

# Ecologische effecten van kustsuppleties

Systeembeschrijving (deel A), onderzoeksprioriteiten (deel B) en ontwerp uitvoeringsplan (deel C)

---

Datum: 28 september 2016

## Auteurs





Peter Herman<sup>1</sup>  
Harriette Meijer – Holzhauer<sup>1</sup>  
Sophie Vergouwen<sup>1</sup>  
Jeroen Wijsman<sup>2</sup>  
Martin Baptist<sup>2</sup>

## Met bijdragen van

Ad van der Spek<sup>1</sup>  
Laura Vonhogen-Peters<sup>1</sup>  
Bert van der Valk<sup>1</sup>  
Luca van Duren<sup>1</sup>  
Loes Bolle<sup>2</sup>  
Ingrid Tulp<sup>2</sup>  
Petra Damsma<sup>3</sup>

## Projectteam

Wouter van der Heij<sup>4</sup>  
Evert Jan Lammerts<sup>5</sup>  
Sarah Marx<sup>6</sup>  
Petra Damsma<sup>3</sup>  
Suzan van Lieshout<sup>6</sup>  
Jeroen Wijsman<sup>2</sup>  
Martin Baptist<sup>2</sup>  
Peter Herman<sup>1</sup>  
Sophie Vergouwen<sup>1</sup>  
Harriette Meijer-Holzhauer<sup>1</sup>

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
Concept v1	April	Herman et al.		T. Prins		F.M.J. Hoozemans	
Concept v2	Mei	Herman et al.		A. van der Spek L. van Duren			

## Status

concept

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

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>5</b>
1.1	Doelstelling	5
1.2	Aanpak	5
1.2.1	Projectteam	6
1.2.2	Brede bijeenkomsten	6
1.3	Opbouw van deze rapportage	7

## **Deel A: Systeembeschrijving** **8**

---

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>8</b>
1.1	Systeemdiagram	8
<b>2</b>	<b>Kustverdediging in Nederland</b>	<b>11</b>
2.1	Historisch perspectief: verstarring van de kust	11
2.2	Toekomstperspectief: kustverdediging bij versnelde relatieve zeespiegelstijging	12
2.3	Type suppleties	13
2.3.1	Een suppletie op het strand	13
2.3.2	Een suppletie op de onderwateroever	14
2.3.3	Een geulwandsuppletie	14
2.3.4	Een megasuppletie	15
2.4	De effectiviteit van zandsuppleties	16
<b>3</b>	<b>Habitats van de kust</b>	<b>19</b>
3.1	Fysische processen	19
3.1.1	Golven	20
3.1.2	Getijdeverschil, getij- en windgedreven stromingen	21
3.1.3	Dynamiek zeegatsystemen	21
3.1.4	Uitstroom van zoetwater	23
3.1.5	Eolisch transport	24
3.1.6	Overspoeling en blootstelling	25
3.2	Habitatkarakteristieken kustdwars	25
3.2.1	Duin en zeereep dynamiek	26
3.2.2	Vegetatiepatronen in de duinen	27
3.2.3	Morfologie - Dieptegradiënten op strand en vooroever	28
3.2.4	Sedimentatie en erosie - Bedelving	32
3.2.5	Zoet-zoutgradiënt	33
3.3	Habitatkarakteristieken kustlangse - gradiënten	33
3.3.1	Kalkgehalte duinen	33
3.3.2	Korrelgrootte van het sediment	33
3.3.3	Blootstelling aan omgevingsvariabelen vs. menselijke veranderingen	36
<b>4</b>	<b>Ecologische processen: Herstel van gemeenschappen na grote verstoringen: successiedynamiek</b>	<b>46</b>
4.1	Successie en functionele types van organismen	46
4.2	Hersteltijd en verschil in gevoeligheid van gemeenschappen	47
4.3	Cumulatief effect van herhaalde verstoringen	48
4.4	Reacties op blijvende veranderingen in de fysische omstandigheden	49
4.5	Natuurlijke en geforceerde successie	50

## **Deel B: Benodigd onderzoek** **51**

---

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>51</b>
<b>2</b>	<b>Tijd- en ruimteschalen als kader voor het evalueren van ecologische effecten</b>	<b>53</b>
2.1	Korte termijn (<1-2 jaar), lokaal (suppletie- en winlocaties en directe omgeving)	53

2.1.1	Fysisch-morfodynamisch	53
2.1.2	Ecologisch	54
2.1.3	Stuurknoppen korte termijn	56
2.2	Middellange termijn (5 jaar), regionale ruimtelijke schaal	58
2.2.1	Fysisch-morfologisch	58
2.2.2	Ecologisch	61
2.2.3	Stuurknoppen middellange termijn	62
2.3	Lange termijn (>10 jaar), op de schaal van de Nederlandse kust of belangrijke deelgebieden	63
2.3.1	Fysisch-morfologisch	63
2.3.2	Ecologisch	63
2.3.3	Stuurknoppen lange termijn	64
<b>3</b>	<b>Overzicht kennisvragen</b>	<b>67</b>
3.1	Samenhang en prioritering	67
3.1.1	Prioritering tot drie krachtlijnen	70

## **Deel C: Ontwerp uitvoeringsplan** **73**

---

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>73</b>
<b>2</b>	<b>Uitwerking per krachtlijn</b>	<b>73</b>
2.1	(Cumulatieve) gevolgen van reguliere suppleties	74
2.1.1	Onderliggende vragen en hypothesen	74
2.1.2	Voorgestelde aanpak	74
2.1.3	Verwachte resultaten	75
2.1.4	Uitwerking	76
2.2	Gevolgen van suppletie strategie voor landschapsvormende processen van strand en zeereep	80
2.2.1	Onderliggende vragen en hypothesen	80
2.2.2	Voorgestelde aanpak	81
2.2.3	Verwachte resultaten	81
2.2.4	Uitwerking	82
2.3	(Cumulatieve) effecten voor de Waddenzee	84
2.3.1	Onderliggende vragen en hypothesen	84
2.3.2	Voorgestelde aanpak	85
2.3.3	Verwachte resultaten	85
2.3.4	Uitwerking	86
<b>3</b>	<b>Integratie en communicatie</b>	<b>87</b>
3.1	Kennisdeling	87
3.2	Coördinatie van kennis	87
<b>4</b>	<b>Planning en proces</b>	<b>89</b>
4.1	Proces en indeling	89
4.2	Globale planning	89

## **Referenties** **91**

---

## **Bijlagen** **97**

---

<b>A.</b>	<b>Deelnemers brede discussie startbijeenkomst 8 feb 2016</b>	<b>97</b>
<b>B.</b>	<b>Korte samenvatting startbijeenkomst 8 feb 2016</b>	<b>99</b>



## **1 Inleiding**

Suppleties van zand op vooroever, strand of duin, worden op regelmatige basis in opdracht van Rijkswaterstaat aangebracht om de Nederlandse kust tegen erosie te beschermen. Deze strategie wordt sinds enige decennia in Nederland toegepast, en bestrijdt en voorkomt op effectieve en natuurlijke wijze erosie van de zandige kust, zodat deze veilig blijft en ruimte kan bieden aan diverse functies.

Een groot deel van deze suppleties vindt plaats in of nabij de kuststrook die door Natura2000 wordt beschermd. Het is dus van belang de eventuele effecten van deze praktijk op de natuur zorgvuldig te bestuderen, zodat dit effect kan worden afgezet tegenover het algemene nut voor de maatschappij. Betere kennis van de effecten kan leiden tot vermijden of mitigeren en mogelijk zelfs tot versterken van gewenste natuurwaarden en ecosysteemdiensten.

In een convenant in 2009 tussen Rijkswaterstaat en natuurbehoudsorganisaties is afgesproken dat een onderzoeksprogramma de ecologische effecten nader in kaart zal brengen en zal zoeken naar eventuele verbeteringen van de praktijk (Ministerie van Verkeer en Waterstaat 2009). Dit convenant heeft geleid tot uitvoering van het programma "Ecologisch gericht suppleren, nu en in de toekomst" (Holzhauer *et al.* 2009b). Dit programma is in 2015 afgelopen waarna met de natuurbeschermingsorganisaties is overeengekomen dat er een vervolg wordt gegeven aan het onderzoek naar effecten van suppleren en maatregelen voor kustveiligheid op de ecologie van de Nederlandse kust. Dit vervolg van het onderzoeksprogramma zal wederom ondersteund worden door een convenant.

In deze rapportage worden de prioriteiten voor het vervolg van het onderzoeks- en monitoringprogramma nader onderbouwd en vastgelegd.

### **1.1 Doelstelling**

Rijkswaterstaat moet een suppletiestrategie ontwikkelen en uitvoeren welke voldoet aan de veiligheidsopgave en in samenhang is met natuurbehoud en –ontwikkeling van de Nederlandse kust.

Dit document beschrijft de vraagstukken voor de komende vijf jaar voor mogelijke effecten van zandsuppleties op de ecologie van de Nederlandse kust. Het doel is om te onderzoeken hoe suppletiestrategieën in de nabije toekomst kunnen bijdragen aan het kustbeheer in samenhang met het kustecosysteem. De resultaten hiervan zullen ingebed moeten worden in de suppletiepraktijk via aanpassing en/of aanvulling van de richtlijnen voor suppleren.

### **1.2 Aanpak**

Belangrijk in de aanpak is de samenwerking met verschillende natuurbeschermings- en natuurbeheerorganisaties, verschillende afdelingen van Rijkswaterstaat en verschillende kennisinstituten. Dit is nodig om tot een gedragen en goed gewogen programma te komen. Om ervoor te zorgen dat alle verschillende meningen en ideeën zo goed mogelijk worden meegenomen maar te voorkomen dat hiervoor vergaderingen met grote groepen mensen nodig zijn is ervoor gekozen om te werken met een projectteam met daarnaast brede bijeenkomsten waarin de uitwerking en invulling van het onderzoeksplan of delen daarvan worden gepresenteerd en bediscussieerd.

### 1.2.1 Projectteam

Allereerst is er een projectteam gevormd bestaande uit mensen die elk een specifieke doelgroep vertegenwoordigen. Het projectteam zorgt voor de aansturing van de schrijvers van het onderzoeksplan en de inbedding van het plan in de achterban die ze vertegenwoordigen.

Persoon	Organisatie	Vertegenwoordiging
Wouter van der Heij	Waddenvereniging <sup>1</sup>	Natuurbescherming en -beheer
Evert Jan Lammerts	Staatsbosbeheer <sup>2</sup> & Kennisnetwerk OBN <sup>3</sup>	
Petra Damsma	RWS-WVL <sup>4</sup>	Opdrachtgever
Sarah Marx		
Suzan van Lieshout	RWS-Zee en Delta <sup>5</sup>	Kennis ecosysteem kust en zee & Schrijvers
Jeroen Wijsman	IMARES <sup>6</sup>	
Martin Baptist		
Peter Herman	Deltares <sup>7</sup>	
Sophie Vergouwen		
Harriëtte Meijer-Holzauer		

### 1.2.2 Brede bijeenkomsten

Op 8 februari heeft er een brede startbijeenkomst plaatsgevonden met vertegenwoordiging van mensen en organisaties die zich bezighouden met de Nederlandse kust in de vorm van onderzoeker, natuurbeheerder, natuurbeschermers of beleidsmaker (zie bijlage A met deelnemers). De belangrijkste conclusie van deze dag is dat veel van de gestelde vragen betrekking hebben op:

- Processen in de kust
- Behoeftes aan kustdekkend onderzoek
- Kinderkamerfunctie van de kust
- Pilot-suppleties
- Toepasbaarheid en implementatie van resultaten

Tevens is er in kleinere groepen in meer detail gesproken over de ondiepe vooroever, het strand, de duinen en soorten. In bijlage B is een kort de uitkomst van deze discussies weergegeven.

Daarnaast is aangegeven dat er behoefte is aan een systeembeschrijving als basis voor de onderbouwing van het onderzoeksplan. Deel A is de benodigde systeembeschrijving. De systeembeschrijving wordt niet gezien als een definitief verhaal en moet van tijd tot tijd geactualiseerd worden op basis van onderzoeksresultaten.

<sup>1</sup> **Waddenvereniging:** Het werk van de Waddenvereniging heeft vele facetten. Bij het ene onderwerp verzetten we ons krachtig tegen aantasting van het ecosysteem Waddenzee, bij het andere onderwerp zetten we projecten in gang die het robuuster maken.

<sup>2</sup> **Staatsbosbeheer:** Staatsbosbeheer, beschermen en ontwikkelen het kenmerkende groene erfgoed van Nederland.

<sup>3</sup> **OBN:** Kennisnetwerk Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit (OBN) houdt zich bezig met natuurherstel, Natura 2000, inrichting en soortenbeleid. De VBNE (Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren) coördineert het Kennisnetwerk OBN en draagt zorg voor het aanbesteden van OBN onderzoeken. OBN neemt deel aan de projectgroep namens de terreinbeherende natuurorganisaties, SBB, NM, Landschappen, waterleidingsmaatschappijen.

<sup>4</sup> **Water, Verkeer en Leefomgeving (WVL)** ontwikkelt voor Rijkswaterstaat de visie op het hoofdwegennet, hoofdvaarwegennet en het hoofdwatersysteem en op onze leefomgeving.

<sup>5</sup> **Rijkswaterstaat Zee en Delta** is sterk verankerd in land en water en is dé verbindende factor in Zeeuwse (vaar)wegen en op de Noordzee.

<sup>6</sup> **IMARES:** Nederlandse instituut voor toegepast marien ecologisch onderzoek met als doel kennis vergaren van en advies geven over duurzaam beheer en gebruik van zee- en kustgebieden.

<sup>7</sup> **Deltares:** Onafhankelijk toegepast kennisinstituut op het gebied van water en ondergrond. Waarbij de focus ligt op delta's, kustregio's en riviergebieden.

### 1.3 Opbouw van deze rapportage

Deze rapportage werkt toe naar het opstellen van het uitvoeringsplan voor onderzoek naar de effecten van beheer en beleid van de Nederlandse kust op het ecosysteem. Hiervoor wordt een systeembeschrijving gegeven (**Deel A**), welke is toegespitst op ecologische vraagstukken rond suppleties maar een bredere fysische en ecologische insteek hanteert. Er wordt ingegaan op de belangrijkste fysische, morfologische en ecologische processen in de kust.

De systeembeschrijving dient als basis voor de identificatie van kennisleemtes op verschillende tijd- en ruimteschalen (**Deel B**). Aan de hand van criteria wordt uit deze kennisleemtes een prioritering aangebracht, die leidt tot een drietal hoofdonderwerpen voor onderzoek (krachtlijnen).

Vervolgens is er een ontwerp uitvoeringsplan (**Deel C**) uitgewerkt waarin in per krachtlijn in meer detail de benodigde activiteiten zijn beschreven inclusief de verwachte resultaten. Dit ontwerp uitvoeringsplan moet jaarlijks aangescherpt en in meer detail ingevuld worden. Voor deze aanscherping zal ruimte zijn voor feedback van de convenantpartners. Naast de uitvoering van het ontwerp uitvoeringsplan is communicatie en integratie van de activiteiten en resultaten met andere relevante onderzoeken en programma's van belang. Dit zal nader beschreven worden in het uitvoeringsplan.

# Deel A: Systeembeschrijving

---

## 1 Inleiding

De kust is een complex ecologisch systeem, gedeeltelijk aquatisch in de vooroever tot op het strand, gedeeltelijk terrestrisch vanaf het strand tot en met de duinen. Vergeleken met de aangrenzende systemen (onderwaterbodems in dieper water, terrestrische systemen verder binnenlands), is de kust onderworpen aan sterke fysische krachten. Ze maakt deel uit van een grootschalig fysisch-morfologisch systeem waarin zand wordt getransporteerd tussen, en opgeslagen in diverse delen (kuststrook, buitendelta's, bekkens). De Nederlandse kust is onderdeel van een uniek ecologisch systeem dat bestaat uit stranden en duinen die lopen vanaf Normandië tot en met Denemarken. Vanwege het Europese en wereldwijd unieke karakter van dit ecosysteem zijn grote delen uitgeroepen tot Natura2000-gebied, Beschermd Natuurmonument, RAMSAR wetland, Nationaal Park en zelfs Werelderfgoed. Het is duidelijk dat de ecologische gevolgen van zandsuppleties zich situeren in het unieke ecologische karakter van dit fysisch-biologisch-morfologisch systeem.

Behalve de unieke natuurwaarden van de kust, spelen er ook andere maatschappelijke belangen zoals veiligheid, recreatie en visserij. Er is dus ook behoefte om de natuurbelangen zorgvuldig maatschappelijk te kaderen, binnen de spelregels van de Natura2000 gebieden.

Nederland heeft nu en in de toekomst een belangrijke opgave voor kustverdediging in een laaggelegen land. Het combineren van die aanpak met respect voor, en waar mogelijk versterking van de natuurwaarden langs de kust, is een belangrijke opdracht (het is niet vrijblijvend). De exploratie van het onderzoeksprogramma zal rekening moeten houden met die toekomstgerichte context, en zich richten op het beleid op een termijn van 5 tot 10 jaar.

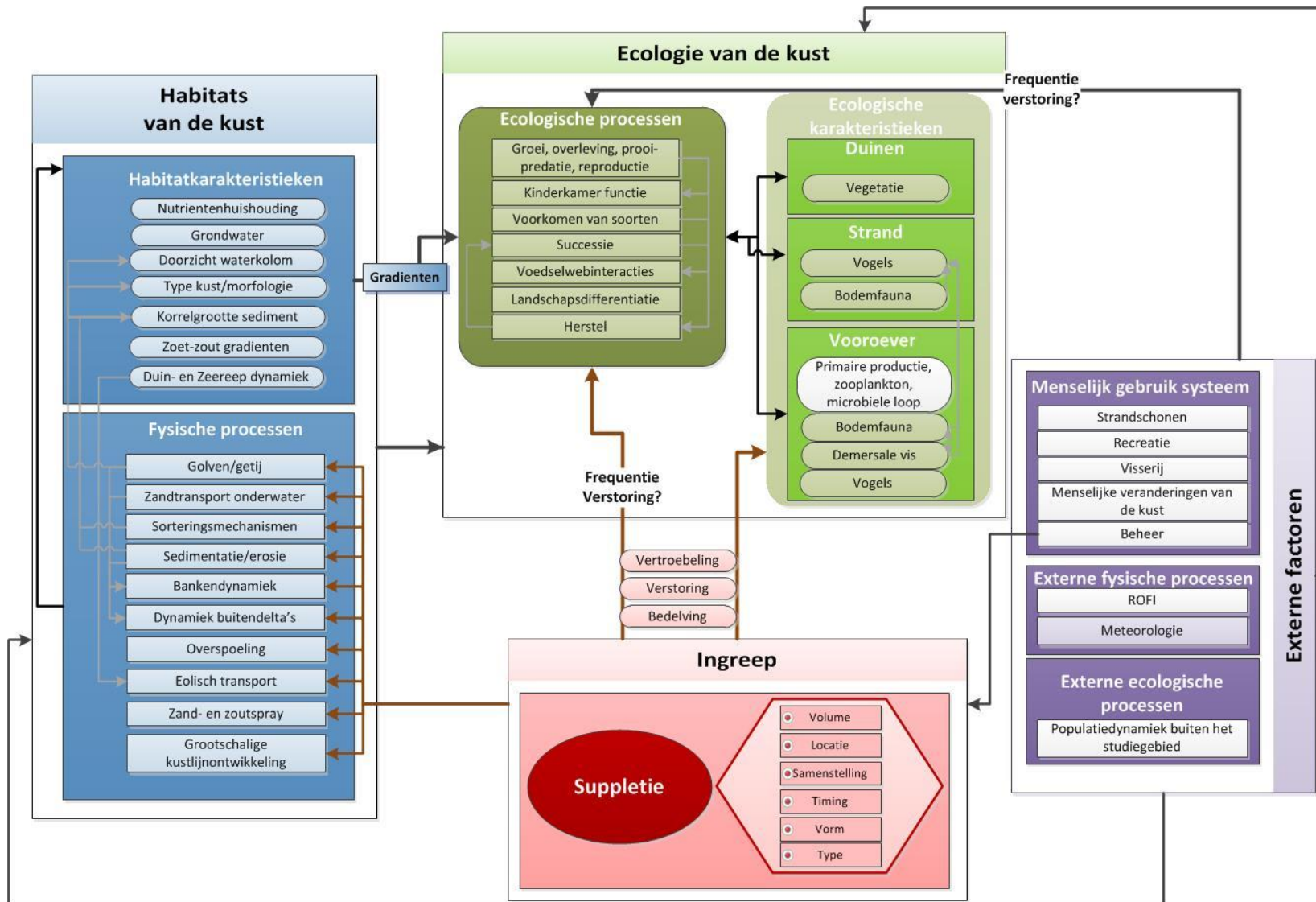
### 1.1 Systeemdiagram

In het onderstaande figuur (Figuur 1.1) is een conceptueel diagram weergegeven waarin op hoofdlijnen de samenhang tussen de verschillende processen (ecologisch en habitat) en hun karakteristieken van het kustsysteem in relatie tot suppleren is geschetst. Alle onderdelen staan met elkaar in verbinding en beïnvloeden elkaar. Daarnaast zijn er ook nog externe factoren welke een invloed uitoefenen op onderdelen van het systeem.

Met de aanleg van een suppletie grijpen we in op het kustsysteem, dus zowel op de fysica (processen en indirect de habitatkarakteristieken) als de biologie (processen en karakteristieken). Door het aanbrengen van een groot volume aan zand, wordt direct een wijziging in de bodemligging en de bodemsamenstelling (voor zover de samenstelling van het gesuppleerde materiaal afwijkt van het gebiedseigen materiaal) aangebracht. Dit heeft een direct effect op de morfo- en hydrodynamiek zowel op de suppletielocatie als in het aangrenzende gebied (door de gewijzigde bodemligging), en een direct effect op de biologie (lokale effecten door begraving, en verandering in bodemsamenstelling). Vervolgens speelt ook de interactie tussen de veranderde fysica en biologie een belangrijke rol: door de wijzigingen in de morfo- en hydrodynamiek beïnvloeden we het habitat, waardoor veranderingen in de biota kunnen voorkomen. Daarnaast is er in sommige situaties ook sprake van een terugkoppeling van biota richting de fysica. Dit speelt op langere termijn in de gehele kustgradiënt, met name in minder dynamische gebieden en in de periode na aanleg van de suppletie waarin zowel de morfologie en hydrodynamiek als de biologie zich aanpast aan de nieuwe situatie.

In deze systeembeschrijving worden de onderdelen van het onderstaande diagram nader toegelicht. Niet elk proces en onderdeel wordt apart beschreven in de systeembeschrijving, maar alles komt in de algemene toelichting wel aan bod.





Figuur 1.1 Overzicht van het Nederlandse kuststelsel vanuit een ecologisch perspectief, en de rol van suppleties hierin.



## 2 Kustverdediging in Nederland

### 2.1 Historisch perspectief: verstarring van de kust

Sinds het begin van onze jaartelling staat de ontwikkeling van ons kustgebied in het teken van erosie. In de drie millennia daarvoor was het beeld wisselend. De Hollandse kust bouwde zich juist uit, maar dat was niet het geval voor de Delta- en Waddenkust.

Op meerdere plaatsen is er over de afgelopen eeuwen een aanzienlijke terugtrekking (landwaarts opschuiven) van de kustlijn geobserveerd. Dit wordt veroorzaakt door de relatieve zeespiegelstijging in het Holoceen. Veel van het zand dat door de erosie van de vooroever vrijkwam, werd in de kustduinen afgezet. Aanvankelijk vooral Oude Duinen op strandwallen, maar vanaf circa 800 AD werd het strandwallenlandschap opgerold en begon er een fase van intensieve duinontwikkeling, de zogenaamde Jonge Duin fase. Tussen grofweg 800 en 1800 AD kreeg het grootste deel van het duinlandschap zijn huidige vorm, waarbij grote complexen van paraboolduinen en loopduinen kenmerkend zijn. *Essentieel onderdeel van dit proces van duinontwikkeling was een grote zandaanvoer, afkomstig van een eroderende kustlijn.* Duinen zijn kannibalen, ze ontstaan door het opvreten van oudere duinsystemen. Dat het duinlandschap zich toch kon ontwikkelen moet zijn oorzaak vinden in het feit dat het duinenfront dat door de wind werd opgebouwd sneller naar het oosten verplaatste dan de kustlijn. Zo kon het duingebied zich bij een terugtrekkende kust toch uitbreiden. Pas op het moment dat de mens begon met het stabiliseren van duinen werd de binnenduinrand langzaam maar zeker vastgelegd en begon het duingebied door de terugtrekkende kustlijn te krimpen.

Over de afgelopen eeuwen heeft de mens de kust vastgelegd en verhard. In vroegere eeuwen hield de kustverdediging in dat de onderbroken zeereep het dichtstuiven van zand werd bevorderd. Hierdoor veranderde de zeereep met laagtes en hoogtes in een aaneengesloten zanddijk die door het ingevangen zand vooral hoger werd. Bovendien werden strand en duinen hierdoor als het ware ontkoppeld en nam de dynamiek in het achterliggende duin sterk af. De waterkerende functie van de duinen maakte het zoveel mogelijk vastleggen van de zeereep noodzakelijk, en door het algemeen erosieve karakter van de kust was loslaten hiervan geen optie. Aanplant in oudere duinen en vastlegging van de zeereep hebben de dynamiek aanzienlijk verminderd. In het verleden werd in de duinen ook vee geweid, Een te hoge begrazingsdruk leidde tot vermindering van de vegetatie, waardoor de wind vat kreeg op het zand. Deze dynamiek leidde tot problemen aan de landzijde van het duin. Dit was nog een extra reden om de duinen vast te leggen door middel van beplanting (dennenbossen). In natuurbeheer worden nu juist de vegetaties gewaardeerd die een zekere mate van dynamiek nodig hebben voor hun voortbestaan. De vastlegging uit het verleden leidt dus tot nieuwe problemen, met name bij het handhaven van deze vegetaties.

Verstarring van de kust is ook een gevolg van grote waterstaatkundige werken. De afsluiting van een deel van de Deltawateren heeft geleid tot het verlies van de dynamische interacties tussen bekken en buitendelta's; de afsluitingen van de Zuiderzee en de Lauwerszee hebben de estuariene dynamiek in de Waddenzee verminderd. Deze grote werken hebben wel, in de decennia na voltooiing, hun eigen dynamische consequenties gehad. De buitendeltasystemen in Zeeland passen zich aan in een veranderd kustlandschap. De grote afsluitingen in de Waddenzee hebben zandhonger veroorzaakt, wat leidde tot een verhoogde zandvraag langs de kust en de noodzaak voor kustversterking vergrootte. Aanleg van havens en strekdammen heeft de morfodynamiek van de kust op lange termijn grondig beïnvloed en in verschillende regio's geleid tot kusterosie.

In 1990 besloot de regering dat de duinen langs de kust behouden moeten blijven, om duurzaam de veiligheid en het behoud van functies te garanderen (Ministerie van Verkeer en Waterstaat 1990). Dit heeft geleid tot het vaststellen van een Basis Kustlijn (BKL). Sindsdien wordt het structurele zandverlies aangevuld met zandsuppleties. Elk jaar toetst Rijkswaterstaat waar de kustlijn zich ten opzichte van deze Basiskustlijn bevindt. Daar waar de Basiskustlijn structureel overschreden dreigt te worden, wordt het zandverlies in principe met suppleties aangevuld, al houdt de beslissing tot suppleren altijd rekening met lokale omstandigheden. Deze methode van het handhaven de kustlijn wordt "*Dynamische kusthandhaving*" genoemd. Het dynamisch handhaven van de kust werd verankerd in de Waterwet en het kustbeleid.

De totale jaarlijkse suppletiehoeveelheid werd begin negentiger jaren bepaald op gemiddeld 6 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. Dit getal was gebaseerd op een schatting van de meerjaren gemiddelde verliespost uit de BKL zone. De suppleties werden grotendeels uitgevoerd als strandsuppleties. Tussen 1993 en 1996 werd een eerste proef uitgevoerd met een onderwatersuppletie (NOURTEC, Terschelling). De resultaten hiervan waren gunstig. De BKL werd gehandhaafd, de overlast op het strand werd beperkt en het bleek mogelijk voor hetzelfde budget ongeveer twee keer zoveel zand aan het systeem toe te voegen. Het laatste werd steeds belangrijker bij het toenemende besef van zandverliezen op dieper water (2e kustnota, 1995). Vanaf 1997 werden dan ook onderwatersuppleties belangrijker met als richtlijn "onder water waar het kan, op het strand waar het moet".

Sinds 2001 wordt niet alleen de kustlijn middels de Basiskustlijn (BKL) systematiek gehandhaafd, maar worden ook de zandverliezen op dieper water gecompenseerd om zodoende de zandvoorraden van het gehele kustfundament te handhaven. Zandsuppletie is, in het perspectief van harde kunstwerken, tenminste gedeeltelijk een maatregel die een zachte compensatie vormt voor de gevolgen van verstarrende maatregelen. De aanwezigheid van meer zand maakt het toestaan van dynamiek in de duinen mogelijk. Toevoer van zand biedt een compensatie voor de zandhonger van verkleinde bekkens in de Waddenzee. Zandsuppleties compenseren lokaal voor eroderende effecten van dammen en havens.

## **2.2 Toekomstperspectief: kustverdediging bij versnelde relatieve zeespiegelstijging**

De snelheid van de relatieve zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust is variabel, maar is op dit ogenblik in de orde 10-20 cm/eeuw. Door klimaatverandering wordt een toename van deze snelheid verwacht. Om de kustverdediging op orde te houden moet de kust worden versterkt, zo mogelijk over de volle breedte van de kustverdedigingsgordel. Dit laatste kan, voor wat betreft de duinengordel, alleen gerealiseerd worden wanneer binnen het duingebied zand vrijer kan bewegen. In situaties dat na suppleren de duinvoet aangroeit, de zeereep verder stabiliseert, al het binnenkomende zand zich in de zeereep ophoopt, is er geen doorvoer landwaarts, kan de rest van het duin niet meegroeien en zal in de toekomst na een mogelijke superstorm het achter de zeereep liggende duin een stuk minder robuust en bestand zijn tegen volgende stormen. Daarnaast is, voor wat betreft de vooroever, eveneens gewaarschuwd tegen een 'versteiling' van de kust: door alleen in de vooroever en op het strand de kust te verhogen, zou het profiel van de vooroever minder vlak kunnen worden. Natuurlijke processen op een grote tijdschaal (enkele eeuwen) zijn in staat het zand over het kustprofiel te herverdelen naar dieper water. Het concept van het 'kustfundament' grijpt hierop aan. Het zanddelend kustfundament is gedefinieerd als het systeem van de zandige kust inclusief duinen, met een ondergrens aan de -20 m dieptelijn en een bovengrens aan de binnenduintrand. De zandbehoefte van het kustsysteem is vervolgens gedefinieerd als de oppervlakte van het kustfundament en de aangrenzende bekkens, vermenigvuldigd met de toename van de relatieve zeespiegel. Het handhaven van het zandvolume (relatief tot zeespiegelstijging) in het kustfundament, zorgt voor een stevige kust die bij zeespiegelstijging niet relatief kwetsbaarder wordt. Dit leidt tot het vaststellen van het huidige volume van ongeveer 12 miljoen m<sup>3</sup> zandsuppleties per jaar, maar ook tot de noodzaak het

jaarlijkse volume periodiek bij te stellen in functie van de stijgingsnelheid van de zeespiegel. Tot 2020 blijft het suppletievolume van 12 miljoen m<sup>3</sup> per jaar gehandhaafd.

De afgelopen jaren zijn diverse studies verricht in het kader van BOA kust en KPP BenO Kust<sup>8</sup> die nieuw inzicht geven in de werking van het kuststelsel. Deze nieuwe inzichten stellen de uitgangspunten die het vigerend suppletievolume bepalen ter discussie. Gebaseerd op deze inzichten is een verhoging van het suppletievolume op korte termijn geen vanzelfsprekendheid (Van der Spek et al., 2015). Op de langere termijn (decennia) is nog steeds de verwachting dat het jaarlijks gemiddelde suppletievolume zal moeten toenemen als gevolg van (versnelde) zeespiegelstijging en een toename van import van sediment uit het kustfundament naar de getijdenbekkens Waddenzee en Westerschelde.

In het huidige en toekomstige beleid ligt het streven om de natuurwaarden een onderdeel te maken van de afwegingen. Ecologie van de kust wordt beschouwd als een onderdeel van de te maken afwegingen voor beleid. Het is de ambitie om natuurlijke processen zoveel mogelijk de ruimte te geven, afgewogen tegen andere gebruiksfuncties en om de natuur zoveel mogelijk te ontzien of te versterken (Ministerie van Economische Zaken, 2013). Het onderzoeks- en monitoringprogramma Kustgenese 2.0 versterkt het onderzoek naar het zandige kuststelsel. Rond 2020 wordt de kennis van Kustgenese 2.0 gebundeld en wordt een besluit genomen over aanpassing van de suppletieomvang en/of de uitvoering van een tweetal grootschalige pilots om evenwicht in het kustfundament te bewerkstelligen.

## 2.3 Type suppleties

Er zijn verschillende typen suppleties met elk hun eigen uitwerking op het morfologische en ecologische kuststelsel. Het morfologische kuststelsel betreft de fysische eigenschappen en processen van het kuststelsel, het ecologisch kuststelsel betreft het levende deel van het kuststelsel en de processen die hierin spelen (Figuur 1.1).

Op dit moment volgt de suppletiestrategie de lijn van zoveel mogelijk onderwater suppleren. Het argument hierbij is dat door onderwater te suppleren er op een kostenefficiënte wijze zand in de actieve zone van de kust wordt aangebracht waarna het zich over het gehele kustprofiel kan verspreiden. Is het vanwege de lokale situatie niet mogelijk of efficiënt om onder water te suppleren dan wordt een suppletie op het strand aangebracht. Tot slot wordt er op sommige locaties ook op de geulwand gesuppleerd wanneer er een geul dicht onder de kust loopt. Dit gebeurt met name in de Delta en het Waddengebied.

### 2.3.1 Een suppletie op het strand

Onder rustige condities wordt door de golven zand op het strand gebracht. Dit zand kan zowel uit kustlengte of kustdwarse richting worden aangevoerd. Bij laagwater stuift de fijnere fractie uit het opgedroogde intergetijdenstrand naar hogere delen van het strand. Op het hoger gelegen droge strand stuift het zand landwaarts richting de zeereep of evenwijdig aan het strand naar elders. Als de fijne fractie verstoven is gebeurt er niet veel meer omdat de grovere korrels blijven liggen en tevens de eventuele fijne korrels afschermen (dat heet 'armouring'). Wanneer het strandoppervlak verstoord wordt, bijvoorbeeld door hoge waterstanden, wandelaars of mechanisch reinigen bij badstranden, zal er weer meer materiaal voor verstuiving beschikbaar komen.

Als het zand dat landwaarts stuift en ingevangen wordt door "oneffenheden" zoals natuurlijke en menselijke aanspoelsels langs de hoogwaterlijn of pioniervegetatie, kunnen zich embryonale

---

<sup>8</sup> BOA kust en KPP BenO kust zijn programma's waarin Rijkswaterstaat tbv DGRW of Landelijke Taken kennis ontwikkelt, vaak gezamenlijk met Deltares.

duintjes vormen. Stuift het verder dan komt het tegen het front van de zeereep terecht en vormt daar embryonale duintjes. Tijdens hogere waterstanden, meestal in combinatie met golfwerking, kan deze aangroei weer weggespoeld worden.

Door het opspuiten van zand uit zee wordt het strand breder en hoger, waardoor het beoogde doel, het weer op orde brengen van de zandvoorraad, onmiddellijk bereikt wordt. Het zal duidelijk zijn dat de eigenschappen van het zand dat direct op het strand gebracht wordt, ook direct het gesuppleerde gebied beïnvloeden. Wordt er sterk afwijkend zand opgebracht, dan zullen de eigenschappen van het strandzand, op zijn minst tijdelijk, veranderen.

Echter, doordat het strand hierdoor niet meer in evenwicht is met de hydraulische processen zal er snel weer afslag optreden, vooral tijdens storm. Zo kan een strandsuppletie na twee winters al geheel zijn opgenomen in het kustvak en als suppletie niet meer waar te nemen. Verder zullen de fijnere fracties snel verstuiven, wat kan bijdragen aan duinvorming maar ook binnenlands tot overlast kan zorgen. Grovere fracties en ook schelpen en stenen blijven lang achter op het strand en dragen zo bij aan de nieuwe kenmerken van het gesuppleerde strand. De samenstelling van het op te brengen zand is hier dus cruciaal voor de mate van verstuiving en de uiteindelijke kenmerken van het gesuppleerde strand.

### **2.3.2 Een suppletie op de onderwateroever**

In Nederland leggen we een suppletie tegenwoordig meestal tegen de zeewaartse kant van de buitenste brekerbank (of, indien die niet aanwezig is, op de locatie van die bank). Een onderwatersuppletie wordt meestal aangelegd als een soort van plateau (voor ieder vak van 50x50m is het aan te brengen zandvolume berekend) maar dit plateau treedt spoedig (binnen een tijdspanne van maanden) in interactie met het bestaande systeem van brekerbanken en wordt er in opgenomen. Het gevolg van deze processen is dat er in het gesuppleerde traject een extra verstevigde buitenste bank is waardoor de golfwerking sterker afgeremd wordt en de condities rond de waterlijn rustiger worden dan in de aangrenzende vakken. Hierdoor kan er zand ingevangen worden uit het kustlangse transport waardoor het gesuppleerde vak aangroeit/in stand blijft.

De werking van de onderwatersuppletie is vergelijkbaar met die van een onderwatergolfbreker. Bij een onderwatersuppletie beweegt het suppletielichaam zelf, op enkele gevallen na<sup>9</sup>, dus niet naar de kust toe. Het gesuppleerde materiaal komt daarmee niet, of pas na uitgebreide menging met het overige zand in de brandingszone en na sortering door transportprocessen op het intergetijdenstrand. De eigenschappen van het suppletiezand zijn voor het strand en verder transport richting duinen dus veel minder cruciaal. In de omgeving van de suppletielocatie in de vooroever zijn de eigenschappen wel relevant.

### **2.3.3 Een geulwandsuppletie**

Wanneer een geul dicht bij de kust ligt, kan het uitvoeren van een strandsuppletie ongewenst zijn, doordat het op het strand gesuppleerde zand sneller zal eroderen wanneer de geul verder oprukt (Van der Werf, 2012). In dat geval kan een geulwandsuppletie of een combinatie met een strandsuppletie gewenst zijn. Geulwandsuppleties zijn een relatief nieuwe vorm van suppleren, waarbij zand op een geulwand gestort wordt. Een geulwandsuppletie kan een oplossing zijn om kustversteiling te reduceren of eventueel te voorkomen (Hordijk 2002).

---

<sup>9</sup> op een aantal locaties vindt er wel een verplaatsing van het suppletielichaam richting het strand plaats. Waarom dat meestal niet en soms wel gebeurt, is onderwerp van studie

### 2.3.4 Een megasuppletie

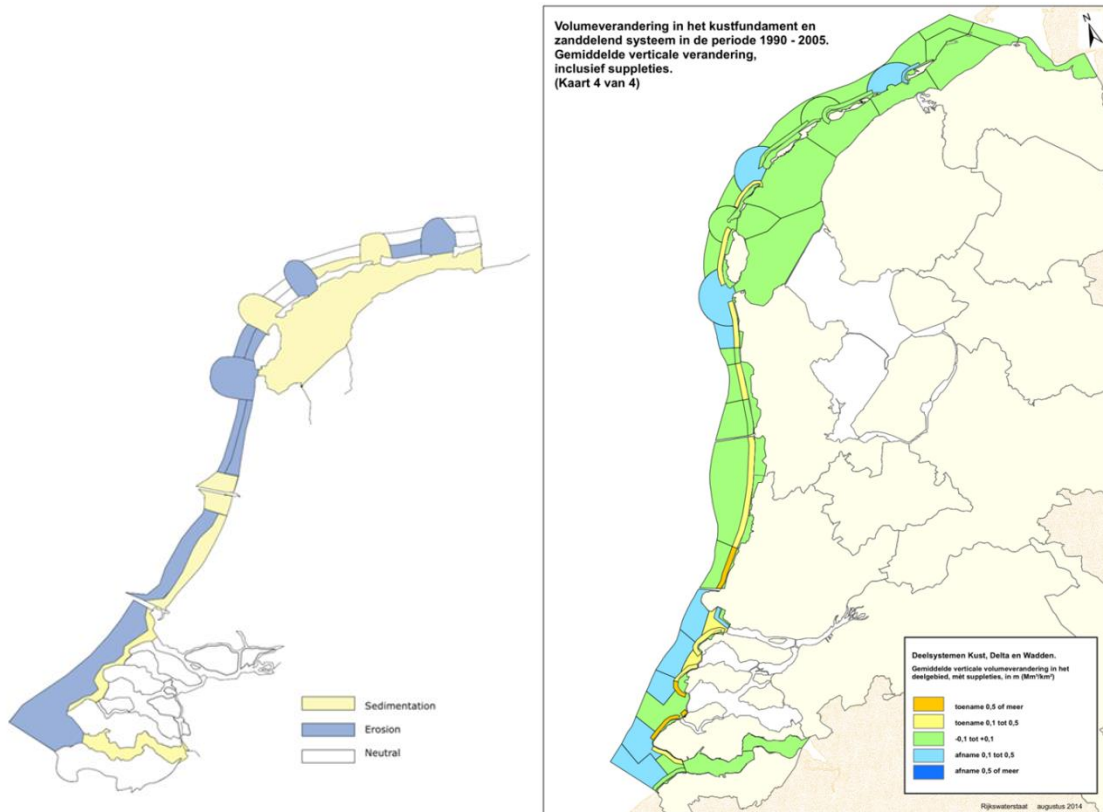
Een megasuppletie wordt gekenmerkt door een groot volume zand dat op een klein oppervlak wordt aangebracht. De bedoeling van een megasuppletie is dat het aangebrachte volume de aanliggende kust over een termijn van decennia van zand voorziet. De Zandmotor voor de Delflandse kust is een megasuppletie uitgevoerd als pilot project. In Baptist & Wiersinga (2012) worden de kenmerkende verschillen tussen reguliere vooroeversuppleties met een totaal volume van 12 miljoen m<sup>3</sup> en één megasuppletie van 20 miljoen m<sup>3</sup> uitgelegd, Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Kenmerken van een reguliere vooroeversuppleties en een megasuppletie. Bron: Baptist & Wiersinga (2012).

<b>Parameter</b>	<b>Vooroeversuppleties</b>	<b>Megasuppletie</b>
Volume (miljoen m <sup>3</sup> )	12	20
Intensiteit (miljoen m <sup>3</sup> /km)	0,4	10
Strookbreedte (km)	0,5	1
Kustlengte (km)	30	2
Bedekkingsoppervlakte (ha)	1500	200
Dikte van de laag (m)	0,80	10,0
Dieptezone	-5 tot -8 m	0 tot -10 m
Levensduur	2 – 8 jaar	20-30 jaar

## 2.4 De effectiviteit van zandsuppleties

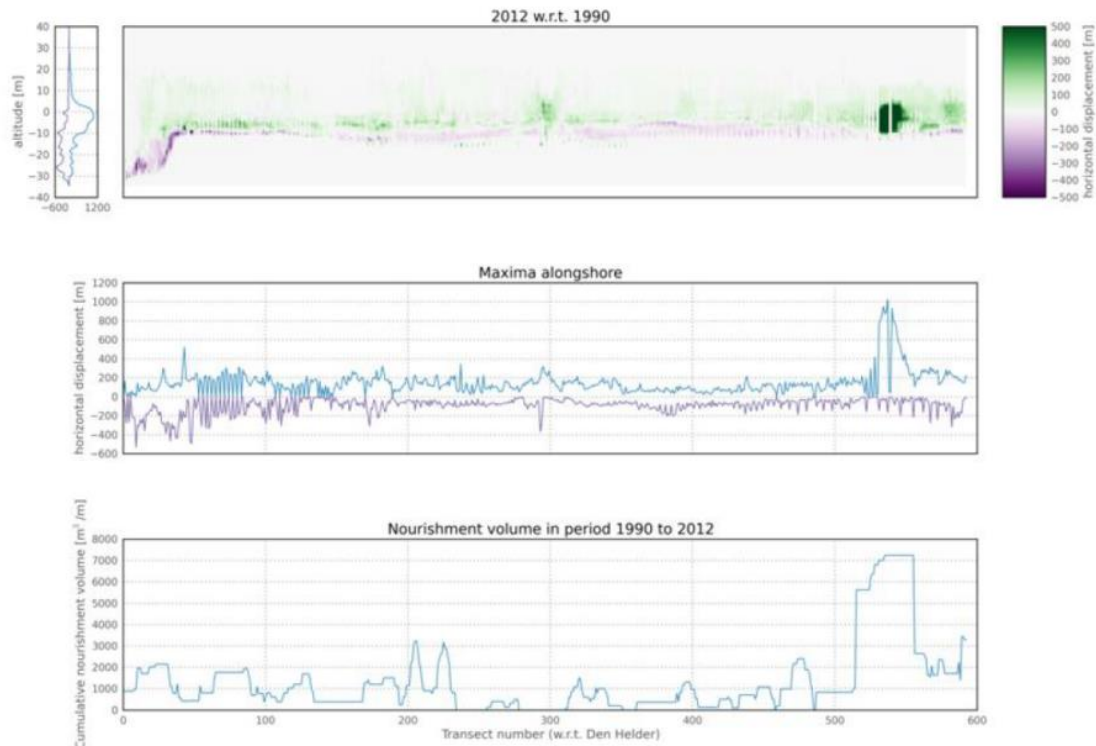
Vanuit het oogpunt van kustverdediging wordt de strategie van zandsuppleties positief geëvalueerd (Van der Spek *et al.* 2015b). Op het niveau van de kustlijn is de erosieve trend langs grote delen van de Nederlandse kust gestopt, en op de meeste plaatsen vervangen door accretie en verhoging van het zandvolume. Figuur 2.1 vergelijkt de sedimentbalans per kustsegment voor 1985, met de situatie 1990-2005. Er is nog wel sprake van zandverlies in de meeste (voormalige) buitendelta's, waarvan de dynamiek nog steeds slecht wordt begrepen. De andere kustsegmenten zijn neutraal tot (vooral dicht bij het strand) positief. De Nederlandse kust 'zit dik in het zand'.



Figuur 2.1 Vergelijking van de zandbalans in verschillende kustsegmenten vóór 1985 (links) met de periode 1990-2005 (rechts). De trend wordt aangegeven als verticale accretiesnelheid ( $m^3$  sediment/ $m^2$ /jaar= $m$ /jaar). In de meeste zeereepsegmenten waar erosie overheerste, is de tendens omgekeerd tot accretie, en dat geldt ook voor vooroevers langs de Hollandse kust, maar er zijn belangrijke uitzonderingen in de buitendelta's en sommige diepere vooroevers langs de Delta-kust (Van der Spek & Lodder, 2015).

Analyse van de Jarkusraaien leert dat de kustlijn langs de gehele Hollandse kust zeewaarts is verschoven, maar dat dieptelijnen dieper dan 10 m landwaarts zijn opgeschoven (Figuur 2.2). Deze waarnemingen tonen aan dat het kustprofiel steiler is geworden. Deze tendens wordt geïnterpreteerd als een direct gevolg van het aanbrengen van suppleties in de ondiepe delen van de kust.





Figuur 2.2

(a) zeewaarts (groen) versus landwaarts (paars) opschuiven van de dieptelijnen in de Jarkusraaien langs de Hollandse kust (tussen Den Helder en Hoek van Holland) in de periode 1990-2012. De horizontale tendens is aangegeven als functie van het raainummer (zuidwaarts vanaf Den Helder) op de X-as en de waterdiepte op de Y-as. Voor iedere X-Y combinatie is met kleur de tendens aangegeven, maar vele kleuren zijn ongeveer wit (neutrale tendens). Alleen diepere punten zijn paars en ondiepere groen (b) maximale horizontale verplaatsing zeewaarts (positief) of landwaarts (negatief) geobserveerd per raai. Deze figuur neemt dus de waarde over van de meest groene en meest paarse punten per raai in (a). Ze toont aan dat alle raaien fors verschillende waarden hebben voor de verschuiving binnen de raai, overeenkomend met de tendensen getoond in (a). (c) cumulatieve suppletievolumes per raai in dezelfde periode. Er is een correlatie tussen suppletievolume en zeewaarts opschuiven van de ondiepe zone, maar een correlatie met landwaarts opschuiven van diepere zones is minder duidelijk. Overgenomen uit van Van der Spek & Elias (2013).

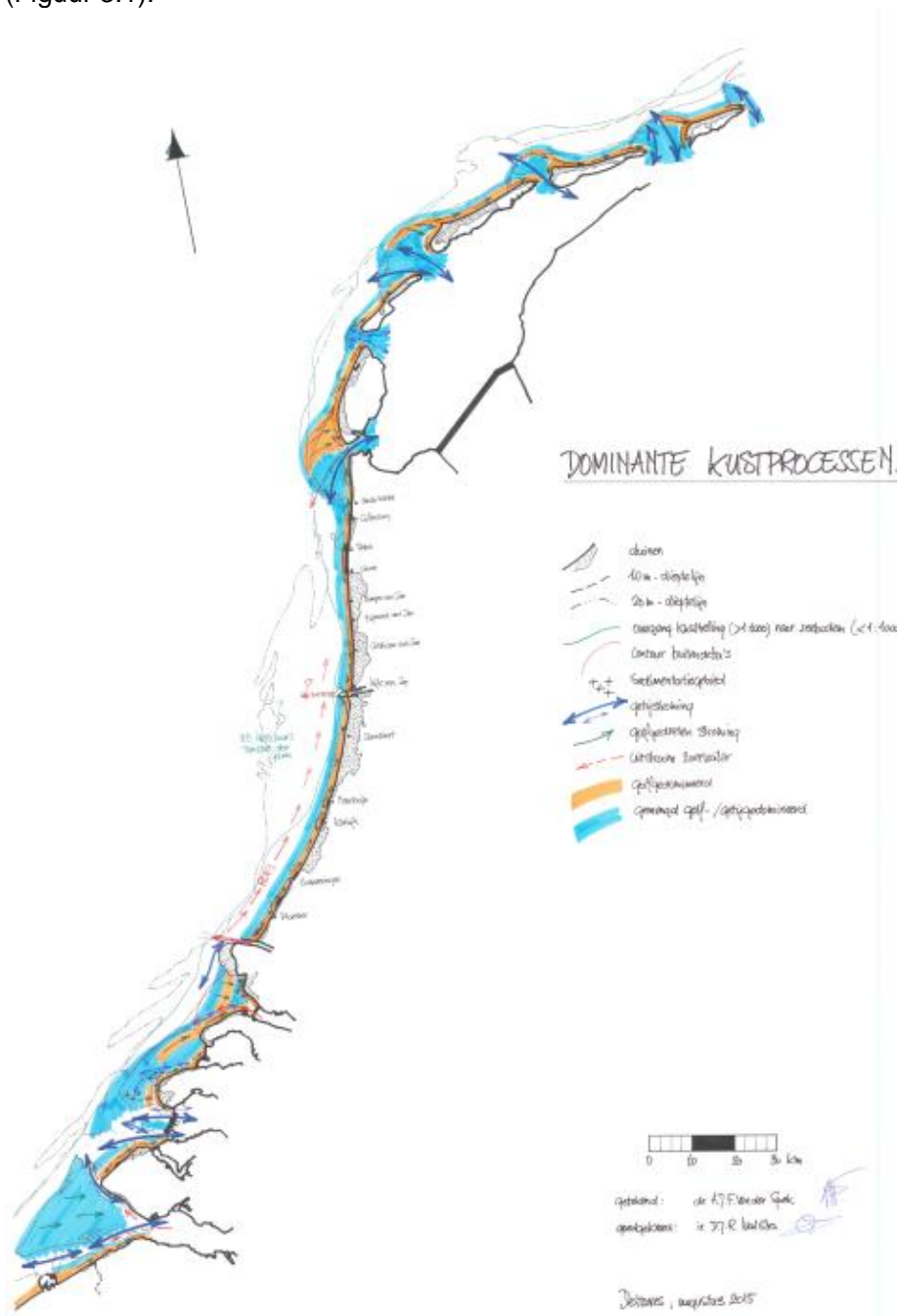
Binnen de observatieperiode (1990 – 2012, waarin overigens geen enkele echt zware storm is voorgekomen), wordt zand dat is aangebracht in de vooroever of op het strand, niet meteen gedeeld met de diepere zones die behoren bij het kustfundament (tot -20 m). De observatie is belangrijk, omdat ze aantoont dat zand niet op deze tijdschaal ongehinderd ‘gedeeld’ wordt (i.e. surplus wordt gelijkmatig verspreid) over het kustfundament. Dit is van belang voor het vaststellen van het jaarlijks benodigde suppletievolume (Van der Spek *et al.* 2015).



### 3 Habitats van de kust

#### 3.1 Fysische processen

Waterbeweging en transport van sediment langs de Nederlandse kust wordt gedomineerd door een aantal verschillende processen zoals golven, getijdenwerking, uitstroom van zoetwater, uitwisseling met de bekkens, eolische processen en de zoet-zout gradiënt in het grondwater van zeereep en duin, die elk een ander relatief belang hebben in verschillende secties van de kust (Figuur 3.1).



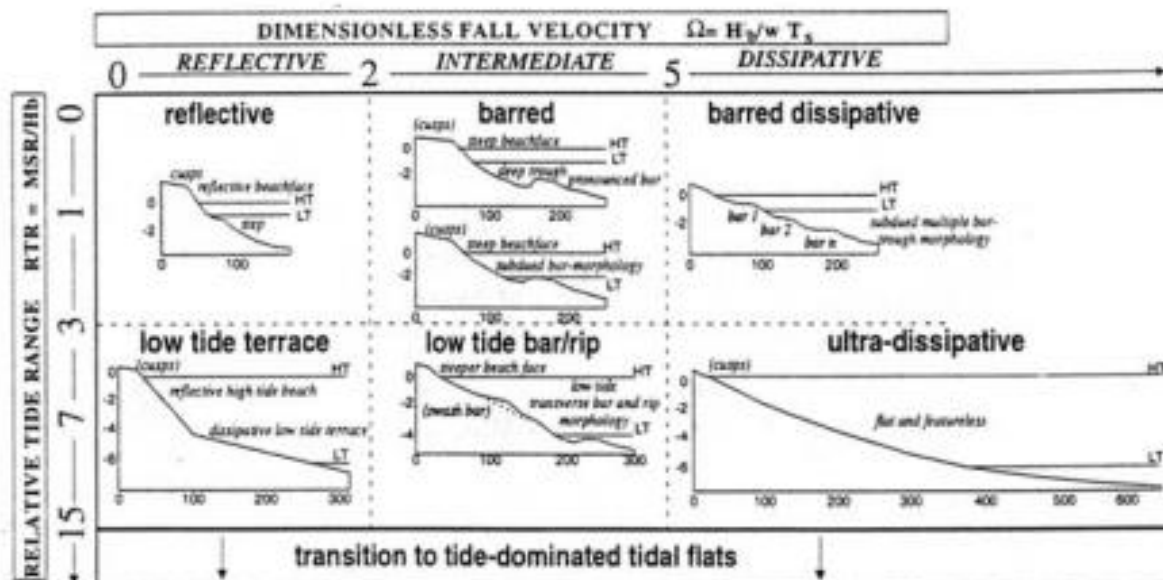
Figuur 3.1 Schets van de dominante fysische processen langs de Nederlandse kust (Van der Spek, pers. comm.)

### 3.1.1 Golven

Golven vormen het belangrijkste fysische proces in het ondiepe deel van het kustdwarse profiel, in de ondiepe vooroever en op het strand tot aan de duinvoet. Golven zijn verantwoordelijk voor kustdwars zandtransport, meestal landwaarts tijdens rustige omstandigheden en zeewaarts (inclusief afbraak van de duinvoet) tijdens storm. Waar golven schuin op de kust komen (een typische situatie voor de Nederlandse kust, met overheersende winden uit westelijke richtingen en de grootste golven bij NW wind) veroorzaken zij ook een kustlangs sedimenttransport. Netto is dit transport langs de Nederlandse kust noordwaarts (of noordoostwaarts) gericht, maar lokale omstandigheden kunnen de richting van dit transport lokaal beïnvloeden. De impact van golven op de bodem, en dus hun belang voor sedimenttransport, neemt snel af met de diepte. Hoewel de hele Nederlandse kustzone, tot een diepte van 30-40 m, gemiddeld minstens eenmaal per jaar de golven 'voelt' (Van Dijk & Kleinans, 2005), is golfwerking alleen dominant tot een diepte van ongeveer 5-10 m.

De morfologie van strand en vooroever wordt in sterke mate bepaald door het golfklimaat, in samenhang met de korrelgrootteverdeling van het substraat, die zelf een functie is van geologische setting en sorteringsmechanismen onder invloed van het golfklimaat en de getijstrooming.

Short (1996) beschrijft zes types morfologie van zandige kusten als een functie van twee dimensieloze parameters: de dimensieloze valsnelheid  $\Omega = H_b / W_s * T_s$  (waarin  $H_b$  de significante golfhoogte,  $W_s$  de valsnelheid van het zand en  $T_s$  de karakteristieke golfperiode), en de dimensieloze getijdenrange  $RTS = A / H_b$  (waarin  $A$  de getijdenrange).



Figuur 3.2 Classificatie van zandige kusten, volgens Short (1996)

De Nederlandse kust valt vooral in het 'barred dissipative' type, gekarakteriseerd door een extensief systeem van banken in de vooroever (Figuur 3.2). Janssen & Mulder (2004) geven op basis hiervan een uitgebreide typering voor vele stranden langs de Nederlandse kust, maar vinden slechts beperkte ecologische verschillen.

Tijdens storm worden de golven hoger en langer, waardoor ze dieper doordringen en de bodem kunnen beroeren over een aanzienlijk deel van de vooroever. Sediment wordt opgewerveld en blijft in suspensie tijdens de storm, maar met het afnemen van de storm worden de golven zwakker waardoor het sediment weer uitzakt. Eerst worden de grofste fracties afgezet (wellicht inclusief alle uitgespoelde mollusken), waarna opeenvolgend de fijnere fracties volgen. Op

diepere delen van de vooroever, waar het meestal rustig genoeg is, wordt tenslotte het slib weer afgezet. Dit veroorzaakt niet noodzakelijk netto erosie (over het gehele profiel), maar verandert wel drastisch de omstandigheden voor benthische organismen.

Bovendien kan bij storm afslag optreden van de duinvoet en herverdeling van het zand over het kustprofiel. Beide fenomenen (afslag duinen en erosieprocessen in de vooroever) resulteren in een zeewaarts netto transport van zand. Op specifieke locaties, waar de duinen laag of onderbroken zijn, kan bij storm ook 'wash-over' optreden. De golven gaan over de (lage) duinen heen of er tussendoor, eroderen deze eventueel, en verplaatsen zand landwaarts.

### **3.1.2 Getijdeverschil, getij- en windgedreven stromingen**

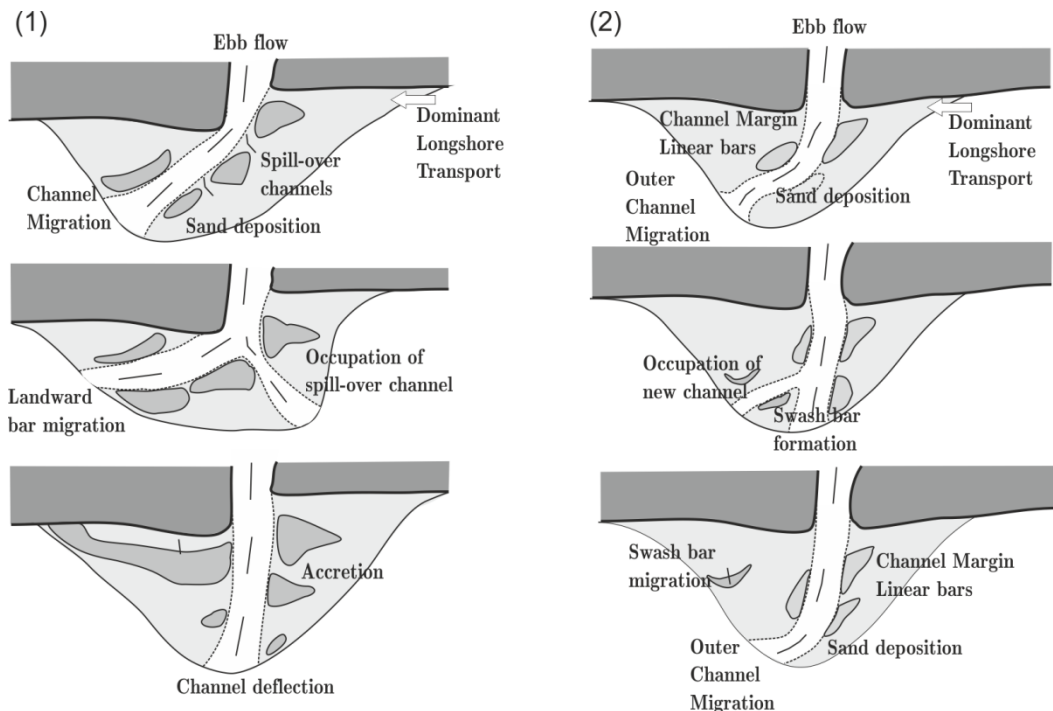
De getijdenwerking is een dominante factor langs de Zeeuwse kust, waar de amplitude van het astronomisch getij relatief het grootst is. Deze getijamplitude neemt af naar het noorden en is minder belangrijk langs de Hollandse kust. Vanaf Den Helder neemt de astronomische getijamplitude opnieuw toe naar het noordoosten. De hoog- en laagwaterstanden en hun ruimtelijke verdeling worden niet alleen door het astronomische getij, maar ook door het windveld beïnvloed. De residuele stroming (het netto verschil tussen eb- en vloedstroming) langs de Nederlandse kust is gemiddeld naar het noordoosten gericht, maar kan ook voor langere periodes omgekeerd worden als de wind overwegend uit noordelijke richtingen komt. Dit beïnvloedt de ruimtelijke verdeling van het rivierwater in de zuidelijke Noordzee.

In het kustdwarse profiel is getijdenwerking belangrijker in de diepere delen, omdat de relatieve invloed van golfwerking afneemt met de diepte, terwijl getijdenstroming daar in belang toeneemt.

Getijden zijn eveneens van groot belang in de uitwisseling met de bekkens (zie onder).

### **3.1.3 Dynamiek zeegatsystemen**

Uitwisseling van zand tussen kustzone en de bekkens vindt plaats door interactie van het kustlangse sedimenttransport met het complexe systeem dat gevormd wordt door het zeegat, de buitendelta's en de kleine banken daarrond. Buitendelta's bestaan uit zandbanken, doorsneden door één of meer geulen die in verbinding staan met het zeegat. Het zand in de buitendelta staat in voortdurende uitwisseling, via de getijdenstroming door de geulen en golfwerking op de banken, met de zandvoorraad in het bekken. Anderzijds wisselt het zeegatsysteem zand uit met de kust: het ontvangt zand uit het kustlangse transport, en geeft er ook weer zand aan af. De buitendelta fungeert daarin als opslagplaats. Dat gebeurt in de regel via grootschalige morfologische dynamiek, waarbij geulen en banken zich periodiek verplaatsen en zodoende een netto (maar ook vaak periodisch) zandtransport toelaten in de dominante richting van het kustlangse transport. Vaak neemt dit de vorm aan van het aanlanden van een plaat, waardoor het strand aanzienlijk wordt uitgebreid en duinvorming kan optreden. Tegenover die aangroeiprocessen staan ook erosieprocessen wanneer een geul verdiept en de aanliggende kust erodeert. Twee mogelijke mechanismen voor interactie tussen kustlangs transport en buitendelta's worden geschetst in Figuur 3.3, overgenomen uit van der Van der Spek *et al.* (2015).



Figuur 3.3 Modellen voor de 'bypassing' van zand (in de vorm van zandbanken) over een buitendelta: (1) 'cyclic ebb-tidal delta breaching', en (2) 'outer channel shifting', naar FitzGerald *et al.* (2010)

De buitendelta's in het Waddengebied vertonen nog grotendeels deze natuurlijke dynamiek, hoewel menselijke ingrepen zoals vastleggen van een eilandkop ook enkele beperkingen hebben aangebracht. Ingrepen in de bekkens, en met name de afdamming van de Zuiderzee en de Lauwerszee, hebben een relatief grotere invloed uitgeoefend. Door de afdamming van de Lauwerszee nam het getijdebied door het zeegat af. Aangezien de omvang van een buitendelta bepaald wordt door de balans tussen aanvoer van zand door de ebstroming en de terug- en afvoer van het zand door de golven, veroorzaakte het afgenomen ebdebied een aanpassing in de omvang van de buitendelta. Circa eenderde deel van het volume van de buitendelta is afgevoerd het zeegat in, dat daardoor flink in doorsnede afnam, en richting Schiermonnikoog, dat daardoor flink uit kon breiden in zeewaarts richting (dat brede groene strand is een gevolg daarvan). De stroming in de geulen in het wad tussen zeegat en dijk nam aanvankelijk sterk af waardoor er een flinke laag slib op de geulbodem werd afgezet. Ook is er zand van de platen in de geulen terecht gekomen en ook zand dat via het zeegat van de buitendelta kwam. Pas toen de geulen weer een kleinere doorsnede gekregen hadden door de sedimentatie, ontstond er weer een (dynamisch) evenwicht.

Over het algemeen neemt het volume zand in de buitendelta's van de Waddenzee af over de afgelopen decennia. De grote veranderingen op decadale tijdschaal vertonen een verband met de ingrepen in het Waddensysteem, maar de details zijn complex en niet goed begrepen. De precieze werking van de buitendelta's of meer algemeen zeegatsystemen, en de eventuele interactie ervan met de zandsuppleties, is onderwerp van onderzoek in het kader van het project Kustgenese II, en ook van het NWO-programma SEAWAD. In het kader van de suppletiestrategie staat de vraag centraal of het zandtransport naar de bekkens 'vraaggedreven' is (het bekken bepaalt of en hoeveel zand wordt geïmporteerd), 'aanbodgedreven' (de sterkte van het kustlangse zandtransport bepaalt hoeveel wordt geïmporteerd) of 'transportgedreven' (de transportcapaciteit van het zeegat bepaalt de snelheid van import of export van zand).

De dynamiek van de buitendelta's bepaalt mede de ligging van geulen dicht bij de kust, en daardoor de steilheid van de kustprofielen. In de profielen langs de Nederlandse kust is dit de belangrijkste bron van ruimtelijke variatie. Er kan worden verwacht dat dit belangrijke effecten heeft op de fauna in de vooroever. In estuaria vormt de afwisseling tussen geulen en platen de

belangrijkste structurerende factor voor de bodemdierengemeenschap. Langs de Nederlandse kust is weinig informatie beschikbaar om de invloed hiervan op de bodemdierengemeenschap te kwantificeren.

De dynamiek van de buitendelta's, de daarmee samenhangende transport- en sedimentatieprocessen, en het belang van deze structuren voor de zanduitwisseling tussen Noordzee en de Waddenbekkens, hebben overduidelijke ecologische relevantie in de Waddenzee. De ecologie van de getijdenplaten in de Waddenzee (voorkomen bodemdieren, beschikbaarheid ervan voor vogels en vis) wordt zeer nauw bepaald door de hoogteligging van de platen. Ook de relatieve samenstelling van geïmporteerd sediment en dus de interactie tussen slib- en zandtransport, heeft grote ecologische relevantie. Slibgehalte van de bodem is een belangrijke factor van het habitat voor bodemdieren.

Er zijn recent voorstellen geformuleerd om de buitendelta's rechtstreeks te suppleren. De Deltabeslissingen hebben dit uitgesteld tot nader onderzoek een beter begrip zal hebben opgeleverd van de werking van deze buitendelta-zeegatsystemen. Als basis voor deze beslissing is ook in overweging genomen dat er geen dringende veiligheidsbehoefte is om hiermee te starten. Het risico van versnelde aanzanding en verlanding van de Waddenzee noopt bovendien tot grote voorzichtigheid.

Aan de Zeeuwse kust is de dynamiek van de buitendelta's sterk gemodificeerd door de menselijke ingrepen in de bekkens. Door de afdamming van Haringvliet en Grevelingen hebben de getijdengeulen in de buitendelta's hun functie verloren, waardoor zij zijn gaan opvullen. De banken en geulen van deze bekkens zijn versmolten in een nieuw complex dat meer door kustprocessen en minder door kust-bekken interacties wordt gedreven, en bovendien in interactie staat met de kustverandering door de aanleg van de Maasvlakte. De buitendelta van de Oosterschelde is veranderd door de verandering van het getijprisma in het bekken na de constructie van de compartimenteringsdammen en de stormvloedkering. Bovendien verhindert de stormvloedkering de uitwisseling van zand met het bekken, waardoor de buitendelta qua zandtransport alleen in uitwisseling staat met de overige delen van de Voordelta. De buitendelta van de Westerschelde, tenslotte, is beïnvloed door de verdieping van de vaargeul in de Westerschelde. Ook de stortstrategie binnen de Westerschelde bepaalt mee of zand wordt geëxporteerd of geïmporteerd. De buitendelta van de Westerschelde wordt daarnaast beïnvloed door de haven van Zeebrugge, die lokaal het zandtransport beïnvloedt.

#### **3.1.4 Uitstroom van zoetwater**

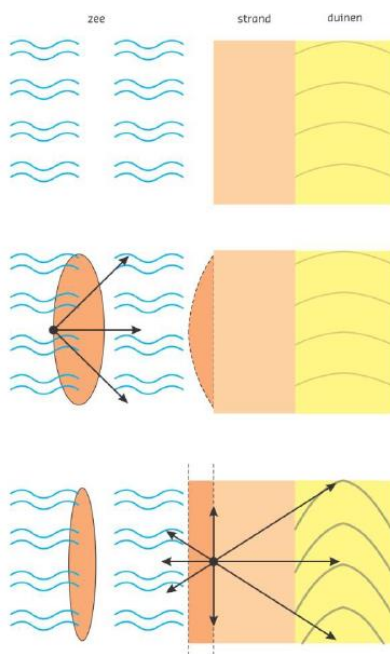
De uitstroom van zoetwater, vooral afkomstig van de Rijn/Maas en in mindere mate de Schelde en de Eems, beïnvloedt in sterke mate de hydrografie van de Nederlandse kust. In de zogenaamde ROFI (Region of Freshwater Influence) ontstaan horizontale gradiënten in dichtheid, omdat zoetwater lichter is dan zeewater. Dat geeft aanleiding tot ingewikkelde stromingspatronen, die langs de Nederlandse kust leiden tot het aandrukken van de residuele, noordwaarts gerichte zoetwaterstroom tegen de Hollandse kust en het concentreren van slibtransport in dezelfde kustnabije zone. De ROFI beïnvloedt de ruimtelijke verdeling van de primaire productie (omdat rivierwater hogere concentraties nutriënten bevat dan zeewater, en ook slib waarmee het doorzicht van het water wordt beïnvloed), en via de primaire productie ook het voedselweb. De Waddenkust wordt minder sterk beïnvloed door de Rijn-ROFI, maar kent een intense uitwisseling van slib en nutriënten met de Waddenzeebekkens. Dit bepaalt mede de primaire productie en het voedselweb. Over het algemeen wordt aangenomen dat de kustzone een hogere productie dan consumptie van algen heeft (netto autotroof systeem), terwijl in de Waddenzee het omgekeerde geldt (netto heterotroof, d.w.z. mineralisatie is groter dan primaire productie). De kustzone is dus een soort 'externe productiefactor' voor het voedselweb van de Waddenzee, en wordt anderzijds door nutriëntenuitstroom uit de Waddenzee gestimuleerd in zijn primaire productie. Of dit patroon, dat heel duidelijk was in de tweede helft van de twintigste eeuw (Verwey 1952, Postma 1954, Postma 1981); zie Van Beusekom *et al.* (2012) voor een

recent overzicht) nog steeds geldig is na de sterke vermindering van nutriëntenuitstroom uit de rivieren, is onderwerp van onderzoek (S. Jung, NIOZ, pers. comm.).

### 3.1.5 Eolisch transport

Eolische processen zijn verantwoordelijk voor de opbouw van het hoge strand en de duinen. Net als bij golven, kan zandtransport door wind zowel een opbouwend als afbrekend karakter hebben. Windtransport van zand op een voldoende breed en hoog strand leidt tot primaire duinvorming met pioniersoorten als biestarwegras. Naarmate deze duintjes zich ontwikkelen tot embryonale duinen, nemen zij een deel van het zandtransport naar achterliggende gebieden weg, waardoor landwaarts een vallei ontstaat waar zich een groen strand kan ontwikkelen<sup>10</sup>. Die primaire vallei wordt geleidelijk aan de invloed van de zee onttrokken. Windtransport kan echter ook zorgen voor het verstuiwen van zand dat aanvankelijk in duinen is vastgelegd. Er ontstaan windkuilen, die kunnen evolueren tot paraboolduinen. Uitstuiwen van valleien in het duingebied tot het niveau van het grondwater geeft aanleiding tot het ontstaan van verschillende types valleien, die in interactie treden met het grondwater. De diversiteit van habitattypes in de duinen is hier sterk van afhankelijk. Voor deze processen is de dynamiek van de zeereep van groot belang. Vastleggen van de zeereep door aanplanten van vegetatie of andere maatregelen beperkt de ecologische dynamiek in het achterliggende duingebied. 'Dynamisch duinbeheer' tracht de dynamiek in het duingebied te verhogen, maar is slechts te combineren met de kustverdedigingsfunctie van de duinen wanneer voldoende zand aanwezig is. Daardoor is er een direct verband tussen suppleties en de mogelijkheden waarover de duinbeheerder kan beschikken voor verschillende varianten in beheer.

In Figuur 3.4 is het hypothetische model van zandverspreiding van onderwatersuppletie tot in de duinen gegeven. Uit de praktijk van het suppleren en de zandverspreiding langs de kust in inmiddels bekend dat er inderdaad op veel plaatsen langs de kust meer accumulatie van zand per tijdseenheid (van bijvoorbeeld 10 jaar) in de zeereep plaats vindt sinds het suppletiebeleid is ingevoerd. Niet alleen neemt de hoogte van menige zeereep toe (met meters), maar ook de breedte (Van der Valk et al, 2013).



Figuur 3.4 Hypothetisch model van zandtransport vanuit een onderwatersuppletie via het strand naar de zeereep eerst onder invloed van golfwerking, en vervolgens door werking van de wind, (Van der Valk et al, 2013).

<sup>10</sup> Merk op dat groene stranden ook door andere, meer hydrodynamische, processen kunnen worden gevormd. Een voorbeeld is het aanlanden van een plaat, zoals op Ameland het geval is geweest.



Zandtransport op stranden neemt toe met de derde macht van de windsnelheid, en wordt belangrijk voor windsnelheden boven ongeveer  $10 \text{ m.s}^{-1}$  (Van Dijk en Hollemans, 1991). In het veld blijkt deze geïdealiseerde waarde een maximumschatting te zijn, die wordt verminderd door vochtigheid van het zand, ongunstige windrichting en begroeiing van het strand met algen (Arens 1996). Het feitelijke zandtransport wordt bovendien beperkt door 'armouring' van het strandoppervlak, waarbij aanvankelijke uitstuiving van fijne korrels ervoor zorgt dat overgebleven grove korrels, schelpen etc. een bovenlaag vormen waartussen nog maar beperkt zand kan worden opgepikt door de wind. Pas na een toename van de windsnelheid of na omwoeling van de top laag kan er weer transport plaatsvinden.

### 3.1.6 Overspoeling en blootstelling

In de getijdenzone is de cyclus van overspoeling en blootstelling een additionele bron van natuurlijke stress voor de organismen. Daarbij neemt de stress landwaarts toe voor aquatische organismen, en zeewaarts voor terrestrische.

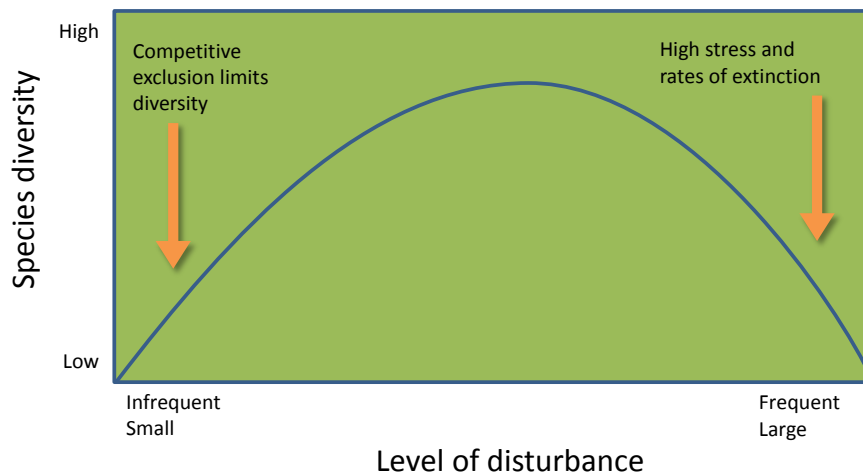
## 3.2 Habitatkarakteristieken kustdwars

Kijken we kustdwars dan is er sprake van een gradiënt in natuurlijke stressfactoren, en respons van de gemeenschappen daarop. Het hele ecosysteem van de kust, vanaf de vooroever op ongeveer 10 m diepte, tot en met de duinen, is gekarakteriseerd door sterke gradiënten in natuurlijke fysische verstoring en stress<sup>11</sup>. Zand in de kustzone is mobiel onder invloed van stromingen, golven en wind. Het substraat voor bodemdieren en planten blijft niet permanent ter plaatse, en dieren en planten kunnen door golven, stroming en wind worden weggeslagen. Soorten verschillen in hun tolerantie voor deze vormen van stress, waardoor gradiënten in stress/verstoring een sterke structurerende factor zijn voor de gemeenschappen langs deze gradiënten.

Langs sterke gradiënten van natuurlijke fysische verstoring wordt in de regel een vast patroon gevonden, dat bekend staat onder de naam 'intermediate disturbance (stress) hypothesis' (Figuur 3.5). Zij stelt dat de biodiversiteit (bijvoorbeeld gemeten aan het aantal voorkomende soorten) maximaal is bij een middelmatige verstoring. Aan de zijde van hoge fysische stress wordt diversiteit beperkt omdat slechts een beperkt aantal soorten in staat zijn om te gaan met de hoge stress. Deze soorten zijn in hun verspreiding vaak beperkt tot de zones van hoge stress, niet omdat zij niet kunnen groeien bij lagere stress, maar omdat hun concurrentievermogen beperkt is in relatief gunstige omstandigheden. Alleen waar hun concurrenten niet voorkomen, als gevolg van stress, kunnen zij volop groeien. Aan het andere eind van het spectrum wordt de diversiteit beperkt door de dominantie van een of enkele soorten, die superieur zijn in hun concurrentievermogen en alle andere soorten wegconcurreren. Ergens in het midden van de gradiënt worden deze soorten beperkt door de fysische stress, terwijl er bij die omstandigheden relatief veel soorten al in staat zijn te overleven.

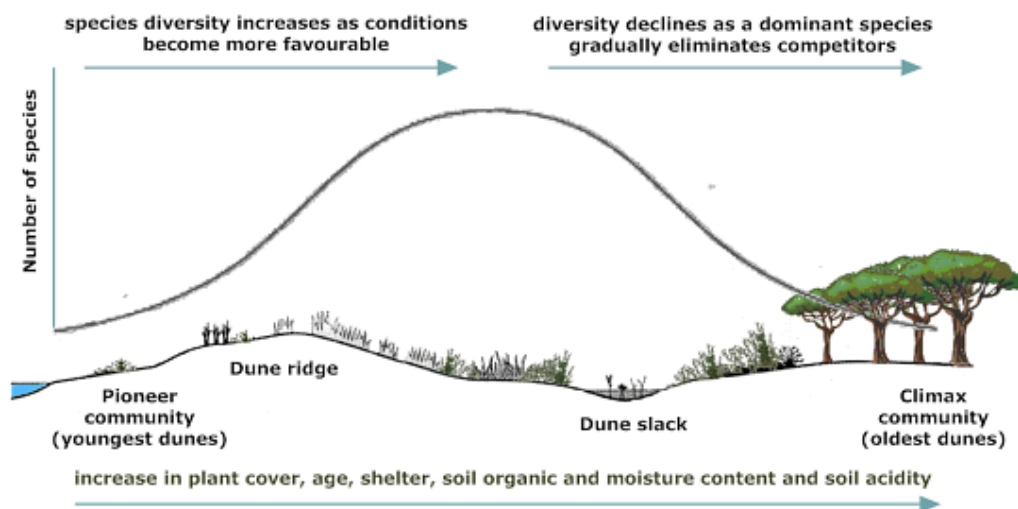
---

<sup>11</sup> In deze context wordt 'verstoring' (disturbance) gewoonlijk gehanteerd voor gebeurtenissen die ingrijpend zijn en zeldzaam op de tijdschaal van de levensduur van de organismen, terwijl 'stress' verwijst naar gebeurtenissen die eveneens negatieve invloed uitoefenen op overleving of fitness, maar relatief frequent zijn op diezelfde tijdschaal.



Figuur 3.5 Illustratie van de 'intermediate disturbance hypothesis'

Figuur 3.6 illustreert de toepassing van dit principe voor duinvegetaties (in dit geval Mediterraan, maar de toepasselijkheid is breder). Er zijn soortenarme vegetaties in de zeereep en in de oudste duinen, die respectievelijk worden gedomineerd door enkele zeer stressbestendige en enkele zeer competitieve soorten, terwijl in het middengebied een grotere rijkdom aan soorten voorkomt. Als de dynamiek van het gebied wordt beïnvloed door menselijk ingrijpen, bijvoorbeeld door het vastleggen van al het zand in de zeereep, is de diversiteit van het middengebied bedreigd, omdat een bepaalde mate van dynamiek (afnemend met afstand tot de kust) noodzakelijk is om de juiste omstandigheden voor maximale diversiteit te behouden.



Figuur 3.6 Toepassing van de 'intermediate disturbance hypothesis' op duinvegetaties.

### 3.2.1 Duin en zeereep dynamiek

Het zandtransport langs het profiel van het hoge strand richting duinen neemt exponentieel af met de afstand tot het strand in alle duintypes, maar de hoogte van het transport wordt in sterke mate bepaald door het type ('dynamiekklassen') van de zeereep. Arens *et al.* 2012 en Arens *et al.* 2013 namen zandtransport in wezenlijke hoeveelheden (tot 100.000 gr) waar tot op 500 meter van het strand in al hun studiegebieden.

Geochemisch onderzoek van sporenelementen (Stuyfzand *et al.* 2010) heeft aangetoond dat de samenstelling van recent ingestoven zand anders is dan de samenstelling van de duinbodem die voordien aanwezig was. Op alle locaties is instuivend zand armer aan organisch koolstof, met een lagere C/N ratio, en is het rijker aan ijzer en fosfor. In het kalkarme Waddendistrict is het rijker aan kalk, maar het omgekeerde geldt in het kalkrijke Rhenodunale district. Er zijn weinig

aanwijzingen dat deze andere geochemie van instuivend zand rechtstreeks en onmiddellijk invloed heeft op de vegetatiesamenstelling, maar de effecten op langere termijn zijn onbekend.

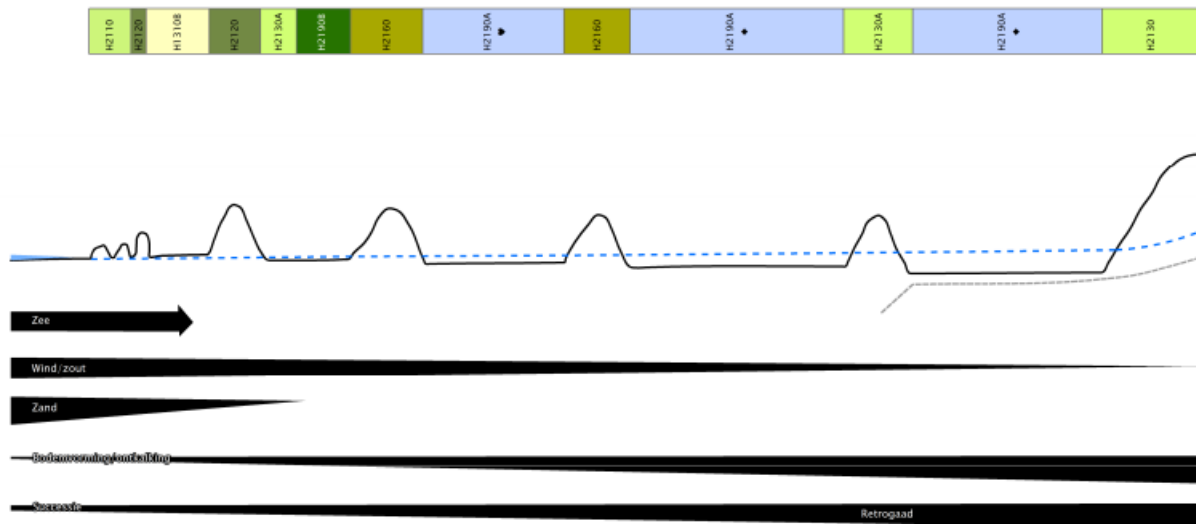
Het gevolg van eolisch zandtransport is een toename van het aantal soorten, vanaf het hoge strand waar slechts enkele soorten kunnen overleven, tot het middenduin waar zeer soortenrijke vegetaties voorkomen. Het variëren van de dynamiek van de zeereep heeft invloed op de mate van instuiving, en daardoor ook op de mogelijkheden van de flora om zich te handhaven, dan wel te vestigen.

### **3.2.2 Vegetatiepatronen in de duinen**

Een analyse van de belangrijkste gradiënten in het duinhabitat door Slings et al. (2012; Figuur 3.7) laat zien dat de belangrijkste gradiënt kustdwars is en dat deze wordt bepaald door een combinatie van de afstand tot de kustlijn en de hoogteligging van het duin. Bij de afstand tot de kustlijn bepalen de geomorfologische dynamiek, en de bodemontwikkeling de variatie in levensgemeenschappen. Beide zijn ruimtelijk gecorreleerd. Er is een overgang van sterke geomorfologische dynamiek (gekenmerkt door overstuiving, jonge bodems met laag organisch gehalte, hoog zoutgehalte) dicht bij de zeereep, naar dominantie van biotische processen in de bodemontwikkeling (stijgend organisch gehalte, dalende C/N ratio in de bodem, stabiliteit van het substraat) in de binnenduintrandbossen. Met de bodemontwikkeling gaan ook andere biotische processen, zoals concurrentie, een belangrijkere rol spelen. Witte duinen komen voor in de zone die wordt gedomineerd door geomorfologische dynamiek. Grijs duinen karakteriseren het overgangsgebied, met lichte bodemvorming, lichte dynamiek, een zekere maar niet-dominante rol voor biotische processen. Dit zijn zeer waardevolle natuurlandschappen, die echter gemakkelijk overgaan in stabielere climaxsituaties indien een voldoende mate van dynamiek niet kan worden gegarandeerd. Over het gehele kustlandschap worden verschillen gevonden tussen afslaan de kust (maximale dynamiek) een aangroeiende kust (maximale stabiliteit binnen het duin, tenzij er dynamiek-bevorderende maatregelen worden genomen in de zeereep). Een afslaan de kust, waarvan er vóór 1990 vele tientallen kilometers hadden, garandeert echter geen grote dynamiek als de zeereep gesloten blijft, al dan niet ten gevolge van maatregelen.

De hoogteligging van het duin (verticaal verloop) bepaalt het verschil tussen het droge, hooggelegen duin en het natte duin in de valleien. In het natte duin wordt onderscheid gemaakt tussen primaire valleien, doorstroomvalleien (al of niet kalkrijk), infiltratievalleien en valleien in de binnenduintrand (Grootjans et al., 2012). Deze ligging komt min of meer overeen met de positie van deze valleien langs de afstand tot de kustlijn, maar lokaal kunnen door reliëf en secundaire verstuiving variaties voorkomen. Dergelijke variaties kunnen bijdragen aan de diversiteit van habitats, maar kunnen ook een bron van verstoring veroorzaken die waardevolle diverse habitats in hun overleven bedreigen. Ook dit is onderwerp van beheer en ingrijpen.

Het voorkomen van vegetatietypes langs de verschillende gradiënten is in groot detail beschreven in de studies van Slings et al. (2012) en Grootjans et al. (2012). Als voorbeeld toont Figuur 3.7 de kustdwarse gradiënt in habitattypes voor het droge deel van kalkrijke aangroeiende duinen (Slings et al. 2012).



Strand	Em- bryonale duinen	Nat duin- landschap type 1 (groen strand)	Zeereep	Nat duinlandschap type 2	Fossiele zeereep	Nat duinlandschap type 2	Fossiele zeereep	Nat duinlandschap type 2	Duinroos Fossiele zeereep	Nat duinlandschap type 2/3	Oude afslag kust
--------	---------------------------	---	---------	--------------------------------	---------------------	--------------------------------	---------------------	--------------------------------	---------------------------------	----------------------------------	---------------------

#### Legenda Duinen droog

- H1310B Zilte pionierbegroeiing (zeevetmuur)
  - H2110 Embryonale duinen
  - H2120 Witte duinen
  - H2130 Grijze duinen
  - H2130A Grijze duinen (kalkrijk)
  - H2130B Grijze duinen (kalkarm)
  - H2130C Grijze duinen (heischraal)
  - H2140 Duinheiden met kraaihei
  - H2150 Duinheiden met struikhei
  - H2160 Duindoornstruwelen
  - H2170 Kruiplwilgstruwelen
  - H2180A Duinbossen (droog)
  - H2180B Duinbossen (vochtig)
  - H2180C Duinbossen (binnenduinrand)
  - H2190A Vochtige duinvalleien (open water)
  - H2190B Vochtige duinvalleien (kalkrijk)
  - H2190C Vochtige duinvalleien (ontkalkt)
  - H2190D Vochtige duinvalleien (hoge moerasplanten)
  - H6410 Blauwgraslanden
  - H3260A Beken en rivieren met waterplanten (waterranonkels)
- Maaiveld
  - Loopduinen (Afslag kalkarm)
  - Grondwaterstand
  - Grondwater voor kustuitbreiding (Aangroei/ Zeedorp)
  - Grondwater voor afslag (Afslag)
  - Windkuilen (Zeedorp)

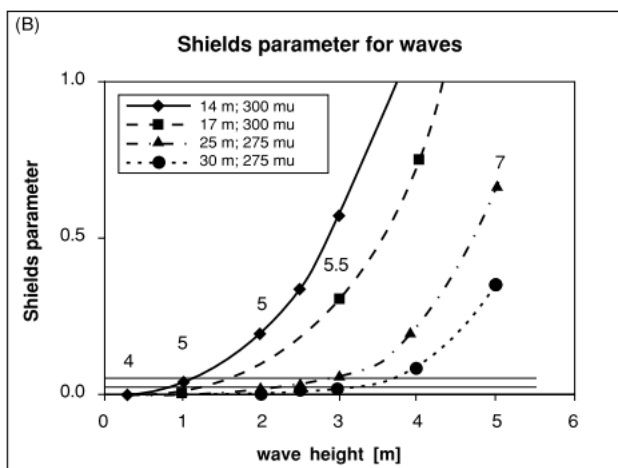
Figuur 3.7 Habitattypes van het droge duin langs de kustdwarse gradiënt, voor kalkrijke aangroeiende duinen (Slings et al. 2012). Vergelijkbare schema's zijn gemaakt voor zes andere types droog duin in Slings et al. 2012, en voor 12 types (met elk drie subtypes) gradiënten in het natte duin door Grootjans et al. 2012.

### 3.2.3 Morfologie - Dieptegradiënten op strand en vooroever

In de vooroever zijn de fysische verstoringen sterk gerelateerd met diepte. Voor bodemdieren zijn vele karakteristieken van de sediment- en waterdynamiek potentieel van (direct, causaal) belang voor hun omgeving. De stabiliteit van de bodem bepaalt of zij hun verticale positie t.o.v. de sediment-water overgang gemakkelijk kunnen handhaven, en dus ook (bij sterke verstoring) of zij risico lopen uitgespoeld of bedolven te worden. Mobiliteit van de zandkorrels bepaalt de

stabiliteit van gangen. Zandtransport vlak boven de interface kan verstorend werken door een 'sand blasting' effect. De meeste van die factoren resulteren uit een interactie tussen de stroming van het water en de karakteristieken van het sediment. Een parameter die een belangrijk deel van die variatie kan voorspellen is de bodemschuifspanning. Deze wordt gegenereerd door stroming en door de orbitaalbeweging als gevolg van golven, maar de waarde hangt mede samen met de ruwheid van het sedimentoppervlak. In het ondiepe deel van de vooroever zijn golven de dominante factor. Naarmate de diepte toeneemt vermindert het effect van golven. Figuur 3.8 (Van Dijk en Kleinhans, 2005) illustreert dit voor verschillende waterdieptes in de Noordzee, waarbij golf- en sedimentkarakteristieken overeenkomen met de typisch gevonden waarden in het veld. De Shields parameter is een non-dimensionele bodemschuifspanning die compenseert voor gewicht en grootte van de deeltjes in de bodem, en die vrij betrouwbaar aangeeft of mobiliteit van het sediment in bepaalde omstandigheden waarschijnlijk is, aan de hand van al of niet overschrijding van een kritische drempel.

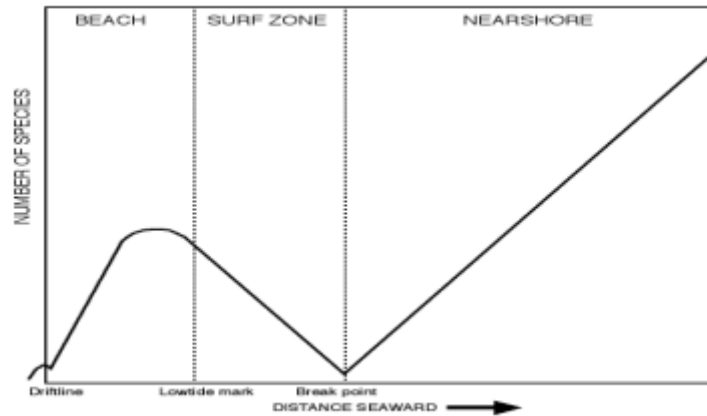
Bodemschuifspanning varieert als functie van de golfkarakteristiek (hoge lange golven hebben meer invloed) en van de waterdiepte (ondieper water ondervindt meer invloed). Het effect van een golf op de bodem neemt snel af met de diepte.



Figuur 3.8 Diagram dat de voornaamste parameters van invloed op mobiliteit van korrels in een sediment samenvat. De Shields parameter is een non-dimensionele bodemschuifspanning, die aangeeft of korrels mobiel worden (waarde boven kritische waarde in de horizontale lijnen). Voor een aantal Noordzeepunten met verschillende diepte en verschillende mediane korrelgrootte, is aangegeven hoe de Shields parameter verandert met golfhoogte. Daarbij is ook de golflengte van belang (cijfers in de grafiek) en ook deze varieert tussen punten. De grote invloed van diepte op het effect van golven is duidelijk in de figuur (vergelijk verschillende lijnen voor een zelfde golfhoogte) (Van Dijk & Kleinhans, 2005).

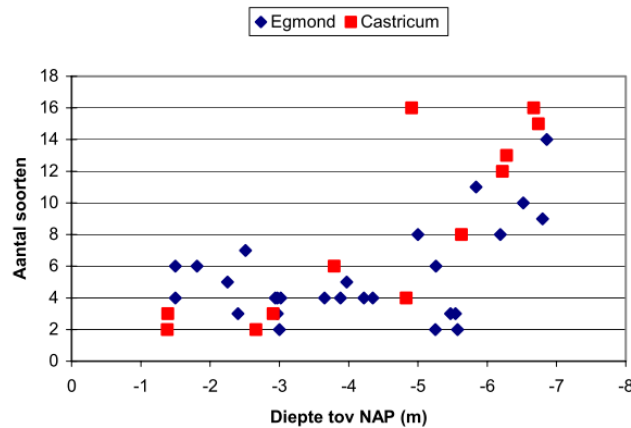
Het gevolg is een gradiënt van afnemende stress vanaf de piek in de brandingszone naar dieper water. De fysische versterking door golven blijft van belang voor de bodemdierengemeenschap tot een diepte van ongeveer dertig meter, al nemen de frequentie en de ernst van de versterking natuurlijk sterk af met de diepte. Toch worden de gemeenschappen van de gehele kustnabije zone, in vergelijking met de gemeenschappen van veel dieper water zoals de Oestergronden, gekarakteriseerd door relatief stressbestendige soorten.

In het systeem van vooroever en strand wordt een maximum aan stress gevonden in de brandingszone, en overeenkomstig daarmee is de diversiteit daar het laagst. Zowel naar dieper water als naar hoger op het strand neemt de bodemschuifspanning af. Hoger op het strand neemt de stress voor aquatische bodemdieren opnieuw toe, te wijten aan beperkte overspoelingsduur, uitdroging, opwarming/bevriezing en saliniteitsveranderingen. De combinatie van deze twee stressfactoren is de basis voor het conceptuele model van McLachlan *et al.* (1990, Brown & McLachlan (2002) in Figuur 3.9.



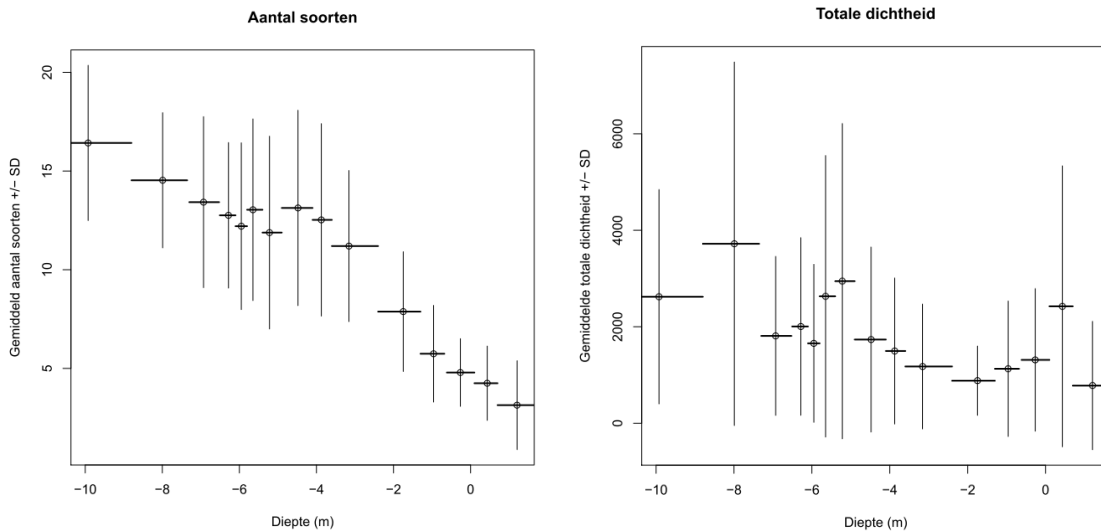
Figuur 3.9 Aantal soorten als functie van de afstand tot de kust, gebaseerd op McLachlan *et al.* (1990)

Het patroon werd min of meer teruggevonden in de studie van Janssen *et al.* (2004) voor twee raaien vanaf het strand naar de vooroever. Een minimum aantal soorten in de brandingszone, enkele meters beneden laagwaterpeil, wordt gesuggereerd in Figuur 3.10, maar het patroon is niet zeer uitgesproken.

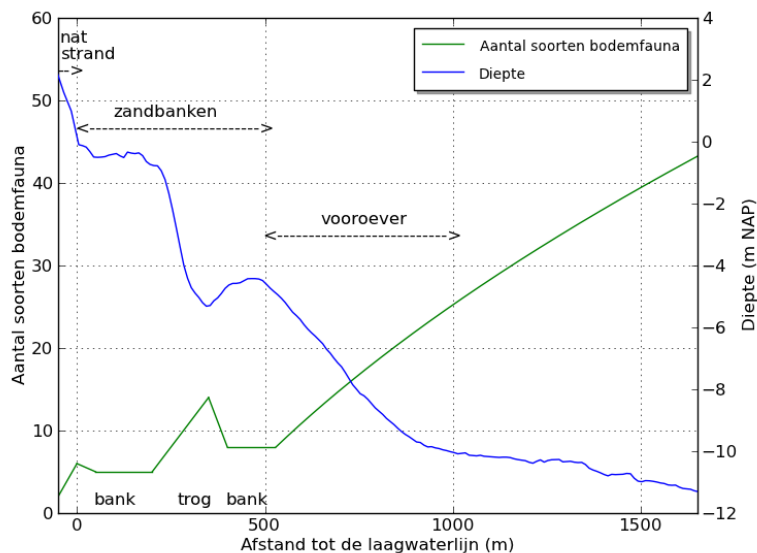


Figuur 3.10 Verdeling van aantal soorten per monster als functie van hoogteligging voor verschillende transecten op het Nederlandse strand (Janssen *et al.* 2004).

In de studie van de bodemdieren van vooroever en strand in Ameland en Schiermonnikoog (Vergouwen & Holzhauser 2016) wordt een toename van het aantal soorten gevonden met toenemende diepte t.o.v., NAP (Figuur 3.11). Op een diepte van -4 tot -6 m NAP wordt een (niet-significante) piek gevonden in het aantal bodemdieren conform het conceptuele model van Baptist & Wiersinga (2012), Figuur 3.12. Ook zijn er relatieve pieken in dichtheid (en biomassa) rond het niveau van gemiddeld zeeniveau (0 m NAP), bij -5 m NAP en bij -8 m NAP gevonden.



Figuur 3.11 Gemiddeld aantal soorten per monster (links) en gemiddelde totale dichtheid over alle soorten (rechts) voor verschillende diepteklassen in de Ameland-Schiermonnikoog studie (2009-2014). De diepteklassen zijn zo gekozen dat ze een gelijk aantal monsters hebben. De range per klasse wordt aangegeven met de horizontale lijn. De verticale lijn geeft +/- 1 standaarddeviatie aan.

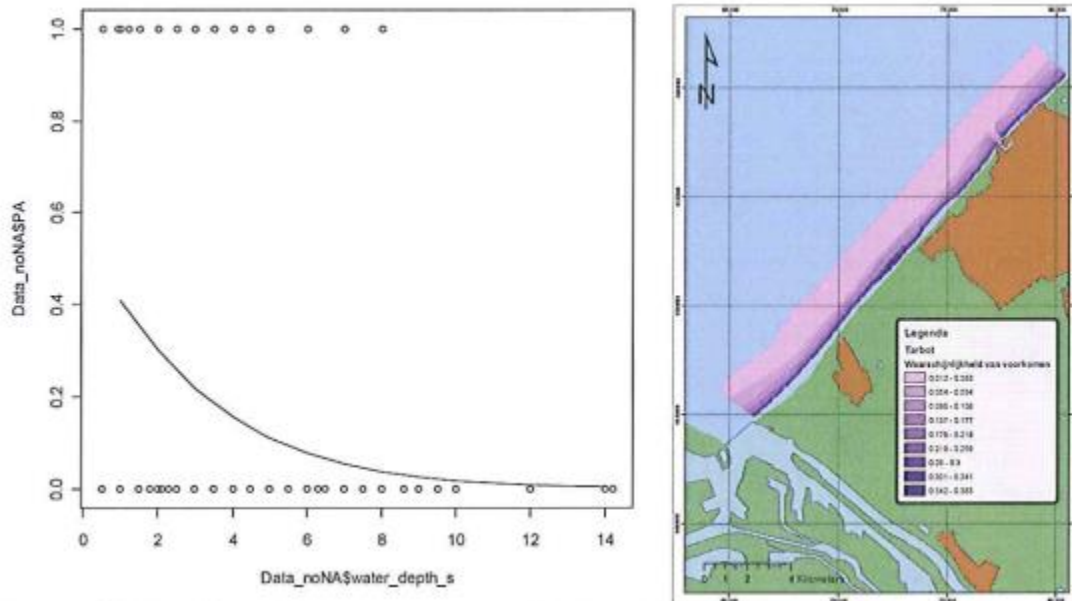


Figuur 3.12 Conceptueel model voor het aantal soorten bodemfauna (groen) en de diepte (blauw) in relatie tot de afstand tot de laagwaterlijn. Bron: Baptist & Wiersinga (2012).

Met toenemende diepte in de vooroever nemen aantal soorten, dichtheid en biomassa toe, ook al is diepte zelf niet de causale factor die hiervoor verantwoordelijk is. In de beschrijving van subtidale kustnabije habitats wordt diepte wel gebruikt als een gemakkelijk meetbare en relevante proxy voor de causaal verantwoordelijke factoren.

Het voorkomen van juveniele vis in de vooroeverzone wordt eveneens sterk bepaald door diepte. Diepte beïnvloedt de aanwezigheid van adulten, die als concurrent en/of als predator kunnen fungeren voor kleine vis, waaronder juveniele stadia van grotere soorten, maar diepte heeft ook invloed op de aanwezigheid van prooidieren (met name bodemdieren), en correleert met andere omgevingsvariabelen, waarvan temperatuur waarschijnlijk belangrijk is. Het voorkomen van verschillende vissoorten als functie van diepte is beschreven, op basis van literatuurbronnen en ongepubliceerde RIVO-gegevens, door Teal & Van Keeken (2011). Voor schol wordt een voorkeur gevonden voor ondiep water, maar het verschil in voorkomen is klein tussen de

vooroeverzone (0-10 m) en de 10-20 m zone. Bovendien heeft schol in de loop der jaren zijn voorkeur verlegd naar dieper water, misschien als gevolg van stijgende temperaturen in de ondiepe zone. Tong heeft een variabele voorkeur voor dieptezones tussen verschillende studies, maar toont een consistente voorkeur voor fijne (slibberige) sedimenten. Kleine juveniele tarbot heeft een uitgesproken voorkeur voor ondiepe (0-5 m) kustwateren. De juvenielen migreren naar dieper water als ze groeien. Andere soorten zijn niet bijzonder gebonden aan ondiepe kustwateren, zoals zandspiering en sprot, of komen in de diepere zone (10-20 m) van de vooroever voor, zoals de grondelsoorten. Het aantal surveys waarop deze gegevens zijn gebaseerd is beperkt, en de monsters zijn vaak klein zodat de onzekerheid groot is. Ook is weinig bekend over de invloed van andere factoren (bv. dag- vs. nachtbemonstering) op de resultaten van de bemonsteringscampagnes.



Figuur 3.13 Habitatvoorkeur van tarbot in de vooroever, gebaseerd op RIVO data (ongepubliceerd – links) en een habitatpreferentiemodel (rechts). Uit Teal *et al.* (2011).

### 3.2.4 Sedimentatie en erosie - Bedelving

Bedelving als gevolg van zandtransport is een gemeenschappelijke stress voor zowel vooroever als strand en duin. Bodemdieren in de vooroever zijn minder of meer aangepast om met een bepaalde mate van bedelving om te gaan. De best aangepaste soorten zijn zeer mobiel, kunnen zich snel vergraven en/of ontsnappen naar de waterkolom. Grote, trage soorten daarentegen kunnen slechts een beperkte bedelving verdragen. Bedelving door natuurlijke dynamiek kan aanzienlijk zijn. Op een tijdschaal van jaren worden in de bankenzone verticale verschillen gevonden voor één punt van een halve tot een meter per jaar (zie verder: bankendynamiek). Het is slecht bekend op welke tijdschaal deze sedimentverplaatsingen plaatsvinden; voor bodemdieren maakt het een groot verschil of dat binnen een dag, dan wel over meerdere maanden gebeurt. Uit jaarlijkse morfologische opnamen kan de relevante parameter, bedekingsnelheid, niet worden afgeleid.

In de duinen leidt bedelving tot afsterven van bepaalde soorten vegetatie, terwijl andere soorten zoals helm een minimale overstuiving nodig hebben omdat ze daarmee aan hun wortelparasieten kunnen ontgroeien. Het ontbreken van verstuing leidt al snel tot accumulatie van organische stof en verzuring, vooral in het Waddendistrict. Daardoor beïnvloedt overstuiving de samenstelling van de vegetatie. (Arens *et al.* 2012).

Uitspoeling van bodemdieren uit de vooroever is een fenomeen dat geregeld voorkomt bij stormen, en weerspiegeld wordt in het aanspoelen van grote hoeveelheden schelpdieren op het strand. Over de precieze omstandigheden die deze fenomenen aansturen is weinig kwantitatieve



informatie beschikbaar. Toch is het ongetwijfeld een belangrijke regulerende factor voor populaties van bodemdieren in de (ondiepe) vooroever, die leidt tot het terugzetten van de successie na een event dat krachtig genoeg is om uitspoeling te veroorzaken.

### **3.2.5 Zoet-zoutgradiënt**

Zoet-zout gradiënten in de waterkolom van de vooroever zijn van belang voor stroming en gehalte gesuspendeerd materiaal (zie boven, ROFI), maar de gradiënten zijn te klein om aan- en afwezigheid van soorten te verklaren. Dat gebeurt wel op het hoge strand en in de duinen, waar zoet-zout gradiënten in het grondwater een bepalende rol spelen voor de ecologie.

Onder de duinen ontwikkelt zich een zoetwaterbel, en bij zeewaartse uitbreiding van de zeereep beweegt ook die zoetwaterbel mee. Dat leidt, bijvoorbeeld bij groene stranden, tot een langzame verzoeting van de omgeving. Kustuitbreiding en kustafslag bij uitvoering van resp. achterwege blijven van suppleties op eroderende kusten kunnen ook leiden tot een verandering van de grondwaterstand in de duinen, waardoor duinpannen ecologisch worden beïnvloed maar ook de vegetatie van droge graslanden kan veranderen. Zoute nevel die eolisch naar de duinen wordt getransporteerd, heeft eveneens invloed op de vegetatie. Het transport van zoute nevel neemt af met de afstand tot de zee, waardoor duinuitbouw leidt tot verzoeting van de binnenste delen van het duin.

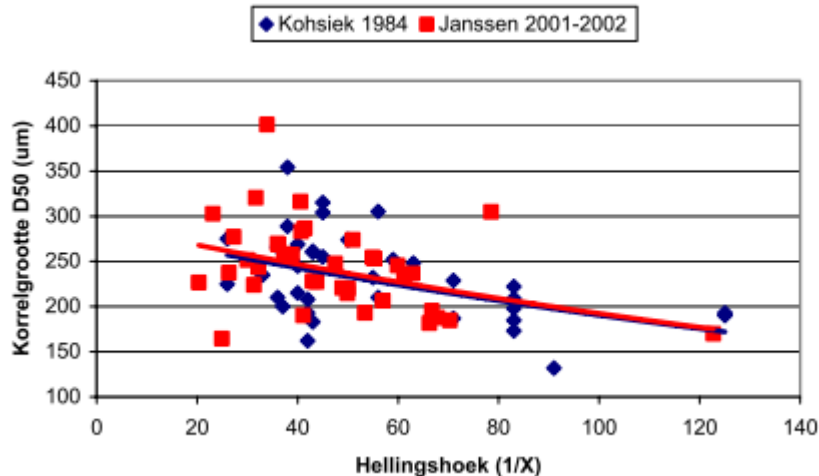
## **3.3 Habitatkarakteristieken kustlangse - gradiënten**

### **3.3.1 Kalkgehalte duinen**

De kalkrijkdom van het zand is een kustlangse gradiënt langs de Nederlandse kust, welke de duinvegetaties beïnvloedt. Er is een scheiding tussen het kalkhoudend (Renodunaal district) en kalkarm zand (Waddendistrict) bij Bergen. Vegetatietypes verschillen tussen beide types duinen. De oorzaak van het verschil in kalkrijkdom is de verschillende oorsprong van het zand.

### **3.3.2 Korrelgrootte van het sediment**

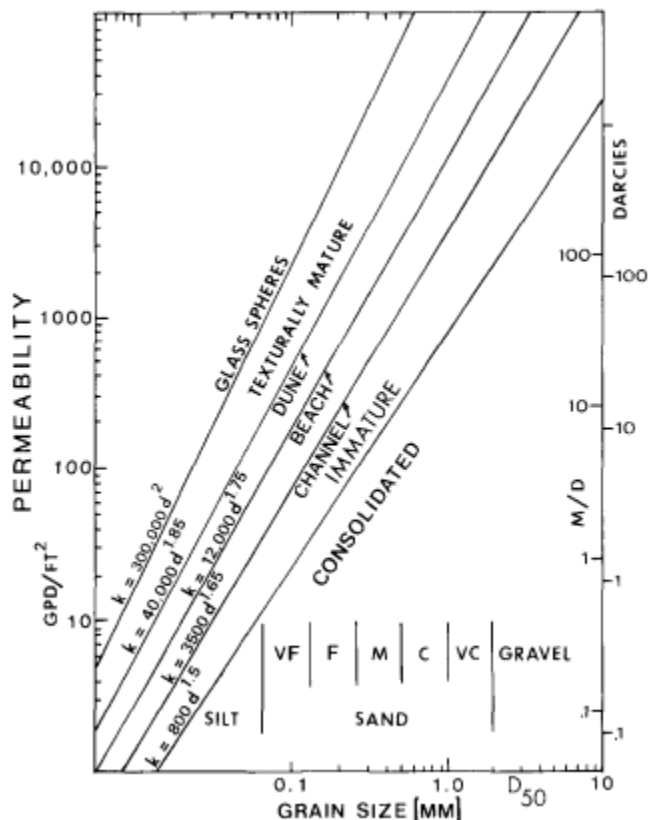
De korrelgrootteverdeling van het sediment is een belangrijke parameter voor de beschrijving van habitats, die zowel kustdwars als kustlangs varieert langs de Nederlandse kust. Het belang van de korrelgrootteverdeling is zowel fysisch als ecologisch. Fysisch bepaalt de korrelgrootteverdeling de valsnelheid van de partikels, de kritische bodemschuifspanning waarop erosie en transport van deeltjes begint, en de permeabiliteit van het sediment. Enigszins veralgemenend, zal fijn sediment bij een geringere stroomsnelheid eerder worden gemobiliseerd dan grof sediment. Een gevolg hiervan is dat de hydrodynamiek leidt tot sortering van het sediment. Als het aangeboden sediment, bv. uit kustlangs transport of uit suppleties, een bepaalde verdeling van korrelgrootte heeft, dan zullen kustdwarse transporten verschillende fracties op verschillende plaatsen afzetten. Over het algemeen zien we langs de Nederlandse kust een kustdwars profiel waarin de mediane korrelgrootte het hoogst is in de brandingszone, en afneemt richting duinen en richting de diepere vooroever. Dat laatste is evenwel variabel, en wordt mede bepaald door de geologische oorsprong van de sedimenten. De permeabiliteit is fysisch vooral van belang op het strand, omdat ze bepaalt hoe snel het water van de olopende golven in het sediment zijgt – hoe trager dit proces verloopt, hoe meer water terugstroomt en sediment met zich meeneemt. Omdat permeabiliteit afhangt van de korrelgrootteverdeling (permeabiliteit neemt sterk toe met mediane korrelgrootte, maar wordt verder ook bepaald door de hoeveelheid fijn materiaal dat poriën kan blokkeren), is er een correlatie tussen mediane korrelgrootte en steilheid van het strandprofiel Figuur 3.14.



Figuur 3.14 Relatie tussen mediane korrelgrootte van het strandzand, en de helling van het strand. Bij een fijne korrelgrootte zijgt het water van een oplopende golf traag in, en neemt het relatief veel sediment mee bij het terugvloeien, wat het profiel uitvlakt. Grover zand heeft een steiler profiel. Data van Janssen en Kohsiek (1984), na correctie voor methodologische verschillen, vallen uitstekend samen. Uit: Janssen en Mulder (2004)

Er zijn oude opnames van korrelgrootteverdeling van het strand (Kohsiek 1984, Van Bemmelen 1988) en de vooroever (Van Alphen 1987), maar het is niet gelukt recentere, systematisch verzamelde data te vinden. Dit is problematisch, gezien het grote ecologisch belang van korrelgrootteverdeling. Wel is er in het kader van divers wetenschappelijk onderzoek data op stranden verzameld, zoals in Tánčzos (1996), Koomans (2000), De Vries (2013) en Poortinga (2015).

Ecologisch is de korrelgrootteverdeling één van de belangrijkste omgevingsvariabelen voor de samenstelling van de bodemdierengemeenschap. Korrelgrootte is bepalend voor de stabiliteit van gangen in het sediment, de doorgraafbaarheid van het sediment, en de permeabiliteit (Figuur 3.15).



Figuur 3.15 Permeabiliteit versus korrel diameter (Shepherd 1989).

In zandige sedimenten, zoals die voorkomen langs de kust, is permeabiliteit wellicht de meest dominante factor. Stabiliteit van gangen speelt vooral bij de overgang cohesief-niet cohesief sediment, maar in zandige kusten is vooral niet-cohesief sediment voorhanden. Permeabiliteit bepaalt hoe sterk het interstitiële water mee stroomt met het bovenstaande water. In sterk permeabele sedimenten is deze doorstroming groot, waardoor deze sedimenten maar weinig fijn materiaal kunnen vasthouden. Zij zijn zeer arm aan koolstof, die echter van hoge kwaliteit is. Wanneer de doorstroming beperkter is, hoopt meer organisch detritus (van lagere kwaliteit) in het sediment op. Dat is gunstig voor deposit feeders die leven op deze voedselbron. Over het algemeen treedt er een verarming (in biomassa, dichtheid, aantal soorten) op naarmate het sediment grover wordt. Moons (PhD STW NatureCoast bij NIOZ, ongepubliceerde gegevens) bemonsterde een serie punten langs de Hollandse kust op een zelfde diepte van 6 m in 2014. Daarin bleek korrelgrootte bij verre de meest bepalende factor voor de soortensamenstelling en de soortenrijkdom te zijn. Zowel aantal soorten als dichtheid en biomassa namen snel af wanneer de korrelgrootte grover werd dan ongeveer 220  $\mu\text{m}$ . Korrelgrootte correleerde in de dataset met de tijd sinds laatste suppletie, en was de factor verantwoordelijk voor suppletie-effecten (d.w.z. verschillen in ecologische rijkdom tussen klassen stations die 0-5, 5-10, >10 jaar geleden waren gesuppleerd) die tot 10 jaar na suppletie bleken voor te komen. Wat niet duidelijk is uit deze eenmalige opname, is of korrelgrootte grover wordt door suppletie, dan wel of suppletie vooral voorkomt op meer geëxponeerde plaatsen die daardoor grovere korrel hebben. Waar relatief recent was gesuppleerd, werden echter wel op kleinere schaal grote verschillen in korrelgrootte gevonden, die overeenkwamen met de recente suppletiegeschiedenis.

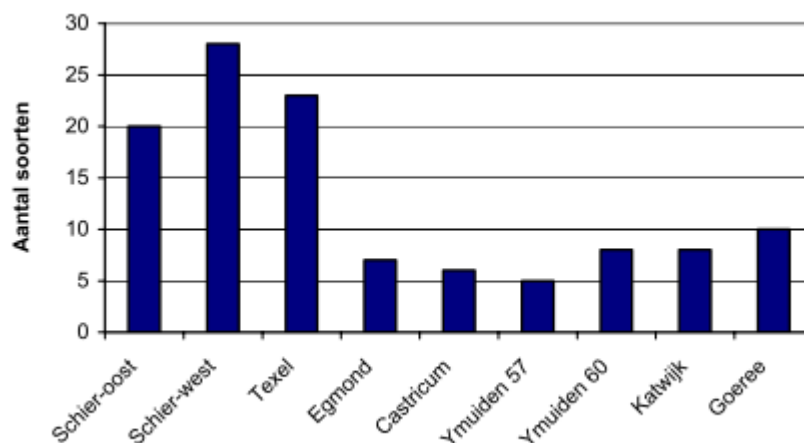
De sterke verklarende rol van korrelgrootte in deze studie langs de Hollandse kust is verrassend, omdat uit andere studies blijkt dat de verspreiding van soorten vaak meer afhankelijk is van fysieke factoren die met korrelgrootte correleren, dan van korrelgrootte *per se*. In een vergelijkende studie tussen Westerschelde en Oosterschelde vonden Cozzoli *et al.* (2013) dat soorten die in beide systemen voorkomen, verschillende optima met betrekking tot korrelgrootte vertoonden in de twee systemen. De meeste soorten kwamen in de Oosterschelde voor bij

grovere korrelgrootte dan in de Westerschelde, in overeenstemming met het feit dat de slibrijke Westerschelde onder vergelijkbare omstandigheden van stroming en golven slibrijkere sedimenten heeft. Mogelijk is korrelgrootte een betere verklaring in de studie langs de Hollandse kust omdat de andere omstandigheden relatief gelijk zijn. Een alternatieve verklaring is dat de respons niet lineair is, en dat de range in korrelgrootte die langs de kust wordt gevonden net de overgang tussen permeabele en niet-permeabele sedimenten omspant, waardoor de biogeochemische omstandigheden sterk veranderen bij relatief beperkte veranderingen in korrelgrootte. De estuariene sedimenten in Cozzoli *et al.* (2013) lagen over het algemeen in een fijnere range.

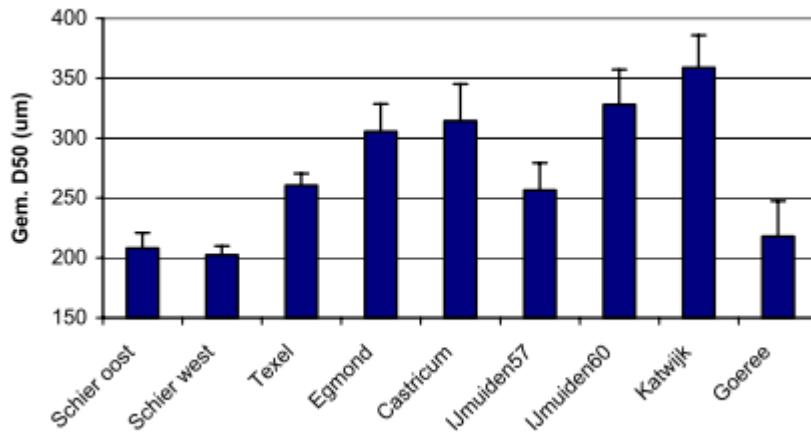
### 3.3.3 Blootstelling aan omgevingsvariabelen vs. menselijke veranderingen

Wijnberg (2002) onderzocht vele omgevingsvariabelen als mogelijke verklaring voor verschillend morfodynamisch gedrag op decennium-schaal in secties van de Hollandse kust: golfklimaat, getijarakteristieken, sedimentsamenstelling, geologische setting, grootschalige menselijke constructies en zandsuppleties. Zij concludeert dat vooral grote menselijke constructies, zoals havenhoofden en onderbrekingen van de kust, de meest significante invloed hebben. Bovendien reikt de invloed van deze constructies veel verder dan vaak wordt aangenomen, zodat bijna de gehele Hollandse kust erdoor wordt beïnvloed. De invloed van zandsuppleties (in de bestudeerde periode beperkter van omvang, en vaker op het strand ipv vooroever dan recent) op de decadale morfodynamiek was klein, behalve waar grote volumes tegelijk waren aangebracht. Een vergelijkbare studie naar de ecologische ontwikkeling op de schaal van decennia kan op dit ogenblik niet worden gemaakt, omdat de benodigde data ontbreken. Mogelijk is er een correlatie tussen de grootschalige langjarige morfodynamiek en de ecologie, maar beiden zouden ook significant verschillende evoluties kunnen vertonen, omdat de afhankelijkheid van eenzelfde variabele (bijvoorbeeld sedimentsamenstelling) sterk verschillend is.

Voor het strand is een kustlangse ecologische vergelijking gemaakt door Janssen & Mulder (2004). Zij beschrijven aanzienlijke verschillen in biodiversiteit, vooral tussen de stranden van de Waddeneilanden en de Hollandse kust (Figuur 3.16). Dit valt samen met een verschil in sedimentsamenstelling (Figuur 3.17), maar de data tonen geen heel sterk verband en de dataset is te klein om ook de mogelijke invloed van andere factoren grondig af te wegen.



Figuur 3.16 Aantal soorten gevonden per kustzone (Janssen & Mulder. 2004).



Figuur 3.17 Gemiddelde D50 per kustzone (Janssen & Mulder 2004)

Daarnaast speelt beheer een belangrijke rol, vooral voor de habitatkarakteristieken van de duinen. De vorm van beheer<sup>12</sup> van de vegetaties in het duin (bv. niets doen, begrazing, afplaggen, maaien,...) heeft daarnaast grote invloed op de samenstelling van de vegetaties. Vaak voorkomt actief ingrijpend beheer dat de vegetatie naar het climaxstadium evolueert. Dat is vooral het geval in Grijs Duinen en rond de valleien. Andere menselijke invloeden zijn het gebruik van duinen voor drinkwatervoorziening, met allerlei gevolgen voor grondwaterstand en het beheer daarvan. Een dominante menselijke invloed in de afgelopen decennia is stikstofdepositie uit de lucht. Deze veroorzaakt versnelde successie en verrijking van de vegetatie, en is een essentiële factor bij het kiezen van een beheerstrategie. Tenslotte is toerisme, betreding en verstoring een zeer belangrijke factor bij het beheer van duinen.

### 3.4 Naar een habitatclassificatie van de Nederlandse kust

Voor het droge deel van de Nederlandse kustlandschappen zijn verschillende classificatiesystemen voorhanden, die worden gebruikt bij het beheer en de studie van deze systemen.

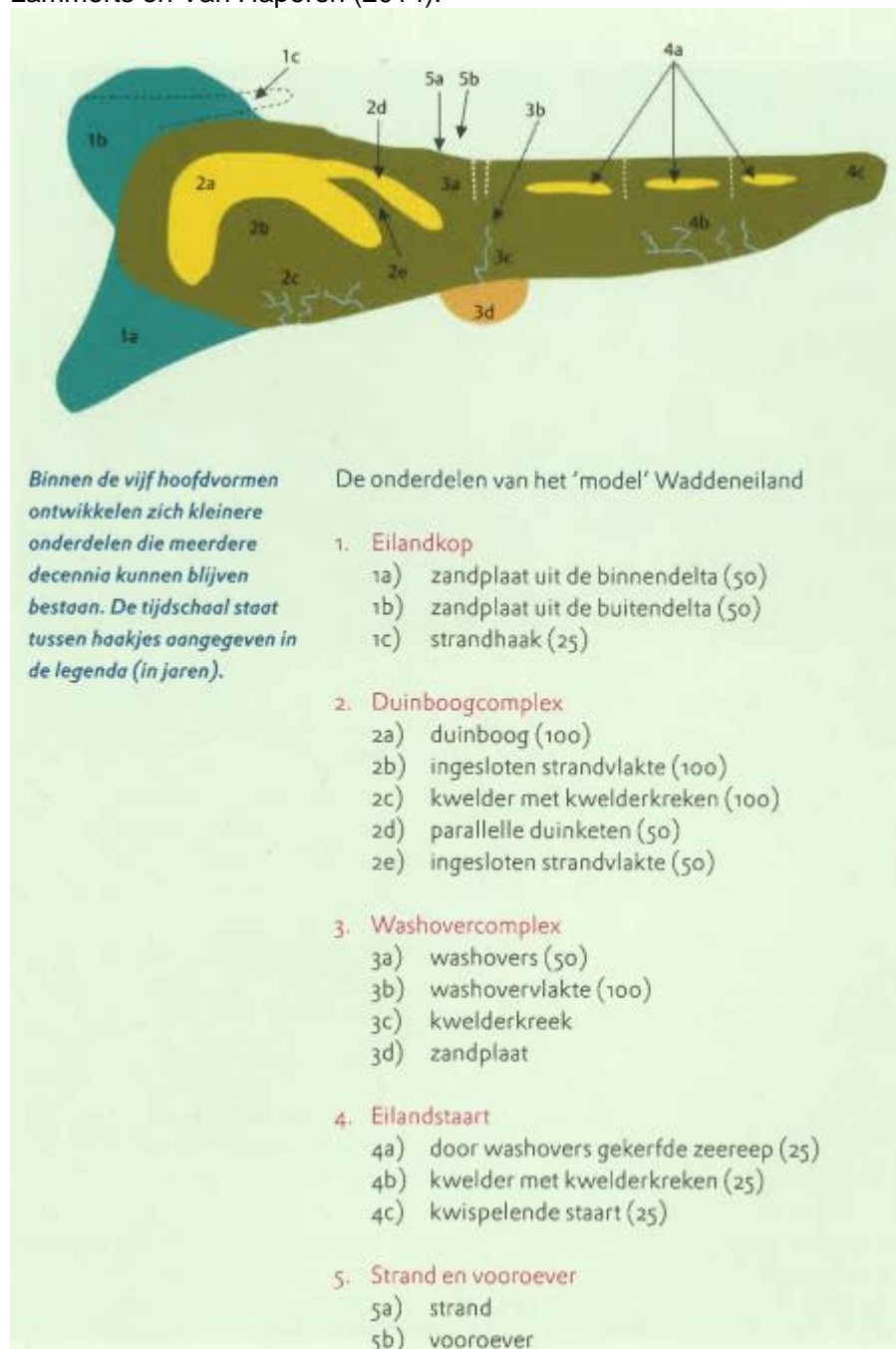
Er is een systematische classificatie van de dynamiek van de zeereep (Arens *et al.* 2010), die een onderscheid maakt tussen vijf dynamiekklassen. Er is aangetoond dat de factoren waarop de dynamiekklassen zijn gemaakt in belangrijke mate sturend zijn voor de mate van overstuiving en dus de geomorfologische dynamiek van het achterliggende duin. De dynamiek van de zeereep is daarom ook een belangrijke intermediaire factor tussen suppleties (die voor het duin vooral een extra bron van zand vormen) en de ecologische consequenties in de duinen. Niet zozeer de extra toevoer van zand *per se*, maar de combinatie van zandtoevoer met dynamiekklassen bepaalt of er substantieel meer zand in het bestaande duin zal komen wanneer de toevoer toeneemt, dan wel of er vooral primaire duinvorming in de zeereep zal optreden. Het beheren van de dynamiek van de zeereep is tot op zekere hoogte mogelijk, waardoor de dynamiekklassen van de zeereep een belangrijk uitgangspunt is om een beheerstrategie voor het duin op te stellen.

Behalve de classificatie in dynamiekklassen, is er ook een classificatie naar Natura2000 habitattypes voor de Nederlandse duinen. Het principe van deze classificaties is besproken in

<sup>12</sup> 'Beheer' in dit rapport wordt in brede zin verstaan. 'Niets doen en de natuur zijn gang laten gaan' wordt uitdrukkelijk ook als een vorm van beheer beschouwd: het is immers één van de mogelijke houdingen van de mens tegenover de natuur, die net als andere houdingen moet worden overwogen, ingesteld en geëvalueerd. Dit zal verderop in de tekst niet steeds worden herhaald.

sectie 3.2.2., waar ook een voorbeeld is gegeven. In principe zijn voor alle Natura2000 gebieden kaarten van de habitattypes voorhanden. Dat neemt natuurlijk niet weg dat binnen die habitattypes nog verschillen in vegetaties en hun rijkdom voorkomen, maar ook hierover zijn voor geselecteerde gebieden vele gegevens voorhanden. In vergelijking is de habitatclassificatie voor de vooroever nog in een beginstadium.

Voor de droge kustlandschappen is er, naast vorige classificaties, ook een landschapsecologische classificatie voorhanden. Een voorbeeld wordt getoond in Figuur 3.18, die de belangrijke elementen in het landschap van een (geïdealiseerd) Waddeneiland weergeeft. Vergelijkbare schema's zijn gemaakt voor de andere twee hoofdtypen van duinlandschappen, de gesloten Hollandse kust en de Zeeuwse kust. Een uitgebreide bespreking wordt gegeven in Lammerts en Van Haperen (2014).



Figuur 3.18 Geïdealiseerde landschapselementen voor een Waddeneiland. De verschillende subsystemen worden op de kaart aangegeven. Details worden besproken in Löffler et al. (2008). Overgenomen uit Lammerts en Van Haperen (2014), waarin ook de verschillende elementen worden beschreven en besproken.

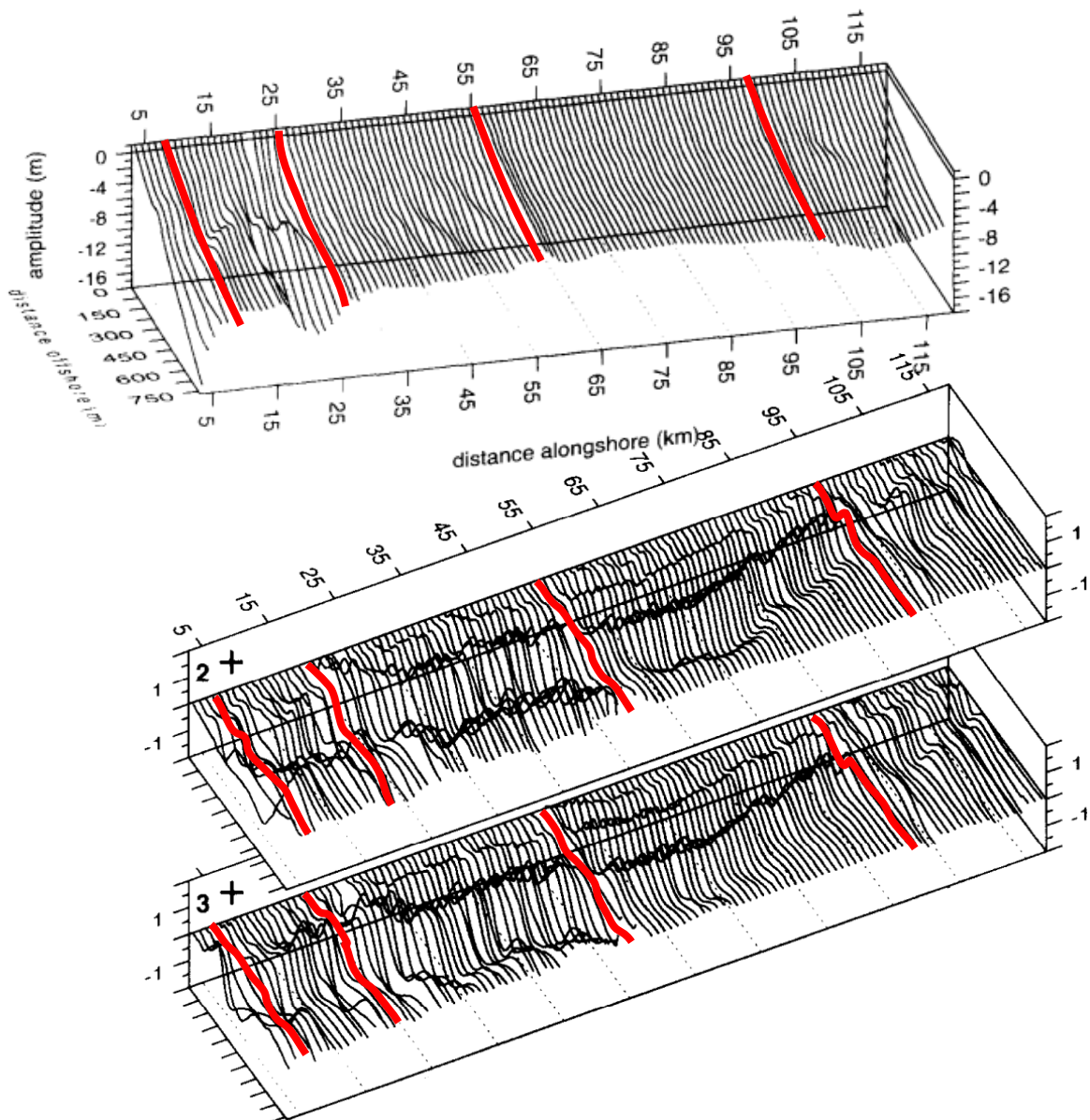
Voor het strand en vooroever bestaan habitatclassificaties op grond van de EU habitatrichtlijn, EUNIS (European nature information system), MESH (Mapping European Seabed Habitats), OSPAR, RWS Noordzee ecotopenkaart 2004, etc., maar de resolutie hiervan is onvoldoende om de habitatdiversiteit van de zandige kust te karakteriseren. Een belangrijke vraag is of de beschikbaarheid van een dergelijke classificatie de praktijk van suppleren of het inschatten van de ecologische gevolgen ervan zou kunnen beïnvloeden. Er zijn elementen die tot een positief antwoord leiden. Sommige zones (bv. sommige kustvakken) kunnen fysisch-morfologisch diverser zijn dan andere, of op een andere manier functioneren. Dat zou aanleiding kunnen geven tot een verschillende faunasamenstelling. De impact van een suppletie zou daardoor kunnen verschillen. Ook zou de suppletie-aanpak kunnen verschillen, bijvoorbeeld door andere interactie met geulen of bankensystemen.

Gebaseerd op de kennis van factoren die de verspreiding van bodemdieren en vissen in de vooroever bepalen, zou een habitatclassificatie gebaseerd kunnen worden op volgende fysische, geologische en biogeochemische kenmerken:

- Diepteprofiel
- Aanwezigheid en dynamiek van banken
- Lange-termijn cycliciteit, bv. door aanlanden zandbanken of variaties in geulligging
- Sterkte van de golfverstoring
- getijdenamplitude
- Overgangen naar getijdengeulen, al dan niet deel uitmakend van buitendelta's
- Korrelgrootteverdeling
- Voedselrijkdom (bv. primaire productie, chlorofylconcentratie) in functie van ROFI's en uitwisseling met getijdenbekkens

De effectiviteit van een classificatie kan getest worden door vergelijking met biologische gegevens over vis en bodemdieren, wanneer een voldoende dekkende database is ontwikkeld.

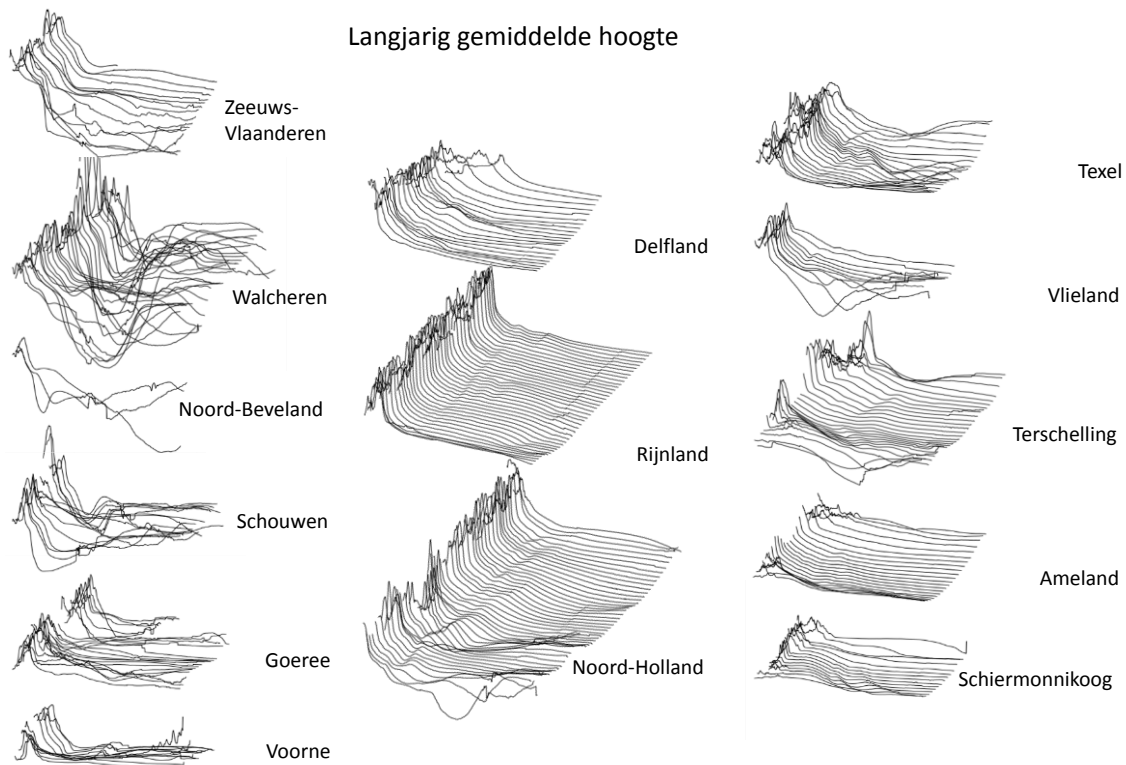
Morfologisch is een classificatie opgesteld voor de Hollandse kust door Wijnberg en Terwindt (1995), op basis van Empirical Orthogonal Functions. De methodiek is in staat de belangrijkste morfologische karakteristieken af te leiden uit de gegevens van de Jarkus-raaien. Figuur 3.19 toont de dominante variaties in de dataset: de helling en algemene vorm van het profiel, de ontwikkeling van een dubbel-bank systeem, en de ontwikkeling van een systeem van drie banken. Deze resultaten zijn gebaseerd op data voorafgaand aan de huidige strategie van suppletie. Tot 2000 werd er in totaal een kleiner volume (6 miljoen m<sup>3</sup> per jaar) gesuppleerd, waarvan een groter deel in de vorm van strandsuppleties. Tegenwoordig wordt er in totaal meer gesuppleerd (12 miljoen m<sup>3</sup> per jaar), en veel meer op de vooroever. De auteurs onderscheiden een aantal zones met verschillend morfodynamisch gedrag. De methodiek is in staat om essentiële karakteristieken helder te representeren; een herhaling met recentere profielen en over de gehele Nederlandse kust zou zeer interessant zijn.



Figuur 3.19 De dominantie variaties voor de Hollandse kust, de helling en algemene vorm van het profiel, de ontwikkeling van een dubbel-bank systeem, en de ontwikkeling van een systeem van drie banken (Wijnberg *et al.* 1995). De longitudinale as geeft de afstand (in Km) naar het zuiden vanaf Den Helder weer. De rode onderverdelingen zijn door ons aangebracht, als weergave van de analyse die in de oorspronkelijke publicatie is gemaakt.

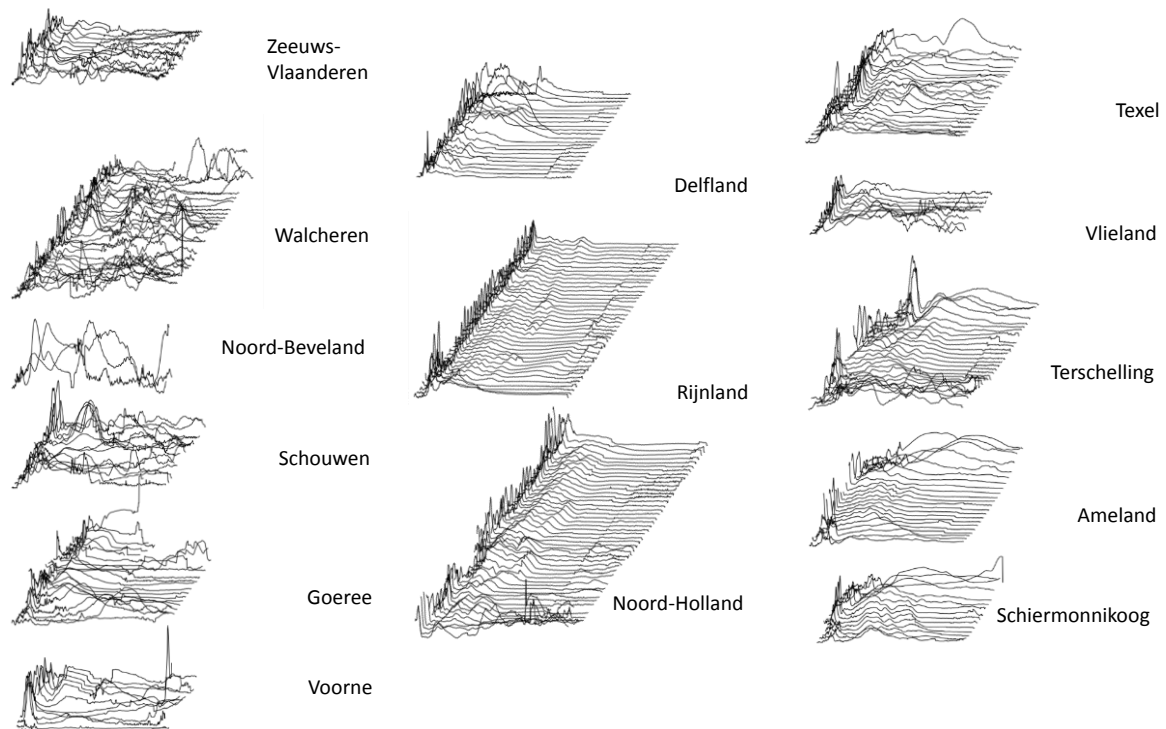
In een eerste benadering kan een vergelijkbaar beeld worden verkregen door het langjarig tijdsgemiddelde van de Jarkus-raaien te plotten (wat goed overeenkomt met de eerste EOF), en de standaarddeviatie rond het tijdsgemiddelde. Figuur 3.20 en Figuur 3.21 geeft dit voor alle raaien langs de Nederlandse kust, met uitzondering van raaien die in de richting van de zeegaten zijn gekeerd en sterk worden beïnvloed door de geulendynamiek van de zeegaten. Voor deze figuren zijn alle beschikbare raaien over de gehele bemonsteringsperiode gebruikt, maar deze set zou in verschillende tijdspannen kunnen worden opgedeeld.





Figuur 3.20 Langjarige gemiddelde Jarkus hoogte langs de Nederlandse kust, met uitzondering van raaien die in de richting van de zeegaten zijn gekeerd en sterk worden beïnvloed door de geulendynamiek van de zeegaten.

#### Standaarddeviatie van de jaarlijkse hoogteopname



Figuur 3.21 Langjarige standaarddeviatie van de jaarlijkse Jarkus hoogte langs de Nederlandse kust, met uitzondering van raaien die in de richting van de zeegaten zijn gekeerd en sterk worden beïnvloed door de geulendynamiek van de zeegaten

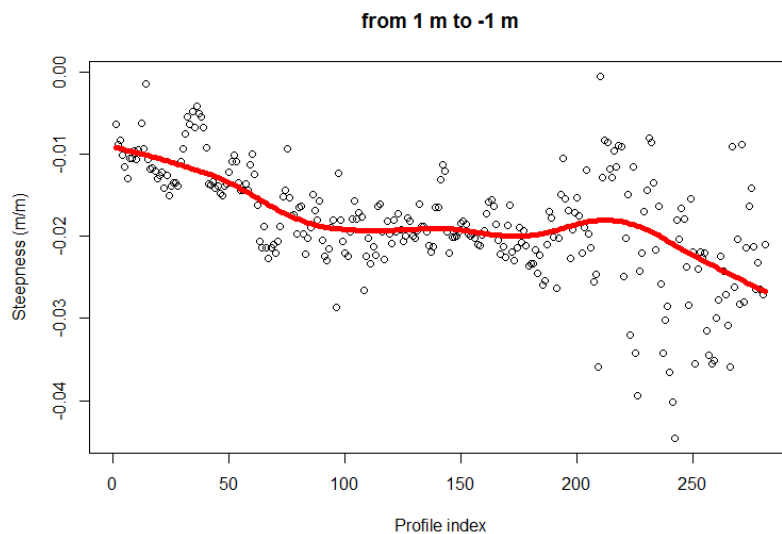
Een aantal opvallende karakteristieken komt hieruit naar voren. Er is een groot verschil in variabiliteit, zowel in ruimte als in tijd, tussen de Zeeuwse kust en de rest van de Nederlandse kust. De dynamiek van geulen en zeegaten, die dicht bij de kust liggen, speelt in Zeeland een

belangrijke rol. Te verwachten is dat de grote ruimtelijke variabiliteit een weerslag kan hebben in de diversiteit van de gemeenschappen, maar dat is niet goed onderzocht. Een vergelijkende studie van bodemdiergemeenschappen langs de gehele Nederlandse kust zou hierover meer duidelijkheid kunnen brengen. Daarbij kan de dataset verzameld in het kader van compensatie Maasvlakte II, en eerder in de Voordelta-studie van begin jaren 1990, hieraan ook een (beperkt) historisch perspectief toevoegen.

De Hollandse kust wordt gekenmerkt door een relatief hoge ruimtelijke uniformiteit, en een voorspelbare variatie in de tijd door de dynamiek van twee of drie banken. Die banken komen voor op voorspelbare plaatsen, zoals blijkt uit de standaarddeviatie. In Delfland is een verhoogde variatie in het zuiden die wordt veroorzaakt door de aanleg van de zandmotor, maar die waarschijnlijk ook de aanzanding bij Hoek van Holland weerspiegelt.

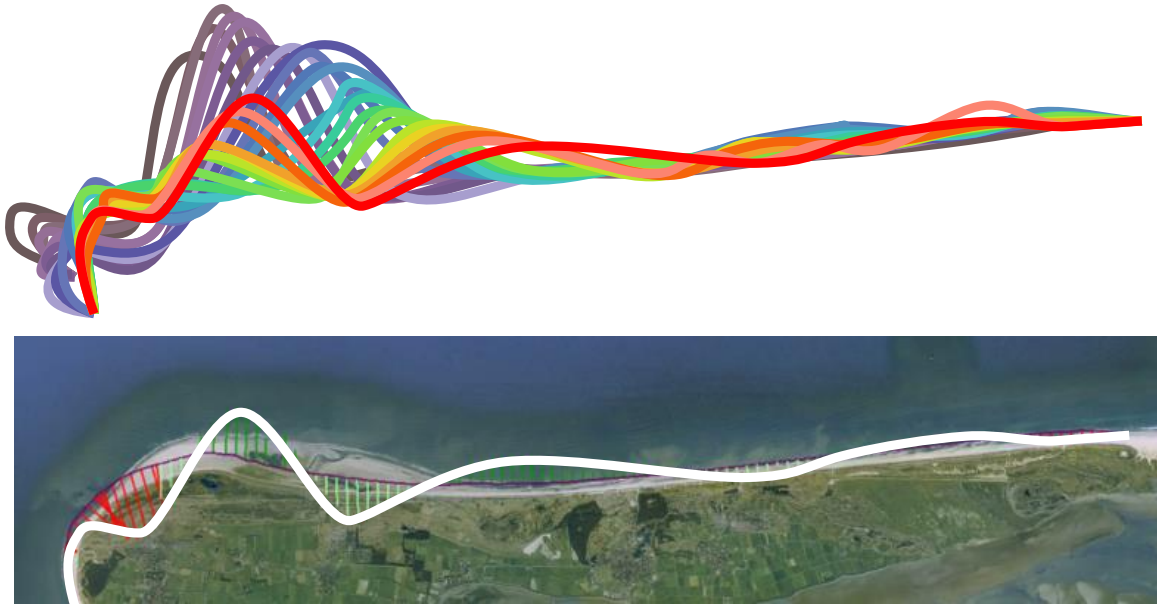
De Waddeneilanden kennen een fijnere sedimentsamenstelling waar het vlakkere profiel dan de rest van de Nederlandse kust waarschijnlijk een gevolg van is. Beïnvloeding door geulen van buitendelta's is beperkt tot profielen aan de koppen en staarten die gericht zijn naar het zeegat (niet getoond). De noordkust van de Waddeneilanden kent een variatie in de tijd die afneemt van west naar oost, en verband houdt met het aanlanden van zand vanuit de buitendelta's. Dit zand beweegt vervolgens oostwaarts, en kan ritmische patronen langs de kust veroorzaken

De steilheid van het tijdsgemiddelde profiel toont een gradiënt van steilere kusten in Zeeland tot vlakkere in de Wadden. Ook hier is de variabiliteit groter langs de Zeeuwse kusten. Dit wordt geïllustreerd door het profiel rond de strandzone in Figuur 3.22, maar is ook voor andere diepteranges gevonden.



Figuur 3.22 Helling (m/m) van de zone tussen +1m NAP en -1m NAP voor kilometervakken langs de Nederlandse kust. De vakken met bruikbare data zijn opeenvolgend getoond, maar de zones zijn niet expliciet aangegeven. De volgorde start in Schiermonnikoog en eindigt in Zeeuws-Vlaanderen.

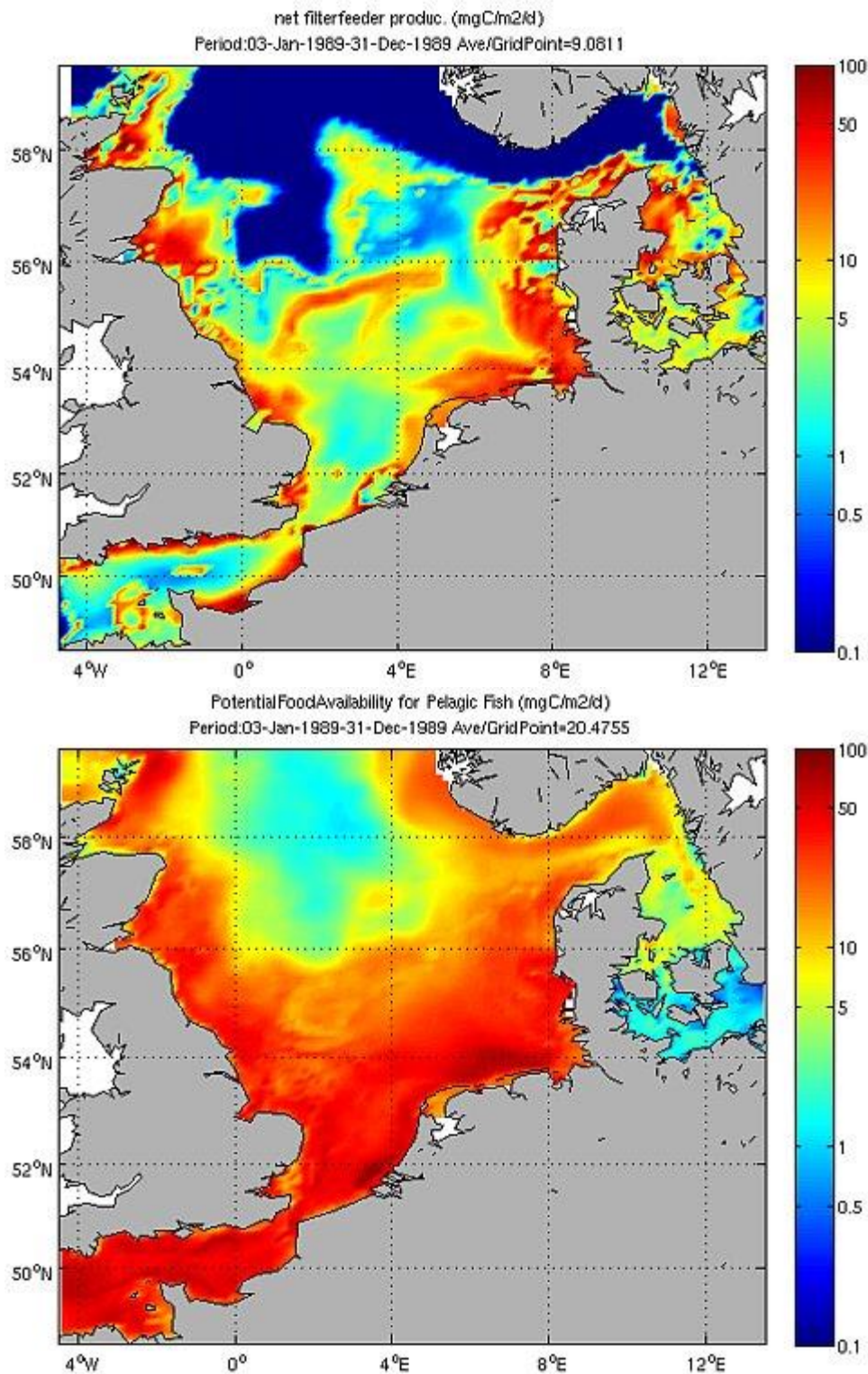
De periodieke aanlanding van zandplaten op de Waddeneilanden geeft aanleiding tot een golfvormig patroon van erosie en accretie langs de eilandkust, zoals geïllustreerd in Figuur 3.23 voor Ameland. Getoond wordt de omhullende van de grafieken die accretie/erosie voorstellen ten opzichte van de basiskustlijn, en hoe die omhullende evolueert in de tijd (van bruine, over blauwe naar rode tinten). De onderste figuur illustreert voor één punt in de tijd hoe de omhullende is getrokken: het is een lijn die de uiteinden van de vectoren verbindt, die voor elke raai aangeven of er een accretie of erosie ten opzichte van de basiskustlijn plaatsvindt. In de bovenste figuur zijn alle omhullenden in de tijd samengebracht en met kleurcodering gemerkt. Het is duidelijk dat deze ritmische ontwikkeling gevolgen heeft voor de ligging en dynamiek van de kustlijn, en voor de ontwikkelingsmogelijkheden van duinsystemen aan deze kusten.



Figuur 3.23 Periodieke aanlanding van zandplaten op de kop van Ameland. De rode en groene vectoren in de onderste figuur geven voor een bepaald ogenblik in de tijd (hier de laatste opname van 2014) aan of de tendens van de kustlijn accretie of erosie is. Bij accretie wijzen de vectoren vanaf de basiskustlijn zeewaarts, bij erosie landwaarts. De 'omhullende' is de lijn die de eindpunten van de vectoren van de verschillende raaien verbindt. In de bovenste figuur zijn alle omhullenden in de loop van de tijd gesuperponeerd, met een kleurcodering die evolueert van bruin over blauw naar rood in de loop van de tijd.

Synoptische kaarten van korrelgrootteverdeling in de vooroeverzone zijn niet beschikbaar. Er kan een zekere correlatie worden verwacht met de morfologische karakteristieken, maar er spelen ook geologische factoren een rol, waardoor het beeld ingewikkelder zou kunnen zijn. Dit is een factor in de habitatbeschrijving die relatief gemakkelijk zou zijn aan te vullen.

Schattingen van de basis van het voedselweb in de kustzone kunnen worden gebaseerd op modelberekeningen. Met behulp van het ERSEM model heeft NIOZ schattingen gemaakt van primaire productie, groeimogelijkheden voor bodemdieren (getoond zijn filtrerende bodemdieren) en benthische en pelagische vis. Er zijn hotspots van primaire en secundaire productie in de ondiepe zone buiten de Zeeuwse eilanden en ten noorden van de Waddenzee, waar veel nutriënten aanwezig zijn in relatief helder water. Langs de Hollandse kust is het water wat troebeler, waardoor de productie minder hoog uitvalt. Op de schaal van dit model zijn de verschillen in de kustzone echter niet heel groot, en is de hele Nederlandse kustzone een hotspot van productiviteit in de Noordzee. Of productie significant zal bijdragen aan het verklaren van verschillen in gemeenschappen van de vooroever is niet zeker; hiervoor zijn fijschaliger modellen benodigd.



Figuur 3.24 Output van het ERSEM model (NIOZ). De bovenste kaart toont de voedselbeschikbaarheid voor filterende bodemdieren, de onderste voedselbeschikbaarheid voor pelagische vis. Bron: <https://www.nioz.nl/wsrc-waddenseamodel-16-3-16>.

Samenvattend: Veel van de noodzakelijke data over morfologie en de dynamiek ervan zijn aanwezig vanuit lodingen en Jarkus raaien. Er kan beroep worden gedaan op morfodynamische modellen om essentiële dynamiekinformatie af te leiden. Er zijn biogeochemische data en productiemodellen die kunnen worden getest op hun bijdrage aan de classificatie. De enige relevante data die lijken te ontbreken is informatie over korrelgrootteverdeling. Verder is de methodiek van de EOF, uitgewerkt op historische data, een uitstekende methode om complexe

datasets samen te vatten. Het maken van een habitatclassificatie voor de vooroever lijkt daarom een haalbare kaart, mits alle benodigde data kunnen worden samengebracht. Van groot belang is echter dat er ook faunagegevens beschikbaar zijn, om te toetsen of de classificatie kan worden gevalideerd.

Het opstellen van een uitgebreide en volledig uitgewerkte habitatclassificatie van de vooroever zou veel werk vergen, en niet gevalideerd kunnen worden zonder beschikbare ecologische gegevens. Voorgesteld wordt om aan de verzameling van gegevens voorrang te geven, en de habitat- en gemeenschapsclassificatie gezamenlijk op te pakken wanneer de databases voorhanden zijn.

De habitatclassificatie voor de vooroever kan worden gebruikt op vergelijkbare manier als de classificaties van duinen en zeerepen hun nut hebben bewezen bij het beheer van die systemen, en bij het onderzoeken van hun kwetsbaarheid voor ingrepen zoals suppleties. De classificatie kan aangeven waar de meest kwetsbare gemeenschappen voorkomen, hoe divers ze zijn en in welke mate ze blijvend kunnen worden aangetast door ingrepen.

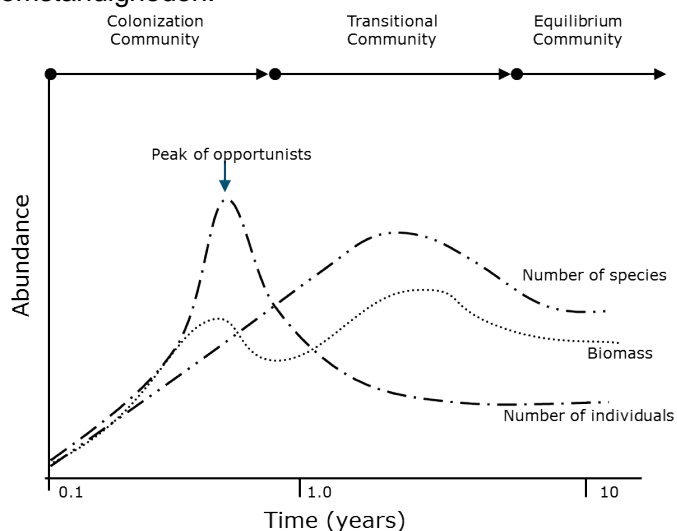
## 4 Ecologische processen: Herstel van gemeenschappen na grote verstoringen: successiedynamiek

### 4.1 Successie en functionele types van organismen

De omgeving in de kuststrook is niet constant in de tijd. Zowel door natuurlijke oorzaken, bijvoorbeeld stormen die een deel van een duin afslaan of grote pakketten zand verplaatsen in de vooroever, als door menselijk handelen (bv. aanleggen van een kerf in het primaire duin, zandsuppletie op strand of vooroever) komen plotse grote verstoringen voor, die de fauna of flora geheel of gedeeltelijk doen afsterven. Na een dergelijke verstoring komt 'successie' op gang: de geordende en in zekere mate voorspelbare opeenvolging in de tijd van verschillende soorten. Het algemene patroon van successie wordt in Figuur 4.1 geïllustreerd voor bodemdieren, maar is in principe vergelijkbaar voor vegetatie.

Na een sterke verstoring als gevolg van natuurlijke dynamiek (bv. bedelving door bankendynamiek) of menselijke verstoring (bv. dumping van suppletiezand, organische aanrijking, verslibbing van een sediment) wordt de lege nicheruimte ingenomen door opportunistische soorten. Dit zijn kleine soorten met een zeer hoge reproductie- en verspreidingscapaciteit, die zeer snel hun larven of zaden in de vrijgekomen ruimte kunnen laten toekomen, een korte levenscyclus hebben en door lokale reproductie verder kunnen toenemen. Deze soorten (de *r*-strategen) zijn klein, zodat de totale biomassa van de gemeenschap trager toeneemt dan de totale dichtheid. Na de eerste kolonisatiefase worden deze soorten opgevolgd door grotere, trager levende en minder snel reproducerende soorten (de *K*-strategen), die echter beter gespecialiseerd zijn in het gebruiken van de voedselbronnen en beter kunnen concurreren. Dit proces gaat door een aantal overgangsfases, en eindigt bij een 'evenwichtsgemeenschap' die gedomineerd wordt door de soorten die het beste kunnen concurreren, binnen de grenzen van de fysische randvoorwaarden die ter plekke heersen. Verwacht kan worden dat successie in een zone die van nature sterk onderhevig is aan verstoringen, sneller uitkomt bij de evenwichtssituatie, dan successie in een zone die van nature rustig is en dus zal worden gedomineerd door soorten die uitmunten in concurrentiekracht.

Van belang is te benadrukken dat reële soorten een intermediaire positie kunnen innemen in het *r*-*K* continuüm, en dat reële gemeenschappen altijd een mix zijn van verschillende types, maar wel met een overwicht van het ene tegenover het andere type, afhankelijk van de omstandigheden.

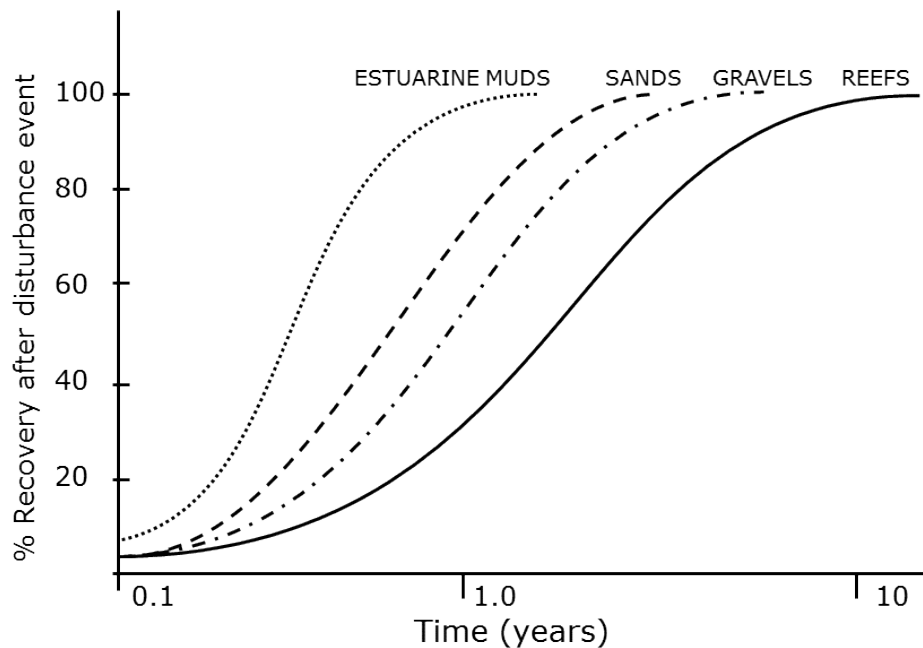


Figuur 4.1 Schematische successie van een bodemdiërgemeenschap na een verstoring.

Er treedt aanvankelijk een piek op van r-strategen (opportunisten), waarna geleidelijk de oorspronkelijke gemeenschap zich weer herstelt. De precieze duur van de rekolonisatie hangt af van het type gemeenschap (zie Figuur 4.1).

## 4.2 Hersteltijd en verschil in gevoeligheid van gemeenschappen

De tijd die nodig is om volledig te herstellen van een verstoring, verschilt daarom tussen verschillende bodemdiergemeenschappen (Figuur 4.2). Gemeenschappen van estuariene slibbige sedimenten, van nature samengesteld uit soorten die relatief kortlevend zijn en snel verspreiden, herstellen sneller dan in grindgemeenschappen, gedomineerd door grote, traag reproducerende, concurrerende soorten.

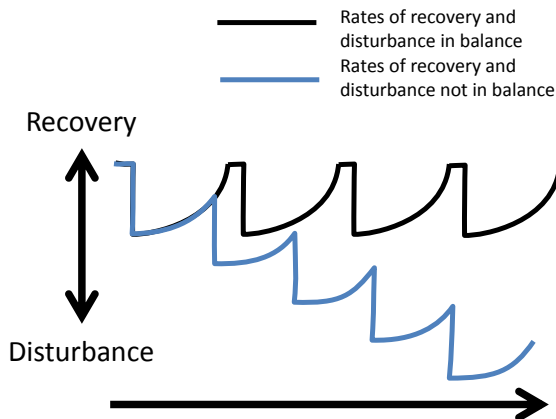


Figuur 4.2 De herstelduur is niet gelijk voor alle gemeenschappen van bodemdieren. Estuariene slibbige sedimenten bevatten over het algemeen kleine kortlevende soorten die zich snel herstellen, terwijl de langste herstelduur wordt gevonden voor biogene riffen ('biobouwers') die een sterke invloed hebben op hun omgeving, en daarom moeilijk kunnen vestigen op een kale bodem.

Van speciaal belang zijn de processen van facilitatie en 'biobouwen' ('ecosystem engineering') die tijdens de successie kunnen optreden. Intra- of interspecifieke facilitatie treedt op wanneer soorten de fysische omgeving waarin ze voorkomen veranderen, waardoor die omgeving geschikter wordt voor andere organismen. Dit geeft aanleiding tot een zelfversterkend effect, waarin het voortbestaan of verder ontwikkelen van een gemeenschap afhangt van het reeds voorkomen van de biobouwer. Vaak is het extreem moeilijk voor een biobouwer om zich te vestigen, maar nadat vestiging is gelukt wordt de omgeving 'vriendelijker' gemaakt zodat voortbestaan van de gemeenschap wordt gefaciliteerd. Voorbeelden hiervan zijn mosselbedden, die zich zeer moeilijk vestigen, maar een grotere kans krijgen de winter te overleven naarmate ze langer bestaan en zich steviger hebben vastgemaakt in het sediment. Het herstellen van dergelijke biologisch bepaalde biobouwergemeenschappen kan extreem lang duren. In de Waddenzee kostte het herstellen van de mosselbedden in de getijdenzone van de Oostelijke Waddenzee, nadat ze rond 1990 bijna volledig waren weggevisst, ongeveer 15 jaar. In de westelijke Waddenzee is herstel uitgebleven. Biobouwen is in de kustzone vooral van belang in de duinen (maar ook in kwelders en groene stranden), waar vegetatie een sleutelrol speelt in het vastleggen van zand en de primaire bodemvorming.

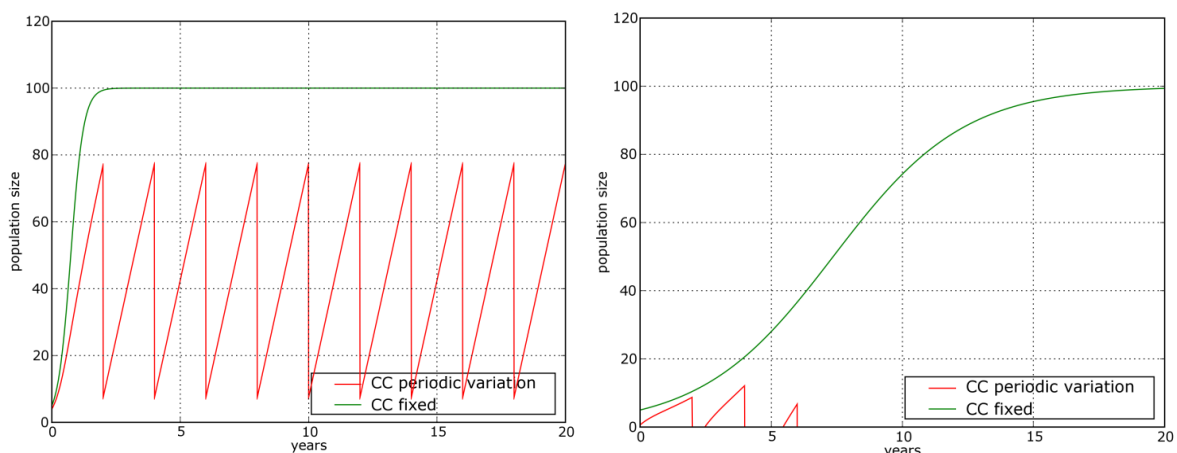
### 4.3 Cumulatief effect van herhaalde verstoringen

Wanneer verstoringen herhaaldelijk worden opgelegd, is een belangrijke maat voor de langjarige stabiliteit van het systeem de ratio tussen de tijd tussen verstoringen, t.o.v. de natuurlijke hersteltijd van de gemeenschap. Hoe frequenter de verstoring in verhouding tot de hersteltijd, hoe groter de kans dat sommige soorten herhaaldelijk te laat komen om opnieuw een populatie uit te bouwen voordat de nieuwe verstoring optreedt, en hoe groter de kans dat dergelijke soorten uit de regionale species pool verdwijnen. Figuur 4.3 toont het conceptuele model van Palumbi *et al.* (2008) hiervoor.



Figuur 4.3 Stabiliteit van een systeem bij herhaaldelijke verstoringen (Palumbi *et al.* 2008)

In Baptist *et al.* (2009) is dit conceptuele principe modelmatig toegepast op de respons van *r*-strategen en *K*-strategen middels onderstaande figuren:



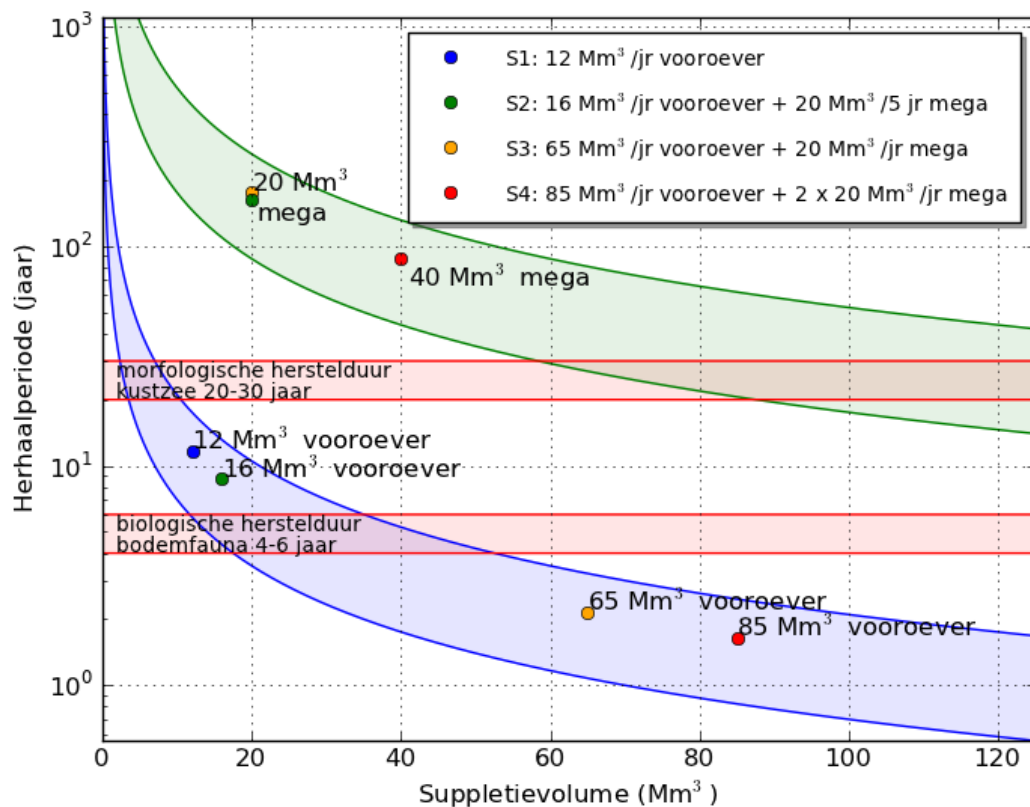
Figuur 4.4 Groeicurve voor een *r*-strategie (links) en een *K*-strategie (rechts) bij tweejaarlijks herhaalde begraving door een suppletie. Groen: groeicurve zonder verstoring, rood: groeicurve met verstoring.

Het is vooral nog onduidelijk of dit principe ook in het veld van toepassing is op verstoringen die worden veroorzaakt door suppleties. Als het voorkomt, dan zal het met name soorten en gemeenschappen treffen die een lange hersteltijd hebben (de *K*-strategen). Gemeenschappen in de vooroever die hiervoor in aanmerking komen zijn wellicht schelpdierbanken en misschien wormenbanken, die als biobouwers een langere hersteltijd nodig zouden kunnen hebben. In de duinen is geen sprake van rechtstreekse verstoring door suppleties, en bodemdiergemeenschappen van stranden reageren zeer snel, waardoor het onwaarschijnlijk is dat het effect daar voorkomt.

Onderzoek dat is uitgevoerd naar de rekolonisatie van de bodemfauna bij vooroeversuppleties wijzen op een biologische herstelperiode van 4 tot 6 jaar (Rozemeijer, 2009). Het gesuppleerde sediment vormt een nieuw substraat waarbij het herstel voornamelijk wordt bepaald door



biologische processen. Het begint met een eerste kolonisatie van opportunistische soorten als wormen. Daarna volgen binnen een jaar diverse soorten die deel uitmaken van een complete levensgemeenschap. De daarop volgende jaren herstelt de biomassa en vervolgens de leeftijdsopbouw. Wanneer de herhaalperiode van vooroever-suppleties korter is dan de herstelperiode van 4-6 jaar kunnen levensgemeenschappen niet volledig herstellen. Bij megasuppleties spelen morfologische processen een grote rol. Ter plaatse van de megasuppletie wordt de ondiepe kustzee immers veranderd in een strand- en duinlandschap en pas over 20-30 jaar wanneer de megasuppletie onder water verdwijnt, herstelt de bodemdiergemeenschap zich. In de nabijheid van de megasuppletie zullen veranderende habitatomstandigheden de bijbehorende bodemdiergemeenschap wel kunnen wijzigen. Het verschil tussen beide vormen van suppleties is geïllustreerd in Baptist & Wiersinga (2012) voor verschillende scenario's van suppletievolumes langs de Nederlandse kust, Figuur 4.5.



Figuur 4.5 Herhaalperioden van suppleties als functie van het totale jaarlijks suppletievolume. Het blauwe interval omvat vooroever-suppleties, het groene interval megasuppleties. De rode intervallen geven het biologisch herstel van de bodemfauna en het morfologisch herstel van de kustzee. De gekleurde stippen geven de gemiddelde herhaalperiode voor ieder van vier scenario's. Bron: Baptist & Wiersinga (2012).

#### 4.4 Reacties op blijvende veranderingen in de fysische omstandigheden

Herhaalde ingrepen, bv. suppleties, kunnen niet alleen zorgen voor een momentane verstoring, waarna de gemeenschap na verloop van tijd (afhankelijk van de soorten en hun kenmerken) terug kan keren naar de oorspronkelijke situatie. In de mate dat de herhaalde ingrepen de fysische habitatkarakteristieken veranderen, kan worden verwacht dat de gemeenschap na verstoring niet terugkeert naar de uitgangssituatie, maar naar een nieuwe gemeenschap die is aangepast aan de fysische veranderingen.

Herhaalde suppleties kunnen, zowel in vooroever als op het strand en in de zeereep, aanleiding geven tot dergelijke langdurige veranderingen in habitatkarakteristieken. Voorbeelden van cumulatieve veranderingen (kunnen) zijn: omslag van een afslagkust naar een aangroekust, veranderingen van korrelgrootte in de vooroever of op het strand, veranderingen in bankdynamiek, veranderingen in kalkgehalte van het instuivende duinzand, veranderingen in grondwaterstand door aangroei/afslag van duinen, etc. De meeste van deze aspecten worden in Deel B van dit document in meer detail besproken. Duidelijk is dat een conceptueel model moet uitgaan van blijvende veranderingen in de ecologische gemeenschap als gevolg van deze veranderingen. Overigens kunnen die veranderingen, afhankelijk van de omstandigheden, leiden tot een verhoging of verlaging van dynamiek en tot een verhoging of verlaging van diversiteit, zowel op het niveau van habitats als van soorten.

#### **4.5 Natuurlijke en geforceerde successie**

Successie is het proces waarbij gemeenschappen in samenstelling veranderen als gevolg van interne biotische interacties. In fysisch zeer dynamische omstandigheden wordt successie vaak gestuurd door *interspecifieke facilitatie*, die het gevolg is van de activiteiten van biobouwers. Een biobouwer verandert de fysische omstandigheden door zijn aanwezigheid en/of activiteiten, en verandert daardoor ook de mogelijkheden voor andere soorten om in het gebied voor te komen. Als gevolg daarvan kunnen soorten, die op zichzelf in een bepaalde omstandigheid niet kunnen voorkomen, toch aanwezig zijn omdat dit door de biobouwer wordt gefaciliteerd. Op hun beurt kunnen deze nieuwe soorten bijdragen aan de verandering van het habitat, bv. door bodemvorming te initiëren, bodemvochtigheid te beïnvloeden, zand vast te leggen etc. Dat creëert dan omstandigheden waarin opnieuw andere soorten kunnen koloniseren. Er zijn aanwijzingen dat sommige biobouwer-soorten (bv. *Lanice conchilega* – Borsje et al. 2015) de omgeving voor zichzelf en andere soorten kunnen veranderen, maar het effect is afhankelijk van relatief hoge dichtheden die in de brandingszone zelden worden gehaald. Successiedynamiek van gemeenschappen in de vooroever is wellicht beperkt. De ruimtelijke verspreiding van de meeste benthosoorten worden wellicht vooral door de fysische omstandigheden bepaald.

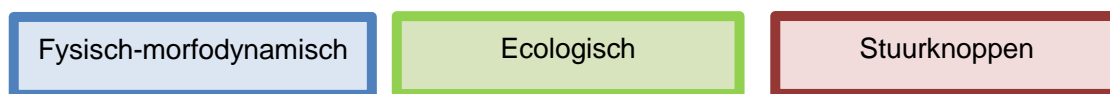
In de duinen is de situatie zeer verschillend. Biotische interacties nemen een steeds belangrijkere rol in naarmate men zich van de kustlijn verwijdert, bijvoorbeeld door bodemvorming en concurrentie. De successie dicht bij de zeereep is vooral een gevolg van facilitatie, omdat vegetatiesoorten het zand vastleggen en daarmee de eerste kolonisatiemogelijkheden voor andere soorten creëren. Verder landinwaarts neemt het belang van biotische interacties toe. Omdat biotische interacties in de duinen sterk samenhangen met de bodemvorming en de accumulatie van organisch materiaal en nutriënten in de bodem, wordt de successie beïnvloed door additionele bronnen van nutriënten, met name stikstof uit atmosferische depositie. Dat is een probleem dat, grof gesteld, leidt tot een versnelde veroudering en successie van vegetaties en daardoor soortenrijke en zeldzame tussenstadia bedreigt. Dit probleem maakt momenteel onderwerp uit van onderzoek.

# Deel B: Benodigd onderzoek

---

## 1 Inleiding

De systeembeschrijving in deel A heeft de basis geschetst van de beschrijving van het kust-ecosysteem in relatie tot suppleties. Aan de hand hiervan zal in dit deel een vertaling worden gemaakt naar het onderzoek dat nodig is om, nu en in de toekomst, een suppletiestrategie te hebben welke de veiligheid garandeert en duurzaam passend is bij de natuurwaarden van de (beschermde natuurgebieden van de) Nederlandse kust. Dit wordt in hoofdstuk 2 gedaan, door een onderscheid te maken in kennisleemtes op verschillende tijd- en ruimteschalen. Voor iedere tijd en ruimteschaal wordt een **fysisch-morfodynamische component** en de **ecologische component** beschreven. Tevens worden **beheersmatige kennisvragen en de stuurknoppen voor de tijd en ruimteschaal** aangeduid.



Uit de beschrijving van verschillende kennisleemtes op te onderscheiden tijd- en ruimteschalen is een overzicht van de kennisleemtes gegeven in hoofdstuk 3. Vervolgens is er in paragraaf 3.1, op basis van de opgestelde criteria, naar een prioritering toegewerkt. Deze prioritering leidt vervolgens tot een drietal krachtlijnen, waarbij in deel C een uitvoeringsplan voor onderzoek is voorgesteld.



## 2 Tijd- en ruimteschalen als kader voor het evalueren van ecologische effecten

Als kader voor het evalueren van ecologische effecten van suppleties is het nuttig een onderscheid te maken tussen verschillende tijd- en ruimteschalen. Er is, zowel bij de fysische en ecologische processen (nader beschreven in deel A) als bij de beleidsbeslissingen, een sterke correlatie tussen de schalen in de tijd en de ruimte. Op korte termijn zijn effecten van individuele suppleties evident, maar het is doorgaans niet duidelijk wat de cumulatieve effecten zijn op grotere tijd- en ruimteschalen. Op de middellange termijn daarentegen, is het moeilijk effecten waar te nemen van een individuele suppletie, maar kunnen wel cumulatieve effecten van veelvuldig suppleren voorkomen. Omdat suppletielocaties wisselen, zal dit zich manifesteren op een grotere ruimtelijke schaal. Qua beleid spelen op de langste termijn vooral strategische vraagstukken een rol (kan de suppletiepraktijk worden verbeterd vanuit ecologisch oogpunt, moet de suppletiebehoefte opnieuw worden geëvalueerd?), terwijl op de korte termijn veeleer lokale technische en uitvoeringsaspecten naar voren komen (waar, wanneer, hoe een specifieke suppletie wordt uitgevoerd). De verschillende schalen in ruimte en tijd dienen dus gecorreleerd te worden besproken.

Hier is, als een compromis tussen overzichtelijkheid en resolutie, gekozen voor drie tijdschalen en drie ruimteschalen. Hierbij is als uitgangspunt genomen dat tijd- en ruimteschalen in grote mate gekoppeld zijn, er wordt er van een totaal van 3 gekoppelde tijd- en ruimteschalen uitgegaan. We onderscheiden kortstondige (1-2 jaar) effecten op kleine schaal (locatie van de suppletie), middellange (5 jaar) effecten op regionale schaal (een Waddeneiland, een sectie van de Hollandse kust), en lange (>10 jaar) effecten op de schaal van de Nederlandse kust of aanzienlijke delen daarvan (bv. de Waddenkust, de Hollandse kust, de Zeeuwse kust).

### 2.1 Korte termijn (<1-2 jaar), lokaal (suppletie- en winlocaties en directe omgeving)

#### 2.1.1 Fysisch-morfodynamisch

Fysisch-morfodynamisch is er een effect door vertroebeling als gevolg van baggeren en storten, en (mogelijk) door afwijkende korrelgrootteverdeling van het suppletiezand. Omdat er niet (meer) in of tegen de duinen aan gesuppleerd wordt, zijn er geen directe korte termijn-effecten op de duinen, slechts indirecte effecten die (dus) ook op een iets grotere tijd- en ruimteschaal spelen.

#### Vertroebeling bij het aanbrengen van onderwatersuppleties

**Vertroebeling** als gevolg van het aanbrengen van onderwatersuppleties is kortstondig in de tijd en relatief plaatselijk in de ruimte. Opgemerkt wordt dat er meer slib vrijkomt bij winning van het zand, dan bij het storten in de suppletie.

Vertroebeling, en overigens ook andere effecten op de slibdynamiek in de Noordzee, zou wel een rol kunnen spelen bij de zandwinning voor suppleties. Daarnaast is door GrontMij (2012) uitgebreid MER onderzoek gevoerd. Dit onderzoek kon geen significante effecten van vertroebeling zelf aantonen, maar suggereert wel dat er mogelijk significante effecten van zandwinning op slibdynamiek in de Noordzee en slibtransport naar de Waddenzee zouden kunnen zijn. De problematiek van slibdynamiek bij zandwinning wordt, mede als gevolg daarvan, in ander kader nader onderzocht en maakt geen deel uit van het onderzoeksprogramma dat hier wordt besproken.

#### Sortering van sedimentfracties

Sortering van sedimentfracties (**sorteringsmechanisme**) is een weinig bestudeerd fenomeen, afgezien van de grootschalige gradiënten langs de kust en de systematische kustdwarse variatie in korrelgrootte. Onbekend is met welke snelheid verschillende korrelfracties uit het sediment worden opgenomen en verplaatst, als men uitgaat van een massa gemengd sediment die wordt gedumpt. Wanneer sterke sortering optreedt, is wellicht niet de mediane korrelgrootte van het suppletiezand, maar eerder het aandeel van de grofste fractie maatgevend voor wat er na sortering overblijft. Een goed theoretisch model, onderbouwd met ruime empirische data zou inzicht bieden in het sorteringsproces. Het ecologisch belang is groot, gezien de grote invloed van korrelgrootteverdeling op de aanwezige fauna (zie discussie in deel A). Op de korte termijn worden effecten van korrelgrootteverdeling vooral verwacht wanneer het suppletiezand significant afwijkt van het aanwezige zand in zijn korrelgrootteverdeling.

### 2.1.2 Ecologisch

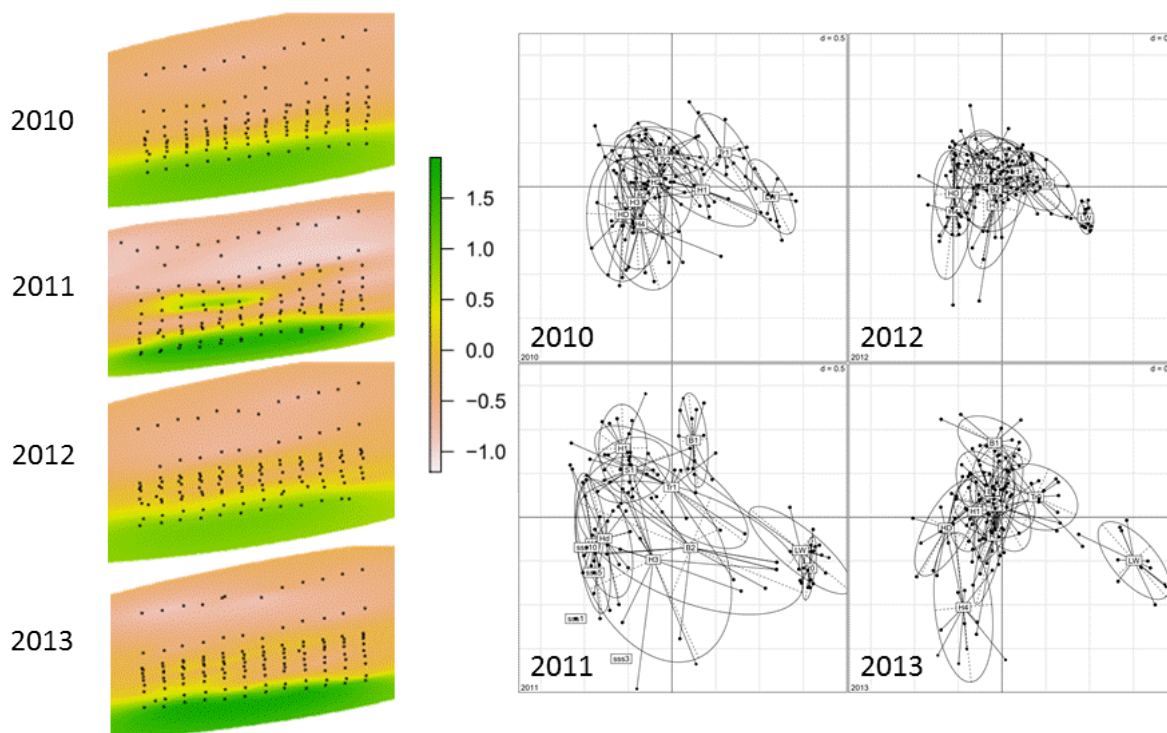
Ecologische effecten op de korte termijn zijn lokaal het onmiddellijke (bedelings)effect van suppleties en de rekolonisatie door verschillende gemeenschappen. Het proces van rekolonisatie is in grote lijnen bekend, maar preciezere voorspellingen zijn lastig zonder goede voorspellende habitatmodellen die zijn gebaseerd op causale fysische factoren, in plaats van proxies voor deze factoren zoals waterdiepte.

#### Herstel van een gemeenschap op korte termijn

Er zijn in de afgelopen jaren verschillende datasets verzameld die voor, kort na en lang na suppleties de bodemdieren van de vooroever hebben bemonsterd. Een volledig overzicht wordt gegeven in Baptist *et al.* (2009), waaraan recente projecten in Ameland-Schiermonnikoog, Zandmotor (als speciale suppletie) en Callantsoog kunnen toegevoegd worden. Hoewel ze zijn uitgevoerd in minder dynamische systemen kunnen ook de monitoringprojecten bij suppleties in de Oosterschelde en Westerschelde worden genoemd.

De datasets van Ameland-Schiermonnikoog en Zandmotor zijn op dit ogenblik de meest uitgebreide en relevante datasets die beschikbaar zijn. De resultaten tonen aan dat soorten met een korte levenscyclus (opportunistische soorten) na bedelving relatief snel (1-2 jaar) rekoloniseren en in vergelijkbare aantallen en biomassa's aanwezig zijn (**herstel**) als voorafgaand aan de suppletie en dat daarna geen effecten meer zichtbaar zijn (vb. Ameland, Vergouwen *et al.* 2016), of effecten alleen zichtbaar zijn doordat de suppletie de omgeving heeft veranderd, bijvoorbeeld verandering van de sedimentsamenstelling en korrelgrootte of bodemschuifspanning (Zandmotor). Dit beschreven herstel vindt dus relatief snel plaats, al blijft er een punt van onzekerheid in de zin dat niet duidelijk is of de hele omgeving niet is veranderd door de langjarige praktijk van suppleren, met name in Ameland. Voor de Zandmotor geldt het argument niet, omdat de bestudeerde zone buiten het gebied van de historische suppleties ligt. Baptist *et al.* (2009b) bespreken uitgebreid de resultaten van studies naar herstel van bodemfauna bij suppletie, zowel in Nederland als internationaal. Zij concluderen dat (1) herstel vrij snel verloopt (1-2 jaar voor dichtheid van dominante soorten, soms een uitloop van maximaal 2-5 jaar voor herstel van de biomassa van grote soorten zoals *Echinocardium*) en (2) langduriger effecten alleen worden geobserveerd als er iets aan het fysisch-morfologisch systeem wordt veranderd, zoals een langdurige verandering van korrelgrootte – in dit geval treedt wel faunaontwikkeling op, maar de gemeenschap keert niet terug naar dezelfde samenstelling als aanwezig was voor de suppletie.

Studies naar faunaherstel in zandwinputten (De Jong *et al.* 2015) op meer dan twintig meter diepte voor de Nederlandse kust leiden tot een gelijkaardige conclusie. De herstelperiode is hier echter wel iets langer (tot 4 jaar, of 4-6 jaar (Rozemeijer 2009, Rozemeijer *et al.* 2013)), maar blijvende veranderingen worden alleen waargenomen waar de habitatkarakteristieken op langere termijn zijn veranderd.



Figuur 2.1 Effecten van de suppletie bij Ameland (2011). In deze analyse is de structuur van de gemeenschap geanalyseerd met een PCA (principal component analysis) op basis van dichtheid van de soorten met een frequentie > 5%. De PCA toont de dominante assen van variatie in de fauna. De diagrammen rechts geven de resultaten van deze analyse, apart per jaar voor de grafische duidelijkheid (maar de analyse is voor alle jaren samen gebeurd). De dominante gradiënt correleert met de diepte, en beide assen zijn min of meer kwadratisch gecorreleerd. In 2011 vallen een aantal stations duidelijk buiten de verwachte range. Dat blijkt ook uit de kaartjes, waar de waarde van de stations op de eerste PCA-as zijn geïnterpoleerd en als kaart gepresenteerd. Rond (en vooral zeewaarts) van de suppletie valt in 2011 een vlek op van een fauna die meer verwant is aan de fauna van het strand, dan aan de fauna die normaal op deze diepte wordt gevonden.

Figuur 2.1 illustreert de verandering in de gemeenschap bij Ameland voor (2010), kort na de suppletie (2011) en de volgende jaren, aan de hand van kaarten van de scores op de eerste as van een principale componenten analyse (PCA) en het PCA-diagram. Er is aanvankelijk een vermindering van dichtheid en soortenrijkdom, en een verschuiving in het soortenspectrum, maar de verandering is beperkt in de tijd. Op het strand zijn in de Ameland-Schiermonnikoog studie geen significante effecten van de strandsuppletie duidelijk geworden. De strandgemeenschap heeft zich snel hersteld, en de punten die door suppletie van hoogte zijn veranderd, vallen qua gemeenschap zeer snel in de verwachte klasse.

### Effect vertroebeling

Vertroebeling door suppleties zou effect kunnen hebben op de lokale primaire productie en de voedselopname van vis en bodemdieren, maar gezien de grote schaal waarop getijstromingen algen verplaatsen en de beperkte omvang van slibpluimen zal dit effect wellicht onbelangrijk zijn. Daarnaast kan vertroebeling een rol spelen in het vangstsucces van zichtjagende vogelsoorten als sterns (Baptist & Leopold, 2010).

De toename van slib in het water kan effect hebben op de voedselopname van filterende schelpdieren (Wijsman et al., 2012, Schellekens en Witbaard, 2012). Bij toenemende concentraties zwevend stof zal er meer pseudofaeces worden geproduceerd waardoor er minder voedsel (algen) kan worden opgenomen. Naarmate de toename in zwevend stof als gevolg van een suppletie langer duurt, kan dit effect hebben op de groei en ontwikkeling van de schelpdieren. Echter, zoals beschreven bij fysisch-morfodynamische effecten dragen suppleties naar verwachting niet wezenlijk bij aan de verhoging van slibconcentraties langs de Nederlandse kust, en is de toename van het zwevend stof bij een suppletie beperkt en van korte duur,

waardoor de effecten op bodemdieren gering zullen zijn. In elk geval geldt dat Schellekens (2012) voor de MER zandwinnning geen wezenlijk effect kon aantonen van vertroebeling en verandering in chlorofyl op de groei en ontwikkeling van *Ensis* op de langere termijn, terwijl er wel een kortetermijn effect is van verhoogde slibconcentratie op voedselopname. Misschien kan op basis van het recente werk van Cleveringa een betere inschatting worden gemaakt, dit stuk is op het moment van het schrijven van dit stuk nog niet vrijgegeven.

### Respons van soorten op fysische krachten

Een moeilijkheid bij het interpreteren van de bestaande datasets, en vooral bij het voorspellen van responsen op toekomstige verstoringen, is dat het voorkomen van soorten en gemeenschappen, door het ontbreken van relevante data, vaak alleen kan worden gecorreleerd met diepte, en niet met de causale fysische factoren (sedimentdynamiek en -samenstelling, bodemschuifspanning,...). Een verbetering in deze modellering door middel van **causale responsmodellen** zou modelmatige exploratie in de toekomst kunnen vergemakkelijken.

### Respons van vis

Er is tot nu toe geen duidelijk beeld van de korte termijn **respons van vis** (voorkomen, activiteit) op suppleties. Grotere individuen kunnen de suppletie mogelijk ontvluchten, maar kleinere niet. Het voedsel dat vrijkomt na een suppletie in de vorm van dood organisch materiaal kan een aantrekkende werking hebben op vis. Anderzijds, vanuit de sport- en vaste vistuigvisserij komen juist weer geluiden dat suppleties direct een negatief effect hebben op de vangsten.

De visgegevens in de dataset van de Ameland-Schiermonnikoog studie zijn zeer beperkt. Analyse van de Zandmotor data is nog onvolledig. Verwacht kan worden dat vissen gedragsmatig reageren (vluchten) op verstoringen op de korte tijdschaal, maar ook hiervoor geldt dat juveniele vissen slechts een kleine homerange kennen. Laboratoriumexperimenten met tong in het kader van NatureCoast wijzen uit dat gedragsmatige voorkeur voor bepaalde sedimenttypes voorkomen (Post *et al.*, subm.). Daarnaast kan verwacht worden dat vis zich ruimtelijk zal aanpassen aan het voorkomen van prooi-soorten. De ecologische relevantie van responsen op korte schaal is beperkt. De verwachting is dat populatieverandering op langere tijdschaal veel belangrijker is; dit zal verderop in dit document worden besproken.

### Effecten op vogels

Effecten op vogels zijn vooral te verwachten als gevolg van **verstoring**, voornamelijk als gevolg van strandsuppleties, maar ook op zee in het geval van de zwarte zee-eend die hinder kan ondervinden van het heen en weer varen tussen zandwin- en suppletielocatie. Daarnaast kan bedelving van belangrijke voedselbronnen, met name schelpdierbanken, een negatief effect hebben op vogels (met name steltvogels). De mogelijk negatieve effecten van verstoring en bedelving als gevolg van suppleties zijn op basis van bestaande literatuur geïnterpreteerd voor kustgebonden vogelsoorten. Door rekening te houden met de timing en locatie van suppleties kunnen negatieve effecten vaak gemitigeerd worden, bijvoorbeeld door het broedseizoen en het foerageergebied te vermijden (Jonkvorst *et al.* 2013). Het onderzoek heeft geen ernstige problemen geïdentificeerd die door dergelijke mitigatie niet overkomen kan worden. Bescherming van schelpdierbanken is onderdeel van het standaard protocol voor suppleties, en daarmee wellicht voldoende afgedekt. Het is echter wel een vraag welke aspecten van schelpdieren (soort, dichtheid, ligging) van belang zijn voor foeragerende zee-eenden en of deze in voldoende mate kunnen worden geïdentificeerd. De **populatieontwikkeling en vestigingsmogelijkheid voor schelpdierbanken** is een probleem op de langere tijdschaal.

#### 2.1.3 Stuurknoppen korte termijn

Beheersmatig zijn er belangrijke vragen op deze schaal. In de praktijk van het suppleren moeten beslissingen worden genomen over de vorm en omvang van het suppletielichaam, het moment van suppleren, de herkomst van het zand, de diepte waarop wordt gesuppleerd en de techniek die hierbij wordt gebruikt. Moment van suppleren, herkomst van zand en techniek worden



standaard uitbesteed aan de aannemer. Rijkswaterstaat bepaalt echter waar zand wordt gewonnen en heeft daarnaast invloed op de techniek die wordt gebruikt. De stuurknoppen op korte termijn betreffen alleen de limieten die kunnen worden gesteld aan de herkomst van het zand, het moment van suppleren en de techniek bij het verlenen van een opdracht en de kaders van de natuurbeschermingswet.

### **Vorm suppletielichaam**

De **vorm van het suppletielichaam** verandert meestal heel snel na de suppletie, waarbij het suppletielichaam in de bankenstructuur (in het geval van een onderwatersuppletie) wordt opgenomen en deze structuur ook wezenlijk beïnvloedt. Op korte termijn is het belang van deze vorm voor herkolonisatie van bodemdieren waarschijnlijk beperkt, omdat bedelving al bij geringe dikte optreedt (1-60 cm in geval van bedelving met slib, (Essink 1993) – zie bespreking in Baptist et al. (2009)) en de technische mogelijkheden voor zeer dunne suppletielagen beperkt zijn.

Onder vorm kan ook verstaan worden de keuze om veel zand in één keer aan te brengen en dan langer weg te blijven, in vergelijking met een alternatief met herhaalde kleinere suppletievolumes. Op korte termijn is te verwachten dat de respons van de fauna op beide types suppleties gelijkaardig zal zijn, maar de herhalingstermijn bepaalt wel de mogelijkheden van gemeenschappen en soorten om zich stabiel te hervestigen. Daarnaast kan onder vorm ook de oppervlakte van de suppletie worden verstaan. Het oppervlak van de suppletie kan mogelijk de rekolonisatiesnelheid beïnvloeden.

### **Herkomst zand**

De **herkomst van het zand** en de gebruikte technieken voor winning en depositie bepalen de korrelgrootteverdeling na suppletie. Korrelgrootteverdeling is zeer belangrijk voor de bodemdiergemeenschap; er kan dus verwacht worden dat de mate en het succes van rekolonisatie sterk zal afhangen van de sedimentsamenstelling van het suppletiezand. Op korte termijn zullen sorteringmechanismen hierop invloed uitoefenen die een effect hebben op een langere tijdschaal.

### **Diepte suppletielocatie**

De **diepte** waarop wordt gesuppleerd is vanuit ecologisch oogpunt waarschijnlijk een variabele die op korte termijn tot verschillen in effect zou kunnen leiden. Hoewel we op dit ogenblik geen gedetailleerde kennis hebben om in de diepterange van de vooroever (0-12 m) het verschil in effect met diepte te beschrijven, beschikken we wel over conceptuele verwachtingen en waarnemingen over een grotere diepterange (zie Figuur 3.11, deel A). Conceptueel is te verwachten dat gemeenschappen van dieper water, die diverser zijn en samengesteld uit grotere soorten die minder snel kunnen rekoloniseren, trager zullen herstellen na verstoringen. Een langere herstelduur kan met de huidige frequentie van suppleren een probleem vormen. Er zijn geen waarnemingen over herstel bij dieper suppleren, maar wel uit winputten, waar de uitgangssituatie (organismenvrij habitat) dezelfde is als bij suppletie. Uitgebreide bemonsteringen in diepe zandwinputten (De Jong et al. 2015) en de Zeeuwse banken (Rozemeijer et al. 2013) tonen aan dat de tijdschaal voor herstel maximaal een factor 2 langer is dan in de vooroever: 3-4 jaar i.p.v. 1-2 jaar. Overigens geldt voor de zandwinputten, net als voor suppleties, dat de fauna niet terugkeert naar de uitgangssituatie als de fysische omstandigheden zijn gewijzigd. Dat is echter relatief onafhankelijk van de tijd nodig om opnieuw een stabiele gemeenschap te vormen.

'Diepte' is eveneens een keuzefactor als moet worden beslist om een strand- of vooroeversuppletie uit te voeren. Deze keuze heeft gevolgen voor wat er met het zand gebeurt (bv. de snelheid van transport naar de duinen, en wellicht ook de fractie van het gesuppleerde zand dat uiteindelijk in de duinen terechtkomt) en ook voor de reactie van de fauna. Strandsuppleties verstoren andere vogels, en een andere benthosgemeenschap dan vooroeversuppleties. Het herstel van de bodemdierengemeenschap is wellicht sneller dan bij

diepere suppleties, maar eveneens afhankelijk van de vraag of fysische kenmerken blijvend zijn veranderd.

### Moment van suppleren

Het **moment van suppleren** zou invloed kunnen hebben op de snelheid van rekolonisatie, omdat reproductie voor veel bodemdiersoorten en het gebruik van de ondiepe zone door juveniele vis seizoenaal is. In de praktijk is het effect wellicht beperkt tot een tijdsverschil van enkele maanden. Het directe verstoringseffect op vogels, zowel de aalscholver, strandplevier, bontbekplevier en drieteenstrandloper bij strandsuppleties als zee-eenden bij vooroever-suppleties, is in verhouding een belangrijker ecologische overweging.

## 2.2 Middellange termijn (5 jaar), regionale ruimtelijke schaal

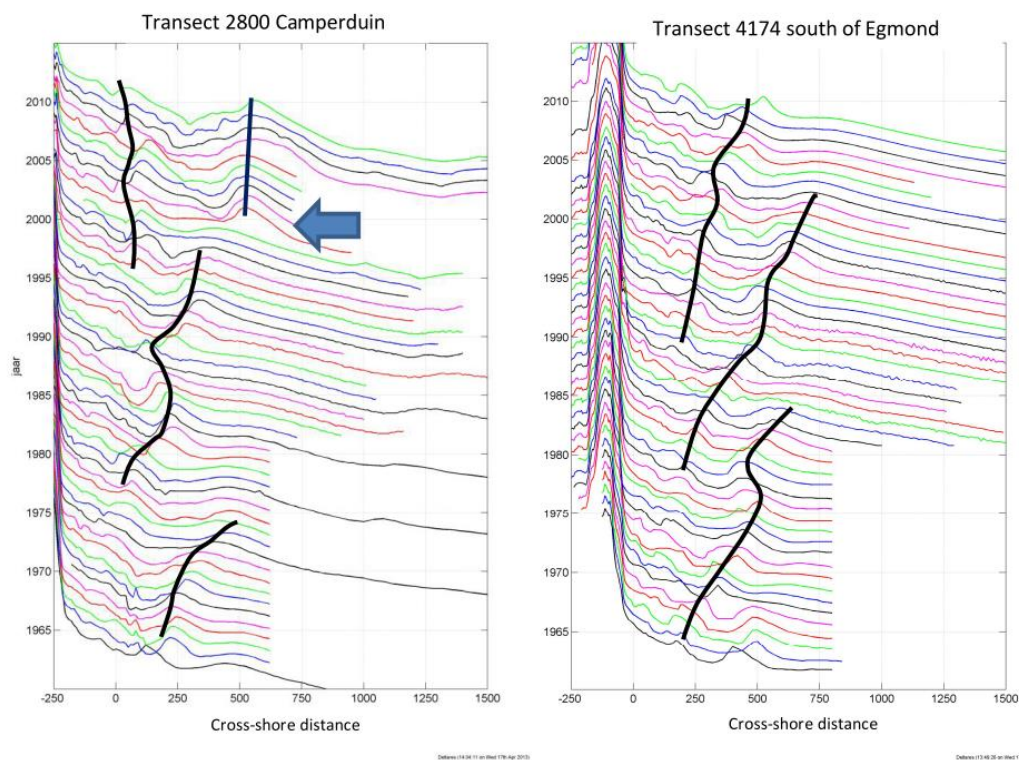
Op deze schaal spelen een aantal problemen waarover minder kennis bestaat, en die voor de ontwikkeling van het kustecosysteem van groot belang zijn. De evolutie van het fysisch-morfologisch systeem van banken, de sortering van sediment, het transport van sediment naar de duinvoet en de invloed daarvan op de ecologie van het duin, en het functioneren van het voedselweb (vooral benthos-vis) in de vooroever, zijn de belangrijkste problemen.

### 2.2.1 Fysisch-morfologisch

Fysisch-morfologisch identificeren we de volgende processen met (mogelijk) groot ecologisch belang:

#### Inloed van suppleties op bankendynamiek.

Het is goed gedocumenteerd dat suppleties kunnen leiden tot het vastleggen van de banken in de vooroever. Het proces wordt geïllustreerd in Figuur 2.2 voor een gesuppleerd (links) en ongesuppleerd (rechts) bankensysteem langs de Noord-Hollandse kust. Duidelijk is te zien dat na de suppletie bij Camperduin rond 2005, de eerste brekerbank aanzienlijk minder verplaatst.



Figuur 2.2 Gestapeld jaarlijks profiel bij Camperduin (links) en ten zuiden van Egmond (rechts) uit Van der Spek en Elias (2013). De zwarte lijnen geven het ontstaan en de positie van de banken in het profiel weer over de tijd.

Een beter begrip van de effecten van suppleties op de **bankendynamiek** is nodig om de ontwikkeling van het habitat als gevolg van suppleties te kunnen voorspellen. Dit beter begrip van de effecten op de bankendynamiek zou daarnaast kunnen bijdragen in meer inzicht in de eventuele relatie tussen de bankendynamiek en de ontwikkeling van de benthische en visgemeenschappen.

### **Sedimentsortering**

Als suppleties leiden tot een verandering van de sedimentkarakteristieken (**residuele korrelgrootte**), dan zou dit grote ecologische effecten kunnen hebben, gezien het belang van korrelgrootte voor de samenstelling van de gemeenschap van bodemdieren, en voor het voorkomen van vis. Dit is een centrale vraag op deze schaal, waarvoor geen goede fysische modellering voorhanden is. Een behoefte aan grondige analyse en inschatting van het potentiële effect van een verandering in sedimentkarakteristieken (korrelgrootteverdeling) is aanwezig. Deze analyse zou aan de hand van velddata gedaan moeten worden. Als het fenomeen inderdaad van belang is, moet gestreefd worden naar voorspellende modellen en velddata waarmee die modellen kunnen worden afgeregeld.

### **Transport van sediment naar de duinvoet.**

Suppleties hebben het netto **transport van zand** vanuit de vooroever **naar strand en duinvoet** doen toenemen. Het netto volume zand dat landwaarts is getransporteerd in de afgelopen decennia, bedraagt ca. 30% van het totale suppletievolume. Vastgesteld is dat dit een regionaal, eerder dan een plaatselijk effect is (Van der Spek et al. 2013). Daardoor is niet op kleine schaal te sturen, aan de hand van suppletielocaties, waar de duinen kunnen aangroeien of zullen afslaan, maar op grotere schaal zou het mogelijk zijn te differentiëren in de aanvoer van zand, waardoor gedifferentieerd beheer (verjonging van duinen in aangroezones, erosie van de zeereep in afslagzones) mogelijk zou worden. Hoe die aanvoer te voorspellen, is onderwerp van fysisch-morfologisch onderzoek.

De aanvoer van zand naar de duinen is een randvoorwaarde voor dynamisch beheer van de zeereep (Löffler et al. 2011), en vergroot in principe de mogelijkheden voor duinbeheerders voor het toestaan van verschillende typen dynamiek. Het heeft in de afgelopen decennia geleid tot een toename van het areaal embryonaal duin, het ontstaan van groene stranden, het mogelijk maken van kerven en sluffers en het bevorderen van instuiving van zand in vastgelegde duinen. Het areaal dynamisch duin is daarmee gegroeid. Het groeien van het areaal dynamisch duin hangt tevens samen met het achterwege blijven van stuifdijkonderhoud sinds de basiskustlijn wordt gehandhaafd. Het groeien van dit areaal is gedeeltelijk ten koste gegaan van 'grijs duin'.

Om op termijn te vermijden dat alle Nederlandse duinen evolueren in de richting van meer dynamiek en zandaanbod kan het wenselijk zijn op meer plekken (tijdelijk) structurele erosie toe te laten. Daarvoor is meer kennis nodig over de processen die op verschillende schaalniveaus de **ontwikkeling van de zeereep** aansturen. Ondanks eerder onderzoek is het vaak niet duidelijk waarom de zeereep zich ontwikkelt zoals die zich ontwikkelt. Bij schijnbaar vergelijkbare omstandigheden qua sedimentaanbod (al dan niet door suppleties) komen zowel volledig gesloten als volledig gekerfde zeereepen voor. Figuur 2.3 geeft een mogelijke combinatie van zandbudgetten van vooroever/strand en zeereep. Een aantal voorkomende situaties zijn ingevuld. Gebieden die in hetzelfde compartiment liggen (bijvoorbeeld Groote Keeten en Langeveld) kennen ondanks een vergelijkbaar zandbudget een totaal verschillende morfologische ontwikkeling. Het al dan niet ontstaan van een gekerfde zeereep is van elementair belang voor het type duinecotopen dat zich voor, in en landwaarts van de zeereep kan ontwikkelen. Ook is de vraag relevant of slechts het aanzetten tot kusterosie voldoende is om het zand in de zeereep en achterliggend duinmassief al wel te mobiliseren. Om de lange termijn effecten van het dynamisch handhaven van de kustlijn op de duinecosystemen te begrijpen is het van belang dit proces beter te begrijpen.

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

Figuur 2.3 Mogelijke combinaties van zandbudgetten op vooroever/strand en zeereep.

Een aantal factoren werkt waarschijnlijk samen om, gegeven een bepaalde beschikbaarheid van zand en een bepaalde interactie tussen de zandbudgetten van vooroever, strand, duinvoet en zeereep, de ontwikkeling van de zeereep te bepalen. De kustlangse ruimtelijke verspreiding van suppletiezand is waarschijnlijk aanzienlijk, maar slecht bekend en afhankelijk van lokale condities. Het beheer van de zeereep (geen beheer is daarbij ook beheer), de aanwezigheid van duinvormende vegetatie, toegankelijkheid voor mensen, ontwikkeling van de zoetwaterlens, mate van eutrofiëring zijn lokale factoren die de ontwikkeling verder sturen. Een beter inzicht in deze processen kan het mogelijk maken suppleties zo te sturen dat de ontwikkeling van de zeereep de ecologische waarde van de duinen optimaal ondersteunt.

#### Effecten van aanwas van de zeereep op grondwater.

Uitbouw van de zeereep, zowel horizontaal (zeewaartse uitbouw) als verticaal (hoger worden van de zeereep) heeft invloed op de zoetwaterlens die zich vormt onder het duin. Dit beïnvloedt de saliniteit van het grondwater in de primaire duinvallei, en daardoor de successie in vroege stadia zoals groene stranden, maar ook het grondwaterpeil verder in de duinen. Door het grondwaterpeil wordt de uitstuifdiepte van valleien veranderd, en de vochtigheid van graslanden in het duin, met mogelijke effecten op de vegetatie. De **dynamiek van grondwater in het duin** is daarom een belangrijke variabele waarmee rekening moet worden gehouden bij het suppleren.

#### Geochemie van het zand, en verschil tussen netto en bruto fluxen.

Er is een duidelijke invloed vastgesteld van suppleties op de netto flux van zand naar de duinvoet. Dit is bij vooroeversuppleties niet direct het gesuppleerde zand, maar bij strandsuppleties is dit hoogstwaarschijnlijk wel het geval. Het zand kan fysiek een andere bron hebben, en suppleties kunnen de factor zijn die hebben veroorzaakt dat dit zand het strand, en vandaar het duin, heeft kunnen bereiken. Geochemisch onderzoek tot nu toe heeft aangetoond dat vers ingewaaid zand andere kenmerken heeft dan zand dat al langer in de duinen aanwezig was, maar dat bewijst op zich niet dat het om suppletiezand gaat (in de betekenis van zand dat rechtstreeks vanuit het gesuppleerd volume richting duinen wordt getransporteerd). Of, en in welke mate, de herkomst van suppletiezand doorwerkt in de **geochemie van het zand dat in de**

**duinen stuift**, blijft moeilijk te evalueren maar zou mogelijk kunnen gebeuren aan de hand van tracers in suppletiezand. Het is uit de bestaande studies echter niet af te leiden dat grote vegetatieveranderingen aan de samenstelling (in tegenstelling tot de hoeveelheid) van het ingewaaid zand kunnen worden toegeschreven.

## 2.2.2 Ecologisch

Ecologische effecten zijn sterk gerelateerd aan deze fysisch-morfologische processen op de middellange termijn.

### Ecologisch belang van bankendynamiek

Het **ecologisch belang van bankendynamiek** is niet bekend. Afgezien van lokale en momentane fysische variabelen, zoals bodemschuifspanning, is het te verwachten dat ook de dynamiek op een tijdschaal vergelijkbaar met de levensduur van de organismen een invloed zal hebben op de respons van soorten. Periodieke begraving en erosie als gevolg van verschuivingen in de banken is een dergelijke factor. De tijdschaal ervan is complex. Voor het korte-termijneffect is vooral de snelheid van bedelving/erosie van belang (cm/event), terwijl voor de populatie van belang is hoe vaak (in vergelijking met de levensduur) belangrijke events voorkomen. Bankendynamiek zou daarom deel moeten uitmaken van de analyse van ecologische responsen in de vooroever, om voorspelling van effecten te verbeteren en te kunnen vergelijken met minder dynamische (dieper gelegen) zones.

### Gevolgen van sedimentsoortering

De gevolgen van sedimentsoortering voor bodemdieren en vis, op de middellange termijn die meerdere suppleties in de omgeving integreert, is van groot belang. Vissen hebben uitgesproken habitatvoorkeuren voor bepaalde sedimenttypes (Post *et al.*, subm.), en bodemdieren reageren ook zeer sterk op relatief kleine variaties in korrelgrootte, tenminste in een deel van het spectrum (overgang niet-permeabel naar permeabel, ongeveer 200 – 300 µm mediaan). Er is een belangrijke kennisvraag om fysische inzichten in korrelsoortering door te vertalen naar ecologische effecten (**ecologisch belang korrelgrootte**), via responsen van soorten of functionele types.

### Voedselweb

Het functioneren van het voedselweb (in deze context: **benthos, schelpdierbanken, vis en vogels**) in de vooroever, is slecht bekend. Er is meer kennis nodig over het functioneren van het voedselweb in de vooroever om de effecten van suppleties op termijn en op het voedselweb te kunnen voorspellen. Hierbij kan ontbrekende kennis in drie belangrijke vragen geformuleerd worden:

1. Wat is het belang van de vooroever voor het voedselweb van de kustzone?
2. Hebben suppleties effect op de vestiging en groei van schelpdierbanken die een belangrijke voedselbron zijn voor vogels in dit gebied?
3. En beïnvloeden suppleties het bodemdier-vis deel van het voedselweb?

Beschikbare informatie is beperkt en vaak gedateerd. Vervolgens kan er worden onderzocht of (herhaald) suppleren de beschikbaarheid van voedsel significant beïnvloedt. Voor vis is er bovendien de vraag of de veranderingen in fysische factoren (bv. korrelgrootte) rechtstreeks of via het voedselweb doorwerken op de predatoren.

### Zandtransport naar de duinen

Het belang van **zandtransport** naar de duinvoet voor de **landschapontwikkeling** is in principe duidelijk, maar veel minder duidelijk is hoe dit in een specifieke lokale en regionale context precies doorwerkt. Deze vraag vereist veel gedetailleerde en ruimtelijk geschakeerde informatie. Binnen de grenzen van de mogelijkheden in het suppletiebeleid, kan onderzocht worden of, en hoe, suppleties kunnen bijdragen aan de **biodiversiteit van het duinlandschap**. Dit zal wellicht anders zijn in de Waddenregio dan langs de Hollandse kust of Zeeland, omdat omringende

landschapselementen anders zijn. Een wash-over kan bijvoorbeeld gemakkelijker worden gerealiseerd in de Waddenzee. Er moet rekening worden gehouden met het ontstaan (en weer verdwijnen) van tijdelijke systemen als groene stranden, en met de combinatie van beheersmaatregelen in de zeereep (opties voor dynamisch beheer) en variatie in zandaanvoer

### Effect van instuivend zand op de nutriënthuishouding in de duinen

Het effect van **instuiven van zand op de nutriëntengehaltes** in duinbodems is belangrijk, ook in het kader van de problematiek van atmosferische stikstofdepositie. Of suppletie hierin een rol speelt als rechtstreekse sedimentbron, dan wel als factor die het instuiven van zand uit het kustlangs transport bevordert, is onduidelijk. In elk geval zal suppletie bijdragen aan het beschikbare zandvolume voor instuiven, kan het wellicht de nutriëntengehaltes in bodems beïnvloeden, en wordt het daarmee een potentieel beheersinstrument voor de beheerder van zeereep en duin.

Ecologische kennisvragen met betrekking tot het beheer van duinen in relatie tot suppletiebeleid vallen uiteen in twee types. Enerzijds zijn er de beheersvragen in de duinen zelf: welke mate van dynamiek kan waar toegestaan worden, wat zijn de gevolgen van ingrepen (bv. kerven, wegnemen vegetatie in de zeereep, creatie van wash-overs etc.) voor de natuurwaarden in de duinen, inclusief grondwaterdynamiek en nutriëntendynamiek. De beheersopties zullen uiteindelijk worden vertaald naar biodiversiteitswaarden, op lokale en nationale schaal. Er is binnen OBN en binnen andere kaders (bv. stikstofbeleid, gebiedsbeheer) een kader waarin aan deze vragen ruim aandacht wordt besteed. Anderzijds zijn er vragen over de relatie tussen suppletiebeleid (waar suppleren, hoe frequent, relatie met handhaving kustlijn) en de randvoorwaarden voor duinbeheer. Suppletiebeleid bepaalt de zandbalans van de zeereep en het duin over ruimere geografische gebieden, en vormt daarmee de beperkende randvoorwaarde voor beheersopties in die zeereep en de duinen. Deze kennisvraag – hoe vormt suppletiebeleid mee de mogelijkheden voor gedifferentieerd en optimaal duinbeheer – staat centraal in het huidige programma. Deze vraag kan uiteraard niet los gezien worden van andere randvoorwaarden aan het suppletiebeleid (veiligheid, ander gebruik van de kustlijn), en omvat daarmee een belangrijke socio-economische component.

### 2.2.3 Stuurknoppen middellange termijn

Beheersmatig zijn er op deze schaal kennisvragen naar de regionale planning van suppleties en de sociale inbedding van suppletiestrategieën die de kustlijn en de duinen beïnvloeden.

#### Suppletielocatie en frequentie

De keuze van locaties voor suppletie en de **frequentie** van terugkeer zijn belangrijke planningsvariabelen voor Rijkswaterstaat. Er zijn, op regionale schaal en op een termijn van 5-10 jaar, meerdere strategieën te kiezen. Men kan een aantal suppletielocaties uitkiezen en daar frequent terugkeren, terwijl andere gebieden permanent van suppletie zijn vrijgesteld, of, alternatief, het hele gebied regelmatig suppleren maar met langere (lokale) terugkeertijden. Men kan ruimtelijk differentiëren in een (ruim) gebied, zodat zowel aanwas als afslag voorkomen, of de kustlijn uniform onderhouden (dan wel zeewaarts laten migreren). Binnen de harde grenzen van veiligheid, heeft de keuze consequenties voor ecologie en voor het bredere gebruik van de kust.

#### Socio-economie

De **sociaal-economische en sociale context** van het kustbeheer komt, met deze keuzes, sterk op de voorgrond. Het belang van de ecologie in het beslissingsproces, en de afweging tegenover andere belangen, is weinig expliciet en niet goed onderzocht. Er ligt een duidelijke kennisvraag op het gamma-domein. Nationale, regionale en lokale belangen, zowel economisch, ecologisch als landschappelijk, staan op gespannen voet met elkaar. Governance moet die contrasterende belangen in beeld brengen, en op langere termijn vorm geven aan een door de maatschappij

gewenste kust. Een nauwe samenwerking met governance-georiënteerd onderzoek ligt voor de hand.

## **2.3 Lange termijn (>10 jaar), op de schaal van de Nederlandse kust of belangrijke deelgebieden**

Op deze schaal spelen strategische vraagstukken, die te maken hebben met de werking van het kustfundament, de uitwisseling tussen kust en bekkens, en ecologische effecten op de schaal van populaties, species pools en diversiteit van habitats en gemeenschappen op nationale schaal. Beheersmatig worden hier de grote lijnen van de kustverdediging voor de komende decennia vastgelegd, wat in nauwe relatie staat tot de Deltaplannen.

### **2.3.1 Fysisch-morfologisch**

Fysisch-morfologisch zijn de belangrijkste processen gerelateerd aan de interne herverdeling van zand binnen het 'kustfundament', de zandbalans van de kust als geheel en van de belangrijke segmenten, en de ontwikkeling van de kustlijn op lange termijn.

#### **De uitwisseling tussen kust en bekkens**

Vooraf in de Waddenzee is de **uitwisseling tussen kust en bekkens** een cruciaal proces in de werking van het Nederlandse kuststelsel. In de Deltabeslissingen is vastgelegd dat uitwisseling via de buitendelta's eerst grondig moet worden onderzocht, voordat overgegaan wordt tot maatregelen, zoals bv. suppletie van buitendelta's. Dit zijn bijzonder ingewikkelde systemen, en ingrepen erin kunnen grote ecologische gevolgen hebben, omdat de ecologie van de getijdenplaten in de Waddenzee (de belangrijkste natuurwaarden) in sterke mate wordt bepaald door hoogteligging en sedimentamenstelling. De netto stromen van zand tussen het kuststelsel en de bekkens van de Waddenzee zijn de resultante van sedimentvraag vanuit de bekkens (bv. als gevolg van afsluitingen of zeespiegelstijging), het aanbod van zand in de kust (beïnvloed door suppleties) en de transportcapaciteit van de zeegaten (zelf een functie van de morfodynamiek ter plaatse). De afzonderlijke invloed van suppleties kan moeilijk worden gekwantificeerd, zonder grondige kennis van de andere factoren die het zandtransport beïnvloeden en hun onderlinge relaties.

### **2.3.2 Ecologisch**

Ecologische vragen spelen op het terrein van de lange-termijn ontwikkelingen van populaties en landschappen, als gevolg van suppletie strategieën.

#### **Vispopulatie in de vooroever**

Vispopulaties hebben een groot verspreidingsgebied, waarvan de vooroever slechts een beperkt deel is. Populatie-effecten van suppletie zijn slechts te verwachten als de kuststrook een buitenproportioneel groot belang heeft voor de populatie als geheel of tijdens een bepaald deel van de levenscyclus, zoals het geval kan zijn voor de kinderkamerfunctie van juveniele vis (Teal *et al.* 2011). Dit **belang van de vooroever voor vis** moet worden onderzocht in het kader van de ontwikkeling van de gehele populatie. Een verkennende aanpak middels habitatgeschiktheidsmodellering is als eerste stap gezet (Glorius *et al.* 2012, Van de Wolfshaar *et al.* 2012), waarmee een opmaat is gegeven naar populatiedynamische modellering zoals in Van de Wolfshaar *et al.* (2015), maar deze benaderingen zijn beperkt in hun toepasbaarheid omdat te weinig veldgegevens over voorkomen van vis in de kustzone beschikbaar zijn. Deze modellering is een methodiek om vast te stellen of fysische veranderingen in de relatief nauwe kuststrook relevant zijn voor vispopulaties en dus visserij, of niet. Claims dat suppleties een negatief effect hebben op de ontwikkeling van vispopulaties in de Nederlandse kustwateren, moeten kritisch worden onderzocht. Hiervoor is het van belang dat het voorkomen van vis (niet alleen bodemsoorten maar ook pelagische soorten), en in het bijzonder juveniele vis, in de

vooroever wordt onderzocht in relatie met overige parameters zoals benthos (als voedsel), sedimentsamenstelling, morfologie en dynamiek (**reactie vis op suppleties**).

#### **Cumulatief effect van suppleties op de 'species pool' van bodemdieren.**

Wanneer verstoringen frequent optreden in vergelijking met de hersteltijd van een soort, kan deze soort op den duur verdwijnen. Herhaald en frequent suppleren over het hele kustgebied zou dergelijke veranderingen kunnen bewerkstelligen, als sommige soorten systematisch kunnen profiteren van suppleties, terwijl andere juist verminderen in aantallen (**species pool benthos**). Meer opportunistische soorten zouden het daarbij kunnen overnemen van langer levende, meer concurrerende soorten, als gevolg van de toename van dynamiek. Een mogelijke causale relatie tussen toenemende suppletievolumes en afnemende dichtheden aan *Spisula* (halfgeknotte strandschelp) is onderzocht door Baptist *et al.* (2009a). Zij konden geen causaal verband vaststellen. De waarschijnlijkheid dat dergelijke effecten op grote schaal optreden is beperkt, omdat de meeste soorten veel ruimer zijn verspreid in de Noordzee dan alleen in de smalle kuststrook. Herhaaldelijk verstoren in een beperkt onderdeel van hun verspreidingsgebied zal naar verwachting hun potentieel om dit gebied te herkoloniseren, niet blijvend aantasten.

#### **Habitatdifferentiatie in het Nederlandse kuststelsel**

Biodiversiteit kan gedefinieerd worden op verschillende schalen, van lokaal (hoeveel soorten per m<sup>2</sup>) tot wereldwijd. De diversiteit van habitats en soorten op nationale schaal neemt daarin een bijzondere positie in. Men kan, in principe, kiezen of men ieder gebied geïsoleerd zo wil beheren dat de lokale diversiteit wordt gemaximaliseerd, of dat men nastreeft dat op nationaal of wijder niveau verschillende representatieve types habitats in hun volle karakteristieken aanwezig zijn. Suppletiebeleid, in combinatie met gericht beheer, kan leiden tot het bewaren dan wel evenwichtiger aanwezig zijn van verschillende gemeenschappen, bijvoorbeeld in duin en zeereep. Ruimtelijk differentiëren van suppletie zou kunnen bijdragen aan **landschapsdifferentiatie en daarmee aan biodiversiteit op de schaal van de Nederlandse kust**.

#### **Het effect van suppleties op de natuurwaarden van de Waddenzee**

Dit effect, indien aanwezig, zal spelen via een effect van suppleties op de zandbalans van de Waddenzee. Zowel verdrinking als verlanding zou schade toebrengen aan de getijdenplaten in de Waddenzee, en daardoor de natuurwaarden ernstig aantasten. Wetenschappelijk ligt de primaire vraag hier bij de morfodynamiek, maar maatschappelijk is de doorvertaling van mogelijke effecten naar de ecologie de belangrijkste toetssteen. Hiertoe zijn, in combinatie met (beschikbare) uitgebreide databases over de ecologie van de Waddenzee, goede modellen nodig die de morfodynamiek met deze ecologische gegevens verbinden.

### **2.3.3 Stuurknoppen lange termijn**

Beheersmatig is op lange termijn het beleid t.a.v. de kustbescherming veruit het belangrijkste onderwerp van discussie. Daarin spelen vele belangen en een ingewikkelde governance.

#### **De ontwikkeling van de kustlijn op lange termijn**

In principe is het beheer nu gericht op het handhaven van de veiligheid en functies van de kustlijn, maar in de praktijk vindt op meerdere plaatsen zeewaartse uitbouw plaats. Soms staat het handhaven van een vaste kustlijn op gespannen voet met de natuurlijke dynamiek, zoals langs de noordkust van Ameland waar zandgolven langskomen, die weliswaar tijdelijk en plaatselijk afwijkingen veroorzaken van de basiskustlijn, maar deze erosiefases laten volgen door accretie (Figuur 3.23). Als kan worden aangetoond dat op langere termijn suppleties overbodig zijn om de gemiddelde kustlijn te handhaven (wat overigens in Ameland, o.m. door bodemdaling, wellicht niet het geval is), en als fluctuaties geen onomkeerbare schade aan infrastructuur aanbrengen, dan zou het toelaten van fluctuaties ecologische schade minimaliseren en de natuurlijkheid van het systeem bevorderen. Een keuze **welke strategie te volgen voor de kustlijn** op lange termijn heeft grote consequenties voor de ecologie van strand en duinen. Hier



speelt ook de vraag of en in welke mate ruimtelijk kan worden gedifferentieerd, bovenop de differentiatie die nu in de praktijk al plaatsvindt.

### **Veranderingen in de suppletiestrategie**

Veranderingen in de **suppletiestrategie** kunnen betrekking hebben op het jaarlijkse volume, op de wijze van suppleren en op de locatiekeuze. Op de lange termijn spelen volgende problemen: (1) wat is het jaarlijks benodigde suppletievolume, in relatie tot de zeespiegelstijging en de werkelijke werking van het kustfundament, (2) de beslissing over het al dan niet rechtstreeks suppleren van de buitendelta's en (3) de vraag of een constante basiskustlijn het beste beheersinstrument is waar natuurlijke, voorspelbare fluctuaties voorkomen. Verder is een afweging noodzakelijk van de vele voorstellen voor megasuppleties en andere constructies die het lokale strandtoerisme kunnen bevorderen, tegen de achtergrond van toekomstige problemen voor de nationale veiligheid tegen overstroming.

Een eventuele overstap naar meer megasuppleties, zoals de Zandmotor, zal een ingrijpend effect hebben op de habitats van vooroever tot duin. Immers het kustlandschap met megasuppleties ziet er anders uit dan een regulier gesuppleerde kust. Bij dergelijke typen suppleties behoren dus (tijdelijk?) andere ecotopen. Hoe de effecten van dergelijke keuzen uitpakken (landschappelijk en ecologisch) is nog maar zeer beperkt bekend.



### 3 Overzicht kennisvragen

In het voorgaande hoofdstuk, zijn op verschillende tijd en ruimteschalen relevante onderwerpen besproken en zijn kennisvragen en onderwerpen dikgedrukt. Hierbij zijn de cumulatieve effecten op het ecosysteem als gevolg van andere vormen van gebruik buiten beschouwing gelaten. Echter, het is van belang om te onthouden dat naast suppleties er ook andere vormen van de gebruik van het systeem zijn, die samen cumulatieve effecten kunnen hebben op de ecologie.

De besproken onderwerpen en kennisvragen zijn in onderstaande tabel samengevat. Het doel van deze tabel is het in een oogopslag weergeven van de heersende kennisvragen en de tijd en ruimteschaal waarop deze vragen een rol spelen. Hierbij zijn kleuren gebruikt om de discipline waar deze kennisvraag het sterkst bij aansluit aan te duiden. De blauwe kleur in de tabel refereert naar fysische kennisvragen, groen betreft ecologie en rood betreft de stuurknoppen die beheer en beleid kunnen beïnvloeden.

Tijdschaal		
Kort (1-2 j)	Middellang (5-10 j)	Lang (>10j)
<b>Fysisch-morfologisch</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vertroebeling</li> <li>• Sorteringsmechanisme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bankendynamiek</li> <li>• Residuele korrelgrootte</li> <li>• Zandtransport naar duin</li> <li>• Ontwikkeling van de zeereep</li> <li>• Dynamiek grondwater in duin</li> <li>• Geochemie/herkomst zand</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kust-bekken uitwisseling</li> </ul>
<b>Ecologisch</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Causale responsmodellen</li> <li>• Herstel korte termijn</li> <li>• Verstoring vis &amp; vogels</li> <li>• Schelpdierbanken als voedsel voor vogels</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ecologisch belang bankendynamiek</li> <li>• Ecologisch belang korrel</li> <li>• Voedselweb vooroever (benthos, schelpdierbanken, vis, vogels)</li> <li>• Zandtransport en landschapsontwikkeling van duinen</li> <li>• Zand en nutriënten</li> <li>• Biodiversiteit duinlandschap</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Belang vooroever voor vis</li> <li>• Reactie vis op suppleties</li> <li>• Species pool benthos</li> <li>• Landschapsdifferentiatie</li> <li>• Natuurwaarden Waddenzee</li> </ul>
<b>Stuurknoppen beheer en beleid</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorm, diepte, locatie, seizoen, wijze van suppletie</li> <li>• Herkomst zand</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Locatie/frequentie</li> <li>• Socio-economische context</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Strategie kustlijn</li> <li>• Suppletiestrategie</li> </ul>
Lokaal	Regionaal	Nationaal
<b>Ruimtelijke schaal</b>		

#### 3.1 Samenhang en prioritering

Niet alle kennisvragen in de bovenstaande lijst hebben hetzelfde gewicht, en bovendien is de bestaande kennis waaruit kan worden geput zeer verschillend.

In het overleg tussen Rijkswaterstaat, Natuurbeschermingsorganisaties en onderzoeksinstituten zijn in de bijeenkomst van 8 februari 2016 volgende criteria naar voren geschoven om de prioritering vast te leggen:

- Relatie met suppleties
- Toepasbaar in de uitvoeringspraktijk van suppleties
- Haalbaar qua tijd en budget
- Aansluiten bij eerder / ander onderzoek
- Korte, middellange en lange termijn

### **Relatie met suppleties**

Bij de behandeling van de kennisvragen is de relatie met suppleties al impliciet als criterium gehanteerd. Hoewel er over het ecologisch functioneren van het kuststelsel veel meer vragen te stellen zijn dan hier besproken, hebben wij ons beperkt tot die punten die afhankelijk (kunnen) zijn van de grootte, timing en plaatsing van suppleties en daarmee aansluiten bij de mogelijkheden van Rijkswaterstaat om de suppletiestrategie vorm te geven. Er vallen daarom geen kennisvragen af aan de hand van dit criterium.

### **Toepasbaar**

Ook het tweede criterium (toepasbaarheid) is in die selectie meegenomen. Aspecten die de ecologie van de kust zeer grondig kunnen veranderen, maar niet beïnvloed worden door (verandering van) beleid, zijn niet uitgewerkt. Te denken valt bijvoorbeeld aan de aanzienlijke invloed die invasies door exotische soorten kunnen uitoefenen.

Ook het criterium “toepasbaar” leidt daarom niet tot een vernauwing van het aantal gepresenteerde kennisvragen. Wel zal de afweging van toepasbaarheid van kennis voor Rijkswaterstaat binnen de kennisvragen tot focus leiden, echter dit heeft geen invloed op de selectie van in hoofdstuk 3 en 4 besproken kennisvragen.

### **Haalbaarheid qua tijd en budget**

Haalbaarheid binnen tijd en budget is daarentegen een criterium dat van groot belang is en dat dwingt tot een selectie van kennisvragen en onderwerpen. Het is onmogelijk om binnen een periode van vijf jaar, met een jaarlijks budget in de orde van 400 k€, excl. BTW, elk detail van elke suppletie op te volgen, en daar bovenop ook nog de processen die van belang zijn op de grotere schaal beter te begrijpen, beschrijven en modelleren.

De grootste kosten qua tijd en budget zijn gebonden aan monitoring. Echter monitoring is vooral in het geval van de vooroever noodzakelijk voor het verkrijgen van nieuwe data, informatie en kennis over het functioneren van het kuststelsel in relatie tot suppleties.

Voor wat betreft de vooroever zijn wij van mening dat er, op basis van het onderzoek in de voorbije jaren, een aanzienlijke kennisbasis is opgebouwd over de korte-termijn respons op suppleties, maar dat deze kennis niet direct kan worden geëxtrapoleerd naar de gehele Nederlandse kust, en geen antwoord geeft op de vragen naar het cumulatief effect van suppleties op de middellange en lange termijn. De belangrijke vragen die spelen op de middellange en lange termijn zijn of er sprake is van veranderingen van het sediment en aantasting van het voedselweb, vooral in relatie tot de voedselbeschikbaarheid en kinderkamerfunctie voor vis en de ontwikkeling van schelpdierbanken (als voedsel voor vogels). Om die vraag te kunnen beantwoorden is naast monitoring ook multidisciplinair onderzoek noodzakelijk, waarbij veranderingen in essentiële habitatkarakteristieken (korrelgrootteverdeling, bankdynamiek) moeten worden onderzocht tezamen met een ecologische doorvertaling. Het criterium van haalbaarheid is sterk verbonden met de statistische ‘power’ van een proefopzet, en het benodigde aantal monsters om een voldoende betrouwbare uitspraak te doen. Als het doel van een bemonsteringscampagne is om uitspraken te doen over een specifieke suppletie, bijvoorbeeld omdat daar iets is veranderd aan de technologie of de plaatsing, dan zal voor die evaluatie een groot aantal monsters noodzakelijk zijn, verdeeld over (1) (eventuele substrata binnen) de bewuste suppletie (2) een referentiegebied en (3) een ‘klassieke’ suppletie in een vergelijkbaar gebied. Die monsters moeten over meerdere jaren genomen worden, en zullen, samen met interpretatie, voor één experimentele suppletie al een aanzienlijk deel van het budget

van het totale programma innemen. Dit impliceert dat er niet tegelijk op de grotere schaal in tijd en ruimte kan worden gekeken, en tegelijk individuele suppleties in groot detail kunnen worden gevolgd.

Er zijn grote kosten en tijd gebonden aan het monitoren in het veld, maar dit is tevens een cruciale stap in het verkrijgen van nieuwe data, informatie en kennis. Dit criterium speelt dus een belangrijke rol in de vernauwing van de uiteindelijke kennisvragen.

### **Aansluiten bij eerder / ander onderzoek**

Het gedetailleerde onderzoek in de voorbije periode heeft geen aanleiding gegeven tot specifieke suggesties om de praktijk van de suppleties te innoveren of te verbeteren. Er zijn wel suggesties voor verbetering van de suppletiepraktijk, vanuit het oogpunt van kostenbesparing of betere effecten op veiligheid. Daartoe worden ook een aantal 'pilots' uitgevoerd (suppleties die binnen het reguliere programma vallen, maar op een innovatieve manier worden uitgevoerd, bv. dieper in de vooroever zoals bij Callantsoog, niet suppleren van de Westkop van Schouwen ten behoeve van natuurontwikkeling en stikstofreductie). Als de innovatieve praktijk succesvol blijkt, is er een kans dat hij standaard wordt in het suppletieprogramma. In dat geval behoort ook onderzocht te worden of de ecologische impact niet significant groter is. Als men met dergelijk onderzoek een generieke uitspraak wil doen over de wenselijkheid van de nieuwe praktijk, is een relatief breed opgezet experiment noodzakelijk (met replicatie, controles en opvolging over meerdere jaren). Wij zijn van oordeel dat een dergelijk programma niet uitvoerbaar is op korte termijn, omdat een experimentele opzet in deze zin ontbreekt. Wij zijn voorstander om 'pilots' op te volgen door ze op te nemen in het opvolgingsprogramma dat we voor alle suppleties voorstellen, en ondertussen de baseline kennis van de vooroeverfauna op orde te brengen, zodat achteraf met relatief minder inspanning een (succesvolle) innovatieve suppletiemethode morfologisch en ecologisch geëvalueerd kan worden.

Een aantal lopende onderzoeksprogramma's naar de morfologie en ecologie van de vooroever lopen op dit ogenblik. We vermelden de STW- en EU-programma's rond de Zandmotor en het NWO-programma SEAWAD naar het zeegat-buitendelta systeem. In de zeereep en duinen lopen een aantal programma's, waarvan de meeste binnen OBN worden bekendgemaakt en waar mogelijk gecoördineerd. Verder loopt er morfologisch onderzoek (met relevantie voor de ecologie) binnen Beheer/Onderhoud Kust en binnen Kustgenese II.

Binnen het project dat hier wordt beschreven ligt de focus duidelijk op de ecologie. Toch is daarvoor veel kennis uit morfologie noodzakelijk, als karakterisering van het habitat. Wij streven naar optimale aansluiting tussen de verschillende programma's.

### **Korte, middellange, lange termijn**

Doordat er relatief veel onderzoek is gedaan naar de lokale effecten van suppleties op korte termijn en er tevens bij de startbijeenkomst van 8 februari 2016 gehoor werd gegeven aan de vraag naar de effecten van suppleties op grotere tijd- en ruimteschaal, stellen wij voor om mogelijke veranderingen op middellange tot lange termijn het hart te laten vormen van het ecologische onderzoek in relatie tot zandsuppleties. Vanwege de wens om de effecten van suppleties op het kuststelsel over de gehele gradiënt te benaderen, zal dit een prioritering aanbrengen in het voorgestelde onderzoek, waarbinnen een focus zal liggen op de lange termijn en middellange termijn vragen die er liggen voor de vooroever, strand en duin. Hierdoor kan er een selectie worden gemaakt in de kennisleemtes/onderwerpen die meegenomen worden, aan de hand van de gepresenteerde overzichtstabel. Onderstaande tabel 3.1 geeft de selectie aan de hand van het criterium aan.

Tabel 3.1 Overzicht van de in hoofdstuk 2 geïdentificeerde kennisleemtes en relevante onderwerpen en de focus van het voorgestelde onderzoek aan de hand van de opgestelde criteria (geel omcirkeld).

<b>Tijdschaal</b>		
Kort (1-2 j)	Middellang (5-10 j)	Lang (>10j)
<b>Fysisch-morfologisch</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vertroebeling</li> <li>• Sorteringsmechanisme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bankendynamiek</li> <li>• Residuele korrelgrootte</li> <li>• Zandtransport naar duin</li> <li>• Ontwikkeling van de zeereep</li> <li>• Dynamiek grondwater in duin</li> <li>• Geochemie/herkomst zand</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kust-bekken uitwisseling</li> </ul>
<b>Ecologisch</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Causale responsmodellen</li> <li>• Herstel korte termijn</li> <li>• Verstoring vis &amp; vogels</li> <li>• Schelpdierbanken als voedsel voor vogels</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ecologisch belang bankendynamiek</li> <li>• Ecologisch belang korrel</li> <li>• Voedselweb vooroever (benthos, schelpdierbanken, vis, vogels)</li> <li>• Zandtransport en landschapsontwikkeling van duinen</li> <li>• Zand en nutriënten</li> <li>• Biodiversiteit duinlandschap</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Belang vooroever voor vis</li> <li>• Reactie vis op suppleties</li> <li>• Species pool benthos</li> <li>• Landschapsdifferentiatie</li> <li>• Natuurwaarden Waddenzee</li> </ul>
<b>Stuurknoppen beheer en beleid</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorm, diepte, locatie, seizoen, wijze van suppletie</li> <li>• Herkomst zand</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Locatie/frequentie</li> <li>• Socio-economische context</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Strategie kustlijn</li> <li>• Suppletiestrategie</li> </ul>
Lokaal	Regionaal	Nationaal
<b>Ruimtelijke schaal</b>		

### 3.1.1 Prioritering tot drie krachtlijnen

Aan de hand van de verschillende selectiecriteria (besproken in de vorige paragraaf) kunnen de kennisvragen gebundeld worden in drie krachtlijnen, welke elk hun eigen gewicht kennen binnen dit programma:

*(Cumulatieve) gevolgen van reguliere suppleties op samenstelling en functioneren van het ecosysteem van de vooroever*

Allereerst blijkt uit de beschrijving van kennisvragen in hoofdstuk 3 dat er veel vragen liggen over de cumulatieve effecten van suppleties op de fysische en ecologische processen van de vooroever. Hierbinnen liggen verschillende vragen met een fysische koppeling, bijvoorbeeld over de rol van de korrelgrootte voor benthos en vis, de lange termijn effecten van suppleties op het sorteringsmechanisme, de relatie tussen bankendynamiek en benthos. Daarnaast liggen er verschillende vragen over ecologische processen zoals over voedselwebinteracties en het belang van de vooroever voor vis. Vanwege het brede spectrum aan vragen wat er ligt op het gebied van de lange en middellange termijn effecten van suppleties op de ecologie van vooroever en de samenhang tussen deze vragen, wordt er voorgesteld om hier het zwaartepunt te leggen binnen het aankomend onderzoek. Hoewel wij voorstellen verschillende onderdelen van het kuststelsel een substantieel deel te laten uitmaken van het aankomende programma, behoeft het beantwoorden van genoemde vragen over de vooroever een sterke monitoringscomponent. Gezien het criterium "haalbaarheid tijd en budget" zal er daarom een keuze in het zwaartepunt gemaakt moeten worden.

### ***Gevolgen van suppletie strategie voor landschapsvormende processen van strand en zeereep***

---

Voor het strand en de duinen liggen er geen belangrijke onderzoeksvragen op de korte termijn en de lokale schaal, omdat de systeemrespons zich over het algemeen niet op die schaal afspeelt. Wij zijn van oordeel dat de belangrijkste vraagstelling ligt op het vlak van regionale landschapsontwikkeling, in relatie tot suppletiebeleid (ruimtelijke en temporele verdeling van suppleties), andere gebruiksfuncties, en beheerstrategieën van de zeereep. Er is in de afgelopen jaren veel kennis verzameld over het functioneren van duinsystemen en mogelijkheden tot dynamisch beheer van de zeereep. Openliggende vragen betreffen de mogelijkheid om suppletie strategie beter in te zetten als een randvoorwaarde die de diversiteit van landschappen, en de diversiteit van de gemeenschappen daarin, kan verrijken of verarmen. Dit vraagt multidisciplinair onderzoek, deels in de bèta richtingen (met name eolisch transport als schakel tussen suppletie en duin aangroei) maar ook in de gamma richting (kustlijnbeheer met optimalisatie van tegenstrijdige belangen). Door de koppeling te maken tussen fysische randvoorwaarden voor landschapsdifferentiatie, bijvoorbeeld de mate van zandtoevoer naar de zeereep en het beheer van die zeereep, en het kustlijnbeheer (bv. keuze voor suppletielocaties), kan een suppletie strategie worden gekozen die meerwaarde oplevert voor de diversiteit van het (duin)landschap. Dit type onderzoek beoogt de gehele kustgradiënt mee te nemen, maar zal de focus leggen op dynamisch landschapsbeheer van strand en zeereep, in relatie tot lange-termijn suppletie strategie.

### ***Verkenning van (cumulatieve) effecten van suppletie op de natuurwaarden van de Waddenzee inclusief buitendelta's.***

---

Voor het suppletiebeleid op lange termijn ligt een cruciale vraag bij de werking van de buitendelta's en zeegaten, als verbindende factor tussen suppletiebeleid en de natuurwaarden in de Waddenzee. Dit onderzoek moet niet alleen fysisch, maar ook ecologisch worden ingevuld. Het vraagt om een veel grondiger begrip van de morfodynamische uitwisselingsprocessen, maar moet ook in staat zijn eventueel ingrijpen in dit proces ecologisch te vertalen naar de natuurwaarden van de Waddenzee en haar buitendelta die rijk is aan vis, vogels en (voedsel voor) zeezoogdieren. Hoewel voor de werking van de buitendelta's en zeegaten verschillende morfologische vragen beantwoord moeten worden, pleiten wij ervoor om met bescheiden inspanning vanuit de ecologie vast ons bewust te zijn van de mogelijke effecten op dit belangrijke natuurgebied op termijn.

Met deze bundeling wordt een keuze gemaakt om niet te concentreren op enkele lokale, relatief korte-termijn projecten, maar eerder voor de middellange tot lange termijn. Het zal evenwel ook binnen deze groep van problemen nog nadere precisering en detaillering vragen, om vanuit die principes een concreet plan van aanpak op te stellen.

Om inzicht te geven in de relatieve verhouding van deze inhoudelijke krachtlijnen binnen het voorgestelde onderzoeksprogramma, is er een cirkeldiagram gemaakt van de geschatte inspanningsverdeling van de componenten, waarbij monitoring als apart component is meegenomen vanwege zijn substantiële omvang.





# Deel C: Ontwerp uitvoeringsplan

## 1 Inleiding

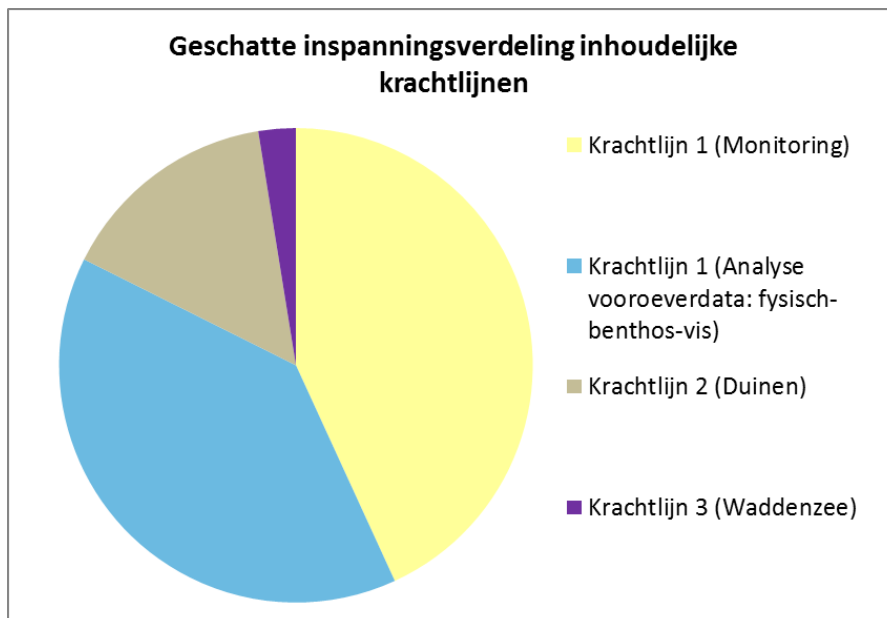
Deel C beschrijft het ontwerp uitvoeringsplan, waarin de grote lijnen worden geschetst voor het voorgestelde onderzoek, aan de hand van de krachtlijnen zoals beschreven in deel B.

In hoofdstuk 2 worden de benodigde activiteiten per krachtlijn geschetst welke noodzakelijk zijn voor het voorgestelde onderzoek. Voor elke krachtlijn worden de onderliggende vragen en hypothesen beschreven. Vervolgens volgt een korte beschrijving van de voorgestelde aanpak en de verwachte resultaten. De uitwerking hiervan is tot slot beschreven. Voor elke krachtlijn zal een meer gedetailleerd werkplan gemaakt worden, aan de hand van de geplande activiteiten per jaar. Hoofdstuk 3 gaat in op de rol van integratie en communicatie in het huidige project. Vervolgens is in hoofdstuk 4 een globale planning gegeven, met daarbij ook een overzicht van het proces van het project.

## 2 Uitwerking per krachtlijn

In dit hoofdstuk wordt per krachtlijn een beschrijving gegeven van het voorgestelde onderzoek. Kennisleemtes en onderwerpen zoals weergegeven in deel B (hoofdstuk 3) zijn dikgedrukt en gekleurd (blauw= fysisch-morfologisch, groen=ecologisch, rood= stuurknoppen beheer en beleid) om te zien waar deze kennisleemtes terugkomen in het voorgestelde onderzoek. Hier zullen voornamelijk de kennisleemtes terugkomen waar de prioritering aan de hand van voorgestelde criteria toe geleid heeft.

Om inzicht te geven in de relatieve verhouding van deze inhoudelijke krachtlijnen binnen het voorgestelde onderzoeksprogramma, is er een cirkeldiagram gemaakt van de geschatte inspanningsverdeling van de componenten, waarbij monitoring als aparte component is meegenomen vanwege zijn substantiële omvang.



Figuur 2.1 Geschatte inspanningsverdeling van de drie voorgestelde inhoudelijke krachtlijnen voor het aankomend onderzoeksprogramma voor B&O kust ecologie. In dit overzicht zijn inspanningen met betrekking tot communicatie en projectmanagement buiten beschouwing gelaten, om de inhoudelijke verdeling duidelijk te kunnen weergeven.

## 2.1 (Cumulatieve) gevolgen van reguliere suppleties

In deze krachtlijn worden de (cumulatieve) gevolgen van reguliere suppleties op samenstelling en functioneren van het ecosysteem van de vooroever besproken in relatie tot de benodigde activiteiten voor onderzoek. De activiteiten bestaan uit het verkrijgen en bijeenbrengen van recente en historische data, deze statistisch bewerken en analyseren en de resultaten hiervan vertalen naar beleid.

### 2.1.1 Onderliggende vragen en hypothesen

Deze krachtlijn richt zich op de vraag of de praktijk van regelmatige suppleties, op de middellange termijn en op de ruimtelijke schaal van delen van de Nederlandse kust, veranderingen veroorzaakt in de benthische fauna, de visfauna en de kinderkamerfunctie van de vispopulaties. Tevens onderzoekt het programma of die eventuele effecten voorspelbaar zijn, en ontwikkelt daarvoor het instrumentarium.

De onderliggende hypothesen zijn nader beschreven in deel B van dit document. Kort samengevat luiden ze:

- **Regelmatige suppleties** leiden tot een verandering van fysische karakteristieken in het habitat, met name **korrelgrootteverdeling, steilheid van de vooroever, diepte en bankdynamiek**, waardoor de gemeenschappen in de jaren na suppletie niet terugkeren naar de uitgangssituatie maar naar een gewijzigde samenstelling die in overeenstemming is met de gewijzigde fysische habitatkarakteristieken. Dit geldt zowel voor benthos als vis.
- De vooroever is van groot **belang voor de ontwikkeling van vispopulaties**, omdat hij als kinderkamer fungeert. Veranderingen in de kinderkamerfunctie van de vooroever hebben een significant effect op de populaties, ook al treden ze slechts op in een ruimtelijk beperkte fractie van het verspreidingsgebied van de (adulte) populatie.
- Er zijn ruimtelijke gradiënten in de habitats van de vooroever langs de Nederlandse kust, van Zeeland tot de Waddenzee, die zich reflecteren in de **samenstelling van de gemeenschappen van benthos en vis**, en die de gevoeligheid van deze gemeenschappen voor suppleties beïnvloeden. Gradiënten kunnen scherp zijn bij geulen en buitendelta's en door deze landschapselementen worden bepaald. Een betere habitatclassificatie verbetert de voorspelbaarheid van effecten van (herhaalde) suppleties.

### 2.1.2 Voorgestelde aanpak

De aanpak bestaat uit volgende elementen:

#### Data verzameling

- Compileren van bestaande biologische datasets over **benthos** en **vis** in de vooroever, en linken van die observaties aan de fysische habitatkarakteristieken van de monsterlocaties (op basis van fysische modellen of historische observaties);
- Verzamelen van nieuwe data over **benthos** en **vis** in de vooroever, gebaseerd op een survey langs de Nederlandse kust;
- Instellen van een ecologisch opvolgingsprogramma voor suppleties, waarbij alle suppleties systematisch worden bemonsterd (voor/na) voor **benthos** en **vis**;
- Gebruikmaken van bestaande monitoringprogramma's, zoals Jarkus en WOT, om zoveel mogelijk bijkomende data te verzamelen; waar mogelijk zorgen voor strategische uitbreiding van deze programma's;
- Databeheer en –managementsysteem opzetten en vullen.

## Statistische data-analyse

- Habitatmodellering: opstellen van statistische (regressie-type, univariate of multivariate) modellen die op basis van causale fysische factoren (gemeten of gemodelleerd) de samenstelling van **gemeenschappen** voorspellen;
- Analyseren van de ruimtelijk-temporele patronen in de relevante omgevingsfactoren, op basis van bestaande monitoringprogramma's (met uitbreiding), bestaande ecologische modellen, en nieuw verzamelde gegevens. Nadruk op de relatie tussen suppleties en langdurige veranderingen in deze factoren;
- Synthetiseren van de habitatmodellen met de informatie over veranderingen door suppleties.

### 2.1.3 Verwachte resultaten

- Evaluatie van het bestaan en de grootte van middellange effecten door cumulatieve fysische veranderingen als gevolg van (herhaald) suppleren op de gemeenschappen en het **voedselweb in de vooroever** (specifiek vis en benthos);
- Instrumentarium om aan de hand van de relaties tussen kenmerken van suppleties (bv. **korrelgrootte**, **locatie**) en **gemeenschappen**, verwachte effecten van suppleties in het algemeen op gemeenschappen te voorspellen. Dit instrumentarium bestaat uit statistische (regressie-type) relaties, waarvoor de onafhankelijke variabelen (in casu de fysische omgevingsfactoren) uit fysische modellen en/of uit waarneming en/of uit scenariostudies kunnen komen.

Van belang is te benadrukken dat het doel van de modellen niet is om in groot detail de ontwikkelingen op relatief korte termijn van individuele suppleties te voorspellen, maar dat de nadruk ligt op het voorspellen en evalueren van cumulatieve veranderingen op middellange tot lange termijn.

Tabel 2.1 Geprioriteerde kennisleemtes aan de hand van de criteria uit hoofdstuk 3 deel B. Onderwerpen die terugkomen in krachtlijn 1 "(Cumulatieve) gevolgen van reguliere suppleties" zijn dikgedrukt.

Tijdschaal	
Middellang (5-10 j)	Lang (>10j)
<b>Fysisch-morfologisch</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Bankendynamiek</b></li> <li>• <b>Residuele korrelgrootte</b></li> <li>• Zandtransport naar duin</li> <li>• Ontwikkeling van de zeereep</li> <li>• Dynamiek grondwater in duin</li> <li>• Geochemie/herkomst zand</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kust-bekken uitwisseling</li> </ul>
<b>Ecologisch</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ecologisch belang bankendynamiek</li> <li>• Ecologisch belang korrel</li> <li>• <b>Voedselweb vooroever</b> (benthos, schelpdierbanken, vis, vogels)</li> <li>• Zandtransport en landschapsontwikkeling van duinen</li> <li>• Zand en nutriënten</li> <li>• Biodiversiteit duinlandschap</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Belang vooroever voor vis</b></li> <li>• Reactie vis op suppleties</li> <li>• <b>Species pool benthos</b></li> <li>• Landschapsdifferentiatie</li> <li>• Natuurwaarden Waddenzee</li> <li>□</li> </ul>
<b>Stuurknoppen beheer en beleid</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Locatie/frequentie</b></li> <li>• Socio-economische context</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Strategie kustlijn</li> <li>• <b>Suppletiestrategie</b></li> </ul>
Regionaal	Nationaal
<b>Ruimtelijke schaal</b>	

#### 2.1.4 Uitwerking

##### **Data verzameling: Integreren van bestaande datasets over korte-termijn effecten suppleties.**

In het kader van de Zandmotor, experiment Callantsoog en suppletie bij Ameland, en voorafgaand in andere projecten, zijn datasets verzameld over bodemdieren en demersale vis vóór, tijdens en na suppletie. Parallel zijn datasets verzameld over bodemdieren van het strand. Voorgesteld wordt om al deze data in een enkele database te verzamelen. Deze database kan fungeren als basis om responsen van gemeenschappen op causale fysische factoren te verkennen, zodat verbeterde voorspelling (zie ook 5.1.2) mogelijk is en een basis wordt gelegd voor habitatclassificatie van de vooroever.

Methodologisch is de uitdaging om data die verzameld zijn met verschillende methoden en protocollen, op dusdanige wijze te behandelen en op te slaan dat er geen artefacten door worden veroorzaakt. Daarvoor bestaan verschillende methoden: reduceren tot een beperkt aantal nominale klassen (bv. aan- en afwezigheid, Ysebaert et al. 2002), gebruikmaken van quantile regression (bv. Cozzoli *et al.*, 2014), standaardiseren voor multivariate analyse (voorbeeld Ameland studie).

##### **Data verzameling: Opvolgen van de respons van bodemdieren op suppleties langs de gehele Nederlandse kust.**

Het is op dit ogenblik moeilijk resultaten van enkele case studies te extrapoleren langs de Nederlandse kust. Belangrijke kustlangse gradiënten, bv. in korrelgrootteverdeling, worden niet door de data bestreken. Het is onze hypothese dat op de middellange en lange termijn de samenstelling en het functioneren van het vooroeversysteem vooral zal worden bepaald door langdurige veranderingen in de omgeving, vooral korrelgrootteverdeling en veranderingen in bankdynamiek. Om na te gaan of dit het geval is, en in welke mate het bepalend is voor de ecologie van vooroever en strand, is een database nodig die op die tijdschaal veranderingen onder invloed van suppleties kan beschrijven. Om die reden wordt voorgesteld alle toekomstige suppleties langs de Nederlandse kust op te volgen met bodemdierbemonsteringen inclusief metingen aan fysische variabelen, met een relatief beperkt aantal monsters per locatie maar een gebiedsdekkende omvang. Het perspectief van een dergelijk programma is langer dan de hier besproken onderzoeksprogrammering van vijf jaar, maar het huidige programma zal in staat zijn de zinvolheid ervan te evalueren en bovendien een goed protocol op te stellen.

Het voorstel omvat per suppletie een bodemdierbemonstering op vier raaien (twee in suppletie, twee ernaast) van elk 6 punten in de vooroever, te nemen voorafgaand aan de suppletie, na één jaar en na drie jaar. Per keer worden er op een suppletie dus 24 monsters genomen. Dit kan zowel met een Van Veen happer als met een bodemschaaf – een definitieve keuze hierin zal worden gemaakt op basis van bestaande data, en voorafgaand aan het begin van het programma. Het totaal aantal monsters is hier sterk afhankelijk van het aantal suppleties dat wordt uitgevoerd. In het geval er 4 suppleties per jaar worden uitgevoerd kan deze bemonsteringsstrategie leiden tot ongeveer 288 monsters per jaar in steady state (4 suppleties/jaar, 3 jaar per suppletie, 24 monsters per keer). Elke bemonstering bepaalt korrelgrootteverdeling, diepteligging, morfologische eenheid (trog, top, helling), temperatuur, zwevende stof concentratie en samenstelling bodemfauna, inclusief onderwater foto/video-opnamen. Indien dit aantal te groot is voor de financiële mogelijkheden, wordt voorgesteld tweemaal te bemonsteren, eenmaal voorafgaand aan de suppletie, eenmaal na twee jaar (192 monsters in steady state bij 4 suppleties per jaar).

Bij Rijkswaterstaat staan tot en met 2019 de volgende suppleties op het programma:

Suppleties uit programma 2012-2015. Hiervoor zijn reeds NB-wet vergunning voor ontvangen. Deze suppleties kunnen (mogelijk) niet binnen de geplande termijn (1 jan 2015-31 dec 2016) worden uitgevoerd en zullen mogelijk worden verschoven naar 2017:

- Callantsoog (diepe vooroever)
- Ameland zuidwest (geulwand)
- Vlieland Oost (geulwand)
- Walcheren Domburg & Walcheren Westkapelse Zeedijk (beiden vooroever/strand)
- Goeree Westhoofd (strand)

Nieuwe suppleties uit programma 2016-2019, uitvoering 2017-2019.

- Vlieland Oost (strand)
- Vlieland havenstrand
- Noord Beverland (strand)
- Schoorl (strand)
- Katwijk (strand)
- Walcheren Oostkapelle (vooroever)

Uit dit overzicht ([link](#) bezocht op 27 mei 2016) blijkt dat er tot en met 2019 slechts 4 vooroeversuppleties zijn gepland (en een diepe vooroeversuppletie bij Callantsoog). Het lijkt er dus op dat het aantal van 4 vooroeversuppleties per jaar niet gehaald gaat worden. Daarom wordt voorgesteld om in ieder geval alle suppleties in het programma op te volgen volgens bovenstaande beschrijving.

#### **Data verzameling: Opvolgen van respons van benthos en juveniele vis langs de Nederlandse kust**

Doordat bemonsteringsintensiteit bij het volgen van slechts enkele suppleties beperkt is, wordt als aanvulling/alternatief hierop voorgesteld om een survey uit te voeren in de vooroever (0 tot 10-12 m diepte) langs de gehele Nederlandse kust, waarbij benthos, vis en habitatkarakteristieken worden meegenomen. Deze kustlangse monitoring zet een eerste stap in het verkrijgen van een landelijke database, gekoppeld aan habitatkarakteristieken. Zij zal bijdragen aan een habitatclassificatie van de Nederlandse kust, en een inzicht geven in de biodiversiteit van de verschillende habitattypes. Daarnaast zal zij de basis vormen voor een beter inzicht in het belang van de kust als kinderkamer voor vis. Data uit het opvolgen van suppleties zullen met deze dataset gekoppeld worden. Er zou tevens later in het programma eenzelfde kustlangse monitoring kunnen plaatsvinden, om deze dataset verder te versterken.

Er is weinig bekend over de functie van de ondiepe vooroever als kinderkamer voor juveniele vis en over (de grootte van) eventuele effecten van suppleties hierop. Deze ondiepe (<12 meter diepte) zone valt slechts beperkt binnen de bestaande monitoringsprogramma's (WOT schelpdieren en DFS). De DFS komt tot een diepte van minimaal 6-8 meter. Tevens is de timing van de DFS (najaar) en het gebruikte tuig niet geschikt voor de 0-groep soorten (met name tarbot, griet, tong en schol). De (juveniele) visbemonstering zal worden gekoppeld aan de benthosbemonstering (voor beschrijving, zie vorige paragraaf). Het voorstel is om te starten met een integrale bemonstering uit te voeren in de vooroever (0 tot 12 meter) langs de gehele Nederlandse kust. Gedurende een periode van 3 weken aan het begin van de zomer (mei/juni) zal de Nederlandse kust worden afgegaan met een onderzoekschip. Het benthos zal worden bemonsterd met een schaaf en/of een Van Veen happer. Vis zal worden bemonsterd met de meest geschikte methode, die zal worden vastgesteld in een methodologische pilot, waarin tevens de tijdsplanning zal worden vastgesteld. Het voorstel is om deze bemonstering uit te voeren in 2017, maar om in 2016 alvast een pilot uit te voeren op één locatie, met name om de methode voor visbemonstering in combinatie met de andere bemonsteringen te testen. Na 2017 zullen individuele suppleties worden opgevolgd (zie vorige paragraaf). Op basis van de resultaten van de pilot kan het plan voor 2017 verder worden uitgewerkt en geoptimaliseerd. Om ook zicht te krijgen in de (cumulatieve) effecten van zandsuppleties dienen tijdens de

bemonstering ook de habitatkarakteristieken goed in kaart te worden gebracht. Hiertoe zullen aanvullende parameters kunnen worden verzameld of berekend zoals sedimentsamenstelling, diepte, onderwatercamera, morfodynamiek.

De informatie zal in de eerste plaats leiden tot een beter begrip van het belang van de ondiepe vooroever voor juveniele vis. Dit relatieve belang moet duidelijker worden vastgesteld voordat kan worden overgegaan tot het kwantificeren van de effecten van zandsuppleties op de kinderkamerfunctie. Op dit ogenblik is hierover zeer weinig bekend. De resultaten van de survey zullen tevens toelaten habitatmodellen voor juveniele vis vast te stellen, die op vergelijkbare wijze als de modellen voor benthos kunnen worden gebruikt om effecten van suppletie vast te stellen en te kwantificeren.

### **Data verzameling: Gebruik/uitbreiding bestaande monitoringprogramma's**

Het doel van de (beperkte) voorgestelde uitbreiding van bestaande monitoringprogramma's is om met weinig meerkosten de ecologisch relevante habitatinformatie over de Nederlandse kust op termijn aanzienlijk te verbeteren. Dat kan door de Jarkus bemonstering gericht uit te breiden, en door gegevens van de Wettelijke OnderzoeksTaken (WOT) van EZ gericht aan te wenden voor wat betreft de kust.

Voorgesteld wordt om met de uitvoerders van de Jarkus raaien in overleg te treden over de mogelijkheid deze uit te breiden met volgende opties:

- Uitbreiding Jarkus raaien tot het volledige kustfundament (-20 m).
- Opname van de Jarkusraaien met multibeam, inclusief backscatter, zodat korrelgrootte-informatie wordt verkregen en informatie over bedvormen op verschillende schalen (van kleine ripples tot banken).
- Groundtruthing van de korrelgrootte-informatie uit monsters, zodat op termijn de interpretatie van de backscatter kan verbeteren, en zelfs indien dit niet zou lukken achtergrondinformatie over korrelgrootte aanwezig is.

De gegevens uit de WOT monitoring voor schelpdieren en demersale vis (IMARES) kunnen worden gebruikt om de metingen in het onderzoek beschreven onder 3 te toetsen aan lange-termijn trends in de populaties op een grotere geografische schaal.

### **Data verzameling: Databeheer en management**

Een goede structuur voor databeheer is essentieel voor dit programma. Voorgesteld wordt dat bij het begin van het programma duidelijke afspraken worden gemaakt over de openheid van data en metadata, het gebruik door verschillende partijen, en de structuur van de technische infrastructuur die hiervoor nodig is.

Een vereiste voor goed databeheer is dat velddata die binnen het programma worden verzameld, na kwaliteitscontrole worden geconsolideerd in een database die voor alle partners (en afhankelijk van afspraken, ook voor andere partijen) toegankelijk is. Alle analyses gebeuren op de kwaliteitsgecontroleerde en geconsolideerde data, zodat het circuleren van meerdere versies van eenzelfde dataset wordt voorkomen.

Het databeheer dient gekoppeld te worden aan de bestaande datastructuren voor PMR en KPP B&O Kust, zodat data uitgewisseld kan worden en analyses mogelijk versterken. Historische data over ecologische bemonsteringen langs de Nederlandse kust, worden gekoppeld aan de op te zetten database, hetzij door directe invoering van de data, hetzij door koppeling (bv. webservices).

Bij het databeheer wordt aandacht besteed aan de verschillende methodes die zijn gebruikt voor het inwinnen van data. Deze worden in de database beschreven, zodat bij analyse de meest geschikte standaardisering kan worden toegepast.

### **Statistische data-analyse: Habitatmodellering op basis van bestaande datasets over kortetermijn gevolgen suppleties.**

Nadere analyse van de data verzameld rond specifieke suppleties vindt plaats in het kader van een drietal STW NatureCoast PhD projecten voor de Zandmotor, en additioneel in een SEAWAD PhD project. Een vertaling van de onderzoeksresultaten naar aanbevelingen voor suppletiepraktijk zal nodig zijn na afloop van deze projecten, en moet belegd worden in het huidige programma. Bij de Zandmotor wordt een multidisciplinaire aanpak gevolgd, waarbij hydrodynamische (en mogelijk morfodynamische) modelresultaten worden gebruikt als inputvariabelen voor de statistische analyse. Een dergelijke aanpak dringt zich ook op voor de andere datasets. De aanpak zal toelaten meer causale factoren (i.p.v. diepte als een proxy) te gebruiken als verklaring voor de samenstelling van de gemeenschap. Voorgesteld wordt om bijvoorbeeld XBeach simulaties als input te gebruiken. Dit onderzoek kan in het kader van de genoemde promoties verder worden uitgewerkt, maar een voldoende sterke link met het huidige programma is noodzakelijk om toepassingen voor de evaluatie van suppletie-effecten mogelijk te maken.

Deze stap zal bijdragen tot de keuze van de meest geschikte analysemethode voor de statistische analyse. Mogelijke analysemethoden zijn: logistische regressie op aan/afwezigheid, Generalized Linear Model analyse op kwantitatieve data, quantile regression op kwantitatieve data, multivariate methoden (MDS, ordinatie), of een combinatie van deze benaderingen.

Ook zal deze stap inzicht verschaffen in de mate waarin verschillende fysische variabelen bijdragen aan de verklaring van variatie in biologische gegevens. Stroomsnelheid (getijstroom en orbitale snelheden), bodemschuifspanning, korrelgroottesamenstelling, mobiliteit van het sediment op langere tijdschaal, bodemvormen, bankdynamiek zijn kandidaat-variabelen, maar uit nadere analyse kunnen ook andere, of afgeleide, variabelen kunnen worden ontdekt.

### **Statistische data-analyse: Habitatanalyse op basis van de nieuw verworven data**

Voorgesteld wordt om, onmiddellijk na het verkrijgen van de bemonsteringsgegevens, een preliminair datarapport op te stellen dat de verkregen data documenteert, en alle stappen beschrijft van kwaliteitscontrole voorafgaand aan het opslaan in een gestructureerde database. Het datarapport bevat een grafische voorstelling van de resultaten ter documentatie.

In het (derde) vierde en vijfde jaar van het project wordt voorgesteld een analyse te maken van de tot dan bekende gegevens (suppletie monitoring, kustlangse monitoring, WOT schelpdieren, historische data). Hierbij wordt gebruik gemaakt van statistische methoden, worden fysische modellen (bv. XBeach) gebruikt om de lokale fysische stress af te schatten, en Jarkusdata om de bankdynamiek te karakteriseren.

De exploratie van geschikte statistische methoden in de analyse van historische gegevens, zal naar verwachting hebben geleid tot het kiezen van de meest geschikte methodologie. Deze stap zal vooral aanleiding geven tot een uitbreiding van de toepasbaarheid tot, in principe, de hele Nederlandse kust.

### **Statistische data-analyse: Statistische analyse van de opvolging van reguliere suppleties. Deel: demersale (juvenile) vis.**

De kustbrede survey zal na kwaliteitscontrole resulteren in een datarapport met een preliminaire beschrijving van het veldwerk en de verzamelde gegevens. Vervolgens zullen de visgegevens worden gekoppeld en statistisch worden geanalyseerd met de gegevens van de bodemdieren, sedimentsamenstelling, Jarkusdata, XBeach, etc. Het doel van deze analyse is het belang te onderzoeken van de kustzone voor juveniele vis en van welke processen en karakteristieken dit afhankelijk is.

Tevens zal er worden onderzocht wat het relatieve belang is van de kustzone voor de populatieontwikkeling van relevante vissoorten. Hiervoor is een modelmethode zoals beschreven in Van de Wolfshaar *et al.* (2015) te gebruiken.

### **Statistische data-analyse: Statistische analyse van spatio-temporele patronen in de fysische stuurvariabelen langs de kust**

De fysische variabelen, die ofwel gemonitord worden in het Jarkusprogramma, lodingen, of in de veldbemonsteringen voor dit programma, ofwel berekend worden uit de toepassing van modellen, zullen worden onderzocht op hun variatie in de ruimte en tijd. Specifiek zal worden onderzocht of er relaties kunnen worden gelegd tussen deze variabelen en de historische toepassing van suppleties. De resultaten zullen worden gebruikt om het habitat van de vooroever, op de schaal van de Nederlandse kust, te karakteriseren en te toetsen aan de faunagegevens. Daarnaast zullen de resultaten een inzicht geven in de mate waarin belangrijke fysische variabelen worden beïnvloed door suppleties.

### **Statistische data-analyse: Synthese van onderliggende statistische modellen**

Voor de evaluatie en kwantificering van lange-termijn effecten van suppleties, zullen de statistische modellen over belangrijke habitatvariabelen, en de habitatmodellen voor benthos en vis, worden samengebracht in een synthesesmodel, dat zal gericht zijn op het evalueren van mogelijke effecten van suppleties op de vooroevergemeenschappen op langere termijn.

## **2.2 Gevolgen van suppletie strategie voor landschapsvormende processen van strand en zeereep**

### **2.2.1 Onderliggende vragen en hypothesen**

Dit onderdeel van het programma onderzoekt of, en hoe, de ruimtelijke planning en uitvoering van suppleties (*locatie/frequentie*) kan bijdragen aan het maximaliseren van biodiversiteit van duinlandschappen op Nederlandse schaal, door *gedifferentieerd landschapsbeheer* toe te laten zonder andere functies in het gedrang te brengen. Het onderzoek is gericht op kennis waarmee vanuit planning van suppleties, de *randvoorwaarden in de zeereep* voor het beheer van de achterliggende duinen kan worden geoptimaliseerd.

Het beleid van het dynamisch handhaven van de kustlijn levert andere kust- en duinlandschappen op dan een vrij eroderende kust. Ook een vrij eroderende kust heeft een ecologische waarde, indien er doorvoer van zand naar het achterland plaatsvindt. Gezien de aanwezige functies in de kustzone is het niet mogelijk om langs grote delen van de Nederlandse kust doorgaande structurele erosie toe te laten. Toch zijn er wel plekken waar mogelijk kansen zijn voor langere perioden van structurele erosie van het aquatische en het terrestrische deel van de kust. Of het daadwerkelijk gerealiseerd kan worden is primair een maatschappelijk vraagstuk (*socio-economische context*) waarbij de verschillende belangen/functies van de kustzone afgewogen moeten worden. Veelal gaat het dan om: veiligheid tegen overstromen, buitendijkse bebouwing, recreatie, drinkwaterwinning en duinnatuur. Elk van deze belangen worden veelal door verschillende partijen behartigd: waterschappen, gemeenten, NGO's, terreinbeheerders, ondernemers en waterbedrijven.

De onderliggende hypothesen zijn verantwoord in deel B van dit document. Kort samengevat luiden ze:

1. De *biodiversiteit van de Nederlandse duingebieden*, op nationale schaal, kan worden bevorderd door *gedifferentieerd zeereepbeheer*, waarbij zowel afslaand als aangroeiend duin, met minder of meer dynamiek, in verschillende zones van de kust wordt gerealiseerd.
2. *Zandtoevoer naar de zeereep* wordt in sterke mate bepaald door suppletiebeleid; de schaal waarop de zeereep reageert op suppleties, is ruim groter dan de schaal van individuele suppleties, zowel in ruimte als in tijd (Figuur 3.4, deel A).



3. Het beheer en gebruik van strand en zeereep (beheer door natuurbeheerders, gebruik van strand, aanwezigheid van paviljoens, betreding,...) bepaalt samen met natuurlijke factoren (aard van begroeiing, beschikbaarheid van nutriënten, geochemie van het zand, grondwater) hoe de zeereep reageert op verandering in zandaanvoer.
4. De dynamiek van de zeereep bepaalt het instuiven van zand in het duin, en daarmee de dynamiek in het zeewaartse gedeelte van de duinen; de invloed neemt exponentieel af met de afstand tot de kust, maar kan secundair doorwerken via secundaire verstuingen.
5. Geen enkel type beheer van de zeereep kan, het type dynamiek van een afslaande kust simuleren, en daarmee dus dezelfde ecologische gevolgen in het duin veroorzaken als een situatie met afslag. Het unieke ecologische karakter van een afslaande kust kan daardoor in sommige zones opwegen tegen andere gebruiksfuncties.

### 2.2.2 Voorgestelde aanpak

De aanpak bestaat uit volgende elementen:

- Analyse van de relatie tussen suppleties en zandvolumes in de zeereep en het duin. Deze analyse onderbouwt hypothese 2 en levert bruikbare relaties die toelaten te voorspellen hoe veranderingen in suppleties doorwerken in zandtoevoer naar de zeereep;
- Onderbouwen/falsifiëren van de hypothesen 1 en 4 door samenvattingen / heranalyses van bestaande studies in de duinen. Het doel van deze analyse is te evalueren of verandering in suppletiebeleid, en met name het instellen van natuurlijk eroderende zones, een wezenlijke bijdrage kan leveren tot het instandhouden of verbeteren van de biodiversiteit van Nederlandse duinen;
- Identificeren van een aantal locaties langs de NL kust die in aanmerking komen voor een afslagbeheer. Op de Westkop van Schouwen wordt momenteel als pilot “Slimmer omgaan met zand op Schouwen” niet gesuppleerd. Bij het identificeren van specifieke locaties, zullen terreinbeheerders betrokken worden. Voor die locaties worden potentieel belangrijke sturende parameters vastgesteld, o.a.:
  - Zandflux (incl suppleties)
  - Intensiteit van duinafslag (keren per jaar)
  - Aanwezigheid en verandering van begroeiing
  - Beschikbare voedingsstoffen
  - Beheer door WS/natuurbeheerders
  - Gebruik van het strand (bv paviljoens enz)
  - Betreding

Het onderzoek richt zich op het onderbouwen van hypothese 3 maar ook van hypothese 5. Het zal leiden tot een verbeterd conceptueel model van de interactie tussen verschillende factoren voor de dynamiek van de zeereep, en zal dus in beeld brengen wat de unieke toegevoegde waarde is van afslagbeheer voor de ecologie van het duin.

### 2.2.3 Verwachte resultaten

Inzicht in de sturende processen voor de ontwikkeling van de zeereep als schakel tussen de zee en de duinen. Door meer begrip in de sturende processen voor de ontwikkeling van de zeereep kunnen mogelijk andere keuzen gemaakt worden in het beheer van de kustzone. Daardoor kan de dynamiek in de duinen mogelijk versterkt worden en de diversiteit en ecologische waarde van duinecotopen worden vergroot. Die andere keuzen in het beheer kunnen suppleties betreffen maar ook andere vormen van beheer.

Een conceptueel model dat de opgebouwde kennis over de effecten van suppleties op de volledige kustgradiënt (vooroever, zeereep, duin) samenvat, rekening houdend met lokale factoren, deze integreert en beschikbaar maakt voor het beleid en het beheer.

Tabel 2.2 Geprioriteerde kennisleemtes aan de hand van de criteria uit hoofdstuk 3 deel B. Onderwerpen die terugkomen in krachtlijn 2 "Gevolgen van suppletie strategie voor landschapsvorming" zijn dikgedrukt.

Tijdschaal	
Middellang (5-10 j)	Lang (>10j)
<b>Fysisch-morfologisch</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bankendynamiek</li> <li>• Residuele korrelgrootte</li> <li>• <b>Zandtransport naar duin</b></li> <li>• <b>Ontwikkeling van de zeereep</b></li> <li>• Dynamiek grondwater in duin</li> <li>• <b>Geochemie/herkomst zand</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kust-bekken uitwisseling</li> </ul>
<b>Ecologisch</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ecologisch belang bankendynamiek</li> <li>• Ecologisch belang korrel</li> <li>• Voedselweb vooroever (benthos, schelpdierbanken, vis, vogels)</li> <li>• <b>Zandtransport en landschapsontwikkeling van duinen</b></li> <li>• <b>Zand en nutriënten</b></li> <li>• <b>Biodiversiteit duinlandschap</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Belang vooroever voor vis</li> <li>• Reactie vis op suppleties</li> <li>• Species pool benthos</li> <li>• <b>Landschapsdifferentiatie</b></li> <li>• Natuurwaarden Waddenzee</li> </ul>
<b>Stuurknoppen beheer en beleid</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Locatie/frequentie</b></li> <li>• <b>Socio-economische context</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Strategie kustlijn</li> <li>• Suppletie strategie</li> </ul>
Regionaal	Nationaal
<b>Ruimtelijke schaal</b>	

## 2.2.4 Uitwerking

### Voorradingheid en flux van zand richting zeereep

Suppleties zijn van belang voor de flux van zand richting zeereep, maar een zeereep reageert niet één-op-één op enkel een lokale suppletie. Er is kustlangs transport van zand, waardoor de ruimtelijke schaal waarop suppleties de zeereep beïnvloeden redelijk groot is. Verwacht kan worden dat ook de tijdschaal redelijk groot is: pas na jaren van suppleties is een effect op de zeereep duidelijk. Uit analyse van historische gegevens (Jarkus data als voornaamste input), tezamen met procesinformatie uit bijvoorbeeld het STW programma rond de Zandmotor, zullen deze schalen vastgesteld worden. Daarmee zal worden bepaald hoe de zeereep op suppleties reageert, en welke mogelijkheden er zijn om landschapsbeheer van zeereep en duin (eventueel regionaal gedifferentieerd) met suppletie strategieën te sturen. Doel is na te gaan of verbeteringen van het landschapsbeheer kunnen worden gerealiseerd door in sommige regio's meer of minder te suppleren, alles uiteraard binnen de grenzen van kustveiligheid.

### Toetsen van hypothesen en opstellen van kennisregels over de relatie tussen zeereep en ecologie van het duin

Bestaand onderzoek en kennis zal worden samengevat en geheranalyseerd om te toetsen of de biodiversiteit van de Nederlandse duinen, en met name de habitatdiversiteit op nationale schaal, kan worden bevorderd door ruimtelijk differentiëren van het suppletiebeleid. Deze analyse zal, behalve het presenteren van een compacte en kritische samenvatting van de grote hoeveelheid kennis over Nederlandse duinsystemen, ook (waar mogelijk) resulteren in het formuleren van kennisregels die aspecten van de ecologie van het duin verbinden met het beheer van de zeereep en met de randvoorwaarden (bv. grootte van de zandtoevoer) voor die zeereep. Ook waar geen causaal verband bestaat, maar de ecologie van het duin door andere factoren wordt

bepaald, zal dit worden aangegeven. Op basis van de analyse kan duidelijk gemaakt worden hoe belangrijk het variëren van de dynamiek in de zeereep (en het 'doorgeven' van zand naar het duin) is voor behoud en versterking van de ecologische waarden in de duinen.

De heranalyse en samenvatting zal zo goed mogelijk landelijk dekkend zijn, en duidelijk onderscheid maken, waar nuttig of nodig om trends te begrijpen, tussen verschillende deelsystemen langs de Nederlandse kust. De analyse zal duidelijk maken welke beperkingen aan het ecologisch beheer van zeereep en duin worden gesteld door het suppletiebeleid, en welke verbeteringen daarin het nader onderzoeken waard zijn.

### **Identificeren en analyseren van potentiële locaties voor afslagbeheer**

Een onderzoek naar de (middel)lange termijn effecten van suppleren op duingebieden zou zich primair moeten richten op die gebieden van de kust waar er gezien de functies van de kust kansen zijn voor het (tijdelijk) toelaten van doorgaande erosie. In de praktijk betreffen dit vooral de zogeheten "brede" duinen. Inhoudelijk gezien is dit type onderzoek ook relevant voor de andere delen van de kust. Echter, op die delen zal de opgedane kennis naar verwachting niet in praktijk gebracht kunnen worden, bijvoorbeeld vanwege gebruiksfuncties of veiligheidsoverwegingen. In Figuur 2.2 zijn locaties weer gegeven waar op basis van een eerste inschatting mogelijk kansen zijn. Of die kansen er echt zijn zal moeten blijken uit onderzoek in overleg met de belanghebbenden. Mogelijk zijn er overigens wel "smallere" duingebieden waar de rol van erosie nu, maar vooral in het verleden, zodanig heeft doorgewerkt dat ze als referentie-studiegebied kunnen dienen.



Figuur 2.2 Potentiële locaties waar de haalbaarheid van afslagbeheer kan worden onderzocht, en waar tevens onderzoek naar de interactie tussen regionale en lokale bepalende factoren zich kan concentreren

Daarnaast zijn locaties aan te wijzen waar een grote dynamiek bestaat met een lange landwaartse gradiënt, bijvoorbeeld de Groote Keeten. In dit gebied wordt de kustlijn in stand

gehouden door suppleren, maar komt toch dynamisering voor, waarvan de effecten misschien vergelijkbaar zijn met die van afslaande kusten. Studie van dit type gebied kan aanwijzingen geven wanneer suppleren en in stand houden van de kustlijn in combinatie met dynamiseren kan voorkomen. Deze vergelijking kan de basis vormen voor het toetsen van hypothese 5, die stelt dat er voor de handhaving/versterking van de ecologische waarden van afslaande kusten geen goed beheeralternatief zonder afslag voorhanden is.

Op alle studielocaties zal een grondige inventarisatie gemaakt worden van gebruik en beheer van de kust, en van de natuurlijke factoren die mee bijdragen aan het bepalen van de dynamiek van de zeereep. Het doel is het relatieve belang van deze lokale factoren te vergelijken met de overall setting van zandaanvoer en regionale landschapsvormende processen, zodat de ruimte kan worden bepaald waarin verandering van het suppletiebeleid de dynamiek van de zeereep en de doorwerking daarvan op de ecologie van het duin kan bepalen.

De focus van het voorgestelde onderzoek ligt op de zeereep omdat dit deel van de kust de schakel is tussen de zee en de duinen. Een essentiële ecologische vervolgvraag (voor de duinbeheerders) zal zijn in hoeverre de veranderende processen in de zeereep doorwerken naar de ontwikkeling van aangrenzende ecotopen en levensgemeenschappen, zowel aan de zeezijde als aan de landzijde van de zeereep.

### **Een conceptueel model voor de werking van de zeereep als schakel tussen landelijk suppletiebeleid, lokaal beheer en gebruik, en de ecologische waarden van de duinen**

Dit is een samenvattende exercitie, die de belangrijkste resultaten van de voorgaande studies zal samenvatten in een logische context, en daaruit de belangrijkste resultaten voor het suppletiebeleid zal extraheren. Tevens zal deze studie resultaten van onderzoek van natuurwaarden in de vooroever met duinonderzoek combineren. Op deze manier kan er een afgewogen beeld kan ontstaan van de gevolgen van suppleties en beheer op de ecologie van het continuüm vooroever-strand-zeereep-duin.

## **2.3 (Cumulatieve) effecten voor de Waddenzee**

### **2.3.1 Onderliggende vragen en hypothesen**

Er zijn vragen over de invloed van kustsuppleties op de **ecologie van de Waddenzee**. De relatie tussen kustsuppleties en Waddenzee hangt nauw samen met de werking van de **zeegaten** en buitendelta's, zoals gepreciseerd in delen A en B van dit rapport. De centrale vraag die we in dit programma willen oppakken is die naar de ecologische doorvertaling van eventuele veranderingen in de bathymetrie van de Waddenzee (verdrinking, verlanding) als gevolg van suppleties, op de natuurwaarden van de Waddenzee. Ze omvat expliciet niet de morfodynamische component, die wordt opgepakt in het kader van Kustgenese II en het STW-programma SEAWAD. De bedoeling is om de ecologische doorvertaling mogelijk te maken op het ogenblik dat de morfodynamiek duidelijker is, zodat een afgewogen beslissing kan worden genomen binnen de termijn van ongeveer vijf jaar die de Deltabeslissing voorziet. De centrale ecologische vraag is hoe de bathymetrie en **korrelgrootteverdeling** (vooral slibgehalte) de bodemdieren van de platen beïnvloeden, en hoe eventuele veranderingen in bathymetrie doorvertalen in foerageermogelijkheden voor steltlopers (voedselbeschikbaarheid, droogvalverdeling). Het tijdig uitvoeren van de ecologische analyse kan voor de morfodynamische studie een belangrijk kader scheppen: ze preciseert binnen welke range significante ecologische effecten te verwachten zijn en kan daardoor richtinggevend zijn voor de precisie die gevraagd wordt van de fysische analyse.

De hypothesen zijn:

- Relatieve veranderingen in hoogteligging van platen t.o.v. het gemiddeld zeeniveau, vertalen zich (zelfs bij geringe veranderingen) in significante effecten op het **benthos en de vogels van de Waddenzee**.
- Relatieve veranderingen in de **korrelgroottesamenstelling** van de platen vertalen zich in significante effecten op het benthos en de vogels van de Waddenzee.
- Het is mogelijk om op basis van bestaande gegevens vast te stellen met welke precisie fysisch-morfodynamische studies de effecten van suppleties op hoogteligging en korrelgroottesamenstelling van de platen in de Waddenzee moeten bepalen, om een relevante uitspraak over de **natuurwaarden in de Waddenzee** te kunnen doen.

### 2.3.2 Voorgestelde aanpak

De SIBES-dataset over het benthos van de platen in de Waddenzee is verzameld over de afgelopen jaren. De dataset is een essentieel instrument om de relatie te leggen tussen de ecologische doelvariabelen (bodemdiersamenstelling, foerageermogelijkheden vogels) en fysisch-geografische variabelen als hoogteligging, sedimentsamenstelling, stromingen en golven. Voorgesteld wordt om vanuit het programma bij te dragen aan een statistische analyse van de bestaande SIBES dataset met het oog op het kwantificeren van relaties tussen droogvalduur, sedimentsamenstelling, blootstelling aan golven en stromingen, en het voorkomen van bodemdieren. Bestaande fysische modellering (bv. in het kader van PACE, mosselwad, e.a.) zal gebruikt worden als verklarende variabelen voor de ecologie.

### 2.3.3 Verwachte resultaten

Een instrument (statistisch model) dat morfodynamische resultaten (d.i. uitspraken over het effect van kustsuppleties op de morfologie van de Waddenzee) kan doorvertalen naar natuurwaarden van de Waddenzee. Een analyse van de precisie die nodig is in de morfodynamische uitspraken om relevant te zijn voor de natuurwaarden van de Waddenzee. Het is aan de morfodynamische onderzoekers om verwachtingen uit te spreken ten aanzien van de precisie van de uitspraken die zij zullen kunnen doen, maar in algemene termen kan worden gesteld dat de processen zeer complex zijn, en dat een aanzienlijke bandbreedte in de uitspraken kan worden verwacht. Deze bandbreedte zal met het hier voorgestelde onderzoek kunnen worden vertaald in bandbreedte van mogelijke effecten op natuurwaarden.

<b>Tijdschaal</b>	
Middellang (5-10 j)	Lang (>10j)
<b>Fysisch-morfologisch</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bankendynamiek</li> <li>• Residuele korrelgrootte</li> <li>• Zandtransport naar duin</li> <li>• Ontwikkeling van de zeereep</li> <li>• Dynamiek grondwater in duin</li> <li>• Geochemie/herkomst zand</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Kust-bekken uitwisseling</u></li> </ul>
<b>Ecologisch</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ecologisch belang bankendynamiek</li> <li>• Ecologisch belang korrel</li> <li>• Voedselweb vooroever (benthos, schelpdierbanken, vis, vogels)</li> <li>• Zandtransport en landschapontwikkeling van duinen</li> <li>• Zand en nutriënten</li> <li>• Biodiversiteit duinlandschap</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Belang vooroever voor vis</li> <li>• Reactie vis op suppleties</li> <li>• Species pool benthos</li> <li>• Landschapsdifferentiatie</li> <li>• <u>Natuurwaarden Waddenzee</u></li> </ul>
<b>Stuurknoppen beheer en beleid</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Locatie/frequentie</li> <li>• Socio-economische context</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Strategie kustlijn</li> <li>• Suppletiestrategie</li> </ul>

Regionaal	Nationaal
<b>Ruimtelijke schaal</b>	

Tabel 2.3 Geprioriteerde kennisleemtes aan de hand van de criteria uit hoofdstuk 3 deel B. Onderwerpen die terugkomen in krachtlijn 2 "(Cumulatieve) effecten voor de Waddenzee" zijn dikgedrukt.

#### **2.3.4 Uitwerking**

Het betreft een relatief beperkte inspanning, waarbij een analyse wordt gevraagd van bestaande data die reeds in het kader van SIBES zijn verzameld.

### **3 Integratie en communicatie**

Naast een sterke inhoudelijke component is het ook belangrijk dat er een brede bekendheid gegeven kan worden aan de resultaten die uit het onderzoek voortkomen. Daarnaast is het van belang dat de kennis vroegtijdig wordt gedeeld met andere projecten en onderzoeken.

Zoals o.a. tijdens de startbijeenkomst werd opgemerkt lopen er veel verschillende programma's. Door het samenbrengen van kennis, data en/of activiteiten wordt de impact van de kennis opgedaan in de individuele programma's vergroot. Het platform mariene monitoring beoogt dit binnen RWS te bewerkstelligen en geeft wellicht een goede basis.

Naast deze uitwisseling tussen onderzoeksprogramma's is het van belang om de opgedane kennis te delen met de achterban van de convenantpartners, en binnen Rijkswaterstaat om toepassing in de suppletiepraktijk te bevorderen.

#### **3.1 Kennisdeling**

Het delen van kennis is niet vanzelfsprekend hiervoor is tijd en inspanning nodig. De volgende acties worden onderschreven.

##### **Kennisdeling over het project zelf**

Specifiek over het project zelf is het nodig om op regelmatige basis kennis te delen met een bredere groep dan alleen de projectgroep en of opdrachtgever. Hier wordt voorgesteld om in ieder geval eens per jaar een breed symposium te organiseren waar de resultaten uit het onderzoek kunnen worden gedeeld. Deze brede terugmelding zal naast de projectgroep, de opdrachtgever en de convenantpartners ook bedoeld zijn voor de achterban.

Daarnaast kan gedacht worden aan:

- Website
- Nieuwsbrief (digitaal)
- Wiki

##### **Kennisuitwisseling met anders programma's**

Naast dit programma lopen er verschillende andere projecten zoals Kustgenese II, Zandmotor, projecten onder de waddenacademie, in het kader van de MEP-zandwinning, etc. Om hiermee een uitwisseling mogelijk te maken is er tijd nodig voor deelname aan:

- Relevante workshops
- Gesprekken over samenwerking en het samenbrengen van kennis

##### **Toegankelijke data**

In dit programma is het verkrijgen van verschillende nieuwe data en historische data voorzien. Het is van belang dat deze publieksvriendelijk beschikbaar zijn. Hiervoor kan gebruik gemaakt worden van bestaande platforms zoals de kustviewer of het Informatie Huis Marien. Er moeten over deze punten duidelijke afspraken worden gemaakt binnen het programma; zulke afspraken liggen aan de basis van het opzetten van een databeheersinstrument.

#### **3.2 Coördinatie van kennis**

Het KPP B&O Kust programma, waar ecologie een onderdeel van is, is een landelijk programma. Rijkswaterstaat ziet het als haar taak om het overzicht van het onderzoek dat er langs de kust wordt uitgevoerd, niet alleen onder begeleiding van Rijkswaterstaat, te hebben en met andere te delen. Met behulp van dit overzicht kan Rijkswaterstaat zorgen dat vragen die bijvoorbeeld niet in dit programma opgepakt kunnen worden succesvol ingebracht kunnen worden in andere programma's. Op deze manier verdwijnen er geen belangrijke kennisvragen en wordt het beschikbare onderzoeksbudget efficiënt ingezet.

**Coördinatie van kustonderzoek**

Overzicht en coördinatie van onderzoeken die er aan de kust worden uitgevoerd. Rijkswaterstaat heeft behoefte aan overzicht over het geheel en afstemming binnen dat geheel.

**Inbedding van onderzoeksvragen in andere programma's**

Rijkswaterstaat vindt het belangrijk dat het onderzoek dat niet past binnen dit programma elders wordt opgepakt. Hiervoor zal samenwerking en overleg met andere programma's en of partijen nodig zijn.

**Implementatie in de uitvoeringspraktijk**

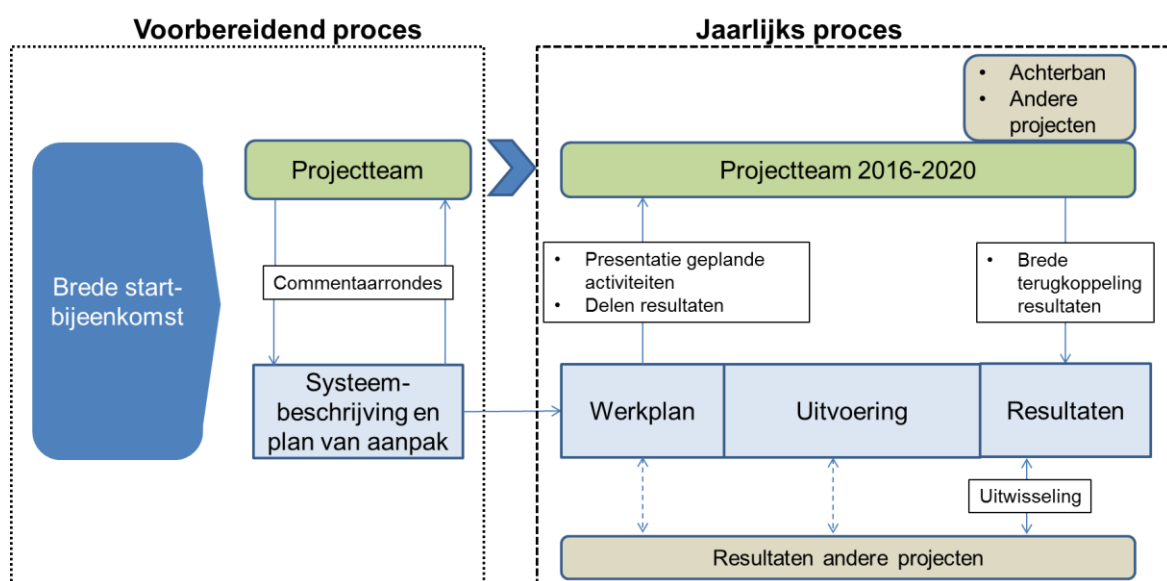
Tot slot is de implementatie van de onderzoeksresultaten in concrete bijdragen aan beheer en aan mogelijke aanpassingen aan de uitvoeringspraktijk vanzelfsprekend een van de belangrijkste resultaten.



## 4 Planning en proces

### 4.1 Proces en indeling

In deze paragraaf is een overzicht gemaakt van het projectproces. Hierin wordt weergegeven wanneer plannen gepresenteerd en besproken worden met het projectteam, wanneer er inbreng mogelijk is vanuit convenantpartners en wanneer kennis breed wordt gedeeld.

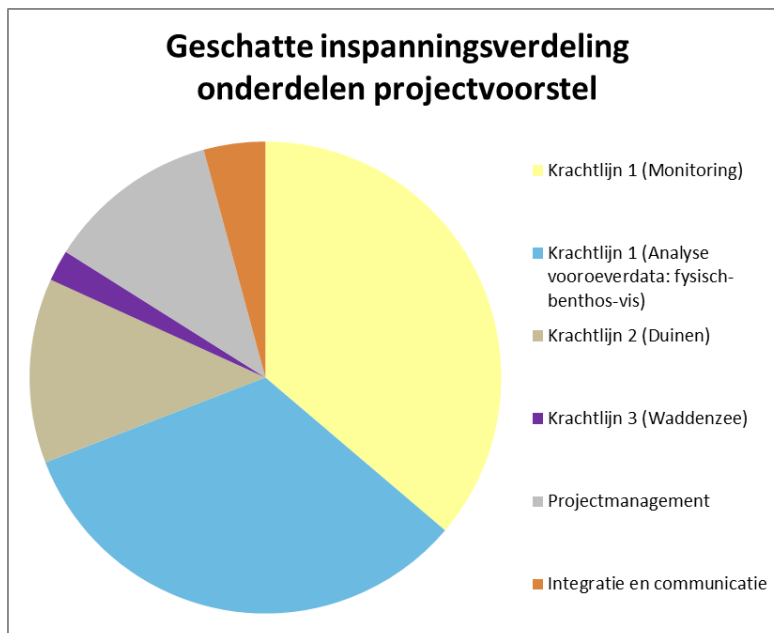


### 4.2 Globale planning

De planning zijn in deze versie globaal weergegeven. Er is een indeling gemaakt in de activiteiten die plaats zullen vinden binnen de krachtlijnen, en een grove indeling in het moment in de tijd dat deze activiteit plaatsvindt. Daarnaast is een overzicht gemaakt van de geschatte inspanning per onderdeel.

Onderdeel	Invulling	Grof tijdpad
<b>Projectmanagement</b>		
Projectmanagement	Aansturing gehele programma	<i>hele periode</i>
	Aanspreekpunt voor RWS	<i>hele periode</i>
	Opstellen Plan van aanpak	<i>2016</i>
<b>Krachtlijn 1: Cumulatieve gevolgen van reguliere suppleties</b>		
Databehoefte	Compileren bestaande datasets	<i>2016</i>
	Bemonstering benthos & vis op suppleties, T0, evt T4	<i>PM</i>
	Bemonstering benthos & juveniele vis kustlangs	<i>2017</i>
	Verlenging Jarkus raaien	<i>PM</i>
	Toevoegen pilot data aan dataset	<i>PM</i>
	Databeheer en Management	<i>hele periode</i>
Statistische analyse	Korte termijn gevolgen van suppleties	<i>PhD studies</i>
	Analyse bodemdieren	<i>na monitoring</i>

	Analyse juveniele vis	<i>na monitoring</i>
Model-ontwikkeling	Modelontwikkeling	2019-2020
<b>Krachtlijn 2: Suppletiestrategie in dynamisch landschapsbeheer</b>		
Zandflux richting strand en duin	Ontwikkeling Decision support model	2016-2018
Gebruiksfuncties van de kuststrook		
<b>Krachtlijn 3: (Cumulatieve) effecten voor de Waddenzee</b>		
Aansluiting bij SIBES-dataset	Bemonstering (buiten dit programma)	<i>PM</i>
	Analyse	<i>PM</i>
<b>Integratie en communicatie</b>		
Kennisdeling	Over het project	2018-2020
	Met andere programma's	2018-2020
	Data publiek toegankelijk	2018-2020
Coördinatie van kennis	Coördinatie lopende kustonderzoek (RWS)	<i>hele periode</i>
	Inbedding onderzoeksvragen in andere programma's (RWS)	<i>hele periode</i>
	Implementatie in de uitvoeringspraktijk	<i>eindfase</i>



Figuur 4.1 Geschatte inspanning per onderdeel uit het projectvoorstel en de globale planning.

## Referenties

Arens, S. M. (1996). "Rates of Aeolian sand transport on a beach in a temperate humid climate." Geomorphology **17**: 3-18.

Arens, S. M., F. H. Everts, A. M. Kooijman, S. T. Leek, M. Nijssen en N. P. J. de Vries (2012). Ecologische effecten van zandsuppletie op de duinen langs de Nederlandse kust. Den Haag, OBN.

Arens, S. M., F. H. Everts, A. M. Kooijman, E. J. Lammerts, S. T. Leek, M. E. Nijssen, B. van der Valk en N. P. J. de Vries (2013). Geomorfologische en ecologische effecten van zandsuppleties op duinen. De Levende Natuur. **114**: 246-251.

Arens, S. M., S. P. van Puijvelde en C. Brière (2010). Effecten van suppleties op duinontwikkeling. Geomorfologie. Amsterdam, Bureau voor strand- en duinonderzoek.

Baptist, M. J. en M. F. Leopold (2009). "The effects of shoreface nourishments on *Spisula* and *scoters* in The Netherlands." Marine Environmental Research **68**(1): 1-11.

Baptist, M. J., J. E. Tamis, B. W. Borsje en J. J. van der Werf (2009). Review of the geomorphological, benthic ecological and biogeomorphological effects of nourishments on the shoreface and surf zone of the Dutch coast, IMARES.

Baptist, M. J. & M. F. Leopold (2010). Prey capture success of Sandwich Terns *Sterna sandvicensis* varies non-linearly with water transparency. Ibis **152**: 815-825, doi: 10.1111/j.1474-919X.2010.01054.x.

Baptist, M. J. & W. A. Wiersinga (2012). Zand erover: vier scenario's voor zachte kustverdediging. De Levende Natuur **113**(2): 56 – 61 (in Dutch).

Baptist, M. J., K. E. Van de Wolfshaar, B. J. A. Huisman, A. V. De Groot, W. De Boer en Q. Ye (2012). Developing an interactive Tool for evaluating sand nourishment strategies along the Holland coast in perspective of benthos, fish nursery and dune quality, Imares.

Baveco, J. M. (1988). Vissen in troebel water. De effecten op visuele predatoren van verhoogde troebelheid en zwevend- stofgehalten als gevolg van baggerwerkzaamheden. Groningen, RDD Aquatic ecosystems.

Borsje, B.W.; Bouma, T.J.; Rabaut, M.; Herman, P.M.J.; Hulscher, S.J.M.H. (2014). "Formation and erosion of biogeomorphological structures: A model study on the tube-building polychaete *Janice conchilega*." Limnol. Oceanogr. **59**(4): 14 pp

Brown, A. C. en A. McLachlan (2002). "Sandy shore ecosystems and the threats facing them: some predictions for the year 2025." Environmental Conservation **29**(01): 62-77.

Callaghan, D. P., T. J. Bouma, P. C. Klaassen, D. Van der Wal, M. J. F. Stive en P. M. J. Herman (2010). "Hydrodynamic forcing on salt marsh development: distinguishing the relative importance of waves vs. tidal flow." Estuarine Coastal and Shelf Science **89**(1): 73-88.

Cozzoli, F., T. J. Bouma, T. Ysebaert en P. M. J. Herman (2013). "Application of non-linear quantile regression to macrozoobenthic species distribution modelling: comparing two contrastive basins." Marine Ecology Progress Series **475**: 119-133.

De Jong, M. F., M. J. Baptist, H. J. Lindeboom en P. Hoekstra (2015). "Short-term impact of deep sand extraction and ecosystem-based landscaping on macrozoobenthos and sediment characteristics." Mar. Pol. Bull.

De Vries, S. (2013). Physics of blown sand and coastal dunes. Technische Universiteit Delft, proefschrift.

Essink, K. (1993). Ecosystem effects of dredging and dumping in the Ems-Dollard estuary and the Wadden Sea, Rijkswaterstaat RIKZ.

FitzGerald, M., N. C. Kraus en E. B. Hands (2010). Natural Mechanisms of Sediment Bypassing at Tidal Inlets, US corps of engineers.

Glorius, S. T., K. E. Van de Wolfshaar en I. Y. M. Tulp (2012). Abundance patterns of six fish species in the shallow coastal zone in The Netherlands, Imares.

Grontmij (2012). MER winning suppletiezand Noordzee 2013 t/m 2017 Hoofdrapport. Te raadplegen via <https://www.noordzeeloket.nl/>

Holzhauser, H. en B. van der Valk (ed) (2009a). Megasuppleties langs de Nederlandse kust. Delft, Deltares.

Holzhauser, H., B. van der Valk, J. van Dalftsen, M. Baptist en G. Janssen (2009b). Ecologisch gericht suppleren, nu en in de toekomst. Het ontwerp meerjarenplan voor monitoring en (toepassingsgericht) onderzoek. Delft, Deltares, IMARES & VU Amsterdam.

Hordijk D., 2002. Voorstudie geulwandsuppletie Oostgat. Thesis MSc. TU Delft, Faculteit der Civiele Techniek.

Janssen, G. M. en S. Mulder (2004). De ecologie van de zandige kust van Nederland. Inventarisatie van het macrobenthos van strand en brandingszone. Haren, RIKZ.

Jonkvorst, R. J., A. Gyimesi, T. J. Boudewijn en M. J. M. Poot (2013). Fase 1 Kustvogels & zandsuppleties: Overzicht van de ecologie en het voorkomen van Nederlandse kustvogels in relatie tot de effecten van zandsuppleties Culemborg, Bureau Waardenburg.

Kohsiek, L. H. M. (1984). De korrelgrootte karakteristiek van de zeereep (stuifdijk) langs de Nederlandse kust, Rijkswaterstaat.

Koomans, R. L. (2000). Sand in motion; effects of density and grain size. Rijksuniversiteit Groningen, proefschrift.

Lammerts, E. J., van Haperen, A., Arens, B., Grootjans, A., Kooijman, A., de Leeuw, C., Stuyfzand, P. J. (2014). De Natuur van de Kust; tussen aangroei en afslag, 91 pp. Uitgave VBNE/uitgeverij Natuurmedia.Driebergen: uitgeverij Natuurmedia/VBNE.

Löffler, M., A.J.F. van der Spek en C. van Gelder-Maas, 2011: Mogelijkheden voor dynamisch kustbeheer, een handreiking voor beheerders. Rapport Deltares 1204594, 37 pp.

Löffler, M.A.M., Leeuw, C.C. de, Haaf, M.E. ten, Verbeek, S.K., Oost, A.P., Grootjans, A.P., Lammerts, E.J. en Haring, R.M.K. (2008). "Eilanden Natuurlijk, Het Tij Geleerd", Groningen

McLachlan, A. en A. C. Brown (1990). The Ecology of sandy shores, Elsevier.

Ministerie van Economische Zaken (2014). Natuurambitie Grote Wateren 2050 en verder. Den Haag.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1990). Kustverdediging na 1990, Beleidskeuze voor de Kustlijnzorg. 21 136 nr 6. Tweede Kamer 1989-1990. Den Haag.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2009). Samenwerkingsovereenkomst zandsuppleties Natuurbeschermingsorganisaties en Rijkswaterstaat. Den Haag, Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

Mulder, J.P.M. (2000). Zandverliezen in het Nederlandse kuststelsel; advies voor dynamisch handhaven in de 21<sup>e</sup> eeuw. Den Haag, rapport RIKZ/2000.36.

Nederbragt, G. (2006). Zandvoorraden van het kuststelsel; onderbouwing van een conceptueel model met behulp van trends van de winst- en verliesposten over de periode 1973-1997. Den Haag, rapport RIKZ/2005.033.

Palumbi, S. R., K. L. McLeod en D. Grunbaum (2008). "Ecosystems in Action: Lessons from Marine Ecology about Recovery, Resistance, and Reversibility." Bioscience **58**(1).

Poortinga, A. (2015). Beach sand dynamics: measurements, models and scales. Wageningen Universiteit, proefschrift.

Post, M. H. M., E. Blom, C. Chen, L. J. Bolle en M. J. Baptist (submitted). Habitat Selection of Juvenile Sole (*Solea solea* L.): Consequences for Shoreface Nourishment.

Postma, H. (1954). "Hydrography of the Dutch Wadden Sea." Arch. Néerl. Zool. **10**: 405-511.

Postma, H. (1981). "Exchange of materials between the North Sea and the Wadden Sea." Mar. Geol. **40**: 199-215.

Rozemeijer, M. J. C. (2009). Rekolonisatie van de zeebodem na zandwinning en suppletie: een review. Lelystad, Rijkswaterstaat.

Rozemeijer, M. J. C., J. De Kok, J. G. De Ronde, S. Kabuta, S. Marx en G. Van Berkel (2013). Het Monitoring en Evaluatie Programma Zandwinning RWS LaMER 2007 en 2008-2012: overzicht resultaten en evaluatie, Imares.

Schellekens, T. and R. Witbaard (2012). DEB Ensis vs. Data. Yerseke, IMARES

Shepherd, R. G. (1989). "Correlations of permeability and grain size." Groundwater **27**: 633-638.

Short, A. D. (1996). "The role of wave height, period, slope, tide range and embaymentisation in beach classifications: a review." Revista Chilena de Historia Natural: 589-604.

Slings, R., B. Arens, J. Sevink, E. Remke, M. Nijssen. 2012. Herstelstrategieën Programmatische Aanpak stikstof, deel III Landschapsecologische inbedding herstelstrategieën, document 7: Droog Duinlandschap. <http://pas.natura2000.nl/files/7-droog-duinlandschap.pdf>

Spearman, J., A. De Heer, S. Aarninkhof en M. Van Koningsveld (2001). Validation of the tass system for predicting the environmental effects of trailing suction hopper dredgers. Terra et Aqua. **125**: 14-21.

Stuyfzand, P. J., S. M. Arens en A. P. Oost (2010). Geochemische effecten van zandsuppleties langs Hollands kust. Nieuwegein, KWR.

Tánczos, I. C. (1996). Selective transport phenomena in coastal sands. Rijksuniversiteit Groningen, proefschrift.

Teal, L. R. en O. A. Van Keeken (2011). The importance of the surf zone for fish and brown shrimp in The Netherlands. IJmuiden, IMARES.

Van Alphen, J. (1987). De Morfologie en Lithologie van de Brandingszone tussen Terheijde en Egmond aan Zee, Rijkswaterstaat.

Van Bemmelen, C. E. (1988). De Korrelgrootte-Samenstelling van het Strandzand Langs de Nederlandse Noordzee-Kust, Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren.

Van Bemmelen, R. S. A. en S. C. V. Geelhoed (2012). Heeft de Zandmotor een aantrekkende werking op Futen in de Hollandse kustzone?, Imares.

Van Beusekom, J. E. E., C. Buschbaum en K. Reise (2012). "Wadden Sea tidal basins and the mediating role of the North Sea in ecological processes: scaling up of management?" Ocean & Coastal Management **68**: 69-78.

Van Dijk, P.M. en Hollemans, W.A. (1991). "Wind erosion measurements on the island of Schiermonnikoog, Report III. The calibration of wind erosion measuring devices by means of wind tunnel research." Wageningen Agricultural University, Department of Irrigation and Soil and Water Conservation, 38 pp.

Van Dijk, A.G.P. en Kleinhans, M.G. (2005). "Processes controlling the dynamics of compound sand waves in the North Sea, Netherlands." Journal of Geophysical Research **110**: 1-15

Van de Wolfshaar, K. E., S. T. Glorius en M. T. Van der Sluis (2012). Habitat suitability rules for the shallow coastal zone in The Netherlands, Imares.

Van de Wolfshaar, K. E., I. Tulp, H. Wennhage en J. G. Støttrup (2015). "Modelling population effects of juvenile offshore fish displacement towards adult habitat." Marine Ecology Progress Series **540**: 193-201.

Van der Spek, A. en E. Elias (2013). "The effects of nourishments on autonomous coastal behavior." Coastal Dynamics.

Van der Spek, A., E. Elias, Q. Lodder en R. Hoogland (2015). Toekomstige suppletievolumes: eindrapport. Delft, Deltares.

Van der Spek, A. en Q. Lodder (2015). A new sediment budget for the Netherlands: the effect of 15 years of nourishing (1991-2005). Delft, Deltares.

Van der Valk, L., Reinders, J., Van der Spek, A.J.F., Van Gelder-Maas, C. (2013). Voorbeelden van Dynamisch Kustbeheer. Een inventarisatie van Dynamisch Kustbeheer projecten langs de Nederlandse kust. Delft, Deltares.

Van der Werf, J. (2012). Advies geulwandsuppletie Onrustpolder. Memo. Delft, Deltares.

Vergouwen, S. A. en H. Holzhauer (2016). Ontwikkeling van het bodemleven in de vooroever na aanleg van een onderwatersuppletie van het bodemleven in de vooroever na aanleg van een onderwatersuppletie. Case studie Ameland en Schiermonnikoog 2009-2014. Delft, Deltares.

Verwey, J. (1952). "On the ecology of cockle and mussel in the Dutch Wadden Sea." Arch. Néerl. Zool. **10**: 171-239.

Wijnberg, K. M. (2002). "Environmental controls on decadal morphologic behaviour of the Holland coast." Marine Geology **189**: 227-247.

Wijnberg, K. M. en J. H. J. Terwindt (1995). "Extracting decadal morphological behaviour from high-resolution, long-term bathymetric surveys along the Holland coast using eigenfunction analysis." Mar. Geol. **126**: 301-330.

Wijsman, J. W. M., Dedert, M., Schellekens, T., Teal, L., Van Kruchten, Y.J.G. (2012). Adaptive Monitoring Strategies in dredging; Case Study Mussels – Modeling the effect of dredging on filter-feeding bivalves. Yerseke, IMARES, Ecoshape: 52.

Ysebaert, T.J. en Herman, P.M.J. (2002). "Spatial and temporal variation in benthic macrofauna and relationships with environmental variables in an estuarine, intertidal soft-sediment environment." Marine Ecology Progress Series. **244**: 105-124.





# Bijlagen

---

## A. Deelnemers brede discussie startbijeenkomst 8 feb 2016

<b>Deelnemer</b>	<b>Organisatie</b>
Petra Damsma	RWS - WVVL
Gerard Janssen	RWS - NN
Sarah Marx	RWS - WVVL
Suzan van Lieshout	RWS - ZD
Ernst Lofvers	RWS - NN
Rik Timmerman	RWS - NN
Quirijn Lodder	RWS - WVVL
Harriëtte Holzhauer	Deltares - ESD
Laura Vonhögen	Deltares - BGS
Luca van Duren	Deltares - ESD
Ad van der Spek	Deltares - AMO
Peter Herman	Deltares - ESD
Sophie Vergouwen	Deltares - MCM
Marco de Kleine	Deltares – BGS
Jeroen Wijsman	Imares
Johan Craeymeersch	Imares
Martin Baptist	Imares
Alma de Groot	Imares
Wouter van der Heij	Waddenvereniging
Jonna van Ulzen	Vogelbescherming Nederland
Klaas Deen	Waddenacademie
Pier Vellinga	Waddenacademie
Katja Philipart	Waddenacademie
Annemieke Kooiman	UVA
Tjisse	
Pieter Stuifzand	KWR
Versluis	
Martijn de Jong	Natuurmonumenten
Evert-Jan Lammers	Staatsbosbeheer
Jan van Dalfsen	
Job van den Berg	Royal Haskoning - DHV



## B. Korte samenvatting startbijeenkomst 8 feb 2016

### Opmerkingen bij de presentaties:

- Neem ook de zandwinning mee
- Lange termijn ontwikkelingen in relatie tot klimaatverandering
- Er worden veel lange termijn morfologische onderzoeken opgepakt in Kustgenese II
- Let op dat het budget niet versnipperd raakt: zorg voor focus!
- Blinde vlek voor hydrologie en geochemie?
- Werk multidisciplinair!

### Subgroepen

#### Onderwateroever

- Om de effecten van suppletie te kunnen onderscheiden van natuurlijke variatie / dynamiek is meer systeemkennis nodig
- Denk eraan dat naast de jaarlijkse 12 miljoen m<sup>3</sup> ook veel grote projecten zijn uitgevoerd de afgelopen jaren.
- Neem de kraamkamerfunctie van de kustzone als kapstok voor het onderzoek, en werk daarbij samen met de visserij
- Werk interdisciplinair
- Neem de tijd voor een helder onderzoeksplan

#### Strand

- Er is behoefte aan een (of een aantal) conceptueel model als startpunt voor de te onderzoeken hypothesen (gelden bestaande denkmodellen ook voor de NL kust?), waarbij je bijv onderscheid maakt in een 'natuurlijk' en een 'semi natuurlijke' kust
- Er is behoefte aan lange termijn data van zowel morfologie als ecologie
- Naast monitoring van de ecologie is monitoring van alle pressures nodig (dus niet alleen zandsuppleties, maar ook recreatie). Daarbij moet samengewerkt worden met regionale partijen, gemeenten, provincies...
- Naast de feiten zelf, moet een waardering plaatsvinden van de verzamelde data. Zijn veranderingen erg? Hoe ga je om met verschillende interpretaties van dezelfde data? (welke rol speelt een gezamenlijk conceptueel model daarin?)
- Detailvragen over verschillende kusthabitats: veranderen de oppervlaktes? Kan je daarvoor gebruik maken van satelietbeelden of Jarkus-metingen?

#### Duinen

- Herhalen en verdiepen van het onderzoek naar de ontwikkeling van grijze duinen in relatie tot dynamiek en suppleties. (want Grijs Duin is prioritair habitat!) hierbij samenwerken met terreinbeheerders en beheerplan-evaluaties
- Experimenteren met een suppletie in combinatie met wel of geen kerven voor optimaliseren van zowel de positieve effecten van suppleties als van de dynamisering. Hierbij ook samenwerken met beheerders en OBN, misschien PAS.
- Een habitat van het begin af aan via alle stadia van embryonaal duin via wit naar grijs duin ontwikkelen, is een mogelijkheid naast het versterken en verbeteren van de bestaande grijze duinen. Daarbij gebruik maken van gegevens van uitgevoerde grote projecten (zandmotor, hondsbosche en perttemer zeewering, spanjaardsduin, ...)
- Het belang van het soort zand dat gebruikt wordt, is ook afhankelijk van de processen die er vat op hebben. Welke natuurlijke selectie vindt plaats? Wanneer stagneert dat?

#### Soorten

- Belangrijkste is de kraamkamerfunctie, maar eigenlijk de habitateisen voor alle levensfasen van alle soorten vis

- Aandacht voor vogels zou moeten focussen op zwarte zee-eenden. Daar wordt al naar gekeken in MEP zandwinning en voor de compensatie van de tweede Maasvlakte.
- Ook strandbroeders verdienen aandacht, maar daarbij spelen veel meer factoren een rol dan zandsuppleties (zie ook het pleidooi onder strand voor kijken naar overige pressures)

#### **Integratie en samenhang**

- Er is behoefte aan het opbouwen van een lange termijn dataset, waardoor je op projectbasis beter kan inschatten wat je (lokale) effect is. En hoe je dit moet interpreteren.
- Benoem 'ecologische click-ons' bij de lopende morfologische- en ecologische onderzoeken/monitoring en implementeer die. (verleng Jarkus-raaien, zet de multibeam-vink aan, mogelijke uitbreiding WOT, etc)
- Zoek uit welke morfologische kennis nodig is voor het beantwoorden van eventuele ecologische vraagstukken en zorg dat die geborgd wordt in andere (deel)projecten van B&O-kust of bijv KGII
- Gebruik scenario's als kapstok voor de integratie van de verschillende onderwerpen