

**Natuurlijk Veilig door Kust- en
Zeereepbeheer**



Natuurlijk Veilig door Kust- en Zeereepbeheer

F. de Groen
V. van Zelst
L. van der Valk
B. Arens

Titel

Natuurlijk Veilig door Kust- en Zeereepbeheer

Opdrachtgever

Rijkswaterstaat Water,
Verkeer en Leefomgeving

Project

11203683-002

Kenmerk

11203683-002-ZKS-0014

Pagina's

73

Trefwoorden

Kustbeheer, zeereepbeheer, duinontwikkeling, suppleties

Samenvatting

Het onderzoeksprogramma Natuurlijk Veilig (vervolg Ecologisch Gericht Suppleren), richt zich op de ecologische effecten van suppleties. Het effect van deze stuurknop Kustzonebeheer op de zeereepdynamiek is in dit rapport onderzocht. Ook is nagegaan hoe deze dynamiek beïnvloed wordt door veranderend zeereepbeheer (stuurknop Zeereepbeheer). Voor de analyses is de Nederlandse kust onderverdeeld in de Wadden, Hollandse kust en Zuidwestelijke Delta.

De belangrijkste aanbevelingen uit dit rapport zijn:

(i) Zorg dat de behouds- en ontwikkelingsdoelen voor kust, zeereep en binnenduyn(natuur) voor alle beheerders gezamenlijk gelden en gelijk geïnterpreteerd worden. Probeer het halen van deze doelen dichterbij te brengen door afstemming tussen suppletie- en zeereepbeheer. Zeereepbeheer is bepalend voor waar het zand terecht gaat komen en suppleties bepalen hoeveel zand er aangeboden wordt voor transport richting de zeereep.

(ii) Vervolg het onderzoek naar strandbreedte en morfologie, dynamiek en sedimenthuis-houding van de zeereep. Frequentere metingen en meer vlakdekkende waarnemingen zijn daarvoor nodig. Een analyse van de periode 1965-1997 met behulp van o.a. luchtfoto's kan veel inzicht geven.

(iii) Start onderzoek op basis van de indicaties dat rond Schoorl er toename is in kalkminnende soorten door binnenstuiven van kalkrijk zand. Dit onderzoek naar voornamelijk vegetatiekundige ontwikkelingen moet mogelijk zijn op basis van beschikba(a)r(e) (komende) karteringen aangevuld met nieuwe metingen..

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
0.1	nov. 2019	F. de Groen, V. van Zelst, L. van der Valk B. Arens		A.P. Oost		A.G. Segeren	
1.0	dec. 2019	F. de Groen, V. van Zelst, L. van der Valk, B. Arens		M. Taal		A.G. Segeren	

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	3
1.1 Doel en aanleiding	3
1.2 Resultaten van Natuurlijk Veilig voorafgaand aan dit rapport	4
1.3 Onderzoeksvragen en hypothesen	4
1.4 Leeswijzer	4
2 Methoden	7
2.1 Beschikbare gegevens en software	7
2.2 Analyses	8
2.2.1 Exploratieve data analyse	8
2.2.2 Categorisatie duintypen	9
2.2.3 Filteren	10
2.2.4 Focus op onderhoudssuppleties	11
2.2.5 Duinvolume berekeningen Schoorl-Egmond en Schouwen	12
2.2.6 Vergelijking van methodes	16
3 Analyse duintypes gehele Nederlandse kust	17
3.1 Categorisatie duintypes	17
3.2 Veranderingen in beheerstrategie en responstype	21
4 Type suppletie en dynamiek in de zeereep langs de gehele Nederlandse kust	25
4.1 Inleiding	25
4.2 Resultaten analyses	25
4.3 Discussie en conclusies	27
5 Invloed type suppletie per gebied	29
5.1 Inleiding	29
5.2 Resultaten analyses	29
5.2.1 Wadden	29
5.2.2 Hollandse kust	33
5.2.3 Zuidwestelijke Delta	35
5.2.4 Veranderingen in de tussenliggende tijdstappen	38
5.3 Discussie	40
5.3.1 Wadden	40
5.3.2 Hollandse kust	41
5.3.3 Zuidwestelijke Delta	41
5.3.4 Invloed beheerstrategie	42
5.4 Hypothesen	43
5.5 Conclusie	44
6 Inzoomen op kustdelen: Schoorl en Schouwen	47
6.1 Inleiding	47
6.2 Schoorl 1965-2016	47
6.2.1 Twee periodes vergeleken	47
6.2.2 Resultaten	47
6.2.3 Effecten achter de zeereep	53
6.2.4 Verandering flora Camperduin en Egmond o.i.v. zandsuppleties.	54

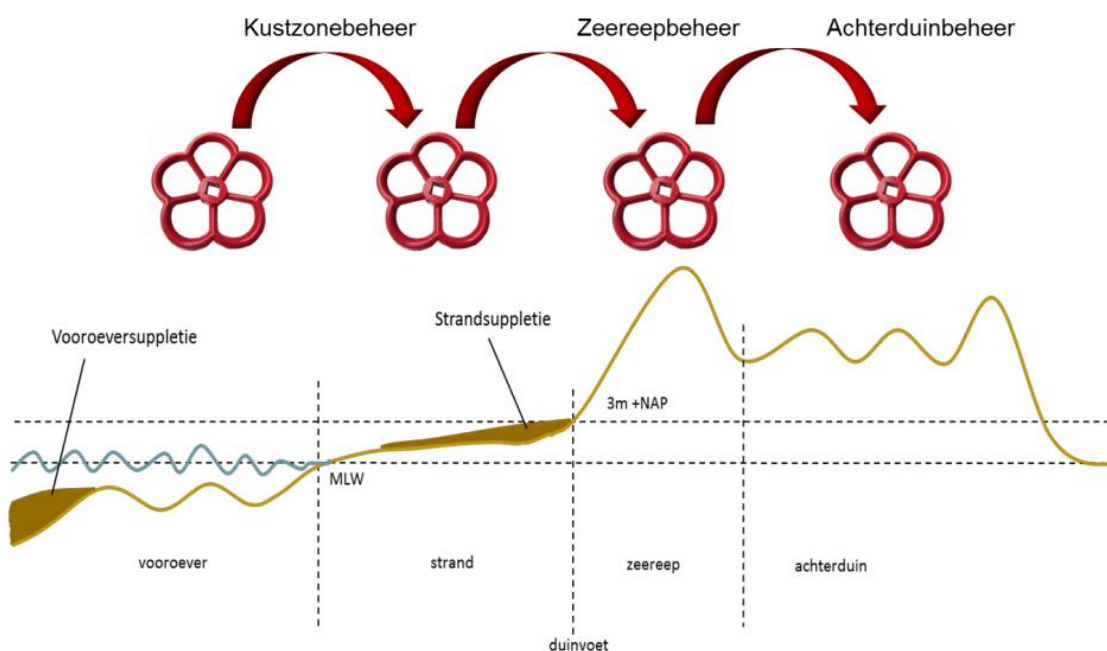
6.3	Schouwen 2013-2019	57
6.3.1	Algemeen	57
6.3.2	Verwachtingen in 2013 over de effecten van de ingreep	57
6.3.3	Resultaten: situatie 2019	58
6.4	Conclusies	66
7	Conclusies en aanbevelingen	69
7.1	Conclusies	69
7.2	Aanbevelingen	70
7.2.1	Afstemming suppletiebeheer en zeereepbeheer	70
7.2.2	Vervolgonderzoek	71
8	Bronnen	73
 Bijlage(n)		
A	Voorbeeld bepaling locatie afsnijlijn duinvolumeverandering berekeningen o.b.v. Jarkusraaien	A-1

1 Inleiding

1.1 Doel en aanleiding

Natuurlijk Veilig is een vervolg op Ecologisch Gericht Suppleren EGS (2009-2015). Centraal in het onderzoek duinen 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. Met de kennis kunnen planning van suppleties en zeereepbeheer van de achterliggende duinen worden geoptimaliseerd.

Bij de start van het onderzoek was de aanname dat het in potentie mogelijk zou zijn om via het manipuleren van drie 'stuurknoppen' meer of minder zand vanuit zee en strand naar het achterduin te verplaatsen (Oost et al. 2017). Dit zijn : de stuurknop Kustzonebeheer (met keuze tussen vooroevers-, geul- en/of strandsuppleties), de stuurknop Zeereepbeheer en de stuurknop Achterduinbeheer (Figuur 1.1).



Figuur 1.1 De verschillende potentiële stuurknoppen om de doorvoer van zand van suppletie naar achterduin te beïnvloeden.

Het achterliggende doel is om de diversiteit van kustduinlandschappen te vergroten door middel van variatie in de uitvoering van suppleties en zeereepbeheer. De aanname is dat een divers landschap op termijn zal bijdragen aan een optimale biodiversiteit op nationale schaal.

Dit rapport beschrijft het effect van de soorten suppleties op de dynamiek in de zeereep, voor de periode van 2008-2017. Dit is nagegaan via data-analyse. Hiermee wordt invulling gegeven aan het evalueren van de stuurknop Kustzonebeheer.

Onder invloed van het handhaven van de Basiskustlijn is het voor beheerders in toenemende mate mogelijk om meer dynamiek in de zeereep toe te staan. Omdat ook het zeereepbeheer aanzienlijk is veranderd konden de mogelijkheden van de stuurknop Zeereepbeheer ook in de studie worden opgenomen.

Twee detailstudies (hoofdstuk 6) waren gericht op effecten van suppleties (Schoorl) of het juist ontbreken daarvan (Schouwen). Daarbij is ook gekeken hoe dit via kerven leidt tot veranderingen in het achterduin. Bij Schoorl is verkend in hoeverre het mogelijk is om de invloed van suppleties op de flora van het achterduingebied na te gaan.

1.2 Resultaten van Natuurlijk Veilig voorafgaand aan dit rapport

In (IJff, Smits, van Zelst, & Arens, 2019) zijn de verbanden onderzocht tussen de stuurknoppen Kustzonebeheer (suppleties) en Zeereepbeheer op duinvolume en dynamiek in de zeereep langs de gehele Nederlandse kust, per kustvak. Die analyse is gebaseerd op verscheidende databronnen die zijn geprojecteerd op Jarkusraaien

Trendanalyse toonden een sterk positief verband tussen suppleties en het volume van de zeereep boven +3 m NAP. Het verband was vergelijkbaar bij gecombineerde vooroever- en strandsuppleties. Tevens werd toename van het zeereepvolume geobserveerd op plaatsen waar geen suppleties werden uitgevoerd. Verder werd er een sterke correlatie gevonden tussen zeereepbeheer en de mate van dynamiek in de zeereep. Die correlatie is sterker naarmate er sprake is van hogere doorstuiving in de zeereep. Er werd geen duidelijke correlatie gevonden tussen suppleties en dynamiek in de zeereep, noch tussen zeereepbeheer en volumeveranderingen. Voor alle bevindingen verschilt de mate van correlatie of verband per kustvak.

1.3 Onderzoeksvragen en hypothesen

De onderzoeksvraag is: *Wat is de invloed van strandsuppleties, vooroeversuppleties, gecombineerde vooroever- en strandsuppleties in vergelijking met niet suppleren op veranderingen in dynamiek en sedimenthuishouding van de zeereep langs de Nederlandse kust?*

Deze is opgesplitst in deelvragen:

Deelvraag 1 *Wat is het verschil tussen de invloed van strandsuppleties, vooroeversuppleties, gecombineerde vooroever- en strandsuppleties¹ en niet suppleren op (veranderingen in) dynamiek van de zeereep? Hoe verschilt dit per deelgebied (Hollandse kust, Wadden en Zuidwestelijke Delta)?*

Er waren twee hypothesen die bij deze deelvraag getoetst moesten worden:

Hypothese 1a: Op locaties waar strandsuppleties zijn aangebracht is meer zand beschikbaar voor doorstuiven naar de zeereep, waardoor deze dynamischer wordt (responstype 4 en 5).

Hypothese 1b: Bij vooroever en gecombineerde vooroever- en strandsuppleties zal dit effect kleiner zijn (responstype 1, 2 en 3), omdat de aanvoer van zand naar de zeereep indirect verloopt.

Deelvraag 2 *Hoe wordt de sedimenthuishouding van de zeereep en het direct er achterliggende gebied beïnvloed door het zandaanbod vanaf het strand?*

Te toetsen hypothese: Suppleties dragen bij aan het zandbudget dat boven 3 meter NAP de zeereep in getransporteerd kan worden, waarbij verschillende typen suppleties verschillend uitwerken.

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van de ingezette methoden. Hoofdstuk 3 legt de veranderingen van 2008 tot 2017 over de gehele Nederlandse kust uit aan de hand van duintypes. Hoofdstuk 4 geeft het landelijke beeld uit het onderzoek naar het verschil tussen de invloed van

¹ gecombineerde vooroever- en strandsuppleties zijn plaatsen waar binnen de beschouwde periode zowel een vooroeversuppletie is uitgevoerd als een strandsuppletie.

strandsuppleties, vooroeversuppleties, gecombineerde vooroever- en strandsuppleties en niet suppleren op (veranderingen in) dynamiek van de zeereep. Van deze analyse wordt voor de Wadden, Hollandse kust en Zuidwestelijke Delta apart verslag gedaan in Hoofdstuk 5. Hoofdstuk 6 doet verslag van onderzoek naar de sedimenthuishouding van de zeereep in Schoorl-Egmond aan Zee en Schouwen. Hoofdstuk 7 bevat conclusies en aanbevelingen.

2 Methoden

2.1 Beschikbare gegevens en software

Dit onderzoek gebruikt de gegevens van (IJff, Smits, van Zelst, & Arens, 2019). Deze paragraaf beschrijft hoe deze zijn verkregen en wat voor bewerkingen daar aan vooraf zijn gegaan. Tabel 2.1 vat samen welke data uit de Natuurlijk Veilig dataset wordt gebruikt, wat de temporale resolutie hiervan is, wat de betrouwbaarheid en/of beschikbaarheid is en uit welke bron de data is verkregen.

	Temporale resolutie	Betrouwbaarheid / beschikbaarheid	Methode
Responstype	2008, 2013 en 2017	Missende waarden voor 2008: 84; 2013: 49; 2017: 45.	Handmatig via luchtfoto's
Beheerstrategie	Voor de jaren '90, na de jaren '90 en in 2017	86 missende waarden in 2017; 3 categorieën in de set voor en na de jaren '90, 4 categorieën in 2017	Literatuur studie
Suppletie volume en type	Jaarlijks, van 1960-2017		Suppletie database van Rijkswaterstaat en WVL
Duin volume	Jaarlijks, van 1964-2017	15 cm foutmarge (95,4%)	Afleiding uit Jarkusgegevens

Tabel 2.1 Beschikbare gegevens vanuit Natuurlijk Veilig (IJff, Smits, van Zelst, & Arens, 2019).

De geografische resolutie is per variabele hetzelfde, alle data is per Jarkusraai verworven of toegekend aan een Jarkusraai. Jarkusraaien hebben een gemiddelde onderlinge afstand van 200m (Wadden, Delta) tot 250m (Hollandse kust).

In (IJff, Smits, van Zelst, & Arens, 2019) zijn de definities van de responstypes en de beheer strategieën beschreven. In respectievelijk Tabel 2.2 en Tabel 2.3 zijn deze definities kort uiteengezet, waarbij de aanpassingen in de data eveneens zijn benoemd.

Aanduiding	Responstype
0	Geen zandige kust (dijk o.i.d.)
1	Nauwelijks dynamiek
2	Beperkte dynamiek voorzijde zeereep
3	Matig tot forse dynamiek voorzijde en ophoging zeereep
4	Dynamische zeereep met beperkt doorstuiven
5	Gekerfde zeereep met sterk doorstuiven

Tabel 2.2 Responstype aanduiding.

In het onderzoek waar dit rapport verslag van doet is, op de gebiedspecifieke studies na, alleen gekeken naar de periode na de jaren '90. De data ervoor wordt daardoor niet meegenomen,

zie Tabel 2.1. Om de dataset over de beheersstrategie na de jaren '90 vergelijkbaar te maken met de dataset over de beheerstrategie in 2017 is het extra onderscheid dat er in de dataset van 2017 was overgenomen in twee categorieën (3a en 3b) die samen vergelijkbaar zijn met de beheerstrategie van categorie 3 van na de jaren '90.

Aanduiding	Beheerstrategie na de jaren '90	Beheerstrategie 2017
1	Actief zeereeponderhoud /Vastleggings-beheer (statisch)	Geen instuiven (statisch)
2	Incidenteel zeereeponderhoud/Beperkt dynamisch kustbeheer (statisch)	Instuiven alleen zeereep (statisch)
3 (a)	Geen zeereeponderhoud/Dynamisch kustbeheer (dynamisch)	Instuiven van en voorbij de zeereep (dynamisch)
3b	Als voorgaande	Maximale dynamiek (dynamisch)

Tabel 2.3 Aanduiding beheerstrategieën van na de jaren '90 en uit 2017.

Voor verkenning, bewerking en analyse van de data is de programmeertaal Python (Python, 2019) gebruikt in de geïntegreerde ontwikkelomgeving Spyder (Spyder, 2019). Het gratis en open source geografisch informatiesysteem QGIS (QGIS, 2019) is gebruikt voor exploratie en visualisatie van de data.

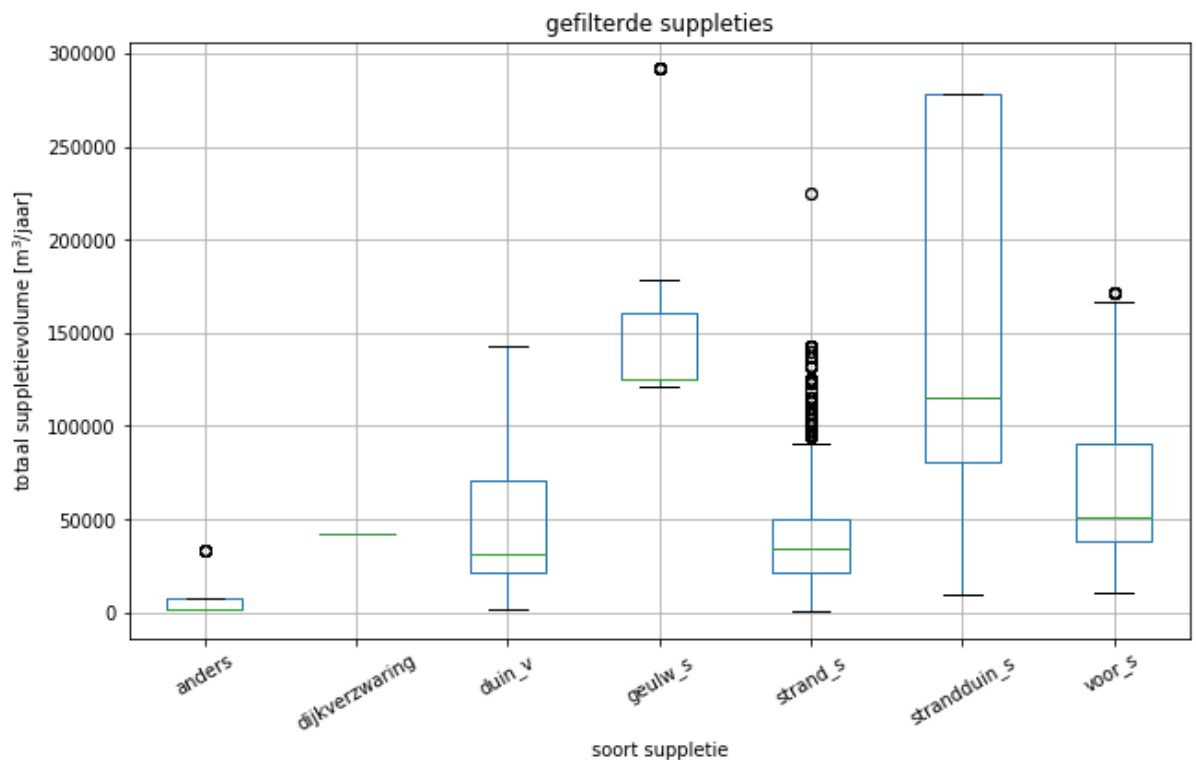
2.2 Analyses

De bewerkingen en analyses die zijn uitgevoerd worden in de volgende paragrafen beschreven. De eerste analyse van de data is exploratief, de volgende analyses en bewerkingen zijn na overleg met experts tot stand gekomen.

2.2.1 Exploratieve data analyse

De gegevens zijn eerst verkend op uitschieters, verdeling en geografische en temporale verschillen. Hierbij zijn aanlegsuppleties, waarbij duinen en strand zijn gesuppleerd (bijvoorbeeld t.b.v. Zwakke Schakels), niet meegenomen voor verandering in duinvolume en mate van doorstuiven. Voor het duinvolume geeft dit een vertekend beeld van inwaaien, omdat de suppletie direct leidt tot een toename van het duinvolume. Ook de mega-suppleties zijn weggelaten (Zandmotor en Hondsbossche duinen). Dit onderzoek richt zich namelijk primair op de rol van reguliere suppleties, de zogeheten onderhoudssuppleties. In Figuur 2.1 is per soort suppletie de verdeling van het suppletie volume te zien, zonder de hiervoor genoemde aanlegsuppleties. Jarkusraaien met missende waarden in de gegevens worden niet meegenomen in de analyses.

Er bestaat een grote variatie in toegepaste suppletie-strategieën en zeereepbeheer. Om inzicht te verkrijgen in de effecten van suppleties en zeereepbeheer zijn locaties aan de Nederlandse kust gecategoriseerd in verschillende duintypes.

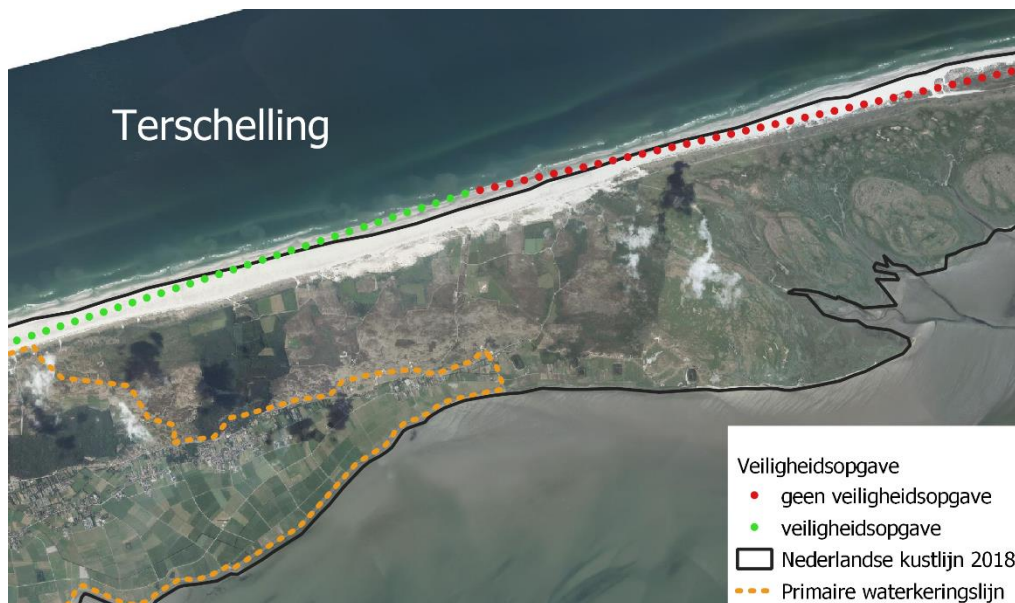


Figuur 2.1 Verdeling van het suppletievolume per type suppletie langs de gehele Nederlandse kust tussen 1965 en 2016. In de analyses wordt er gekeken naar strandsuppleties (strand_s) en vooroeversuppleties (voor_s). De boxplot is als volgt te lezen: 99.3% van alle data ligt binnen de 'whiskers'; 50% van de data ligt in de box; en de groene streep representeert de mediaan.

2.2.2 Categorisatie duintypen

De verschillende beheerstrategieën en responstypes zijn gecombineerd in de dataset, waarmee per Jarkusraai een **duintype** categorie is gecreëerd. Dit is bepaald voor de jaren 2008, 2013 en 2017, omdat het responstype bepaald is voor deze jaren. Een beperking daarbij is dat pas in 2017 opnieuw beheerstrategieën zijn vastgesteld. De beheerstrategieën voor 2008 en 2013 zijn die welke vastgesteld waren voor de jaren '90 (Hoofdstuk 3). De uitgevoerde analyses richten zich op de periodes tussen deze drie jaren.

De verdeling tussen duintype 4 en 5 is gemaakt via onderscheid tussen wel of geen veiligheidsopgave. Een degelijke opgave brengt namelijk mogelijk beperkingen met zich mee met invloed op het duinbeheer. Als de primaire waterkeringslijn (Informatiehuis Water, 2017) loodrecht op de kustlijn landinwaarts (Imergis, 2018) aanwezig is, dan wordt aangenomen dat die Jarkusraai een veiligheidsopgave heeft (Figuur 2.2). In de overige gevallen is de aanname dat er geen sprake is van een veiligheidsopgave en is de Jarkusraai gecategoriseerd als duintype 4.



Figuur 2.2 Onderscheid tussen wel of geen veiligheidsopgave - voorbeeld Terschelling.

2.2.3 Filteren

Om de verschillende suppletietypes met elkaar te vergelijken is de dataset gefilterd. Omdat er gekeken wordt over een periode zijn er meerdere datapunten per Jarkusraai. Deze worden geaggregeerd, waarbij het suppletievolume van de gekozen type(s) suppletie(s) bij elkaar worden opgeteld tot het totale suppletievolume. Hierna is gefilterd met de volgende functies:

1. Sub datasets met één type suppletie, locaties waar er niet gesuppleerd is worden *niet* meegenomen.
 $gs = ts \ \& \ gs > 0$
2. Sub datasets met één type suppletie, locaties waar er niet gesuppleerd is worden *wel* meegenomen.
 $gs = ts$
3. Sub datasets met locaties waar twee type suppleties beiden zijn voorgekomen, locaties waar er niet gesuppleerd is worden *niet* meegenomen.
 $gs_1 + gs_2 = ts \ \& \ gs_1 > 0 \ \& \ gs_2 > 0$
4. Sub datasets met locaties waar twee type suppleties beiden zijn voorgekomen, locaties waar er niet gesuppleerd is worden *wel* zijn meegenomen.
 $gs_1 + gs_2 = ts$

gs = geaggregeerd suppletie volume gekozen suppletie (gs_1, gs_2 bij twee suppleties)

ts = geaggregeerd totaal suppletie volume

De filters zijn toegepast voor strandsuppleties, vooroeversuppleties en gecombineerde vooroever- en strandsuppleties.

Jarkusraaien met missende waarden voor beheerstrategie of responstype worden niet meegenomen. Als er na filtering voor geen van de drie te analyseren periodes meer dan 30 raaien over blijven in een set wordt deze verwaarloosd. Hierdoor wordt er voor elk jaar dezelfde set Jarkusraaien gebruikt in de analyse.

Visualisatie

De resultaten van de analyses zijn gevisualiseerd met zogeheten hittekaarten, veranderingsdiagrammen en spreidingsdiagrammen. De bewerkte data is ook geografisch weergegeven. Per hoofdstuk waar de resultaten staan beschreven wordt uitgelegd hoe de visualisaties gelezen moeten worden. Voor de hittekaarten en diagrammen is de bibliotheek “matplotlib” gebruikt in Python (matplotlib, 2019). Voor geografische weergave van de data is gebruik gemaakt van QGIS (QGIS, 2019).

2.2.4 Focus op onderhoudssuppleties

Het onderzoek focust op onderhoudssuppleties, omdat alleen dit de reguliere stuurknoppen kunnen zijn waar het gaat om beïnvloeding van de duinen. De volgende (strand) aanlegssuppleties zijn niet meegenomen in de analyse:

Maasvlakte II (2008-2013)

Zandmotor (2011 – 2012)

Ook zijn alle ‘strandduinsuppleties’ niet meegenomen in de analyse, omdat daarbij de duinen direct aangelegd worden via suppleties, wat de duindynamiek sterk beïnvloedt. Dit betreft versterkingen voor zwakke schakels. Er zijn in totaal 7 zwakke schakels versterkt met zand, waarvan een aantal de zandige kust betroffen, namelijk:

Noordwijk, Noord-Holland

In de winter van 2008 is de waterkering van Noordwijk versterkt door een nieuwe dijk (Dijk in Duin), afgedekt door duinen. De duinen zijn lokaal ook zo’n 42 meter breder gemaakt door $3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ te suppleren.

Delflandse kust, Zuid-Holland

In de periode 2008 – 2012 is tussen Hoek van Holland en Scheveningen een extra duinenrij aangelegd. De kustlijn werd strakker gemaakt met extra zand, waardoor ook een breder strand ontstond. In totaal is $18 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ zand gesuppleerd in duinen en kust.

Zeeuws-Vlaanderen, Zeeland

In 2009 is bij Cadzand-Bad en Breskens zeewaarts op de vooroever en het strand zand toegevoegd en zijn strekdammen aangelegd. In andere kustvakken zijn landinwaarts nieuwe duingebieden aangelegd. In totaal is ruim $3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ zand gesuppleerd in duinen en kust.

Voorne, Zuid-Holland

In de periode 2009 – 2010 is op de kust van Voorne aan de zeezijde een extra duinenrij van ongeveer 130 meter breed aangebracht. Aan de zuidwest kust is het strand met ongeveer een meter verhoogd. In totaal is $2,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ zand gesuppleerd in duinen en kust.

Scheveningen, Zuid-Holland

In de periode 2010 – 2013 is de boulevard van Scheveningen versterkt en het strand verhoogd en verbreed. Daartoe is $2,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ zand gesuppleerd in duinen en kust tussen de haven en de Pier van Scheveningen. Daarbij is ook een 1 kilometer lange dijk (onder de boulevard) aangelegd.

Katwijk

In de periode oktober 2013 – februari 2015 is de waterkering van Katwijk versterkt met een Dijk-in-Duin. Het duin is zo’n 50 meter breder gemaakt, waarbij in totaal ca. $2,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ is gesuppleerd in duinen en kust.

Hondsbossche zeewering

In 2014 en 2015 is voor de Hondsbossche zeewering een 250 meter breed duinlandschap en een strand aangelegd door in totaal $40 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ zand aan te brengen.

2.2.5 Duinvolume berekeningen Schoorl-Egmond en Schouwen

2.2.5.1. *Methode 1 – duinvolume berekeningen op basis van Jarkusraaien dataset*

De Jarkusraaien dataset is een hoogte dataset voor de gehele Nederlandse kust op basis van kustdwarse transecten, raaien. De set bevat data voor de periode 1965 tot heden. Op basis van deze dataset zijn duinvolume veranderingen over tijd geanalyseerd. Een lineaire interpolatie in de tijd is toegepast om data in de hoogte profielen voor missende jaren te vullen. Het totaal gemeten domein is verschillend voor de beschikbare jaren. Daarom is de interpolatie enkel toegepast voor dat deel van het profiel waar gemiddeld over tijd data beschikbaar is. Hierdoor wordt voorkomen dat duinvolume veranderingen worden gebaseerd op delen van profielen die geheel zijn opgevuld door middel van interpolatie. Deze aanpak heeft vooral betrekking op de gehanteerde landwaartse grens, omdat de afsnijding van het profiel aan de zeewaartse zijde wordt bepaald door de aangenomen ligging van de duingrens (= duinvoet), op 3 m +NAP.

Het criterium databeschikbaarheid is voor sommige raaien niet voldoende om betrouwbare resultaten te verkrijgen. Dit komt omdat, in het bijzonder voor relatief smalle duinen, de raai een groot deel van het achter-duinlandschap omvat. Daar zorgt vegetatie en het daarop toegepaste onderhoud voor schommelingen in volumes. Dit beïnvloedt de betrouwbaarheid van de data. Om dit gebied niet mee te nemen in de huidige analyse is het profiel aan de landwaartse zijde arbitrair afgesneden volgens de hieronder beschreven methode.

De toegepaste landwaartse grens in deze studie is berekend op basis van piek-herkenning in combinatie met een buffer. De data voor iedere raai onder de 3 m +NAP grens is weg gefilterd. Vervolgens zijn (duin) pieken in het gemiddelde duinprofiel over de tijd bepaald. De geselecteerde piek is de eerste piek, vanuit de zee, hoger dan 5 m +NAP. Vanaf deze geselecteerde piek is een buffer landinwaarts van 75 meter toegepast. Dit punt, de afsnijlijn, in het profiel is gebruikt als landwaartse grens voor de volumeberekeningen, mits dit punt dicht bij de kust ligt dan het punt afgeleid op basis van het databeschikbaarheid criterium.

In sommige gebieden, in het bijzonder gebieden met een smalle zeereep of Jarkusraaien in de nabijheid van kerven die niet loodrecht op de kust staan, zal de verstuuving vermoedelijk verder landwaarts reiken dan de zone die nu is meegenomen.

Het verschil in oppervlak tussen de landwaartse en zeewaartse grens van jaar tot jaar is gebruikt als maat voor de duinvolume veranderingen in kubieke meter per meter per jaar. Ondanks toepassing van bovenstaande methode zijn er locaties waarvoor er grote (negatieve) volumeveranderingen zijn waargenomen. Dit komt bijvoorbeeld doordat de toegepaste buffer voor sommige locaties te groot is. Er is echter voor gekozen om vooralsnog een uniforme bufferwaarde toe te passen. Verder zijn voor bijvoorbeeld raai 1395 in kustvak Schouwen in het verleden aanzienlijke negatieve duinvolumeveranderingen waargenomen ten gevolge van erosie. Voor een enkele Jarkusraai is vermoedelijk sprake van een meetfout in de hoogtemeting. In Bijlage 8A is een voorbeeld te vinden uit het kustvak Schouwen ter illustratie van bovenstaande aanpak.

Door de resultaten voor de individuele Jarkusraaien te middelen in tijd en ruimte kan een meer betrouwbare maat voor duinvolume verandering worden gevonden. Op basis van de jaarlijkse duinvolume veranderingen zijn daarom trends berekend voor verschillende periodes: 1965-1997, 1997-2008, 2008-2013 en 2013-2017 (hoofdstuk 6).

2.2.5.1. *Methode 2 – ruimte dekkende duinvolumeverandering berekeningen*

Duinvolumeveranderingen in Schoorl-Egmond en Schouwen zijn ruimte dekkend berekend voor de periodes van 1965-1997, 1997-2008, 2008-2017 en 2013-2017. Hiervoor zijn hoogtekaarten gebruikt. In Tabel 2.4 staat uitgelegd per jaar hoe deze kaarten zijn verkregen, welke resolutie (celgrootte) de verschillende grids hebben en vanuit welke bron deze komen. Indien

mogelijk zijn twee kaarten met dezelfde resolutie gebruikt; alleen voor de periode 1965-1997 verschillen de resoluties.

Jaar	Methode	Resolutie [m]	Bron
1965	Interpolatie van Jarkus transect metingen	20	(Rijkswaterstaat Data-ICT-Dienst, 2019)
1997	Kustlidar	5	(Rijkswaterstaat, 2019)
2008	Kustlidar	5	(Rijkswaterstaat, 2019)
2013	Kustlidar	2	(Rijkswaterstaat, 2019)
2017	Kustlidar	2	(Rijkswaterstaat, 2019)
2017	Kustlidar	5	(Rijkswaterstaat, 2019)

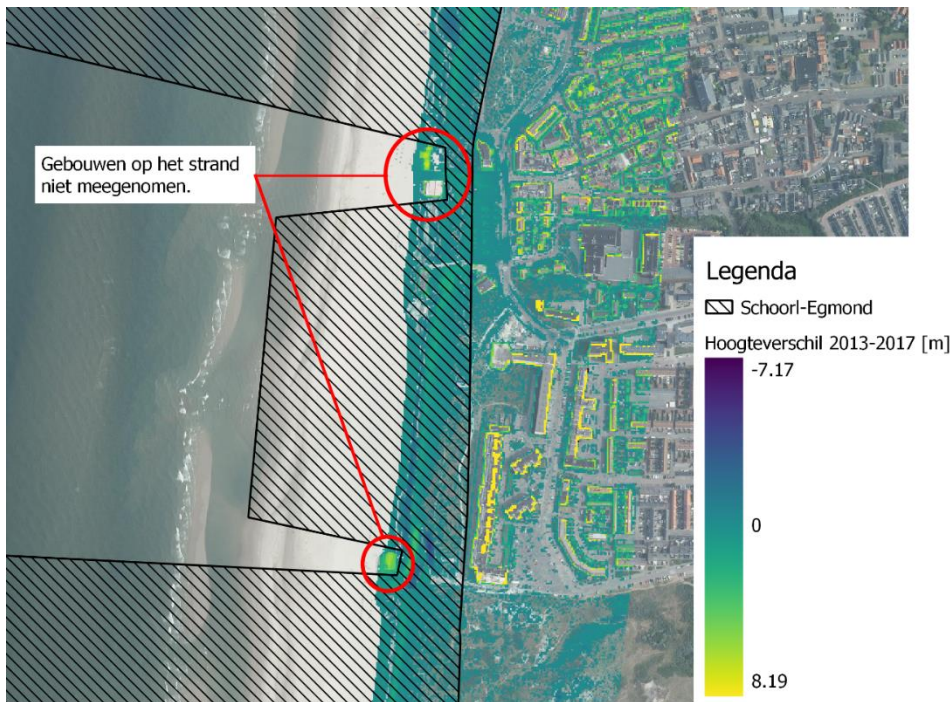
Tabel 2.4 Gegevens voor de berekening van duinvolume veranderingen.

De kaarten zijn verkregen per tegel, ofwel kaartblad, met verschillende indelingen voor 1965 en de jaren erna. In Tabel 2.5 staan de kaartbladen en Jarkusraaien bijhorend bij Schoorl-Egmond en Schouwen.

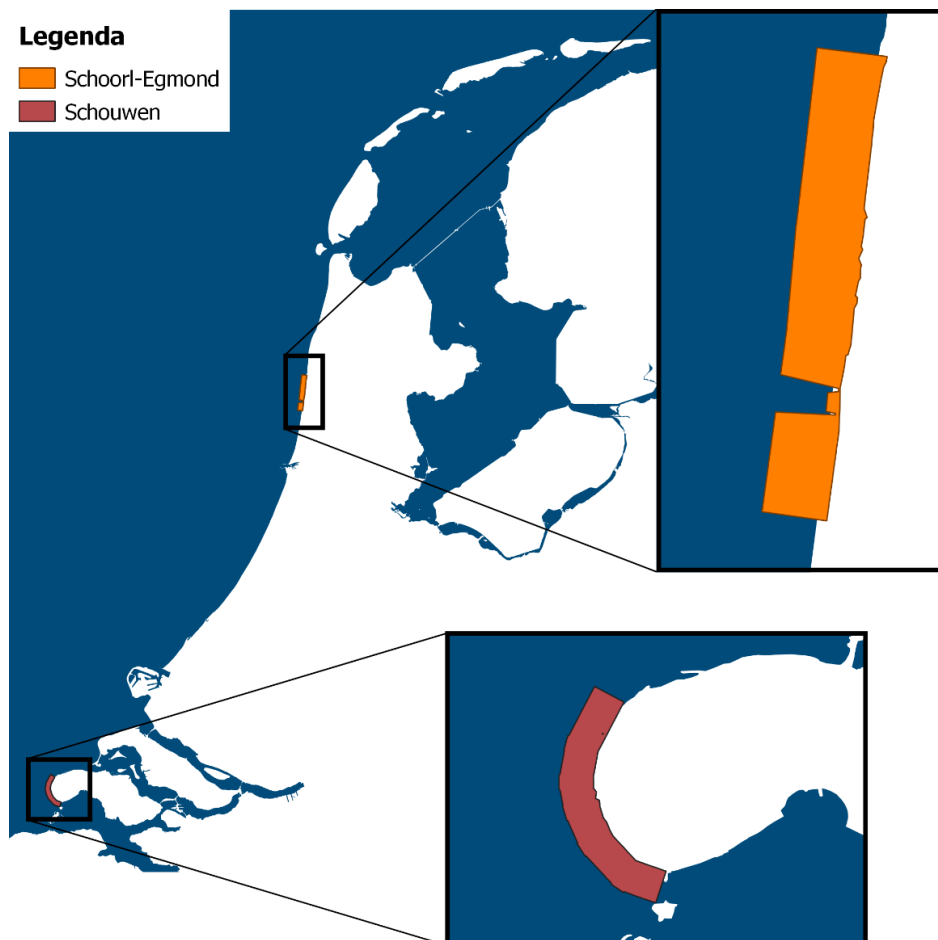
Locatie	Jarkusraaien	Jaren	Kaartbladen	Bron
Schoorl-Egmond aan Zee	3150-4050	1965	KB121_2928, KB121_2726	(Rijkswaterstaat Data-ICT-Dienst, 2019)
		1997, 2008, 2013, 2017	19an1, 19az1, 19cn1	(Rijkswaterstaat, 2019)
Schouwen	979-1800	1965	KB114_4342, KB114_4544	(Rijkswaterstaat Data-ICT-Dienst, 2019)
		1997, 2008, 2013, 2017	64dn2, 64dz2	(Rijkswaterstaat, 2019)

Tabel 2.5 Kaartbladen die zijn gebruikt voor volumeverandering berekeningen van de locaties Schoorl-Egmond en Schouwen.

De volumeveranderingen zijn berekend voor 3 meter boven NAP; dit representeert de grens van de zeereep aan de strandkant. Gebouwen zichtbaar op een luchtfoto van 2017 (PDOK, 2017) worden niet meegenomen, (bij wijze van voorbeeld: zie Figuur 2.3). Voor de grens land-inwaarts is er rond de geselecteerde Jarkusraaien een buffer toegepast van 150 meter (Figuur 2.4).



Figuur 2.3 Voorbeeld van gebouwen op het strand bij Egmond aan Zee die niet zijn meegenomen in de volumeverandering berekeningen.



Figuur 2.4 Gebufferde Jarkusraaien (150m buffer) voor Schoorl-Egmond en Schouwen, gebruikt voor de volumeverandering berekeningen.

De volgende bewerkingen zijn uitgevoerd om tot de volumeverandering per periode te komen:

- De originele hoogtegegevens zijn met QGIS GDAL (QGIS, 2019) geconverteerd naar GeoTIFFs.
- De resulterende kaartbladen zijn per locatie en per jaar samengevoegd.
- Waardes onder de 3 meter NAP zijn weg gefilterd.
- De kaarten van beide jaren waarover de volumeverandering is berekend zijn op hetzelfde grid gezet; alleen als er bij beide kaarten een waarde is wordt deze meegenomen.
- De hoogteverschilkaart is verkregen op basis van het verschil tussen respectievelijk het laatste en eerste jaar van de betreffende periode. Een positieve waarde correspondeert met een volume toename.
- Door middel van het algoritme 'Zonal statistics' in QGIS is het gemiddelde van alle hoogtemetingen op de verschilkaart bepaald binnen de gedefinieerde gebieden voor Schoorl-Egmond en Schouwen (Figuur 2.4).
- De totale duinvolumeverandering is berekend door het gesommeerde hoogteverschil over de periode te vermenigvuldigen met de oppervlakte van de cel, bijvoorbeeld bij een resolutie van 5 meter een vermenigvuldiging met 25 m².
- De volumeverandering in m³/m/jaar over een bepaalde periode is berekend door de totale duinvolumeverandering te delen door het aantal jaar van de periode en door de lengte van de kust binnen de gedefinieerde gebieden.

De uitkomsten van de volumeverandering-berekeningen worden besproken in hoofdstuk 6.

2.2.6 Vergelijking van methodes

De jaarlijkse volumeverandering per strekkende meter voor Schoorl-Egmond aan Zee en Schouwen zijn berekend via twee verschillende methodes. De een is gebaseerd op Jarkus, hierna genoemd de 'Jarkus-methode', de ander kustlidar, hierna genoemd de 'kustlidar-methode'. De verschillen tussen de twee worden in Tabel 2.6 uiteengezet.

Methodologie	Jarkus-methode	Kustlidar-methode
<i>Data gebruikt voor berekening</i>	Jarkus	Kustlidar
<i>Type data</i>	Lijnen; hoogte transecten	Vlakken; gebied dekkend
<i>Bepaling landwaartse grens</i>	Per Jarkus op basis van gemiddelde over de tijd	Op zicht, aan de hand van luchtfoto's van 2017
<i>Bepaling zeewaartse grens (3m boven NAP)</i>	Grens bepaald per jaar	Grens bepaald bij het eerste en laatste jaar van de periode
<i>Gebied van Jarkusraaien meegenomen voor Schouwen</i>	0-1800, opgedeeld in vijf sub gebieden	1004-1800, een geheel gebied
<i>Berekening volumeverandering</i>	Berekend met de gemiddelde hoogtemetingen van alle jaren in de betreffende periode	Berekend door middel van de hoogtemetingen van het eerste en laatste jaar van de periode

Tabel 2.6 Verschillen tussen de methodes voor berekening van de volumeverandering in Schouwen en Schoorl-Egmond aan Zee

3 Analyse duintypes gehele Nederlandse kust

In dit hoofdstuk wordt er gekeken naar veranderingen in beheerstrategie en dynamiek (responstype) van de zeereep over de gehele Nederlandse kust. Deze analyse is verricht op basis van categorisatie en visualisatie via hittekaarten. De categorisatie van de duintypes wordt ook gebruikt voor de deelgebieden en geeft zicht op veranderingen in beheerstrategie en dynamiek (Hoofdstuk 4).

3.1 Categorisatie duintypes

De Jarkusraaien zijn voor 2008, 2013 en 2017 als volgt gecategoriseerd:

0 = Geen duin, deze wordt niet meegenomen in de analyses.

1 = **Proactief statisch veilig**: Stuifdijk – Beheer is vastleggen wegens veiligheid; een weinig dynamische zeereep.

2 = **Proactief statisch, dynamische respons**: Beheer is vastleggen maar toch is er dynamiek in de zeereep.

3 = **Afwachtend statisch**: Stuifdijk - Afwachtend beheer en statische zeereep; vorming embryonale duinen.

4 = **Afwachtend/natuurlijk dynamisch**: Een afwachtend beheer en een dynamische zeereep; er is geen veiligheidsopgave.

5 = **Proactief dynamisch veilig**: (Proactief) Dynamisch beheer en een dynamische zeereep (bijvoorbeeld aangelegde én spontane kerven); er is een veiligheidsopgave.

In Tabel 3.1 staan dezelfde duintypes met bijhorende combinatie van beheerstrategie en responstype.

Een beheerstrategie is alleen voor 2017 opnieuw vastgelegd en wordt voor 2008 en 2013 identiek verondersteld met die van de 90er jaren. Beheerstrategie 1 of 2 is gedefinieerd als statisch. Dit houdt in dat er geen instuiven tot voorbij de zeereep wordt toegelaten. Als er dynamisch kustbeheer óf “geen zeereep-onderhoud” is (beheerstrategie van na de jaren '90), of het instuiven van en voorbij de zeereep wordt toegelaten of actief geholpen (in 2017), dan is de beheerstrategie dynamisch (3, 3a of 3b).

De beheerstrategie laat de intentie van de duinbeheerders zien. Om er zeker van te zijn dat dit strookt met daadwerkelijke ingrepen is er een vergelijking gemaakt tussen beheerstrategie en duinbeheer-ingrepen, met behulp van de data van S.M. Arens (persoonlijke communicatie, 23 juli 2019). Hieruit is geconcludeerd dat de beheerstrategie van voor de jaren '90 en in 2017 overeenkomt met de ingrepen rond die jaren.

Responstypen 1, 2 of 3 zijn gemarkeerd als statische zeereep. Vanaf responstype 4 is het responstype gecategoriseerd als dynamisch, omdat er in dit onderzoek wordt gekeken naar het doorstuiven van zand naar achter de zeereep.

Duintype	Naam	Beheer- strategie	Cijfer code	Responstype	Cijfer code
0	Geen duin	Geen duin	0	Geen zandige kust	0
1	Proactief statisch veilig	Statisch	1 of 2	Nauwelijks dynamiek tot forse dynamiek voorzijde en ophoging zeereep	1, 2, of 3
2	Proactief statisch, dynamische respons	Statisch	1 of 2	Matige dynamiek voorzijde tot gekerfde zeereep met sterk doorstuiven	4 of 5
3	Afwachtend statisch	Dynamisch	3 (a of b)	Nauwelijks dynamiek tot forse dynamiek voorzijde en ophoging zeereep	1, 2, of 3
4	Afwachtend/ Natuurlijk dynamisch	Dynamisch	3 (a of b)	Matige dynamiek voorzijde tot gekerfde zeereep met sterk doorstuiven; geen veiligheidsopgave	4 of 5
5	Proactief dynamisch veilig	Dynamisch	3 (a of b)	Matige dynamiek voorzijde tot gekerfde zeereep met sterk doorstuiven; met veiligheidsopgave	4 of 5

Tabel 3.1 Duintype categorisatie.

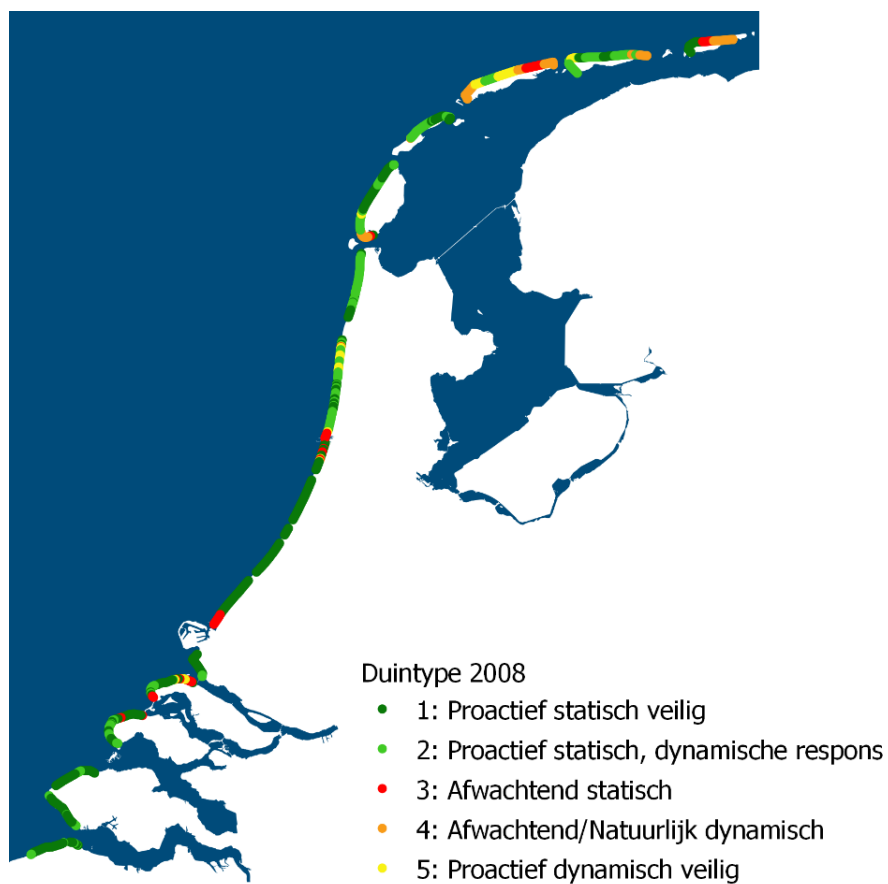
De indeling is zo gemaakt dat alle combinaties van beheerstrategie en responstype in voldoende hoge percentages voorkomen om een waardevolle analyses te kunnen doen, zie Tabel 3.2. Ter illustratie, 5% van de gebruikte set Jarkusraaien – zonder missende waarden en zonder locaties die geen duin hebben – staat gelijk aan 77 Jarkusraaien.

Duintype	% in 2008	% in 2013	% in 2017
1	48,3	49,5	23,7
2	27,7	26,5	9,9
3	6,5	5,1	27,9
4	10,7	11,8	14,7
5	6,7	7,1	23,9

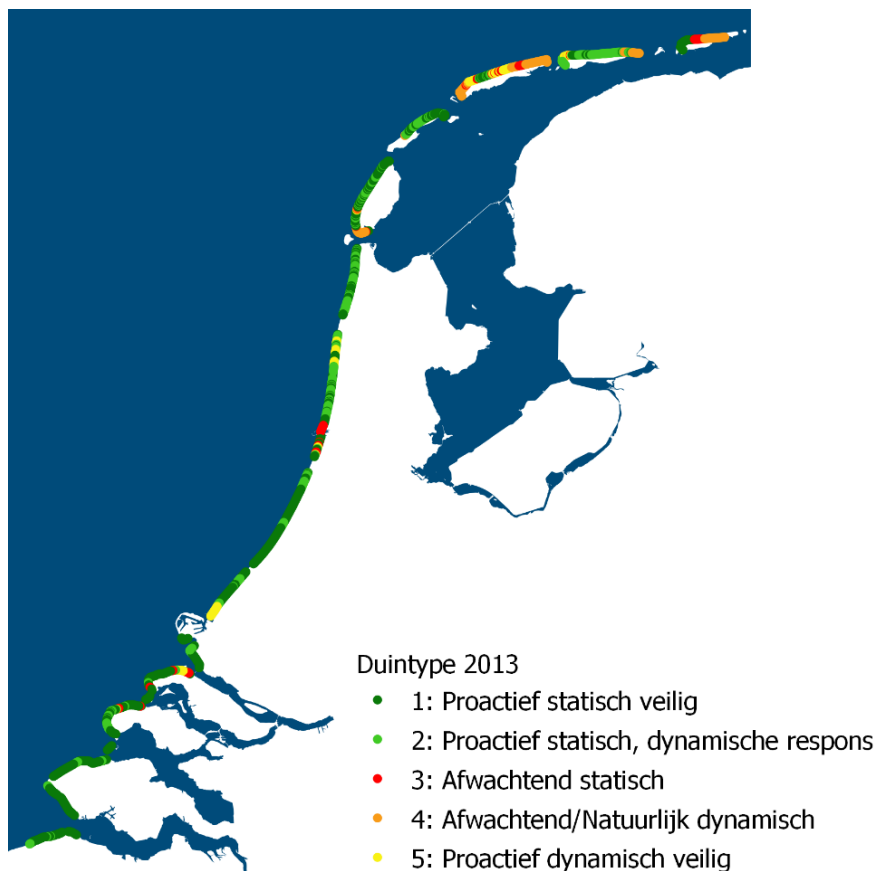
Tabel 3.2 Verdeling van duintypes in 2008, 2013 en 2017.

In 2008 is het merendeel van de duinen in de Zuidwestelijke Delta en Hollandse kust gecategoriseerd als proactief of afwachtend statisch (donkergroen of rood; Figuur 3.1). In de Wadden zijn de duinen meer dynamisch (lichtgroen, oranje of geel). Opvallend is dat er bij grote delen van de kust (27.7%) een statische beheerstrategie wordt aangehouden, terwijl er veel dynamiek in de duinen voorkomt (duintype 2, lichtgroen). Hetzelfde geldt voor 2013 (Figuur 3.2); alhoewel er een grotere ruimtelijke variëteit lijkt te zijn tussen duintype 1 en 2 in 2013.

Voor 2008 en 2013 is dezelfde beheerstrategie gebruikt, wat de oorzaak kunnen zijn voor de kleine verschillen in verdelingen van duintype in 2008 en 2013 (Tabel 3.2). Ondanks afwezigheid van een landelijke trend, wijst de ruimtelijke verdeling op lokale veranderingen. In Hoofdstuk 4 en 5 worden deze verschillen nader toegelicht.

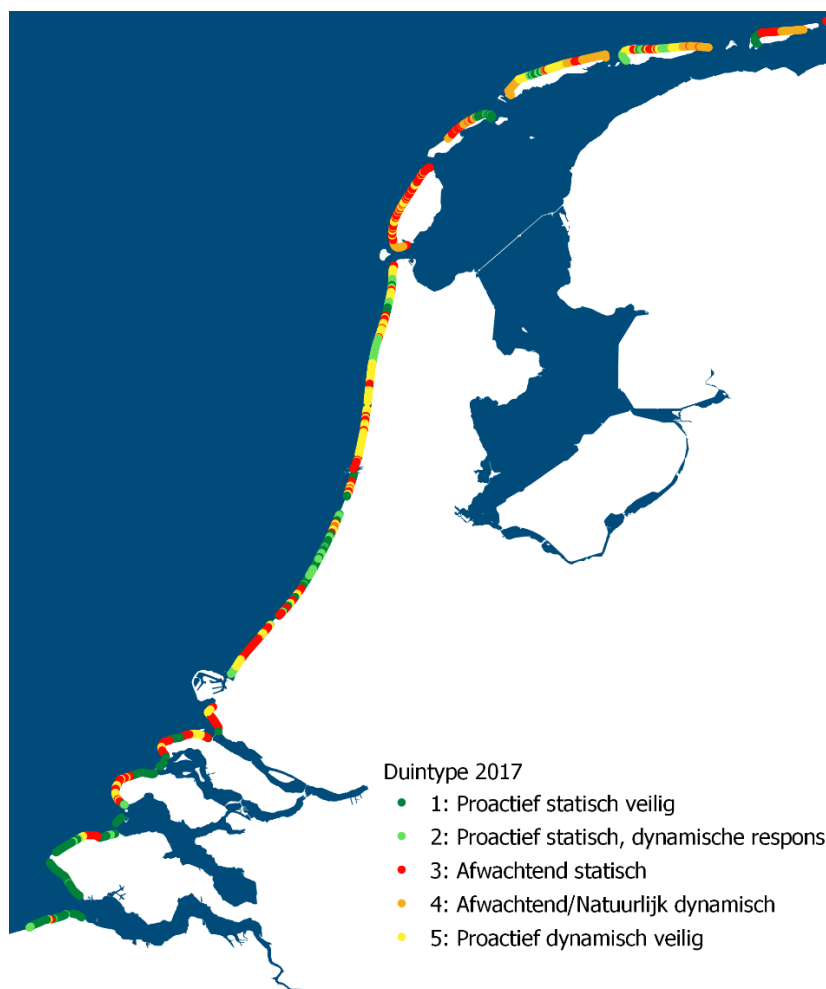


Figuur 3.1 Duintype verdeling van 2008 over de gehele Nederlandse kust, alle raaien meegenomen.



Figuur 3.2 Duintype verdeling van 2013 over de gehele Nederlandse kust, alle raaien meegenomen.

De verdeling in duintype over de gehele Nederlandse kust in 2017 is in Figuur 3.3 weergegeven. De grootste veranderingen ten opzichte van 2008 zijn bij duintypes 1, 2, 3 en 5. Daarbij nemen de duintypes met statische beheerstrategie (1 en 2) af met totaal 42% en die met dynamische beheerstrategie (3 en 5) toe met totaal 39%.



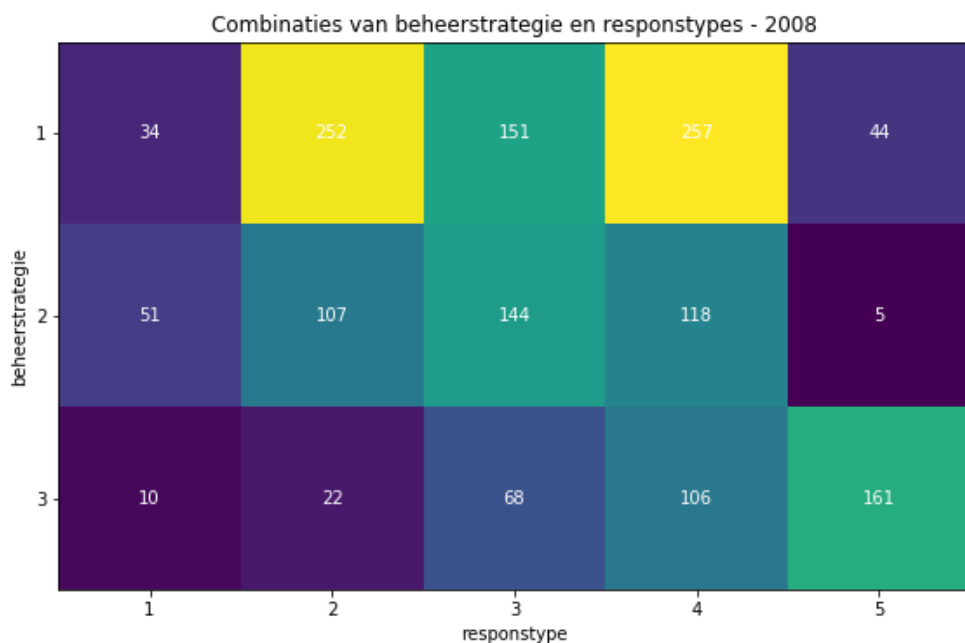
Figuur 3.3 Duintype verdeling van 2017 over de gehele Nederlandse kust, alle raaien meegenomen.

3.2 Veranderingen in beheerstrategie en responstype

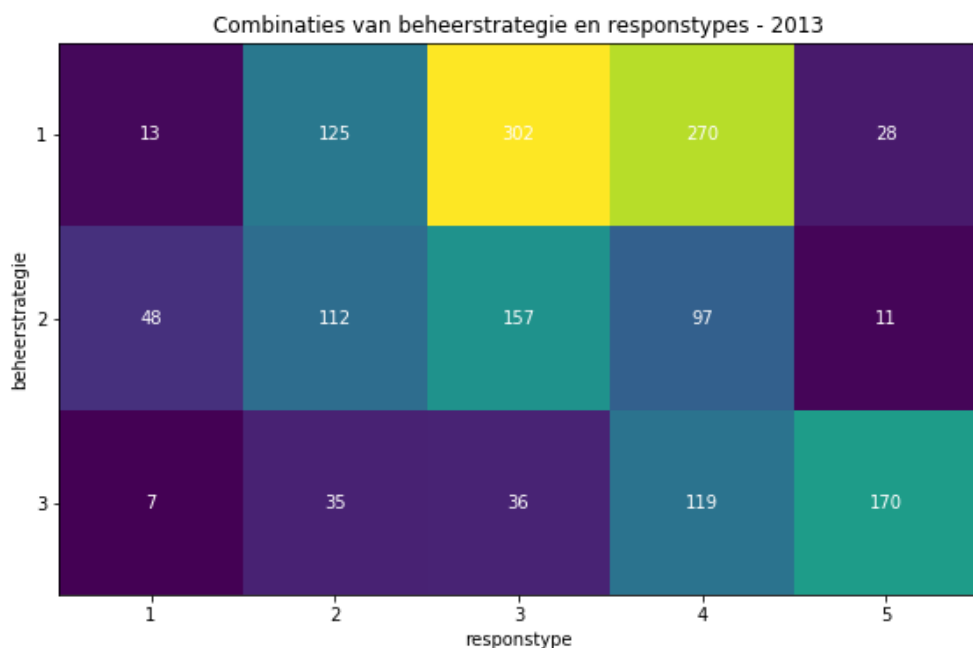
Het duinbeheer is over de periode 2008-2017 gemiddeld dynamischer geworden. Langs de gehele Nederlandse kust is er een duidelijke verschuiving te zien naar een dynamischer responstype (2008, Figuur 3.4; 2013, Figuur 3.5; 2017, Figuur 3.6). Alleen Jarkusraaien die voor alle drie de jaren een waarde hebben voor beheerstrategie en responstype zijn meegenomen (n=1530); Jarkusraaien met missende waarden zijn weggelaten.

De witte cijfers in de vlakken van deze hittekaarten geven het aantal Jarkusraaien aan met een bepaalde combinatie van beheerstrategie en responstype. Hoe geler een vlak is, des te groter het aantal Jarkusraaien in deze categorie; hoe donkerder paars, des te kleiner.

In 2008 zijn duintypes 1 en 2 overheersend met respectievelijk 48% en 28%. Hetzelfde geldt voor 2013 waarin 49% van de Jarkusraaien als duintype 1 en 27% van de Jarkusraaien als duintype 2 gecategoriseerd is. Het aantal locaties met de combinatie van een dynamische beheerstrategie met een statisch responstype (duintype 3) zijn gering; 7% in 2008 en 5% in 2013.

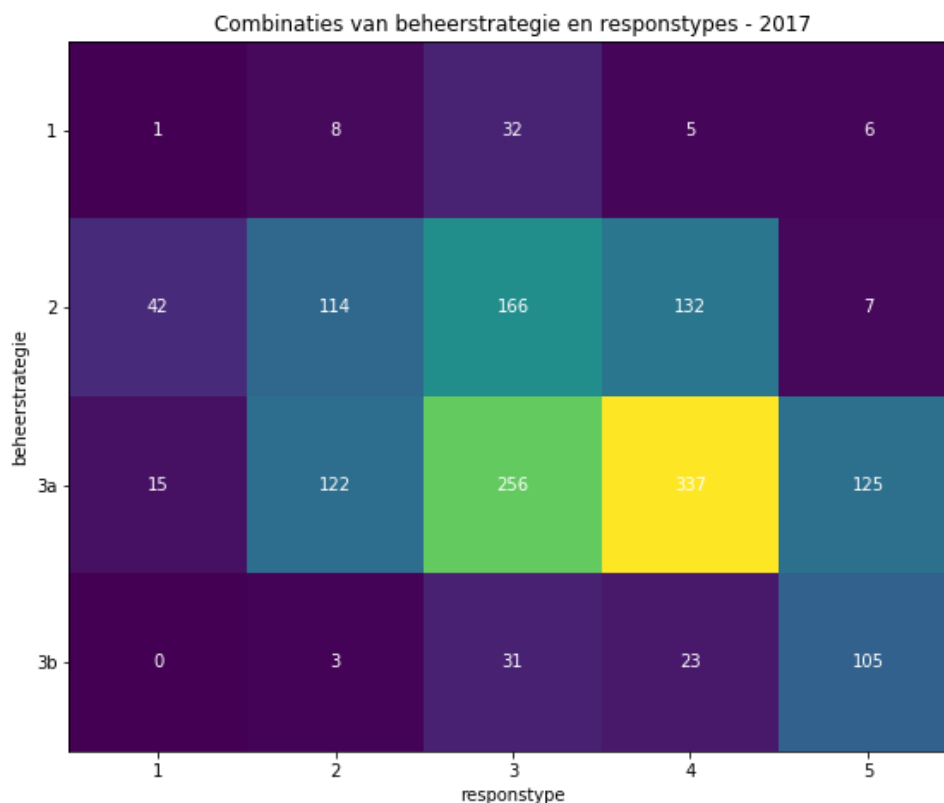


Figuur 3.4 Hittekaart van de combinaties van beheerstrategie en responstype in 2008.



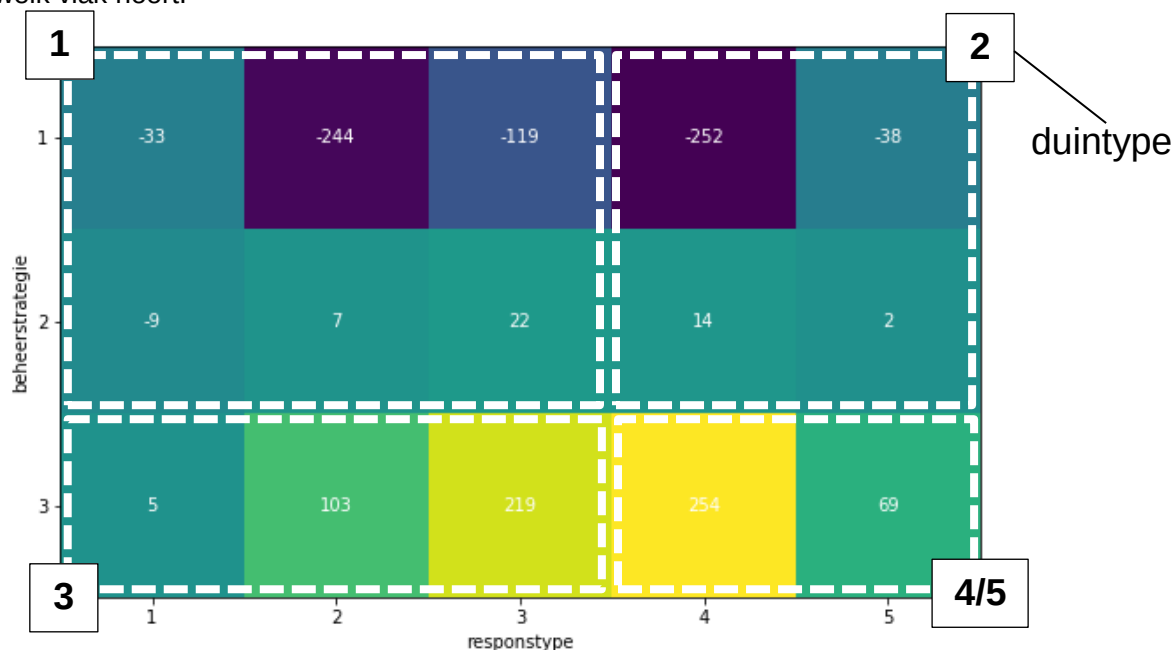
Figuur 3.5 Hittekaart van de combinaties van beheerstrategie en responstype in 2013.

In 2017 zijn er vier types beheerstrategie gedefinieerd. Beheerstrategie 3a en 3b zijn te vergelijken met beheerstrategie 3 van 2008 en 2013. Beide beheerstrategie-categorieën zijn dan ook meegenomen in duintypes 3 en 5. Van 2008 naar 2017 lijkt het responstype dynamischer te worden met een dynamischer beheerstrategie.



Figuur 3.6 Hittekaart van de combinaties van beheerstrategie en responstype in 2017.

Om vergelijking tussen de jaren te faciliteren zijn beheerstrategieën 3a en 3b samengevoegd in 2017. Deze vergelijking van duintypes is gemaakt voor 2008 en 2017, (Figuur 3.7). De duintypes zijn omrand met een witte stippellijn en in de hoeken is aangegeven welk duintype bij welk vlak hoort.



Figuur 3.7 Verschil in beheerstrategie, responstype en duintype tussen 2008 en 2017.

In deze periode is er een afname van duintypes 1 en 2 en toename van duintypes 3, 4 en 5. Figuur 3.7 toont de algemene trend naar een dynamischere zeereep, zowel in beheerstrategie als responstype. Ook is er te zien dat er bij beheerstrategie 2 (incidenteel zeereeponderhoud, beperkt dynamisch kustbeheer of alleen instuiven van de zeereep) geen grote veranderingen zijn opgetreden tussen 2008 en 2017. In maar 4% van de Jarkusraaien is verandering is opgetreden qua beheerstrategie en responstype tussen 2008 en 2017.

Hoewel er duidelijk veranderingen in responstype plaatsvinden, is uit de voorgaande figuren niet af te leiden hoe deze tot stand komen. Ook is niet duidelijk wat de verschillen zijn tussen de invloed van strandsuppleties, vooroeversuppleties, gecombineerde vooroever- en strandsuppleties en niet suppleren op de dynamiek in de zeereep. In Hoofdstuk 4 wordt dit onderzocht voor de gehele Nederlandse kust en in Hoofdstuk 5 apart voor de Wadden, Hollandse kust en Zuidwestelijke Delta.

4 Type suppletie en dynamiek in de zeereep langs de gehele Nederlandse kust

4.1 Inleiding

De centrale vraag van dit hoofdstuk is:

Wat is het verschil tussen de invloed van strandsuppleties, vooroeversuppleties, gecombineerde vooroever- en strandsuppleties en niet suppleren op (veranderingen in) dynamiek van de zeereep?

Uit Natuurlijk Veilig 2018 (IJff, Smits, van Zelst, & Arens, 2019) is naar voren gekomen dat op plekken waar gesuppleerd is, het responstype 4 en 5 toeneemt, ten koste van responstype 2 en 3. Dit geldt voor strand-, duin-, geulwand- en vooroeversuppleties en vooral voor een aantal kustvakken in de Hollandse kust en Zuidwestelijke Delta. Hierbij is nog niet gekeken naar de verschillen tussen gecombineerde vooroever- en strandsuppleties in vergelijking met plaatsen waar niet is gesuppleerd. In dit hoofdstuk worden eerst de verschillen tussen diverse type suppleties en geen suppletie langs de gehele Nederlandse kust onderzocht.

De hypothese die we testen voor de bovenstaande vraag is dat op locaties waar strandsuppleties zijn aangebracht meer zand beschikbaar is voor doorstuiven naar de zeereep, waardoor deze dynamischer wordt (responstype 4 en 5). Bij vooroever en gecombineerde vooroever- en strandsuppleties zal dit effect kleiner zijn, omdat de aanvoer van zand naar de zeereep indirect verloopt. Het antwoord op deze vraag vergroot de zowel kennis van de invloed van de stuurknop 'kustzonebeheer', als van de stuurknop 'zeereepbeheer'.

Er wordt in deze analyse niet gekeken naar de mogelijk stuurbare factoren van de stuurknop 'kustzonebeheer' (frequentie, volume, strandbreedte, hoogte, korrelgrootte), maar naar het type suppletie in vergelijking met "niet suppleren". Verder is duintype 4 niet meegenomen in de analyse, omdat er in Natuurlijk Veilig wordt gefocust op locaties waar er een veiligheidsopgave aanwezig is.

4.2 Resultaten analyses

De hittekaart van Hoofdstuk 3 (Figuur 3.7) laat de veranderingen zien in duintype voor de gehele Nederlandse kust. In deze analyse worden delen van de kust vergeleken waar geen suppleties is gelegd met delen waar alleen een strandsuppletie, alleen een vooroeversuppletie, of zowel een strand- als een vooroeversuppletie zijn gelegd. De gebruikte datasets zijn gefilterd zoals uitgelegd in Sectie 2.2.3.

Figuur 4.1 en de hierop volgende vergelijkbare figuren kunnen als volgt gelezen worden:

- De strekking van het gebied van de dataset staat in het grijze vlak bovenin.
- De soort suppletie of geen suppletie staat in het (blauwe/oranje/gele/groene) vlak, alsmede de periode waarover de analyse gaat en het totale aantal Jarkusraaien die zijn overgebleven na het filteren.
- In de vlakken met pijlen is het percentage te lezen van het totale aantal raaien dat in de richting van de pijl is verschoven in het beschouwde tijdvak.
- Vlakken zonder pijl laten het percentage zien van het totale aantal raaien dat hetzelfde duintype is gebleven.
- Onder elk figuur zijn alle percentages per toenemende, gelijkblijvende of afnemende dynamiek in de zeereep (responstype) opgeteld.

- Het percentage netto dynamischer is het totale percentage Jarkusraaien waarbij de dynamiek toeneemt min het totale percentage Jarkusraaien waarbij de dynamiek afneemt.

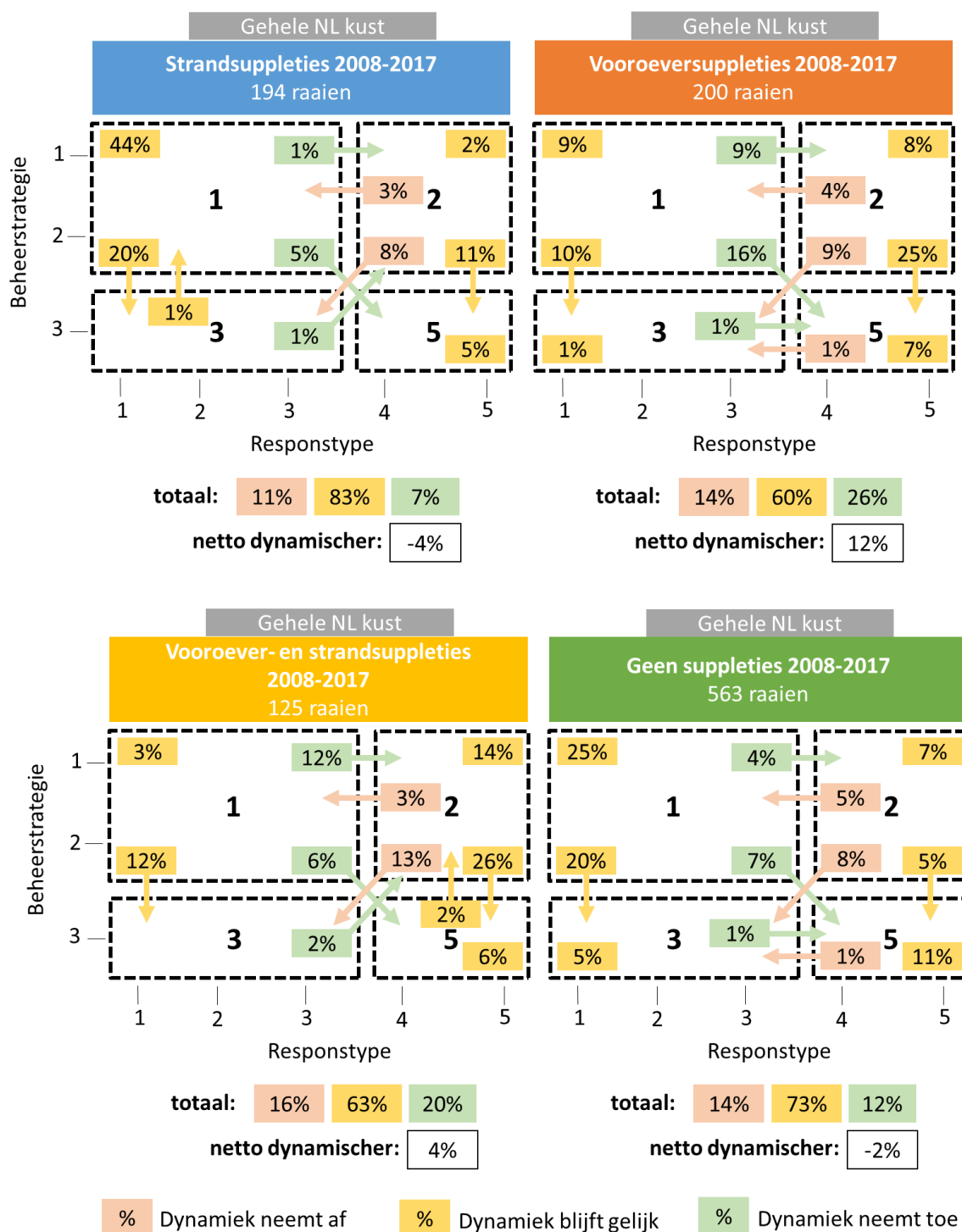
Voor de gehele Nederlandse kust valt op dat een groot deel van de duinen niet dynamischer wordt, terwijl het beheer wel vrij sterk verschuift richting meer dynamiek toelaten (Figuur 4.1). De verhouding tussen deze twee is wel constant. Bij Jarkusraaien zonder suppleties is er sprake van een lichte afname in dynamiek.

Voor kusten met alleen strand-suppleties is er een netto afname van dynamiek in de zeereep van 4%, terwijl het beheer met 42% verschuift naar een dynamischer beheer.

Bij kustdelen met alleen vooroeversuppleties is met de grootste verschuiving naar een dynamischer beheer (60% netto) ook de grootste verschuiving naar een dynamischere zeereep te zien (12% netto).

Bij gecombineerde vooroever- en strandsuppleties is er tussen 2008 en 2017 tenminste één jaar geweest waarbij er zowel een strand- als vooroeversuppletie is aangelegd. Als er ook een of meer suppleties in de overige jaren zijn aangelegd, is deze altijd een combinatie geweest van vooroever- en strandsuppletie. Hier is een lichte verschuiving (4%) naar meer dynamiek waar te nemen, terwijl de beheerstrategie met 57% verschuift naar meer dynamisch beheer. Opvallend bij gecombineerde vooroever- en strandsuppleties is dat de grootste toename in dynamiek komt van een verschuiving van duintype 1 naar duintype 2. Hier blijft het beheer dus statisch. Bij de rest van de type suppleties of geen suppleties over de gehele Nederlandse kust is de grootste toename in dynamiek in de zeereep te zien bij een verschuiving naar een dynamischer beheerstrategie.

Al met al, op kusten waar er alleen vooroeversuppleties zijn aangelegd is relatief de grootste verschuiving naar een dynamischere zeereep. De stukken kust die netto dynamischer worden betreft bij elkaar een gebied strekkende over ± 5 -6 km. Bij alleen strandsuppleties is de zeereep netto minder dynamisch geworden in 2017. Dit betreft $\pm 1,5$ -2 km kust dit is het grootste deel van de kust dat minder dynamisch is geworden tussen 2008 en 2017.



Figuur 4.1 Verschuiving van beheerstrategie en responstype voor Jarkusraaien waar alleen strand-, vooroever-, gecombineerde vooroever- en strandsuppleties en geen suppleties zijn aangelegd, langs de gehele Nederlandse kust tussen 2008-2017.

4.3 Discussie en conclusies

Het is lastig om uit de geaggregeerde data van de hele Nederlandse kust directe conclusies te trekken, omdat de kusten onderling sterk verschillen qua morfologie. Opvallend is dat qua dynamiek een groot deel van de Nederlandse kust in de periode 2008-2017 netto niet verandert.

Dit ondanks een forse verschuiving naar het meer dynamische beheertype 3 (ca. 42,5%; Hoofdstuk 3). Dit impliceert dat er weliswaar meer dynamiek wordt toegelaten, maar dat dit (waarschijnlijk) niet actief wordt nagestreefd met extra maatregelen, of dat ingrepen niet het verwachte effect hebben. Voorts valt op dat in gebieden met vooroeversuppleties of gecombineerde vooroever- en strandsuppleties het meer dynamische beheertype 3 met 60%, respectievelijk 57% toeneemt en dat daarbij ook het responstype 4/5 toeneemt. Dit wijst erop dat deze suppleties het dynamiseren van de zeereep in ieder geval niet verhinderen.

De geringe afname van de duindynamiek voor de raaien waar geen suppletie heeft plaatsgevonden zal vermoedelijk meerdere oorzaken kennen die verschillen per kustgebied (Wadden, Hollandse kust en Zuidwestelijke Delta; zie Hoofdstuk 5). Oorspronkelijk maakten de minder dynamische responstypen 1, 2 en 3 al 62% van het totaal uit.

De lichte afname van dynamische responstypen bij kusten met een strandsuppletie zou erop kunnen wijzen dat het suppletiezand het dynamiseren van de zeereep licht onderdrukt. Deze indruk wordt verder versterkt door de waarneming dat oorspronkelijke responstypen 1, 2 en 3 al 72% van het totaal uitmaakten en dat de 42% verschuiving naar de meer dynamische beheerstrategie 3 netto niet leidde tot meer dynamiek in de duinen. Voor de verdere uitwerking verwijzen we naar de Zuidwestelijke Delta (Hoofdstuk 5).

5 Invloed type suppletie per gebied

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk is er ingezoomd op de kusten van de Wadden, de Hollandse kust en de Zuidwestelijke Delta. Ook hier worden de grote systeemsuppleties, zoals de Zandmotor en de gecombineerde duin- en strandsuppleties niet meegenomen (Sectie 2.2.4). Deze kunnen redelijkerwijs niet worden ingezet als “stuurknop” voor het dynamiseren van de kust. De gegevens die zijn gebruikt zijn gefilterd zoals uitgelegd in Sectie 2.2.3.

De Nederlandse kust bestaat uit een drietal hoofdtypen:

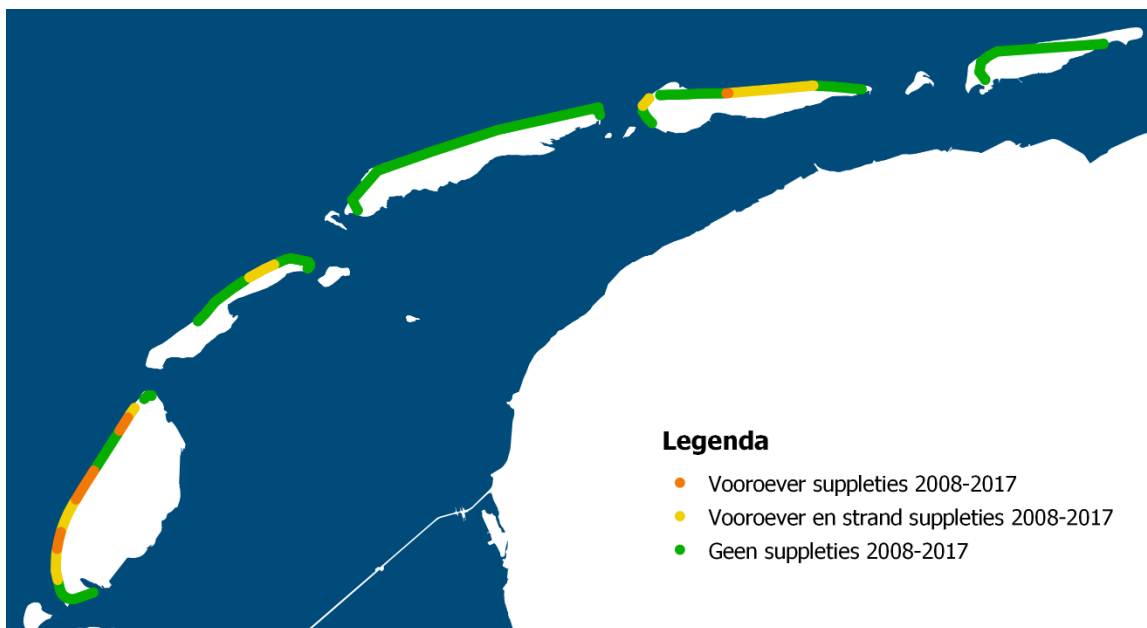
- De zandige open barrière-kust van de Wadden, welke bestaat uit Waddeneilanden, welke onderbroken worden door zeegaten. Door de hydrodynamiek en morfodynamiek die de zeegaten teweeg brengen bestaan de Waddeneilanden veelal uit een westelijke eilandkop met grote dynamische fluctuaties door het aanlanden van zandplaten, een middendeel en een eilandstaart welke met de ontwikkeling van het zeegat verplaatst. Over het algemeen zijn de stranden vrij breed, zo’n 400 m, met uitzondering van midden en noord-Texel, midden en oost-Vlieland en midden Ameland.
- De gesloten zandige barrière-kust van Holland, die loopt van Den Helder tot aan de Maasvlakte alleen onderbroken door het Noordzeekanaal en de haven van Scheveningen. Dit is een kust welke gekenmerkt wordt door een duinzone van wisselende breedte en een kust welke bestaat uit strand, brandingsbanken, shoreface-connected ridges en nog verder zeewaarts zandgolven. De stranden zijn meestal zo’n 200 m breed.
- De Zuidwestelijke Delta is een zandige kust welke bestaat uit (deels afgesloten) estuaria en zeearmen. De afsluitingen hebben tot gevolg gehad dat het zand van de buitendelta’s niet langer door de ebstroom worden “teruggezet” waardoor veel zand naar de kust beweegt. Op veel plaatsen zijn geulen vlak voor de kust aanwezig waardoor de stranden vaak smal zijn, zo’n honderd meter. Ook de duinen zijn niet overal erg breed.

5.2 Resultaten analyses

De resultaten worden hieronder behandeld voor de Wadden, Hollandse kust en Zuidwestelijke Delta in aparte Secties.

5.2.1 Wadden

Strandsuppleties zijn niet meegenomen voor de analyse van de regio Wadden, omdat er in periode 2008-2017 vrijwel geen delen Wadden kust zijn waar enkel dit type suppletie is aangebracht. De locaties van de vooroeversuppleties, gecombineerde vooroever- en strandsuppleties en geen suppleties zijn te zien in Figuur 5-1.

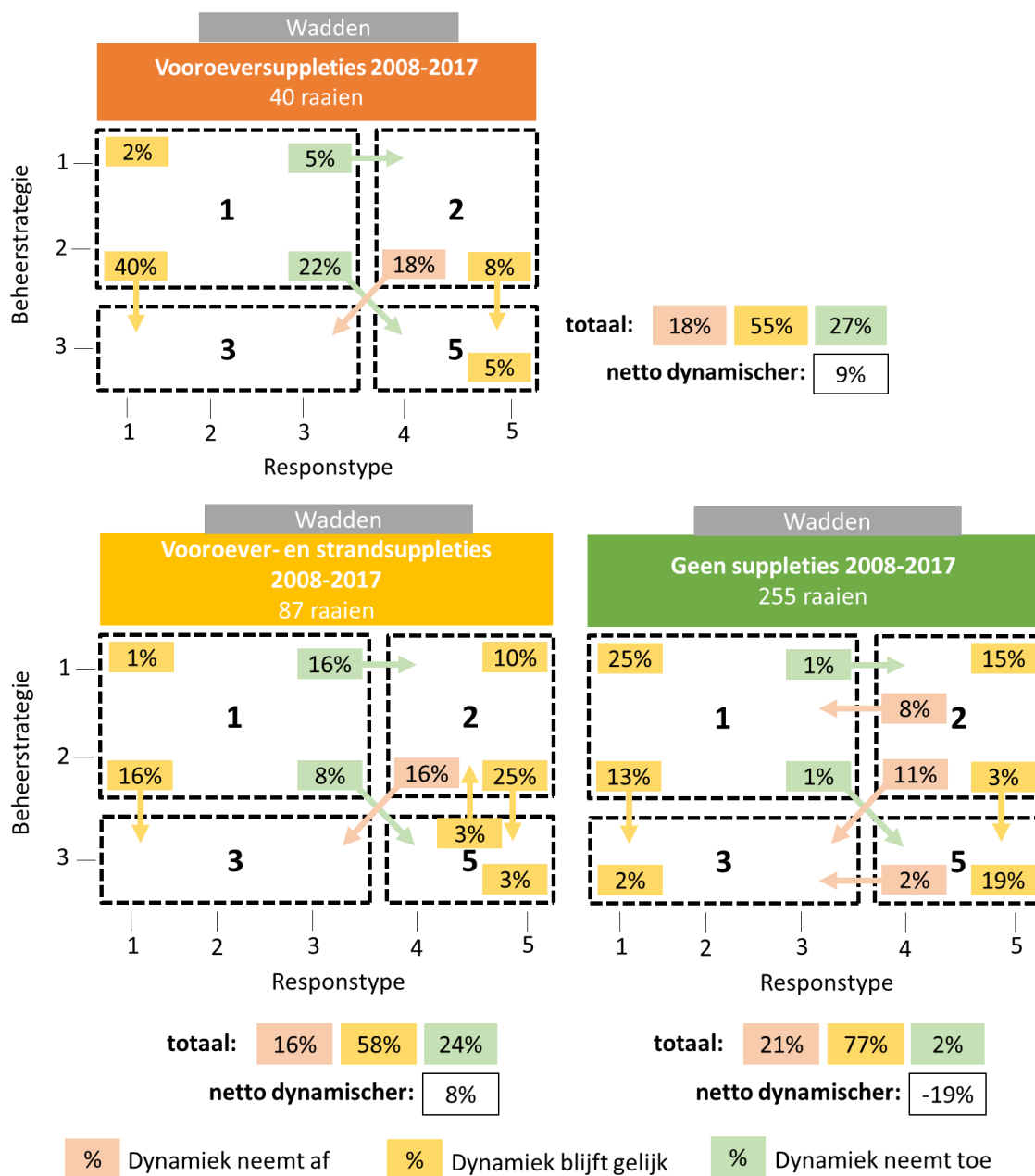


Figuur 5-1 Vooroeverssuppleties, gecombineerde vooroever- en strandsuppleties en geen suppleties in de Wadden.

De aantallen Jarkusraaien per gefilterde dataset verschillen sterk: op slechts 5% van de gehele Wadden kust zijn alléén vooroeverssuppleties uitgevoerd. Deze suppleties zijn voornamelijk aangebracht op Texel. Gecombineerde vooroever- en strandsuppleties komen vaker voor en zijn aangelegd op zowel Texel, Vlieland als Ameland. Er is niet gesuppleerd in de periode 2008-2017 op Terschelling en Schiermonnikoog.

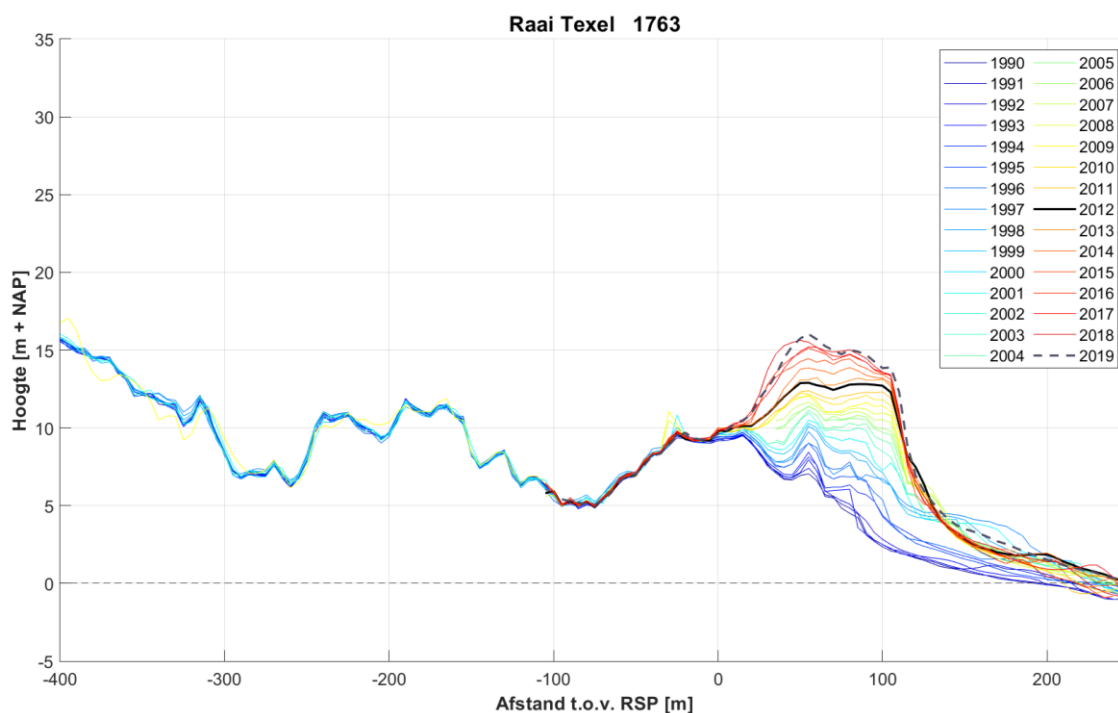
Voor de Wadden is eenzelfde beeld te zien als voor de gehele Nederlandse kust (Figuur 5-2). Qua beheer is er een verschuiving naar de dynamische beheerstrategie 3 waar te nemen in de periode 2007-2018: van 23% naar 51% voor niet gesuppleerde kusten; van 5% naar 93% voor kusten met vooroeverssuppleties en van 3% naar 65% voor kusten met zowel vooroever- als strandsuppleties. Qua dynamiek is ook een soortgelijk beeld te zien als voor de gehele Nederlandse kust. Bij locaties zonder suppleties is er sprake van een afname in de dynamische responstypen 4 en 5 van 58% naar 39%. Vooroeverssuppleties gaan samen met een toename in de dynamische responstypen 4 en 5 van 31% naar 40%, waarbij duintoppen overstoven raken (Figuur 5-3). De combinatie van gecombineerde vooroever- en strandsuppleties is qua beeld vergelijkbaar met die van de vooroeverssuppleties: een netto toename van de dynamische responstypen 4 en 5 van 57% naar 65%. Het gebied waar de dynamiek afneemt (zonder suppleties) is ook het gebied waar het grootste deel van duintypen hetzelfde blijft.

Opvallend is het relatief hoge percentage overgangen van minder (type 1, 2, en 3) naar meer dynamische (type 4 en 5) responstypen en vice versa (Figuur 5-2) vooral in de gebieden waar gesuppleerd werd. In de gebieden zonder suppleties is er weliswaar wel sprake van een sterke afname, maar de sterke toename in dynamische responstypen treedt hier niet op. Het netto effect is een afname. Het suggereert dat de gebieden waar geen suppleties plaatsvinden afwijken van de gebieden waar wel gesuppleerd wordt

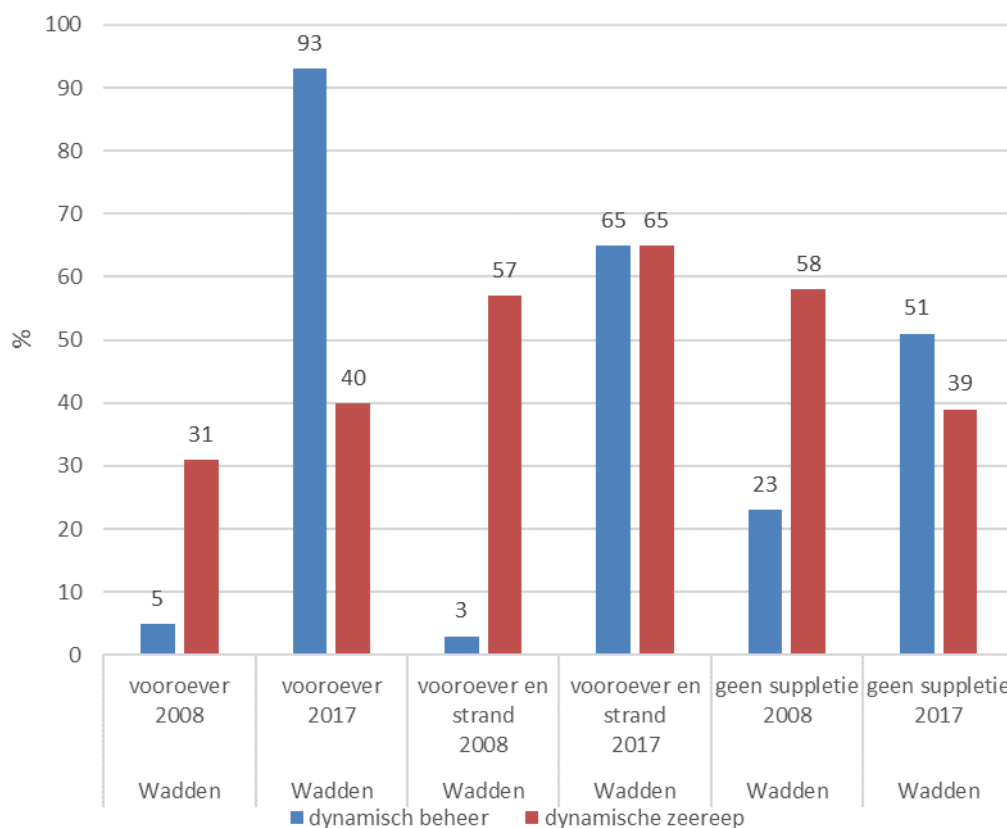


Figuur 5-2 Verschuiving van beheerstrategie en responstype voor Jarkusraaien in de kust van de Wadden tussen 2008-2017 waar vooroever- (boven), gecombineerde vooroever- en strandsuppleties (links onder) en geen suppleties (rechts onder) hebben plaatsgevonden.

Het aandeel van Jarkusraaien met een dynamische beheerstrategie en/of een dynamische zeereep is samengevat in Figuur 5-4.



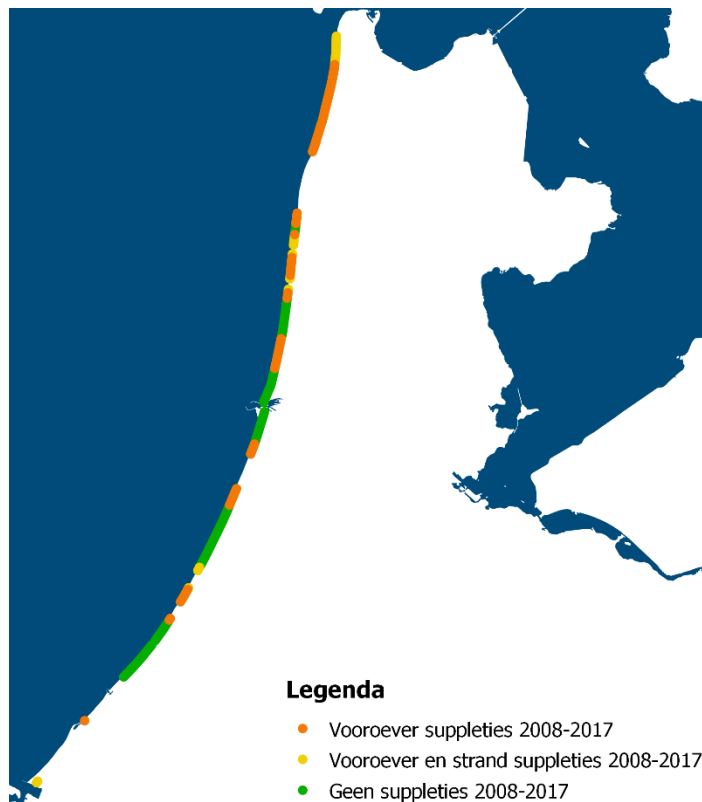
Figuur 5-3 Ontwikkeling raai Texel na een vooroeversuppletie van 41208 m³: toename in dynamiek



Figuur 5-4 Percentages Jarkusraai van de Wadden kust met een dynamisch beheer (beheerstrategie 3) en/of een dynamische zeereep (responstype 4 of 5).

5.2.2 Hollandse kust

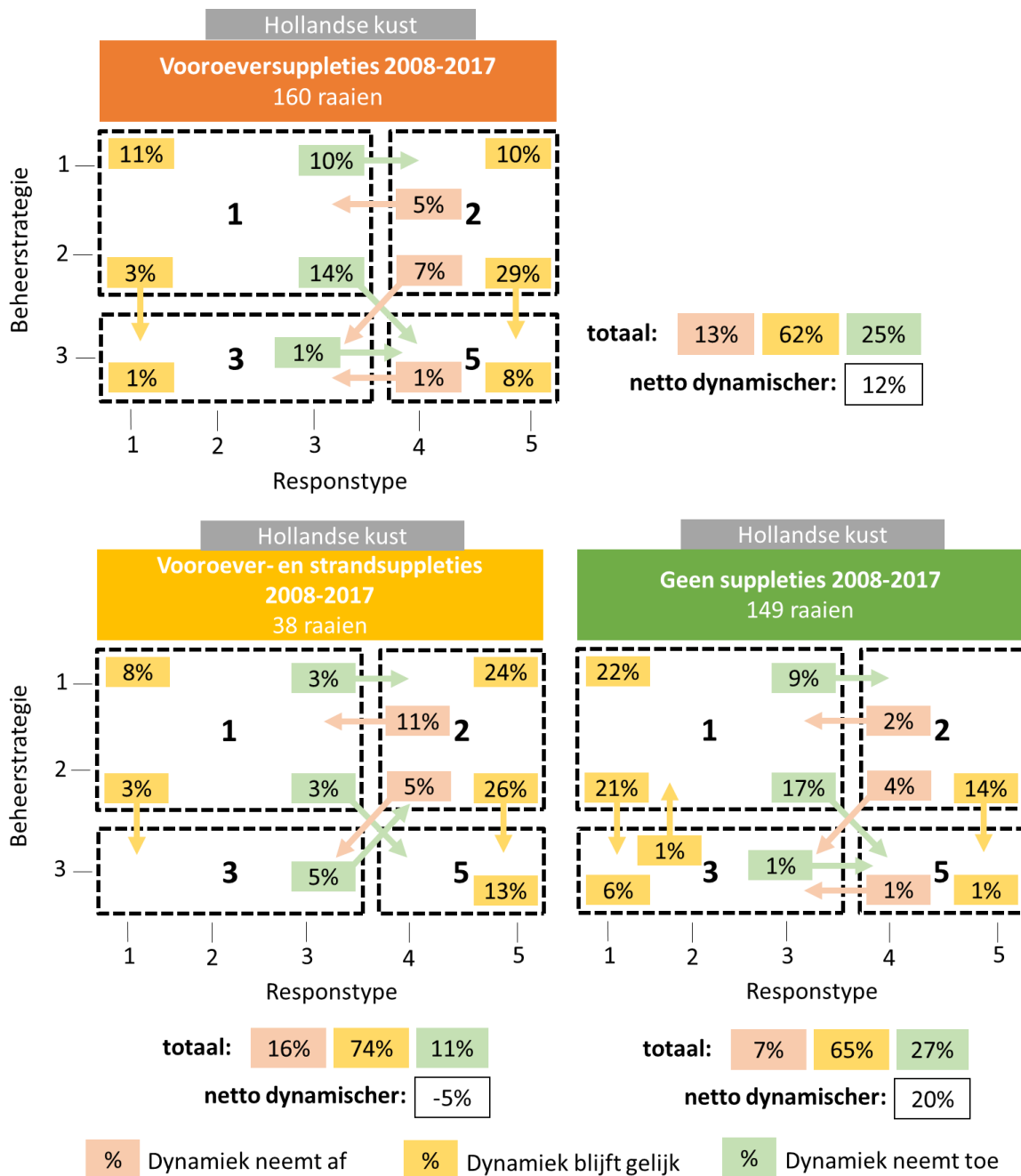
In de periode van 2008-2017 zijn er tevens over de Hollandse kust bijna geen locaties geweest waar er alléén maar strandsuppleties zijn uitgevoerd. Deze worden daarom niet behandeld. De locaties van de suppleties en waar geen suppleties zijn aangelegd zijn te zien in Figuur 5-5. Er wordt veel gesuppleerd op de Hollandse kust: er zijn meer locaties waar er vooroeversuppleties zijn uitgevoerd dan waar er helemaal geen suppleties zijn uitgevoerd. Op 7% van de kust zijn er gecombineerde vooroever- én strandsuppleties aangelegd.



Figuur 5-5 Vooroeversuppleties, gecombineerde vooroever- en strandsuppleties en geen suppleties in de Hollandse kust.

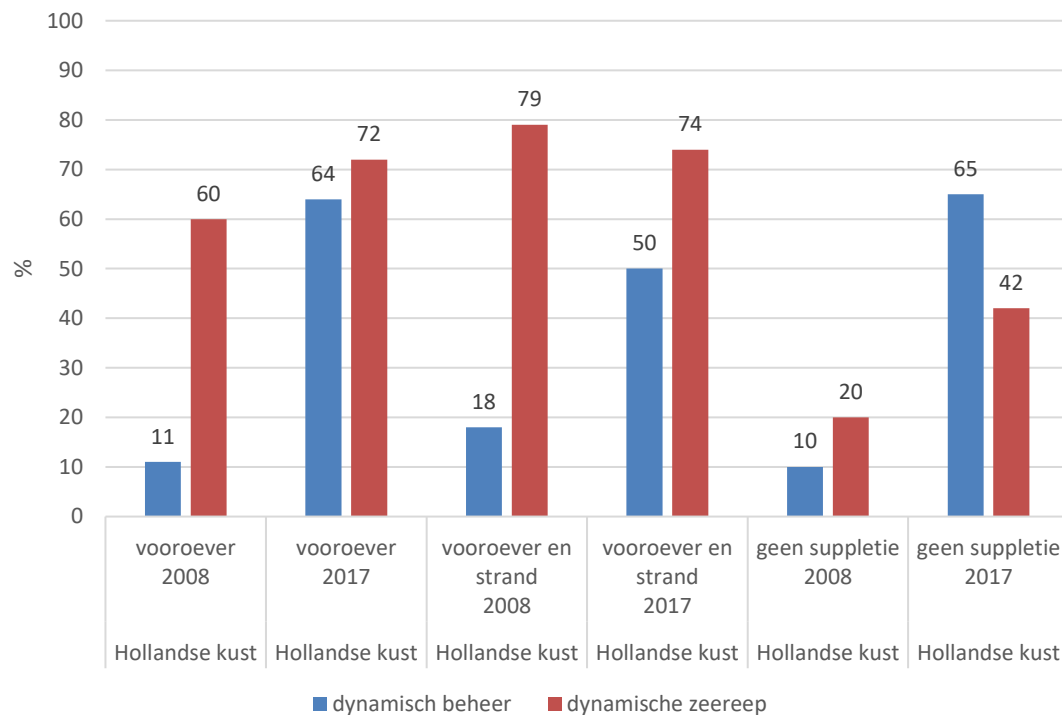
Bij de Hollandse kust is er qua beheer een verschuiving naar de dynamische beheerstrategie 3 waar te nemen in de periode 2007-2018, zie Figuur 5-6. Het aandeel van Jarkusraaien met beheerstrategie 3 gaat van 10% naar 65% voor niet gesuppleerde kusten; van 11% naar 64% voor kusten met vooroeversuppleties en van 18% naar 50% voor kusten met gecombineerde vooroever- als strandsuppleties.

Bij locaties zonder suppleties is er sprake van een toename in de dynamische responstypen 4 en 5 van 20% naar 42%. Vooroeversuppleties gaan samen met een toename in de dynamische responstypen 4 en 5 van 60% naar 72%. De combinatie van gecombineerde vooroever- en strandsuppleties laat een afname zien van de dynamische responstypen 4 en 5 van 79% naar 74%. Hierbij zijn deze Jarkusraaien het minst veranderlijk qua duintype: 74% blijft gelijk tegenover 62% en 65% van de respectievelijk vooroeversuppleties en geen suppleties.



Figuur 5-6 Verschuiving van beheerstrategie en responstype voor Jarkusraaien in de Hollandse kust tussen 2008-2017 waar vooroever- (boven), gecombineerde vooroever- en strandsuppleties (links onder) en geen suppleties (rechts onder) hebben plaatsgevonden.

Het aandeel van Jarkusraaien met een dynamische beheerstrategie en/of een dynamische zeereep is samengevat in Figuur 5-7.



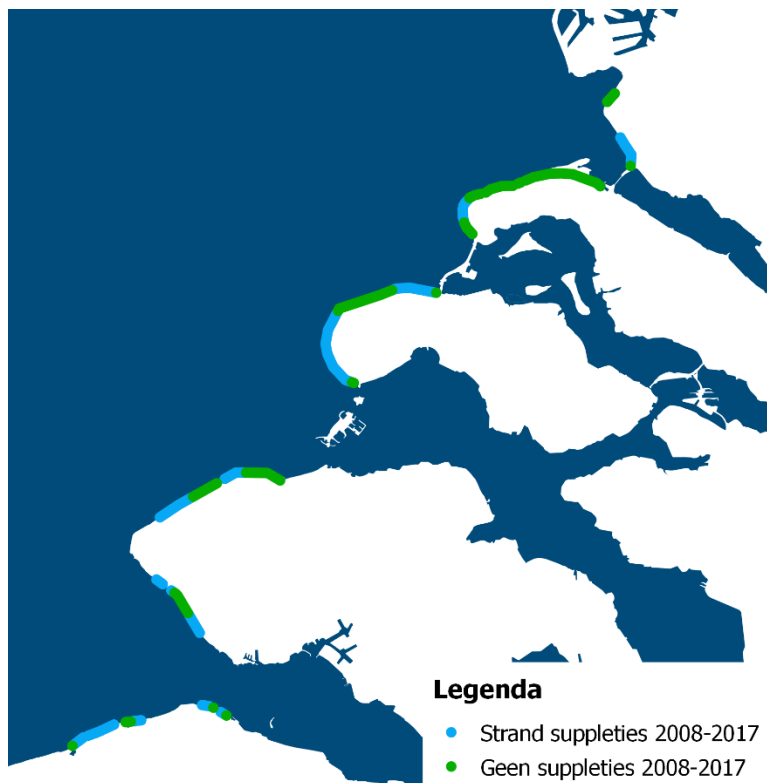
Figuur 5-7 Percentages Jarkusraaien van de Hollandse kust met een dynamisch beheer (beheerstrategie 3) en/of een dynamische zeereep (responstype 4 of 5).

5.2.3 Zuidwestelijke Delta

In de periode van 2008-2017 zijn er in de Zuidwestelijke Delta geen vooroeversuppleties uitgevoerd. Daarom wordt in deze paragrafen alleen gekeken naar locaties met strandsuppleties en locaties waar helemaal geen suppleties zijn uitgevoerd (Figuur 5-8).

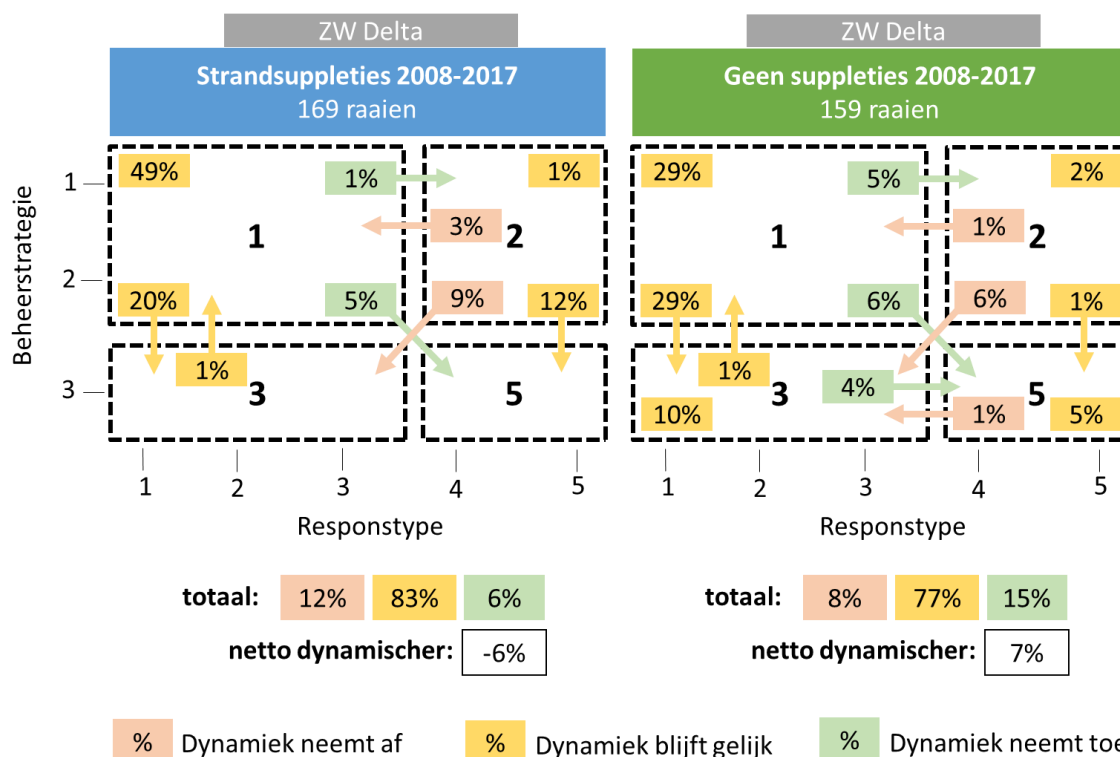
Qua beheer is er een verschuiving naar de dynamische beheerstrategie 3 waar te nemen in de periode 2007-2018: van 21% naar 62% voor niet gesuppleerde kusten en van 1% naar 45% voor kusten met strandsuppleties (Figuur 5.9).

Voor de Zuidwestelijke Delta zijn qua duintype de volgende verschuivingen waar te nemen (zie Figuur 5.9): Locaties zonder suppleties is er sprake van een toename in de dynamische responstypen 4 en 5 van 16% naar 23%. Strandsuppleties gaan samen met een afname in de dynamische responstypen 4 en 5 van 25% naar 19% (Figuur 5.10). Het overgrote deel van de strandsuppleties over de gehele Nederlandse kust gebeuren op de Zuidwestelijke Delta; de twee datasets zijn dus ook erg vergelijkbaar.

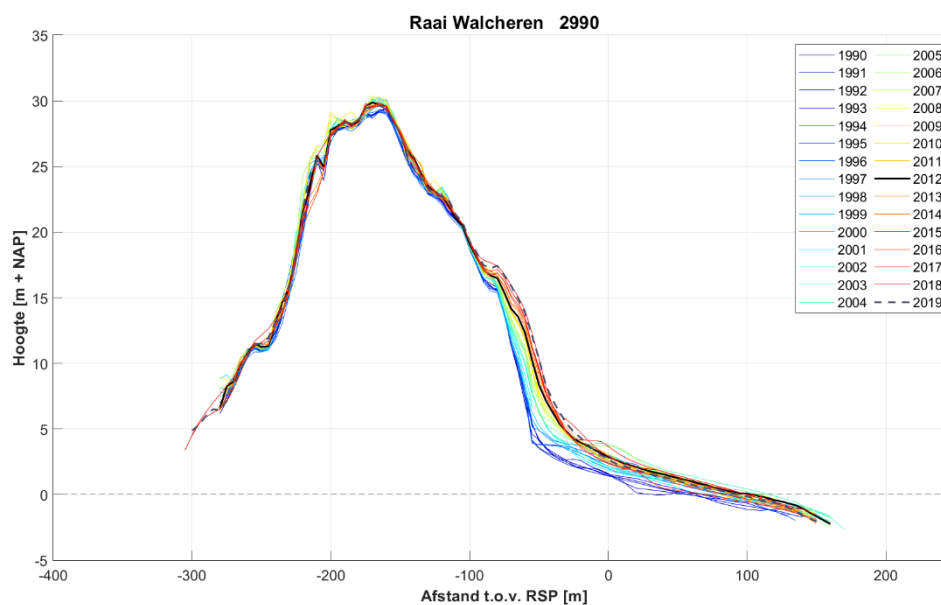


Figuur 5-8 Strandsuppleties en geen suppleties in de Zuidwestelijke Delta.

Weer is het aandeel van Jarkusraaien dat hetzelfde duintype houdt (83%) wanneer er netto minder dynamiek in de zeereep komt (hier bij strandsuppleties) groter dan het aandeel Jarkusraaien (77%), waarbij er netto méér dynamiek optreedt in de zeereep (hier geen suppleties). Grotere verschuivingen in dynamiek lijken dus samen te gaan met meer overgangen naar een ander reponstypetype.

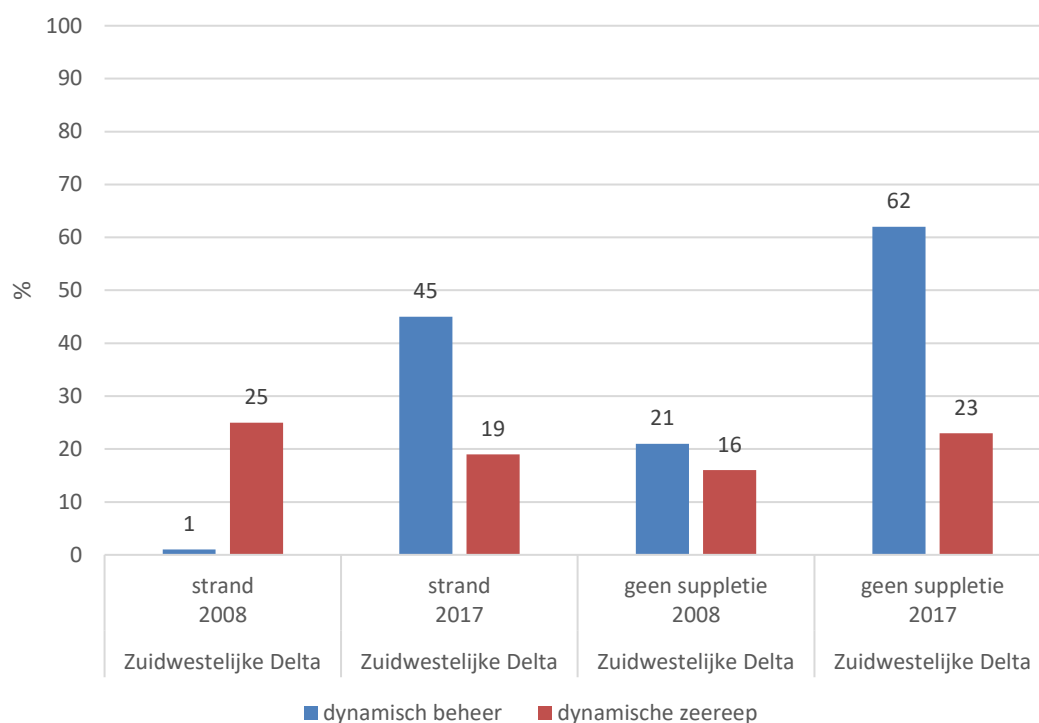


Figuur 5-9 Verschuiving van beheerstrategie en responstype voor Jarkusraaien in de kust van de Zuidwestelijke Delta waar tussen 2008-2017 waar strandsuppleties (links) en geen suppleties (rechts) hebben plaatsgevonden.



Figuur 5-10 Profiel bij Walcheren waar na een strandsuppletie in 2016 van 21667 m³ de dynamiek afnam met name aangroei zeewaartse deel zeereep.

Het aandeel van Jarkusraaien met een dynamische beheerstrategie en/of een dynamische zeereep is samengevat in Figuur 5.11.



Figuur 5-11 Percentages Jarkusraaien van de kust in de Zuidwestelijke Delta met een dynamisch beheer (beheerstrategie 3) en/of een dynamische zeereep (responstype 4 of 5).

5.2.4 Veranderingen in de tussenliggende tijdstappen

Wadden	Soort kust	N	Toename 4 en 5 (%)	Afname 4 en 5 (%)	Netto Resultaat (%)	Responstype 4 en 5 in 1e jaar (%)	Responstype 4 en 5 in 2e jaar (%)	Blijft gelijk qua responstype 4 en 5 (%)
2008-2013	Geen suppleties	255	5	22	-17	59	42	37
	Vooroeversuppleties	40	22	18	4	31	35	13
	Strand en vooroeversuppleties	87	24	15	9	59	68	44
2013-2017	Geen suppleties	273	6	5	1	39	40	34
	Vooroeversuppleties	47	10	2	8	36	44	34

Tabel 5.1 Overzicht van de ontwikkeling van responstype 4 en 5 voor de diverse perioden en de verschillende soorten kusten voor de Wadden.

Voor de tussenliggende perioden gekeken wat de veranderingen zijn in de dynamische responstypen 4 en 5 in de perioden 2008-2013 en 2013-2017. We laten hier het beheer buiten beschouwing, omdat dit alleen veranderd in 2017. Het werkt hierdoor eerder verwarrend (beheer in 2017 t.o.v. de 90er jaren) dan dat het iets toevoegt. Bedacht moet verder worden dat het aantal raaien in deze tussenliggende perioden kan afwijken van de raaien over de hele periode 2008-2017. De verschillen in responstype zijn weer gegeven in Tabel 5.1 (Wadden); Tabel 5.2 (Hollandse kust) en Tabel 5.3 (Zuidwestelijke Delta). Als er minder dan 38 raaien aanwezig zijn van een bepaald suppletiebeleid is ervoor gekozen om deze weg te laten.

Wadden

Opvallend is dat in de periode 2013-2017 aan de Waddenkusten een iets groter deel dat niet gesuppleerd werd dan in de periode 2008-2013. De geconstateerde teruggang in dynamiek van niet-gesuppleerde kusten zit echter vooral in de periode 2008-2013. In de periode 2013-2017 zijn zowel afname als toename niet erg sterk voor de diverse soorten suppletiebeleid. Voor gecombineerde vooroever- en strandsuppleties legt de periode 2008-2013 ook het meeste gewicht in de schaal voor de gehele periode 2008-2017. Bij vooroeversuppleties legt de periode 2013-2017 het meeste gewicht in de schaal voor de gehele periode 2008-2017.

Hollandse kust	Soort kust	N	Toename responstype 4 en 5 (%)	Afname responstype 4 en 5 (%)	Netto resultaat (%)	Responstype 4 en 5 in 1e jaar (%)	Responstype 4 en 5 in 2e jaar (%)	Blijft gelijk qua responstype 4 en 5 (%)
2008-2013	Geen suppleties	157	16	8	8	20	28	12
	Vooroeversuppleties	155	24	16	8	63	71	47
2013-2017	Geen suppleties	272	13	4	9	35	44	31
	Vooroeversuppleties	113	11	5	6	68	74	63

Tabel 5.2 Overzicht van de ontwikkeling van responstype 4 en 5 voor de diverse perioden en de verschillende soorten kusten voor de Hollandse Kust.

Hollandse kust

Voor de Hollandse kust nemen de gebieden met vooroeversuppleties en zonder suppleties netto toe in dynamiek. Dit is een doorgaande ontwikkeling over de twee perioden. Het hoge percentage van responstype 4 en 5 voor de gebieden waar vooroeversuppleties zijn, komt overeen met de observaties over de gehele periode 2008-2017. Opvallend is het grote aantal raaien in de periode 2013-2017 waar geen suppleties plaatsvinden.

Zuidwestelijke Delta

Voor de Zuidwestelijke Delta is de afname in dynamiek bij strandsuppleties over de periode 2008-2017 vooral toe te wijzen aan de ontwikkelingen in de periode 2008-2013. Ook hier is de afname en toename van responstype 4 en 5 groter in de eerste periode dan in de tweede. Tevens is ook het aantal raaien zonder suppleties groter in de tweede periode. Opvallend is ook het geringe percentage raaien met responstype 4 en 5 voor alle beschouwde stranden over beide perioden. Als over de gehele periode 2008-2017 wordt gekeken is het percentage lager dan 25% (Tabel 5.3). Daarmee zijn de duinen daar de minst dynamische van de gehele Nederlandse kust.

ZW Delta	Soort kust	N	Toename respon- type 4 en 5 (%)	Afname respon- type 4 en 5 (%)	Netto resultaat (%)	Respons- type 4 en 5 in 1e jaar (%)	Respons- type 4 en 5 in 2e jaar (%)	Blijft gelijk qua res- pons-type 4 en 5 (%)
2008-2013	Geen sup- pleties	167	14	12	2	21	23	9
	Strand sup- pleties	157	6	11	-5	22	17	11
2013-2017	Geen sup- pleties	234	3	2	1	21	22	19
	Strand-sup- pleties	175	5	4	1	16	17	12

Tabel 5.3 Overzicht van de ontwikkeling van responstype 4 en 5 voor de diverse perioden en de verschillende soorten kusten voor de Zuidwestelijke Delta.

Opvallend voor het algemene beeld voor de hele Nederlandse kust is dat in de eerste periode 2008-2013 er meer sprake is van suppleties en van sterkere veranderingen in de dynamiek dan in de tweede periode 2013-2017. De achterliggende oorzaak is niet duidelijk: een hogere stormachtigheid, een iets ander landelijk kustbeheer, of weerscondities zouden kunnen leiden tot dergelijke veranderingen. Hieruit kan wel worden geconcludeerd dat het soort kust (Wadden, Hollandse kust of Zuidwestelijke Delta) of de oriëntatie van de kust niet zo'n overheersende rol speelt dat het dit soort kustbrede ontwikkelingen verhindert.

5.3 Discussie

De resultaten worden apart bediscussieerd voor de Wadden, Hollandse kust en Zuidwestelijke Delta in de volgende paragrafen.

5.3.1 Wadden

Voor de Wadden is het de vraag in hoeverre de suppleties bijdragen aan meer dynamische responstypen of dat de veranderingen naar een dynamischer responstype een andere oorzaak kunnen hebben die samenvalt met de noodzaak tot suppleren. Ten eerste is het belangrijk om te realiseren dat de meeste kusten op de Waddeneilanden breed zijn (karakteristiek ruwweg 400m, hoewel lokaal op Texel, Oost-Vlieland en West Ameland de stranden minder dan 100 m breed kunnen zijn). Bij een strandbreedte van 150 m of meer treedt nieuwe duinontwikkeling op zeewaarts van de oude zeereep, een toevalsproces dat een keer per 1 tot 2 decennia optreedt (de Groot, et al., 2015). Kusten op de Waddeneilanden waar niet gesuppleerd wordt, zijn meestal breed en duinvorming voor de zeereep is normaal; zo vormen zich bijvoorbeeld op Schiermonnikoog embryonale duinenvelden en zelfs nieuwe zeerepen. In zulke gevallen is een toename van dynamiek in de oorspronkelijke zeereep veelal niet te verwachten. Inderdaad zijn de dynamische responstypen 4 en 5 afgenomen van 58% naar 39% over de periode 2008 - 2017. Dit is vooral veroorzaakt in de eerste periode 2008-2013.

Gekeken naar de plekken waar wel gesuppleerd wordt is het duidelijk dat de kusten daar minder breed zijn. Op dergelijke kusten waar de MKL landwaarts is komen te liggen van de BKL mag ook erosie van de zeereepduinen worden verwacht (zoals bijvoorbeeld zichtbaar op Texel en Vlieland). Het grillige hoogteverloop van de zeereepduinen en erosie kunnen lokaal blow-outs veroorzaken (pers. com. Oost op Vlieland). Ook na suppletie kunnen dergelijke duin-activaties nog een tijdland actief blijven, tevens omdat de beheerstrategie dynamischer is geworden. Dit zou de verschuivingen naar een dynamischer responstype voor gesuppleerde kusten kunnen verklaren. Het iets grotere aantal kustraden waar niet gesuppleerd wordt in de periode

2013-2017 dan in de eerste periode, wijst op een iets geringere erosie van de kust. De lagere percentages afname en toename van het dynamische responstype 4 en 5 in de periode 2013-2017 impliceert dat de dynamiek van verandering minder sterk is dan in de eerste periode. Er lijkt sprake te zijn van een iets geringere dynamiek in de tweede periode, mogelijk door rustigere hydrodynamische condities. Dit lijkt daarmee inderdaad aannemelijk dat de verschuiving richting meer dynamiek in samenhang met suppleties deels al in de eerste periode in aanzet kan zijn ontstaan, maar zich door enige vertraging vooral manifesteert in de tweede periode.

5.3.2 Hollandse kust

De Hollandse kust is een stuk smaller dan de Waddenkust (karakteristiek ruwweg 200m). Verwacht zou mogen worden dat, vergelijkbaar met de Waddeneilanden, de kusten zonder suppleties breed genoeg zijn en er daardoor niet of nauwelijks erosie optreedt; en ze dus ook minder dynamisch worden. Dat blijkt niet het geval te zijn. De dynamiek wordt zelfs meer dan verdubbeld van 20 naar 42%². Het laat zien dat klaarblijkelijk het strand niet breed genoeg is om door nieuwe duinvorming (er zijn wel degelijk embryonale duinen aanwezig op veel plaatsen) de verstuing en het dynamiseren van de achterliggende zeereep sterk te verhinderen. Bij strandbreedten van 50 tot 150 meter is er een positieve relatie tussen strandbreedte en duinvolume (van der Wal, 1999, p. 157) (Keijsers, Poortinga, Riksen, & Maroulis, 2014, pp. 1-11) (de Vries, de Vries, van Rijn, Arens, & Ranasinghe, 2014, pp. 75-85). Een mogelijke verklaring is dat de sterke toename in dynamisch duinbeheer en het beperkt actief dynamiseren van de zeereep heeft geleid tot de waargenomen toename in dynamiek. Opvallend is de groei van het aantal raaien waar niet gesuppleerd wordt in de tweede sub-periode 2013-2017. Dit duidt op minder behoefte aan zand. Dit kan komen doordat er minder erosie is. Een andere mogelijke verklaring is dat de suppleties van de voorgaande jaren een zekere na-ijling veroorzaken, maar eenzelfde argument kan voor de eerste periode 2008-2013 worden aangedragen. Dynamische kustbeheer middels suppleties bestaat al sinds 1995.

Het aantal raaien met vooroeversuppleties is nagenoeg gelijk aan het aantal raaien zonder suppleties wat een "eerlijke" vergelijking mogelijk maakt. Voor de kusten met vooroeversuppletie is ligt het percentage met responstype 4 en 5 aanzienlijk hoger, namelijk op 72% in 2017. Dit lijkt daarmee hetzelfde beeld als voor de Wadden, waar deze ook samenvallen met hoge dynamiek. Echter, de geobserveerde teruggang van responstype 4 en 5 van 79% naar 74% voor gecombineerde vooroever- en strandsuppleties staat iets haaks op dit beeld. Bedacht moet wel worden dat in 2008 het aantal raaien van dit responstype al hoog was, wat nog verder dynamiseren moeilijk zou maken. Ook het aantal raaien (38) is wat gering om erg harde conclusies te trekken. In ieder geval kan worden geconcludeerd dat suppleties het dynamiseren niet noemenswaardig tegengaan op de Hollandse kust. Dit wordt ook onderschreven door de gestage groei van het dynamische responstype 4 en 5 over de perioden 2008-2013 en 2013-2017.

5.3.3 Zuidwestelijke Delta

In de Zuidwestelijke Delta zijn de stranden over het algemeen zeer smal (karakteristiek ruwweg 100m) en worden vaak begrensd door een diepe geul. Waar niet wordt gesuppleerd is de dynamiek toegenomen tot 23%. Dit is een vergelijkbaar beeld als voor locaties zonder suppleties in de Hollandse kust. Een mogelijk belangrijke factor daarbij is de sterke toename van dynamisch beheer naar 62% in 2017.

Voor de Zuidwestelijke Delta is de afname in dynamiek op kusten met alleen strandsuppleties over de periode 2008-2017 vooral toe te wijzen aan de ontwikkelingen in de periode 2008-2013. Opvallend is tevens het geringe percentage raaien met responstype 4 en 5 voor alle beschouwde stranden over beide perioden. Ook over de gehele periode 2008-2017 is het

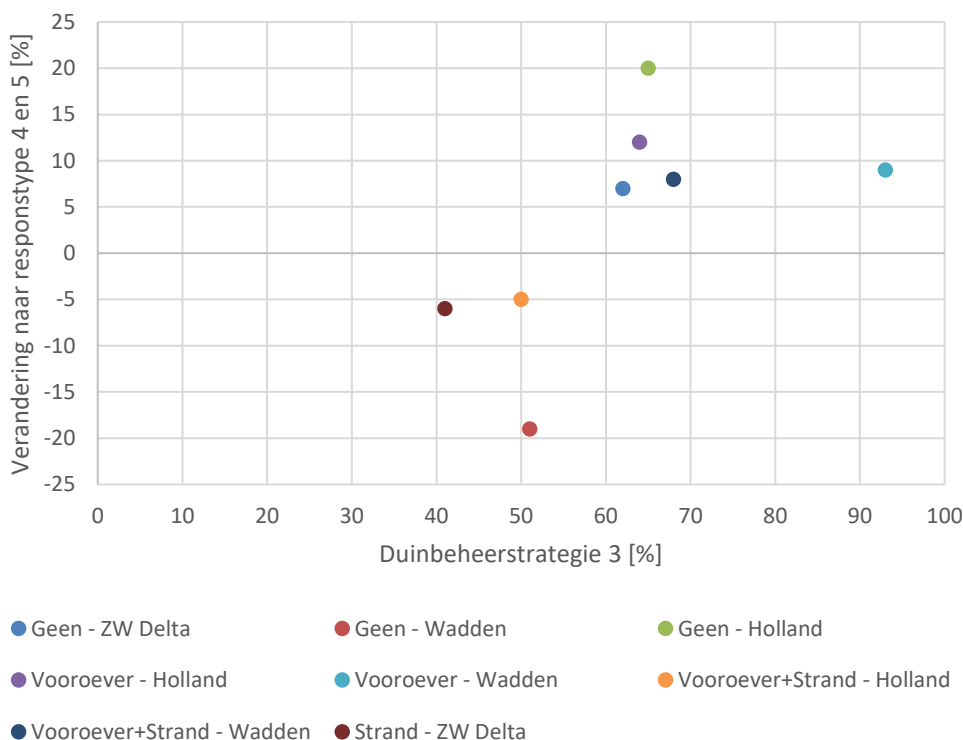
² Wel is daarmee het percentage van responstype 4 en 5 met 42% in 2017 het laagste van de drie soorten onderscheiden suppleties of geen suppleties.

percentage lager dan 25% (Figuur 5.9; Tabel 5.3). Daarmee zijn deze duinen de minst dynamische van de gehele Nederlandse kust.

Waar de kusten gesuppleerd moeten worden, blijft vooral een strandsuppletie over als instrument, naast de enkele geulwandsuppleties. Een strandsuppletie zal hier meestal aan de voet van het duin liggen en kan zo direct toeleverend zijn aan de achterliggende zeereep. Klaarblijkelijk leidt het grotere zandaanbod dat voortkomt uit suppleren tot een sterkere depositie van zand in de duinen wat hier resulteert in het afnemen van de dynamiek. Een mogelijke verklaring is dat vers zand de vitaliteit van helmgras bevordert, waardoor vastlegging van zand effectiever wordt. Alhoewel de dynamische beheerstrategie 3 in de periode van 2008-2017 is toegenomen van 1 naar 45%, wordt bij deze kusten een teruggang in de duindynamiek waargenomen (van 25% naar 19%). Dat gebeurt vooral in de eerste periode 2008-2013. Samen met de toename van niet suppleren in de periode 2013-2017 en de sterke schommelingen van responstype 4 en 5 suggereert het weer een hogere dynamiek in de eerste periode.

5.3.4 Invloed beheerstrategie

De vraag is of de toename in een dynamische beheerstrategie kan hebben bijgedragen aan de toename van duindynamiek (responstype 4 en 5). Het blijkt inderdaad dat pas bij duinen die meer dan ca 60 % dynamisch beheerd worden, de dynamische responstypen toenemen, terwijl ze eronder afnemen (Figuur 5.12). Daar staat tegenover dat voor de gesuppleerde Hollandse kusten in 2008 nog geen sterk dynamisch duinbeheer werd gevoerd, terwijl ze toch al een sterk ontwikkelde responstype 4 en 5 hadden. We kunnen concluderen dat een sterk dynamisch beheer (meer dan 60% duinbeheertype 3) kan bijdragen aan het bevorderen van de dynamiek in de duinen. Dat dit zeker niet de enige verklaring kan zijn wordt onderschreven door de vrij onduidelijke verbanden in Figuur 5.12 en de eerder besproken oorzaken.



Figuur 5-12 Percentage van de dynamische duinbeheerstrategie 3 in 2017 versus percentage verandering naar een dynamisch responstype 4 en 5 voor de diverse type suppleties of geen suppleties voor de Zuidwestelijke Delta, Hollandse kust en de Waddenkust.

5.4 Hypotheses

Hypothese 1a: *“Op locaties waar strandsuppleties zijn aangebracht is meer zand beschikbaar voor doorstuiven naar de zeereep, waardoor deze dynamischer wordt (responstype 4 en 5).”* is uitsluitend te testen voor de Zuidwestelijke Delta. Daar blijkt deze hypothese niet correct. Dit zou kunnen worden toegeschreven aan het over het algemeen smalle strand wat leidt tot een direct zandaanbod naar de duinen. Een mogelijkheid is dat dit de helmontwikkeling stimuleert en leidt tot onderdrukking van de dynamiek. Daarnaast zou het zo kunnen zijn dat er teveel beheer op vastleggen of beperkt dynamisch beheer is gericht (59%). Hierdoor kan duindynamiek zich, in de gebieden waar strandsuppleties noodzakelijk zijn, niet ontwikkelen. Inderdaad is in de gebieden waar niet gesuppleerd wordt het beheer slechts voor 38% gericht op vastleggen of beperkt dynamisch beheer en neemt daar het dynamische responstype toe. Als we aannemen dat stranden waar niet gesuppleerd wordt enigszins vergelijkbaar zijn met situaties met strandsuppleties en deze als zodanig evalueren dan is er inderdaad een toename van de dynamische responstype 4 en 5 waar te nemen voor de Hollandse kust en de Zuidwestelijke Delta. Voor de Waddenkust blijkt het echter juist samen te gaan met een verlaging. Op grond van bovenstaand dient de hypothese 1a verworpen te worden.

Hypothese 1b: *“Bij vooroever en gecombineerde vooroever- en strandsuppleties zal dit effect kleiner zijn (responstype 1, 2 en 3), omdat de aanvoer van zand naar de zeereep indirect verloopt”,* is alleen te testen door voor de Hollandse kust en de Waddenkust deze suppleties te vergelijken met kusten waar niet gesuppleerd wordt. We nemen daartoe aan dat een kust die niet gesuppleerd hoeft te worden enigszins vergelijkbaar is met een gesuppleerd strand. Over het algemeen is er alleen afname van de dynamiek geconstateerd voor niet-gesuppleerde kusten van de Waddeneilanden en voor gecombineerde vooroever- en strandsuppleties langs de Hollandse kust. Verder is in 2017 het percentage dynamische responstype 4 en 5 iets lager voor niet gesuppleerde kusten dan voor gesuppleerde kusten van Holland en de Wadden. Hypothese 1b wordt op grond daarvan verworpen.

Deelvraag 1 *Wat is het verschil tussen de invloed van strandsuppleties, vooroever-suppleties, gecombineerde vooroever- en strandsuppleties en niet suppleren op (veranderingen in) dynamiek van de zeereep? Hoe verschilt dit per deelgebied (Hollandse kust, Wadden en Zuidwestelijke Delta)?*

Het verschil tussen de invloed van strandsuppleties, vooroever-suppleties, gecombineerde vooroever- en strandsuppleties en niet suppleren op veranderingen in dynamiek van de zeereep is niet simpel te beantwoorden. Dit komt, omdat de verschillende soorten suppleties op verschillende soorten van de kust worden uitgevoerd. Dit resulteert erin dat er te weinig situaties zijn om onderling te vergelijken om zo een eenduidig antwoord te geven op de vraag. Er spelen uiteindelijk teveel onbekende variabelen mee, zoals voorgeschiedenis, suppletiesoorten, oriëntatie kust, duinbeheer, strandtopografie. Wel zijn een aantal grotere lijnen aan te geven. Bijvoorbeeld: een indicatie dat het soort kust (Wadden, Hollandse kust of Zuidwestelijke Delta) en de oriëntatie van de kust misschien de kustontwikkeling niet overheersen, is dat voor de hele Nederlandse kust in de eerste periode 2008-2013 er meer sprake is van suppleties en van sterkere veranderingen in de duindynamiek dan in de tweede periode 2013-2017. Wat echter daarbij de overheersende drivers zijn voor deze gelijksoortige ontwikkelingen langs de hele Nederlandse kust is niet duidelijk.

Alle suppletie-situaties kunnen worden vergeleken met kusten zonder suppleties, maar ook daarin zijn grote verschillen. Door de kustgebieden met elkaar te vergelijken komt naar voren dat oriëntatie en strandbreedte factoren van grotere invloed zouden kunnen zijn. Voor de

Waddenkust is er correlatie tussen niet-suppleren en netto afname in dynamiek in de zeereep³. De plausibele verklaring is dat de dynamiek zich juist voor die zeereep plaatsvindt. Op de vaak zeer brede stranden ontwikkelen zich nieuwe duinen. De brede stranden en de nieuwe duinen samen verminderen de erosie van de zeereep die aanleiding kan zijn tot dynamiseren. Een bijkomende oorzaak is mogelijk het niet erg sterk ontwikkelde dynamisch beheer langs de Waddenkust (Tabel 5.1; Figuur 5.2; Figuur 5.4).

Voor de kusten van de Zuidwestelijke Delta en de Hollandse kust gaat het niet-suppleren juist samen met een verschuiving richting de dynamischer responstype 4 en 5. Een mogelijke verklaring is daarbij enerzijds de kust die smaller is dan op de meeste Waddeneilanden, waardoor de breedte van het strand en de nieuwvorming van duinen de dynamisering niet verhindert. Daarnaast is het ook zo dat het dynamisch beheertype 3 langs de kust van de Zuidwestelijke Delta en de Hollandse kust boven de 60% van de raaien betreft voor kusten zonder suppleties.

Voor vooroeversuppleties en gecombineerde vooroever- en strandsuppleties kunnen we alleen de Hollandse kust en de Waddenkust vergelijken. Met uitzondering van de gecombineerde vooroever- en strandsuppleties op de Hollandse kust gaat het samen met een vergroting van het vaak al initieel hoge percentage van duin responstype 4 en 5. Opgemerkt voor de gecombineerde vooroever- en strandsuppleties langs de Hollandse kust is het aantal waarnemingen gering (38 raaien), waardoor er weinig harde conclusies aan kunnen worden verbonden. Hierbij ligt het dynamische duinbeheer type 3 lager dan 60%. Voor de andere suppletieplekken ligt dit hoger. Over het algemeen kan worden geconstateerd dat vooroeversuppleties en gecombineerde vooroever- en strandsuppleties samen kunnen gaan met (ontwikkeling van) een hoog percentage van duinresponstype 4 en 5, zeker als dat samengaat met een hoog percentage dynamisch duinbeheertype 3. Een mogelijke verklaring zit vermoedelijk in dat een vooroeversuppletie in eerste instantie werkt als een vertragingsszone v.w.b. golf gedreven kustlangs transport waardoor de kust zich zeewaarts kan uitbreiden. Vervolgens kan een deel van het gesuppleerde sediment uitgesmeerd worden over een groter deel van de kust. Al met al verloopt de aanvoer indirect, maar wel is sprake van een langdurige, maar matige, invloed. Klaarblijkelijk vormt dat samen met een hoog percentage aan dynamisch duinbeheer een combinatie die de ontwikkeling van dynamische responstypes tenminste niet verhindert en mogelijk bevordert.

5.5 Conclusie

Ten aanzien van de bepalende factoren voor de ontwikkeling van de duinen kunnen belangrijke conclusies worden getrokken. Wel spelen er veel factoren een mogelijke rol in de ontwikkeling van de duinen en kan het uitgevoerde onderzoek daarom niet eenduidig vaststellen welke waar in welke mate bepalend zijn.

Het duinbeheer is op veel plaatsen langs de Nederlandse kust aanzienlijk meer gericht geraakt op het staken van zeereeponderhoud, zodat de kustduinen dynamischer kunnen worden.

Actief zeereeponderhoud, vastleggingsbeheer en incidenteel zeereeponderhoud beslaan in 2017 op de meeste plaatsen 38% of minder van de kusttraaien. In drie gevallen liggen de percentages voor dit soort beheer hoger (Wadden, niet suppleren: 61%; Hollandse kust, gecombineerde vooroever- en strandsuppleties: 50% en Zuidwestelijke Delta: strandsuppleties: 55%). In deze drie gevallen daalt het percentage van duinresponstype 4 en 5; in de andere gevallen stijgt zij. Het lijkt daarmee aannemelijk dat een dynamisch beheer inderdaad ook leidt tot meer zeereepdynamiek.

De zeereep is dynamischer geworden over de periode 2008-2017. De dynamiek is langs de Waddenkust en Hollandse kust hoog.

³ Behalve op West Terschelling op de kop waar de zeereep dynamiek zich zeer sterk ontwikkeld. De zeereepduinen zijn daar bijzonder hoog en het strand is niet zo breed dat zich nieuwe duinen ontwikkelen. Voor dit gebied is echter geen veiligheidsopgave en deze duinen zijn dan ook niet meegenomen in de beschouwingen.

In 2017 lag het duinresponstype 4 en 5 voor de Hollandse kust en de Waddenkust meestal tussen de 40 en 70%; voor de kusten van de Zuidwestelijke Delta lag het rond de 20%. In veel gevallen is de dynamiek over de periode toegenomen, in een aantal gevallen niet.

Voor de ontwikkeling van de zeereep is de kustoriëntatie minder belangrijk dan verwacht.

De waarneming dat voor de hele Nederlandse kust geldt dat in de eerste periode 2008-2013 meer sprake is van suppleties en van sterkere veranderingen in de dynamiek dan in de tweede periode 2013-2017, maakt dit aannemelijk.

Niet suppleren gaat bij de Waddenkust meestal samen met zeer brede standen waar zich nieuwe duinen op kunnen ontwikkelen. Dat is een situatie waarin netto afname in dynamiek in de oude zeereep zal optreden. De data laten inderdaad afname van de dynamiek zien.

Voor de kusten van de Zuidwestelijke Delta en de Hollandse kust gaat niet-suppleren samen met een verschuiving richting de dynamischer responstype 4 en 5.

De hypothese is dat dit enerzijds wordt veroorzaakt door een breedte van het strand die te beperkt is voor nieuwworming van duinen, zodat de bestaande (oude) zeereep zich tot een dynamische buitenste duinenrij kan ontwikkelen. Anderzijds wordt dynamisch beheertype 3 voor meer dan 60% van de raaien toegepast en boven dat percentage treedt langs alle kusten een groei van dynamisch responstype 4 en 5 op.

Vooroeversuppleties en gecombineerde vooroever- en strandsuppleties gaan vaak samen met een vergroting van het vaak al initieel hoge percentage van duin responstype 4 en 5.

Deze types suppleties kunnen samengaan met (ontwikkeling van) een hoog percentage van duinresponstype 4 en 5, zeker als dat samengaat met een hoog percentage dynamisch duinbeheertype 3. Klaarblijkelijk levert dit randvoorwaarden die de ontwikkeling van dynamische responstypes tenminste niet verhindert en mogelijk bevordert.

Strandsuppleties in de Zuidwestelijke Delta gaan samen met een afname in dynamiek.

Hiervoor zijn twee verklaringen aan te wijzen: doordat strandsuppleties tegen de duinvoet aanliggen zal de zandaanvoer naar de duinen sterk zijn. Dit stimuleert helmontwikkeling en vastlegging van het zand. Dit wordt nog verder versterkt omdat het gevoerde beheer overwegend is ingesteld op zeereeponderhoud.

6 Inzoomen op kustdelen: Schoorl en Schouwen

6.1 Inleiding

De voorgaande hoofdstukken gingen vooral over de invloed van suppleties en duinbeheer op duindynamiek voor de ontwikkeling van de kust van heel Nederland en grote gedeelten zoals de Waddenkust, de Hollandse kust en de Zuidwestelijke Delta. Om een beter begrip te krijgen in hoeverre duinvolumes en doorstuiving beïnvloed worden door suppleties zijn twee heel verschillende kusten onder de loep genomen: Schoorl en Schouwen. Bij de eerste werd na 1990 gesuppleerd en daarvoor niet, waardoor het mogelijk is om de invloed van suppleties te beoordelen op basis van de vergelijking van de twee perioden 1965-1990 en 1990-2016. Bij Schouwen werd besloten om na de suppletie van 2012 geen suppletie uit te voeren in 2016, waarna de zeereep op een tweetal plaatsen gekerfd werd (naast al aanwezige kerven).

Dit hoofdstuk gaat aan de hand van de ontwikkelingen van de kust van Schoorl en Schouwen in op **Deelvraag 2** *“Hoe wordt de sedimenthuishouding van de zeereep en het direct er achterliggende gebied beïnvloed door het zandaanbod vanaf het strand?”*

De onderliggende **hypothese 2** is: *Zandaanbod vanaf het strand draagt bij aan het zandbudget dat boven 3 meter NAP de zeereep in en door getransporteerd kan worden; e.e.a. afhankelijk van het beheer van de zeereep.*

6.2 Schoorl 1965-2016

6.2.1 Twee periodes vergeleken

Er is voor Schoorl een analyse gemaakt van de zandbudgetten van vooroever, intergetijdengebied en duin voor het gebied tussen RSP 53.00 en 28.00 (Heemskerk-Schoorl), op basis van data aangeleverd door Deltares. In dit gebied liggen enkele kustdelen die nog nooit gesuppleerd zijn, enkele delen die éénmaal gesuppleerd zijn (op strand of vooroever), en delen die diverse malen gesuppleerd zijn, meestal op strand en vooroever. In het gebied liggen twee kustdorpen, Egmond bij RSP 38.50-37.25 en Bergen aan zee bij RSP 33.50-32.75, waar extreem vaak gesuppleerd is. De zeereep in dit gebied is divers, plaatselijk zeer dynamisch, met kerfontwikkeling, plaatselijk vrij statisch, met weinig veranderingen.

Voor de analyse zijn de gegevens opgedeeld in twee periodes. 1965-1990 is de periode dat nog geheel niet gesuppleerd werd. Dit beschouwen we als de periode waar de volumeontwikkeling nog geheel door autonome processen werd gestuurd. Het intensieve zeereepbeheer dat in die tijd plaatsvond beschouwen we als onderdeel van de autonome processen. In 1990 is gestart met suppleren, hoewel er in verschillende delen van het gebied pas in 1992, 1997 of zelfs 2005 mee werd gestart. De periode 1990-2016 beschouwen we als het suppletietijdperk, waarbij in een groot deel van het gebied de volumeontwikkelingen mogelijk gestuurd zijn door suppleties.

6.2.2 Resultaten

In tabel 6.1 wordt de aanzanding van de diverse raaien weergegeven. In verschillende raaien zandt de zeereep aan, d.w.z. neemt het volume boven 3m NAP toe, vaak al vanaf 1965 (Figuur 6.1 & 6.2). Deze vroege aanzanding kan geen effect van suppleren zijn, want de eerste suppleties in het gebied vinden pas in 1990 plaats, in veel delen zelfs pas in 1992, 1996-1997 of 2005. Er is wel een tweedeling zichtbaar in het gebied. In het gebied tussen RSP 53-41 zandt de zeereep soms fors aan, met als enige uitzondering raai 48.00, waar juist een negatieve trend zichtbaar is in het duinvolume (Figuur 6.1). Deze trend lijkt te keren enkele jaren na de eerste suppletie in 2005. Opvallend is dat m.u.v. 53-51, waar nooit gesuppleerd is, de

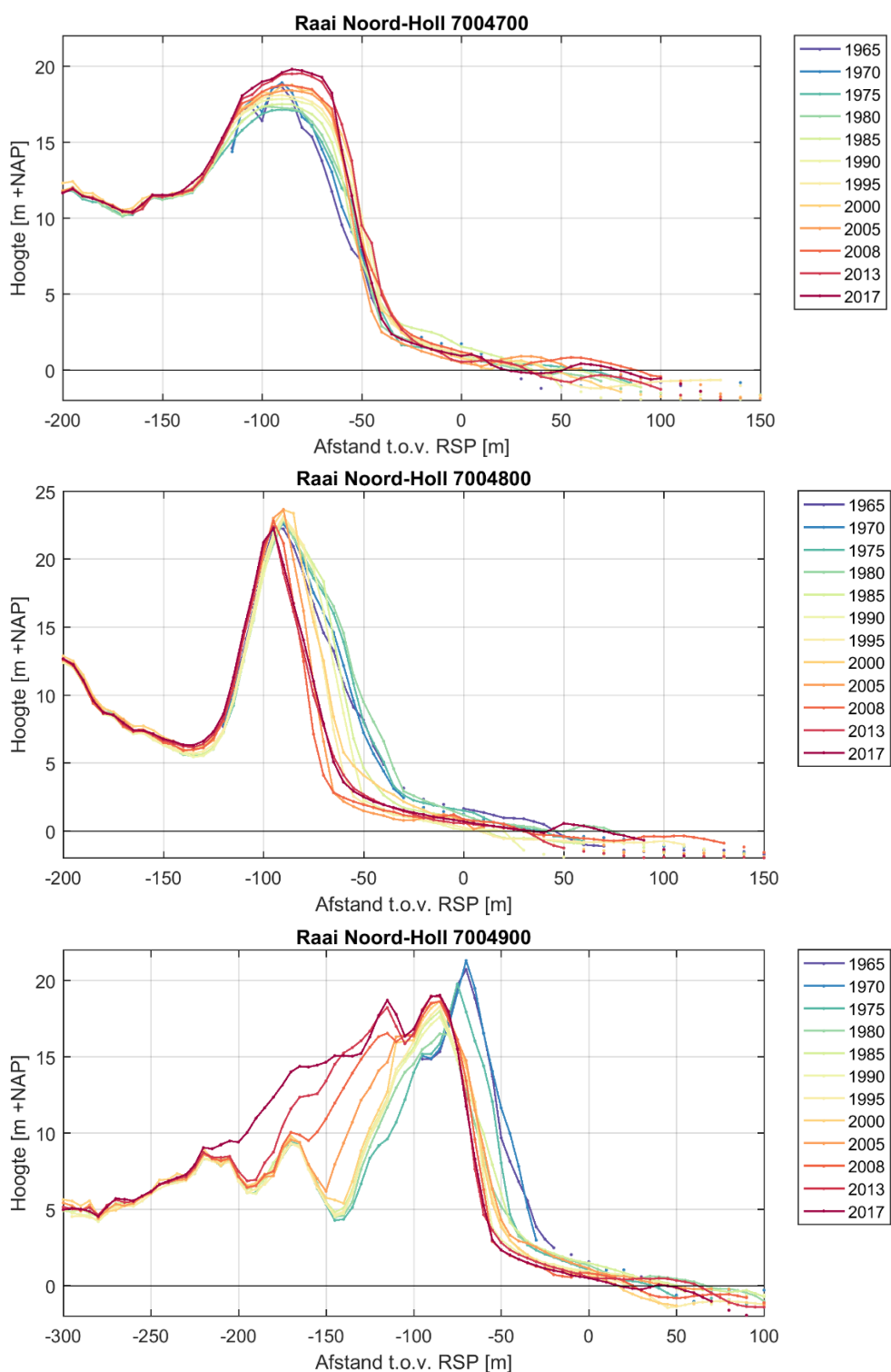
aanzanding van de zeereep bijna overal gepaard gaat met een afname van het volume op de vooroever. De aanzanding van de intergetijdezone is overwegend nihil of positief.

Tussen 40.25-28 is er vaak sprake van een trendbreuk na 1990 met aanvankelijk een periode met stabiele of eroderende zeereep, gevolgd door een periode met een aanzandende zeereep. Het volume van de vooroever neemt hier vanaf 1990 ook vaak toe, of blijft gelijk, waarschijnlijk het gevolg van veelvuldig suppleren. Toch zijn ook hier, in het gesuppleerde gebied, transecten waar het duinvolume vanaf 1965 gestaag toeneemt, zoals 39.00 en 30.25 (Figuur 6.2). Waarschijnlijk wordt dit gedreven door processen op de vooroever, waarbij zand van de vooroever wordt onttrokken en in het duin terecht komt.

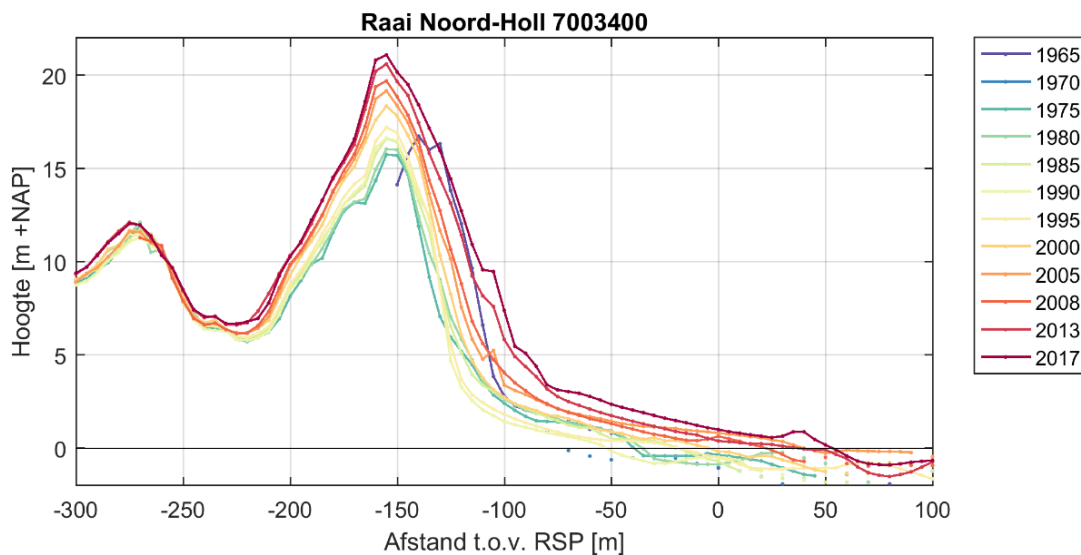
Het gebied tussen 51-53 is het enige deel waar de trend in aanzanding tussen 1965-1990 en tussen 1990-2016 sterk positief is. Voor 44.75-44.25 is opvallend dat hier de trend in aanzanding tussen 1965-1990 groter is dan tussen 1990-2016; verder is de trend van 1965-1990 overal lager.

Voor het gehele gebied is tussen 1965-1990 de gemiddelde trend in aanzanding van vooroever, intergetijdegebied en duin samen licht negatief ($-0,1 \text{ m}^3/\text{m.jaar}$), grotendeels door een negatieve trend op de vooroever ($-2,2 \text{ m}^3/\text{m.jaar}$). De trend op het intergetijdegebied is $0,3$, in het duin $0,9$ ($\text{m}^3/\text{m.jaar}$). Als de trend op het intergetijdegebied 0 is, betekent het dat dit gebied als doorgeefluik fungeert. Netto wordt er dus meer aan de vooroever onttrokken dan in het duin terecht komt.

Over het tijdvak 1990-2016 berekend is het beeld totaal anders. De netto trend is nu fors positief, met $13,4 \text{ m}^3/\text{m.jaar}$. Zowel vooroever, als intergetijdegebied als duin hebben nu een positieve trend, van resp. $6,0$, $1,5$ en $5,9 \text{ m}^3/\text{m.jaar}$. De gemiddeld positieve trend komt neer op 333.000 m^3 over 25 km kust, en dat gedurende 26 jaar. Dat komt neer op een totale hoeveelheid van ruwweg $8.700.000 \text{ m}^3$ zand. Hiervan komt bijna de helft in de duinen terecht, dus boven 3m NAP.



Figuur 6-1 Drie voorbeelden van transecten met geheel verschillende dynamiek, op korte afstand van elkaar. Boven transect 7004700 door een overstuivende zeereep, midden een profiel 7004800 dat aan de voorzijde erodeert, maar niet overstuift, onder raai 7004900 door de overstuivingslob achter een kerf.



Figuur 6-2 Sterk overstuwende zeereep ten zuiden van Bergen. De overstuwing is hier na 1990 toegenomen.

Al met al leveren de transecten tussen 28.00 en 38.00 het beste bewijs voor de verandering in aanzanding door suppleren. We zien hier vaak een relatie tussen het volume in het duin enerzijds en die op vooroever en intergetijdegebied anderzijds, welke verandert vanaf het moment dat gesuppleerd wordt. Eerst is de relatie negatief, dus volume van intergetijdegebied en vooroever neemt af wanneer het duinvolume toeneemt, daarna is de relatie positief: alle volumes nemen toe. Voordat er gesuppleerd werd ging de aanzanding richting duin dus ten koste van intergetijdegebied en vooroever, na suppleren niet meer. Het is daarmee aannemelijk dat het voeden van strand en vooroever met suppleties ook de aanzanding in de duinen stimuleert. Wanneer de twee periodes 1965-1990 en 1990-2016 worden beschouwd, dan neemt de aanzanding van het duinvolume in het gesuppleerde gebied toe van -1,0 naar 5,6 m³/m.jaar, van de vooroever van -3,0 naar 6,8 m³/m.jaar en van het intergetijdegebied van 0,4 naar 1,7 m³/m.jaar. Voor het niet gesuppleerde deel zien we juist een afname van de aanzanding van het duin, en een kleine toename in het intergetijdegebied en op de vooroever.

Ook in andere niet-gesuppleerde transecten zou er een invloed van suppleties merkbaar kunnen zijn. Voor km 52-53 is deze invloed onwaarschijnlijk, omdat deze transecten direct ten noorden van de pier van IJmuiden liggen. In de periode 1990-2016 is de aanzanding hier ook gemiddeld lager dan over de periode 1965-1990. Maar voor de overige niet-gesuppleerde transecten neemt de aanzanding over de periode 1990-2016 inderdaad licht toe.

transect RSP	1965-2016				1965-1990				Type dynamiek	
	duin	interge- tijde	voor- oever	Som	duin	interge- tijde	voor- oever	som	1996	2018
53	11,1	2,7	9,4	23,2	13,2	1,2	9,4	23,8	weinig dynamiek	weinig dynamiek
52	12,0	0,3	11,4	23,6	13,5	0,1	10,9	24,5	weinig dynamiek	weinig dynamiek
51	4,5	1,1	4,7	10,3	2,3	1,1	-1,2	2,2	aanstuwend	overgang naar gekerfd
50	0,5	0,1	-2,3	-1,7	-1,5	0,4	-3,1	-4,2	aanstuwend	zwaar gekerfd
49,25	-5,5	0,1	-2,9	-8,4	-7,6	1,8	-4,5	-10,3	Weinig dynamiek	overstoven
49	4,3	1,1	-0,6	4,9	-6,8	2,7	-3,4	-7,6	weinig dynamiek	in grote kerf
48,25	-2,8	0,7	-3,5	-5,5	-1,5	0,4	-3,1	-4,2	Weinig dynamiek	Licht overstoven
48	-5,1	-0,1	-3,3	-8,5	-2,6	-1,1	-5,9	-9,6	beginnende ker- ving	gekerfd
47,5	1,4	-0,5	-5,8	-4,8	0,5	-0,5	-6,5	-6,5	Weinig dynamiek	Weinig dynamiek

47	3,9	0,2	-4,0	0,1	4,3	1,2	-5,7	-0,2	weinig dynamiek	weinig dynamiek
46,5	7,3	-0,2	-3,1	4,1	10,2	-0,2	-2,3	7,7	Weinig dynamiek	Licht overstoven
46	8,5	0,1	-1,3	7,3	7,8	-0,1	-5,7	2,1	overstoven	stuifkuilen
45,75	4,6	-0,3	-2,5	1,9	2,1	-1,8	-4,2	-4,0	overstoven	overstoven
45,5	8,0	0,8	-2,6	6,2	5,5	-0,8	-1,0	3,7	overstoven	kleine stuifkuiltjes
45,25	5,5	1,0	-3,0	3,5	0,8	0,4	0,7	1,9	overstoven	overstoven
45	6,4	1,2	0,2	7,8	5,5	1,6	1,4	8,5	overstoven	overstoven
44,75	3,3	1,4	-2,6	2,2	5,0	1,7	2,6	9,3	weinig dynamiek	weinig dynamiek
44,5	6,9	-0,3	-3,2	3,4	10,9	-0,5	-0,7	9,7	weinig dynamiek	weinig dynamiek
44,25	6,0	-0,2	-3,1	2,6	9,0	0,1	-0,4	8,7	weinig dynamiek	licht overstoven
44	4,1	-0,6	-3,3	0,3	0,5	-1,7	-8,0	-9,2	weinig dynamiek	licht overstoven
43	2,1	-0,1	-4,4	-2,3	2,1	-0,5	-2,8	-1,2	weinig dynamiek, stuifschermen	licht overstoven
42	8,8	0,7	-0,9	8,6	9,9	-0,1	-5,0	4,7	weinig dynamiek, stuifschermen	weinig dynamiek
41,75	8,4	0,8	-2,8	6,4	11,2	-0,2	-3,5	7,4		
41	5,1	-0,2	-1,1	3,8	7,1	1,6	-0,5	8,1	weinig dynamiek	weinig dynamiek
40,25	0,1	0,3	-3,0	-2,6	-5,3	0,7	-1,3	-5,8	weinig dynamiek	weinig dynamiek
40	2,1	1,2	2,6	5,9	-2,5	0,0	-0,7	-3,2	weinig dynamiek	weinig dynamiek
39	4,5	1,4	-0,7	5,3	4,1	1,8	-3,8	2,1	weinig dynamiek	weinig dynamiek
38 Egmond	3,1	1,1	3,4	7,6	-1,3	0,6	-3,1	-3,8	weinig dynamiek	weinig dynamiek
37	1,7	1,8	4,4	8,0	-1,1	-0,7	-2,3	-4,2	overstoven	overstoven
36	1,5	1,7	1,9	5,1	-4,0	0,8	-2,5	-5,7	overstoven	overstoven
35,75	-6,3	2,5	4,9	1,0	-2,2	2,0	2,8	2,6	dichtgezette stuifkuil	grote stuifkuil
35	-2,2	1,5	4,1	3,4	-7,1	-0,5	1,7	-6,0	overstoven	overstoven
34	7,7	1,7	6,8	16,2	-2,4	0,1	5,4	3,1	overstoven	overstoven
33 Bergen aan zee	-0,8	0,4	2,6	2,2	-6,0	-2,0	-5,6	-13,7	overstoven	overstoven
32	5,1	1,6	2,1	8,9	0,9	1,5	-1,3	1,0	licht overstoven	overstoven
31,25	6,9	-1,1	0,3	6,1	2,6	-0,9	-1,2	0,6	licht overstoven	overstoven
31	3,8	0,1	0,4	4,3	-2,4	0,6	-1,2	-3,0	overstoven	kleine kerfjes
30,75	5,0	2,0	0,6	7,6	-3,0	2,9	0,7	0,6	overstoven	kleine stuifkuiltjes
30,50 kerf	11,1	-7,4	-1,0	2,7	10,4	-8,4	1,2	3,2	overstoven	kerf
30,25	6,7	1,5	-2,3	5,8	4,6	2,1	-1,1	5,6	licht overstoven	licht overstoven
30	3,9	1,5	-3,1	2,3	-1,7	0,6	-4,1	-5,2	licht overstoven	licht overstoven
29	3,9	0,2	1,0	5,0	0,4	0,5	-5,4	-4,5	weinig dynamiek	weinig dynamiek
28	-6,7	2,7	10,4	6,3	-6,7	0,7	-8,0	-14,0	kerf	kerf
27	-1,7	1,3	8,0	7,5	-1,0	-1,3	-8,6	-11,0	weinig dynamiek	overstoven

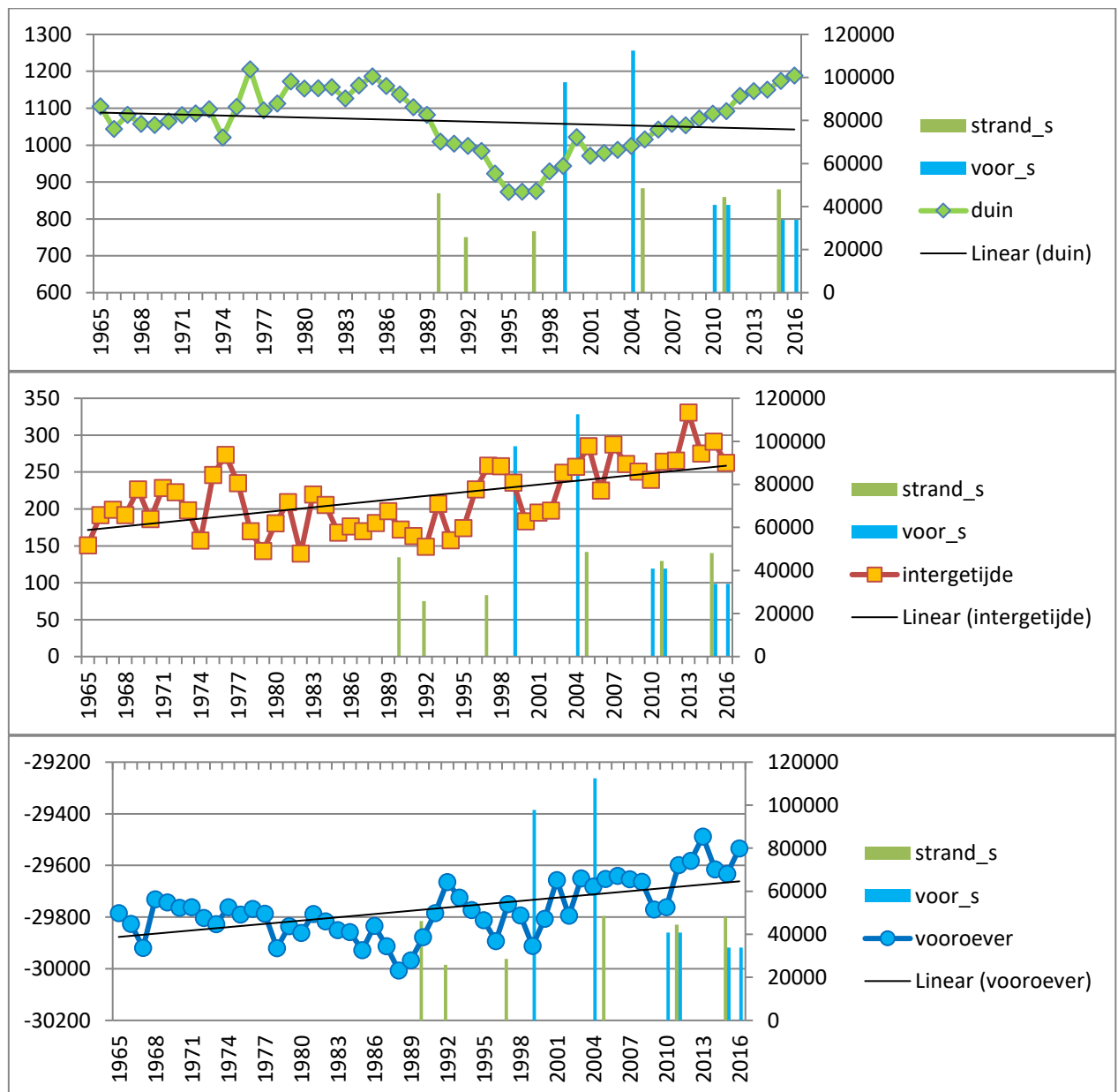
Tabel 6.1: ontwikkeling volumina per RSP raai voor de verschillende tijdvakken: groene vakken = gesuppleerd in de periode na 1990; rode vakken = veel gesuppleerd in de periode na 1990.

	1965-1990				1990-2016				
	duin	interge- tijde	Voor- oever	totaal	duin	interge- tijde	vooroe- ver	totaal	
gemiddeld	0,9	0,3	-2,2	-1,0	5,9	1,5	6,0	13,4	m ³ /m.jaar
totaal voor 25km				-24				334	m ³ /jaar
totaal gehele periode				-625.000				8.680.000	m ³
niet gesuppleerd	7,7	0,1	0,7	8,5	6,7	0,8	3,1	10,6	m ³ /m.jaar
wel gesuppleerd	-1,0	0,4	-3,0	-3,7	5,6	1,7	6,8	14,1	m ³ /m.jaar
niet gesuppleerd 52-53	13,3	0,7	10,2	24,2	9,8	2,3	10,6	22,7	m ³ /m.jaar
niet gesuppleerd overige	4,9	-0,2	-4,1	0,6	5,1	0,1	-0,7	4,6	m ³ /m.jaar

Tabel 6.2 Gemiddelden, op basis van de hele km raaien.

In tabel 6.2 is de gemiddelde erosie en sedimentatie berekend over het tijdvak 1965-2016 en de deeltijdvakken 1965-1990 en 1990-2016. De trendberekeningen daarvoor zijn gemaakt door het gemiddelde over de eerste 5 jaar af te trekken van het gemiddelde over de laatste 5 jaar (Figuur 6.3). Daartoe zijn alleen de transecten in de berekeningen meegenomen, wat de berekening van de volumina minder nauwkeurig maakt. Sowieso geeft het gebruik van transecten minder nauwkeurige resultaten dan wanneer de berekeningen waren uitgevoerd met vlakdekende informatie. Hoe staan deze getallen in verhouding tot de totale hoeveelheid die gesuppleerd is? In totaal is het volume met ca 8,7 miljoen m³ toegenomen over de periode 1990-2016. Alle suppleties over km 27 t/m 53 bij elkaar opgeteld komen uit op 9,8 miljoen m³ gesuppleerd op het strand en 15,3 miljoen m³ op de vooroever. Daarvan zou dan ruwweg 2/3 verdwijnen naar dieper water of door langstransport. Van wat er blijft liggen komt ca. 44% in de duinen terecht. Dit is overeenkomstig eerdere berekeningen (Arens et al., 2010).

Verder valt in tabel 6.2 op dat het wel gesuppleerde gedeelte (geel in eerste kolom) sterker toeneemt in totaalvolume dan het niet gesuppleerde (rood in eerste kolom), maar dat de duinen daar minder sterk toenemen in volume dan de niet-gesuppleerde kusten. Als echter de afwijkende raaien 52 en 53 buiten beschouwing worden gelaten dan valt het sedimentbudget voor niet- gesuppleerde kusten veel lager uit (onderste regel tabel 6.2).

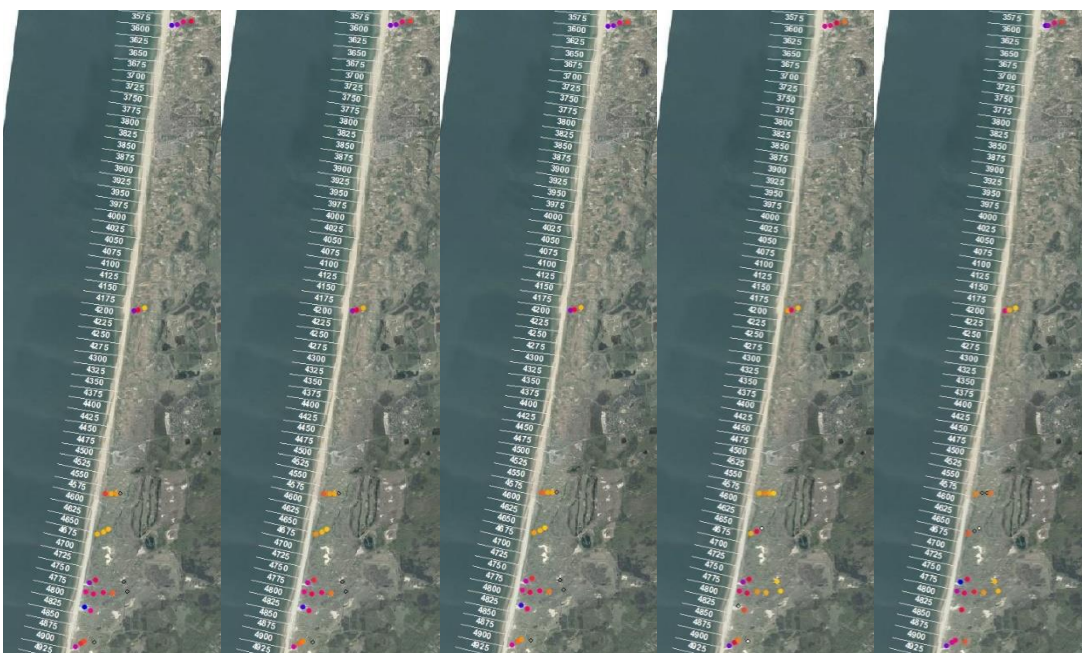


Figuur 6-3 Voorbeeld voor transect 37.00 van volumeontwikkeling in het duin (boven), intergetijdegebied (midden) en op de vooroever (onder).

6.2.3 Effecten achter de zeereep

Voor het achter de zeereep liggende gebied betekent een groter zandaanbod voor de zeereep, dat ook meer zand beschikbaar is voor doorstuiven. Of dit inderdaad gebeurt hangt echter van de dynamiek van de zeereep af. In dit gebied zijn er grote verschillen tussen zeerepen waar het binnenkomende zand vooral aan de voorkant wordt afgezet en sterk gekerfde zeerepen, waar het zand ver naar binnen kan doorstuiven. Het grotere zandaanbod is gerelateerd aan suppleties. Het is waarschijnlijk dat dit zand zelf ook daadwerkelijk van suppleties afkomstig is, zeker als het strandsuppleties betreft. Voor vooroeversuppleties valt echter niet met zekerheid te zeggen dat het zand wat gesuppleerd wordt ook in de duinen terecht komt, of dat er onderwater een uitwisseling plaatsvindt met al aanwezig zand. Dit zou wellicht mineralogisch onderzocht kunnen worden.

Omdat het zandbudget van de zeereep vrijwel overal positief is sinds er gesuppleerd wordt, is het waarschijnlijk dat een groot deel van het zand wat naar binnen stuift ook gerelateerd is (of zelfs afkomstig is) uit suppleties. Voorheen, voor de start van suppleren, waren er ook gebieden waar zand via kerven en stuifkuilen naar binnen kon stuiven, maar dit was dan vaak zand wat uit de zeereep zelf afkomstig was. Sinds er gesuppleerd wordt zal de doorstuiving vooral afkomstig zijn van het nieuwe zand wat in de zeereep is opgeslagen, of mogelijk direct vanaf het strand de duinen ingeblazen wordt. Via kerven zou sowieso strandzand naar binnen geblazen kunnen worden. Er zijn aanwijzingen (Ruessink et al., 2018) dat via kerven meer zand naar binnen stuift dan voor een omgekeerde zeereep. Op die manier zouden kerven dus bij kunnen dragen aan een versterkte doorvoer van zand richting duinen. Dit zou voor dit gebied verder uitgezocht kunnen worden (zie 6.2.4).



Figuur 6-4 Resultaten zandvangers. Van blauw via paars, rood, oranje naar geel zijn afnemende hoeveelheden gegeven. De figuren laten zien dat er een consistent patroon aanwezig is op plaatsen met een hoge dynamiek in de zeereep van zandtransport dat vele honderden meters landinwaarts gaat.

Het effect van dynamiek in de zeereep op het landwaartse transport is bekend. In Figuur 6.4 zijn enkele voorbeelden gegeven van metingen met zandvangers achter de zeereep en verder landwaarts. In het middendeel is de dynamiek gering en de overstuiving achter de zeereep beperkt. Aan de noord- en zuidkant, waar kerven en stuifkuilen liggen, is de dynamiek groot en is de overstuiving achter de zeereep ook groot. Dit patroon is consistent, en aangetoond middels een lange meetreeks.

6.2.4 Verandering flora Camperduin en Egmond o.i.v. zandsuppleties. (Bijdrage Cor ten Haaf)

Vanaf ongeveer 1990 vinden er langs de Noord-Hollandse kust regelmatig zandsuppleties plaats. De indruk bestaat dat sinds die tijd de flora en vegetatie van de zeedünen veranderd is o.i.v. instuivend kalkhoudend zand dat afkomstig is van strand(-suppleties). Verondersteld wordt dat Bitterkruid, Zwenkdravik, Kandelaartje, Scherpe fijnstraal en veel andere soorten die kenmerkend zijn voor kalkrijke omstandigheden zich gevestigd hebben of toegenomen zijn. Dit effect zal sterker zijn in het kalkarme Waddendistrict (ten noorden van Bergen aan Zee) dan in het Renodunale district (ten zuiden van Bergen aan zee).

Een gericht onderzoek naar dit effect van zandsuppleties is tot nu toe beperkt uitgevoerd en wijst al in de richting dat er inderdaad kalkrijk zand inwaait dat leidt tot kalkrijke grijze duinen H2130A, maar werd betwijfeld of suppleties een belangrijke invloed hebben (Jaspers & Bucoylc, 2016). Door gericht te kijken daar waar suppleties aanwezig zijn en doorwaaiing optreedt kan een zinvolle verdieping worden verkregen door nulmetingen te vergelijken met de suppleties en inwaaiing. Om een indruk te krijgen van de veranderingen in beide districten is de het traject Camperduin-Egmond een goede keuze. Het Schoorlse duingebied leent zich hier bij uitstek voor doordat het kalkgehalte hier lager is dan waar dan ook in de vastelandsduinen.

Daarbij zijn de volgende vragen relevant:

- Welke nieuwe soorten (en vegetaties) hebben zich sinds 1990 gevestigd?
- Welke bedekking hebben deze soorten?
- Tot hoe ver landinwaarts komen deze soorten voor?
- Zijn er door deze ontwikkeling kenmerkende soorten (en vegetaties) verdwenen of achteruit gegaan?

Nulmeting

Om deze vragen te beantwoorden is een nulmeting vereist bij voorkeur van voor 1990, of in ieder geval kort daarna. Hieronder zetten we alle onderzoeken die bruikbaar zijn op een rij:

- *Provinciale Natuur Informatie (PNI)*

In 1979 is in dit kader in een groot deel van het gebied (Schoorlse duinen en Wimmenumerduinen) een terrein dekkende inventarisatie en soortenkartering uitgevoerd. De soortenkartering is weinig gedetailleerd. In 1986 zijn deze gebieden opnieuw onderzocht, maar daarbij zijn alleen de valleien meegenomen. De zeereep en droge duinen zijn toen niet meer geïnventariseerd.

- *Vegetatiekartering Hollands-Noorden 1993-1994*

In dit kader werd een vegetatiekartering uitgevoerd in de Schoorlse duinen. Een soortenkartering maakte geen deel uit van dit onderzoek, maar er werden wel circa 30 vegetatie-opnamen gemaakt in de zeereep en het gebied direct daarachter. De coördinaten van de opnamen zijn niet bekend, maar de ligging is wel op kaart aangegeven.

- *Onderzoek flora en vegetatie in de Kerf*

In de periode 1998-2002 werd jaarlijks een flora- en vegetatiekartering uitgevoerd in de Kerf en omgeving. Soorten die relevant zijn in het kader van deze vraag werden gedetailleerd gekarteerd. Dit was weliswaar na de eerste zandsuppleties, maar nog voor er verstrekende gevolgen waren opgetreden. Bij dit onderzoek werd al vastgesteld dat een aantal soorten die kenmerkend zijn voor kalkrijke omstandigheden zich vestigden en uitbreiden in oostelijke richting.

- *Vegetatiekartering Noordhollands Duinreservaat 1982-1989*

Bij deze vegetatiekartering werden geen soorten gekarteerd, maar wel werden er circa 4000 vegetatie-opnamen gemaakt (in het hele NHD), waarvan de coördinaten bekend zijn.

- *Flora- en vegetatieonderzoek Wimmenumerduinen 1993*

Bij dit onderzoek werd een gedetailleerde vegetatie- en soortenkartering uitgevoerd in de Wimmenumerduinen.

Vervolgonderzoek

Om een goed beeld te krijgen van de veranderingen, die hebben plaatsgevonden in flora en vegetaties o.i.v. zandsuppleties is het mogelijk om (delen van) onderzoeken opnieuw uit te voeren, maar ook kan wellicht gebruik worden gemaakt van onderzoeken die na 2010 zijn uitgevoerd, of die binnenkort zullen worden uitgevoerd. We zetten een aantal mogelijkheden op een rij:

- *Pilot soortenkartering PWN*

Het PWN is van plan de komende jaren een terrein dekkende soortenkartering in het Noordhollands Duinreservaat uit te voeren. De PWN is ook geïnteresseerd in de effecten van zandsuppleties en waarschijnlijk bereid de Pilot voor dit onderzoek uit te voeren in de Wimmenerduinen en mogelijk ook het gebied te noorden daarvan. Overleg met de PWN is in dit verband van belang.

- *Vegetatiemeetnet PWN*

Vanaf 2010 worden in het NHD een groot aantal permanente kwadraten opgenomen, die samen een representatief beeld geven van flora en vegetatie in het gebied. Deze gegevens kunnen op statistisch verantwoorde wijze vergeleken worden met de opnamen van de vegetatiekartering uit 1993-1994.

Deze bewerking kan worden uitgevoerd in samenwerking met PWN.

- *Vegetatie- en soortenkartering Schoorlse Duinen 2020*

Komend jaar zal er in de Schoorlse duinen een vegetatie en soortenkartering worden uitgevoerd. Hierbij zullen o.a. SNL-soorten en Rode lijstsoorten gekarteerd worden. Overleg met Staatsbosbeheer is in dit verband van belang.

- *Vegetatiekartering Schoorlse Duinen in 2011*

In dit kader werd een vegetatiekartering uitgevoerd in de Schoorlse duinen. Een soortenkartering maakte geen deel uit van dit onderzoek, maar er werden vele tientallen vegetatie-opnamen gemaakt in de zeereep en het gebied direct daarachter. De coördinaten van de opnamen zijn bekend.

- *Zwakke schakels, onderzoek flora en vegetatie 2014-2018*

Bij dit onderzoek werd in de Schoorlse Duinen een vegetatiekartering en soortenkartering in 4 raaien uitgevoerd. De raaien, die een breedte hebben van 125 meter, lopen vanaf de zeereep enkele honderden meters landinwaarts. Er zijn ook vegetatie-opnamen binnen de raaien gemaakt, waarvan de coördinaten bekend zijn.

Voorstel voor nader onderzoek

Er zijn verschillende mogelijkheden om de veranderingen in flora en vegetatie o.i.v. zandsuppleties in beeld te brengen:

- *Herhalen PNI onderzoek*

Het is mogelijk om de flora-inventarisatie en kartering uit 1979 te herhalen. Daarmee kan voor een groot deel van het onderzoeksgebied de situatie van voor de suppleties vergeleken worden met de huidige. Pluspunt is dat de looproutes van toen bekend zijn en dat de kartering dus vrij snel herhaald kan worden. Minpunt is dat de kartering nogal 'grof' is en dat niet helemaal duidelijk is hoe goed de kwaliteit was in dit eerste jaar van het PNI-onderzoek. Latere karteringen (Kerf en Zwakke Schakels) kunnen ook gebruikt worden bij vergelijking met de nulsituatie. Dit levert dan informatie voor een deel van het terrein op.

- *Herhalen en combineren PWN-onderzoeken*

Het herhalen en combineren van soortenkarteringen en vegetatie-opnamen in het Noordhollands Duinreservaat kan waarschijnlijk veel informatie opleveren voor de zuidelijk helft van het onderzoeksgebied. Uitvoering in samenwerking en overleg met het PWN.

- *Analyseren en vergelijken vegetatiekarteringen Schoorlse Duinen*

De karteringen en vegetatie-opnamen uit 1993 en 2011 kunnen met elkaar vergeleken worden. Ook al liggen de opnamen niet op dezelfde plaats, ze geven waarschijnlijk wel een representatief beeld van beide perioden.

- *Gebruik maken van de nieuwe vegetatiekartering Schoorlse duinen*

Het is heel belangrijk om aan te haken bij de nog uit te voeren kartering die komend jaar wordt uitgevoerd in de Schoorlse Duinen. Het zou heel effectief zijn om de soorten die in het kader van dit onderzoek relevant zijn mee te nemen. Een deel van deze soorten behoort overigens al tot de SNL- of Rode lijstsoorten. Tijdig overleg met Staatsbosbeheer District Noord-Holland Noord is wenselijk. Het onderzoek kan worden gebruikt voor vergelijking met de PNI-gegevens en andere karteringen.

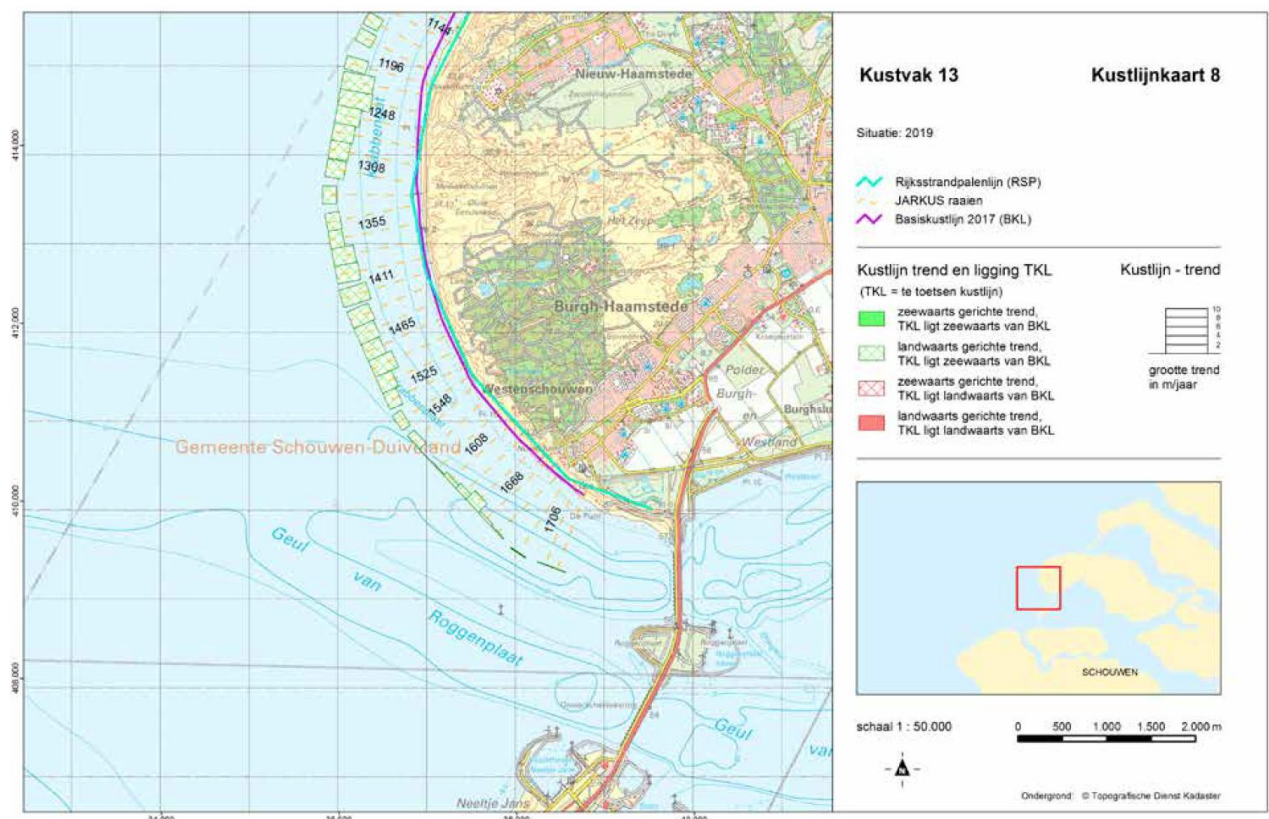
6.3 Schouwen 2013-2019

6.3.1 Algemeen

Langs de kust van Schouwen ter hoogte van de Meeuwenduinen (raai 248-1425; fig. 6.5) is er voor gekozen om eenmalig, ter hoogte van de noordelijke Meeuwenduinen, een suppletie **niet** uit te voeren. Het gaat hier om een volume van 0.4 Mm³. Hieronder volgt een kort overzicht van de verwachte ontwikkelingen in 2013 (6.3.2; Reijnders et al., 2013) en een bespreking van de ontwikkelingen tot 2018 in 6.3.3.

6.3.2 Verwachtingen in 2013 over de effecten van de ingreep

Reijnders et al. (2013) hebben een verkennende studie uitgevoerd die meer duidelijkheid moest geven over de te verwachten veranderingen die kunnen optreden door het eenmalig niet suppleren van de kust tussen de raaien 1248-1425 (het interessegebied). De (verwachte) ontwikkeling van de volledige periode van de laatste suppletie in 2012 tot de volgende in 2020 besproken.

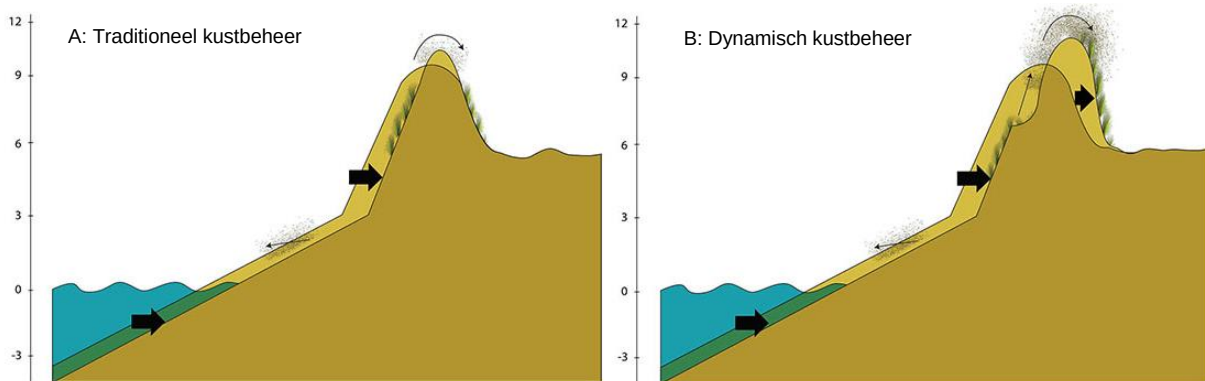


Figuur 6-5 Ligging studiegebied Schouwen (Kustlijnkaartenboek 2019). Het achteruitschrijden van de kust is zichtbaar uit de landwaartse trend van de MKL

Morfologie

Analyse van de ontwikkeling van de zeereep tussen 2000 en 2012 van raai 1375-1500 (gedeeltelijk ten zuiden van het interessegebied), leert dat er vanaf 2007 aanzienlijke winderosie in het zeereepfront optrad. Tegelijkertijd vond duinopbouw aan de top en achterzijde van de zeereep plaats. Dit is ca. 10 jaar na het stoppen van het actieve zeereepbeheer (1997). De verplaatsing van de binnenteen van het duin tussen 1997 en 2012 was op Schouwen 0,8 tot 2 m/jr (gemeten op 2 locaties). Op grond van extrapolatie werd over de periode 2012-2020 een landwaartse verplaatsing van 6-16m verwacht.

Vanaf 2007 vond erosie van de zeereep plaats, maar net zoveel sedimentatie net achter de zeereep. Er was zodoende sprake van behoud van volume en een “roll-over” effect met behoud van volume. Dit roll-over effect is het gevolg van dynamisch zeereepbeheer. Bij handhaving van dynamisch zeereepbeheer, werd verwacht dat ook dit effect in stand zou blijven en er zodoende zand aan de achterzijde van de zeereep zou sedimenteren (Reinders, et al., 2013, p. 80). De vorm van de zeereep zou hierdoor veranderen, omdat de binnenteen zich sneller zou verplaatsen dan in de periode 1997-2012 en men verwachtte dat er behoud van volume zou optreden (Figuur 6-6). Voorts werd verwacht dat de komende jaren de autonome ontwikkeling van kerven doorzet.

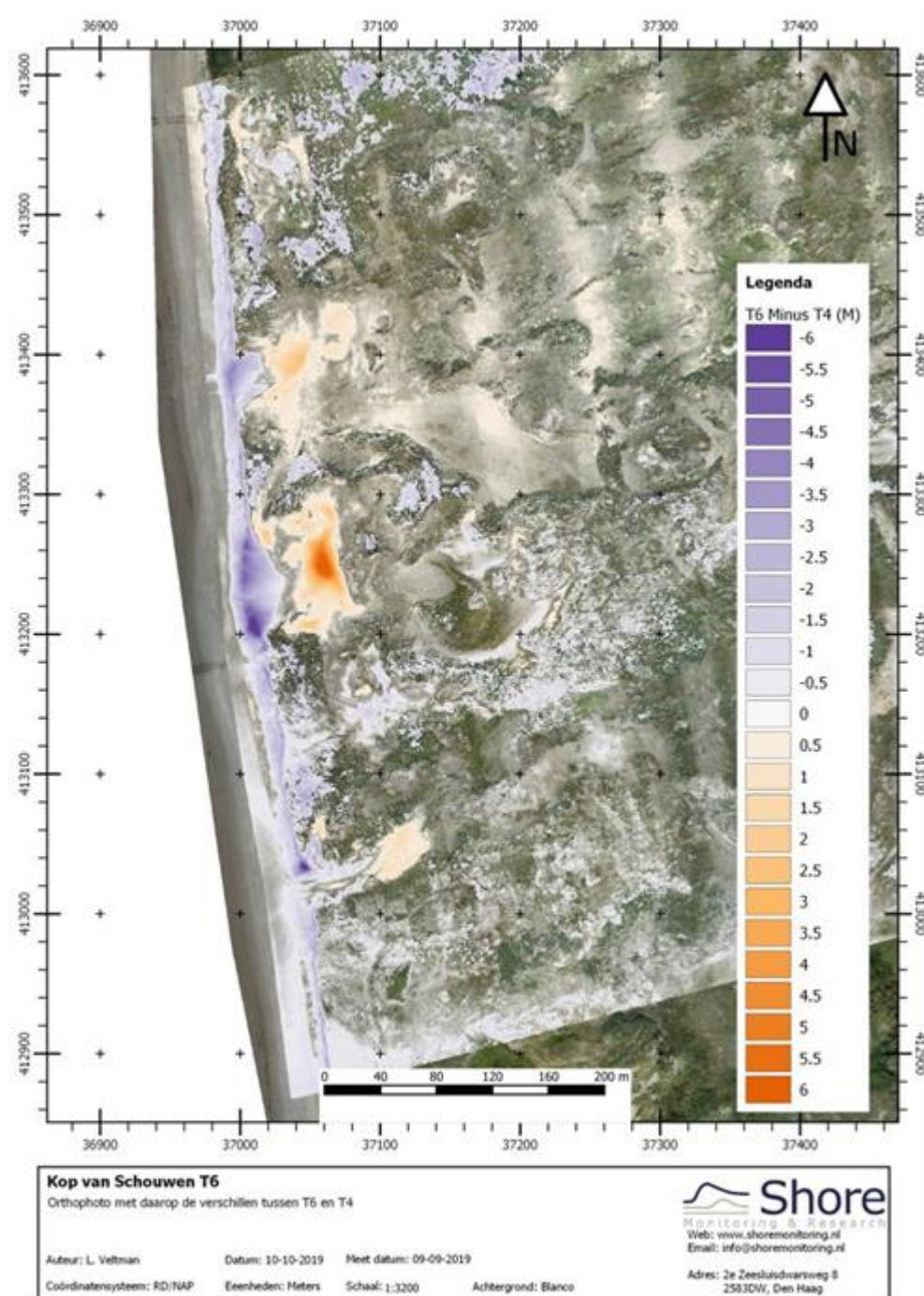


Figuur 6-6 Kustlijnverandering van een erosieve kust bij verschillende types beheer op het moment dat er eenmalig niet gesuppleerd wordt. A: Traditioneel beheer. De kust trekt terug, zand wordt ingevangen door het helm en stuift nauwelijks door. De zeereep verhoogt en versmalt, er is verlies van volume. B: dynamisch kustbeheer. De kust trekt terug, er ontstaan kerven waardoor zand doorstuift en aan de achterkant van de zeereep sedimenteert. De zeereep verplaatst in zijn geheel landwaarts, er is behoud van volume.

Op basis van de morfologische veranderingen van de afgelopen jaren werd tussen de raaien 1248-1425, bij het achterwege blijven van de suppletie in 2016, een minimale kustlijninterugtrekking van 3-30 meter en een maximale kustlijninterugtrekking van 28-64 meter verwacht.

6.3.3 Resultaten: situatie 2019

De in 2017 uitgevoerde strandsuppletie aan de zuidkant van de Meeuwenduinen is goed zichtbaar en heeft (grote) invloed op de resultaten van de pilot. In alle raaien is de verwachte erosie in 2020 (veel) minder dan verwacht op basis van de data uit 2016.



Figuur 6-7 overzicht van de hoogteveranderingen tussen T6 en T4 metingen (Shore, 2019). De bovenste twee ker-
ven zijn de in september 2017 gegraven ker-
ven; de onderste is een natuurlijk kerf. Let op de verschillen in
morphologie.

Breedte van het droge strand

De definitie voor de breedte van het droge strand is hier de afstand tussen de duinvoet en het gemiddeld hoog water. De duinvoet en de gemiddelde hoogwaterlijn zijn gedurende de pilot landwaarts verschoven, maar de breedte van het droge strand gedurende de looptijd van de pilot is maar beperkt afgenomen.

Maximale landwaartse verplaatsing duinvoet

In 2018 bleek dat de al eerder geconstateerde stabilisatie van de duinvoet doorzet. In de zuidelijke raaïen is de duinvoet zeewaarts verschoven als gevolg van de strandsuppletie.

Verplaatsing binnenduinrand

Om inzicht te krijgen in de verplaatsing van de binnenduinrand zijn meerdere jaren met gegevens benodigd. Dit is alleen het geval bij de JARKUS-raaïen. Bij de gedefinieerde tussenraaïen zijn alleen de T0/T1/T2/T3/T4/T5-metingen beschikbaar.

Kerven

In het zuidelijk deel van het projectgebied (en daarbuiten) zijn kerven aanwezig die op natuurlijke wijze zijn ontstaan. In het monitoringsprogramma worden deze kerven gemonitord. Dit geldt ook voor de (natuurlijke) kerven die zuidelijk buiten het projectgebied liggen, ter hoogte van de drinkwaterwinning. In september 2017 zijn 2 nieuwe kerven gegraven (vrijgekomen 8.200 m³ sediment) die - in combinatie met de PAS-maatregelen - moeten zorgen voor dynamiek in het pilotgebied. De aanleg van de 2 kerven in het pilotgebied heeft de dynamiek in de zeereep aanzienlijk vergroot. De ontstane hoogteverschillen tussen de T4-meting (maart 2018) en de T6-meting (september 2019) laten dit goed zien (Figuur 6.7).

Aan de strandzijde van de kerven zorgt de wind voor uitstuiving van het zand. Dit zand sedimenteert achter de binnenduinrand in de vorm van paraboolduinen. Dit proces heeft zich bij de natuurlijke kerven ten zuiden van het pilotgebied al verder ontwikkeld. In het onderzoeksrapport "Voorhoedeproject: Slimmer omgaan met zand op Schouwen", waarin Deltares (2013) voorspellingen doet over de te verwachten effecten van de pilot, werd voorspeld dat de zeereep zich als geheel landwaarts gaat verplaatsen. De ontwikkeling van de gegraven kerven en de natuurlijke kerven ondersteunen deze voorspelling.

Bij de T4/T5-meting zijn alle kerven ingemeten, zowel de kerven die op natuurlijke wijze zijn ontstaan als de kerven die in 2017 zijn gegraven. De hoogtemetingen bevestigen dat er sprake is van een "rollende zeereep". De kaart met hoogtecontouren laat tevens zien dat de minimale drempelhoogte van de kerven van 4.90 m + NAP in beide nieuwe kerven ruimschoots aanwezig is.

Trendcijfers volumina duinzand

In tabel 6.3 zijn de samengevatte cijfers van veranderingen in volumina duinzand (+3 m NAP) weergegeven. Het gehele kustvak Schouwen is onderverdeeld in vijf segmenten, georiënteerd rond het studiegebied met de raaïen 1248-1425. Voor dit specifieke studiegebied veranderen de cijfers eerst van sterk negatief naar minder negatief naar zwak positief. Dit wordt toegeschreven aan een na-ijlend effect van de duinverzwaring van 1991 plus de effecten van de later ingezette 1x4 jaar aangebrachte suppleties. Daarna veranderen ze naar negatief in de jaren 2013-2017, waar in het jaar 2016 een suppletie is overgeslagen. Het geeft aan dat de voorspelling van volumebehoud met een rollende zeereep daar niet opgaat. De zeereep rolt weliswaar naar binnen maar het volume neemt af. De andere kunstvakken tonen zonder uitzondering positieve zandaanwas. Ten zuiden van het studiegebied van de raaïen 1248-1425 heerst een opmerkelijk constant regime van aanwas van ca 4 m³/m/jaar eerst zonder en later met suppleties. Hier mag verondersteld worden dat de invloed van de nabijheid van de Oosterscheldemonding een regulerende/uitvlakkende rol speelt. In het gebied ten noorden van het studiegebied 1248-1425 spelen diverse effecten een rol. Onmiddellijk te noorden van 1248-1425 (raaïen 1248-980) is sprake van een regelmatig positieve ontwikkeling die aan het hoge kant van het aanbod bij strand-gesuppleerde kusten geldt (ca. 14 m³/m/jaar; cf. Van der Walle, 1999). Na 2013 komt er gemiddeld een lager volume in de zeereep (ca. 9m³/m/jaar) terecht, ongetwijfeld een effect van het niet-uitvoeren van de suppletie 2016. Nog verder naar het noorden (raaïen 980-529) is er sprake van een sterk afnemend volume zand wat in de zeereep terecht komt.

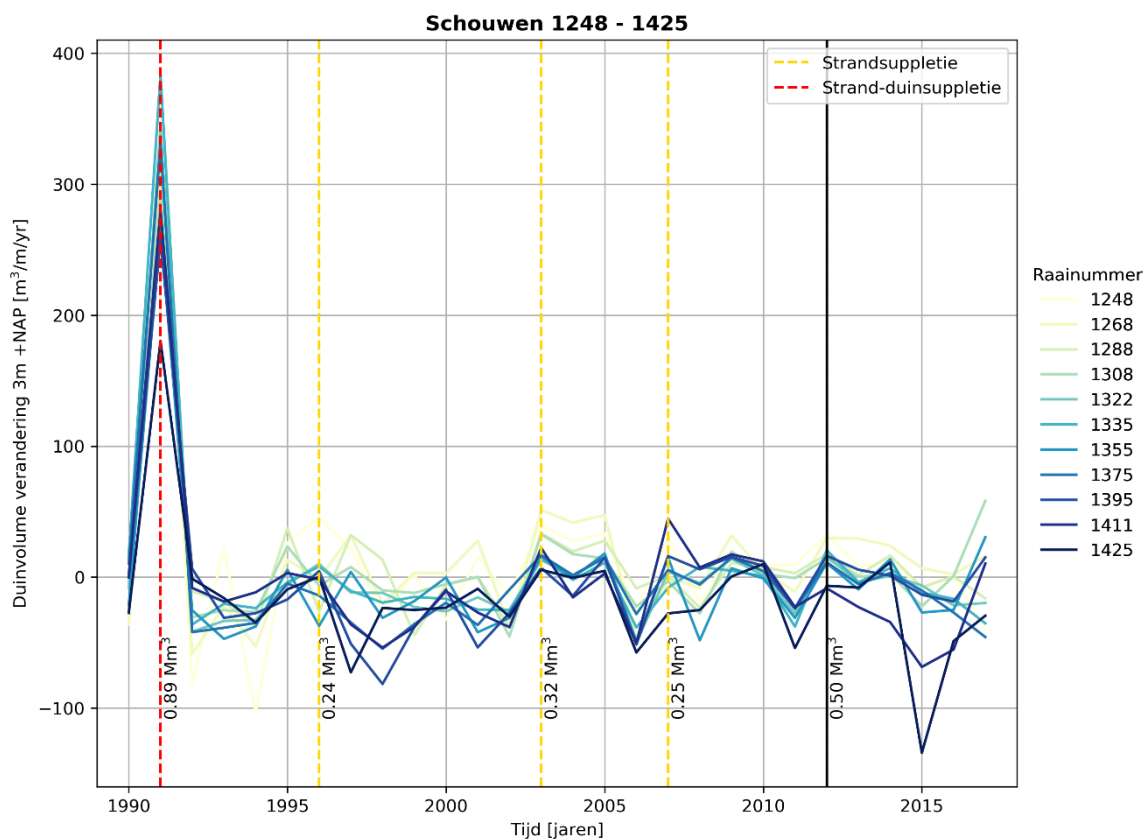
Hiermee wordt aangetoond dat:

1. De autonome processen van zandtransport richting de zeereep op de Kop van Schouwen opvallend beïnvloed worden door het al dan niet uitvoeren van strandsuppleties. Ongetwijfeld is de sterk gekromde kust van de eilandkop van Schouwen van grote invloed op het herverdelingsproces, dat verschilt langs de kust.
2. De aanwas van de zeereep reageert snel op veranderingen in het aanbod van strandzand c.q. de verminderd aangeboden hoeveelheid sinds 2016. Achterwege laten van een suppletie heeft duidelijke effecten op de zeereepontwikkeling van het studiegebied, en op de zeereep ontwikkeling in het gebied ten noorden ervan.
3. Detailanalyse van de ontwikkelingen van de zeereep is nodig om klaarheid in de ontwikkelingen te bieden. Alleen Jarkus is niet voldoende.

Duinvolume verandering	Perioden	1965 – 1997	1997 – 2008	2008 – 2013	2013 – 2017
Raaien	kustsegment	[m ³ /m/jr.]	[m ³ /m/jr.]	[m ³ /m/jr.]	[m ³ /m/jr.]
	Gemiddeld	0,2	8,4	6,2	4,4
0 – 529	noord	1,8	10,0	4,4	8,5
529 – 980	noordwest	5,4	13,2	5,3	1,3
980 – 1248	west	2,1	14,1	16,2	9,2
1248 – 1425	studiegebied	-21,3	-7,8	1,6	-6,9
1425 – 1800	zuidwest	0,2	4,1	4,7	4,1

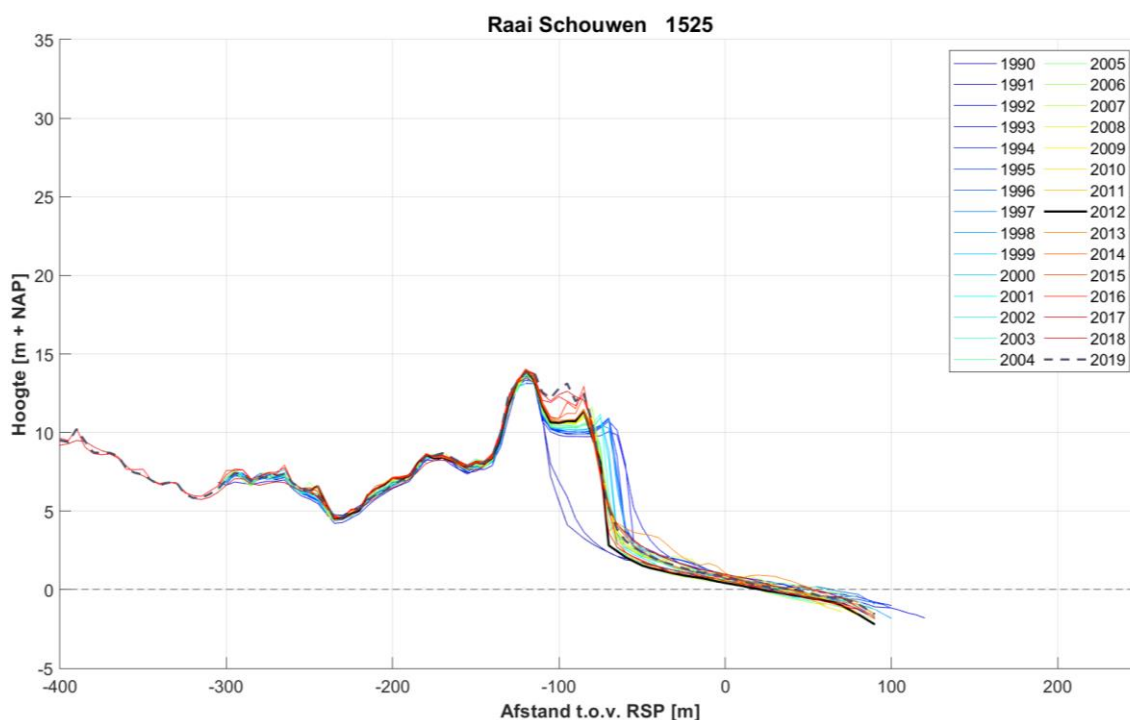
Tabel 6.3 Overzicht duinvolume veranderingen (+3 m NAP) Schouwen

In figuur 6.8 zijn de duinvolume veranderingen in het studiegebied uitgezet tegen de tijd. De massieve duinverzwaring van 1991 (50 m breed, 10 m hoog) veroorzaakt een enorme piek. Wat verder opvalt is dat de raaien in het noorden (de lage nummers) zich min of meer rond de 0 bewegen, maar dat raaien meer naar het zuiden toe meer onder de 0 lijn liggen en iets grotere uitslagen vertonen. De met enige regelmaat uitgevoerde suppleties (gele verticale onderbroken lijnen) zijn overigens in staat gebleken de kustlijn goed op zijn plaats te houden (zie ook Reinders et al., 2013). De in 2017 uitgevoerde strandsuppletie heeft grote invloed op de erosie en sedimentatie van het zeereep-duin. In de zuidelijke raaien – en in wat mindere mate ook in de noordelijke raaien – heeft een aangroei van de kust plaatsgevonden. In de centraal gelegen raaien is er sprake van een lichte landwaartse achteruitgang van de duinvoet, gemiddelde laag waterlijn en gemiddelde hoog waterlijn. Dit is in lijn met de hierboven aangegeven volumeveranderingen, die in verband staan met de uitvoeringspraktijk van de suppleties over de jaren (Tabel 6.3).

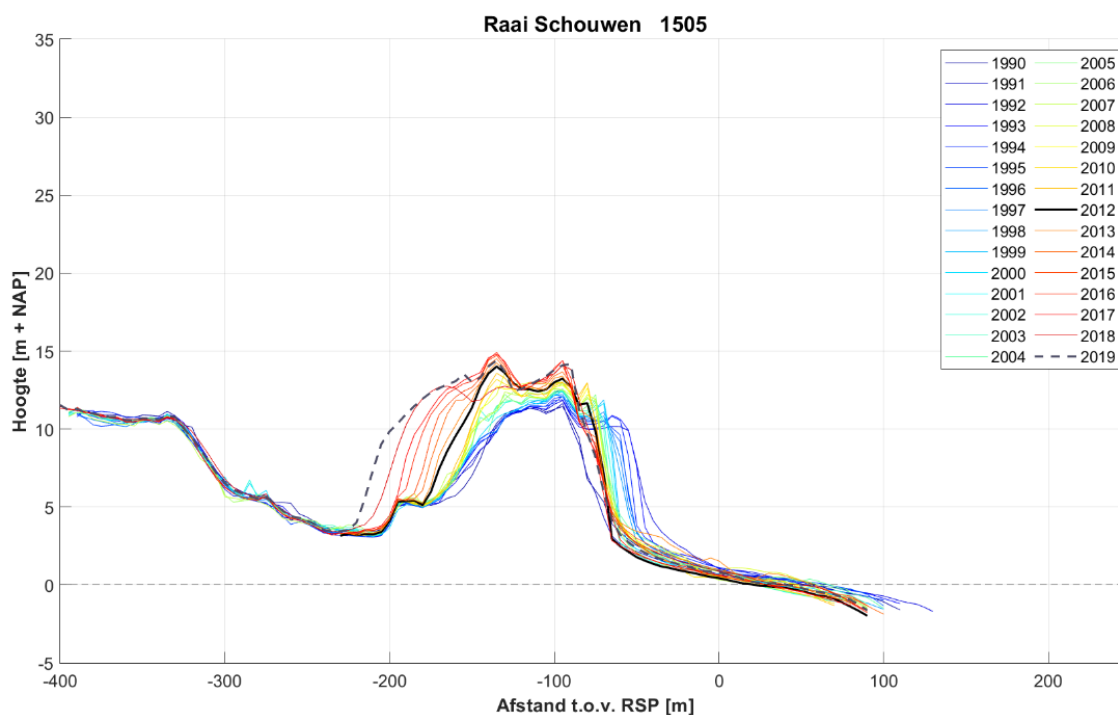


Figuur 6-8 Schouwen Meeuwenduinen studiegebied 1x niet-suppleren (raaien 1248-1425): "bliksem" grafiek. Zie tekst voor uitleg.

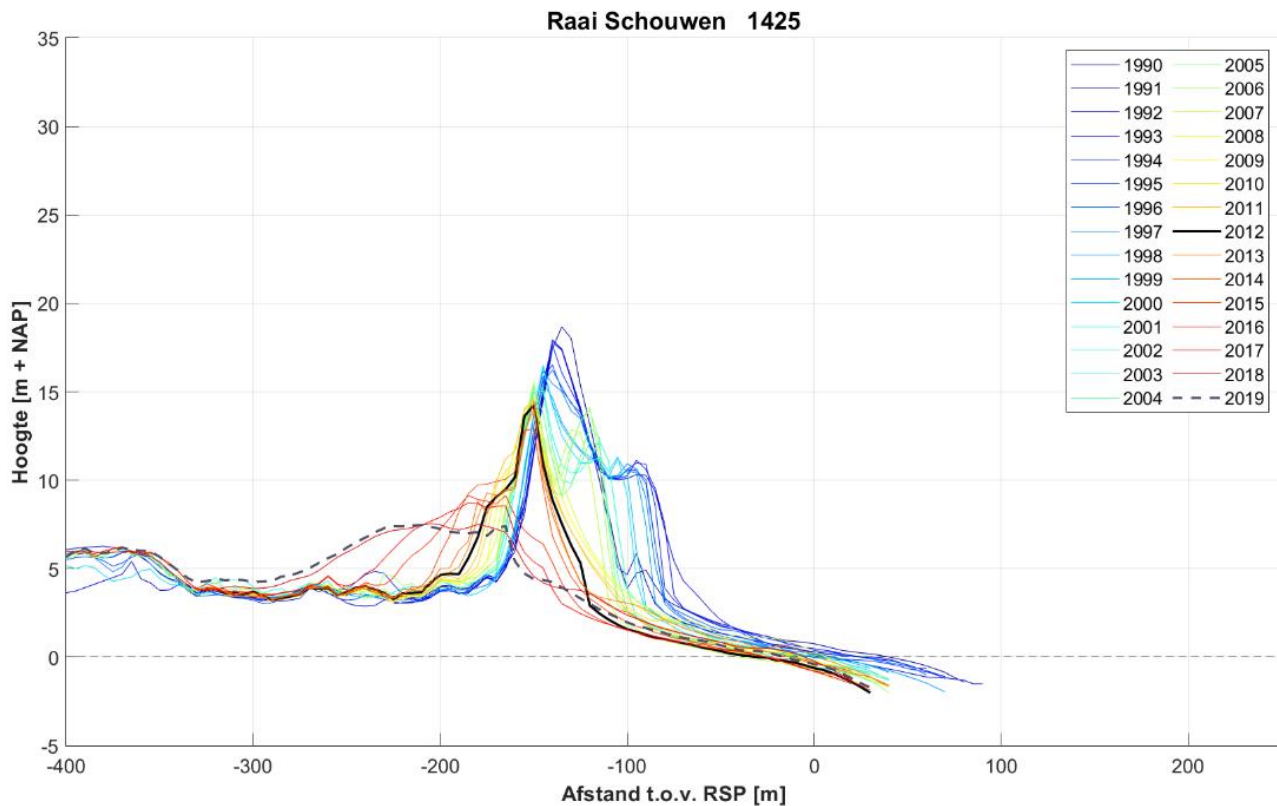
Als voorbeeld van typische profielontwikkeling worden enkele figuren ingevoegd (figuren 6.9, 6.10 en 6.11 die elk een typische situatie weergeven).



Figuur 6-9 Schouwen Meeuwenduinen Raai 1525: voorbeeld van een locatie waar in 1991 een forse duinverzwaring als banket (50 m breed en 10 m hoog) tegen het toen resterende duin is aangelegd. Merk op aangroei duinvoet in recente jaren als gevolg suppletie 2017.



Figuur 6-10 Schouwen Meeuwenduinen Raai 1505: voorbeeld van een locatie waar een langzame roll-over beweging van de zeereep plaatsvindt.



Figuur 6-11 Schouwen Meeuwenduinen Raai 1425: voorbeeld van een locatie waar een doorbraak in de zeereep plaatsvindt.

Morfologische ontwikkelingen rond de kerven in de periode 2014-2019

Het gebied rond de twee in 2017 aangelegde kerven samen met de natuurlijke kerf even ten zuiden ervan vormt een belangrijke informatiebron over de doorvoer van strandzand het achterduin in. Uit de verschilkaart (fig. 6.7) blijkt dat er een aantal verschillende manieren zijn waarop de zeereep reageert onder condities van afwezigheid van een breed strand door het ontbreken van de originele voor geplande 2016 suppletie:

- Er vinden in delen van de zeereep weinig tot geen veranderingen plaats;
- Er vindt erosie van de duinvoet plaats en er is sprake van roll-over;
- Er vinden matige veranderingen plaats (bij de natuurlijke kerf);
- Er vinden grootschalige veranderingen plaats (bij de aangelegde kerven).

Rond de natuurlijke kerf vindt nauwelijks verbreding plaats (fig. 6.12). Wel graaft de kerf zich in, en ontstaat een waaiervormige zandwal onmiddellijk achter het landwaartse uiteinde van de kerf, met een dunne relatief smalle waaijer van zand welke uit suspensie neervalt.



Figuur 6-12 Schouwen, Meeuwenduinen, natuurlijke kerf (de zuidelijkste op figuur 6.3). Merk op de smalle vorm van deze kerf. De bodem is recent aangevuld om als toegang te dienen voor zwaar materiaal benodigd voor de nazorg van het PAS project. Normaal ligt de bodem lager. Foto 23 nov 2019, L. van der Valk.

De gegraven kerven (Figuur 6-13) zijn relatief breed en ondiep aangelegd. De kommen fungeren als een omhoog lopende springplank voor het door de wind voortgestuwde zand dat vanaf het strand wordt aangevoerd. Achter de gegraven kerven ontstaat (afhankelijk van de keuze van de plaats van aanleg) een dik pakket zand wat aan de achterzijde met een vrije valhelling van 33 graden wordt afgezet. Van bovenaf gezien heeft dit pakket zand een waaivorm met eromheen een dunnere waaier van uit suspensie uitgevallen zand.



Figuur 6-13 Schouwen, Meeuwenduinen. De meest zuidelijke van de twee in 2017 aangelegde kerven met links de helling vanaf het strand en rechts de vlak geblazen bovenkant van de vrije-val helling aan de landzijde (zie voor de ligging figuur 6.3). Foto 23 nov 2019, L. van der Valk.

6.4 Conclusies

Voor het gebied rond Schoorl worden de volgende conclusies getrokken:

- In het niet-gesuppleerde gebied (met weglating van het gebied RSP 52-53), neemt de aanzanding van het duin toe. Dit suggereert dat hier inderdaad zand vanuit wel-gesuppleerde gebieden wordt aangevoerd.
- In het wel-gesuppleerde gebied rond Schoorl neemt de aanzanding veel sterker toe dan waar niet gesuppleerd wordt. Dit geldt voor duin, intergetijdegebied en vooroever.
- Ook achter de zeereep dringt extra aangeboden zand door. De mate is sterk afhankelijk van de dynamiek van de zeereep. Waar kerven aanwezig zijn is een consistent patroon van zandaanvoer tot honderden meters landinwaarts waar te nemen.
- **Hypothese 2**⁴ kan voor Schoorl worden bevestigd, ook bij een vooroeversuppletie.
- Het vorige punt heeft waarschijnlijk invloed op de vegetatie, die in de Schoorlse duinen lijkt te zijn veranderd in de richting van soorten die kenmerkend zijn voor kalkrijke omstandigheden. Nader onderzoek hierop is mogelijk.

Voor de Kop van Schouwen worden de volgende conclusies getrokken:

- Dit is een kust met een structurele achteruitgang. Dit blijkt uit de metingen, waarbij de gemiddeld laag waterlijn, de gemiddeld hoog waterlijn en de duinvoet richting het land opschuiven. Dat leidt echter niet tot erosie van het gebied boven de + 3m NAP; integendeel: er is permanente, zij het gedifferentieerde, zandaanvoer en netto aanwas.
- De zeereep – vroeger met helm beplant – functioneerde als barrière voor het transport van zand vanaf het strand richting de binnenduinen. Het niet-uitvoeren van de suppletie 2016 in combinatie met dynamisch zeereepbeheer (lees: het achterwege laten van ingrepen als helm planten) heeft tot extra dynamiek geleid, niet alleen in het direct achter de suppletie liggende gebied.

⁴ Suppleties dragen bij aan het zandbudget dat boven 3 meter NAP de zeereep in getransporteerd kan worden, waarbij verschillende typen suppleties verschillend uitwerken

- De morfologische ontwikkelingen van de zeereep en het onmiddellijke achterduin op Schouwen tonen aan dat de reactie van de zeereep afhangt van het type beheer-maatregel. De zeereep kan (i) bijna geen reactie vertonen en nagenoeg op zijn plaats blijven, (ii) aan de zeezijde eroderen (beide bij achterwege laten actief beheer), (iii) een gematigde reactie met een langzame en beperkte beweging hebben (bij een natuurlijke kerf) of (iv) een sterke reactie hebben, met een snelle en massieve land-waartse beweging (bij een kunstmatige kerf).
- **Hypothese 2** kan voor de case Schouwen worden bevestigd. Bij het overslaan van een suppletie gaat het zandbudget ook achteruit.

Uit beide cases volgt dat Hypothese 2 bevestigd wordt, waarmee ook deelvraag 2 (die centraal staat in dit hoofdstuk) wordt beantwoord.

Hoe wordt de sedimenthuishouding van de zeereep en het direct er achterliggende gebied beïnvloed door het zandaanbod vanaf het strand?

Het zand voor de zeereep wordt via het strand aangevoerd, maar kan afkomstig zijn van strand(suppleties) of vooroeversuppleties. Als het zandaanbod verhoogd wordt via suppleties op het strand of de vooroever dan neemt het duinvolume sterker toe (Schoorl). Als het zandaanbod lager wordt (bijvoorbeeld door het achterwege laten van een suppletie zoals bij Schouwen) dan neemt het duinvolume af.

Hoe en of deze veranderingen in zandaanbod vervolgens de dynamiek beïnvloeden wordt deels bepaald door het zandaanbod (zie groeiende duinvoet in gebied zuidelijk van het aandachtsgedebiet op Schouwen ten gevolge suppletie 2017 en de terugtrekkende zeereep ten gevolge van het niet uitvoeren van de 2016-suppletie op Schouwen). Daarnaast wordt het bepaald door het zeereepbeheer. Niets doen leidt tot ophoging van de zeereep al-dan-niet met erosie/uitbouw aan de zeezijde en al-dan-niet met overstuiving aan de landzijde. Als de kust gekerfd is kan doorstuiving zeer sterk zijn. De vorm van de kerf is daarbij bepalend voor het sediment-transport naar achteren.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

Vraag 1: *Wat is de invloed van strandsuppleties, vooroeversuppleties, gecombineerde vooroe-ver- en strandsuppleties en van niet suppleren op veranderingen in dynamiek en sedimenthuis-houding van de zeereep langs de Nederlandse kust?*

Het onderzoek laat toe een deel van de vraag te beantwoorden. Daarbij gaat het niet uitsluitend om suppleties (stuurknop Kustzonebeheer), maar ook om de manier waarop de zeereepduinen beheerd worden (stuurknop Zeereepbeheer). Omdat de ontwikkeling van de zeereepduinen van meer mogelijke factoren afhankelijk is, in combinatie met beperkte gegevens (met name ecologische) is de invloed van suppleties niet preciezer vast te stellen.

Het dynamisch handhaven van de kustlijn schiep de mogelijkheid om de zeereep meer dynamisch te gaan beheren. Dit blijkt een belangrijke randvoorwaarde voor meer duindynamiek in de zeereep. Voor heel Nederland geldt dat voor de voor 2017 onderzochte combinaties bij 38% of minder van de beschouwde kusttraaien nog sprake was van beheer gericht op vastleggen of onderhoud van de zeereep besloeg. Bij drie combinaties zijn de percentages hoger (Wadden, niet suppleren: 61% van de traaien; Hollandse kust, gecombineerde vooroever- en strandsuppleties: 50% en Zuidwestelijke Delta: strandsuppleties: 55%). Voor deze drie combinaties geldt dat het aantal traaien met een dynamische zeereep (duinrespons type 4 en 5) afgenomen is over de periode 2008-2017. In de andere gevallen stijgt zij. Het lijkt daarmee aannemelijk dat een dynamisch beheer (meer dan 60% duinbeheertype 3 over een groter gebied) inderdaad een randvoorwaarde is voor meer zeereepdynamiek.

Voor de Waddenkust geldt bovendien dat er weliswaar een netto afname lijkt te zijn in dynamiek in de zeereep bij kusten waar niet gesuppleerd wordt, maar dat dit hoogstwaarschijnlijk juist komt door de natuurlijke dynamische ontwikkeling. Er zijn vaak zeer brede stranden, waar zich nieuwe duinen op kunnen ontwikkelen en dat doet de dynamiek in de oorspronkelijke zeereep afnemen.

In 2017 lag het percentage traaien met een dynamische zeereep voor alle bekeken suppletievarianten (duinrespons type 4 en 5) tussen de 40 en 70% voor de Hollandse kust en de Waddenkust; voor de kusten van de Zuidwestelijke Delta lag dat aanzienlijk lager: rond de 20%.

Voor de hele Nederlandse kust is in de periode 2008-2013 sprake van meer suppleties en sterkere veranderingen in de dynamiek dan in de periode 2013-2017. Het idee dat voor de ontwikkeling van de zeereep de kustoriëntatie of het soort kust een belangrijke rol speelt lijkt te moeten verworpen. Klaarblijkelijk overheersen andere factoren. Welke dat zijn, kon binnen de huidige scope van het onderzoek niet vastgesteld worden.

Voor de kusten van de Zuidwestelijke Delta en de Hollandse kust gaat het niet-suppleren samen met een netto verschuiving in de richting van een meer dynamische zeereep. De beste verklaring is dat, omdat hier smallere stranden zijn dan in de Wadden regio, er geen nieuwvorming van duinen op het strand plaatsvindt. De actuele zeereep is hier geen 'oude zeereep' en krijgt meer zand aangeboden dan wanneer er een nieuwe duinenrij voor zou zijn gevormd. Bovendien wordt in 2017 langs de kusten van de Zuidwestelijke Delta en de Hollandse kust het dynamisch duinbeheertype 3 (= het afzien van beheer) voor meer dan 60% van de traaien toegepast. Dit type beheer, zo blijkt ook uit dit rapport, is een belangrijke randvoorwaarde voor meer duindynamiek in de zeereep.

Vooroeversuppleties en gecombineerde vooroever- en strandsuppleties gaan in combinatie met een hoog percentage dynamisch duinbeheertype 3, gaan in de Wadden en langs de Hollandse kust samen met een vergroting van, het vaak al initieel hoge, percentage dynamische zeereep. Klaarblijkelijk levert deze uitvoering van zand suppleren randvoorwaarden op die de ontwikkeling van dynamische responstypes tenminste niet verhindert en mogelijk bevordert.

Strandsuppleties in de Zuidwestelijke Delta gaan samen met een afname in dynamiek met Schouwen als goed bestudeerd voorbeeld. Er bestaan maar weinig gebieden waar een vergelijking mee gemaakt kan worden. Het is duidelijk dat het besluit "1 x niet suppleren" op Schouwen tot essentieel grotere en meer uitgebreide systeemkennis en -inzicht heeft geleid.

Vraag 2: *Hoe wordt de sedimenthuishouding van de zeereep en het direct er achterliggende gebied beïnvloed door het zandaanbod vanaf het strand?*

Uit de detailstudies bij Schoorl en Schouwen blijkt dat aanzanding van de zeereep duidelijk afhankelijk is van het aanbod via suppleties, of dit nu vooroever- of strandsuppleties zijn. Het zandaanbod bepaalt grotendeels of de duinvoet zeewaarts kan verplaatsen of de zeereep gaat afkalven.

Hoe en of deze veranderingen in zandaanbod vervolgens de dynamiek beïnvloeden wordt door andere lokale omstandigheden bepaald. Het zeereepbeheer geeft de respons vorm. Niets doen leidt tot ophoging van de zeereep (al-dan-niet met erosie/uitbouw aan de zeezijde en al-dan-niet met overstuiving aan de landzijde). Als de kust gekerfd is kan doorstuiving zeer sterk zijn. De vorm van de kerf is daarbij bepalend. Er zijn vrij duidelijke indicaties voor het gebied rond Schoorl dat over-/doorstuiving van kalkrijk zand ook de vegetatie beïnvloedt richting kalk-minnende soorten.

7.2 Aanbevelingen

7.2.1 Afstemming suppletiebeheer en zeereepbeheer

Zorg dat de behouds- en ontwikkelingsdoelen voor kust, zeereep en binnenduyn(natuur) voor alle beheerders gezamenlijk gelden en gelijk geïnterpreteerd worden. Probeer het halen van deze doelen dichterbij te brengen door afstemming tussen suppletie- en zeereepbeheer. Zeereepbeheer is bepalend voor waar het zand terecht gaat komen en suppleties bepalen hoeveel zand er aangeboden wordt voor transport richting de zeereep.

Toelichting: De resultaten van het onderzoek maken duidelijk dat het zandaanbod naar de zeereep positief gekoppeld is met vooroeversuppleties en strandsuppleties. Dit hoeft echter nog niet automatisch te leiden tot meer dynamiek. Wanneer er sprake is van beheer dat sterk gericht is op onderhoud of vastleggen van de zeereep, blijkt dat het samenspel met suppleties resulteert in het teruglopen van de dynamiek. Dit is met name het geval bij de strandsuppleties op de Zuidwestelijke Delta en misschien lokaal voor gecombineerde vooroever- en strandsuppleties langs de Hollandse kust. In het tweede geval is zeereepdynamiek langs de Hollandse kust echter nog steeds zo overheersend dat deze teruggang verwaarloosbaar is. Voor de strandsuppleties op de Zuidwestelijke Delta is afstemming met het zeereepbeheer van belang omdat een eventuele zeewaartse groei van de zeereep (Figuur 5-10) leidt tot een nog smaller strand: door- en overstuiving lijken daar gewenst.

De waarnemingen maken aannemelijk dat zandaanvoer afkomstig van vooroeversuppleties en gecombineerde vooroever- en strandsuppleties in de Wadden en de Hollandse kust de dynamiek van de zeereep niet tegengaan of mogelijk bevorderen, wanneer er sprake is van het actief aanbrengen van kerven of een voldoende nalaten van zeereepbeheer. Aan de andere kant is duidelijk dat teveel zand in de grijze duinen onwenselijk is met oog op de natuurwaarden van de aanwezige vegetatie. Bij kerven is het mogelijk dat een overmaat van zand naar binnen

komt. Mogelijk kan dit gestuurd worden via het aantal en de vorm van de kerven. Dit blijkt uit de Schouwen casus.

7.2.2 Vervolgonderzoek

(i) Zet onderzoek voort naar strandbreedte en morfologie, dynamiek en sedimenthuishouding van de zeereep. Frequentere metingen en meer vlakdekkende waarnemingen zijn daarvoor nodig. Een analyse van de periode 1965-1997 met behulp van o.a. luchtfoto's kan veel inzicht geven.

(ii) Start onderzoek op basis van de indicaties dat rond Schoorl er toename is in kalkminnende soorten door binnenstuiven van kalkrijk zand. Dit onderzoek naar voornamelijk vegetatiekundige ontwikkelingen moet mogelijk zijn op basis van beschikba(a)r(e) (komende) karteringen.

Toelichting (i): Dit rapport laat zien dat één of meerdere parameters extra geëvalueerd kunnen worden om lokale verbanden tussen typen suppleties, de mate van dynamiek en de sedimenthuishouding van de zeereep te vinden, waaronder de strandbreedte. Waardevol is kennis van het verband tussen (1) brede of smalle stranden met verschillende typen suppleties/niet suppleren⁵, en (2) graad van dynamiek en sedimenthuishouding van de zeereep.

Andere interessante parameters zijn de kruinhoogte en de hellingshoek tussen de duinvoet en kruin. Naast de geometrie van het strand en de duinen, kan ook worden gekeken naar correlaties met golf -en windcondities met verschillende richtingen en intensiteiten.

Het verder uitbreiden van de huidige dataset is de basis. Frequentere metingen helpen om begrip te krijgen in de processen in de eerste maanden na een ingreep. Is bijvoorbeeld na een strandsuppletie een directe toename in volume van de zeereep te zien?.

Met de inzet van vlakdekkende lodingen en laseraltimetrie wordt een ruimtelijke component meegenomen. De beweging van suppletiezand is nu alleen via het resulterende doorstuiven landinwaarts onderzocht aan de hand van transecten, terwijl het alle kanten op kan bewegen.

De duin volumeverandering berekeningen zijn aan de hand van kustlidar voor verschillende periodes uitgevoerd. Vooral in de periode van 1965-1997 is het onduidelijk wanneer de veranderingen hebben plaatsgevonden. Dit kan worden gecheckt door voor meerdere kortere periodes binnen deze tijd de volumeverandering te berekenen met behulp van o.a. luchtfoto's.

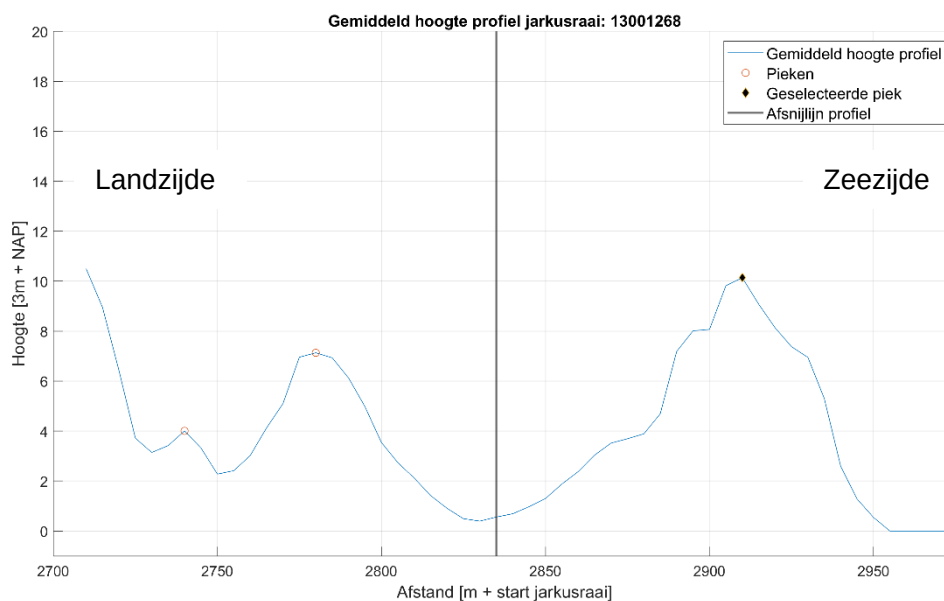
Toelichting (ii): De vegetatiekundige effecten van het suppleren zijn nog maar beperkt onderzocht (cf. EGS). Er zijn mogelijkheden hier een gericht onderzoek naar te doen en een verweven morfologisch-ecologisch onderzoeksopzet, met o.a. een aanvullende gegevensverwerving op ecologisch gebied wordt aangeraden. Dit is een betere basis voor zowel een korte termijn inschatting van effecten van een specifieke suppletie als de langere-termijn inschatting van de morfologisch-ecologische effecten van suppleren op regionale (of misschien zelfs landelijke) schaal. Schoorl is een interessant gebied hiervoor omdat daar een kalkarme omgeving beïnvloed wordt door kalkrijk zand.

⁵ We zijn ons ervan bewust dat de breedte van het strand mede een parameter is die bepalend is voor het al-dan-niet suppleren. Dit kan een complicerende factor zijn in het voorgestelde onderzoek.

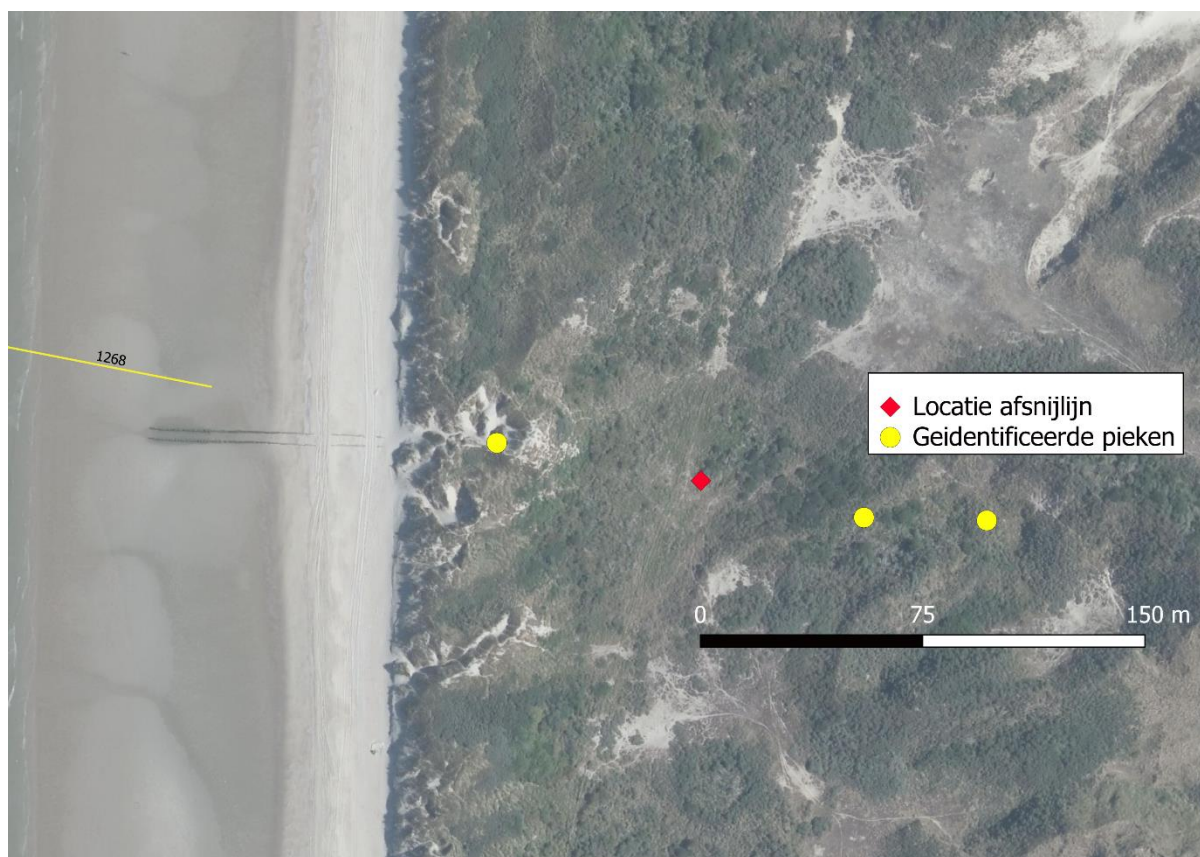
8 Bronnen

- Buro Bakker, (1993). Vegetatiekartering Hollands Noorden, deel Schoorlse duinen.
- de Groot, A., Oost, A., Veeneklaas, R., Lammerts, E., van Duin, W., van Wesenbeeck, B., . . . Koppenaal, E. (2015). *Ontwikkeling van eilandstaarten: geomorfologie, waterhuishouding en vegetatie*. Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren (Deltares rapport 1208549.01).
- de Vries, S., de Vries, J., van Rijn, L., Arens, S., & Ranasinghe, R. (2014). *Aeolian sediment transport in supply limited situations*. Aeolian Research Vol. 12.
- IJff, S., Smits, B., van Zelst, V., & Arens, B. (2019). *Natuurlijk Veilig - Landschapsvormende processen; Invloed van suppleties en beheer op dynamiek in de zeereep*. Deltares.
- Imergis. (2018). *Geografische open-data GIS bestanden*. Opgehaald van Imergis: <https://www.imergis.nl/html/opendata.htm>
- Informatiehuis Water. (2017). *Waterveiligheidsportaal*. Opgehaald van Waterveiligheidsportaal: <https://waterveiligheidsportaal.nl/#/home>
- Keijsers, J., Poortinga, A., Riksen, M., & Maroulis, J. (2014). *Spatio-Temporal Variability in Accretion and Erosion of Coastal Foredunes in the Netherlands: Regional Climate and Local Topography*. Plus One, Vol 9 (3).
- matplotlib. (2019). *matplotlib.pyplot*. Opgehaald van matplotlib: https://matplotlib.org/3.1.1/api/pyplot_summary.html
- PDOK. (2017). Luchtfoto 2017 Ortho 25cm RGB. Nederland.
- Python. (2019). *python*. Opgehaald van python: <https://www.python.org/>
- QGIS. (2019). *QGIS*. Opgehaald van QGIS: <https://www.qgis.org/nl/site/>
- Reinders, J., van der Valk, L., den Heijer, C., Giardino, A., Buma, J., & Arens, B. (2013). *Voorhoedeproject: Slimmer omgaan met zand op Schouwen*. Delft: Deltares rapport.
- Rijkswaterstaat. (2019). *Geoservices, geodata, dmc*. Opgehaald van Rijkswaterstaat: <https://www.rijkswaterstaat.nl/apps/geoservices/geodata/dmc/>
- Rijkswaterstaat Data-ICT-Dienst. (2019, 07). *jarkus grids*. Opgehaald van Opendap Deltares: <http://opendap.deltares.nl/thredds/catalog/opendap/rijkswaterstaat/jarkus/grids/catalog.html>
- SciPy. (2019). *scipy.stats.linregress*. Opgehaald van SciPy.org: <https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.stats.linregress.html>
- Spyder. (2019). *Spyder*. Opgehaald van The Scientific Python Development Environment: <https://www.spyder-ide.org/>
- van der Wal, D. (1999). *Aeolian transport of nourishment sand in beach-dune environments*. Universiteit Amsterdam.
- Veltman, L. (2019). *Hoogtemetingen Kop van Schouwen T=6, veldrapportage*. SHORE monitoring.

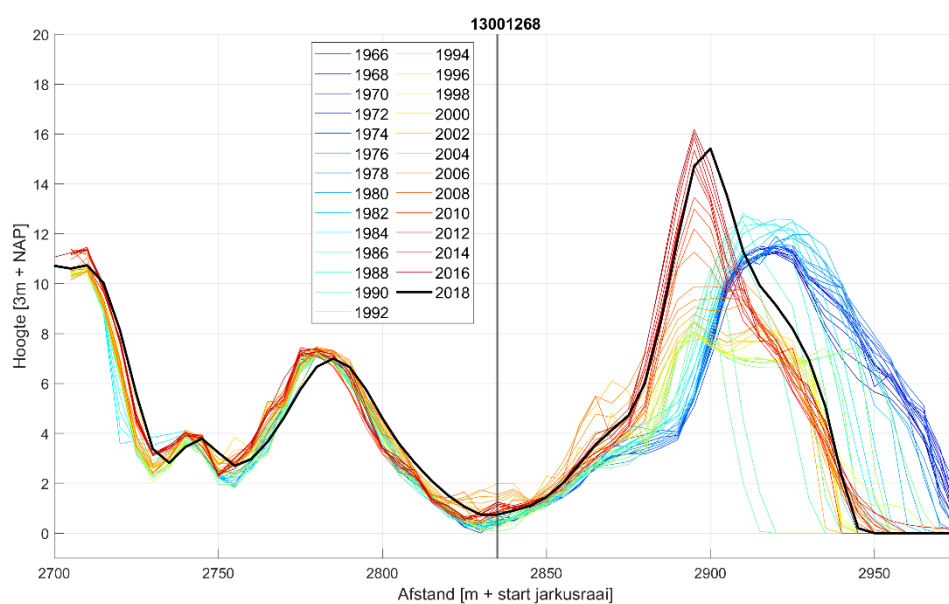
A Voorbeeld bepaling locatie afsnijlijn duinvolumeverandering berekeningen o.b.v. Jarkusraaien



Figuur A-1 Gemiddeld hoogte profiel en geselecteerde pieken voor raai 1268 Schouwen



Figuur A-2 Luchtfoto raai 1268 Schouwen en geïdentificeerde pieken



Figuur A-3 Groeilijnen raai 1268 Schouwen