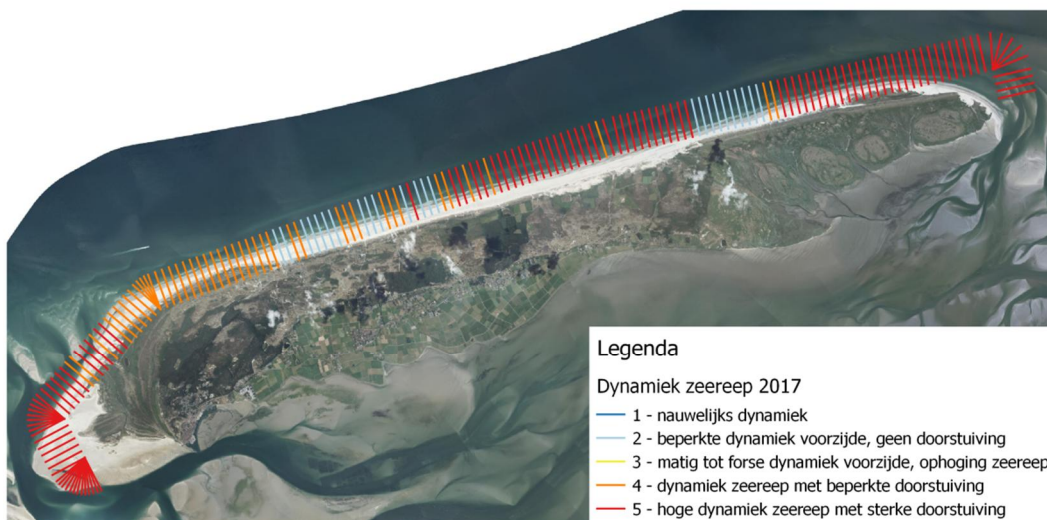
## 13 Terschelling

### 13.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep



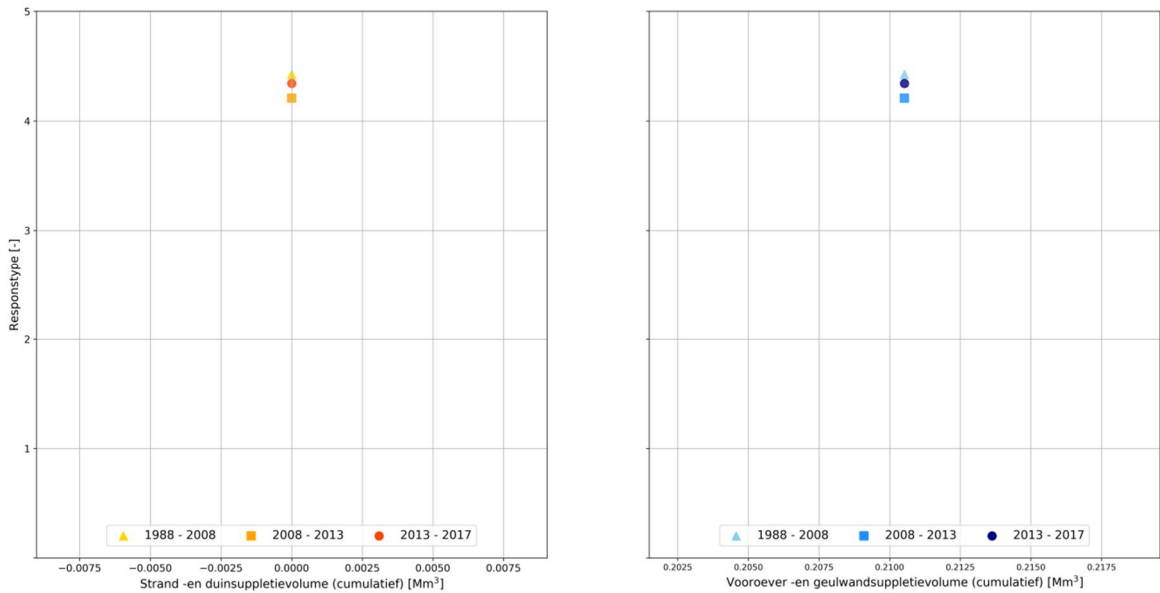
### 13.2 Dynamiek van de zeereep



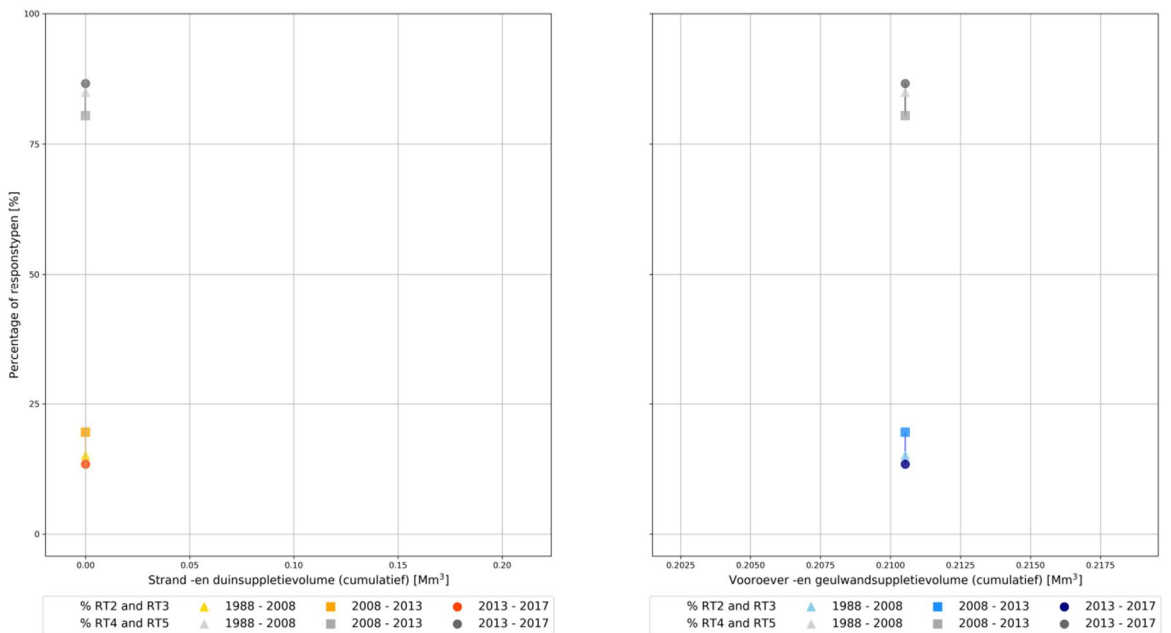


### 13.3 Dynamiek van de zeereep versus suppletievolumen

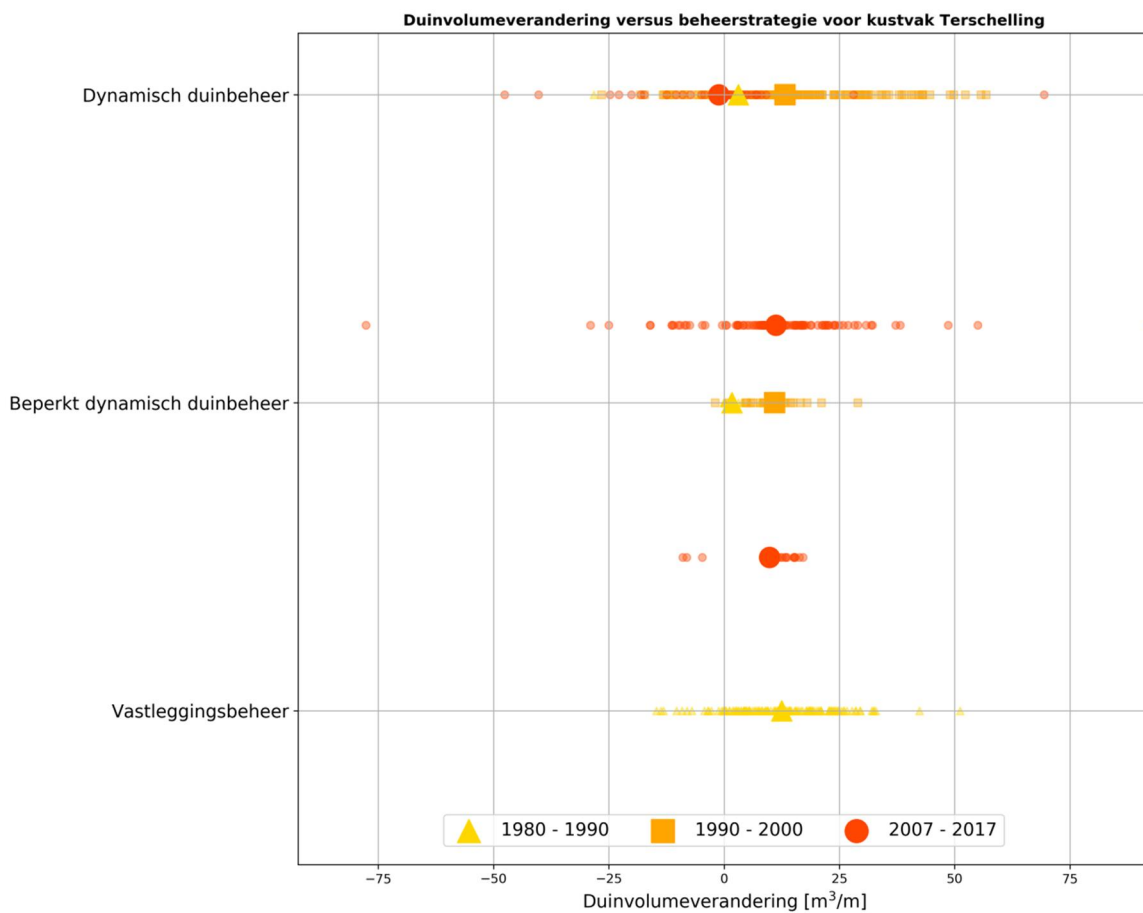
Suppletievolumen versus gem. responstype voor kustvak Terschelling



Suppletievolumen versus verdeling responstypen voor kustvak Terschelling



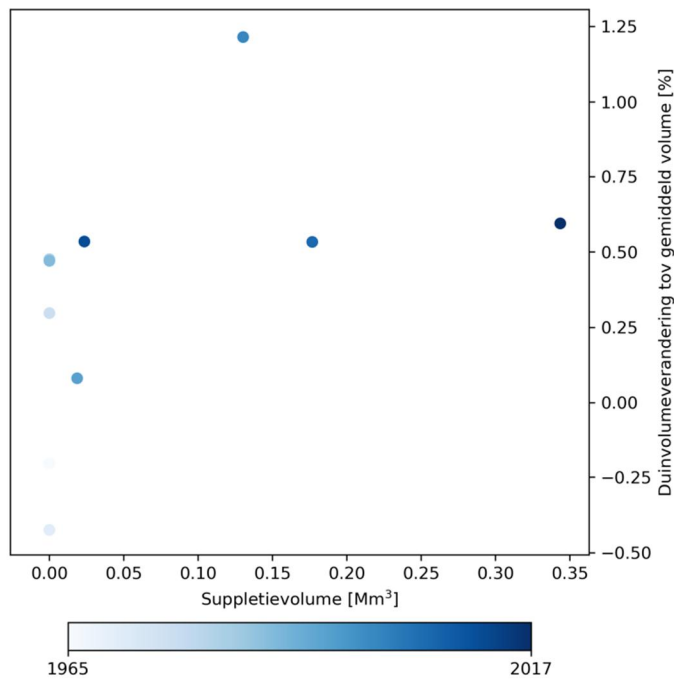
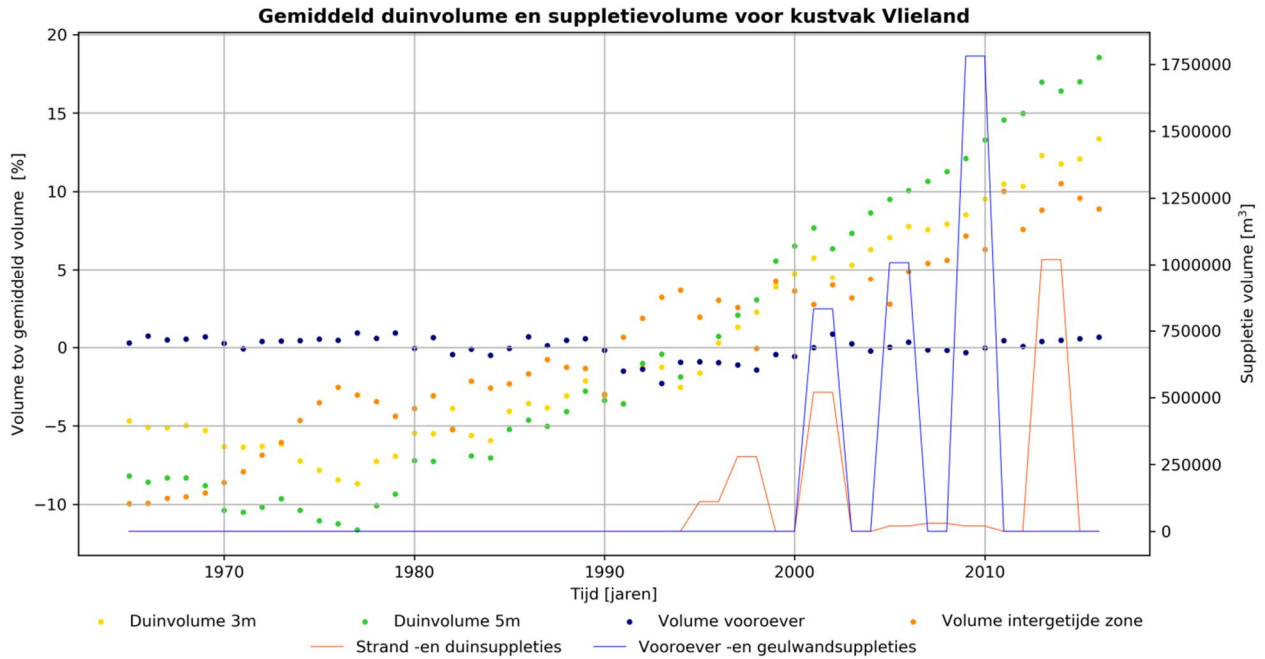
## 13.4 Duinvolume verandering versus beheerstrategie



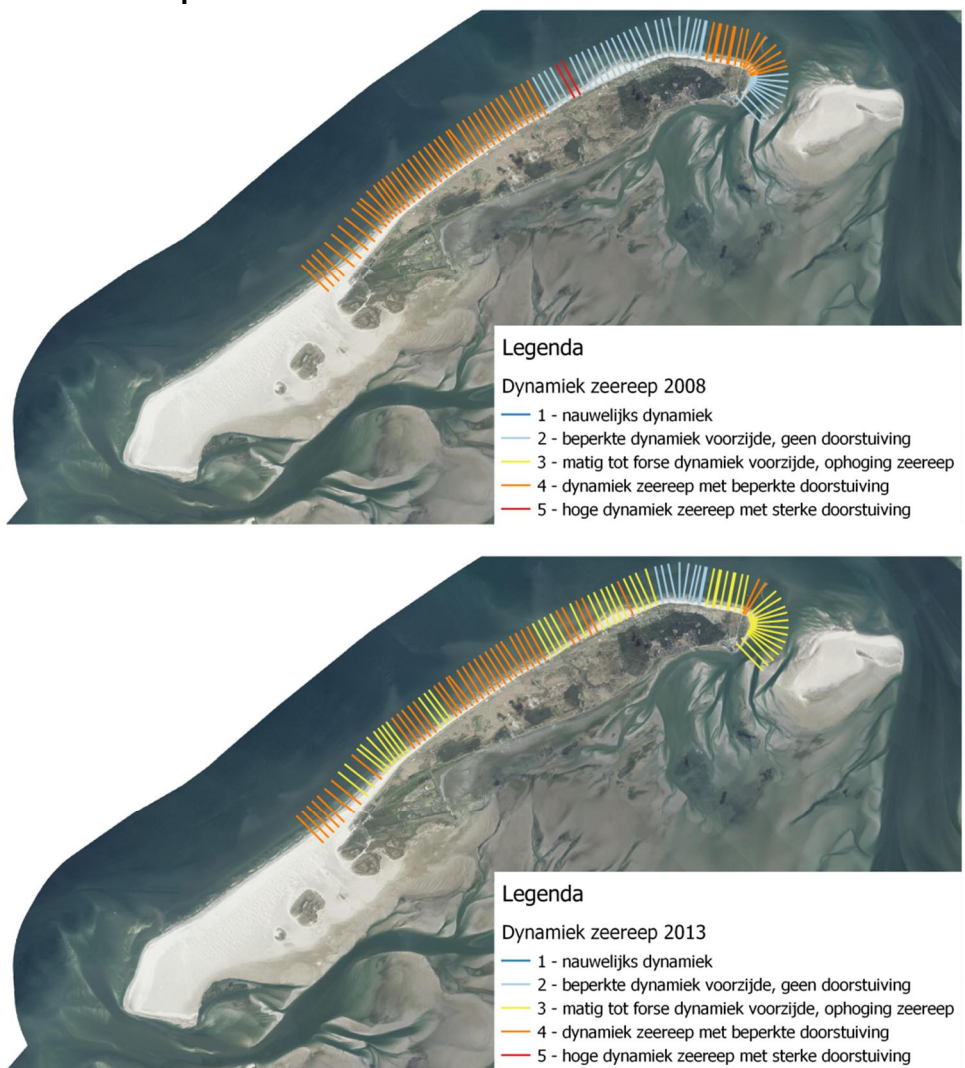


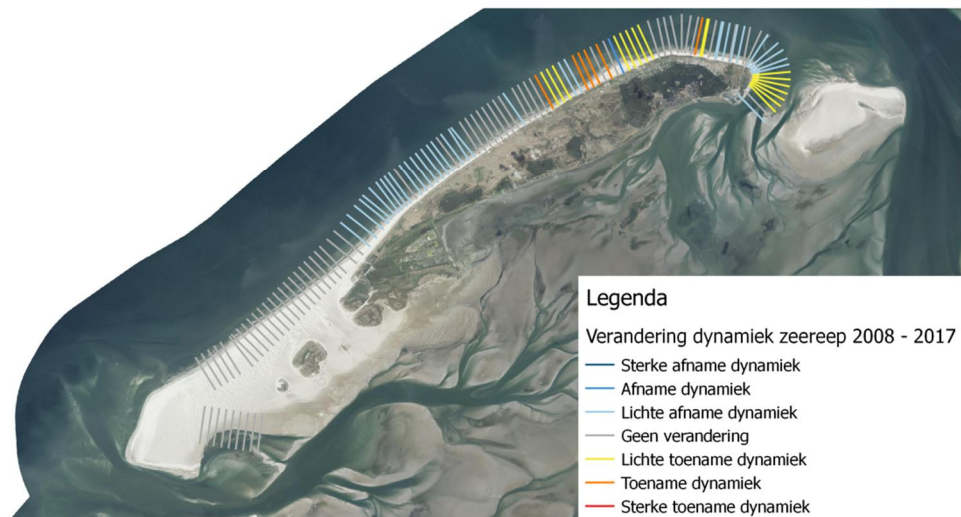
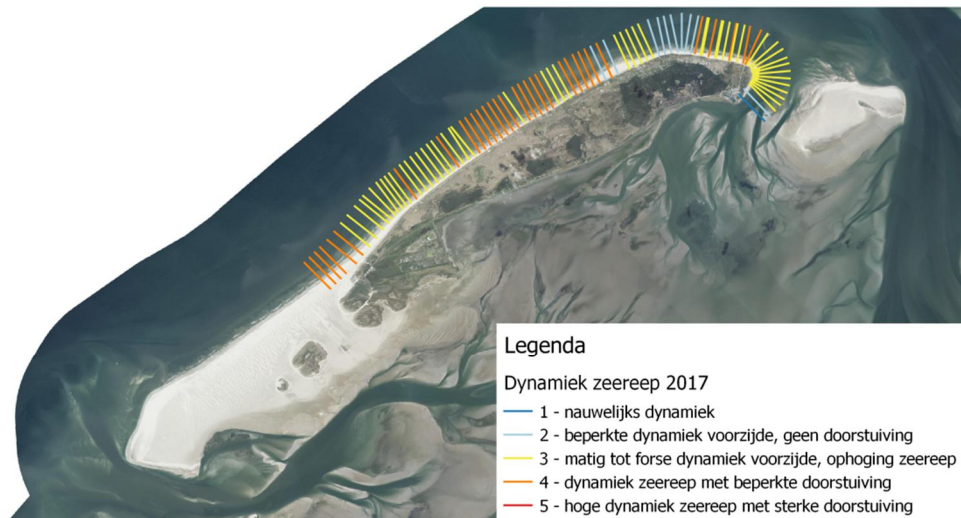
## 14 Vlieland

### 14.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep



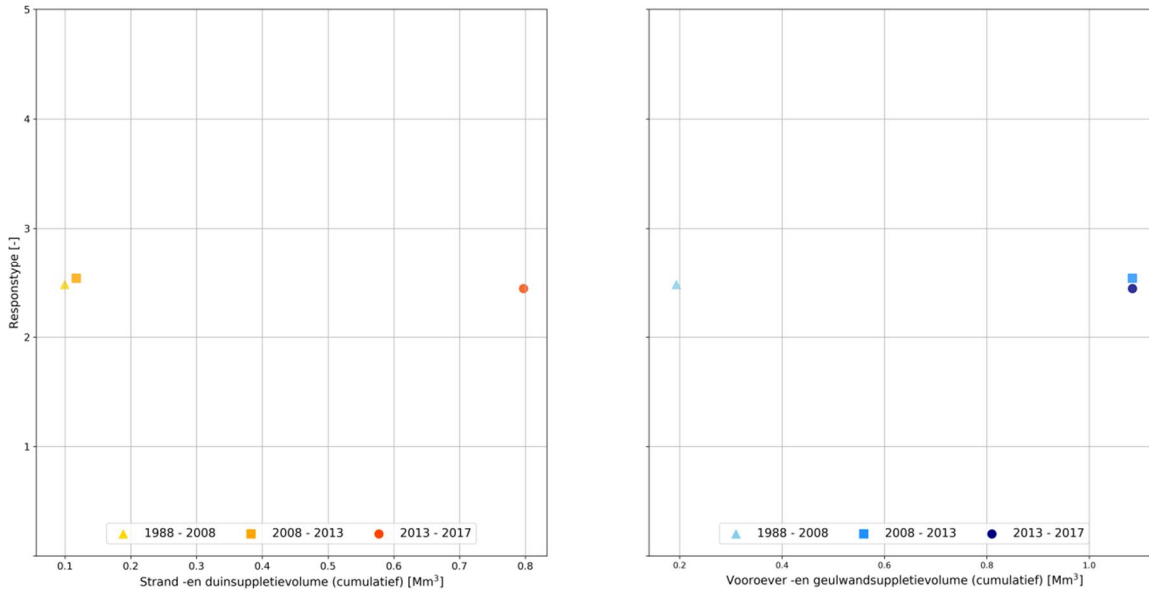
## 14.2 Dynamiek van de zeereep



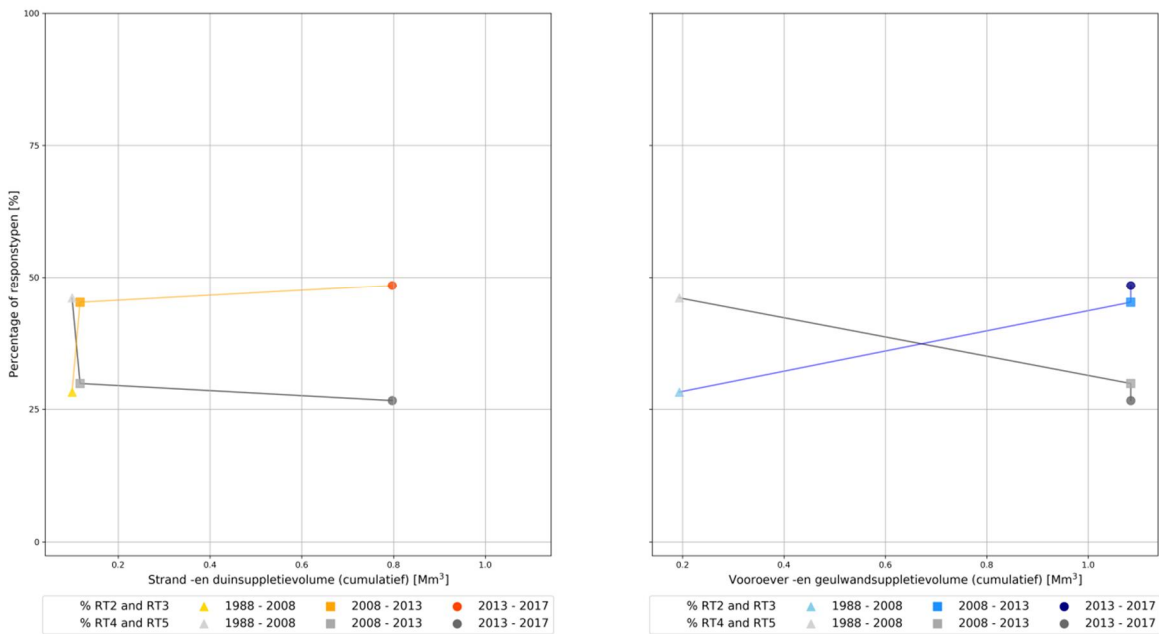


## 14.3 Dynamiek van de zeereep versus suppletievolume

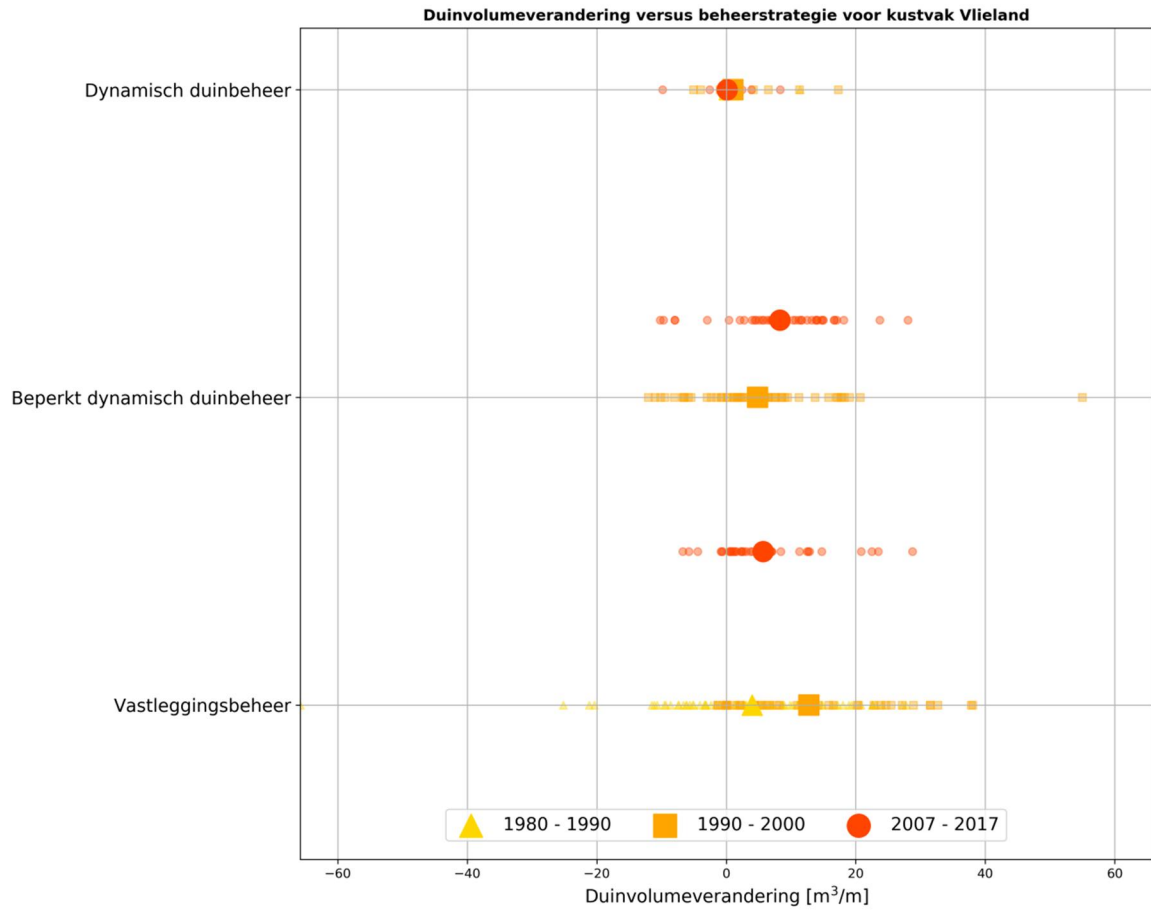
Suppletievolume versus gem. responstype voor kustvak Vlieland



Suppletievolume versus verdeling responstypen voor kustvak Vlieland

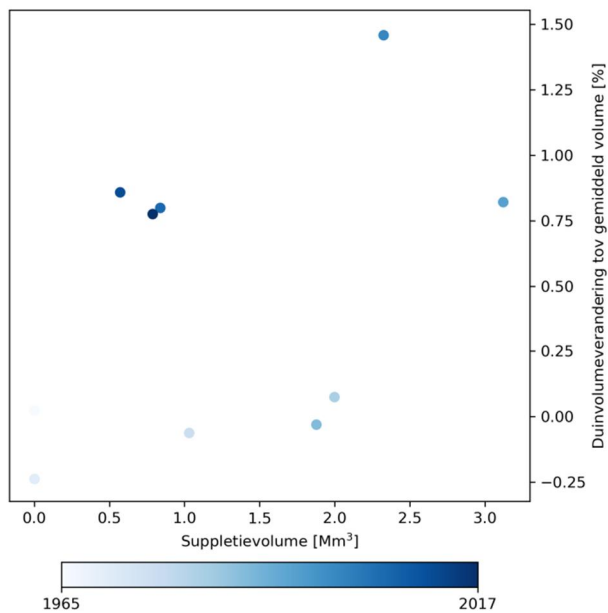
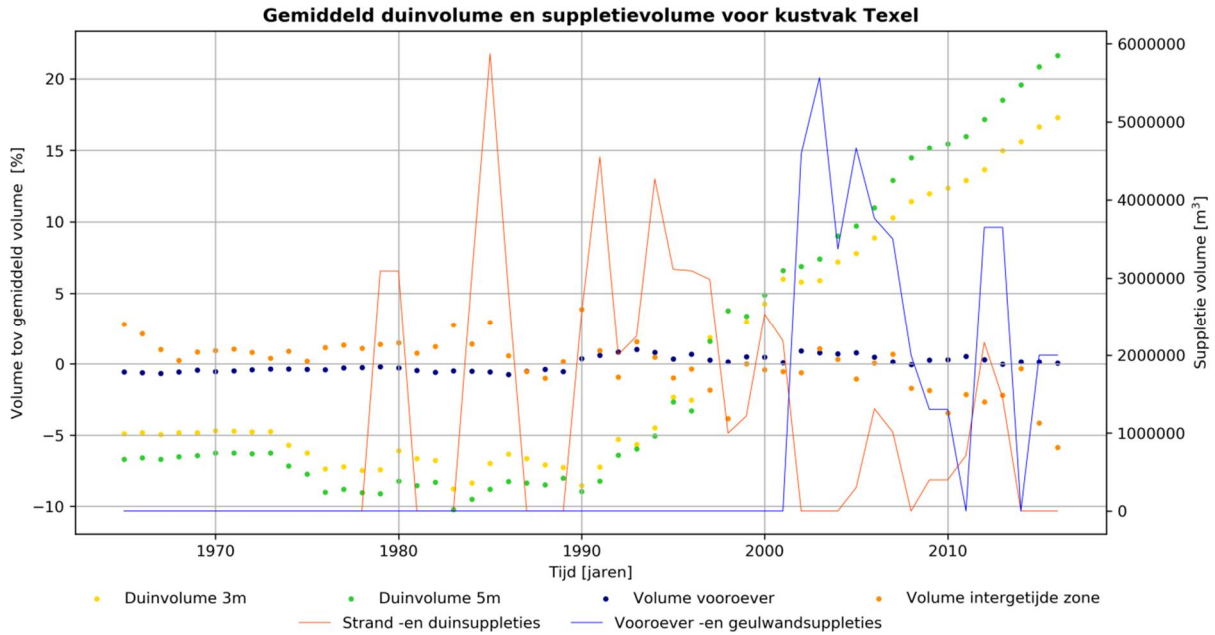


### 14.4 Duinvolume verandering versus beheerstrategie

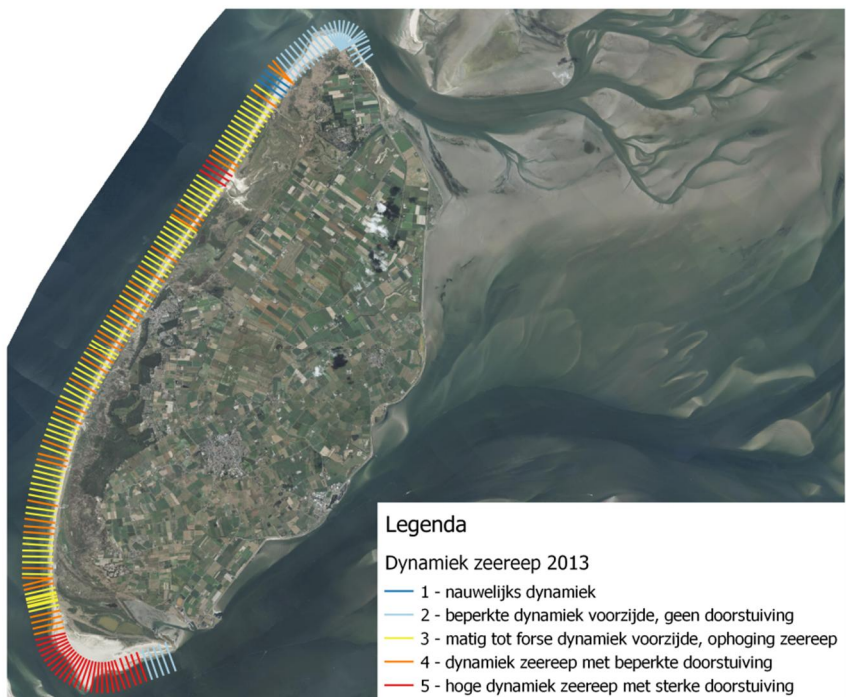
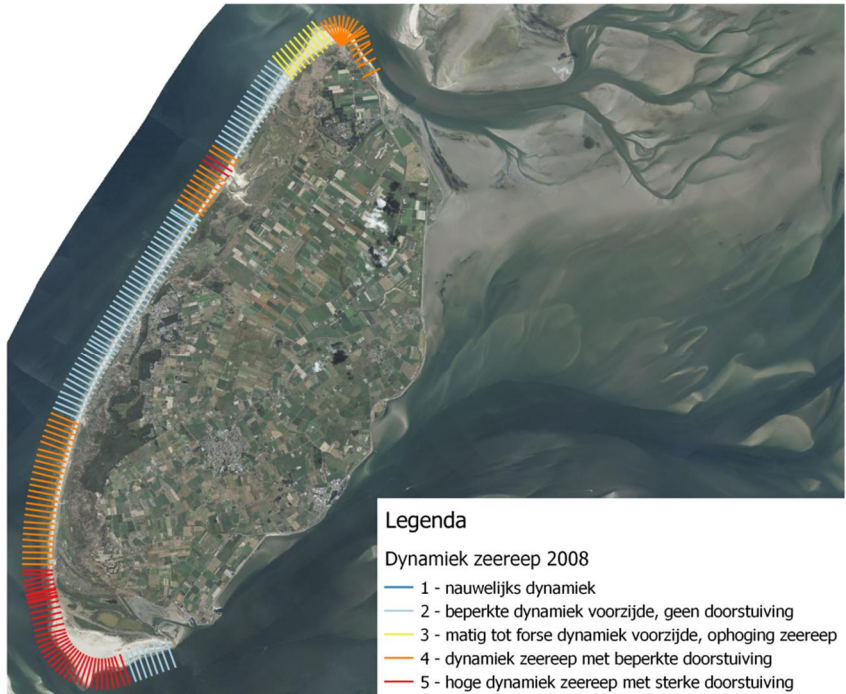


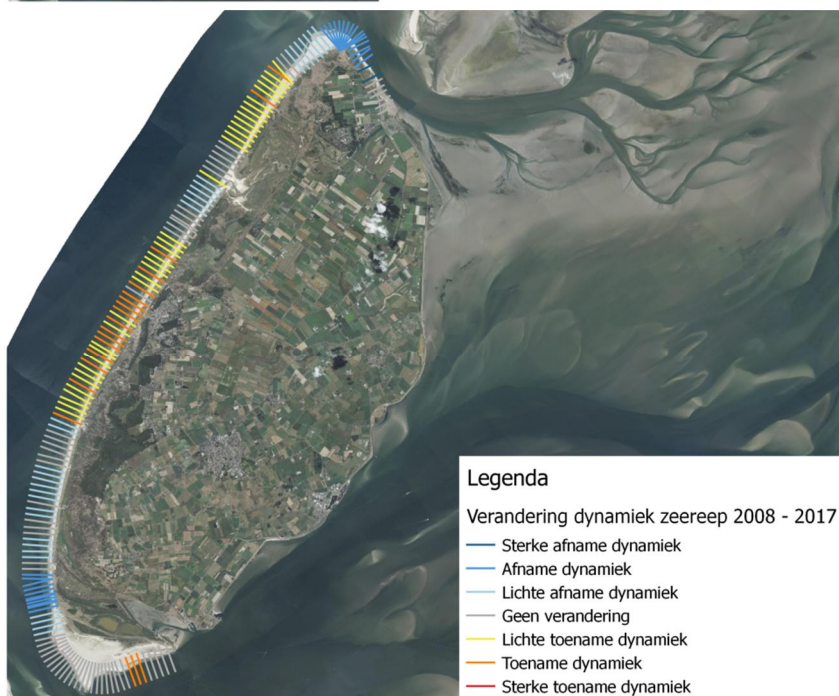
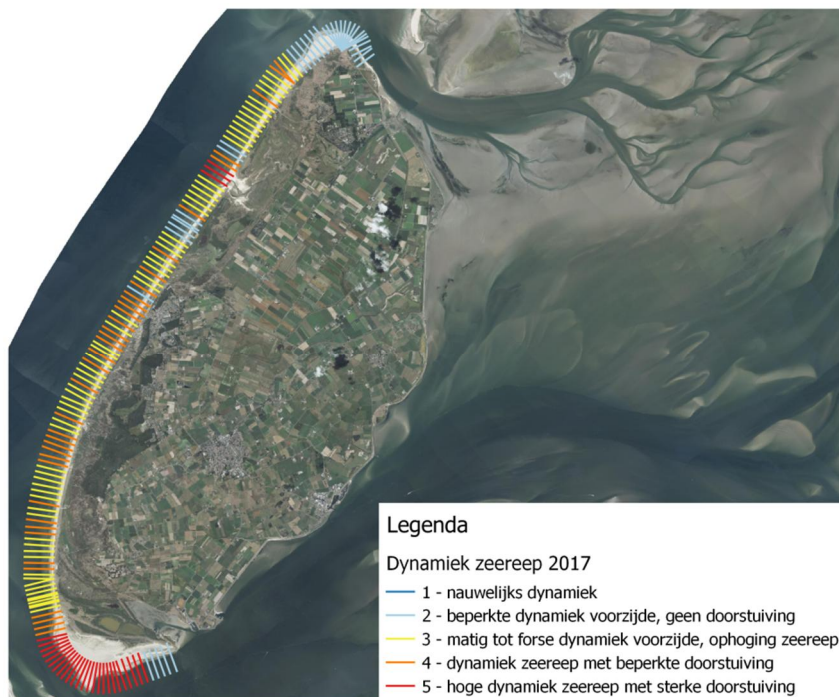
## 15 Texel

### 15.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep



## 15.2 Dynamiek van de zeereep

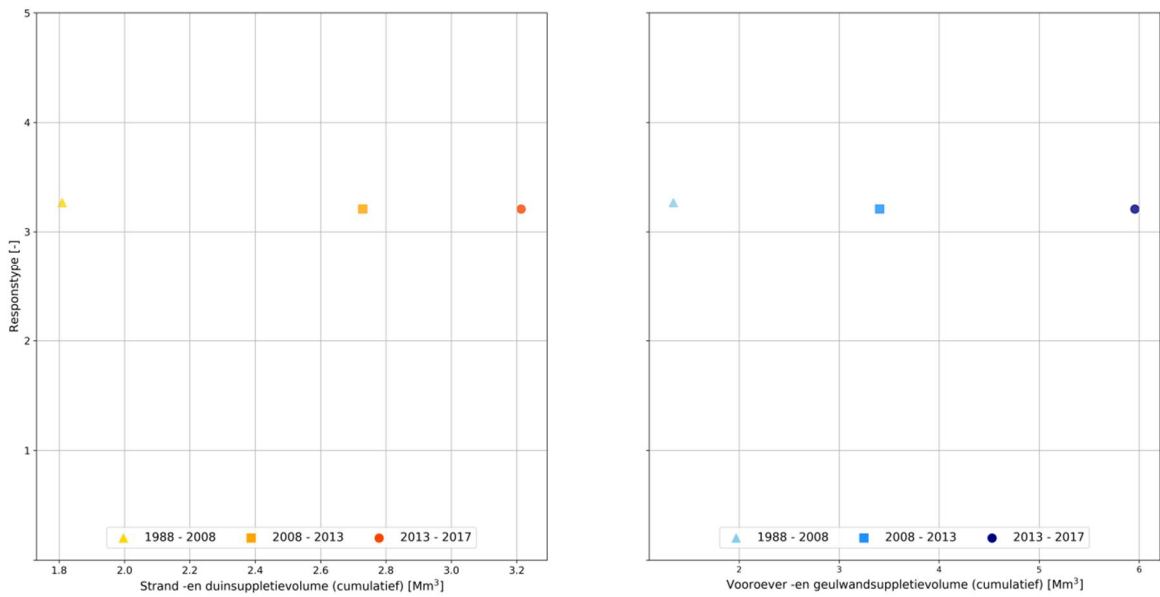




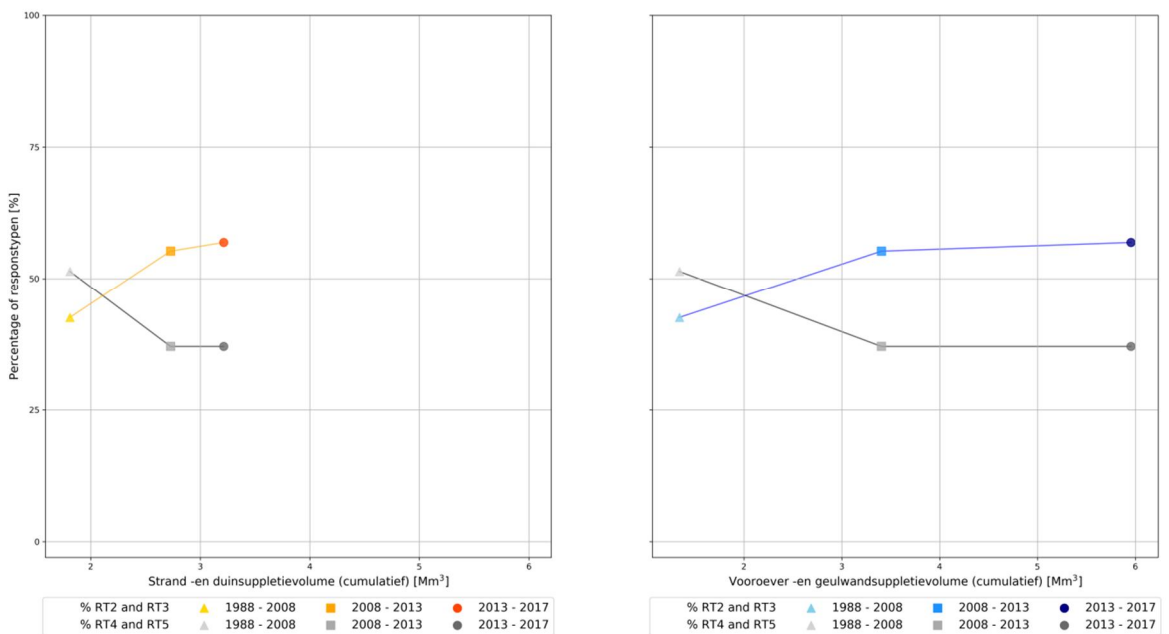


### 15.3 Dynamiek van de zeereep versus suppletievolumen

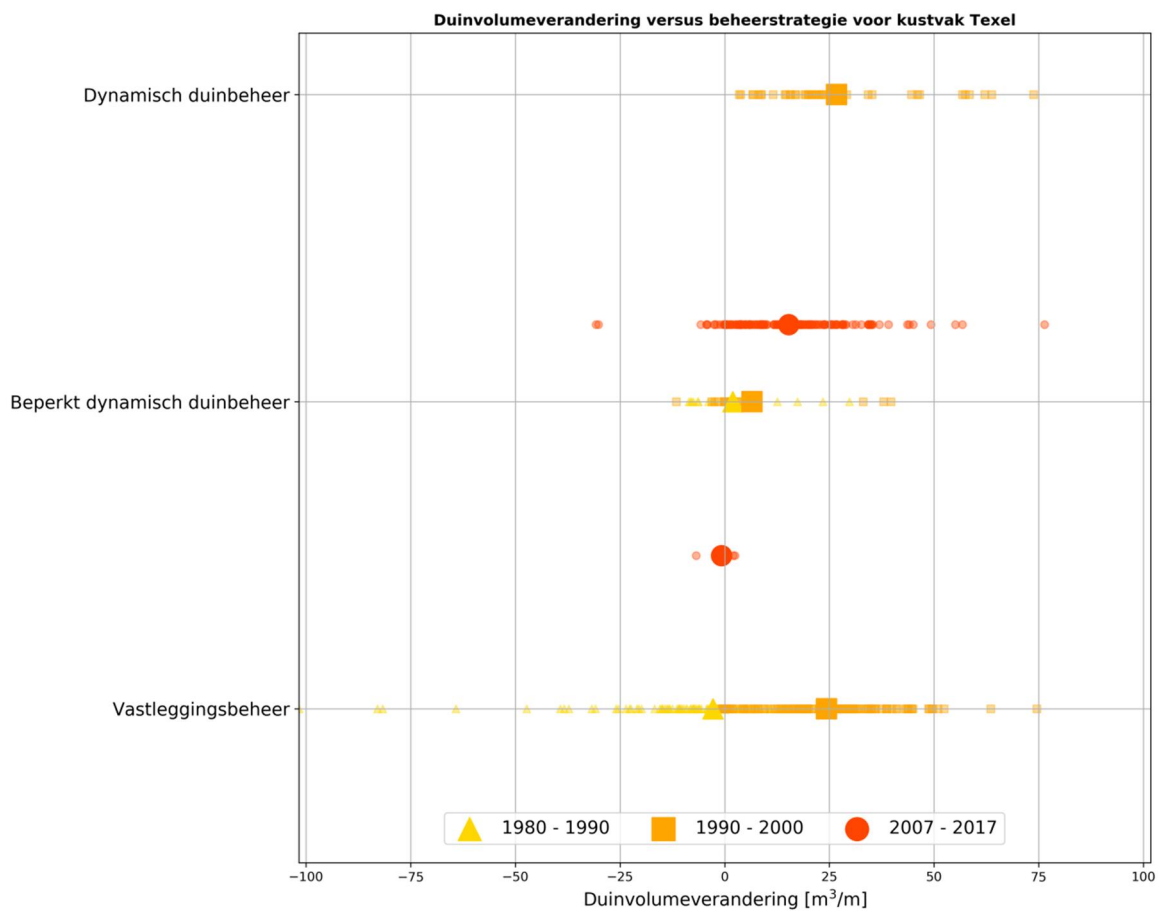
Suppletievolumen versus gem. responstype voor kustvak Texel



Suppletievolumen versus verdeling responstypen voor kustvak Texel

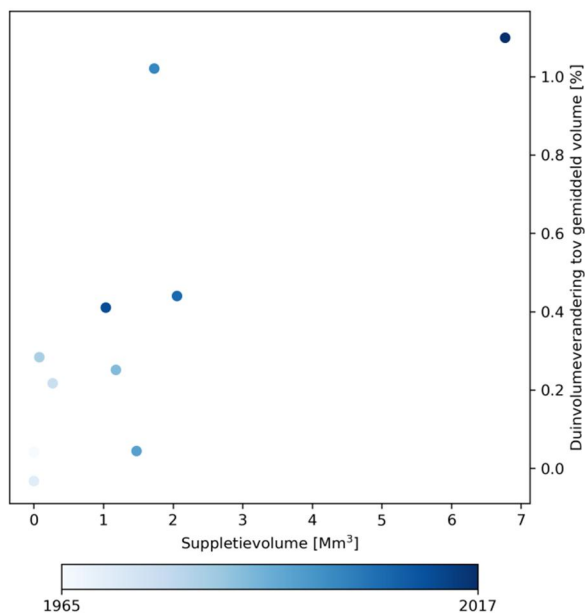
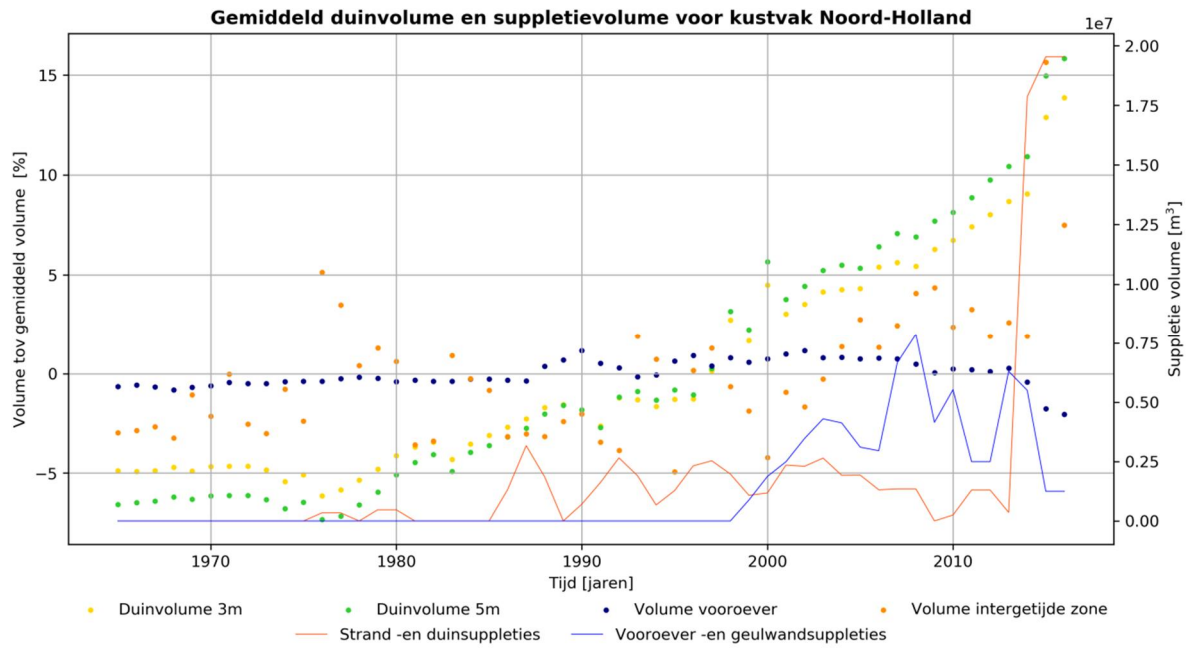


## 15.4 Duinvolume verandering versus beheerstrategie

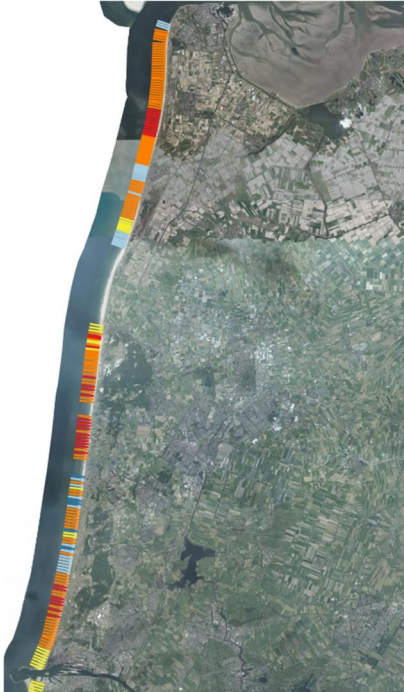


## 16 Noord-Holland

### 16.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep



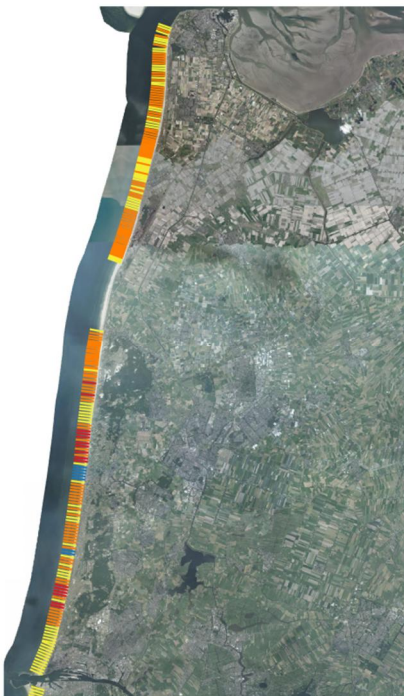
## 16.2 Dynamiek van de zeereep



### Legenda

#### Dynamiek zeereep 2008

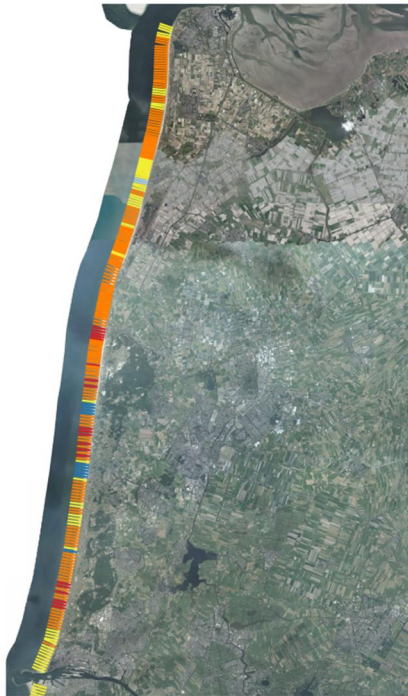
- 1 - nauwelijks dynamiek
- 2 - beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
- 3 - matig tot forse dynamiek voorzijde, ophoging zeereep
- 4 - dynamiek zeereep met beperkte doorstuiving
- 5 - hoge dynamiek zeereep met sterke doorstuiving



### Legenda

#### Dynamiek zeereep 2013

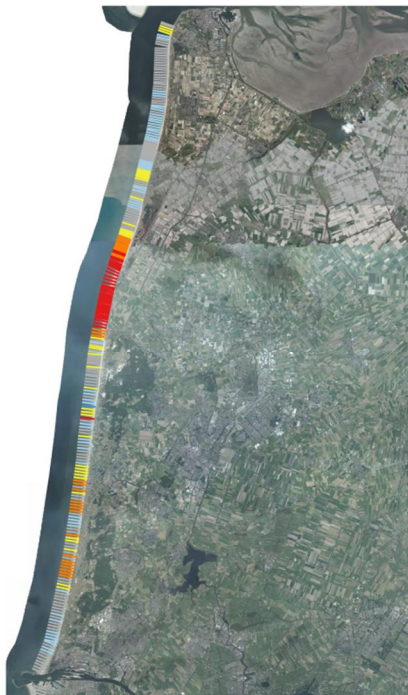
- 1 - nauwelijks dynamiek
- 2 - beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
- 3 - matig tot forse dynamiek voorzijde, ophoging zeereep
- 4 - dynamiek zeereep met beperkte doorstuiving
- 5 - hoge dynamiek zeereep met sterke doorstuiving



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



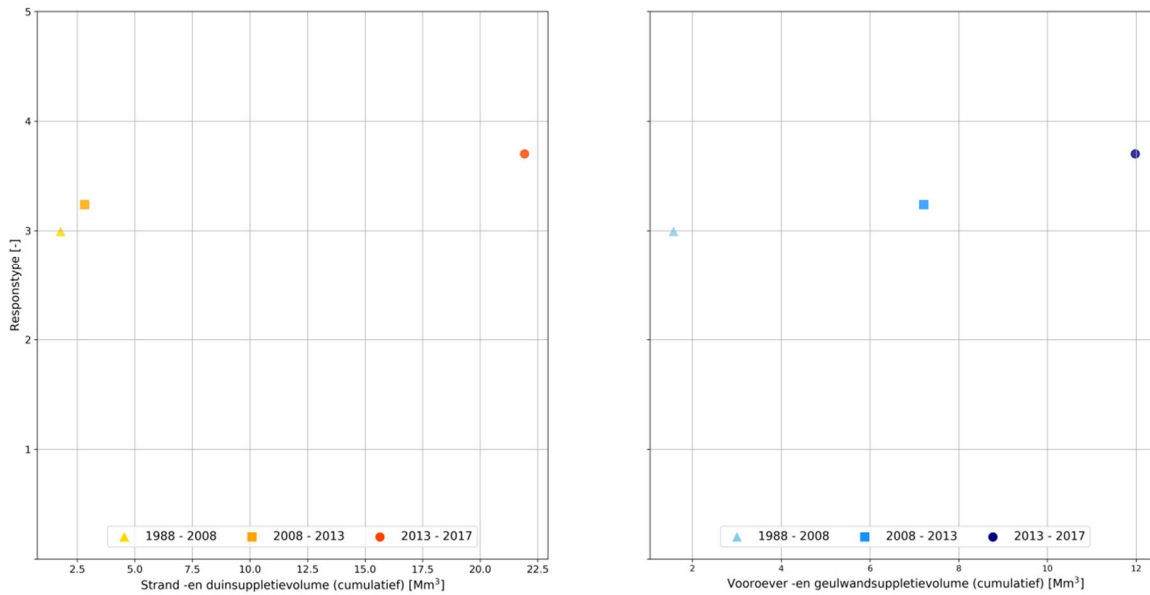
Legenda

Verandering dynamiek zeereep 2008 - 2017

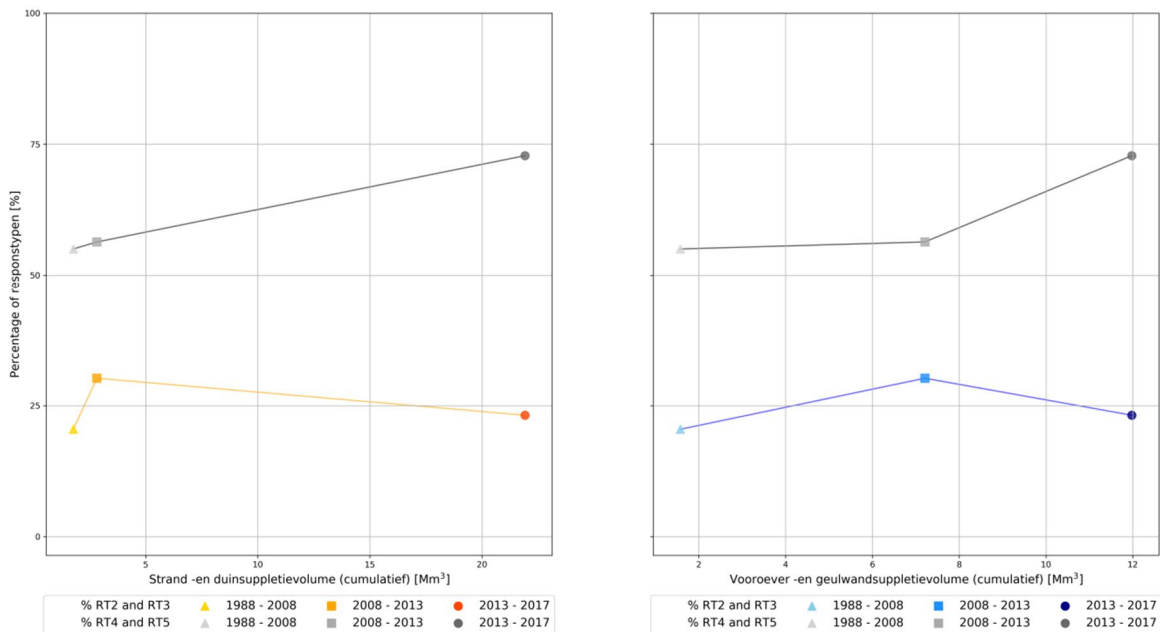
- Sterke afname dynamiek
- Afname dynamiek
- Lichte afname dynamiek
- Geen verandering
- Lichte toename dynamiek
- Toename dynamiek
- Sterke toename dynamiek

## 16.3 Dynamiek van de zeereep versus suppletievolume

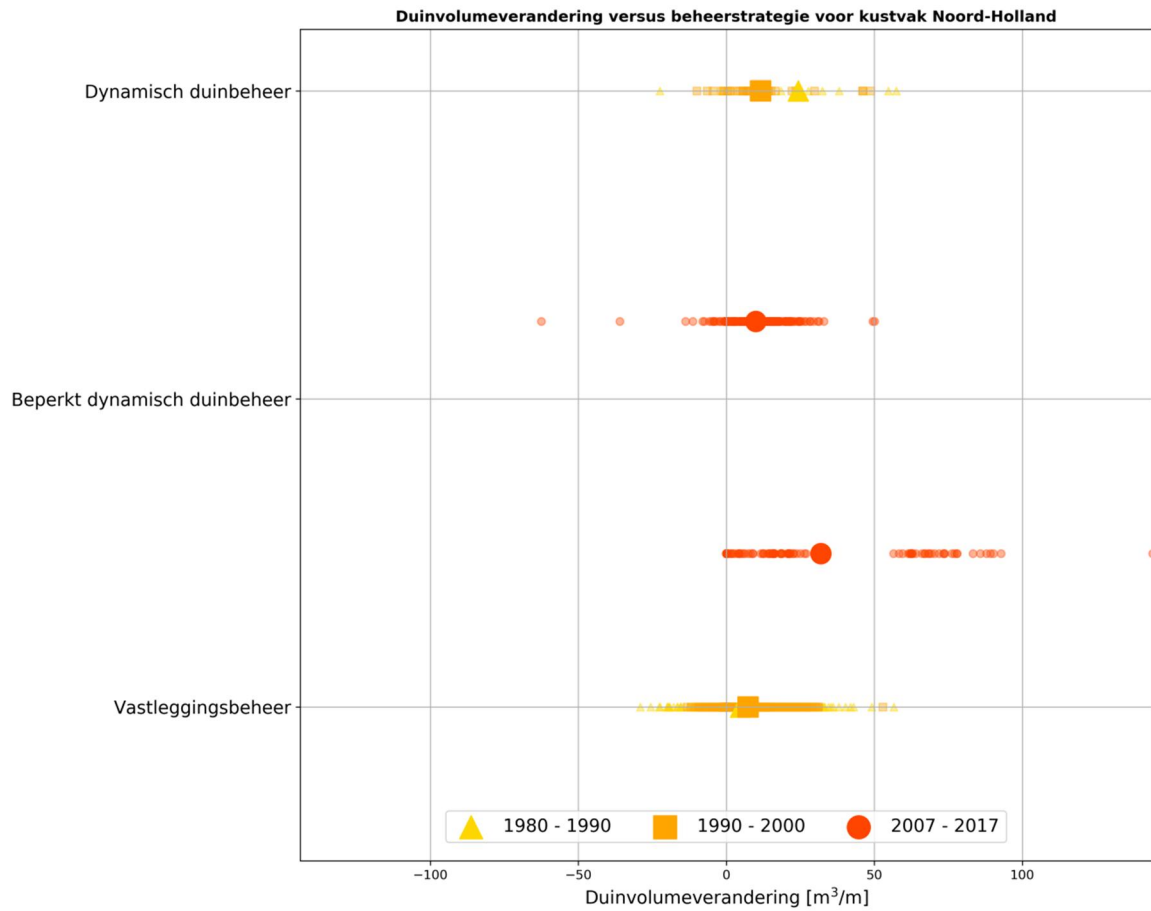
Suppletievolume versus gem. responstype voor kustvak Noord-Holland



Suppletievolume versus verdeling responstypen voor kustvak Noord-Holland

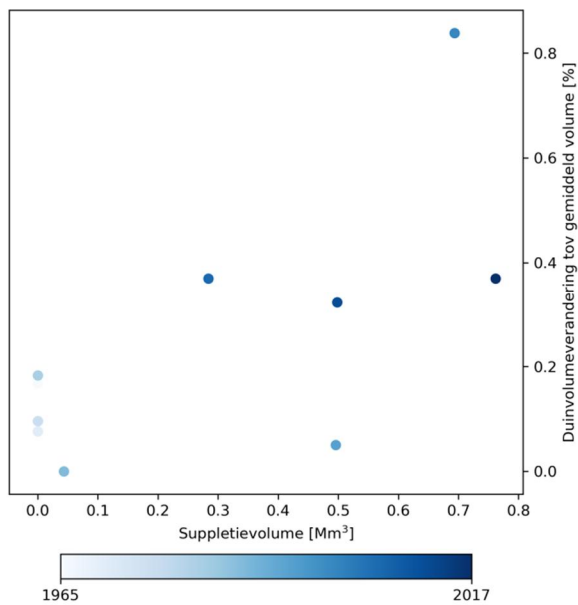
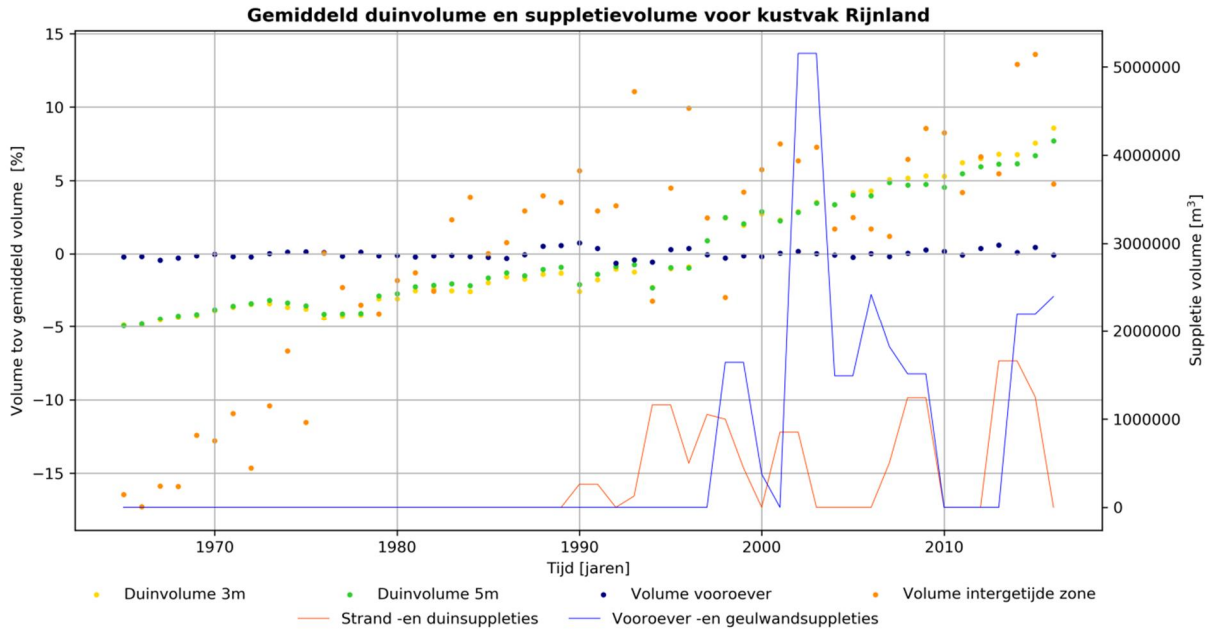


### 16.4 Duinvolume verandering versus beheerstrategie



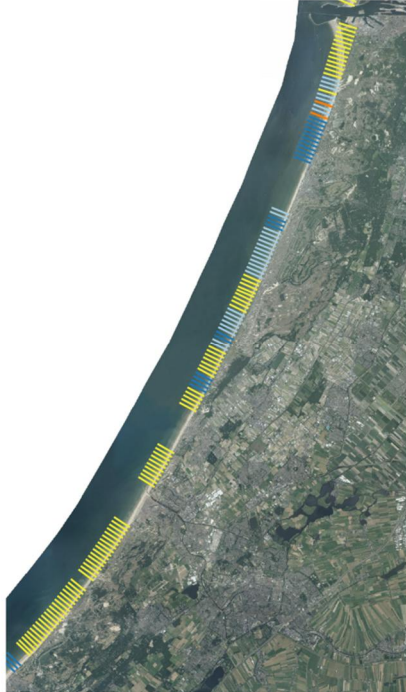
## 17 Rijnland

### 17.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep





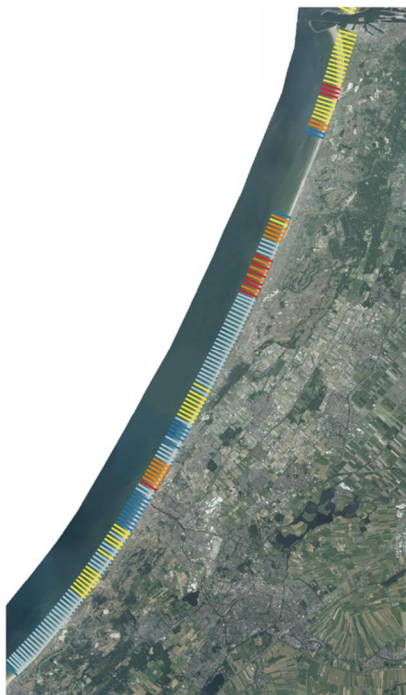
## 17.2 Dynamiek van de zeereep



### Legenda

#### Dynamiek zeereep 2008

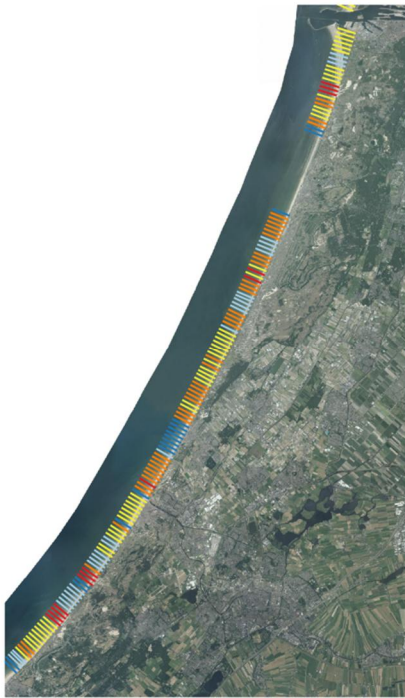
- 1 - nauwelijks dynamiek
- 2 - beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
- 3 - matig tot forse dynamiek voorzijde, ophoging zeereep
- 4 - dynamiek zeereep met beperkte doorstuiving
- 5 - hoge dynamiek zeereep met sterke doorstuiving



### Legenda

#### Dynamiek zeereep 2013

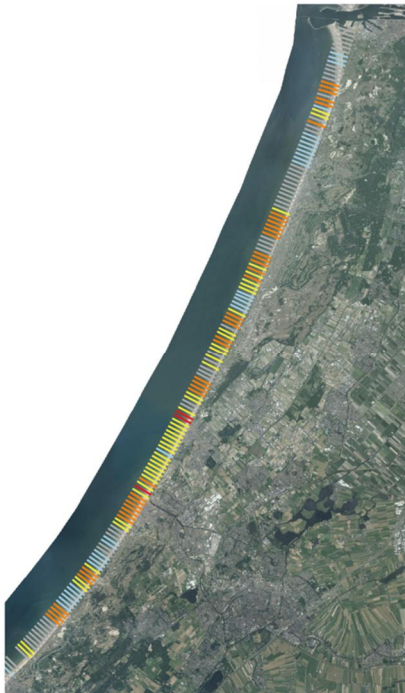
- 1 - nauwelijks dynamiek
- 2 - beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
- 3 - matig tot forse dynamiek voorzijde, ophoging zeereep
- 4 - dynamiek zeereep met beperkte doorstuiving
- 5 - hoge dynamiek zeereep met sterke doorstuiving



## 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



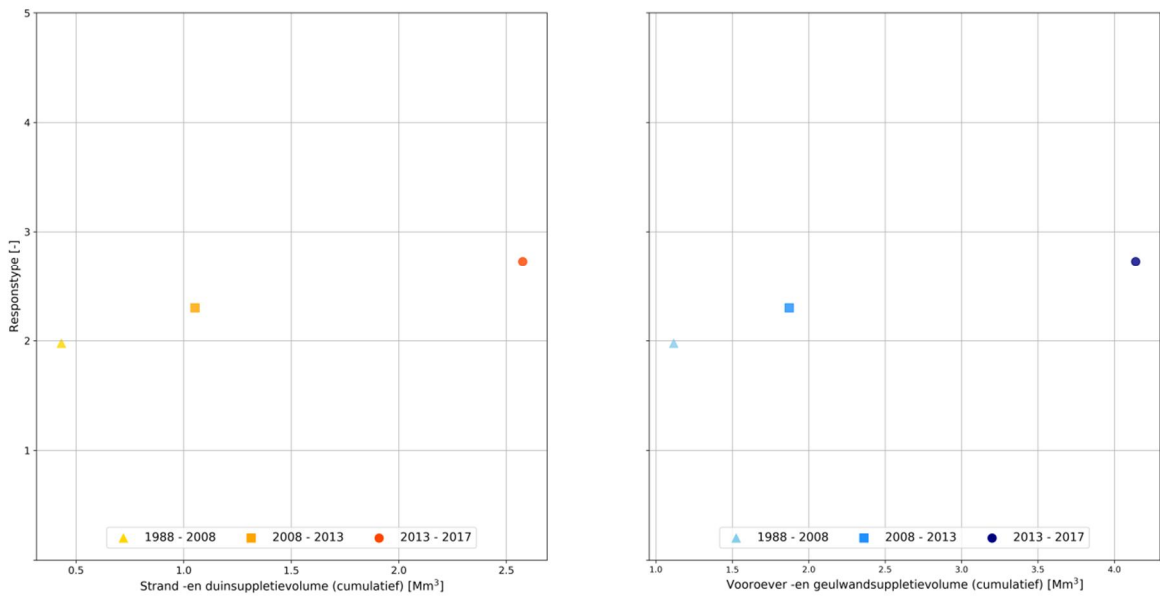
## Legenda

### Verandering dynamiek zeereep 2008 - 2017

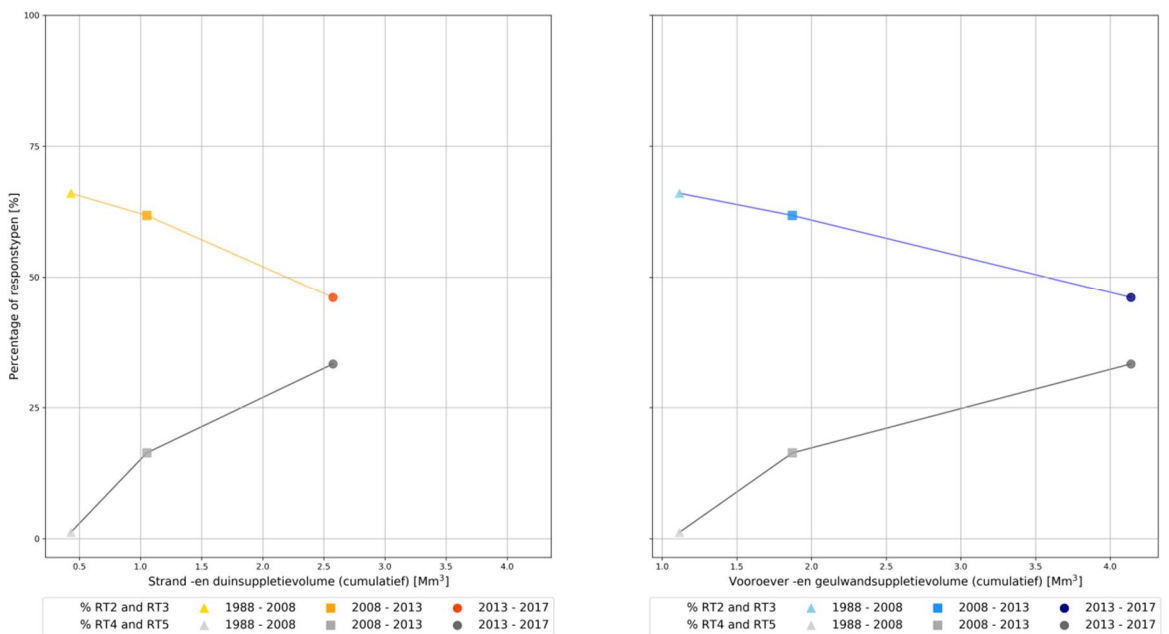
- Sterke afname dynamiek
- Afname dynamiek
- Lichte afname dynamiek
- Geen verandering
- Lichte toename dynamiek
- Toename dynamiek
- Sterke toename dynamiek

### 17.3 Dynamiek van de zeereep versus suppletievolumen

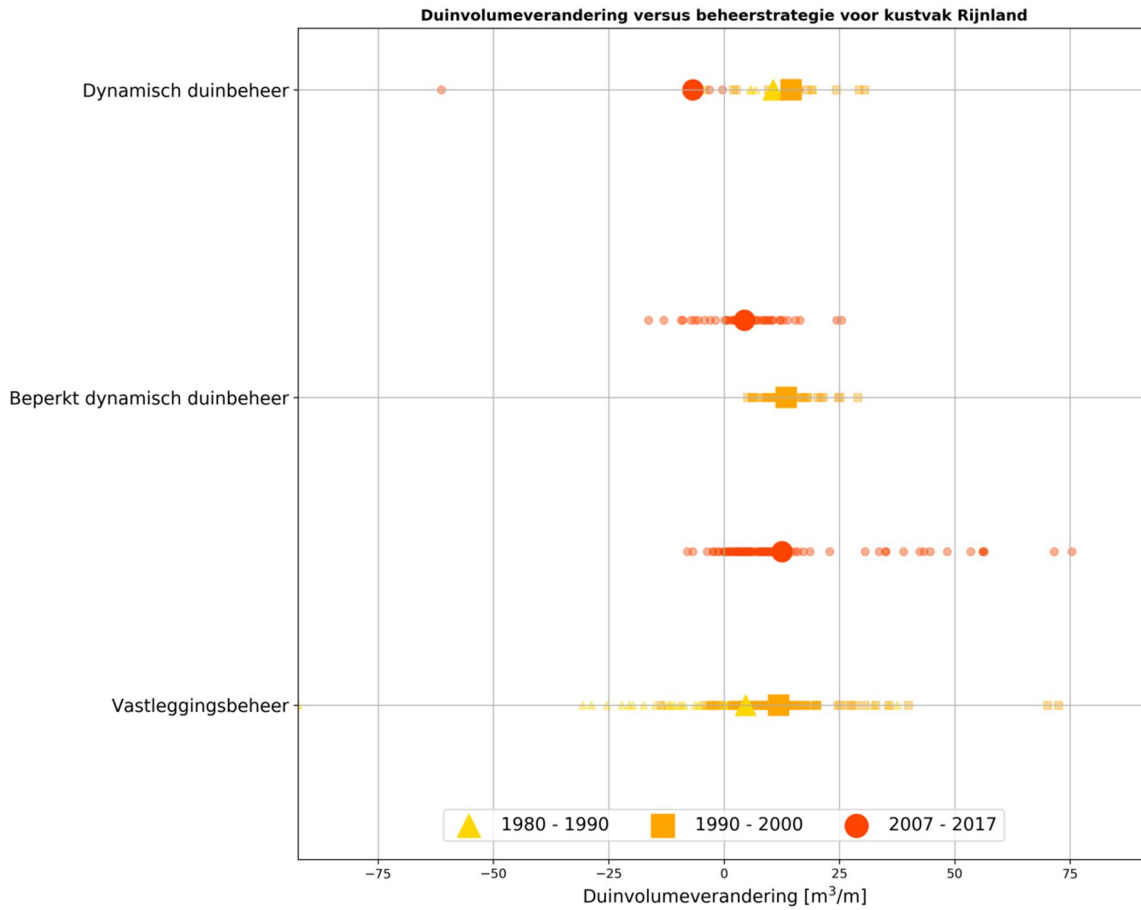
Suppletievolumen versus gem. responstype voor kustvak Rijnland



Suppletievolumen versus verdeling responstypen voor kustvak Rijnland

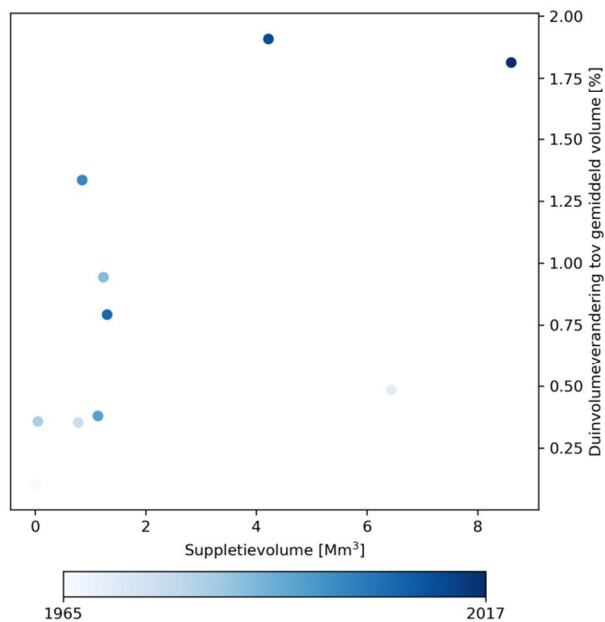
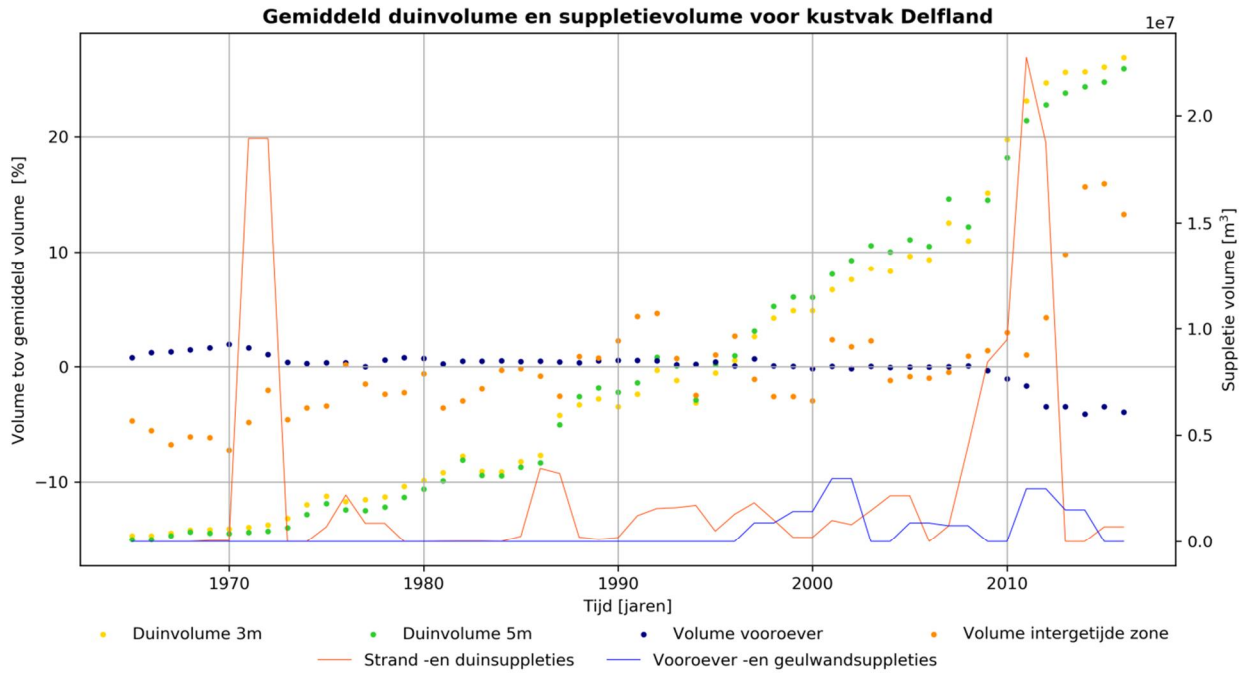


## 17.4 Duinvolume verandering versus beheerstrategie



## 18 Delfland

### 18.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep



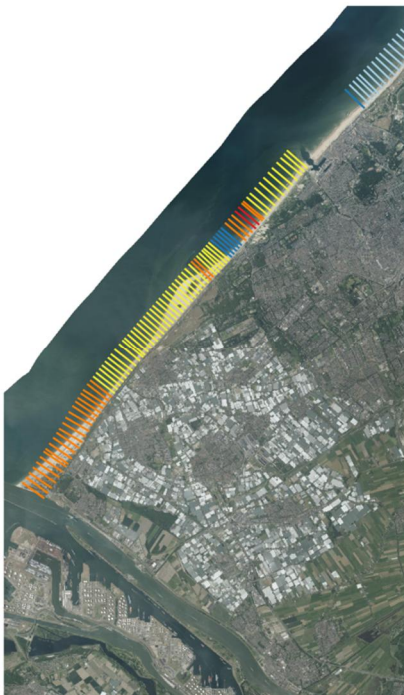
## 18.2 Dynamiek van de zeereep



### Legenda

#### Dynamiek zeereep 2008

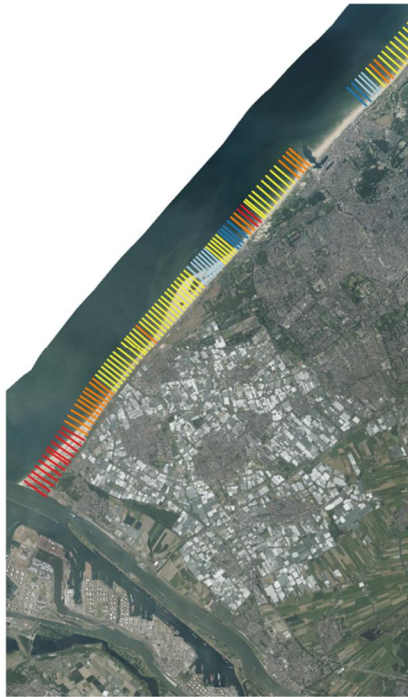
- 1 - nauwelijks dynamiek
- 2 - beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
- 3 - matig tot forse dynamiek voorzijde, ophoging zeereep
- 4 - dynamiek zeereep met beperkte doorstuiving
- 5 - hoge dynamiek zeereep met sterke doorstuiving



### Legenda

#### Dynamiek zeereep 2013

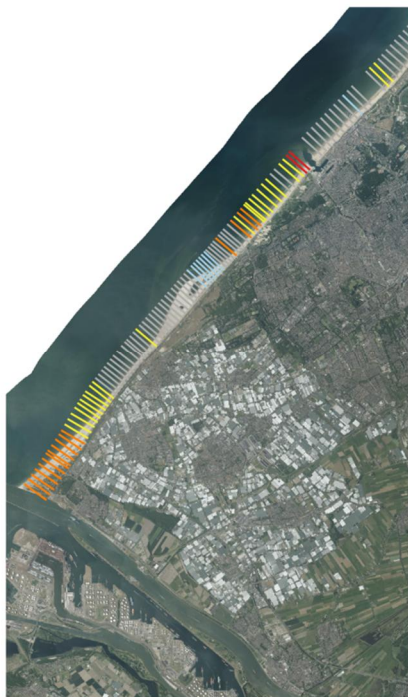
- 1 - nauwelijks dynamiek
- 2 - beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
- 3 - matig tot forse dynamiek voorzijde, ophoging zeereep
- 4 - dynamiek zeereep met beperkte doorstuiving
- 5 - hoge dynamiek zeereep met sterke doorstuiving



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



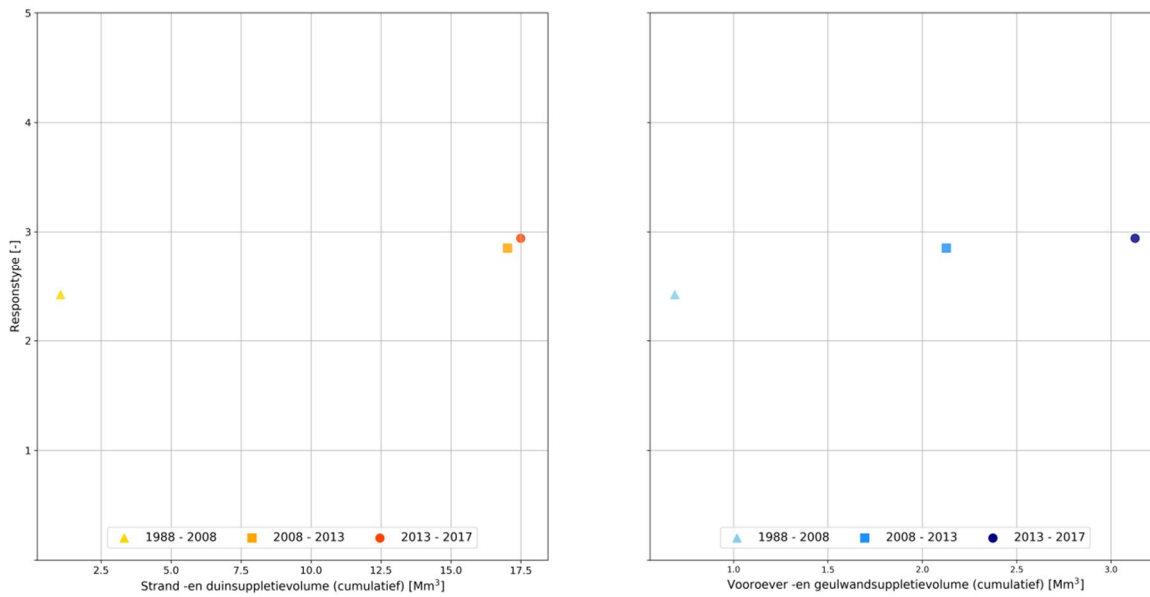
Legenda

Verandering dynamiek zeereep 2008 - 2017

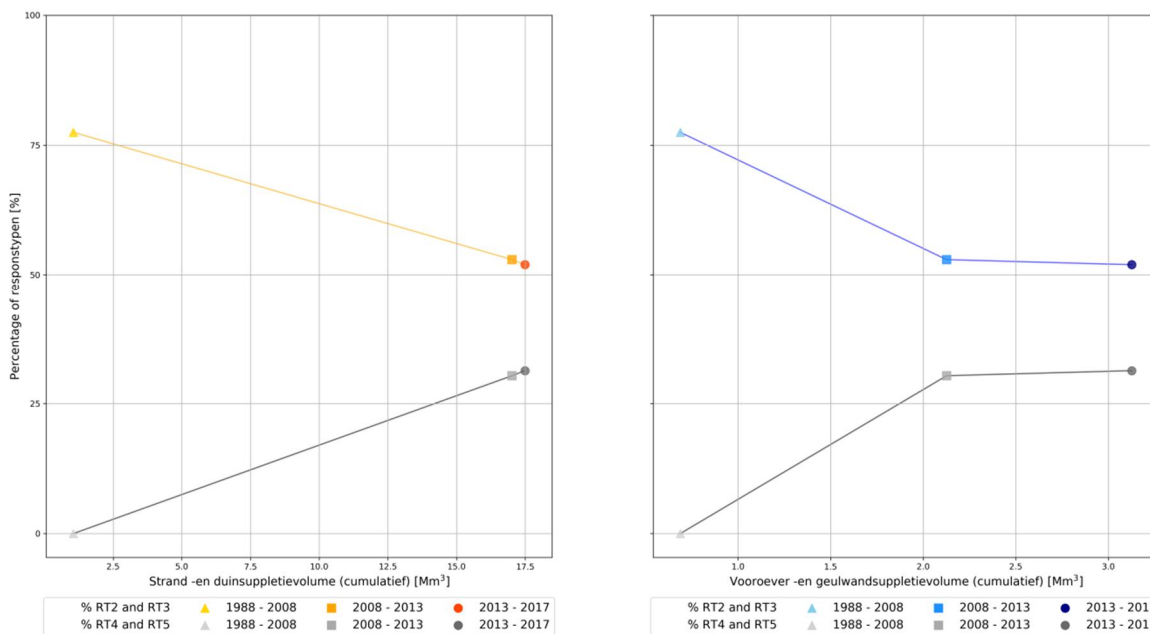
- Sterke afname dynamiek
- Afname dynamiek
- Lichte afname dynamiek
- Geen verandering
- Lichte toename dynamiek
- Toename dynamiek
- Sterke toename dynamiek

## 18.3 Dynamiek van de zeereep versus suppletievolume

Suppletievolume versus gem. responstype voor kustvak Delfland

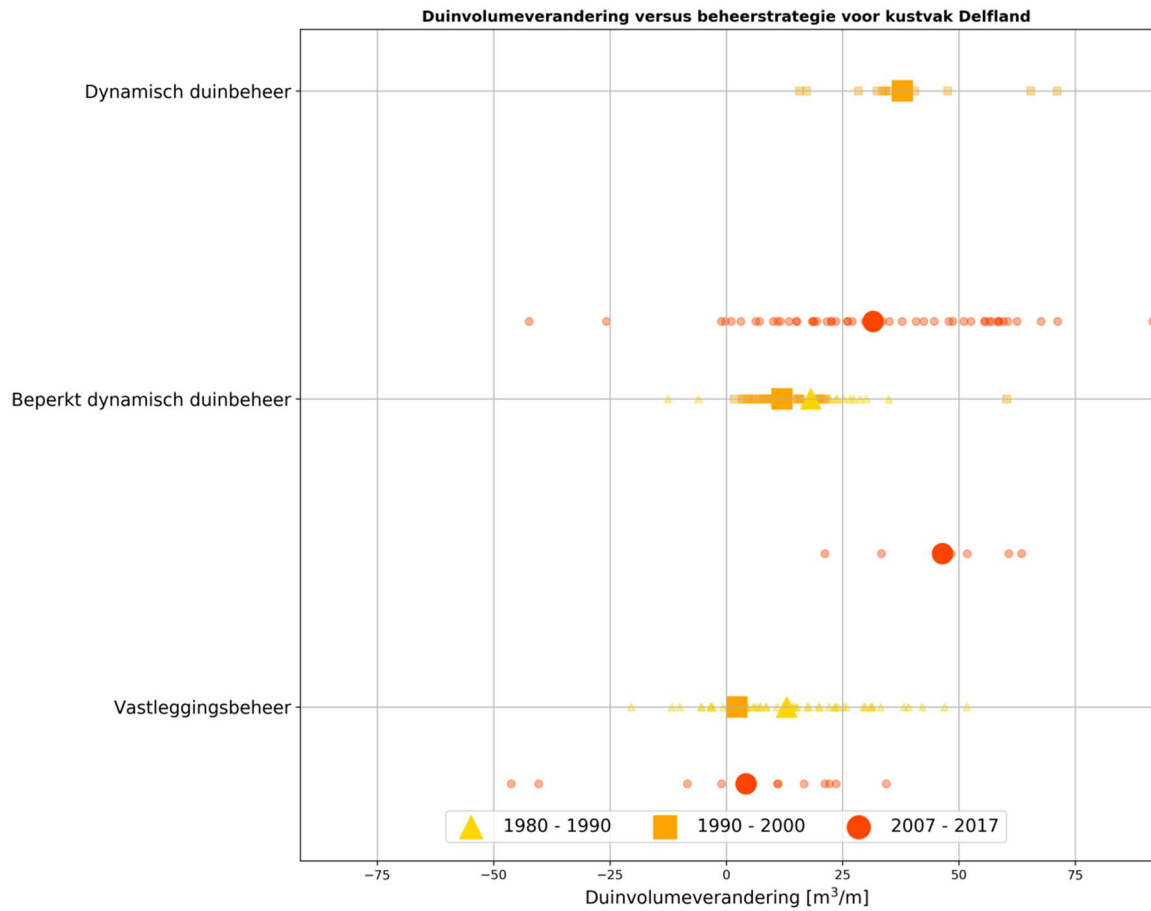


Suppletievolume versus verdeling responstypen voor kustvak Delfland



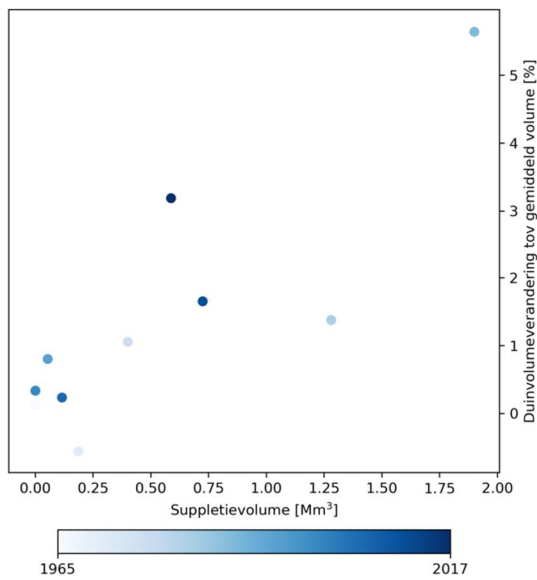
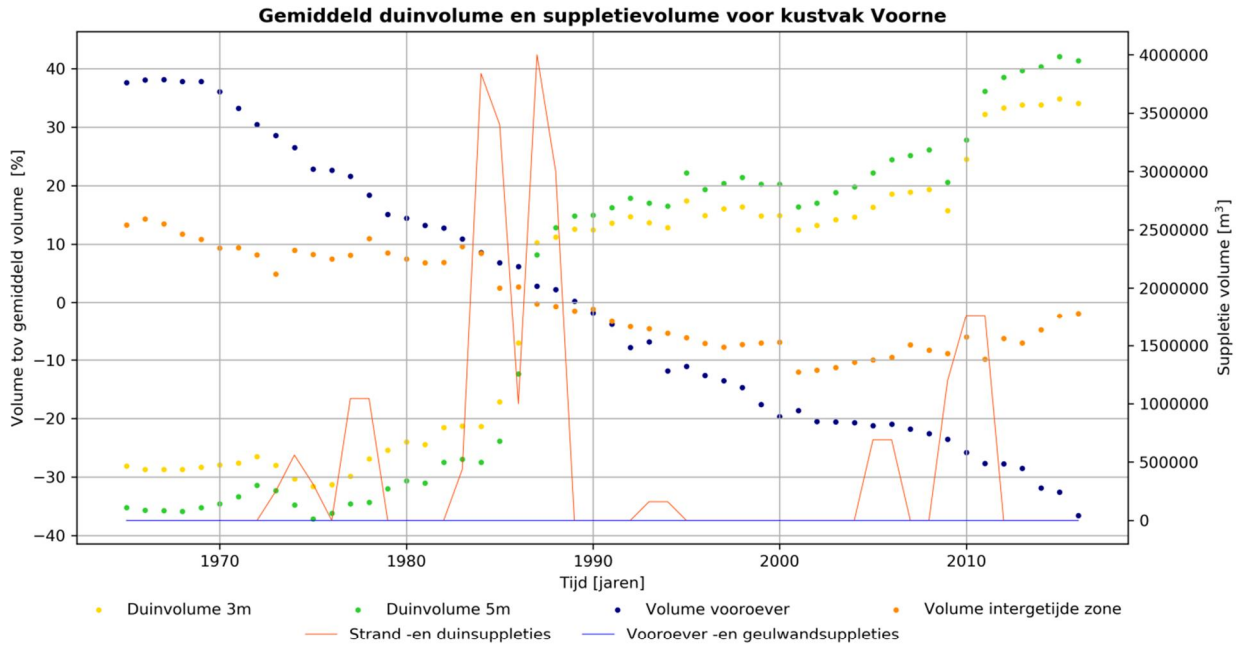


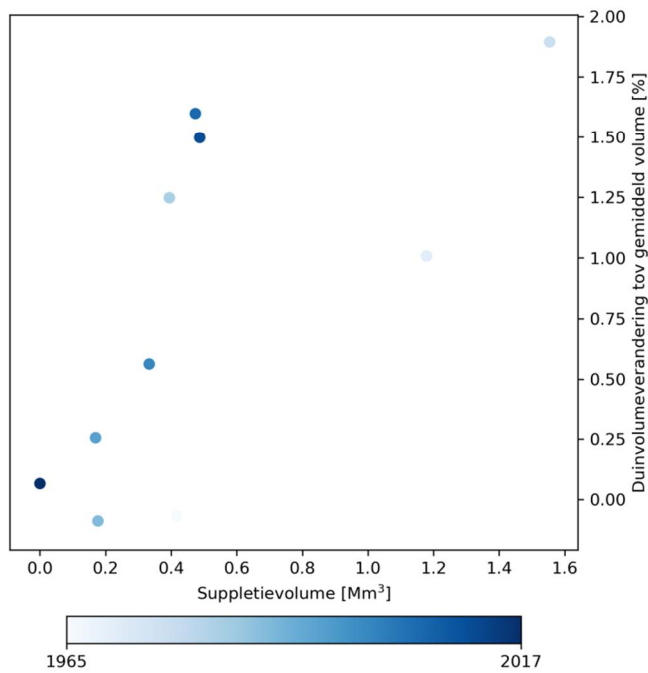
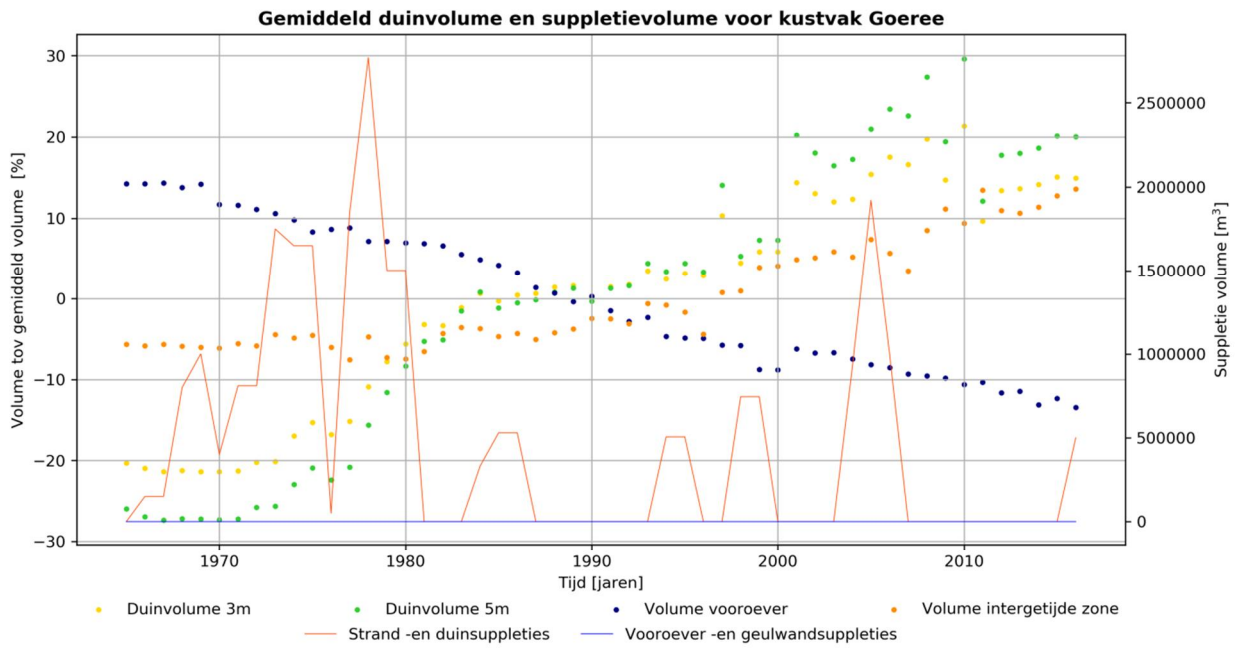
### 18.4 Duinvolume verandering versus beheerstrategie



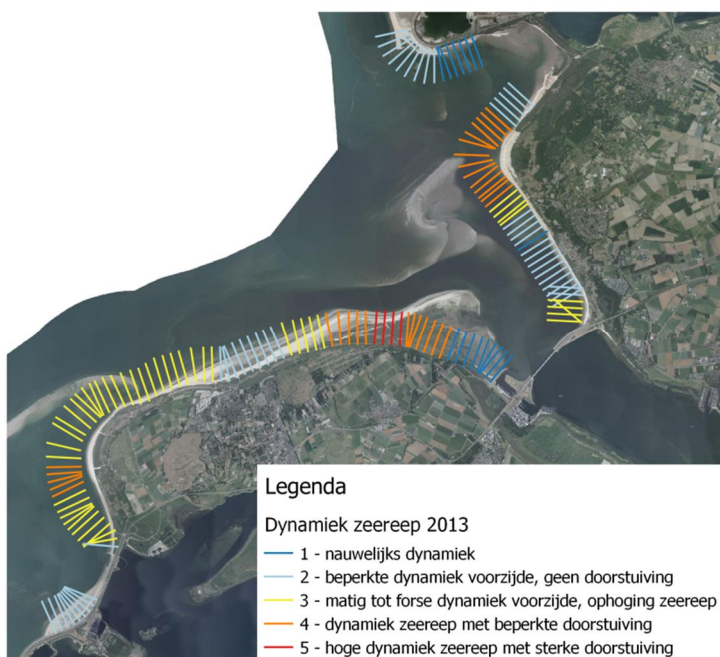
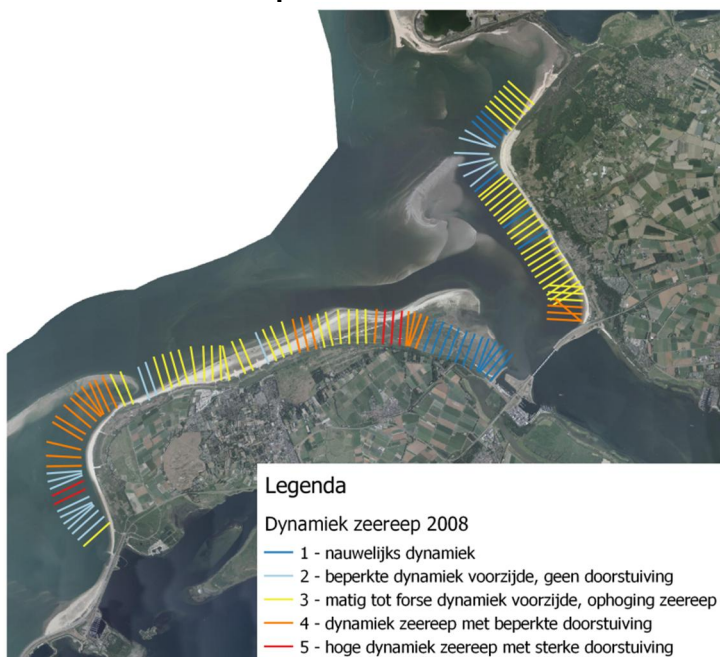
## 19 Voorne en Goeree

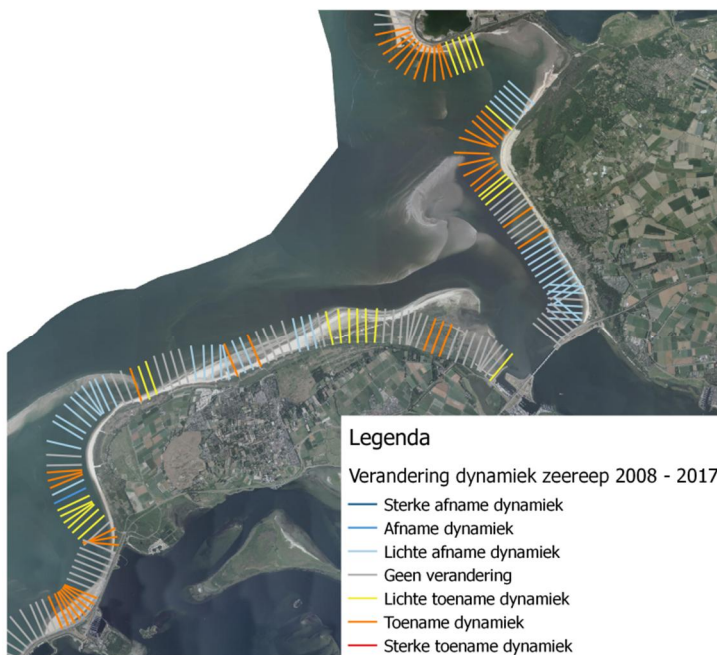
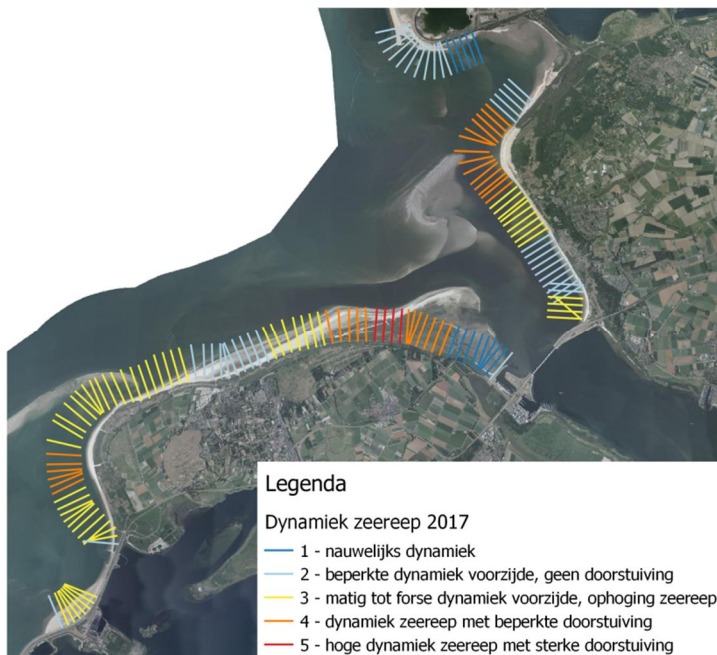
### 19.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep





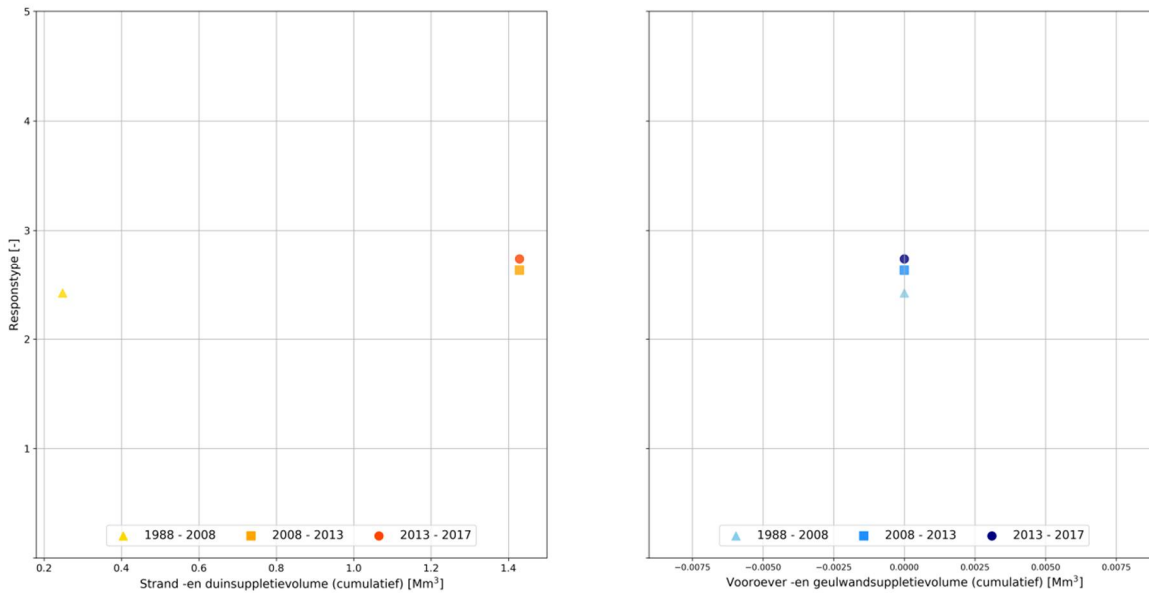
## 19.2 Dynamiek van de zeereep



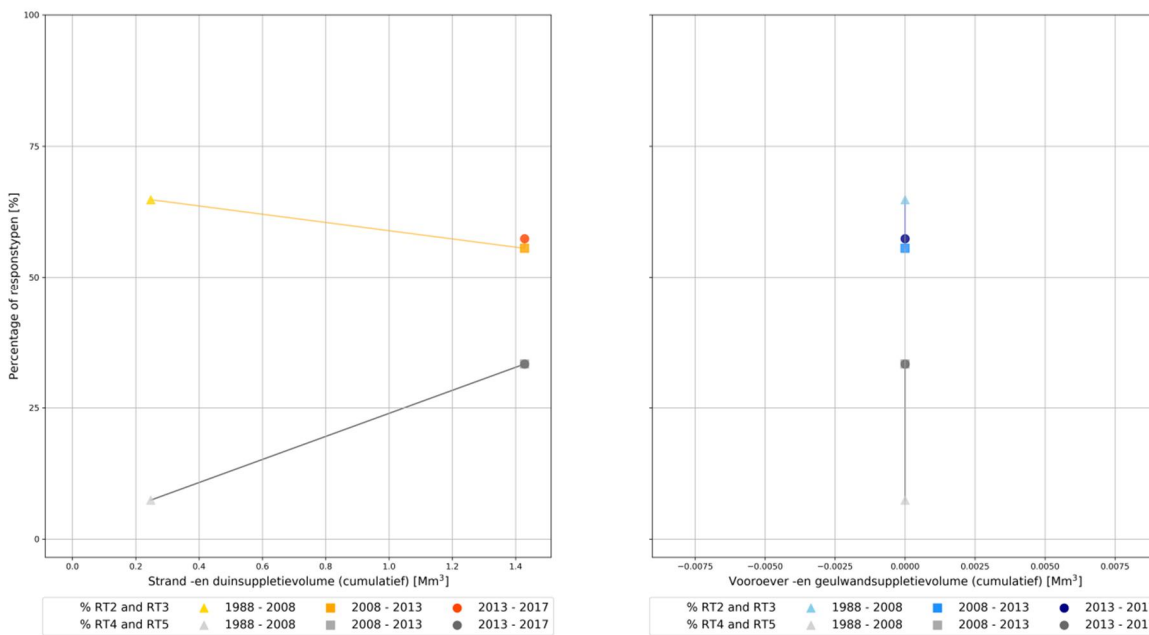


## 19.3 Dynamiek van de zeereep versus suppletievolume

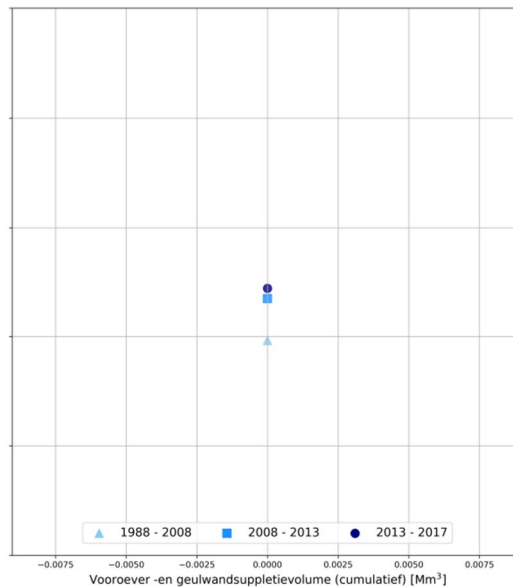
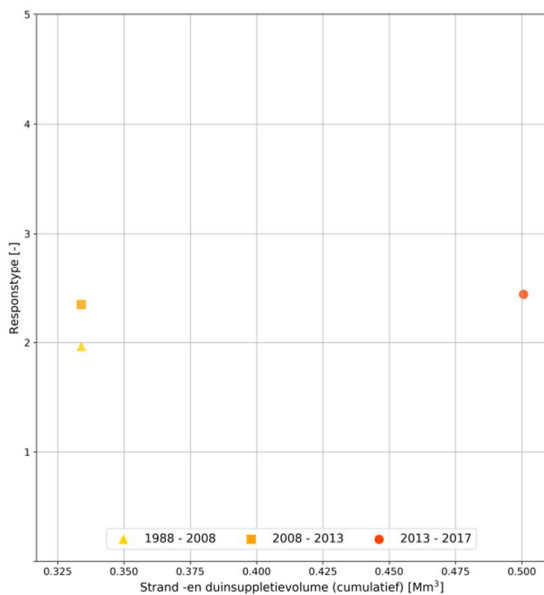
Suppletievolume versus gem. responstype voor kustvak Voorne



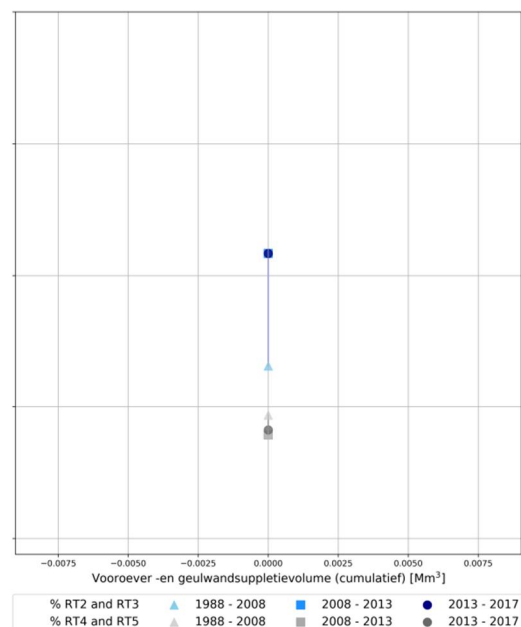
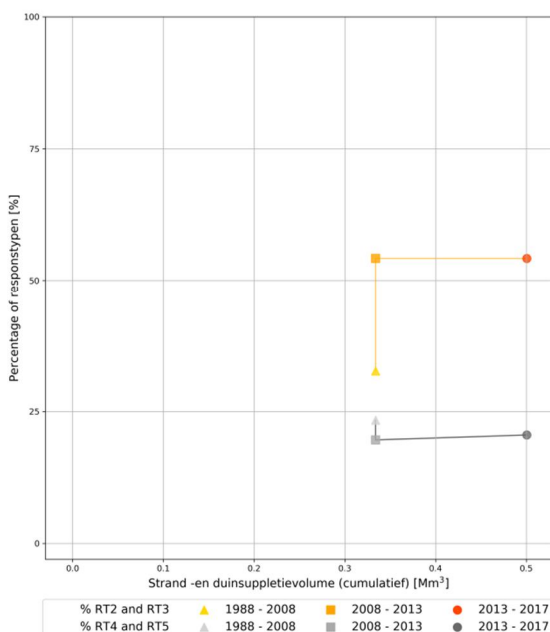
Suppletievolume versus verdeling responstypen voor kustvak Voorne



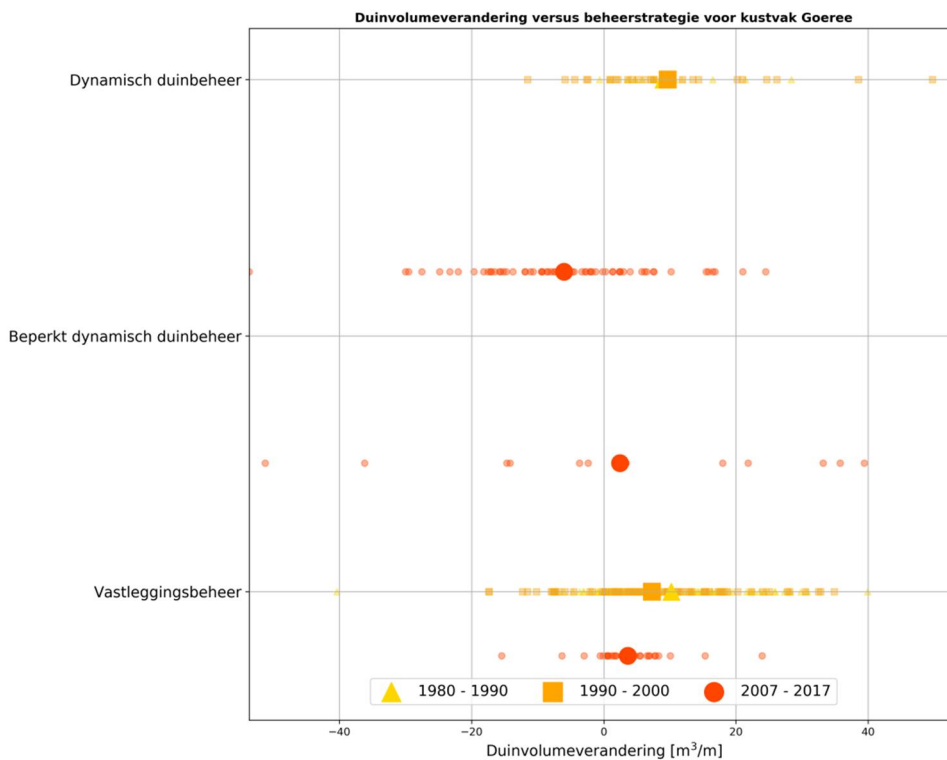
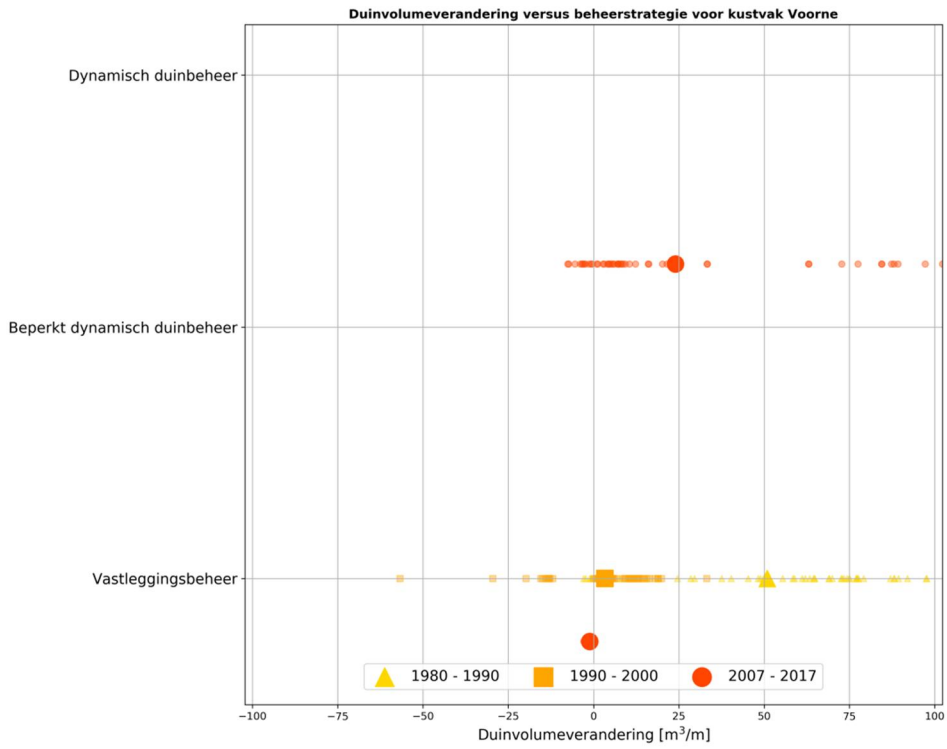
### Suppletievolume versus gem. responstype voor kustvak Goeree



### Suppletievolume versus verdeling responstypen voor kustvak Goeree



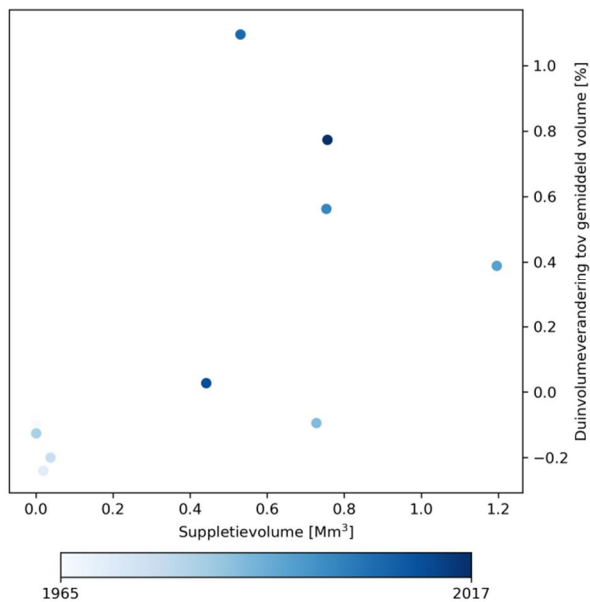
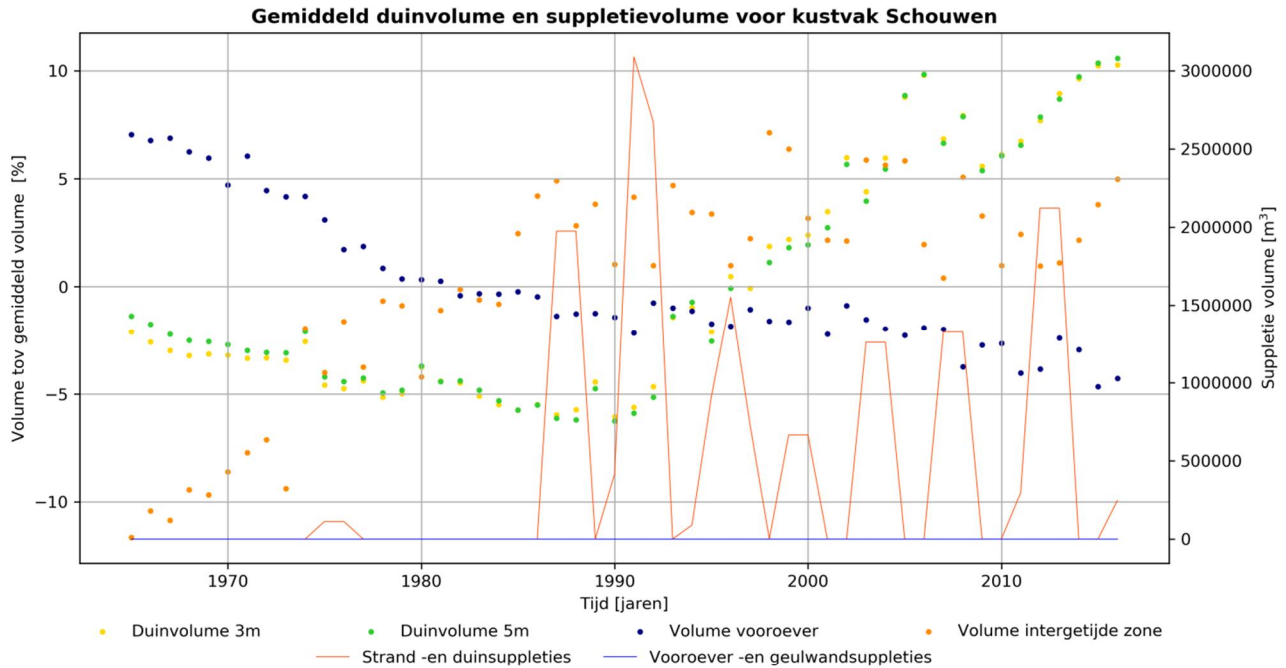
## 19.4 Duinvolume verandering versus beheerstrategie

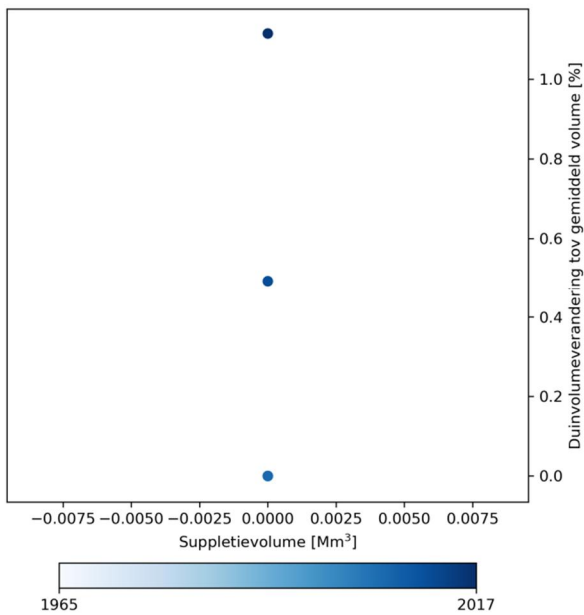
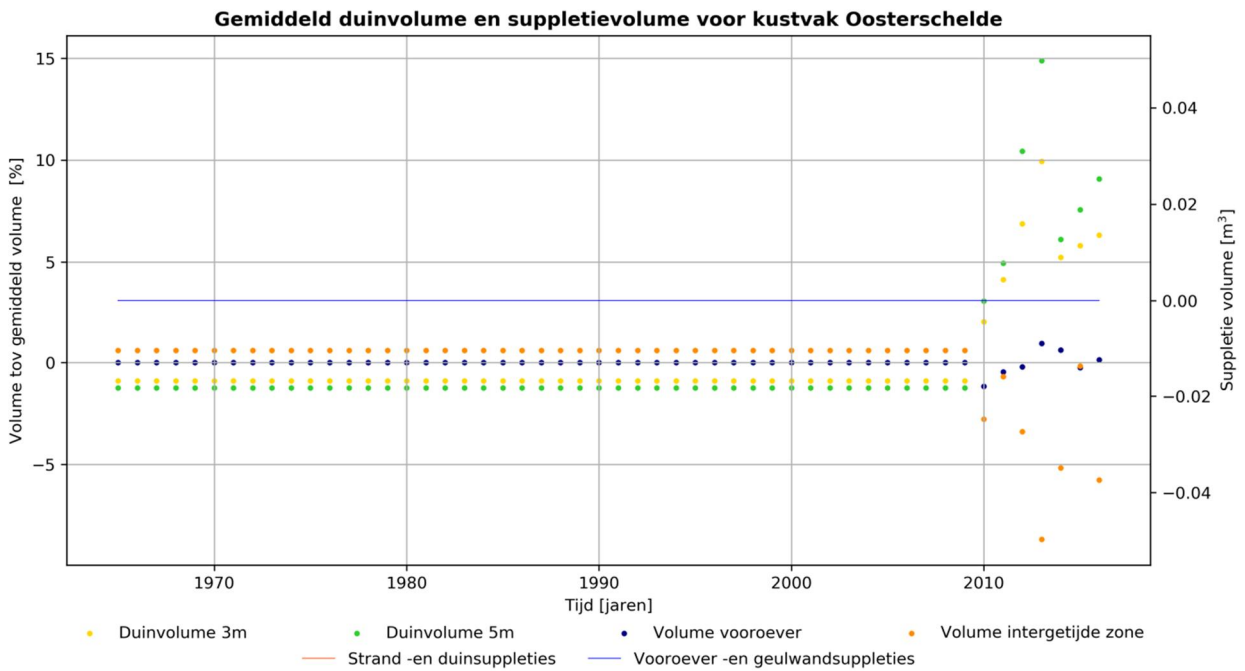




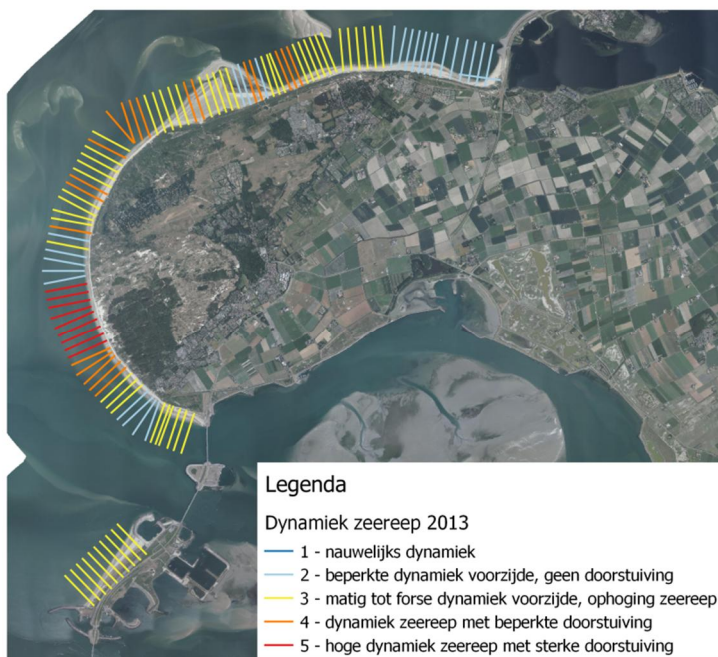
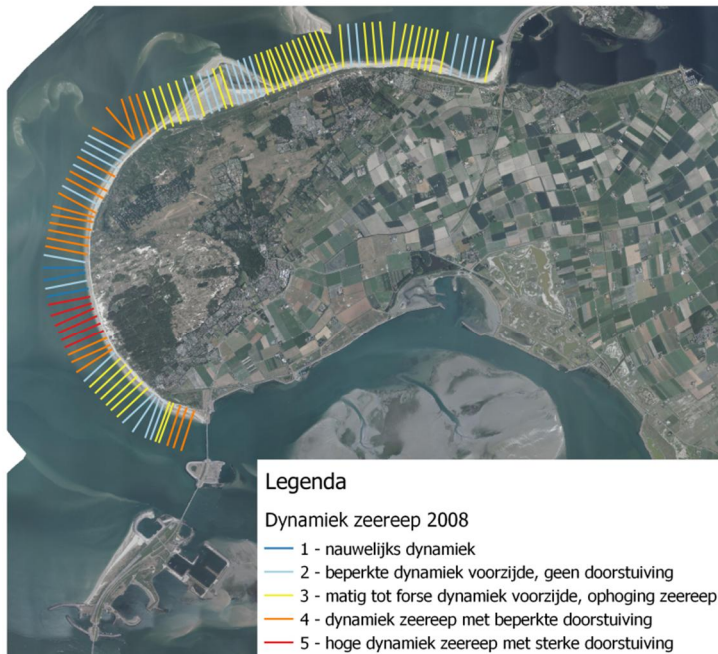
## 20 Schouwen en Oosterscheldekering

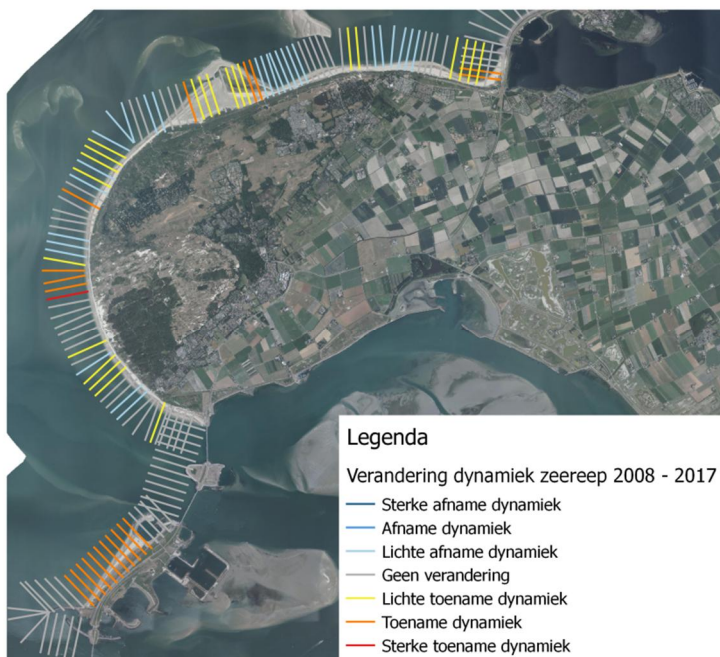
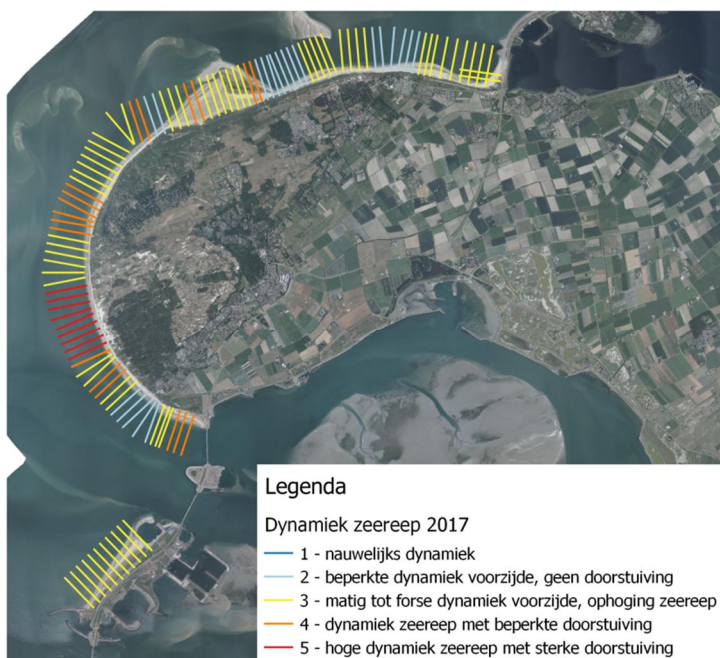
### 20.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep





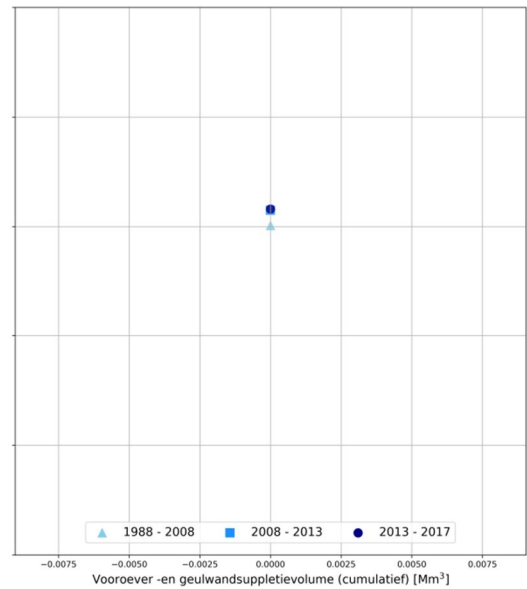
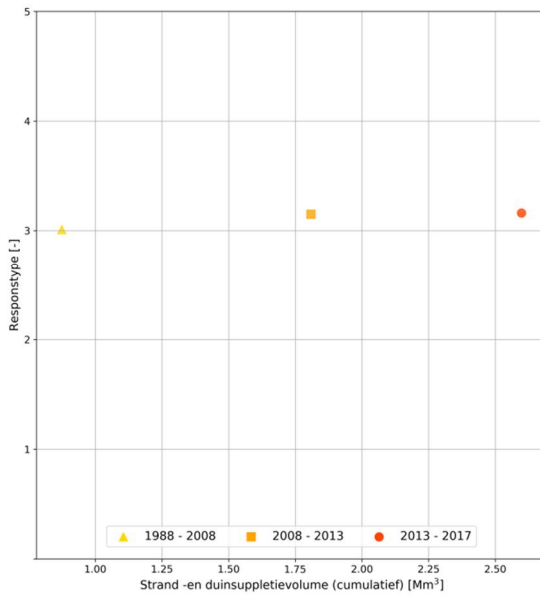
## 20.2 Dynamiek van de zeereep



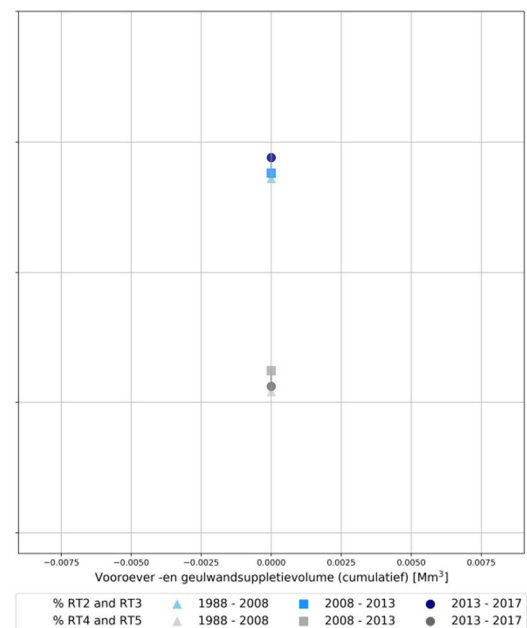
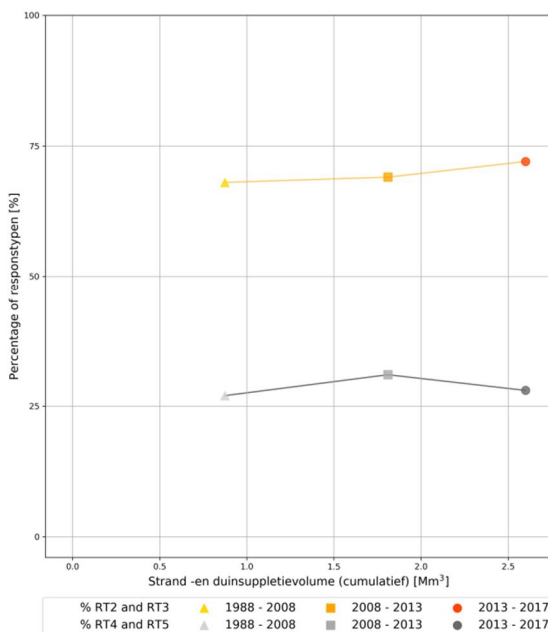


### 20.3 Dynamiek van de zeereep versus suppletievolumen

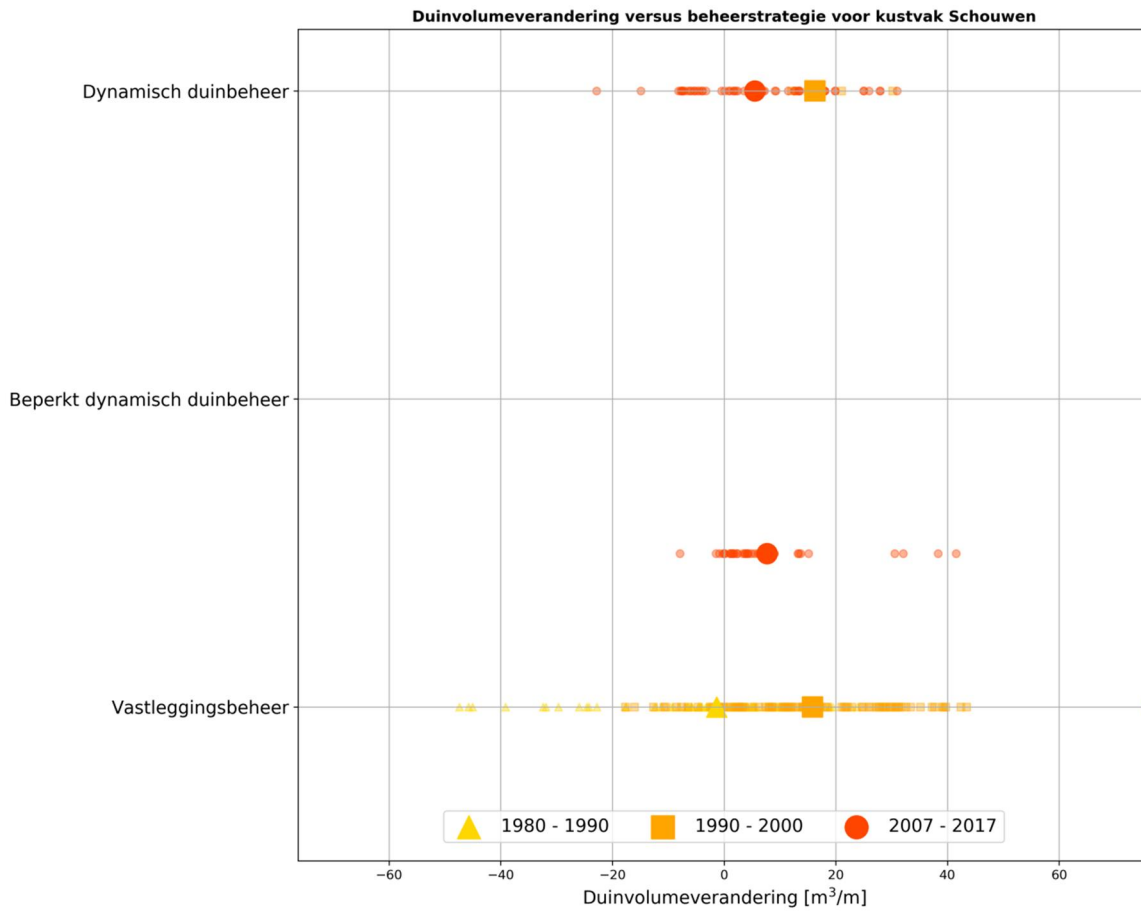
Suppletievolumen versus gem. responstype voor kustvak Schouwen



Suppletievolumen versus verdeling responstypen voor kustvak Schouwen

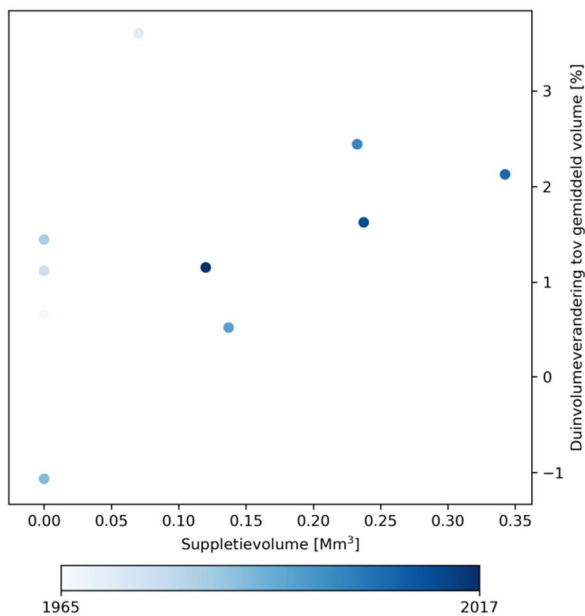
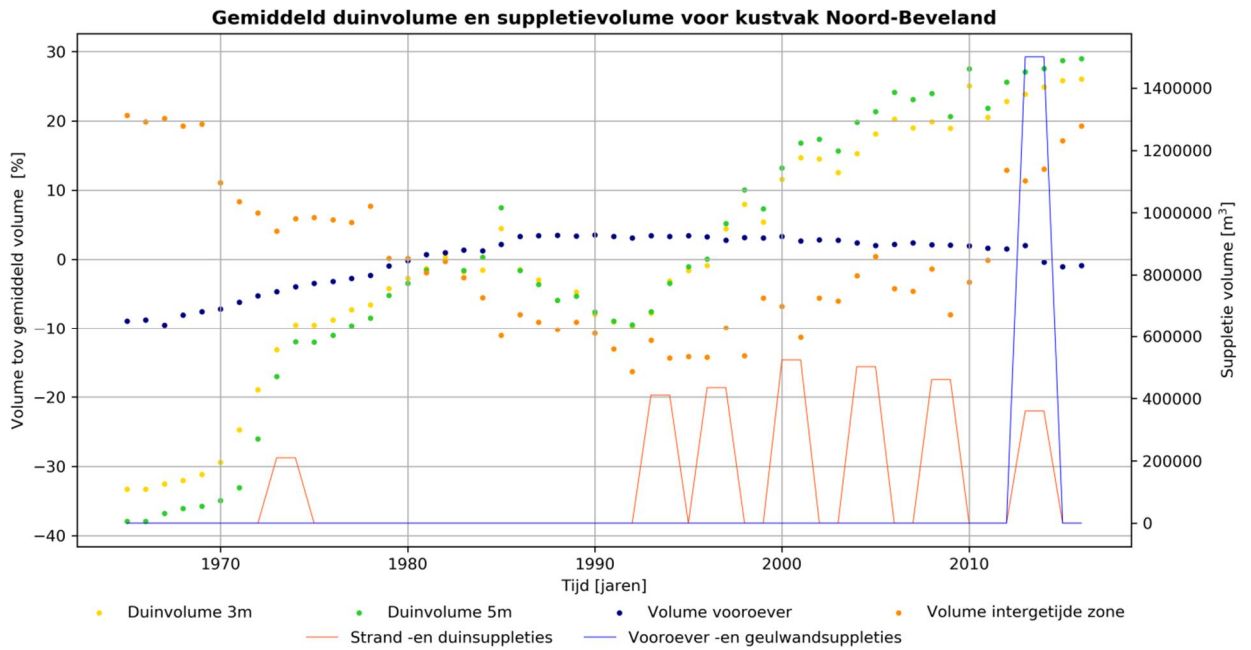


## 20.4 Duinvolume verandering versus beheerstrategie



## 21 Noord-Beverland

### 21.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep



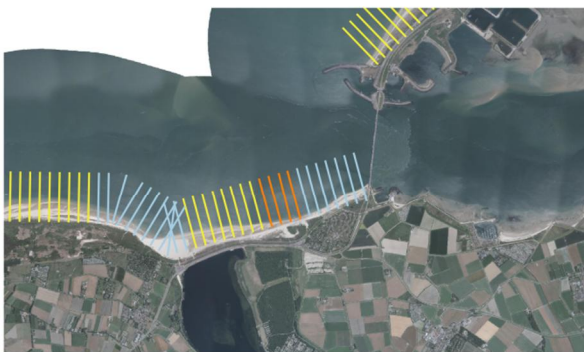
## 21.2 Dynamiek van de zeereep



### Legenda

#### Dynamiek zeereep 2008

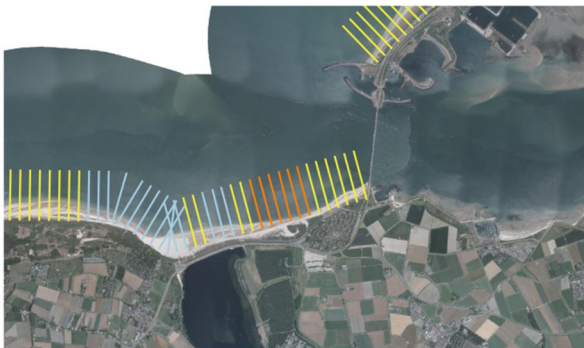
- 1 - nauwelijks dynamiek
- 2 - beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
- 3 - matig tot forse dynamiek voorzijde, ophoging zeereep
- 4 - dynamiek zeereep met beperkte doorstuiving
- 5 - hoge dynamiek zeereep met sterke doorstuiving



### 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

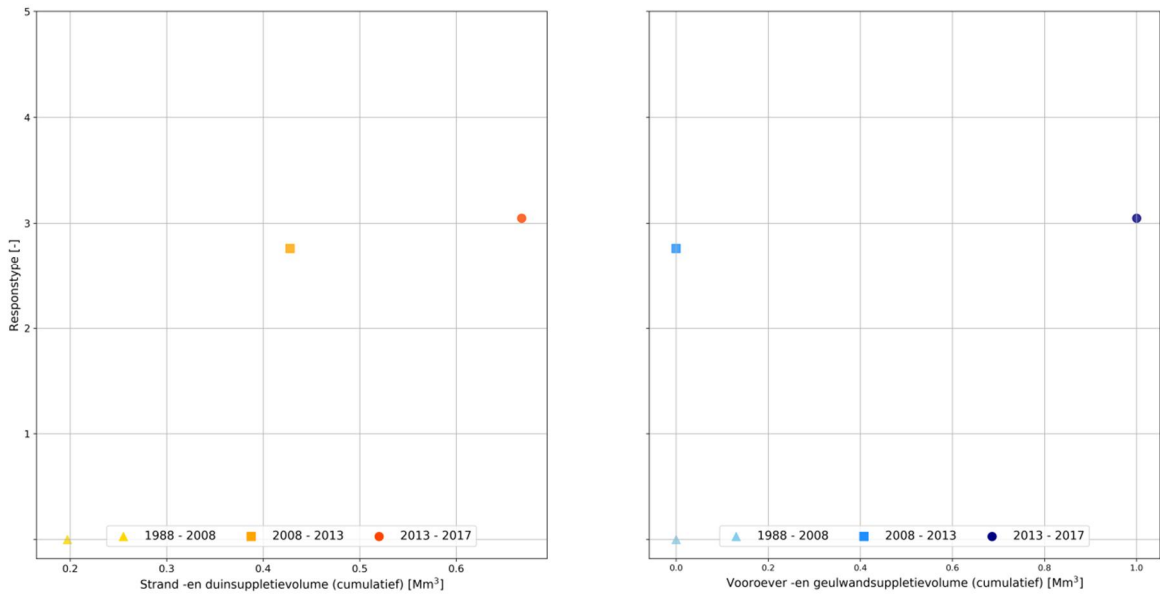
#### Verandering dynamiek zeereep 2008 - 2017

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

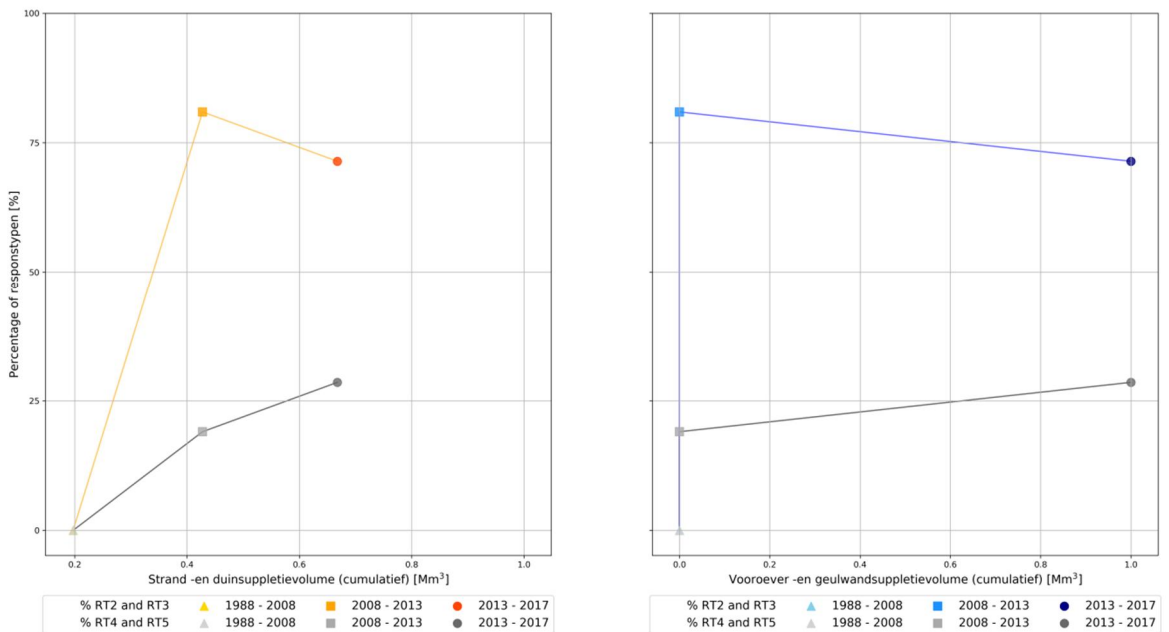


### 21.3 Dynamiek van de zeereep versus suppletievolumen

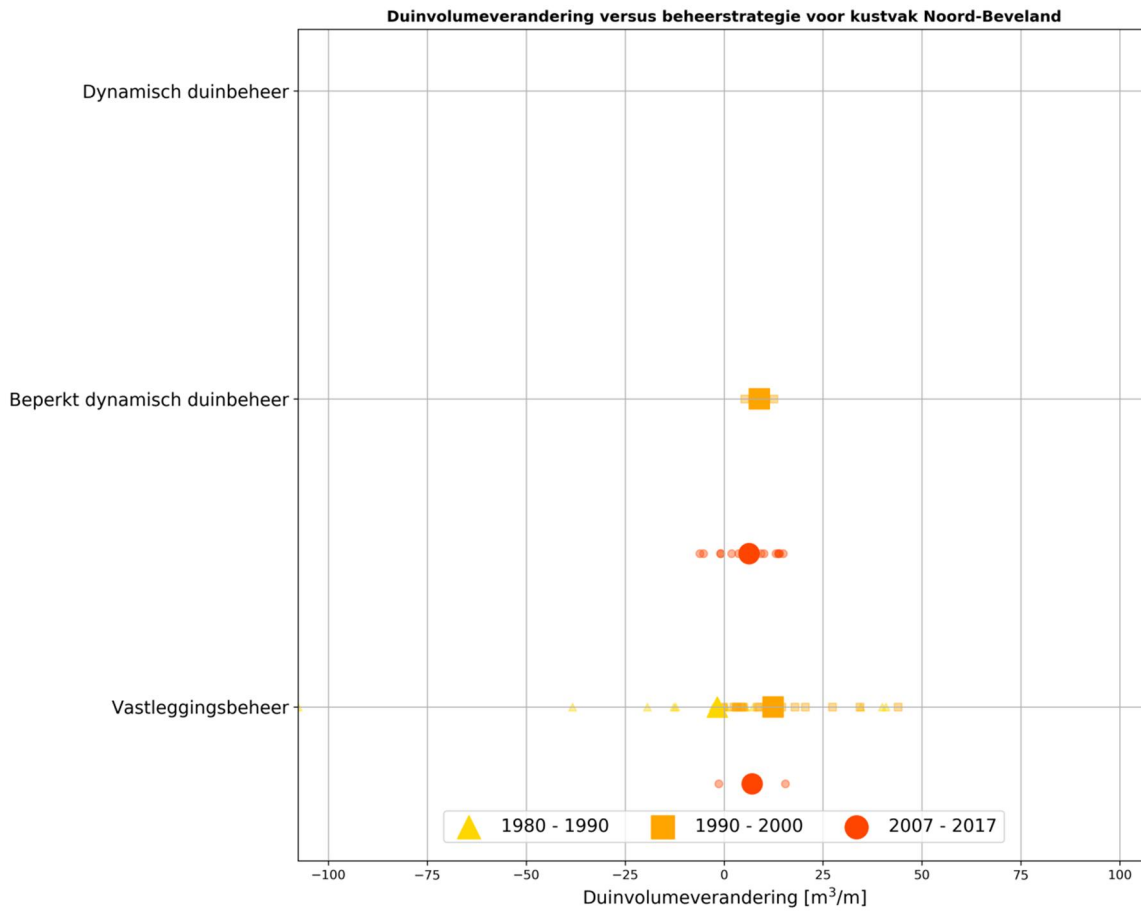
Suppletievolumen versus gem. responstype voor kustvak Noord-Beveland



Suppletievolumen versus verdeling responstypen voor kustvak Noord-Beveland

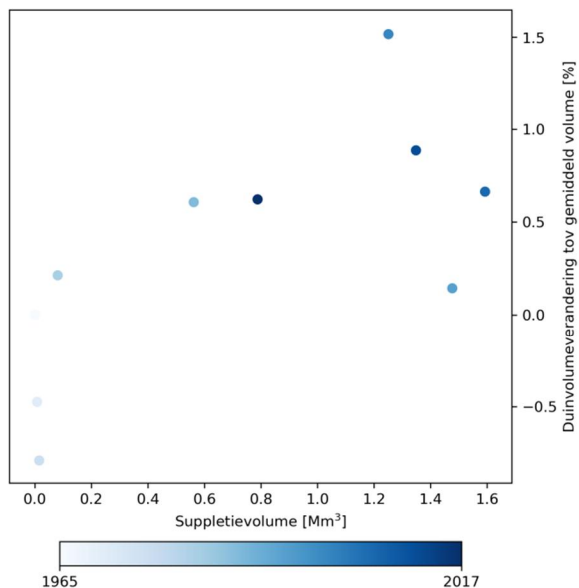
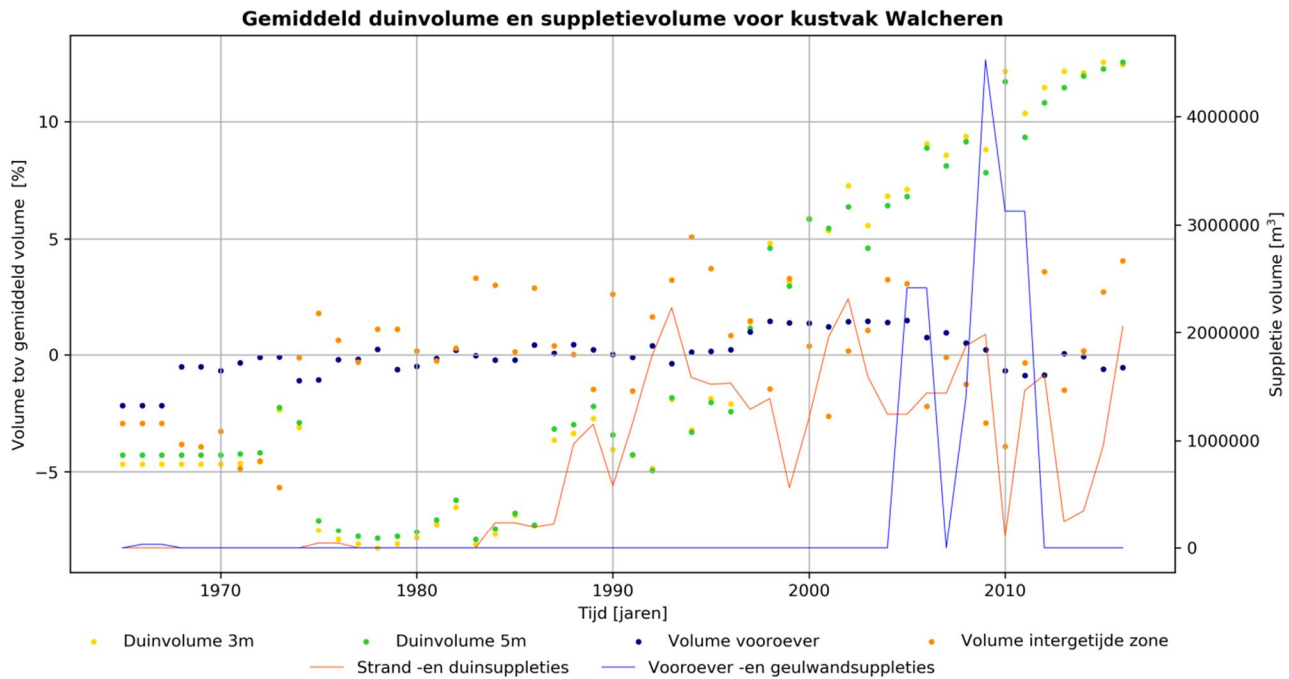


## 21.4 Duinvolume verandering versus beheerstrategie

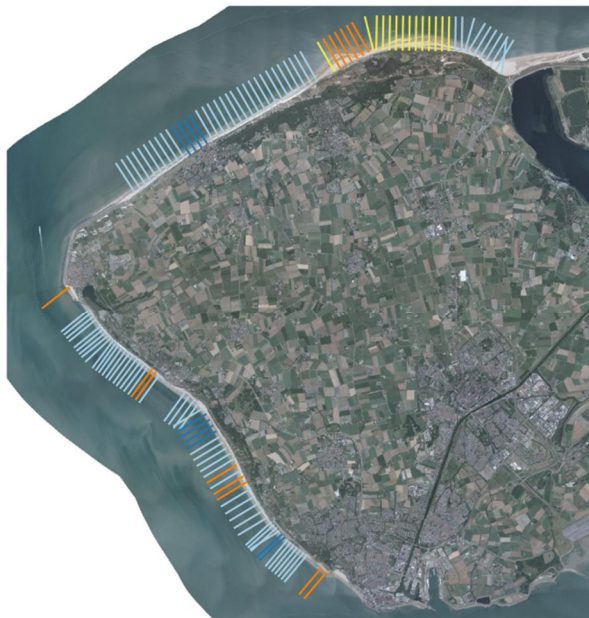


## 22 Walcheren

### 22.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep



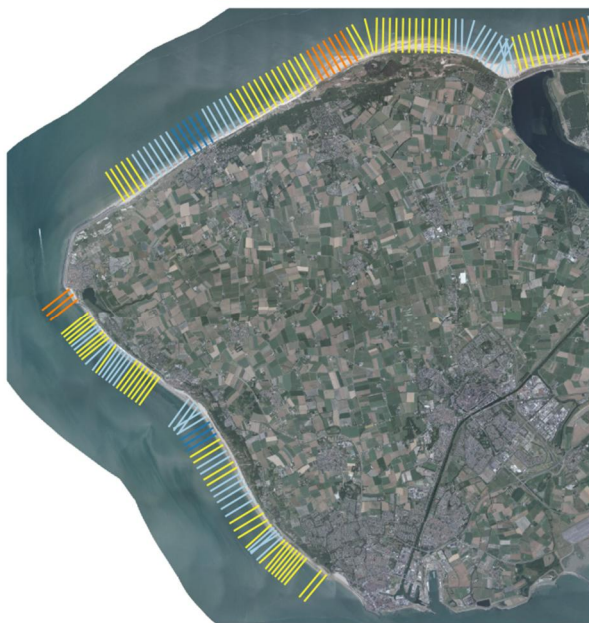
## 22.2 Dynamiek van de zeereep



### Legenda

#### Dynamiek zeereep 2008

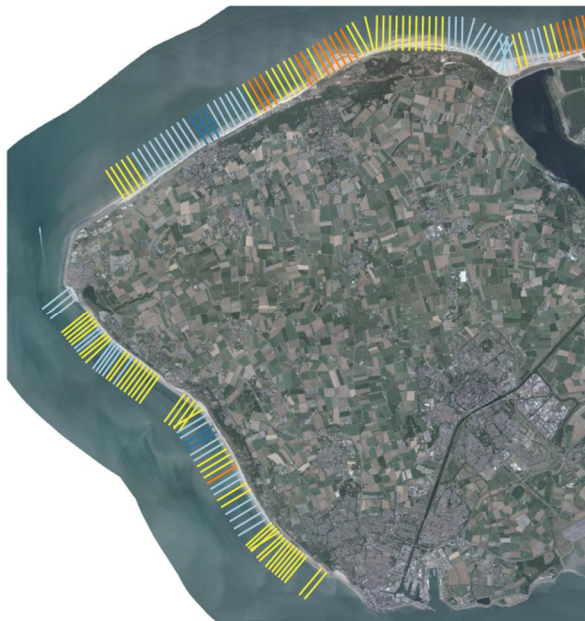
- 1 - nauwelijks dynamiek
- 2 - beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
- 3 - matig tot forse dynamiek voorzijde, ophoging zeereep
- 4 - dynamiek zeereep met beperkte doorstuiving
- 5 - hoge dynamiek zeereep met sterke doorstuiving



### Legenda

#### Dynamiek zeereep 2013

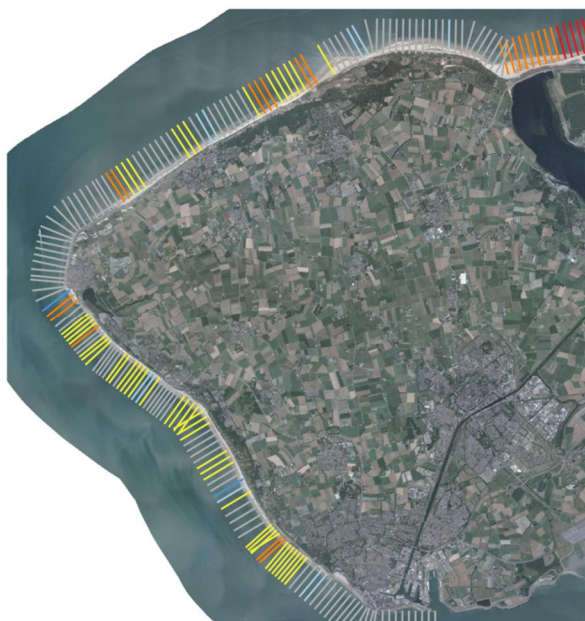
- 1 - nauwelijks dynamiek
- 2 - beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
- 3 - matig tot forse dynamiek voorzijde, ophoging zeereep
- 4 - dynamiek zeereep met beperkte doorstuiving
- 5 - hoge dynamiek zeereep met sterke doorstuiving



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



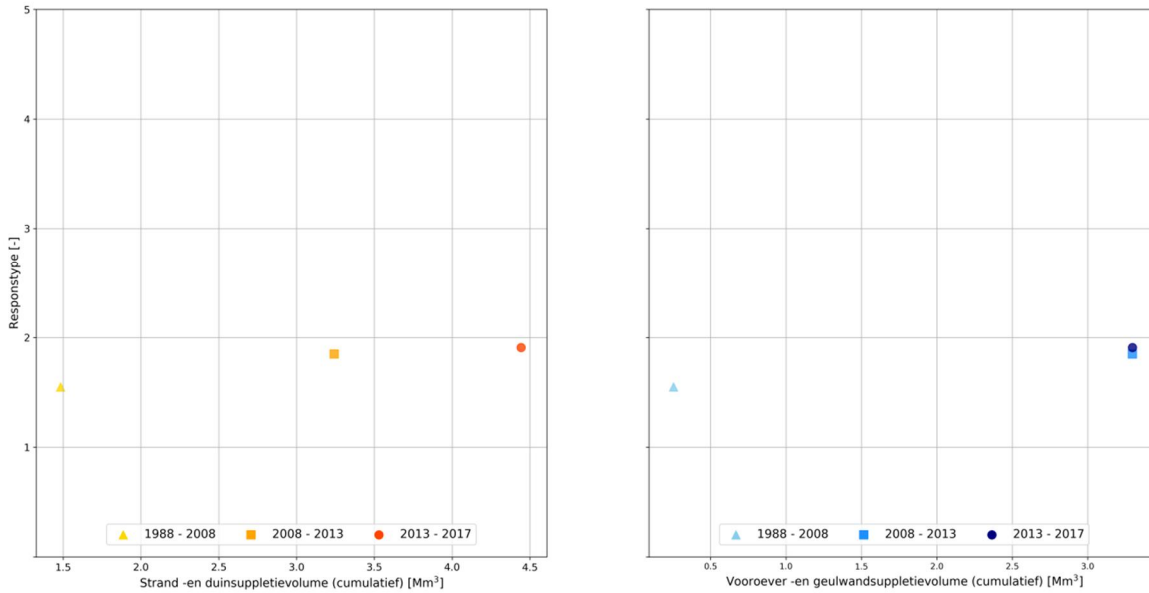
Legenda

Verandering dynamiek zeereep 2008 - 2017

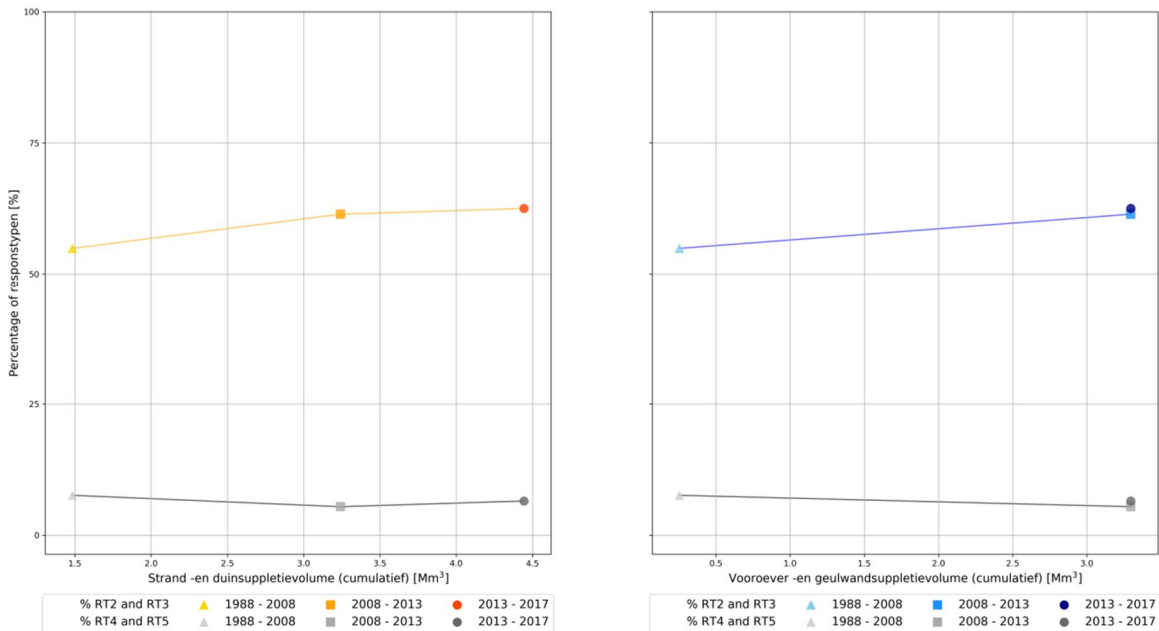
- Sterke afname dynamiek
- Afname dynamiek
- Lichte afname dynamiek
- Geen verandering
- Lichte toename dynamiek
- Toename dynamiek
- Sterke toename dynamiek

## 22.3 Dynamiek van de zeereep versus suppletievolume

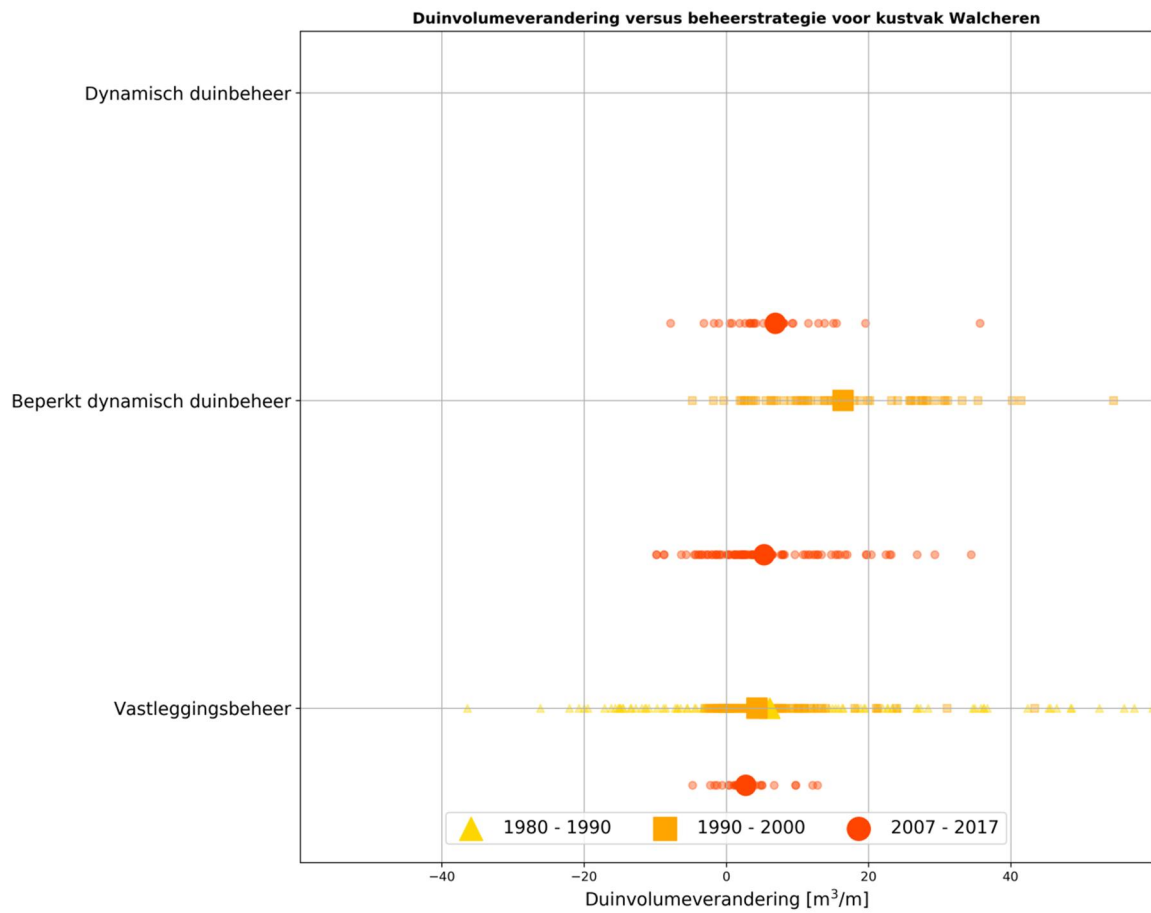
Suppletievolume versus gem. responstype voor kustvak Walcheren



Suppletievolume versus verdeling responstypen voor kustvak Walcheren



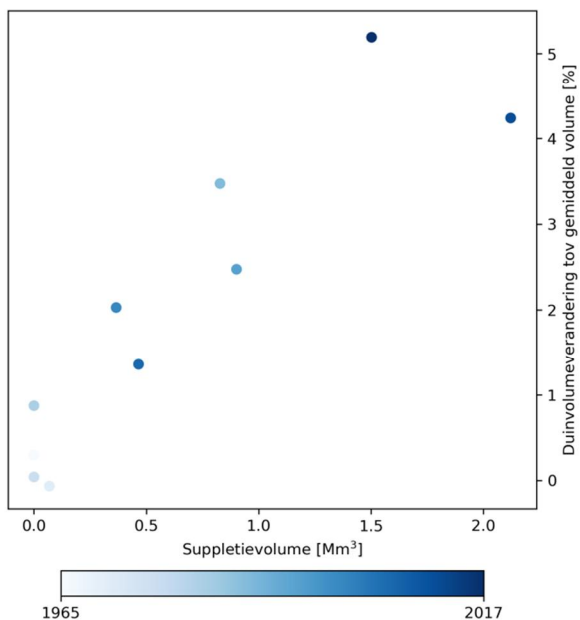
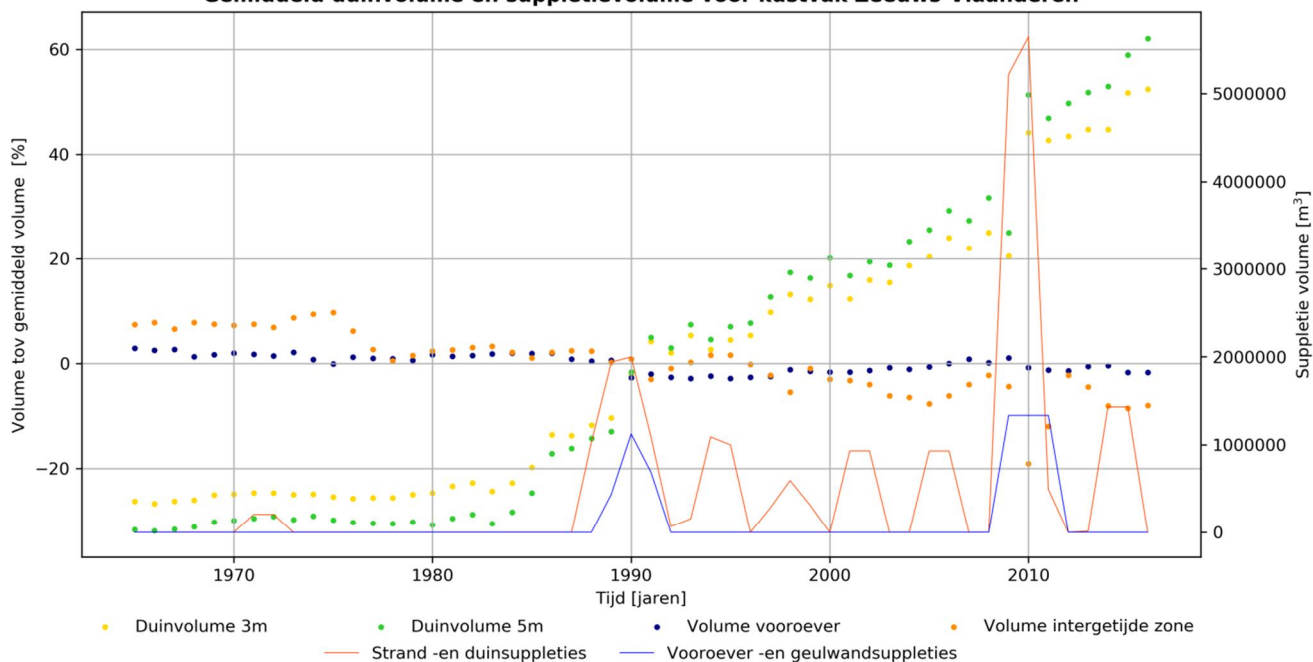
## 22.4 Duinvolume verandering versus beheerstrategie



## 23 Zeeuws-Vlaanderen

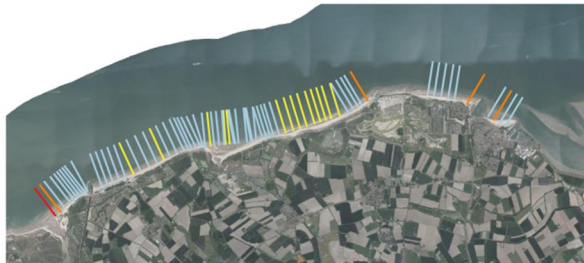
### 23.1 Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep

Gemiddeld duinvolume en suppletievolume voor kustvak Zeeuws-Vlaanderen





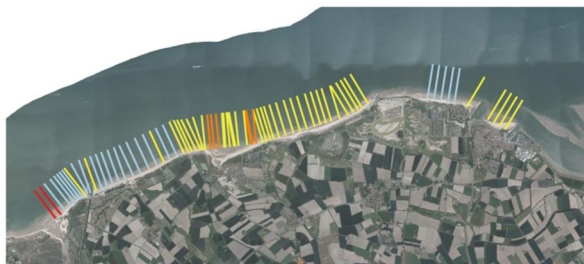
## 23.2 Dynamiek van de zeereep



### Legenda

#### Dynamiek zeereep 2008

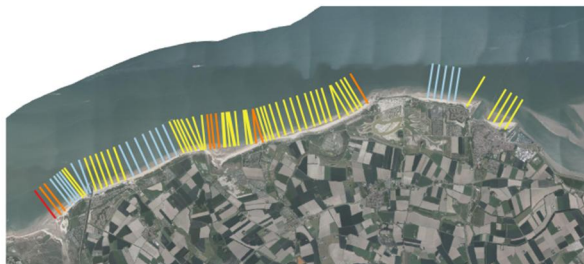
- 1 - nauwelijks dynamiek
- 2 - beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
- 3 - matig tot forse dynamiek voorzijde, ophoging zeereep
- 4 - dynamiek zeereep met beperkte doorstuiving
- 5 - hoge dynamiek zeereep met sterke doorstuiving



### 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



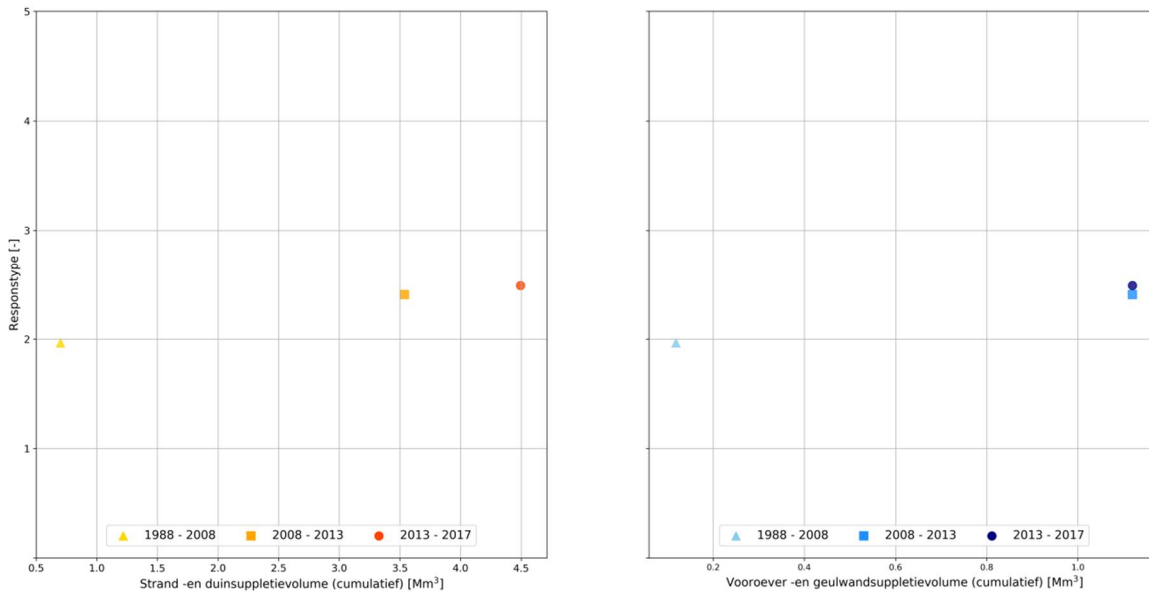
### Legenda

#### Verandering dynamiek zeereep 2008 - 2017

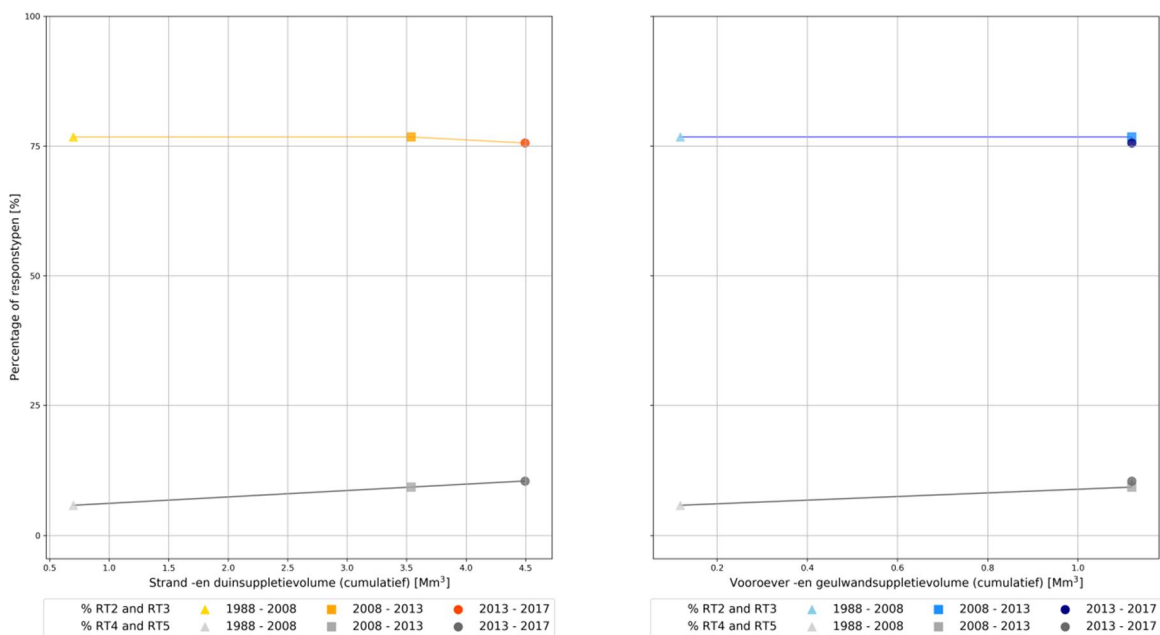
- Sterke afname dynamiek
- Afname dynamiek
- Lichte afname dynamiek
- Geen verandering
- Lichte toename dynamiek
- Toename dynamiek
- Sterke toename dynamiek

## 23.3 Dynamiek van de zeereep versus suppletievolumen

Suppletievolumen versus gem. responstype voor kustvak Zeeuws-Vlaanderen



Suppletievolumen versus verdeling responstypen voor kustvak Zeeuws-Vlaanderen



### 23.4 Duinvolume verandering versus beheerstrategie

