

Megasuppleties langs de Nederlandse kust

- A) Een verkenning naar de effecten voor de ecologie**
- B) Een opzet voor een integraal onderzoeksplan voor ecologie, veiligheid en socio-economie**



Megasuppleties langs de Nederlandse kust

- A) Een verkenning naar de effecten voor de ecologie**
- B) Een opzet voor een integraal onderzoeksplan voor ecologie, veiligheid en socio-economie**

Harriette Holzhauer, Bert van der Valk (red)
Pieter-Koen Tonnon, Jebbe van der Werf en Ap van Dongeren,
Joost Stronkhorst, Chris Sprengers, Albert Oost, Jan Mulder,
Gerben de Boer (Deltares) en Martin Baptist (IMARES)

Opdrachtgever:
Rijkswaterstaat Waterdienst

Megasuppleties langs de Nederlandse kust

**A) Een verkenning naar de effecten voor de ecologie
B) Een opzet voor een integraal onderzoeksplan voor
ecologie, veiligheid en socio-economie**

Harriette Holzhauer, Bert van der Valk (red)
Pieter-Koen Tonnon, Jebbe van der Werf en Ap van
Dongeren, Joost Stronkhorst, Chris Sprengers, Albert Oost,
Jan Mulder, Gerben de Boer (Deltares) en Martin Baptist
(IMARES)

Rapport

december 2008

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Waterdienst					
Titel	Megasuppleties langs de Nederlandse kust					
Samenvatting						
<p>Megasuppleties worden uitgevoerd volgens opgeschaalde volume- en tijdseenheden. Dit heeft gevolgen voor o.a. de vorm en hydrodynamica van de Nederlandse kust. De effecten van deze veranderingen werken door op de natuurwaarden ("ecologie"), veiligheid en socio-economie van de kust. Wat deze effecten precies inhouden en hoe hier mee omgegaan moet worden is nog niet goed bekend.</p> <p>Als eerste stap is in deze studie een verkenning uitgevoerd op basis van literatuur naar de mogelijke effecten van megasuppleties voor de ecologie rond een suppletie locatie. Hierbij is er vooral gekeken naar de effecten van suppleties op de natuurwaarden van de N2000-gebieden. Hieruit komt naar voren dat bodemdieren direct beïnvloed worden door suppleties als gevolg van bedekking. Bodemdieren vormen een belangrijke voedselbron voor verschillende vogelsoorten beschreven onder de VHR-richtlijnen. Vragen rond hersteltijd en rekolonisatie zijn hierin belangrijk.</p> <p>Daarnaast is een aanzet gegeven voor een integraal onderzoeksprogramma waarin een participatieve aanpak wordt voorgesteld voor het identificeren van de meest urgente onderzoeksvragen. Als aanzet zijn voor zowel veiligheid, ecologie en socio-economie de belangrijkste onderzoeksvragen geformuleerd. Door het vooralsnog ontbreken van concrete voorstellen voor locaties van megasuppleties dragen de conclusies van dit rapport een vraagstellend karakter. In een vervoltraject zullen de onderzoekslijnen verder uitgezet moeten worden. Dit staat voor 2009 op het programma.</p>						
Referenties						
Ver	Auteurs (red)	Datum	Opmerk	Review	Goedkeuring	
	Harriette Holzhauser			Sharon Tatman		
	Bert van der Valk			Marcel Taal		
Projectnummer	Z4792					
Trefwoorden	Megasuppletie, kuststelsel, ecologie, veiligheid, socio-economie					
Aantal bladzijden	92					
Classificatie	Geen					
Status	Definitief					

Inhoud

1	Algemene inleiding	1
1.1	Probleemstelling.....	1
1.2	Doel en afbakening.....	1
1.3	Aanpak.....	2
1.4	Relatie met andere projecten.....	3
1.5	Leeswijzer.....	4
2	Het systeem van de Nederlandse kust	5
2.1	Suppleties.....	6
2.2	Megasuppleties.....	8
2.2.1	Vergelijking tussen suppletietypen.....	8
3	Verkenning naar de effecten van megasuppleties op de ecologie in de kustzee	11
3.1	Natura2000 waarden.....	11
3.2	Benthosdiversiteit in de kustzee.....	14
3.2.1	Grote schelpdieren in de kustzee.....	16
3.3	Vissen in de kustzee.....	20
3.4	Mogelijke effecten van suppleties.....	20
3.4.1	Benthische soortdiversiteit in de suppletiezone.....	20
3.4.2	Schelpdier- en visetende vogels.....	25
3.4.3	Zeezoogdieren.....	27
3.4.4	Conclusies.....	28
4	Inventarisatie actueel onderzoek	31
4.1	Internationaal onderzoek megasuppleties.....	31
4.2	Nationaal onderzoek megasuppleties.....	31
4.3	Nationaal onderzoek suppleties.....	33
4.4	Suppletie historie en ecologische monitoring.....	38
5	Aanzet meerjaren onderzoeksprogramma megasuppleties	41
5.1	Context en uitgangspunten.....	41
5.2	Participatieve aanpak.....	43
5.3	Mogelijke scenario's.....	44
5.4	Methoden en technieken.....	46
5.4.1	Inhoud scenariostudies.....	47
5.5	Onderzoeksvragen voor veiligheid.....	50
5.5.1	Algemene veiligheidsaspecten.....	50
5.5.2	Verschillen in veiligheidsaspecten tussen kustsystemen.....	51

5.5.3	Monitoren en data-analyse van gedrag van megasuppleties.....	54
5.5.4	Modelleren van gedrag van megasuppleties.....	55
5.6	Onderzoeksvragen voor ecologie.....	56
5.6.1	Ecologisch dilemma van megasuppleties.....	56
5.6.2	Verschillende suppletievormen, verschillende effecten	57
5.6.3	Ecologisch onderzoeksprogramma	58
5.7	Onderzoeksvragen voor socio-economie.....	63
5.7.1	Kustverbreding.....	63
5.7.2	Strandrecreatie	65
5.7.3	Economische afwegingen bij kustbeheer.....	66
5.7.4	Socio-economisch onderzoeksprogramma	67
6	Literatuur.....	69
Appendices		
A	Vooroeversuppleties in Nederland t/m 2005.....	73
B	Instandhoudingsdoelen voor de kustzee	75
B.1	Noordzeekustzone.....	75
B.2	Voordelta.....	76
C	Vogelsoorten in de kust zone.....	79
C.1	Zee-eenden	79
C.2	Viseters; overwinterende zeevogels.....	80
C.3	Viseters; broedvogels.....	82
D	Effecten megasuppleties op Rijnpluim.....	83
E	De zandmotor	85

1 Algemene inleiding

De Nederlandse kust wordt 'dynamisch' op zijn plaats gehouden doormiddel van suppleties. Dit zorgt ervoor dat de natuurlijke dynamiek van een zandige kust behouden blijft. De natuurlijke zandige kust is daarmee veilig, biedt ruimte aan diverse gebruiksfuncties, waaronder recreatie en heeft een grote natuurwaarde. Maar het is nog onvoldoende duidelijk welke effecten megasuppleties hebben op de veiligheid, economische aspecten en natuurwaarden van de kust. Het gebied waarop een megasuppletie effect kan hebben spreidt zich uit van de diepere delen waar, het zand ingewonnen wordt, tot de depositie locaties en tot in de duinen waar het zand naar verstuift.

Binnen verschillende kaders is en wordt er bekeken of de ontwikkeling van de kust al dan niet gerelateerd is aan suppleties maar een algemeen duidelijk beeld van het effect van megasuppleties is er nog niet. Door de Natura2000-waarden en de zeer recente aanwijzingen vanuit MinVNW (December 2008) is er veel aandacht voor de effecten van kustsuppleties op de natuur.

RWS-Waterdienst heeft daarom behoefte aan een flankerend ('ICZM') programma om de effecten van eventueel toekomstige megasuppleties in kaart te brengen en om een aanzet tot een meerjaren onderzoeksprogramma op te zetten dat rekening houdt met de verschillende soorten effecten (op ecologie, veiligheid en socio-economie-effecten op andere thema's worden hier niet besproken). Dit is de specifieke aanleiding voor dit rapport waarvoor vervolgens Deltares gevraagd is de studie naar megasuppleties te trekken onder de paraplu van het Rijkswaterstaat Stuurboordprogramma 2008 in samenwerking met IMARES en de Waterdienst zelf.

1.1 Probleemstelling

Behoud en verbetering van het kustfundament vraagt in de toekomst om grotere hoeveelheden zand. Deze vraag naar meer zand komt voort uit autonome ontwikkelingen zoals de zeespiegelstijging maar ook uit sociale ontwikkelingen zoals de vraag naar brede, recreatieve en veilige stranden. Hierbij speelt het feit dat een groot deel van de Nederlandse kust is aangewezen als Natura2000-gebied een belangrijke rol. Ook de markt vraagt om grotere suppleties per gebeurtenis.

Een van de opties om het zand in te brengen in het kustfundament is in de vorm van grotere minder frequente (mega)suppleties. Het is echter nog onduidelijk hoe deze suppleties het beste uitgevoerd kunnen worden zodat de natuurwaarden onder- en bovenwater en de veiligheid van de kust behouden blijven of zelfs verbeteren.

Er zijn nog te veel (onderzoeks-)vragen op verschillende gebieden om een direct ontwerp van megasuppleties te maken en te toetsen aan de verschillende wettelijke kaders voor veiligheid en natuur. Een aanzet voor een onderzoeksprogramma met een participatieve aanpak vormt hiervoor een eerste stap. Die eerste stap wordt in dit rapport gezet.

1.2 Doel en afbakening

Het doel van dit onderzoek is om een eerste beeld te schetsen van de mogelijke effecten van grootschalige en minder frequente suppleties (megasuppleties) op de ecologie, veiligheid en socio-economie van de Nederlandse kust in absolute zin van het

woord en in vergelijking met de praktijk van de afgelopen tien jaar. Er wordt van uitgegaan dat de Basiskustlijn blijvend wordt gehandhaafd.

Aan de hand van beschrijvingen van het kuststelsel wordt de bandbreedte verkend in mogelijke uitvoeringen van grootschalige suppleties (omvang, vorm, locatie en frequentie) met een optimaal effect op:

- waarborging van de randvoorwaarden voor kustveiligheid;
- het halen van de Natura-2000 doelstellingen in de kustzone (en meer in zijn algemeenheid de ecologische ontwikkeling van de kustzone);
- de sociaal-economische ontwikkeling van de kustzone.

De ecologie beperkt zich in deze studie tot de onderwater-depositie gebieden en de natte zone van het strand. De winlocaties zijn aan bod gekomen in de MER zandwinning en de duinen worden in ander kader (o.a. KLZ, PMR) reeds bestudeerd en komen hier dus niet aan bod.

Daarnaast is het doel een overzicht te geven van het versnipperde onderzoek dat er momenteel wordt gedaan op het gebied van effecten van kustsuppleties. Aan de hand hiervan wordt een aanzet gegeven tot een meerjaren onderzoeksprogramma ten behoeve van de effecten van kustsuppleties en de onderscheidende effecten tussen de verschillende suppletierégimes. Dit moet bijdragen aan het verkrijgen van een heldere visie in relatie tot de Natura2000 doelen voor het toekomstige kustbeleid en suppletie-strategie waarin ecologie, veiligheid en socio-economie gezamenlijk een plaats innemen.

Het project valt daarmee in drie delen uiteen:

- 1 Verkenning en vergelijking van de effecten van het huidige suppletierégime op het gebied van ecologie en een ander suppletierégime, namelijk een meer grootschalige en minder frequent suppletierégime (Hoofdstuk 2 en 3).
- 2 Een overzicht van de verschillende onderzoeken m.b.t. kustsuppleties die zijn afgerond of lopen (Hoofdstuk 4).
- 3 Een aanzet tot een meerjaren onderzoeksprogramma waarbij de kennisleemtes die voorkomen uit de verkenning en diegene die al eerder zijn geconstateerd in een samenhangend onderzoeksprogramma worden uiteengezet (Hoofdstuk 5).

1.3 Aanpak

Op basis van een literatuurstudie wordt de bestaande kennis van de kustveiligheid, socio-economie en de ecologische ontwikkeling van de kust met betrekking tot suppleties verkend en vergeleken. Hierbij worden ook waarmede kennisleemtes weergegeven, in aanvulling op het zgn. Oranjewoud-rapport (Fit en Verhagen, 2007).

Een literatuurstudie van de monitoringsprojecten van de ecologie op de locaties van winning van het zand en depositie ervan geeft mogelijk een eerste beeld van effecten. Deze inventarisatie is uitgevoerd in het kader van het project Kustlijn zorg (Baptist, red., 2009).

Uit de literatuurstudie volgt de aanzet voor het meerjaren onderzoeksprogramma. De ecologische effecten van megasuppleties en de ecologische kennisvragen is binnen dit project uitgewerkt in samenwerking met IMARES.

1.4 Relatie met andere projecten

Deze studie richt zich voornamelijk op het toekomstige beleid rond megasuppleties. Naast deze studie zijn er nog een aantal studies die zich ook richten op het onderwerp suppleties of hier een relatie mee hebben. Het effect van het huidige suppletierégime wordt uitgewerkt en onderzocht in het kader van het TO-programma "Kustlijn-zorg". Verder wordt in programma's als "Building with Nature" / "Zandmotor" ten dele al onderzocht wat de effecten zijn van megasuppleties in de zgn. Hollandse kust case.

De case "Duurzame ontwikkeling Hollandse kust" in het Building with Nature programma richt zich op de ontwikkeling van een perspectief voor de duurzame Hollandse kust op een tijdschaal van 50 tot 100 jaar. Dit perspectief bestaat uit een palet van mogelijke ingrepen in combinatie met een beheer- en onderhoudstrategie, waarbij het leidend principe is dat optimaal gebruik wordt gemaakt van natuurlijke processen. De case Hollandse Kust wordt geïnspireerd door kennis en ervaring opgedaan tijdens de voorbereiding en realisatie van de Pilot Zandmotor Delfland, die naar verwachting wordt gestart tijdens de looptijd van Building with Nature (2008-2012). Hierbij zal ongeveer 20 Mm³ zand gesuppleerd worden tussen Hoek van Holland en Scheveningen.

Hierbij komen de besluitvorming, het ontwerpproces en de uitvoering van megasuppleties aan bod en zal er aandacht zijn voor de voor de megasuppleties benodigde zandwinputten. Daarnaast is er aandacht voor netto effecten op het bovengetijde kustareaal, natuur, recreatie, en innovatie. De projecten rond de pilot Zandmotor Delfland richten zich alleen op de Hollandse kust.

Voor wat betreft de toekomst van dit rapport voorzien wij een kritische bespreking hiervan met de Waterdienst en andere functioneel geïnteresseerde partijen, bijvoorbeeld NGO's. Het moet dan als opmaat dienen voor een onderzoeksprogramma 2009 op het gebied van met name ecologie, maar waarin wellicht veiligheid en socio-economie ook aan bod komen.

Belangrijk is dat Waterdienst en Deltares (en eventueel andere belanghebbende derde partijen) toegang zullen kunnen hebben tot een gemeenschappelijke en genormaliseerde database met een viewer daaraan gekoppeld. Ultwisseling is makkelijk gebruik van data zal sterk vereenvoudigd kunnen worden. Discussies hierover zijn gaande tussen de Waterdienst en Deltares binnen het programma/project Kustlijn-zorg.

Het BOA werk van Waterdienst en Deltares voor 2009 e.v. staat in het teken van de uitwerking van het hoofdstuk Kust in het NWP. Het NWP vraagt om een nadere verkenning naar het tempo en naar de hoeveelheid van benodigde zandsuppleties. Tevens is aangegeven dat doorontwikkeling van de manier waarop zand wordt gesuppleerd plaats zal vinden, waarbij onderzoek naar effecten van grotere suppletievolumes op ecologie, beroepsvisserij en recreatie voor kust, Noordzee en Waddengebied worden meegenomen. Daarnaast wordt gevraagd om een verkenning naar de uitvoerbaarheid van een uitbouw van de kust, naar het suppleren t.b.v. andere functies in de kustzone en naar het toepassen van suppleties voor zeedijken waar een structurele erosie plaatsvindt.

1.5 Leeswijzer

Het rapport bestaat uit twee delen welke zijn samengevoegd in een overkoepelend rapport. Dit maakt dat de algemene inleiding, probleemstelling en beschrijving van het Nederlandse kust systeem zijn beschreven in de eerste twee hoofdstukken.

Waarna in hoofdstuk 3 een verkenning van de effecten van megasuppleties op de ecologie in de kustzee (Deel A) wordt beschreven.

Hoofdstuk 4 is weer een algemeen hoofdstuk waarin een inventarisatie van het actuele morfologische onderzoek wordt gegeven en een overzicht van de monitoractiviteiten van suppleties en in de brandingzone gekoppeld aan ecologische studies.

De aanzet tot het meerjaren onderzoeksprogramma voor megasuppleties (Deel B) is uitgewerkt in hoofdstuk 5. Hierin wordt een participatieve aanpak voorgesteld voor het selecteren van de juiste onderzoeksvragen. Het onderzoeksprogramma is gericht op een integrale aanpak waarin ecologie, veiligheid en socio-economische aspecten van de Nederlandse kust naast elkaar worden opgepakt.

Het laatste hoofdstuk bevat de gebruikte literatuur voor zowel de verkenning naar de effecten van megasuppleties op de ecologie als de aanzet voor het onderzoeksprogramma.

2 Het systeem van de Nederlandse kust

Op basis van algemene morfologische kenmerken wordt de Nederlandse kust opgedeeld in drie verschillende delen, van zuid naar noord:

- De Zeeuwse kust
- De Hollandse kust en
- De Wadden kust

De Zeeuwse kust

De kust van Zeeuws-Vlaanderen tot en met Voorne wordt gevormd door estuaria en afgesloten (voormalige) estuaria. De laatste zijn of geheel afgesloten of omgevormd tot spuikanalen. Kenmerkend is de aanwezigheid van een gesloten deltafront met een randzone op ca. 10 km westelijk van de koppen van de eilanden, waarop de golven in eerste instantie breken. Landwaarts van deze zone heeft getijdengedreven transport een zeer belangrijk aandeel in het totale sedimenttransport. Ondiep langs de kusten neemt de relatieve belangrijkheid van golfwerking weer toe. Er is relatief veel getijdgedreven dwarstransport in dit gebied. De waterkwaliteit is relatief goed. In het zuidelijke deel van dit gebied is de zoetwatertoevoer gering. Het zeeleven in de niet-afgesloten delen van het kustsysteem heeft nog wel te lijden onder verontreinigingen met chemicaliën. De aantallen individuen van zeedieren kunnen zeer groot zijn; de aantallen soorten zijn laag, want er zijn maar weinig soorten die tegen de frequente zoet-zout wisselingen kunnen.

De Hollandse kust

Over ca. 120 km strekt de gesloten Hollandse kust zich uit van Hoek van Holland tot aan den Helder. Het kustzand bestaat uit relatief midden- tot grofkorrelig kalkrijk zand, wat zeewaarts snel gemiddeld fijner wordt. Er is een gering algemeen langstransport van zand naar het noorden onder invloed van de algemene invalshoek van de golven vanuit zuidelijke westelijke richting. Er is geen (natuurlijke) aanvoer vanuit het zuiden door de Eurogeul (sedimentval). Stormen veroorzaken zeewaarts dwarstransport van grote hoeveelheden zand in korte tijd, waarvan een groot deel onder na-storm condities weer naar de kustlijn toekomt. In een strook evenwijdig aan de Hollandse kust sedimenteert fijnkorrelig materiaal tot aan slib toe, tijdelijk (tussen getijden in) en/of per seizoen.

De kust herbergt veel leven, met name zeewaarts van de brekerbanken zone onder invloed van de rustigere condities die daar vaak heersen (alleen met stormen is het er roerig) en het uit de Rijnpluim (zie ook bijlage D) uitvallende fijnere sediment met de daaraan verbonden voedingsstoffen. Dit is ook de zone waar tegenwoordig vaak gesuppleerd wordt. Het gedrag van de zoetwaterpluim van de Rijn is niet constant in de tijd en heeft een belangrijke aanzwellende of afnemende invloed, of soms helemaal geen invloed op het kustwater. Dit is afhankelijk van de afvoer van de Rijn in relatie tot de heersende condities van het kustwater. De eigenlijke scheidslijn tussen de Hollandse kust en de waddenkust is in de loop van de tijd naar het noorden toe opgeschoven. Nu ondervindt de kust benoorden Petten veel invloed van de werking van het Marsdiep (zandroef). Relatief veel van de Hollandse kust is vastgelegd middels (haven-) hoofden, dijken en bestortingen (bijv. Delflandse Hoofden, diverse havenpieren, Hondsbossche Zeewering, Helderse zeewering).

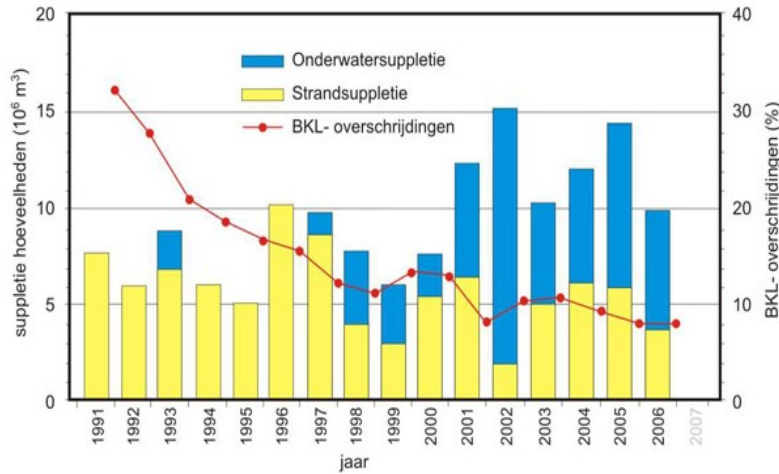
De Wadden kust

De Wadden kust bestaat uit een reeks barrière-eilanden gescheiden van de vastelandskust door een ondiepe Waddenzee, verankert door de ligging van Texel (keileem-opduiking). De eilanden en de kustzone bevatten relatief kalkarm zand van een fijnere algemene korrelgrootte in vergelijking tot de Hollandse kust. Hierdoor is het stand vlakker en breder dan aan de Hollandse kust. Vlakke fijnkorrelige stranden vertonen een hogere biomassa en biodiversiteit dan steile grofkorrelige stranden. Veel fijnkorrelig mineraalrijk materiaal wat in de Waddenzee sedimenteert is afkomstig uit de Rijn. De verbinding tussen de Noordzee en de Waddenzee wordt gevormd door een reeks (complexen van -)getijdegeulen, waardoor dagelijks tweemaal het getij in- en uittrekt. Veel van de Waddenzee valt droog tijdens de laagwaterperiode. In de algemene hydrodynamische omstandigheden verschilt de Waddenzee aanzienlijk van de aangrenzende Noordzee. Omdat veel voedselrijk fijnkorrelig materiaal van sedimentaire en organische aard deze kustzee binnenkomt en daar sedimenteert, is de Waddenzee een kraamkamer voor veel Noordzee organismen en een leefplek voor veel Waddenzee organismen. De aanvoer van fijnkorrelig materiaal zorgt ook voor een fijnkorrelige kwelderrand langs het vasteland. Er is kustlangs- en kustdwarstransport van zand en slib, door de getijdegeulen en soms dwars over de eilanden. Er is tevens een gering netto kust-langstransport van sediment, soms onderbroken door verblijf van het sediment in getijdendelta's.

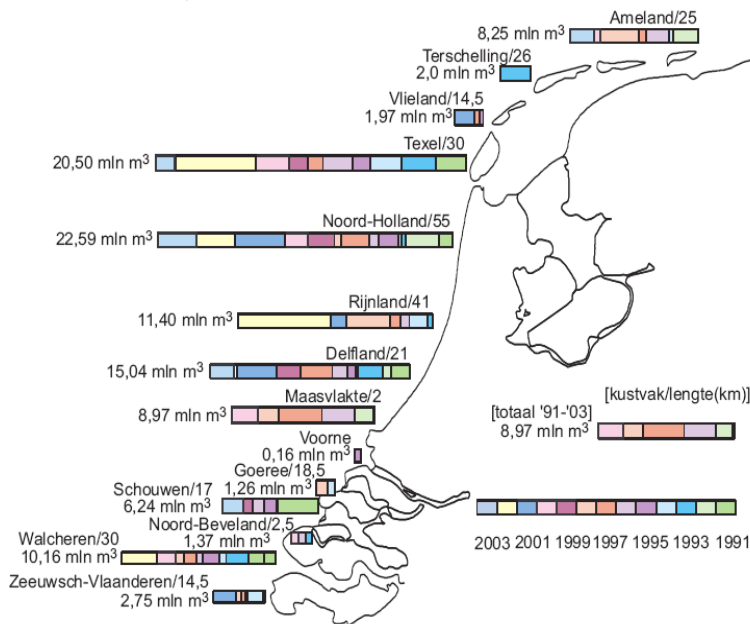
2.1 Suppleties

Het beleid van Rijkswaterstaat is erop gericht om met zand de kustlijn te handhaven. Dit wil niet zeggen dat de kustlijn nergens en nooit landinwaarts zou mogen verplaatsen, maar de kustlijn zoals die in 1990 was (BKL) mag niet worden overschreden. Bij overschrijding van de BKL wordt hierop gereageerd met een zandsuppletie. Hierbij wordt zand gewonnen op een zeewaarts gelegen locatie, buiten de doorgetrokken -20m lijn (NAP) en dit zand wordt aangebracht in het bedreigde kustvak. In het verleden gebeurde dit meestal op het strand, maar dit was relatief duur en leverde overlast op voor de recreatie op het strand. Om deze redenen gebeuren de zandsuppleties tegenwoordig vooral op de zogenaamde vooroever, waarbij het zand dicht onder het bedreigde kustvak in zee wordt aangebracht. Door extra zand in het "zanddelend systeem" van de kustzee te brengen, worden aanrollende golven gebroken voor ze het strand en duinvoet kunnen bereiken en komt er nieuw zand beschikbaar voor de opbouw van strand en duinen.

Een overzicht van de totale jaarlijkse hoeveelheid gesuppleerd zand langs de Nederlandse kust is weergegeven in figuur 1 en figuur 2.

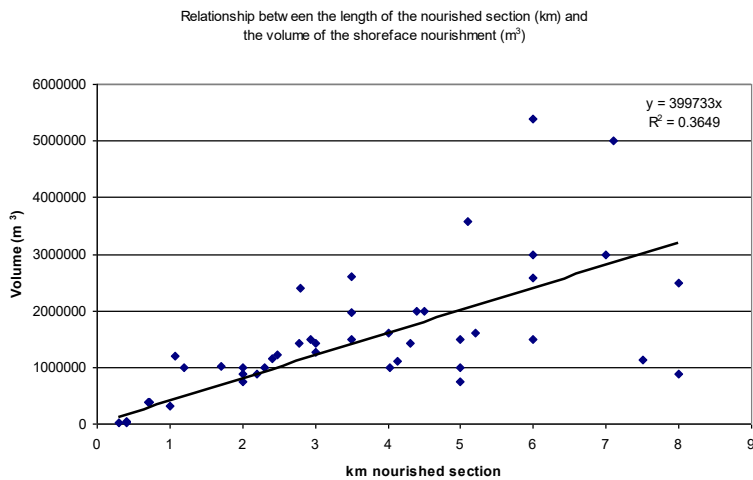


Figuur 1: Volume suppleties langs de gehele Nederlandse kust (zie www.kustlijkaart.nl).



Figuur 2: Volume suppleties per locatie in de tijd (Nederbragt, 2006).

Een relatie voor de gesuppleerde hoeveelheid zand per kilometer strekkende kust is weergegeven in figuur 3. Hieruit blijkt dat gemiddeld zo'n 400.000 m³ zand per km kust wordt aangebracht. Dit is meer dan de geschatte transportcapaciteit van 225.000 m³/km (Van Vessum e.a., 2007). Een maximum van 900.000 m³/km werd bereikt bij de vooroeversuppletie van 2002 voor De Koog-Texel waarbij 5,4 Mm³ werd aangebracht over een lengte van 6 km.



Figuur 3. Relatie tussen het volume gesuppleerd zand in de vooroevers en het aantal kilometers strekkende kust van het gesuppleerde kustvak

2.2 Megasuppleties

Wat verstaan we onder een megasuppletie? Mega betekent bijvoorbeeld een lager aantal suppleties per regio dan nu het geval is maar met een groter hoeveelheid zand per strekkende meter kust of over een groter aaneengesloten stuk. Voor deze studie is tijdens een workshop besloten om uit te gaan van een verdubbeling van de huidige suppletiehoeveelheden voor resp. Zeeuwse Delta, Hollandse kust en Waddengebied, en dat de suppletie geconcentreerd op (een) locatie(s) in iedere regio plaats vindt. We gebruiken de volgende werkdefinitie voor een megasuppletie welke wordt gehanteerd per deelsysteem van de Nederlands kust, i.e. de Zeeuwse kust, de Hollandse kust en de Waddenkust:

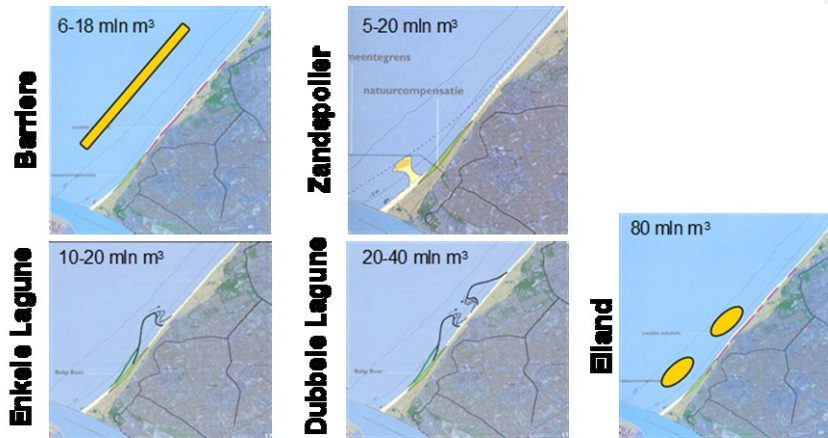
Een totale suppletiehoeveelheid die in totaal een twee keer of meer zo groot volume heeft als de totale hoeveelheid zand die nu gesuppleerd wordt in een deelsysteem. De suppletiefrequentie van een megasuppletie is lager dan die van een 'gewone' suppletie. De megasuppletie kan zowel boven als onder water liggen.

Daarnaast geven we een korte doorkijk naar de effecten van de opschaling van de suppletiehoeveelheden zoals de Deltacommissie dat beoogt.

2.2.1 Vergelijking tussen suppletietypen

Een megasuppletie zoals de 'zandmotor' is op vele wijzen uit te voeren. In de Voorontwerp Zandmotor studie van Bruens et al. (2007) zijn een aantal hoofdvormen

onderscheiden (zie Bijlage E en figuur 4). Een belangrijk onderscheid is dat het ontwerp "Barrière" geheel onderwater is gelegen, terwijl de andere ontwerpen gedeeltelijk boven water liggen. Vanuit het oogpunt van zandtransport is een onderwater megasuppletie heel effectief, maar vanuit het oogpunt van duinvorming en recreatie is een 'bovenwater' megasuppletie aantrekkelijker.



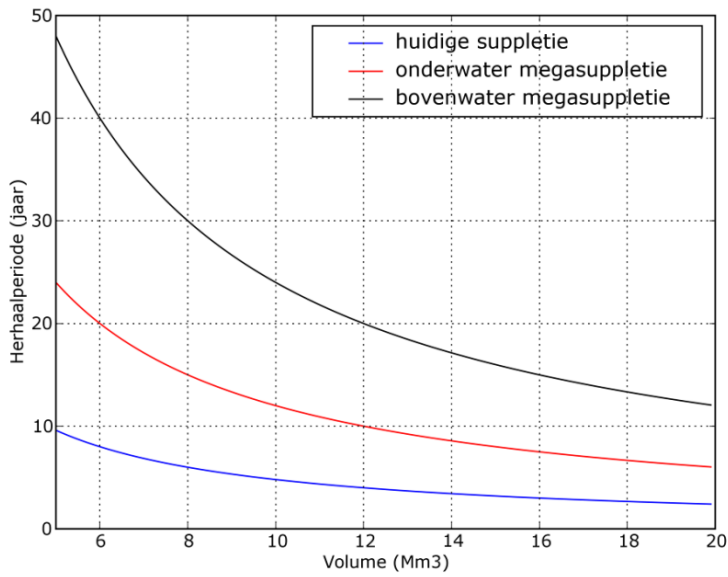
Figuur 4. Mogelijke uitvoeringswijzen voor de zandmotor (Bruens, et al., 2007)

Het ontwerpen van een megasuppletie kent vele vraagstukken. Het belangrijkste verschil tussen een "huidige suppletie", een "onderwater megasuppletie" en een "bovenwater megasuppletie" is het volume. In het huidige suppletiebeleid worden reeds volumes van 5 Mm^3 per keer aangebracht. Wanneer we theoretisch uitgaan van twee maal deze hoeveelheid (zie aanname megasuppleties, hierboven beschreven) is een volume van 10 Mm^3 een megasuppletie. Verder wordt dit volume op een kleiner gedeelte van de kust aangebracht wat in grote lijnen betekent dat een tweemaal zo grote hoeveelheid zand op de helft van het huidige oppervlak wordt aangebracht bij een suppletie onderwater en nogmaals de helft bij een suppletie boven water. De dikte van de aangebrachte laag wordt hiermee ook respectievelijk vier en acht keer groter.

Een ander belangrijk verschil tussen de huidige suppleties en megasuppleties is dat de herhaaltijd minder groot is. Figuur 5 geeft theoretische curves voor de herhaalperiode van suppleties langs de 120 km lange Hollandse kust als functie van het totale jaarlijkse volume dat gesuppleerd wordt. Wanneer er bijvoorbeeld jaarlijks 10 Mm^3 gesuppleerd moet worden langs de Hollandse kust, zal bij de huidige werkwijze van suppleren theoretisch hetzelfde stuk kust iedere 5 jaar bezocht moeten worden. Wel zullen er lokale verschillen tussen kustsecties optreden als gevolg van lokale morfologische omstandigheden. Bij megasuppleties kan dit door ieder jaar 10 km van de kust te voeden met een onderwater megasuppletie en dit iedere 12 jaar te herhalen.

Puur theoretisch gesproken zou slechts 10 km van de kustlengte direct door de onderwater megasuppletie beïnvloed worden wanneer iedere keer op deze locatie 'gemegasuppleerd' wordt en het zand zich langs de rest van de kust door natuurlijke transportprocessen verplaatst. In de praktijk echter zullen meerdere locaties van de kust van grote hoeveelheden zand moeten worden voorzien. Te voorzien is dat in de

toekomst verschillende vormen van suppleties naast elkaar zullen worden toegepast: megasuppleties, 'gewone' suppleties, geulwandsuppleties en strandsuppleties.



Figuur 5. Theoretische herhaalperiode van drie typen suppleties als functie van de jaarlijkse suppletiehoeveelheid voor de 120 km lange Hollandse kust.

3 Verkenning naar de effecten van megasuppleties op de ecologie in de kustzee

De ecologische consequenties van suppleren zijn voor de Waterdienst zeer van belang. De focus is gelegen op de vraag hoe grootschalige suppleties kunnen bijdragen aan het verminderen van de ecologische impact. Centraal staat daarbij: de hersteltijd en de draagkracht van het systeem.

Voor de verkenning naar ecologische effecten van megasuppleties wordt eerst een overzicht gegeven van de beschermde habitats en soorten en de opgaven voor behoud en herstel van de natuurwaarden in het kader van Natura2000. Vervolgens wordt de kwaliteit van de kustzee beschreven aan de hand van de benthische soortdiversiteit waarna het mogelijke effect van megasuppleties op schelpdieren, vissen, vogels en zeezoogdieren wordt beschreven.

3.1 Natura2000 waarden

De Vogel- en Habitatrichtlijnen geven een duidelijk kader voor weging van effecten van megasuppleties op natuur. Naast de VHR zijn twee andere Europese richtlijnen van belang, te weten de Kaderrichtlijn Water voor de categorie overgangswater (estuaria) en kustwater (tot één zeemijl uit de kust), en de Kaderrichtlijn Mariene Strategie.

Het Europese netwerk van Natura2000-gebieden voorziet in de bescherming van habitats en soorten uit de VHR. De Natuurbeschermingswet '98 stelt dat N2000 gebieden geen significante negatieve effecten mogen ondervinden. De hoofdvraag van dit onderzoeksprogramma luidt:

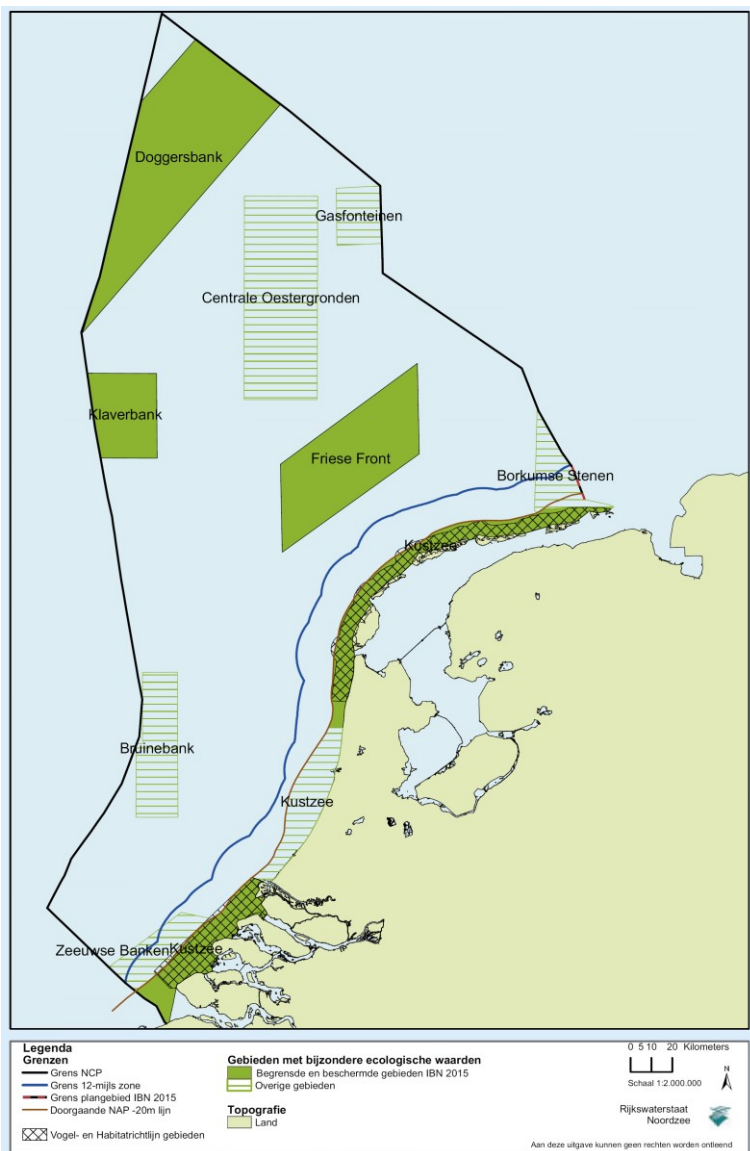
'Hoe zou je Natura2000 gebieden kunnen beschermen tegen de negatieve effecten van megasuppleties en eventueel kunnen verbeteren met megasuppleties?'

Megasuppleties zullen gevolgen hebben voor natuurwaarden, zowel positieve als negatieve. Redenerend vanuit de positieve gevolgen liggen er kansen voor nieuwe natuurontwikkeling langs de kust. Echter, de VHR is geheel gericht op (het voorkomen van) negatieve effecten daarom zullen de gevolgen voor bestaande terrestrische en mariene natuurwaarden (habitats en soorten) moeten worden onderzocht. De vraag die uiteindelijk moet worden beantwoord is of megasuppleties een wezenlijke aantasting van de instandhoudingsdoelstellingen voor het te beschermen habitat, of de te beschermen populatie, veroorzaken.

Megasuppleties zullen een effect hebben op bodemdieren. De bodemdieren zijn een zeer belangrijke voedselbron voor vogels en vissen, waarvan veel soorten onder de N2000 en NB-wet '98 vallen. Veranderingen in bodemdieren werken via de voedselketen door in de hoger trofische niveaus. Voor de Nederlandse kust is per deelgebied aangegeven welke Natura2000 gebieden er zijn aangewezen. Voor deze gebieden zijn algemene instandhoudingsdoelen en speciale doelen voor specifieke soorten en habitattypen met kernopgaves geformuleerd. Deze zijn weergegeven in bijlage C.

IBN2015

Met het IBN 2015 zijn grenzen vastgelegd van vier gebieden op de Noordzee waarvan de natuurwaarden extra bescherming krijgen. De gebieden zijn: een deel van de kustzee, het Friese Front, de Klaverbanken de Doggersbank. Deze gebieden waren in de Nota Ruimte al indicatief begrensd en voldoen aan de criteria van de Vogelrichtlijn en/of Habitatrichtlijn (VHR) en van het OSPAR-verdrag.



Figuur 6: Alle gebieden met bijzondere ecologische waarden (IBN2015)

Voor de kustzee geldt het volgende: twee gebieden zijn al bij de Europese Commissie aangemeld als Habitatrichtlijngebied, respectievelijk aangewezen als speciale beschermingszone in het kader van de Vogelrichtlijn: dit zijn **de Voordelta en de kustzee ten noorden van Petten**. Het IBN 2015 geeft in aanvulling hierop de kustzee tussen Bergen en Petten een beschermde status en breidt voorts de bescherming van de kustzee ten noorden van Petten uit tot de doorgaande NAP –20 meter lijn. Dit in navolging van de Nota Ruimte. Om praktische redenen is de begrenzing ten noorden van Schiermonnikoog iets zuidelijker vastgesteld. Ook de kustzee ten zuiden van de Voordelta (inclusief de Vlake van de Raan) oftewel de Westerscheldemonding wordt beschermd als gebied met bijzondere ecologische waarden. De kustzee tussen de Voordelta en Bergen blijft buiten het specifieke beschermingsregime van het IBN 2015. Op deze wijze worden de meest waardevolle gebieden in de kustzee beschermd. De landwaartse begrenzing van de nieuwe gebieden in de kustzee is de laaglaagwaterlijn (zie figuur 6).

Noordzeekustzone

De Noordzeekust zone bevat delen van de kust van de Wadden eilanden en de Hollandse kust. Op de waddeneilanden zelf liggen duingebieden met de status van SBZ. De Noordzeekustzone is op 22 december 2008 uitgebreid met de aanmelding van het gebied ten noorden van Petten waarbij de zeewaartse grens is gelegd op de doorgaande NAP -20 m waterlijn (ipv de NAP -5m waterlijn). Het grensgebied met Duitsland ten noorden van de Eem-Dollard, waar de staatsgrens tussen beide landen niet vastligt, is niet bij deze aanmelding betrokken. De Hollandse kustzee van Hoek van Holland tot aan Bergen maakt geen deel uit van een SBZ. Op de kust liggen wel een aantal duingebieden die een status van SBZ hebben. De kustzee van Bergen tot aan Petten moet nog aangemeld worden als Natura2000 gebied.

Het zandige Noordzeekustgebied bestaat uit kustwateren, ondiepten en enkele hoger gelegen zandbanken en is van belang als rust- en voedselgebied voor zeehonden, meeuwen, sterna's, zeeduikers en zee-eenden. Van oudsher is het tevens een belangrijk broedgebied voor kleine, kustgebonden pleviertjes: Bontbekplevier en Strandplevier, maar hiervoor is aan belang sterkinge boet.

De wateren van de Noordzeekustzone zijn van belang als foerageergebied voor zeevogels. Daarbij gaat het enerzijds om viseters, waaronder de Roodkeelduiker en de Parel-duiker, waarvoor locaties waar verschillende watermassa's samenkomen (tussen de eilanden) favoriete visgronden zijn. Anderzijds gaat het om benthoseters, die veelal op schelpdieren (o.a. strandschelpen en mesheften) foerageren, zoals Zwarte zee-eend (verreweg het belangrijkste gebied), Eider en Topper. Met name de Eider gebruikt het Noordzeegebied vooral bij een slecht aanbod in de Waddenzee.

De stranden hebben een foerageerfunctie voor Drieteenstrandlopers (belangrijkste gebied na de Waddenzee) en een rustfunctie voor diverse soorten steltlopers die elders in het Waddengebied foerageren. Daarbij is er uitwisseling met de gebieden die behoren tot de SBZ Waddenzee.

Het Vogelrichtlijngebied van de Noordzeekust omvat de kustzone met een breedte van drie zeemijlen vanuit de kustlijn (ongeveer overeenkomend met de 15 meter dieptelijn). Het Habitatrichtlijngebied gaat niet verder dan de 5 meter dieptelijn en strekt zich uit van de Duitse grens tot aan het Marsdiep. Het grootste deel was uitsluitend aangemeld als Vogelrichtlijngebied (98.124 ha). Het overlappende deel (25.250 ha) omvatte voornamelijk de buitendelta's tussen de eilanden.

Voordelta

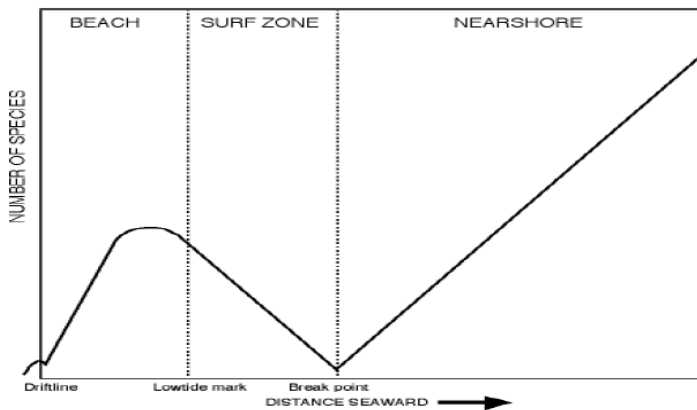
De kustzee van de Zeeuwse kust valt binnen de reeds aangewezen SBZ Voordelta en onlangs aangewezen SBZ Vlake van de Raan. Op de kust zijn duingebieden te vinden met de status van SBZ, zoals Voornesduin, Duinen Goeree & Kwade Hoek, Kop van Schouwen en Manteling van Walcheren. De Zuidwestelijke Delta bevat derhalve grote delen aan beschermde zandbanken, alsmede waardevolle intergetijde- en duinhabitats.

De Voordelta omhelst het ondiepe zeedeelte van de Zeeuwse en Zuid-Hollandse Delta. Het gebied wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van een gevarieerd en dynamisch milieu van kustwateren (zout), intergetijdengebied en stranden, dat een relatief beschutte overgangszone vormt tussen de (voormalige) estuaria en volle zee. Na de afsluiting van de Deltawerken is dit kustgedeelte sterk aan veranderingen onderhevig geweest, waarbij een uitgebreid stelsel van droogvallende en diepere zandbanken is ontstaan met daartussen diepere geulen. Door erosie- en sedimentatieprocessen treden verschuivingen op in de omvang van de intergetijdengebieden. In de randen van het gebied bij Voorne en Goeree ligt een aantal schorren en meer slikke platen. Verder horen ook de stranden van de Zeeuwse en Zuid-Hollandse eilanden, waar plaatselijk duinvorming optreedt, tot het gebied.

Het Natura 2000-gebied voor de voordelta bestaat uit een oppervlakte van ca. 92.271 ha, dat zowel het Vogelrichtlijngebied als het Habitatrichtlijngebied betreft. Dit betreft de oppervlakte van het gebied bij de huidige ligging van de duinvoet die grotendeels het gebied aan de landzijde begrenst. De Voordelta is reeds aangewezen. Per 22 december 2008 is een uitbreiding van het gebied aangekondigd, namelijk de Vlake van de Raan in de monding van de Westerschelde.

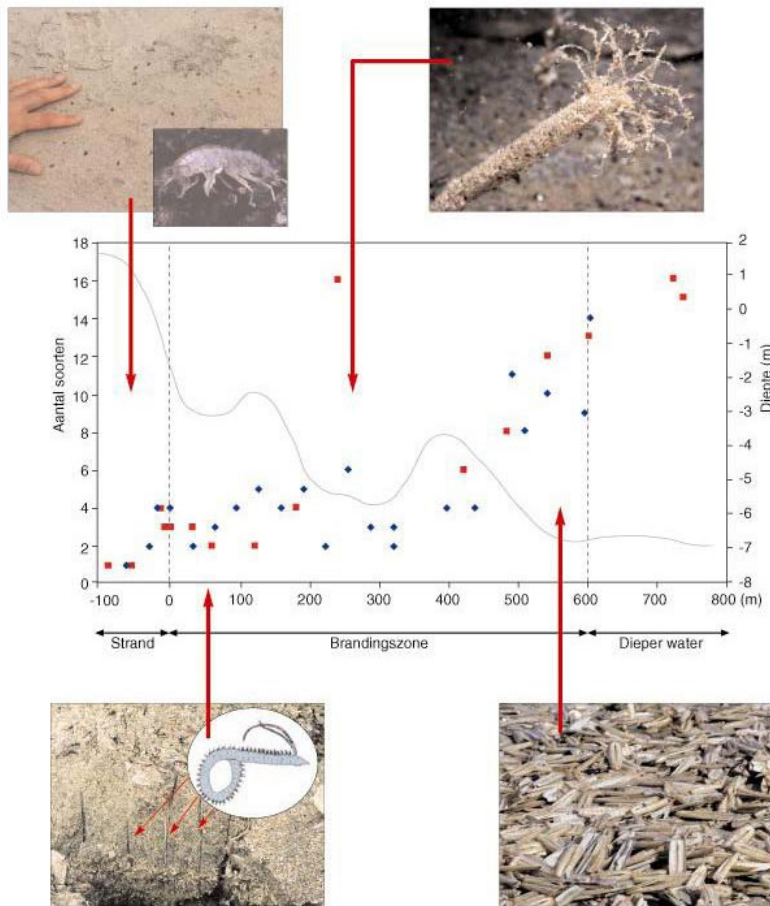
3.2 Benthosdiversiteit in de kustzee

Brown & McLachlan (1990) beschrijven een gradiënt in het voorkomen van de benthische soortdiversiteit loodrecht op de waterlijn. Het aantal soorten neemt toe van de hoogwaterlijn naar de laagwaterlijn, om vervolgens weer af te nemen in de brandingszone. Na de brandingszone, in het diepere water, neemt het aantal soorten macrobenthos weer toe (inauguratie rede G. Janssen, 2008).



Figuur 7: Relatie tussen het aantal soorten en de afstand vanaf de kust volgens Brown & McLachlan (1990)

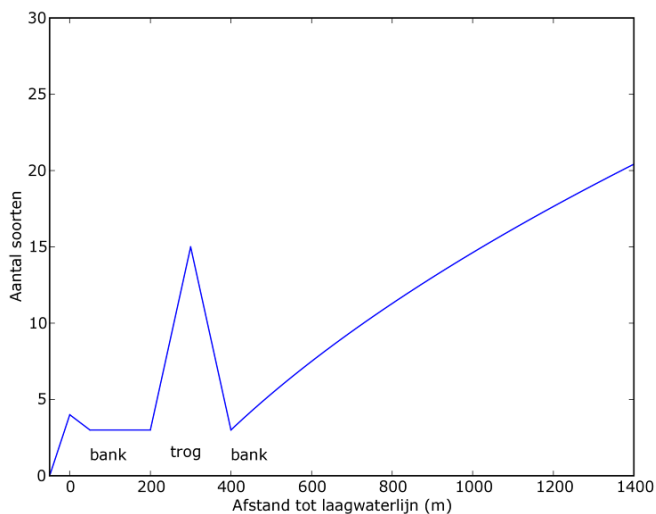
Voor de Nederlandse situatie is deze gradiënt ook bepaald voor de locaties Castricum en Egmond door Janssen & Mulder (2004), zie figuur 8. In de trog tussen de brekerbanken in werd alleen in Castricum een hoge diversiteit aan soorten gevonden en in beide gevallen een zeer hoge dichtheid aan schelpkokerworm (>10.000 m⁻²). In vergelijking met Brown & McLachlan (1990) is de afname van het aantal soorten in de brandingszone niet erg groot. Waarschijnlijk is de diversiteit en dichtheid aan benthos hoger in de troggen (-5 m NAP) tussen de brekerbanken in dan op de toppen van de brekerbanken, in de zone waarin golven breken (-2 tot -3 m NAP). Dit beeld wordt bevestigd door de data van Van Dalßen (2006) die in Ameland een piek in soortdiversiteit en -dichtheid vond in de trog op een waterdiepte van iets meer dan 6 meter.



Figuur 8. Relatie tussen het aantal soorten en de dichtheid macrobenthos met de diepte op het strand en in de brandingszone nabij Castricum (rood blokje) en Egmond (blauwe ruit) (0 = laagwaterlijn, grijze lijn is profiel strand en brandingszone). Kenmerkende soorten zijn weergegeven: Linksboven: *Talitrus saltator* – de strandvlo; linksonder: *Scololepis squamata* – de gemshoornworm; rechtsboven: *Lanice conchilega* – de schelpkokerworm; rechtsonder: *Ensis americanus* – de Amerikaanse zwaardschede. Uit: Janssen & Mulder (2004).

Buiten de buitenste brekerbanken neemt de soortdiversiteit toe met de diepte en afstand tot de kust. Vanaf een afstand van 700 m van de laagwaterlijn werden door Janssen & Mulder (2004) zo'n 16 verschillende soorten gevonden in dichtheden van zo'n 1.000 per m². Een toename buiten de buitenste brekerbank werd ook gevonden door Van Dalfsen (2006). Hierbij moet vermeld worden dat deze toename niet blijft doorgaan. Vanaf de -20 m dieptelijn vindt de soortdiversiteit opnieuw een dieptepunt.

Een generieke curve voor soortdiversiteit gerelateerd aan de afstand tot de laagwaterlijn, tot een afstand van 2 km uit de kust, is afgeleid uit de data van Jansen & Mulder (2004) en Van Dalfsen (2006), zie figuur 9. Dit geeft een algemeen beeld voor de Hollandse kust en de Waddeneilanden van de relatieve hoeveelheid soorten voorkomend op plaatsen waar zich brekerbanken bevinden. Het is niet geldig voor de Zeeuwse kust. Daarnaast dient ook vermeld te worden dat de waarden op de assen (de afstanden en de soortantallen) niet absoluut genomen moeten worden vanwege lokale verschillen. Uit deze generieke curve blijkt dat in de troggen het grootste aantal soorten wordt gevonden ten opzichte van de toppen van de banken. Dit heeft te maken met het dynamische karakter op de banktoppen en het relatief rustige karakter van het gebied in de troggen. Buiten de brekerzone na de laatste bank neemt het aantal soorten weer geleidelijk toe.



Figuur 9. Generieke curve voor soortdiversiteit als functie van afstand van de laagwaterlijn voor delen van de Nederlandse kust met een brekerbankensysteem.

3.2.1 Grote schelpdieren in de kustzee

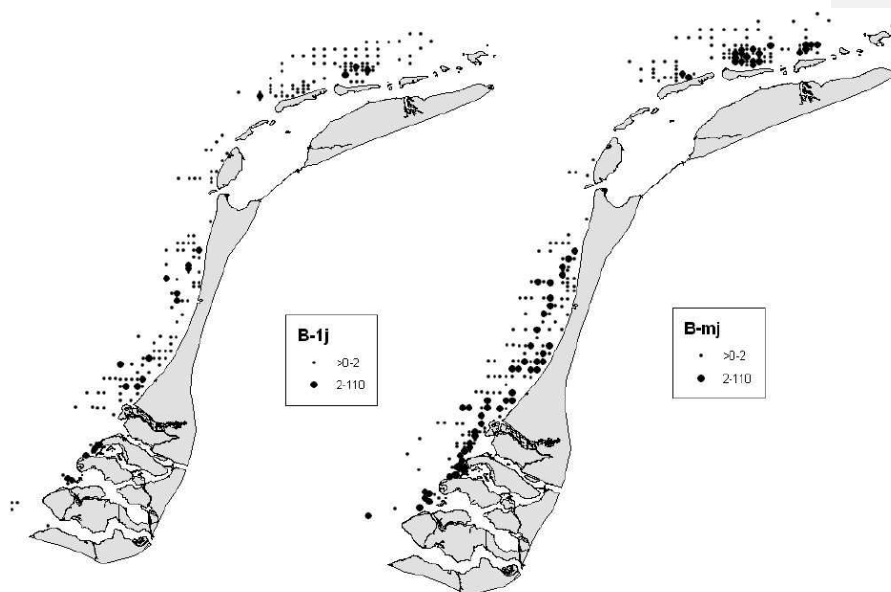
In de Nederlandse kustzee komen verschillende schelpdieren voor. Deze hebben een belangrijke rol in de voedsel生态学 van vissen en vogels. Wageningen IMARES (voorheen RIVO) voert sinds 1995 jaarlijkse schelpdier surveys uit om de omvang van het bestand te kunnen schatten.

Een belangrijk schelpdier is (was) de Halfgeknotte Strandschelp (*Spisula subtruncata*), dat een belangrijke voedselbron vormt voor o.a. Zwarte zee-eenden. Figuur 10 laat de biomassa zien van *Spisula* langs de Nederlandse kust in 2008. Vergeleken met de situatie tussen 1995 en 2001 is de biomassa aan *Spisula* sterk afgenomen. De

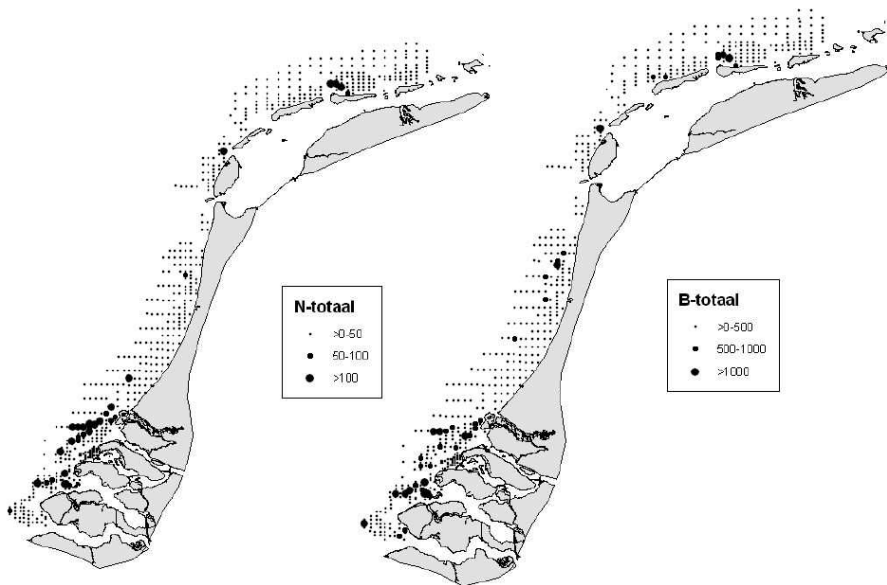
geschatte totale biomassa in 2008 is 5,5 miljoen kilo versgewicht (Goudswaard et al., 2008). Eind jaren negentig bedroeg het nog enkele honderden miljoenen kilos. Deze afname is niet te wijten aan de vooroversuppleties die sinds 2001 intensiever zijn toegepast (Leopold & Baptist, 2007).

Het belangrijkste schelpdier in de kustzee, in termen van biomassa, is tegenwoordig de *Ensis americanus* (Amerikaanse Zwaardschede). Figuur 10 toont de dichtheid en biomassa aan *Ensis* langs de Nederlandse kust. Het aandeel *Ensis* is in 2002 vervijfvoudigd vergeleken met eerdere jaren en is sindsdien op een min of meer constant niveau. Concentratiegebieden voor *Ensis* worden gevonden in de Voordelta en ten noorden van de waddeneilanden. Het totale bestand aan *Ensis* in 2008 is bepaald op bijna 900 miljoen kilo versgewicht (Goudswaard et al., 2008).

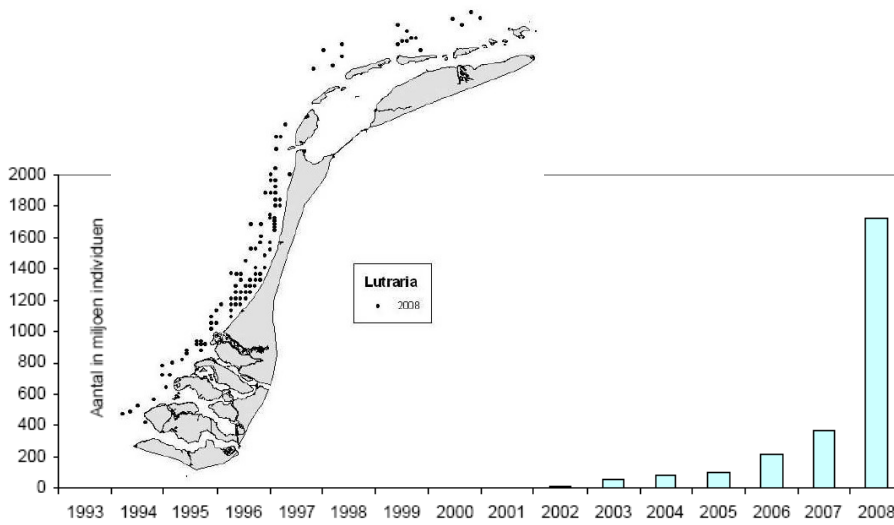
Een soort die sterk in opkomst is, is de Otterschelp *Lutraria lutraria*, figuur 12. Deze soort werd voor de kust voor het eerst aangetroffen in 2002 en is sindsdien de hele Nederlandse kust aan het koloniseren (Van der Valk, 2004; Craeymeersch & Perdon, 2005). In 2008 is de geschatte biomassa aan Otterschelp 51 miljoen kilo (Goudswaard et al., 2008), bijna tien keer zoveel als voor *Spisula*.



Figuur 10. Biomassa (gram versgewicht per m²) van 1-jarige *Spisula* (links) en meerjarige *Spisula* (rechts) op de monsterpunten van de jaarlijkse schelpdier survey langs de Nederlandse kust in voorjaar 2008. Uit: Goudswaard et al., 2008.



Figuur 11. Dichtheid (N - aantal per m²) en biomassa (B - gram versgewicht per m²) van *Ensis Americanus* (Amerikaanse Zwaardschede) op de monsterpunten van de jaarlijkse schelpdier survey langs de Nederlandse kust in voorjaar 2008. Uit: Goudswaard et al., 2008.



Figuur 12. Het berekende bestand aan Otterschelp (*Lutraria lutraria*) in de Nederlandse kustwateren van 1993 tot 2008 en stations waarin de Otterschelp is aangetroffen in voorjaar 2008. Uit: Goudswaard et al., 2008.

De op basis van de benthosmonsters in Tabel 1 de berekende biomassa aan schelpdieren (in miljoen kg versgewicht) per deelgebied gegeven. Hieruit blijkt dat de Voordelta relatief rijk is aan *Ensis*. Opvallend is dat *Lutraria* relatief veel voorkomt langs de Zuid-Hollandse kust en relatief weinig in de Voordelta. Het voedsleecologisch belang van deze schelp is nog niet onderzocht, maar het zou kunnen dat Zwarte Zee-eend deze als prooi kent (Mardik Leopold, mond. med.). Nader onderzoek naar het belang van *Lutraria* in de voedsleecologie van zee-eenden is een aanbeveling voor verder onderzoek.

Tabel 1. Biomassa van drie grote schelpdiersoorten in deelgebieden van de Nederlandse kust. Naar: Goudswaard et al., 2008.

Gebied	Biomassa in miljoen kg versgewicht		
	<i>Ensis</i>	<i>Spisula</i>	<i>Lutraria</i>
Waddeneilanden	140.1	1.5	7.4
Noord-Hollandse kust	64.2	0.7	5.9
Zuid-Hollandse kust	107.1	1.5	20.5
Voordelta	460.2	1.3	2.7
VHR Wadden/NZ	95.5	0.4	0.3
VHR Voordelta	414.6	0.8	1.8

De hier gegeven biomassa aan *Ensis* door IMARES nader uitgesplitst in grote en kleine exemplaren gebaseerd op een grens van 12 cm lengte. Dit is de wettelijke minimum lengte voor *Ensis*-visserij en bovendien is 10 cm de maximale grens voor eetbaarheid door zee-eenden (Leopold et al., 2008). De kleinste fractie is dus van voedsleecologisch belang in de kustzee. In termen van biomassa is ongeveer de helft kleiner dan 12 cm.

In het kader van kustsuppleties is een relevante vraag wat de dichtheid is aan deze schelpdieren in de ondiepe kustzee, nabij de buitenste brekerbank. De jaarlijkse schelpdier survey kent een dertigtal stations die in ondiep water zijn gelegen, aan de kustwaartse helling van de buitenste brekerbank. In deze bemonsteringen worden soms hoge dichtheden aan schelpdieren aangetroffen.

Op basis van vlakdekkende, geïnterpoleerde schelpdierdata uit de jaarlijkse schelpdier survey concludeerden Leopold & Baptist (2007) dat in enkele gevallen dichte voorkomens (honderden per m²) van *Spisula* aanwezig waren op locaties van kustsuppleties. Zij concludeerden ook uit gegevens over de verspreiding van *Spisula* voor Terschelling en Ameland (Leopold, 1996) dat de hoogste dichtheden zich verder uit de kust bevinden en dat de locaties van de kustsuppleties zich aan de rand van hun verspreidingsgebied bevonden.

Voor *Ensis* en *Lutraria* is een meer exacte bepaling van het voorkomen in de ondiepe kustzee nabij de brekerbanken nog niet uitgevoerd. De verspreidingskaart van *Ensis* (Figuur 10) suggereert dat dichte voorkomens voor de Hollandse Kust vooral verder offshore zijn te vinden, maar bij de Waddeneilanden komen deze ook nabij de kust voor. Een nadere GIS-analyse naar de verspreiding van schelpdieren in de kustzee is een aanbeveling voor verder onderzoek.

Het onderzoek van Van Dalftsen (2007) heeft zich onder andere gericht op het voorkomen van de schelpdieren *Ensis* en *Spisula*, alsmede de zandkokerworm *Lanice conchilega* als structuurvormend organisme. Dit onderzoek vond plaats in Egmond, Ameland en Schiermonnikoog. In geen van de onderzochte locaties werden grote

dichtheden van deze soorten gevonden in kust nabije locaties. Patches met hoge concentraties van *Lanice* werden aangetroffen bij Ameland op geruime afstand van de kust in dieper water.

3.3 Vissen in de kustzee

Van de aanwezigheid en de gevoeligheid van vis in de ondiepe kustzee is weinig bekend. De brandingszone, en met name tussen de brekerbanken in, vormt een biotoop voor veel kleine vissoorten, met name Tarbot (*Scophthalmus maximus*), Griet (*S. rhombus*), Lozano's grondel (*Pomatoschistus lozanoi*), dikkopje (*P. minutus*), brakwatergrondel (*P. microps*) en Kleine Zandspiering (*Ammodytes tobianus*). Ook vormt de ondiepe kustzone een opgroeikamer voor jonge haring en sprat.

De visbestanden in de Kustzee worden regelmatig bemonsterd door IMARES, maar er is geen zicht op de bestanden van de niet-commerciële soorten. Niet-commerciële soorten zoals grondels of zandspiering vormen o.a. een belangrijke voedselbron voor zeevogels. Hetzelfde geldt voor kleine pelagische vis¹ zoals jonge haring of sprat. Visbemonsteringen gericht op de ondiepe kustzone zijn zeer schaars. De observatie dat jonge platvis zich uit de Kustzee naar dieper water terugtrekt (Grift et al. 2004) suggereert wel een verschuiving in de visgemeenschap, maar juist platvissen worden door weinig zeevogels gegeten vanwege hun onhandige formaat (Garthe et al. 1996).

De ondiepe kustzee en de Voordelta is van groot belang voor migrerende vissoorten als Elft, Fint, Rivierprik en Zeeprik. Een aanbeveling voor onderzoek is het gericht bemonsteren van de niet-commerciële vissen in de ondiepe kustzone, al dan niet gekoppeld aan de uitvoering van een zandsuppletie.

3.4 Mogelijke effecten van suppleties

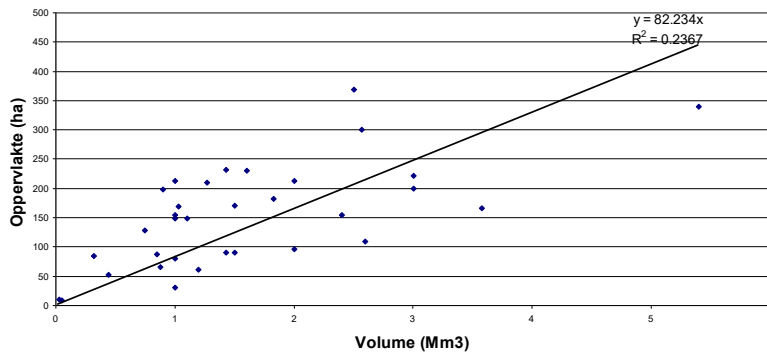
3.4.1 Benthische soortdiversiteit in de suppletiezone

Het aanbrengen van een laag zand op de helling van de buitenste brekerbank zal lokaal al het bodemleven begraven. Als stelregel kan worden gehanteerd dat hoe verder van de kust de suppletie plaatsvindt, hoe rijker de soortdiversiteit is die wordt begraven (Figuur 9). Het ecologische effect van begraving van de benthische soorten in of vlak buiten de brekerbankzone is afhankelijk van:

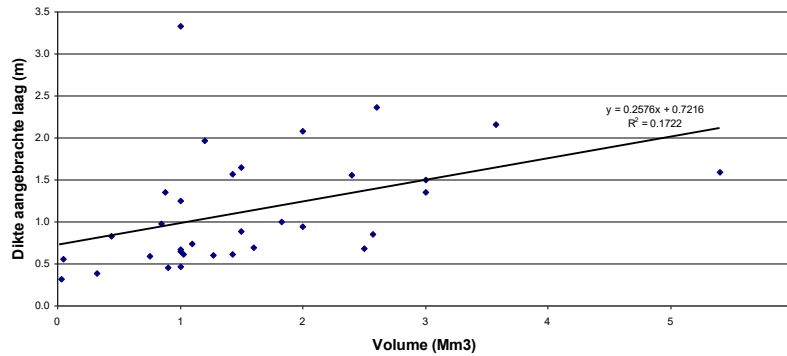
- 1 het belang van de soorten in de voedselketen;
- 2 het oppervlak dat bedekt is;
- 3 de herstelsnelheid van de soortengemeenschap na een ingreep.

De bedekkingsdikte en het suppletieoppervlak door vooroeversuppleties is in het kader van een studie door Baptist & Leopold (2007) uitgerekend. De gegevens hiervoor zijn weergegeven in bijlage 1. Per suppletielocatie is het bedekte oppervlak bepaald door de lengte van de betreffende kustsectie te vermenigvuldigen met de locale breedte van het onderwaterprofiel tussen gegeven dieptelijnen. Voor de meeste vooroeversuppleties was bekend op welke diepte is gesuppleerd, wanneer dit niet bekend was, is een diepteprofiel van -5 tot -7 m aangenomen (Figuur 13). Uit deze gegevens is ook de geschatte dikte van de gesuppleerde laag afgeleid (zie figuur 14).

1. soorten die (ver) boven de bodem voorkomen



Figuur 13: Relatie tussen het volume gesuppleerd zand in de vooroever en het oppervlakte bedekte zeebodem



Figuur 14: Relatie tussen het volume gesuppleerd zand in de vooroever en de dikte van de aangebrachte laag

Over het algemeen wordt de benthische gemeenschap in de brandingzone gekarakteriseerd als relatief soortenarm met een lage dichtheid, gedomineerd door wormachtigen als *Nephtys cirrosa*, *Scololepis squamata*, *Nephtys hombergii*, *Lanice conchilega*, *Spiophanus bombyx*, *Spio martinensis* en *Haustorius arenaria* (een kreeftachtige). Deze soorten zijn ingesteld op een dynamisch milieu waarbij de bovenste laag van het zand regelmatig wordt omgewoeld door golfactie en waar organisch materiaal slechts sporadisch tot bezinking komt.

In de wat rustiger zone tussen de brekerbanken is daarom de dichtheid en soortdiversiteit hoger. Hier kunnen dichte voorkomens van habitatstructurende soorten als *Ensis* en *Lanice* worden aangetroffen. In de Nederlandse situatie worden de hoogste dichtheden aan deze soorten aangetroffen op dieper water buiten de buitenste brekerbank (Van Dalffsen, 2007). Het idee is dat de uitstralende effecten van een suppletie naar dieper water toe niet groot zijn, dus zolang de suppletie zich op ondiep water (NAP -5 tot -7) bevindt kunnen de effecten meevallen. Dit is echter nog niet volledig onderzocht.

Wanneer ontwerpen van megasuppleties in dieper water (buiten de brekerbanken zone) komen is dit potentieel ongunstig voor de schelpdieren. *Ensis* komt het meest voor in de Voordelta, maar zal waarschijnlijk grotendeels buiten bereik van mogelijke

suppleties (geulwandsuppleties aan de eilandkoppen) blijven. Kwetsbaarder lijken de *Ensis*-bestanden boven de Waddeneilanden te zijn, die ook nabij de kust worden aangetroffen. De zones van *Spisula* en suppleties raken elkaar, dus kleine verschuivingen kunnen relatief grote gevolgen hebben. Daar moet worden bijgevoegd dat ook andere schelpdiersoorten massaal in de Kustzee kunnen voorkomen. Tien jaar geleden was dat *Spisula*, thans is dit *Ensis*, maar in een verder verleden waren dit mogelijk andere soorten als *Mactra corallina* of de kokkel (Oosterbaan 1991). Gezien de opkomst van *Lutraria* kan deze in de toekomst wellicht een belangrijke rol vervullen.

r-strategen en k-strategen

De typische soorten van de dynamische ondiepe kustzone worden gekenmerkt als r-strategen. Dit betekent dat ze zich snel voortplanten, niet oud worden en in korte tijd een stabiel populatieniveau vormen dat gelimiteerd wordt door de draagkracht. Hiertegenover staan de K-strategen, die zich langzaam voortplanten en langzamer groeien (maar meestal wel veel groter worden). Bij bentische gemeenschappen is het onderscheid tussen r-strategen en K-strategen door Lavaleye (1999) bepaald aan de hand van het gewicht en de lengte. Hiermee worden vele soorten geschaard onder de K-strategen, terwijl hun groeisnelheid ook relatief hoog is (in enkele jaren volgroeid en geslachtsrijp en snel dood). De echte K-strategen van de Noordzee, zoals de Noordhoren, Wulk of Noordkromp (die 405 jaar (!) oud kan worden), worden aan de kust niet meer gevonden.

De herstelsnelheid van de bentische soortengemeenschap is niet alleen afhankelijk van de groeisnelheid van de populatie, maar ook van de draagkracht die de omgeving biedt. Er wordt mogelijk niet voldaan aan een onderliggende aanname dat de maximale draagkracht in het gebied ongewijzigd is. In het geval habitatkenmerken zoals steilheid van de kusthelling, bodemschuifspanning door golfwerking, korrelgrootte van het sediment, organisch stofgehalte, slibgehalte of andere factoren gewijzigd zijn, kan de populatie meer tijd nodig hebben om te herstellen van een ingreep. De klassieke logistische groeicurve is gegeven door:

$$P = \frac{(K0 * P0^{(r*t)})}{(K0 + P0^{(r*t)-1})}$$

Waarin P is de populatiegrootte op tijdstip t, P0 is de beginwaarde voor de populatiegrootte, r is de groeisnelheid en K0 is de maximale draagkracht. Shepard & Stojkov (2007) geven een oplossing voor een logistische groeicurve waarin de draagkracht periodiek variabel in de tijd is, K(t). Dit is nogal een ingewikkeld ogende vergelijking, die voor de volledigheid hier wel gegeven wordt:

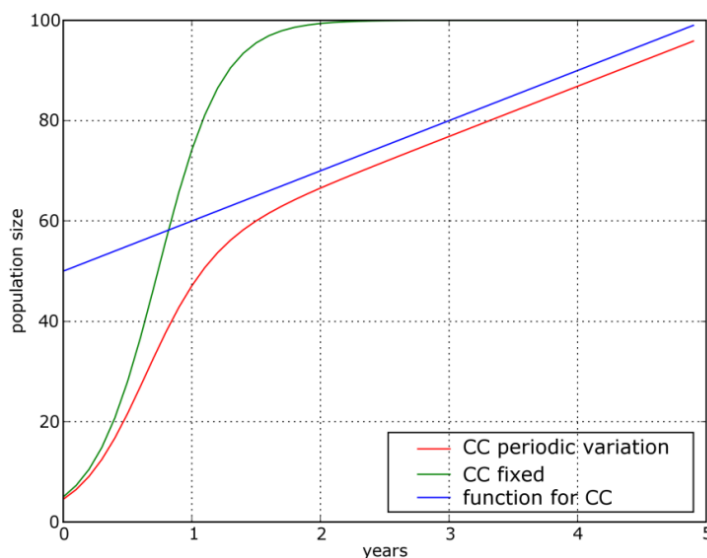
$$P = \frac{K}{1 + \left(\frac{1}{P0} - \frac{1}{K0}\right) * K^{(-r*t)}} - \frac{e^{k0*K0^2 - k*K^2(r-t)}}{r * K0^2 * \left(1 + \left(\frac{1}{P0} - \frac{1}{K0}\right) * K^{(-r*t)}\right)^2}$$

Hierin is K de in tijd t variabele functie voor draagkracht, k de afgeleide van K(t), k0 de initiële waarde voor de afgeleide van K(t) op t=0 en e is de frequentie van de periodieke variatie.

Met behulp van bovenstaande vergelijkingen is een simulatie gemaakt van het herstel van een populatie na begraving (Figuur 15). De populatie begint op een waarde van 5%

van de maximale populatiegrootte. In geval van een klassieke logistische groeicurve is de populatie hersteld na twee jaar. In geval van in de tijd verbeterende habitat-omstandigheden waardoor de relatieve maximale draagkracht groeit van 50% naar 100% over een periode van vijf jaar, kost het de populatie vijf jaar om te herstellen.

Onderzoek dat is uitgevoerd naar de herstelsnelheid van de benthische populatie bij de huidige kustsuppleties wijzen op een duur van 2 tot 5 jaar (Mulder et al., 2005). Hiermee is echter niet gezegd dat de soortengemeenschap bij megasuppleties na 2 tot 5 jaar weer op het oude niveau (draagkrachtniveau) zit.



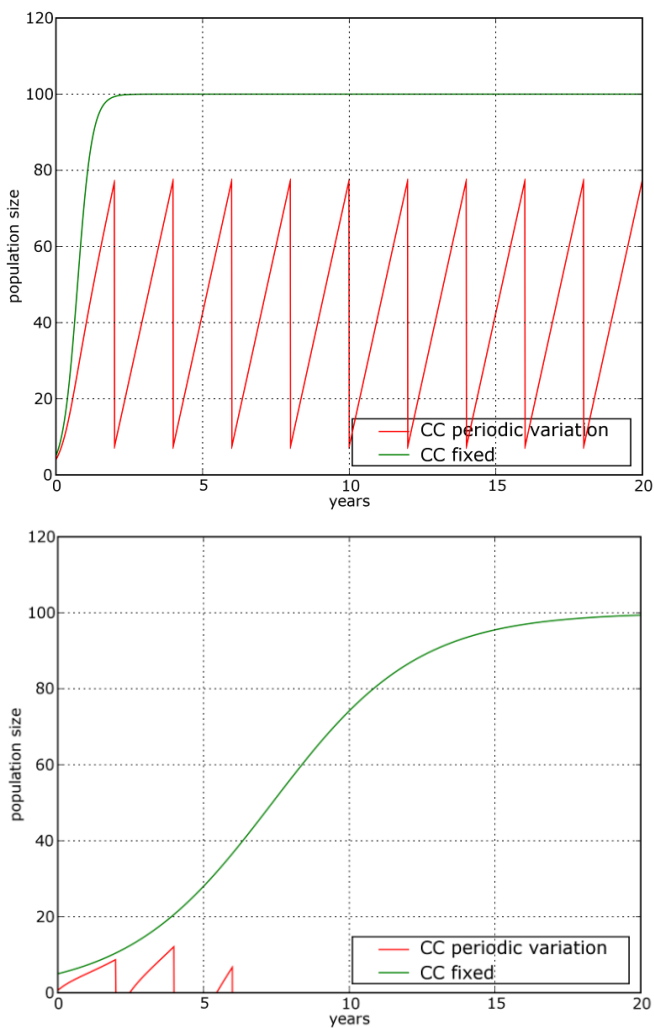
Figuur 15. Groeicurve voor een r-strateeg bij een stabiele maximale draagkracht (groene lijn) en een in de tijd toenemende draagkracht (rode lijn). De blauwe lijn geeft het niveau van de variabele draagkracht (CC) weer. Populatiegrootte is relatief (procent van de maximale populatiegrootte).

In figuur 5 is de theoretische herhaalperiode van verschillende typen suppleties weergegeven voor de 120 km lange Hollandse Kust. Bij de huidige wijze van suppleren ligt de herhaalperiode tussen de 10 en de 2,4 jaar voor totale volumes tussen 5 en 20 Mm^3 . Bij een worst-case benadering is de herstelduur van de benthische populatie 5 jaar, hetgeen zou inhouden dat onherstelbare schade wordt toegebracht bij jaarlijkse suppletievolumes groter dan 10 Mm^3 . Wanneer deze hoeveelheid wordt aangebracht als een onderwater megasuppletie is de theoretische herhaaltijd hiervan 12 jaar. Echter, de habitatveranderingen bij megasuppleties zijn mogelijk anders, dus het is niet direct te zeggen dat 12 jaar voldoende is om de soortengemeenschap te laten herstellen, hier is nader onderzoek aanbevolen.

Anderzijds is het bij megasuppleties niet nodig de gehele kust te suppleren. Zowel in tijd als in ruimte gezien kunnen onderwater-megasuppleties gunstiger uitvallen voor de benthische gemeenschap. Voor een bovenwater megasuppletie geldt logischerwijs dat de oorspronkelijke benthische gemeenschap zich niet herstelt. Immers, er worden nieuwe strandvlakten en duinen aangelegd die boven water uitsteken. Het dilemma dat hier optreedt is dat er een uitruil van habitattypen optreedt, H11 10 wordt geruild tegen

H1140 en H2110. De wettekst van de VHR is hiervoor niet goed voorzien. Verder onderzoek naar de afweging die hier gemaakt wordt aanbevolen.

In figuur 16 is weergegeven wat het effect is op een r-strategie en een K-strategie van een tweemaal herhalende kustsuppletie. Dat is een hogere frequentie dan er in het huidige suppletiebeleid wordt gebruikt (mond met M. Taal). Het gaat hier dan ook weer om een theoretische situatie. Bij een tweemaal herhalende frequentie is de r-strategie niet in staat om tot het maximale niveau te groeien, maar kan het gebied wel steeds herkoloniseren en daarmee toenemen, terwijl de K-strategie verdwijnt.



Figuur 16. Groeicurve voor een r-strategie (boven) en een K-strategie (onder) bij tweemaal herhalende begraving door een suppletie.

3.4.2 Schelpdier- en visetende vogels

Leopold & Baptist (2007) hebben de relaties tussen vogels en suppleties in de kustzee onderzocht. Hier is o.a. onderscheid gemaakt tussen de schelpdieretende vogels als Zwarte Zee-eend en Eider en visetende vogels als duikers, futen, Aalscholvers en Grote Sterns.

Schelpdiereters

Er komen verschillende soorten zee-eenden (talrijk) voor in de Nederlandse Kustzee: Zwarte Zee-eend (tot ruim 125.000), Eidereend (tot circa 100.000), Grote Zee-eend (tot 13.000) en Toppereend (tot circa 10.000). De Zee-eenden komen vaak in grote groepen voor, waarin de Zwarte Zee-eenden, Grote Zee-eenden en Eidereenden op dezelfde locatie bijeen zitten. De locatie waar de groepen zich ophouden kan gedurende meerdere maanden dezelfde zijn, maar kan ook sterk wisselen binnen een seizoen. Een verdere beschrijvingen van de ontwikkeling van de zee-eenden in de kustzee is gegeven in bijlage C.1.

De zee-eenden zijn volgend aan het aanbod van geschikt voedsel. Momenteel ligt er ruim voldoende biomassa van een soort die ook door de eenden wordt geconsumeerd (*Ensis*) maar die blijkbaar minder geschikt voedsel vormt dan de *Spisula* die eerder domineerde. De eenden vertonen dan ook dalende trends in de Nederlandse Kustzee, maar bij een volgende omslag in het benthos kan deze trend weer omdraaien. Het is dus zaak om zowel de ontwikkelingen in het benthos, als in de eenden, als in de suppleties goed te blijven volgen en van geval tot geval te bezien of er gevaar bestaat voor overlap tussen suppleties en voorkomen van rijke schelpdierbestanden, zeker in de VHR gebieden binnen de Kustzee.

Viseters

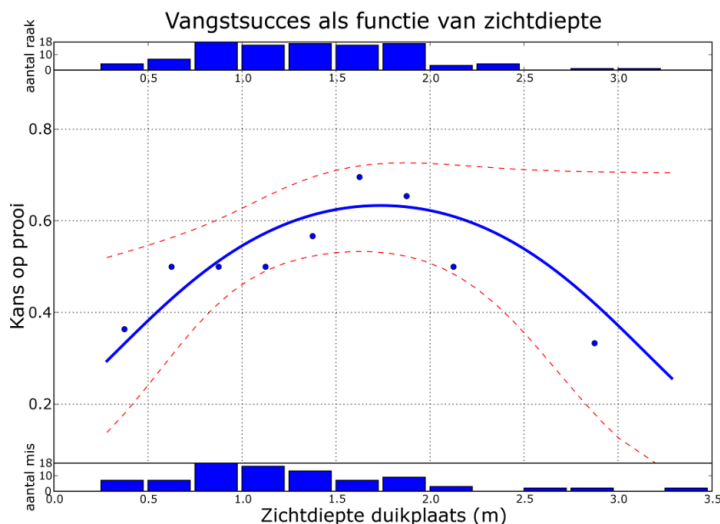
De Nederlandse Kustzee is van belang voor een aantal visetende vogels, zowel in de winter als in de broedtijd. In de Kustzee bevindt zich, afgezet tegen de hele Noordzee, een aparte avifauna. Een aantal soorten (zoals de Roodkeelduiker) is geheel op deze wateren aangewezen en deze vogels wagen zich zelden verder op zee; een aantasting van hun habitat kan derhalve grote gevolgen hebben voor hun populatieomvang.

De Kustzee is van eminent belang voor een aantal soorten die specifiek genoemd worden in de Annex I van de Europese Vogelrichtlijn en die dus een hoge mate van bescherming genieten: Roodkeel- en Parelduiker, en Grote Stern. Verder komen periodiek internationaal belangrijke aantallen voor van de Fuut en komen incidenteel nog een aantal kleinere futen voor die voor het Nederlandse natuurbeleid van belang zijn.

De Fuut is in Nederland op zee een echte wintergast, die zich van alle zeevogels het meest direct ophoudt in de suppletiezone, namelijk vrijwel alleen in de eerste 1500 meter vanaf het strand, met hoge aantallen direct achter de branding. Aalscholvers zijn ware alleskunnners waar het gaat om het vangen en eten van vis: vissen mogen groot of klein zijn, plat of rond en mag bodemvis of pelagische vis zijn (Leopold & Slot in prep.). Het aantal Aalscholvers langs de Nederlandse kust groeit en lijkt niet samen te hangen met de toename van een of andere specifieke vissoort. De Grote Stern is vooral een zomergast in Nederland en in de broedtijd meer dan enige andere stern direct van de Kustzee afhankelijk. Hij is een uitgesproken zichtjager en een voedsel specialist, die vooral haring, sprot en zandspiering eet, die dicht bij het

wateroppervlak gevangen wordt. In bijlage C.2 zijn de ontwikkelingen van de viseters in de kustzee verder beschreven.

Zandsuppleties kunnen visetende vogels op verschillende manieren beïnvloeden. Zo kan lokaal een toegenomen troebelheid als gevolg van een suppletie het foerageersucces beïnvloeden. Het is per soort verschillend hoe goed ze kunnen omgaan met troebelheid. Zo kan de Roodkeelduiker uitstekend vissen in troebel water en is het van de Aalscholver niet altijd even duidelijk. Detailstudies in het IJsselmeer (van Eerden & Zijlstra 1995; van Rijn & van Eerden 2002) hebben laten zien dat Aalscholvers, die toch relatief goed in troebel water kunnen vissen) wel degelijk last hebben van een te grote troebelheid. Dit uitte zich zowel op de korte termijn (opzoeken van luw water met relatief goed doorzicht bij storm), als op de middellange termijn (preferentie voor relatief heldere meren binnen het grote IJsselmeergebied), als op de lange termijn (afname aantallen broedvogels langs permanent troebel geworden wateren). De notie dat Aalscholvers last hebben van hoge troebelheid wordt ondersteund door buitenlands onderzoek (Henkel 2006). Hier staan echter de observaties tegenover van eveneens Henkel (2006) en van Haney & Stone (1988) dat plonsduikers, zoals (Grote) sterns, juist troebel water prefereren en de aanvankelijke suggestie van Eriksson (1985) dat bij hogere troebelheid vissen zich wellicht veiliger wanen, hoger in de water kolom gaan zwemmen en dus makkelijker vangbaar zijn. Deze hypothese is voor de Grote Stern bevestigd door Baptist & Leopold (2007), zie figuur 17.



Figuur 17: Vangst succes als functie van zichtdiepte. De doorgetrokken (blauwe) lijn geeft de vangstsuccescurve gebaseerd op logistische regressie. Gestippelde (rode) lijn = 95% betrouwbaarheidsinterval. Histogrammen boven en beneden geven voor het totaal aantal waargenomen duiken (N=189) respectievelijk het aantal met prooi (aantal raak) en zonder prooi (aantal mis). De stippen geven per histogramklasse de kans op een prooi. Uit: Baptist & Leopold (2007)

Vissen, die door het opgespoten zand sterven of tijdelijk gedesoriëteerd raken, zouden een gemakkelijke prooi kunnen vormen en met een veranderend habitat (door het aangebrachte, gebiedsvreemde zand) zou ook de visgemeenschap en dus de beschikbaarheid van vis kunnen veranderen.

Er zijn, voor zover bekend, geen directe waarnemingen van het foerageergedrag van zeevogelstijdseen vooroeverzandsuppletie, zie figuur 18. Incidentele waarnemingen bij strandsuppleties (Leopold ongepubliceerd) suggereren dat er regelmatig vis en andere eetbare organismen meekomen, die gretig door meeuwen geconsumeerd worden. Of en hoe dergelijke aangeslagen vissen ook op zee benut worden en of dit een substantiële voedselbron zou kunnen zijn voor de visetende soorten is onbekend.

Tot slot kan verstoring een rol spelen. Ten aanzien van deze mogelijkheden bestaat grote onzekerheid. Met name futen en duikers zijn gevoelig voor verstoring. Wanneer door toenemende suppletiehoeveelheden het aantal sleepopperzuigers in de Kustzee toeneemt zal deze verstoring een wezenlijke rol kunnen gaan spelen. Er is echter weinig kennis over verstoringafstanden van sleepopperzuigers.



Figuur 18: Visetende soorten bij een zandsuppletie. Foto: Hans Verdaat, IMARES

3.4.3 Zeezoogdieren

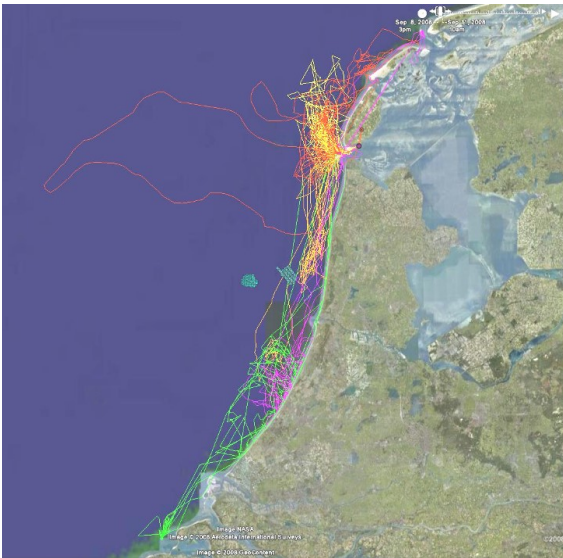
De kustzee wordt benut door Bruinvissen (*Phocoena phocoena*), Gewone Zeehonden (*Phoca vitulina vitulina*) en Grijze Zeehonden (*Halichoerus grypus*). De Bruinvis is een walvisachtige die in kustwateren en estuaria voorkomt. Het wordt aangetroffen in een groot gebied van de Noord-Atlantische Oceaan (inclusief Noordzee) en de Noord-Pacifische oceaan. Het belangrijkste kalver- en opgroeigebied van bruinvissen bevindt zich offshore van de kust van de noordelijke Waddeneilanden Sylt en Amrun (Sonntag et al., 1999). Het aantal waarnemingen van Bruinvissen langs de Nederlandse kust nam vanaf 2000 gestaag toe en bereikte een piek in 2006 (NZG Marine Mammal Database²).

De Gewone Zeehond van de Nederlandse wateren behoort tot de ondersoort *Phoca vitulina vitulina* die een verspreidingsgebied kent in Groot-Brittannië, IJsland,

2 De NZG Marine Mammal Database is een initiatief van Kees Camphuysen, opgezet omdat de schaarse waarnemingen van walvisachtigen in Nederland verloren dreigden te gaan bij gebrek aan een centraal archief. Het bestand is ondergebracht bij de Nederlandse Zeevogelgroep (NZG). Deze organisatie onderzoekt en coördineert de verschillende soorten systematisch op zee.
<http://home.planet.nl/~camphuys/Cetacea.html>

Noorwegen en Nederland. Ongeveer 20% van de wereldpopulatie bevindt zich in de internationale Waddenzee. De Gewone Zeehond komt (in kleine aantallen) ook voor in de Delta en uit zenderonderzoek is gebleken dat het regelmatig voor de Nederlandse kust heen en weer zwemt.

De Grijze Zeehond komt voor in de Noord-Atlantische Oceaan en de Baltische Zee. Het aantal Grijze Zeehonden in de Nederlandse wateren neemt gestaag toe. Zenderonderzoek laat zien dat lange zwemtochten worden ondernomen langs de Nederlandse kust of heen en weer naar de Britse kust. Ook wordt duidelijk dat de Grijze Zeehond zich in de brandingszone van de Nederlandse kust bevindt. Mogelijk vindt het hier een geschikte voedselbron en is dat waarschijnlijk Kleine zandspiering. Onderzoek naar mogelijke, historisch opgetreden, verstoring van Grijze Zeehonden door zandsuppleties is gepland door Wageningen IMARES. Hiertoe zal gebruik worden gemaakt van 10 jaar gegevens aan gezenderde zeehonden (zie figuur 19).



Figuur 19: Tracks van zes gezenderde Grijze Zeehonden afkomstig van de Razende Bol, tussen half september en half november 2008. Van: Sophie Brasseur, IMARES

Dit kan door het uitvoeren van geostatistisch onderzoek naar habitatpreferenties van zeehonden aan de hand van de zendergegevens en omgevingsfactoren. Wanneer een preferente habitatkaart is gegenereerd kan door het maken van een overlay van suppletie-activiteiten bekeken worden of er een afwijking optreedt in de verspreiding van zeehonden. Hieraan kan een geluidsmodel van sleepopperzuigers worden gekoppeld uit de metingen die bij de aanleg van de Tweede Maasvlakte worden uitgevoerd. Hierdoor wordt een kwantitatief beeld verkregen van de verstoring van suppletie-activiteiten op zeehonden via het onderwatergeluid.

3.4.4 Conclusies

Het aanbrengen van een laag zand op de helling van de buitenste brekerbank zal lokaal al het bodemleven begraven. Als stelregel kan worden gehanteerd dat hoe verder van de kust de suppletie plaatsvindt, hoe rijker de soortdiversiteit is die wordt

begraven (Figuur 9). Langsdelen van de Nederlandse kust waar zich getijgeulen bevinden vlak aan de kust (Zeeuwse Delta en de buitendelta's van de Waddeneilanden) gaat deze relatie niet op. Het aanbrengen van zand tussen de brekerbanken in zal ook de lokaal verhoogde diversiteit in de trog begraven.

Onderzoek dat is uitgevoerd naar de herstelsnelheid van de benthische populatie bij de huidige kustsuppleties wijzen op een duur van 2 tot 5 jaar (Mulder et al., 2005). Hiermee is echter niet duidelijk of de soortengemeenschap bij megasuppleties na 2 tot 5 jaar weer op het oude niveau (draagkrachtniveau) zit. Dit hangt af van het ontwerp en de ontwikkelingen in de hydrodynamica en morfologie als gevolg van de megasuppletie.

Van prominent belang voor het ecosysteem van de kustzee zijn de grote schelpdieren als *Ensis*, *Spisula* en in de toekomst mogelijk *Lutraria*. Op basis van de huidige inzichten kan gesteld worden dat de hoogste dichtheden worden gevonden op dieper water buiten de buitenste brekerbank. Maar ten noorden van de Waddeneilanden worden ook schelpdierbanken vlak onder de kust gevonden. Schelpdierbanken op relatief ondiep water zijn makkelijker bereikbaar voor duikende zee-eenden en hebben dus een groter belang. Hiervoor is het van belang om te onderzoeken of er sprake is van uitstralende effecten van een suppletie naar dieper water. Iedere suppletie die schelpdieren bedekt (direct of indirect) is potentieel ongunstig voor de schelpdieren en de hiervan afhankelijke en beschermde zee-eenden en er zal dus altijd een T0-studie moeten worden uitgevoerd naar de aanwezigheid hiervan en een vervolgstudie naar mogelijke effecten.

Van de aanwezigheid en de gevoeligheid van vis in de ondiepe kustzee is weinig bekend. Soorten als Griet en Tarbot voelen zich thuis in de brandingszone. Ook de Kleine zandspiering is algemeen in de ondiepe kustzone en (de naam zegt het al) voelt zich thuis in relatief grof, los zand. Meer kennis is nodig over de directe en indirecte effecten (habitatveranderingen) van megasuppleties en de consequenties voor vispopulaties. Dit is van belang voor zowel de beroepsvisserij als voor natuurbescherming.

Futen en duikers (zoals de Vogelrichtlijnsoort Roodkeelduiker) zijn gevoelig voor verstoring. Wanneer door toenemende suppletiehoeveelheden het aantal sleepopperzuigers in de Kustzee toeneemt, zal deze verstoring een wezenlijke rol kunnen gaan spelen. Ook zeehonden zijn gevoelig voor verstoring.

4 Inventarisatie actueel onderzoek

4.1 Internationaal onderzoek megasuppleties

Bij de inventarisatie van het onderzoek naar megasuppleties is gezocht naar nationale en internationale voorbeelden en onderzoek. Uit de literatuur en bij navraag onder Nederlandse kustexperts blijkt echter dat internationale megasuppleties tot op heden niet zijn uitgevoerd en voor zover bekend niet zijn onderzocht. De reden hiervoor ligt waarschijnlijk in het feit dat het Nederlandse beleid van strikte handhaving van de zandige kustlijn door middel van suppleties uniek is. In veel andere landen wordt de kustlijn niet dermate strikt gehandhaafd, is er sprake van modder-, grind dan wel rotskusten of is er onvoldoende zand voorradig voor structurele of grootschalige suppleties. Ook daar waar wel structureel wordt gesuppleerd (bv in de VS, de zuidkust van Denemarken of het Duitse Sylt) is er tot op heden geen sprake van megasuppleties. Ook strandherstel na orkanen in bijvoorbeeld Mexico valt wat ons betreft niet onder megasuppleties, net zomin als de grootschalige landaanwinning projecten in de Arabische golfstaten en Singapore.

4.2 Nationaal onderzoek megasuppleties

In Nederland worden verschillende voorstellen voor megasuppleties en zandmotoren besproken. Het meest concrete voorstel is vooralsnog de zandmotor pilot langs de Noord-Hollandse kust. Bij de aanpak van de zwakke schakels Hondsbosse zeewering en duinenkop Noord-Holland worden groeiscenario's uitgewerkt op basis van een aantal reguliere onderwatersuppleties.

Zandmotor-pilot Zuid-Hollandse kust

Deltares is zowel vanuit het voormalige WL|Delft Hydraulics als vanuit het voormalige RIKZ betrokken bij de zandmotor-pilot Hollandse kust. Dit gebeurt onder regie van de Provincie Zuid-Holland (initiatiefnemer) met medewerking van de belangrijkste stakeholders waaronder het Ministerie van Verkeer en Waterstaat, VROM en LNV, het Hoogheemraadschap Delfland, gemeenten en milieuorganisaties. Daarnaast vergt de realisatie van dit innovatieve plan de inzet van kennisinstututen, ingenieursbureaus en bedrijfsleven.

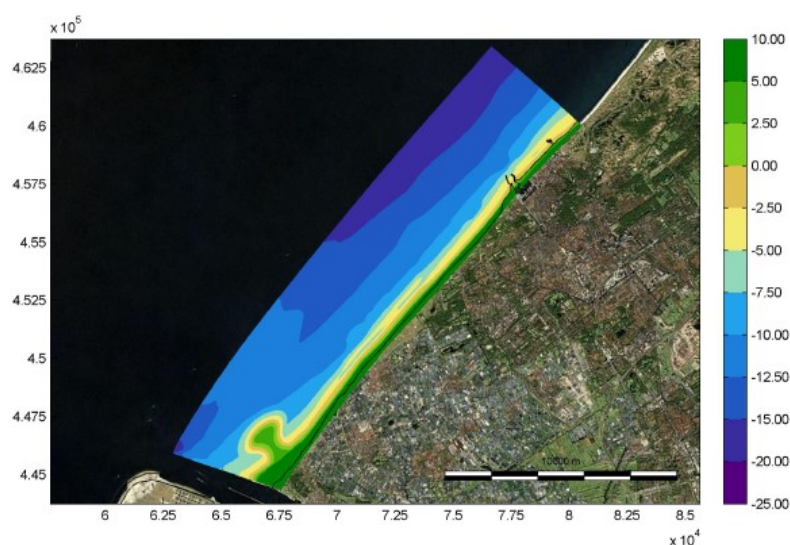
Voor de Hollandse kust als geheel verkeert het zandmotor-concept nog in het stadium van visievorming (wat is de meest gewenste situatie in de tweede helft van deze eeuw, gezien vanuit morfologisch, ecologisch en veiligheidsoogpunt?) en bestuurlijke draagvlakverwerving.

Voor de Delflandse kust als pilot-locatie is inmiddels dat draagvlak aanwezig en zijn de eerste stappen in de richting van een verkenning, voorontwerp en planvorming al gezet. De ambitie hierbij is om te onderzoeken welke uitvoeringswijze van megasuppleties met een grootte-orde van 20 miljoen m³, de optimale winst oplevert ten behoeve van de functies veiligheid, natuur en recreatie. De Zandmotor Delfland kan worden beschouwd als een lokale test van de potentie van het Zandmotor concept voor toepassing op de schaal van het gehele Hollandse kust.

In 2007 is het globaal technisch voorontwerp Zandmotor in opdracht van het voormalige RIKZ opgesteld door morfologen, ecologen en uitvoeringsdeskundigen om het concept Zandmotor te concretiseren. Royal Haskoning heeft dat jaar een procesontwerp voor de

zandmotor opgesteld in opdracht van de provincie Zuid-Holland. Dit jaar (2008) heeft Deltares de morfologische berekeningen voor de eerste fase van de planstudie uitgevoerd, deze planstudie wordt door Grontmij in opdracht van de provincie Zuid-Holland opgesteld.

Een variant van het voorontwerp is weergegeven in figuur 20. Hiertoe zijn heldere doelstellingen, uitgangspunten en randvoorwaarden geformuleerd en zijn de potenties en risico's van verschillende varianten aan de hand van een zogenaamd beoordelingskader in kaart gebracht. Uit de voorlopige berekeningen bleek dat lokaal ook negatieve effecten kunnen optreden en dat kustonderhoud noodzakelijk blijft. Voor wat betreft de veiligheidsaspecten van megasuppleties zijn de belangrijkste aanbevelingen voor vervolgonderzoek het verbeteren van de voorspelbaarheid van de effecten op strand en duinontwikkeling en de implementatie van de MKL methodiek van toetsen en aanvullen in de berekeningen.



Figuur 20: Zandmotor variant uit globaal technisch voorontwerp

Water-strand-duin interactie en aeolisch transport

Een belangrijke uitkomst uit het zandmotor onderzoek tot nu toe is dat de huidige generatie procesgebaseerde rekenmodellen de effecten van een zandmotor op de strandbreedte en duinontwikkeling onvoldoende kunnen voorspellen. Deze voorspellingen zijn nodig om een ecologische en recreatieve afweging te kunnen maken van de zandmotor. De onderzoekslijn dient zich te richten op het begrijpen en modelleren van swash³-processen en aeolisch transport.

3. Swash-proces = golf op- en afloop proces

Lange-termijn schematisaties i.c.m. gevolgen extreme condities

Een andere vraag die het zandmotor onderzoek heeft opgeworpen is in hoeverre het mogelijk is om lange-termijn voorspellingen te combineren met de effecten van extreme condities die volgens geheel andere processen aangrijpen op de bodem- en duinontwikkeling. Het onderzoek dient zich te richten op een praktische invulling van de gevolgen van extreme condities in lange-termijn berekeningen zonder de totale rekentijden verder te vergroten. De gebruikelijke schematisaties in lange-termijn morfologische voorspellingen dienen te worden bestudeerd aan de hand van een literatuurstudie inclusief meest recente publicaties op dit gebied. Ontwikkeling van modelleringen en rekentechnieken die potentieel de rekentijd kunnen bekorten en nauwkeurigheid kunnen vergroten zoals de quasi-3D aanpak en versnellen golfmodellen (SWAN first-guess en adaptive grid, xbeach wavedriver) moeten worden voortgezet.

Bandbreedte morfologische voorspellingen

Een terugkerend aspect binnen VOP, Kustlijn zorg en het zandmotor onderzoek is de voorspelbaarheid van morfologische veranderingen op langere tijdschalen en de juiste manier om hiermee om te gaan. Hierbij wordt aangetekend dat morfologische uitkomsten vaak gebruikt worden als input voor verdere berekeningen en afwegingen. Binnen VOP 2007 is er een inventarisatie gemaakt van methoden voor het kwantificeren van onzekerheden en de bandbreedte van morfologische studies (Van Rijn en Smale, 2007). De toepassing van dergelijke technieken zouden verder moeten worden uitgewerkt in een case.

4.3 Nationaal onderzoek suppleties

Hier wordt een inventarisatie gegeven van huidig en gepland onderzoek naar kusterosie en suppleties waarbij de focus ligt op aspecten die ook voor megasuppleties van belang zijn. In Nederland zijn er verschillende kaders waarin onderzoek naar kusterosie en suppleties ter compensatie van erosie, wordt uitgevoerd:

- kustlijn zorg,
- langjarige suppletiebehoefte,
- bouwen met de natuur,
- veiligheid duinen (SBW-Duinen).

Buiten Nederland worden er in landen als USA, Japan, Duitsland en Denemarken regelmatig suppleties uitgevoerd om erosie te bestrijden. Maar er zijn eigenlijk geen systematische onderzoeksprogramma's gericht op het dynamisch handhaven van de kust. De vereiste managementstructuur (cyclus van monitoren, analyseren en suppleren) ontbreekt meestal om een programma van dynamisch handhaven te kunnen effectueren. Databases zoals JARKUS voor de Nederlandse kust zijn niet beschikbaar. In de landen aan de Middellandse Zee gaat het meer om lokale strand suppleties gericht op het verbeteren van de strandcondities voor het zomerseizoen.

Kustlijn zorg

Er wordt gewerkt volgens drie onderzoeklijnen waarbij het eindproduct een aanvulling en actualisatie is van de suppletierichtlijnen.

- 1 systeemkennis,
- 2 modelontwikkelingen
- 3 experimenten.

Systeemkennis

Het doel is het opbouwen en uitbreiden van de kennis van het Nederlandse kuststelsel, als basis voor advisering van beheerders en beleidsmakers, en voor andere onderzoeksactiviteiten. Systeemkennis is zowel de basis als 'rode draad' van Kustlijn zorg. Systeemkennis wordt vooral opgebouwd aan de hand van analyse van monitoringsgegevens. De uitgevoerde en lopende 2008 activiteiten tot nu toe zijn:

- analyse van de morfologische ontwikkeling van een aantal deelsystemen, inclusief de duinen;
- analyse van zowel 'bekende' als onbestudeerde onderwater suppleties (Camperduin; Noordwijkerhout);
- analyse van morfologische ontwikkeling van grotere regio's om de interactie tussen suppleties vast te stellen.
- nadere analyse van de interactie tussen strand en duinen;
- idem voor de ontwikkeling van het volume van de duinen langs de Hollandse kust, zowel vóór de start van Dynamisch Handhaven als daarna, om de natuurlijke ontwikkeling en de ontwikkeling onder invloed van suppletie te leren kennen;
- regionale morfologische analyses van Noord- en Zuid-Holland;
- evaluatie van suppleties in het Wadden- en Deltagebied;
- een eerste evaluatie van de systeemsuppletie op teen van de Helderse Zeewering (2006);
- verkennende studie van eolische zandtransporten van strand naar duinen (Wat is er bekend? Wat hebben we nodig? Hoe bewerkstelligen we dit transport?).

Modellen

Het doel is om op termijn van een aantal jaren een set van complementaire modellen te hebben die de ontwikkeling van een suppletie kunnen simuleren, in te zetten bij ontwerp en evaluatie van suppleties en bij ontwikkeling richtlijnen. De lopende onderzoeksactiviteiten zijn:

Argus/BeachWizard

- numerieke verbetering van de BeachWizard met als doel het beter weergeven van de Argus data;
- operationaliseren van BeachWizard, met als einddoel (op middellange termijn) een stand-alone data systeem dat on-line voorspellingen van golven, stromen en bodemligging geeft, op basis van actuele meetdata (past bij Systeemkennis-lijn); de eerste stap hiervoor is het opschonen van de modelcode en het 'wegsnijden' van overbodige onderdelen in het model.

Delft3D

- valideren van het hydraulische model voor de surfzone, gevolgd door valideren van het morfologische model;
- opstellen van plan van aanpak voor verbetering eolisch transport (in samenhang met laatste punt onder Systeemkennis).

Experimenten en case-studies

Het doel is het uitbreiden van de systeemkennis en genereren van data voor de validatie van modellen. In 2007 zijn in een golfgoot proeven uitgevoerd met een onderwatersuppletie. De hiermee verkregen dataset is geanalyseerd. De meetresultaten zullen doorgerekend worden met Delft3D (zie ook onderdeel modellen). Op basis van de verzamelde ervaring kunnen experimenten worden ontworpen voor uitvoering in een golfbak, waarbij het driedimensionale gedrag van onderwatersuppleties gesimuleerd kan worden. In 2008 staat een haalbaarheidsstudie gepland.

Tevens zullen er case studies van al dan niet hypothetische ontwikkelingen, plannen worden uitgevoerd om inzicht in de te verwachten ontwikkelingen en de onzekerheden te verkrijgen ter ondersteuning van pannen- en beleidsmakers.

Langjarige suppletiebehoefte

De belangrijkste vragen met betrekking tot Langjarige Suppletiebehoefte komen voort uit het onderhoud van het Kustfundament. Deze vragen luiden:

- Hoeveel zand moet er jaarlijks gesuppleerd worden? (uitgaande van de huidige zeespiegelstijging van 18 cm/eeuw),
- Waar moet dit zand neergelegd worden? en
- Hoe moet dit zand neergelegd worden?

Om deze vragen te kunnen beantwoorden moet de langjarige ontwikkeling van de Nederlandse kust begrepen worden. Het gaat daarbij om de sedimenthuishouding van de verschillende deelsystemen en de netto sedimentfluxen die daaraan ten grondslag liggen. In 2008 zijn de volgende vraagstukken door Deltares opgepakt, samen met de Waterdienst:

- Update zandbalans: Het recente zandbalansrapport (Nederbragt, 2005) is gebaseerd op gegevens tot en met 1997. Een update tot en met 2006 (of 2007 indien mogelijk) is dringend gewenst. Daarnaast moeten gegevens over zandwinning en baggeren/storten hierin verwerkt worden.
- In de bestaande zandbalansen zijn een aantal deelgebieden niet of niet volledig meegenomen (het Groninger Wad en de Eems/Dollard; het Belgische deel van de Westerscheldemonding). Deze gebieden moeten meegenomen worden. Hiervoor moeten de benodigde gegevens verzameld worden.
- De grootschalige netto zandtransporten langs de Nederlandse kust zijn niet in voldoende mate bekend om de sedimentbalans te verklaren. Daarom worden deze transporten verder geanalyseerd, o.a. met daarvoor ontwikkelde modeltools.
- Hoeveel zand is jaarlijks nodig om het kustfundament daadwerkelijk mee te laten groeien met de zeespiegelstijging? De huidige 12 miljoen m³ blijkt te weinig te zijn vanwege o.a. de zandvraag in de Waddenzee als gevolg van de afsluiting van de Zuiderzee en de zandonttrekking uit vaargeulen.
- Waar en hoe dient dit volume gesuppleerd te worden? Bekend is dat het Waddengebied de grootste zandbehoefte heeft, gevolgd door het Deltagebied. Het is echter nog niet duidelijk waar dit zand morfologisch gezien het beste gesuppleerd kan worden. Hierbij zullen ook suppleties voor harde zeeweringen beschouwd worden. Naast morfologische worden okecologische en uitvoeringsgerelateerde aspecten meegenomen in de afweging.

Het merendeel van het werk wordt uitgevoerd door Deltares. Hierbij zullen drie onderzoekslijnen ontwikkeld worden, te weten systeemkennis, modelontwikkeling en case studies (zie boven). In 2008 zullen de volgende producten worden opgeleverd:

- Update zandbalans Nederlandse kust, aangevuld tot 2006;
- Uitbreiding van de zandbalans met balansen voor gebieden op de grens met zowel België als Duitsland, en een onderbouwing met betrekking tot transportbeschouwingen;
- Rapportage over het jaarlijks te suppleren volume zand om het kustfundament mee te laten groeien met zeespiegelstijging;
- Rapport met voorstellen voor de uitvoering van fundamentsuppleties.

Bouwen met de natuur

Het onderzoeksprogramma van Bouwen met de Natuur haakt aan bij lopende initiatieven van de Provincie Zuid-Holland en het Ministerie van Verkeer & Waterstaat.

De kernelementen van Bouwen met de Natuur (BwN) zijn:

- Gebruikmaken van natuurlijke processen om met korte termijn maatregelen een lange termijn duurzame doelstelling te realiseren,
- Integrale oplossing die gebruiksdoelstellingen in samenhang optimaliseert (veiligheid, natuur, en recreatie).

Op dit moment wordt de kustlijn in stand gehouden door het beleid van Dynamisch Handhaven. In dat kader wordt de zandvoorraad in het kustfundament op peil gehouden en de basiskustlijn gehandhaafd. Dat gebeurt door zand op de kust te brengen, waar en wanneer de basiskustlijn dreigt te worden overschreden. Deze methode van kustonderhoud is flexibel, relatief goedkoop en robuust tegen zeespiegelstijging. De toepassing is echter reactief en gericht op handhaven; d.w.z. de totale suppletiehoeveelheid is beperkt en afgestemd op de waargenomen snelheid van zeespiegelstijging. Voor kustontwikkeling en het scheppen van ruimte voor nieuwe natuur is een pro-actieve benadering gewenst, waarbij een overmaat aan zand in het systeem wordt gebracht. De buffer die hierdoor ontstaat kan de gevolgen van klimaatverandering (zeespiegelstijging, hogere golven) opvangen en toenemende vraag naar groene recreatieruimte in de dichtbevolkte Randstad opvangen.

Duurzame veiligheid en ontwikkeling van de Hollandse kust vraagt om innovaties in de wijze van suppleren. Dit kan bijvoorbeeld door geconcentreerde megasuppleties. Hierbij worden grotere hoeveelheden zand ineens aangebracht, waardoor de eigenlijke aanleg kostenefficiënter kan worden uitgevoerd. Vervolgens fungeert de megasuppletie als bron voor de voeding van het kuststelsel; de natuur zelf (golven en getij) zorgt voor de herverdeling van het zand. Tegelijkertijd ontstaat er ruimte voor (al dan niet tijdelijke) natuurontwikkeling en recreatie in de vorm van nieuwe, dynamische duingebieden en strandlagunes. Een dergelijke oplossing leidt tot nieuwe kansen voor meervoudig ruimtegebruik in dichtbevolkte gebieden.

De realisatie van een Pilot Zandmotor voor de kust van Delfland is hiervan een voorbeeld. Binnen BwN is het onderzoek gericht op het verkrijgen van inzicht in de morfologische ontwikkeling van de megasuppletie, de voeding van kust en duin door landwaarts transport van zand, de interactie tussen morfologie en ecologie en de identificatie en benutting van ecologische potenties door gericht ontwerp. De ontwikkeling van systeemkennis en testen van nieuwe modellen en technieken wordt gekoppeld aan een uitgebreid monitoring programma rond de Duincompensatie Delfland.

Een andere case is Duurzame Ontwikkeling Hollandse Kust, die is gericht op de ontwikkeling van een perspectief voor de duurzame ontwikkeling van de Hollandse kust, van Hoek van Holland tot Den Helder, op een tijdschaal van 50 tot 100 jaar. Dit perspectief bestaat uit een pallet van mogelijke ingrepen in combinatie met een beheer- en onderhoudstrategie, waarbij het leidend principe is dat optimaal gebruik wordt gemaakt van natuurlijke processen. De lange termijn case Hollandse Kust wordt geïnspireerd vanuit kennis en ervaring opgedaan tijdens de voorbereiding en realisatie van de Pilot Zandmotor Delfland, die naar verwachting wordt uitgevoerd tijdens de looptijd van BwN.

Veiligheid duinen (SBW-Duinen)

Om de veiligheid tegen overstromen duurzaam te waarborgen wordt door waterkeringbeheerders de toestand van de waterkering periodiek getoetst. Voor deze toets worden door de staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat toetsvoorschriften en bijbehorende randvoorwaarden vastgesteld. In de praktijk vertonen bestaande voorschriften en randvoorwaarden nog onvolkomenheden. Dit kan ertoe leiden dat waterkeringbeheerders "geen oordeel" geven of twijfels hebben over de betrouwbaarheid van het toetsoordeel.

Om deze onwenselijke situatie te verbeteren stuurt Rijkswaterstaat - Waterdienst het programma Sterkte en Belasting van Waterkeringen aan om de voorschriften en randvoorwaarden te verbeteren. De verantwoordelijkheid voor de uitvoering van dit programma is neergelegd bij het kennisinstituut Deltares. Eén van de belangrijke thema's binnen het programma SBW betreft de veiligheid van duinwaterkeringen. Uit de inventarisatie bij waterschappen, provincies en rijk blijken grote twijfels te bestaan over het bestaande toetsinstrumentarium. In een beperkt aantal gevallen heeft dit tijdens de tweede toetsronde geleid tot een "geen oordeel". Daarnaast is in 2008 een strategie bedacht voor de ontwikkeling van nieuwe toetsregels [Walstra et al. (2008)]. Verder is er in 2008 een inventarisatie gemaakt van de gebruikerswensen met betrekking tot het duintoetsinstrumentarium (software).

In het verleden is veel onderzoek verricht naar duinafslag die kenmerkend is voor het zogenaamde referentieprofiel (Delfland profiel). Er ontbreekt echter kennis over het optreden van duinafslag bij afwijkende duinwaterprofielen. Hierbij kan worden gedacht aan een laag duin, een duin met een flauwe vooroever, een dubbel duin, een getijgeul of duinen bij een zeegat. Aansluitend op de lopende veldmeetcampagne van het project SBWWaddenzee zijn plannen ontwikkeld voor een veldmeetcampagne voor duinbelasting en -afslag in de omgeving van het Amelander Zeegat. In de winter 2008 – 2009 vindt een pilot plaats, op grond waarvan besloten kan worden om in de winters erin een volledige veldmeetcampagne op te tuigen. De resultaten van deze veldmeetcampagne sluiten aan op laboratoriumonderzoek in de verlengde Scheldegoot en wellicht in een afstudeeronderzoek naar duinafslag in het Amelander Zeegat op basis van modellen.

In 2008 zijn er ook proeven met harde elementen in een duinwaterkering uitgevoerd in de Deltagoot. Daarnaast is er een proevenserie uitgevoerd met aansluitconstructies tussen duinen en dijken. De kennis die hieruit kan worden gedestilleerd is nog niet geheel verwerkt in bestaande duinafslagmodellen. Het SBW-onderzoek geeft een goed beeld van de kusterosie tijdens extreme situaties (stormen).

4.4 Suppletie historie en ecologische monitoring

Sinds 1980 zijn er verschillende monitor studies uitgevoerd naar de effecten van suppleties op bodemdieren. Sommige van deze studies zijn lokale projecten of vormen juist meer een onderdeel van de jaarlijkse monitorprogramma's. In tabel 2 worden de verschillende monitoringprojecten met de studies schematisch weergegeven.

Tabel 2: Overzicht ecologische monitoring studies langs de Nederlandse kust

Monitorjaar	Studie	Locatie	referentie
1980-1981	Ecologische effecten van strandsuppleties	Ameland & Texel	Dankers et al 1983
1986- nu	BIOMON	Noordzee, waddenzee, zeeuwse kust	Van Dalfsen et al 2007
1993-1995	Ecologische effecten van een vooroeversuppletie	Terschelling	Essink 1997, Van Dalfsen & Essink 1997
1995 - nu	Jaarlijks schelpdiermonitoring	Noordzee kustzone, icl waddenzee en voordelta	Goudswaard et al 2008
2001	Lange termijn effecten voor bodemdieren op zandwinning	Kust nabij Heemskerk	Van Dalfsen & Lewis 2001
2001-2002	Macrozoobenrhos in relatie tot meso-schaal bodenvormen	Hollandse kust	Baptist et al 2006
2002	Ecologie van de Hollandse kust	9 locaties langs de Nederlandse kust	Janssen & Mulder 2004, 2005
2002-2003	Ecologische effecten van vooroeversuppleties	Noordzeekust, westkust van Texel	Leopold 2002a,b, 2003
2005	Sediment karakteristieken en macro fauna in de brandingszone	Schiermonnikoog en Egmond	Van Dalfsen 2006
2007	Benthos op suppletie locaties	4 locaties langs de Hollandse kust	Van der Wal & Van Dalfsen 2008

De eerste onderwater zandsuppleties aan de Nederlandse kust stammen uit 1952 en 1966 en werden beide voor de kust van Walcheren, bij Vlissingen, uitgevoerd. Vervolgens duurde het tot 1987 voordat de volgende onderwater zandsuppletie werd uitgevoerd, een relatief grote van 1,83 miljoen m³ voor de Kop van Schouwen. In 1988, 1989 en 1990 werden jaarlijks in Zeeuws Vlaanderen meestal kleine onderwater suppleties uitgevoerd. Deze onderwater zandsuppleties stonden alle direct in het teken van de veiligheid en vonden allen plaats in Zeeland waar de geulen zich vlak aan de kust bevinden.

In 1993 is de eerste echte onderwater suppletie uitgevoerd. Deze suppletie vond plaats voor de kust van Terschelling, en ging gepaard met een monitoring van de effecten op het bodemleven (van Dalfsen & Duijts 1995; van Dalfsen & Oosterbaan 1996; van Dalfsen & Essink 1997; Essink 1997). Hieruit kwam naar voren dat het bodemleven ter plaatse van de suppletie werd verstikt, maar dat deze zich na enige tijd wel weer herstelde. Voor veel van de soorten herstelde de dichtheid en biomassa na ongeveer 1 jaar na afloop van de suppletie. Langer levende soorten, zoals schelpdieren (*Spisula subtruncata*, *Donax vittatus*) en zeeklit (*Echinocardium cordatum*) lieten een langzamer herstel zien. Voor deze dieren wordt een herstel van de totale biomassa en de normale leeftijdsstructuur geschat op 2 tot 5 jaar (Essink, 1997). Deze bevindingen werden later bevestigd door Van Dalfsen & Essink (2001) en Van Dalfsen & Lewis (2001). Zij vonden een bijna compleet herstel van de oorspronkelijke biotische gemeenschap en structuur vier jaar na een vooroeversuppletie. Ook de Zeeklit was bijna volledig hersteld.

In de periode 1994-96 zijn er geen onderwatersuppleties uitgevoerd, maar vanaf 1997 is er jaarlijks onderwater gesuppleerd, op wisselende locaties langs de hele Nederlandse kust.

De zandsuppletie bij Texel in voorjaar/zomer 2002 is uitgebreid gemonitord (Leopold 2002a,b; 2003; Mulder 2004). Verder hebben er weinig monitor activiteiten plaatsgevonden waarin ook ecologische aspecten zijn gemeten.

Naast de geringe ecologische monitor activiteiten voor de onderwatersuppleties zijn er wel enkele inventarisaties van het bodemleven van de brandingszone voor de kust van Noord-Holland uitgevoerd. Deze hebben plaatsgevonden langs raaien voor de kust van Egmond en Castricum in 2002 met de hoogpotige WESP (Water En Strand Profiler) (Janssen & Mulder 2004). Deze inventarisaties waren echter beperkt van omvang in ruimtelijke zin en niet direct gerelateerd aan een zandsuppletie. De bemonsterde locaties lagen over het algemeen op ondieper water dan de locaties die meestal bij onderwatersuppleties worden gebruikt. De inventarisatie levert daarom niet direct inzicht in de mogelijke effecten van een onderwatersuppletie op het bodemleven of op andere organismen, maar geeft wel een beeld van welke bodemdieren langs de kust voorkomen.

5 Aanzet meerjaren onderzoeksprogramma megasuppleties

De effecten van meer grootschalige en minder frequente suppleties ("megasuppleties") op ecologie, veiligheid en socio-economische zijn nog niet geheel bekend. Om enige sturing te geven aan de vele vragen en opgaven die er spelen rond (mega)suppleties is een aanzet van een meerjaren onderzoeksprogramma opgesteld waarin de effecten van kustsuppleties en de onderscheidende effecten tussen de verschillende suppletierégimes worden vertaald in onderzoeksvragen en hypothesen voor ecologie, veiligheid en de socio-economie. Kennisleemtes zitten m.i. in

- verbeterde, wetenschappelijke onderbouwde ecologische doelen voor de kustzone. Welke doelen voor habitats en soorten doen, i.t.t. de huidige numerieke doelen van de VHR, recht aan de dynamiek van het systeem (incl. de veranderingen door klimaatverandering, autonome processen). Dit is een uitdaging voor de ecologische disciplines.
- Wat zijn maatschappelijk gewaardeerde ecol.doelstellingen? Wat willen we bereiken met bv een verbrede kust qua natuur? Waarom is hetgeen we nu hebben niet voldoende? Of compenseert het de ruimteverliezen die in de vorige eeuw zijn opgetreden? Is het een maatschappelijke wensom te komen tot een verrijking in de biodiversiteit in de Noordzee? En wat kunnen we dan 'ontwerpen' (landscaping)? Deze waarderingen zijn echte gammavragen.
- Wat is de socio-economische nut en noodzaak van kustontwikkelingen? Wat willen we bereiken met bv een verbrede kust qua recreatie en evt. andere functies? Waarom is hetgeen we nu hebben niet voldoende? Waarom benutten we het geld niet voor een kwaliteitslag van de huidige kustzone? Deze waarderingen zijn echte gammavragen.
- Veiligheid is niet zozeer een issue waar specifieke nieuwe kennisvragen aan zitten die al niet zijn afgedekt door WB21

5.1 Context en uitgangspunten

In de praktijk zijn bij de uitvoering van het beleid voor beheer en onderhoud van de kust vanaf 1990, de doelstellingen uit de 1^e Kustnota richtinggevend gebleven. Vanaf 2001 zijn de doelstellingen uitgebreid met een 2^{de} operationeel doel zoals aangegeven in de 2^e en 3^e Kustnota:

Strategisch doel: duurzaam handhaven van de veiligheid en duurzaam behoud van de functies en waarden in het duingebied.

Operationeel doel (1): handhaving van de BasisKustLijn (BKL)

Operationeel doel (2): onderhouden van het kustfundament.

Het 2^{de} operationele doel geeft invulling aan het ontwikkelingsperspectief zoals geschetst in de Nota Ruimte (2006).

In de Nota Ruimte (2006) is het belang van het kustfundament omschreven:

Het kustfundament omvat het gehele zandgebied, nat én droog, dat als geheel van belang is als drager van functies in het kustgebied. (...) Het ontwikkelingsperspectief is gericht op behoud en verbetering van het kustfundament en op sterkte houden van de zeewering. Waarborging van het dynamische zandige kustsysteem als drager van alle functies in de kustzone staat daarbij voorop.

Gericht op deze doelen wordt vanaf 2001 jaarlijks gemiddeld 12 Mm³ zand gesuppleerd. Daarvoor was dat gemiddeld 6 Mm³ per jaar. Bij de prioritering van suppleties wordt allereerst de BKL gehandhaafd volgens het uitvoeringskader van het project Kustlijn zorg. Momenteel wordt het resterende zand verdeeld over Wadden, Hollandse kust en delta op basis van de langjarige zandbehoefte. In het deelsysteem waar relatief het minst is gesuppleerd worden zo groot mogelijke suppleties gepland. Op deze wijze zijn de eerste megasuppleties ontstaan.

Met het oog op een toekomstige versnelling van de zeespiegelstijging heeft de Deltacommissie (2008) geadviseerd de zandbuffer in de kust geleidelijk te vergroten, door het jaarlijkse suppletievolume te verhogen naar orde 84 Mm³.

In het Waterplan (concept november 2008) wordt voor de kust het volgende streefbeeld voor 2050 omschreven:

“De Nederlandse kustlijn is over een groot gedeelte enkele tientallen meters zeewaarts gebracht. Er zijn geen zwakke schakels meer. Het gehele Nederlandse kustfundament groeit mee met de zeespiegelstijging. Ook de wadzijde van de eilanden en de bodemligging van Waddenzee en Westerschelde groeien mee. De kust met inbegrip van de duinen wordt op een natuurlijke dynamische wijze beheerd. De kust straalt robuustheid uit en geeft een belangrijke meerwaarde aan de kwaliteit van de Randstad. De veiligheid van het achterland staat op een hoog niveau. Zand wordt in de vooroever toegevoegd en op een natuurlijke wijze verspreid. De ecologie en het gebruik van het strand worden daarbij zo min mogelijk gehinderd. Hoewel dynamiek van het systeem wisselt, is het onderhoud van de kust veel efficiënter en het gebruik ervan veel beter in te plannen. Dit is te danken aan de langeterminplanning van de kustontwikkeling en een verhoogd kennisniveau. Er vindt integrale gebiedsontwikkeling plaats.”

Het Waterplan stelt verder:

“Het huidige zandsuppletie volume van 12 miljoen kuub zand is op termijn niet voldoende om de zeespiegelstijging bij te houden. Daarbij komen nog de effecten van bodemdaling en verlies van zand uit het kustfundament waarmee tot nu toe onvoldoende rekening is gehouden. De zandhonger van onder andere de Waddenzee is hierbij een belangrijke factor. Het suppletievolume zal daarom flink moeten worden opgevoerd en de benodigde zandvoorraden zullen veilig gesteld moeten worden. De huidige suppleties worden zorgvuldig uitgevoerd, zodat effecten op ecologie, beroepsvisserij en recreatie zijn geminimaliseerd. Het in belangrijke mate opvoeren van het suppletievolume levert bij de huidige methode van werken echter mogelijk wel effecten op die functies. Daarnaast zal bij een dergelijke verhoging van het suppletievolume een efficiëncyslag gemaakt kunnen én moeten worden. Innovatie van de suppletiemethode is dan ook geboden.”

En:

“Omdat in de toekomst het suppletievolume veel groter wordt, ontstaan mogelijk effecten op ecologie, beroepsvisserij, zeehavens en/of recreatie. Deze effecten worden in de planperiode onderzocht in nauwe samenwerking met provincies, waterkeringbeheerders en belangenorganisaties. De methode om zand aan te vullen wordt in de planperiode doorontwikkeld met het oog op efficiëntie en op behoud, en zo mogelijk bevordering van genoemde functies. Dit vormt onderdeel van de genoemde

eerste verkenning naar tempo en hoeveelheid van de benodigde kustsuppleties. Hierbij spelen innovatie en bouwen met de natuur een belangrijke rol."

5.2 Participatieve aanpak

Behoud en verbetering van het kustfundament, als drager van alle functies in de kustzone, vraagt grote hoeveelheden zand. Rekening houdend met verschillende scenario's van zeespiegelstijging zal de suppletie hoeveelheid in de komende jaren sterk toenemen. Een van de opties hiervoor is dit te doen in de vorm van megasuppleties. Het is echter nog onduidelijk hoe dit het beste uitgevoerd kan worden.

Dit vraagstuk heeft alle kenmerken van een zogenaamd ongestructureerd probleem:

- er bestaat grote onzekerheid over het gedrag van (en de mogelijke effecten van een megasuppletie op) het (natuurlijk) systeem van de kust;
- er bestaat geen eenduidigheid / overeenstemming over de te bereiken doelen.

Daarom wordt geadviseerd te kiezen voor een participatieve en iteratieve aanpak, waarbij in samenspraak tussen onderzoekers en beheerders (RWS, vergunningverlenende partijen), de onzekerheden in het systeemgedrag worden verkend in samenhang met verschillende interpretaties van het te bereiken doel en van de waardering van een optimum tussen de verschillende doelen en het systeem zelf.

Een van de eerste keuzen die dan voorligt is welke beheerders/beleidsmakers en andere belanghebbenden in het proces moeten worden betrokken, en op welke momenten. In een open plan proces is het wenselijk om alle cruciale belanghebbenden vanaf het begin te betrekken⁴.

Om de discussie voor het maken van een definitief onderzoeksprogramma zo concreet mogelijk te maken wordt een scenario-aanpak voorgesteld, waarbij met regelmatige tussenpozen wordt teruggekoppeld tussen onderzoekers en beheerders. Zo zal een gemeenschappelijke kick-off bijeenkomst zijn gewijd aan het gezamenlijk formuleren van:

- de (mogelijke/gewenste) doelen van grootschalige suppleties,
- de (mogelijke/gewenste) optimale effecten op veiligheid, ecologie en sociaal-economische functies,
- grootheden (bij voorkeur meetbare kenmerken) waarmee de doelen en effecten kunnen worden gekarakteriseerd en/of gekwantificeerd,
- suppletiescenario's waarmee een eerste afschatting van de bandbreedte voor de verschillende doelen van de suppletie en functies van de kust kan worden gemaakt.

Op vervolgbijeenkomsten worden de (tussen)resultaten van de scenariostudies telkens gebruikt om het zicht op de doelen en op de mogelijke effecten verder te verhelderen. Tevens worden op deze wijze gaandeweg de mogelijkheden en beperkingen in beeld gebracht welke samenhangen met wet- en regelgeving en bestuurlijke verdeling van verantwoordelijkheden.

Deze aanpak brengt met zich mee dat het onmogelijk (en ook niet gewenst) is om op voorhand een uitgewerkt onderzoeksprogramma te presenteren. Immers, de

⁴ Het is hierbij mogelijk om in kleine kring te beginnen (bijvoorbeeld met alleen Rijkswaterstaat), maar dan is het wel noodzakelijk dat wordt afgesproken hoe en wanneer andere belanghebbenden worden betrokken.

Met opmerkingen [HH1]: Joost is dit wat je bedoelt met het optimum?

doelstellingen en de daaruit te formuleren scenario's zijn bepalend voor het noodzakelijke onderzoek. Ook het onderzoekprogramma zelf zal op interactieve en participatieve wijze vorm moeten krijgen. De eerste fase van dat programma zal dan ook bestaan uit een gemeenschappelijke formulering op basis van een of meer discussiebijeenkomsten.

Om een aanzet te geven tot deze discussie wordt in onderstaande een voorstel gedaan voor een mogelijke scenario-aanpak, en worden een aantal belangrijke onderzoeksvragen geformuleerd vanuit de optiek van veiligheid, ecologie en sociaal-economische ontwikkelingen. Tot slot wordt een eerste overzicht gegeven van de beschikbare methoden en technieken.

5.3 Mogelijke scenario's

Om de discussies met de beheerders te voeden met concrete informatie worden hier een aantal scenario's verkend. Het voorstel hierbij is om te werken met extreme, maar realistische, scenario's die de mogelijke bandbreedte van de megasuppleties (en hun effecten) ten volle verkennen. Wat hierbij ten volle is ligt aan de minimale en maximale dimensionering van de hypothetische megasuppletie. De scenario's kunnen gaande het proces nog worden bijgesteld.

Het scenario voorstel

Als voorzet wordt voorgesteld om als ondergrens voor de hoeveelheid zand, $6 \cdot 10^6$ m³/jr te hanteren, dit is het "overschot" van het huidige beschikbare suppletiebudget na uitvoering van de suppleties ter directe handhaving van de basiskustlijn (BKL), en als bovengrens de hoeveelheid die de Deltacommissie voorstelt, $84 \cdot 10^6$ m³/jr.

De vorm, locatie en herhalingsfrequentie van de suppleties vormen verdere punten van bespreking. Wat de vorm en locatie betreft stellen wij voor te werken met een onder- en een bovenwater variant voor de deelgebieden Waddenkust, Hollandse kust en Zuid Westelijke deltakust. Wat betreft frequentie wordt voornamelijk voorgesteld om deze af te laten hangen van het primair gestelde hoofdoel. Zo is zeker gesteld dat de uiterste grenzen van de megasuppleties (en hun effecten) in kaart worden gebracht.

Gaande het de ontwikkeling van het programma kunnen de suppletiescenario's (omvang, vorm, locatie en frequentie) worden bijgesteld in (het terugkerende) overleg met de beheerders / belanghebbenden⁵.

Binnen de aanpak moet vooral duidelijk worden waar knikpunten⁶ liggen voor de hoofdoelen voor, veiligheid, ecologie en socio-economie. Daarbij zal steeds gekeken worden binnen verschillende tijd- en ruimtegrenzen. Het leidende idee is daarbij dat suppleties niet alleen op een kleine ruimtelijke schaal hun invloed kunnen doen gelden, maar afhankelijk van hun grootte en hun herhalingsfrequentie ook op grotere tijd- en ruimteschalen effecten laten zien.

⁵ Het aantal malen en de mate van mogelijke bijstellingen (de totale 'speelruimte') zal in onderling overleg moeten worden vastgesteld.

⁶ Een knikpunt is het punt waarop een megasuppletie variant niet meer als gunstig wordt ervaren voor een hoofdoel.

De scenario opzet

Voor alle drie de deelgebieden en de drie hoofdoelen moet steeds een voor het bereiken van het primair gestelde hoofdoel best geachte megasuppletie worden uitgewerkt met een onder- en bovenwater variant. Daarmee komt het aantal mogelijke scenario's op 18 (drie gebieden, drie primaire hoofdoelen, onder & boven water; zie Tabel 3). Omdat het goed mogelijk is dat de diverse scenario's overeenkomen of onderling vrijwel niet afwijken, zal –alvorens de effecten in kaart te brengen– een onderlinge confrontatie en bespreking plaatsvinden met de opdrachtgever en door hun uit te nodigen stakeholders.

Tabel 3: Mogelijk aantal scenario's voor grootschalige suppleties

Onder/boven water	Waddenkust		Hollandse kust		Zeeuwse delta	
	onder	boven	onder	boven	onder	boven
Hoofdoelen:						
Veiligheid	1	2	3	4	5	6
Ecologie	7	8	9	10	11	12
Socio-economie	13	14	15	16	17	18

Het in kaart brengen van de effecten van een megasuppletie wordt gedaan in de vorm van een vergelijking met de huidige praktijk van suppleren en de daarvan bekende en mogelijke effecten boven en onder water. Primair wordt uitgegaan van de verwachte morfo-hydrodynamische ontwikkeling. Op basis daarvan worden de effecten van de megasuppletie op veiligheid, ecologie en socio-economie geëvalueerd. De opzet per scenario verloopt in alle gevallen als volgt:

- 1 Kies een primair gesteld hoofdoel (ecologie, veiligheid of socio-economie)
- 2 Kies daarbij of de suppletie onder of boven water moet worden aangelegd
- 3 Kies in een suppletiegebied (Waddenkust, Hollandse kust of Zeeuwse kust) een locatie.
- 4 Kies vervolgens een dimensionering die het primair gestelde hoofdoel zo optimaal mogelijk dient (vooral nog wordt in alle gevallen uitgegaan van een kustparallelle suppletie t.b.v. de onderlinge vergelijkbaarheid, maar kan bijvoorbeeld wel gekozen worden voor een bovenwater uitstekende zandbank of juist een duinrug) en een herhalingsfrequentie.
- 5 Ga na of de geologische opbouw van de ondergrond de belasting kan dragen (veen- en kleilichamen)
- 6 Ga op grond daarvan de morfo-hydraulische effecten na voor verschillende tijden ruimtetegrenzen op grond van literatuurstudies, aangevuld met modelstudies (Delft3D).

Aandachtspunten zijn o.a.:

- In hoeverre wijkt de morfodynamische respons van het kuststelsel op een megasuppletie af van de respons op een reguliere strand- of onderwatersuppletie?
- In hoeverre verandert de hydrodynamica in een kustvak ten opzichte van een reguliere suppletie?
- Hoe zit het met ontgrondingseffecten, zoals kuilen aan de kopse kanten van de suppletie?
- In hoeverre kan dit leiden tot erosie van fijnkorrelige sedimenten uit de ondergrond (troebelheid)?
- Hoe hangt de morfodynamische respons af van variabelen zoals suppletievolume, waterdiepte en korrelgrootte (ontwerpvariabelen)?
- Hoe effectief en efficiënt is een megasuppletie? Hoe verhoudt dit zich tot meerdere, kleinere reguliere suppleties?

- Wat is het effect op het strand/duinensysteem?
 - Wat is de optimale herhalingsstijd van een megasuppletie (dit kan een cyclus inhouden)?
 - Wat is de interactie met harde constructies in de omgeving (boulevards, havenhoofden, waterbouwkundige constructies)?
 - Wat is de interactie tussen ruimtelijke en tijdschalen (van 10 m tot 100 km en van uren tot tientallen jaren)?
- 7 Ga op grond van de verwachte morfo-hydraulische effecten de effecten op de hoofddoelen (veiligheid, ecologie, socio-economie) na voor verschillende tijd- en ruimtetegrenzen op grond van literatuurstudies, aangevuld met modelstudies en vergelijk deze met een reguliere suppletie.

Cross checking van de scenario's

De effecten van de 18 scenario's (aannemende dat geen van de scenario's identiek is) worden op basis van de onderstaande vragen onderling vergeleken.

- Wat is het effect van het optimale veiligheidsscenario op ecologie en op sociaal-economie?
- Wat is het effect van het optimale ecologische scenario op veiligheid en op sociaal-economie?
- Wat is het effect van het optimale sociaal economische scenario op ecologie en op veiligheid?

Hieruit worden optimale megasuppletie-schema's (volumina, herhalingsfrequenties, vormgeving, onder of boven water) geïdentificeerd, die alle doelen het best dienen (indien mogelijk). De beoordeling vindt plaats in overleg met de opdrachtgevers en met een groep deskundigen, waarna een finale keuze wordt gemaakt. Voor de overgebleven scenario's (tenminste 1 per regio) wordt in meer detail gekeken naar de effecten.

5.4 Methoden en technieken

Het participatieve proces zal nog nader uitgewerkt worden. Gedacht wordt aan een aantal werkateliers, waarbij nog vastgesteld moet worden of dat per deelgebied gedaan wordt of voor het hele gebied in één werkatelier. Per fase (ongeveer 3) van het project zal minstens één werkatelier georganiseerd worden:

- 1 aan het begin van het project met alle op dit moment bekende betrokkenen. De probleemdefinitie en de aanpak van het project, inclusief het vormgeven van de betrokkenheid van de verschillende geïnteresseerde partijen voor verschillende momenten in het proces worden dan vastgesteld;
- 2 vervolgens minstens één ter bespreking van de verschillende scenario's;
- 3 één aan het eind van het project bij de afronding.

Een werkatelier wordt hierbij gedefinieerd als een bijeenkomst waarbij het geven van éénrichtingsverkeer informatie minimaal is, en de deelnemers vooral samenwerken aan de output van de bijeenkomst. Vaak gebeurt dit in meerdere groepjes en met behulp van kaartmateriaal /viewer. Hoe de beste vorm voor dit project is, zal verder uitgewerkt worden.

5.4.1 Inhoud scenariostudies

Het in kaart brengen van de effecten van de verschillende scenario's wordt gedaan in de vorm van een vergelijking met de huidige praktijk van suppleren en de daarvan bekende en mogelijke effecten boven en onder water. Primair wordt uitgegaan van de verwachte morfo-hydrodynamische ontwikkeling. Op basis daarvan worden de effecten van de megasuppletie op veiligheid, ecologie en socio-economie geëvalueerd. Daarbij zal voor de verschillende tijdschalen een verdere inventarisatie en evaluatie worden gemaakt van het al uitgevoerde en lopende (inter-)nationale onderzoek, waarbij niet uitsluitend wordt beperkt tot suppleties en hun effecten, maar ook wordt gekeken naar natuurlijke equivalenten, zoals bijvoorbeeld aanlandende zandplaten, zandgolven, duinverstuivingen etc. De resultaten van dit (inter-)nationale onderzoek zullen, waar –in overleg- gewenst, aangevuld worden met nieuwe onderzoeken.

Voor suppleties en hun effecten op de hydrodynamische, morfologische, ecologische, socio-economische en veiligheidsaspecten is nog relatief weinig bekend. Dit geldt in nog sterkere mate voor de effecten van megasuppleties. Toch kan er op korte termijn een substantiële kennis-sprong worden gemaakt op grond van:

- 1 (natuurlijke) equivalenten voor megasuppleties;
- 2 modelstudies;
- 3 pilotstudies en monitoring.

Ad 1. (natuurlijke) equivalenten

Op veel plaatsen landt grote zandbanken op de kust (bijvoorbeeld aan de NW zijde van Waddeneilanden). Parallel daaraan vormen ze bijvoorbeeld saw-tooth ridges (Zuid Westelijke kust) of trekken sedimentatie en erosiegolven lang het strand (Zeeland en Holland). Op andere plaatsen is door menselijk ingrijpen de kust sterk zeewaarts verlegd (bijv. strekdam Eierland) of treedt zandbankvorming op onder water. Omdat de ontwikkelingen vaak tientallen jaren duren en de morfologie, ecologie, veiligheid en economisch gebruik van een dergelijk gebied beïnvloeden, zijn er vaak vele waarnemingen verzameld op allerlei detailgebied (vogelstand, veiligheidsaspecten). Een inventarisatie van deze equivalenten kan veel waardevol inzicht opleveren in de mogelijke ontwikkeling van megasuppleties

Ad 2. Modelstudies

Het gedrag van megasuppleties moet op verschillende tijd- en ruimteschalen voorspeld kunnen worden. Omdat de aanwezigheid van een megasuppletie een nog niet bestaande situatie betreft is het nodig om de processen te modelleren, hetzij numeriek, hetzij in een fysisch model (laboratorium).

Grootschalige en lange termijn processen kunnen (vanwege afmetingen en tijdsduur) niet in een laboratorium worden gemodelleerd. Hiervoor is de doorontwikkeling van lange-termijn numerieke morfodynamische modellen als Delft3D nodig. Kleinschalige en korte-termijnprocessen (bijv. duinerosie) kunnen in principe wel onderzocht worden in een laboratoriumfaciliteit, mits de schaal niet te klein wordt. De Deltagoot is een bij uitstek geschikte faciliteit voor kustdwarse processen. Daarnaast kunnen deze processen (gevalideerd met veld- en laboratoriummetingen) ook numeriek gemodelleerd worden, met bijvoorbeeld pakketten als Delft3D-surfbeat of Xbeach, waarmee stormerosie processen en lange golven gesimuleerd kunnen worden. Bij modelleren van het gedrag kunnen de volgende leidende vragen gesteld worden:

- Welke fysica ontbreekt in procesgebaseerde modellen om de vragen goed te kunnen beantwoorden? Hoe kunnen we die toevoegen?
- Wat is de beste modelleerstrategie?

- Bijv. simpele modellen met gedetailleerde aandrijving of geheel procesgebaseerde modellen met geschematiseerde aandrijving?
- deterministische vs. probabilistische modellering.
- Hoe kan de interactie tussen ruimtelijke en tijdschalen in een continue formulering worden gevat?
 - Welke schalen zijn relevant en welke tonen de grootste interactie?
 - Moeten modellen gekoppeld worden of moet een groot "super"model gemaakt worden?

Ad3. Pilots en monitoring

Om inzicht te krijgen in het morfodynamische gedrag van megasuppleties en de respons van het aanpalende kuststelsel is een goede, procesgeoriënteerde monitoring essentieel. Tevens levert dit waardevolle data om (procesgebaseerde) modellen te valideren en verder te ontwikkelen. Voordat megasuppleties frequent uitgevoerd gaan worden, zou er tenminste eenmaal zo'n uitgebreide meetcampagne uitgevoerd moeten worden. De volgende aspecten dienen hierbij in de gaten gehouden te worden:

- Niet alleen bodemmetingen, maar ook procesmetingen (golffhoogte, stroomsnelheid, zandconcentraties, e.d.).
- Naast het gesuppleerde gebied, moeten ook de aanpalende gebieden bemeten worden.
- De T0 (beginsituatie, zowel hydodynamisch, morfologisch als ecologisch) moet goed bekend zijn.
- Er moet frequent en over een langere periode (jaren) gemeten worden.
- De verkregen data moet in een permanente, gecentraliseerde database gevat worden en met goed-gevalideerde technieken geanalyseerd worden.
- De ruwe data moet bewaard worden.

Kennis over de zoet-zoutverdeling in de Nederlandse kustzone is voornamelijk gebaseerd op de laatste degelijke metingen van Nederlandse hand eind jaren 80, en op metingen die buitenlanders (!) in het kader van twee EU projecten hebben uitgevoerd om de jaren 1990-1994. De huidige twee-wekelijkse oppervlakte metingen zijn onvoldoende om ook maar iets zinnigs over de huidige zoutwaterverdeling te kunnen zeggen, om nog niet te spreken van de mogelijke gevolgen van megasuppleties. Ook met geavanceerde modellen kan eigenlijk geen harde uitspraak worden gedaan, omdat er niet voldoende gegevens zijn om de dergelijke modellen wat betreft zoetwaterverdeling te kunnen valideren, en dan met name de verdeling over de diepte. Om bij de aanleg van dergelijke belangrijke infrastructurele werken niet gehinderd te worden door het gebrek aan basale data en de daarop gebaseerde inzichten, is het raadzaam vanaf heden uitgebreid te monitoren via de zogeheten *observational method*. Dezelfde aanpak wordt bijvoorbeeld gebruikt voor de aanleg van de Noord-Zuid lijn in Amsterdam, waar men met soortgelijk gebrek aan data en inzicht te maken heeft, maar dat geen beletsel laat vormen voor de aanleg van de metrolijn. Door grondig te meten kan de 'vinger aan de pols' gehouden worden, bestudeerd worden of er effecten optreden, waarom die optreden, en zo ja of die eigenlijk wel kwalijk zijn. Bij het opzetten van dergelijke grondige metingen moet er uiteraard zorg voor worden gedragen dat dit efficiënt gebeurt. Het verdient aanbeveling om de dure inzet van mensen en schepen zoveel mogelijk te beperken, en in plaats daarvan zoveel mogelijk data automatisch te vergaren. Niet alleen is dat goedkoper, levert het meer data en dus betrouwbaardere uitspraken op, ook het verwerken tot uitspraken kan dan geautomatiseerd en dus goedkoper gedaan worden. De goedkoopste en beste manier om de effecten van megasuppleties op de Rijn pluin te onderzoeken is dan ook om zoveel mogelijk data te

vergaren vanaf bestaande boeien⁷, bestaande meetpalen, en reeds varende veerboten en goederenlijndiensten⁸ en bestaande boorplatformen⁹. En deze vervolgens in reeds geplande modelleringstudies te combineren met bestaande 3D modellen en data van reeds operationele satellieten

⁷ Een mogelijkheid is bijvoorbeeld om wave riders, boeien die golven meten tbv kustveiligheid, uit te breiden met zoutsensor, thermometer, OBS en spectroscop.

⁸ A la de TESO metingen van NIOZ (Ridderinkhof) en reeds in gebruik zijnde de ferry boxen.

⁹ In de VS is er een wet die de eigenaren van (olie)platforms verplicht sensoren op te nemen tbv algemeen gebruik, en in de UK is men nu bezig reeds gemeten data van (olie)platformen van oliemaatschappijen los te weken, nu de olievelden leeg raken en de onderlinge concurrentie van de eigenaren taant.

5.5 Onderzoeksvragen voor veiligheid

Voor het beleid en beheer van de Nederlandse kust zijn m.b.t. het aspect veiligheid de volgende parameters gedefinieerd:

- het **duinafslagpunt**: voor de momentane veiligheid,
- **kustlijning** in termen van de MKL: voor de middellange termijn veiligheid,
- **zandvolume** in het kustfundament: voor de lange termijn.

Een megasuppletie is anders qua hoeveelheid en frequentie en mogelijk ook qua locatie, dan een reguliere suppletie. De vraag is of deze nieuwe vorm van suppleren veranderingen veroorzaakt in bijvoorbeeld de vorm en/of de hydrodynamica van de kust. De integrale vraag voor het aspect veiligheid is dan ook:

Hoe beïnvloedt een megasuppletie het duinafslagpunt, de MKL en het zandvolume in het kustfundament in de tijd en ruimte en hoe wijkt deze beïnvloeding af van de invloed van "gewone" suppleties op deze parameters?

Aan deze parameters ligt de morfologie (bodemveranderingen) ten grondslag. In het onderstaande wordt vooral ingegaan op de morfologische ontwikkeling van de kustzone onder invloed van de megasuppleties en aspecten die hierbij een rol spelen. Het is echter ook van belang deze uiteindelijk door te vertalen naar bovenstaande beheersparameters.

5.5.1 Algemene veiligheidsaspecten

De hypothese is dat een megasuppletie anders is dan een reguliere suppletie, omdat een duidelijke verandering van de kustvorm zal optreden en de hydrodynamica (golven en stroming) zal veranderen. Huidige suppleties veroorzaken ook veranderingen in het kustprofiel, echter de omvang van een megasuppletie is veel groter waardoor de effecten anders kunnen zijn.

Als een megasuppletie wordt aangelegd, zal de kust tijdelijk (en hierbij moet gedacht worden in termen van jaren) een vorm aannemen die afwijkt van de huidige (soms evenwichts-) vorm. Dit betekent dat – hoewel megasuppleties op de lange termijn de veiligheid tegen overstromingen zal vergroten – er tijdelijke en lokale negatieve effecten kunnen optreden. Zo kunnen bijvoorbeeld zich stroomgeulen onder de kust in de omgeving van de megasuppletie ontwikkelen. Deze geulen hebben een negatief effect op de veiligheid, door verkleining van het kustvolume aan zand, duinafslag en lokale versteiling.

Uit het SBW-Duinen (H5019):

“Een getijgeul voor de kust heeft invloed op de vorm van een strandprofiel na een storm. Een strandprofiel dat onderhevig is aan een storm wordt verondersteld zich naar een evenwicht te ontwikkelen. In het begin van een storm is er veel duinafslag. Het afgeslagen sediment vormt een nieuw (flauwer) profiel voor de duinvoet (depositie zone), waardoor de belasting op het duin afneemt en langzaam een evenwichtstoestand bereikt wordt. Als er een geul voor de kust aanwezig is verdwijnt een deel van het sediment naar veel dieper water en gaat dus verloren. Als gevolg hiervan kan er geen evenwichtsprofiel ontstaan waardoor de belasting op het duin minder afneemt dan in een geval zonder geul. Hierdoor neemt ook de erosiesnelheid gedurende een storm minder af en zal er meer duinafslag optreden in vergelijking met hetzelfde profiel zonder geul.”

Een ander effect van een suppletie is de schaduwwerking van golven. Dit kan tot gevolg hebben dat ter plekke en direct benedenwinds van de suppletie de transportcapaciteit van sediment lokaal verkleind wordt, terwijl het ervoor en verderop (buiten de schaduw) weer toeneemt, een kopeffect. Deze kustlangse gradiënt in de transportcapaciteit zorgt voor lokale aanzanding bovenstrooms en kusterosie benedenstrooms van de suppletie zolang de suppletie het golfveld beïnvloedt. Het golfveld wordt beïnvloedt zolang er het een duidelijke uitstulping is. Dit betekent dat een suppletie lokaal ook een negatief effect op de veiligheid kan hebben. Echter door de omvang van een megasuppletie kan dit effect mogelijk groter zijn en/of langer optreden omdat de uitstulping langer zou kunnen blijven bestaan. Het is dus een ontwerp-opgave van de megasuppletie om deze kopeffecten zoveel mogelijk te beperken.

Als eerste stap lijkt het zinnig om de (algemene) werking van megasuppleties te onderzoeken. Hierbij zijn de volgende onderzoeksvragen gedefinieerd:

- In hoeverre zijn de morfodynamische respons van het kuststelsel op de megasuppletie(s) en de veranderingen in de hydrodynamica van invloed op de veiligheid op diverse tijd- en ruimteschalen voor:
 1. duinafslagpunt ter hoogte en naast het (in tijd van ligging veranderende) suppletie lichaam;
 2. MKL-verandering;
 3. zandvolume kustfundament)?
- Is dit schadelijk, en zo ja, kan dit voorkomen worden door een ander ontwerp?
- Hoe kunnen lokale negatieve veiligheidseffecten van de aanleg van een megasuppletie bestreden worden?
- Hoe effectief en kostenefficiënt is een megasuppletie m.b.t. veiligheid? Hoe verhoudt dit zich tot meerdere, kleinere reguliere suppleties?
- Wat is het positieve/negatieve effect van een megasuppletie op naburige kustvakken, in termen van veiligheid?
- Waar gaat het in het areaal van de megasuppletie “verloren” sediment heen, en komt het ten goede aan de veiligheid of andere functies elders?

5.5.2 Verschillen in veiligheidsaspecten tussen kustsystemen

Het Nederlandse kuststelsel bestaat uit drie deelsystemen met eigen specifieke kenmerken. Hierdoor spelen per gebied verschillende veiligheidsaspecten van megasuppleties een rol. Deze systeemspecifieke veiligheidsaspecten worden hier besproken voor de drie deelsystemen Zeeuwse kust, Hollandse kust en de Waddenkust (inclusief de Kop van Noord-Holland).

Zeeuwse kust

Het kuststelsel van Zuidwest Nederland loopt van Zeeuws-Vlaanderen tot Hoek van Holland. Het wordt gevormd door de estuaria van de rivieren Schelde, Rijn en Maas en is sterk door menselijke ingrepen beïnvloed als gevolg van de sluiting van de meeste zeegaten na de stormvloed van 1953 en de aanleg van de Maasvlakte. De centrale onderzoeksvragen m.b.t. veiligheid zijn:

- In hoeverre veranderen de getijkarakteristieken als gevolg van megasuppleties maar ook i.r.t andere grootschalige ingrepen; m.a.w. in hoeverre leiden megasuppleties tot een zeewaartse verlenging van de zeegaten en een bijbehorende verandering van de hydrodynamica?
- In hoeverre kunnen 1 of meerdere megasuppleties bijdragen aan het op orde brengen van de zandvoorraad in de Oosterschelde (en Westerschelde) en wat heeft dit voor het Noordzegebied en de zeearmen vervolgens voor effect op de veiligheid? Hierbij wordt ook dijkveiligheid meegenomen.
- Wat is het effect van megasuppleties op de werking van de Oosterscheldekering (sluiting, lokale erosie)?
- Hoe kunnen megasuppleties gecombineerd worden met bestaande geulwandsuppleties, zodat lokale geulen zich niet verder opdringen naar de kust?

Hollandse kust

De gesloten Hollandse kust bestaat het centrale deel van het Nederlandse kuststelsel en loopt van Hoek van Holland tot Den Helder. De IJmond ingeest deelt het stelsel in een zuidelijk en noordelijk deel welke net als de IJmond ingeest zelf en de Hondsbossche zeeving apart worden besproken.

Zuid-Hollandse kust

De Zuid-Hollandse kust kent al jaren enkele locaties met een smalle duinenrij met daarin een aantal zwakke schakels (Noordwijk, Scheveningen, Delflandse kust). Er is vanaf Kijkduin in noordelijke richting sprake van een grote ruimtedruk vanuit het achterland (woongebieden, tuinbouw) met vraag naar recreatie en natuurgebieden. Zuidelijke van Kijkduin tot aan Hoek van Holland zijn er geen grote kustplaatsen die de zeewaartse uitbreiding bemoeilijken. Het is dus mogelijk om de kust van Hoek van Holland tot Kijkduin te laten groeien en de kustboog te laten aansluiten op de Maasvlakte. De fysische processen langs dit deel van de kust (golven en golf-gedreven stroming, uitstroom uit de Nieuwe Waterweg, getij) zijn redelijk goed begrepen. Dit komt tot uiting in goede (a posteriori) voorspellingen van het gedrag van de kust.

Centrale onderzoeksvraag m.b.t. veiligheid is:

- In hoeverre kunnen 1 of meerdere megasuppleties bijdragen aan het versterken van de dunne duinenrij van de Zuid-Hollandse (Delflandse) kust en de daarin gelegen zwakke schakels?

Belangrijke detailvragen (die trouwens ook voor andere megasuppletie locaties van belang zijn) zijn daarbij:

- Wat is het proces waarbij onderwater gesuppleerd sediment strandareaal gaat vormen (m.a.w. in het intergetijde gebied en op het droge strand terecht komt)?
- Wat het proces waarbij nieuwe duinvorming gaat optreden? m.a.w. onder welke omstandigheden worden de opbouwende processen van duinvorming groter dan de afbrekende processen?
- Hoe snel kunnen deze processen plaatsvinden in het geval van megasuppleties, waarbij er voldoende aanbod van sediment is (hypothese) en het proces waarschijnlijk gestuurd wordt door de transportcapaciteit?

- Wat is het effect van de vorm van de megasuppletie (bijv. ten opzichte van de windrichting) op het proces van nieuwe duinvorming?
- Wat is het aanvullend positieve effect van verstuuving van aangebrachte megasuppleties op de (bestaande) duinen en de vergrote kans op nieuwe duinvorming?
- Hoe kan dit proces beter begrepen worden via modellen, en gecombineerd worden met bestaande modellen die erosieve processen (bijv. duinafslag) voorspellen.

Maas- en IJmond

Vaargeulonderhoud door middel van commerciële zandwinning leidt tot een afname van het zandvolume in het kustfundament en wordt gecompenseerd met kustsuppleties. Megasuppleties zouden mogelijkwijs met name rond de vaargeulen kunnen leiden tot hydrodynamische veranderingen, die weer veiligheidseffecten hebben (verhoging stormvloedniveau in de geulen e.d.) en transporteffecten.

Centrale onderzoeksvraag m.b.t. veiligheid:

- Hoe beïnvloeden 1 of meer megasuppleties de hydrodynamica en de morfologische ontwikkeling in en nabij geulen?

Hondsbosche zeewering

De Hondsbosche Zeewering is een dijk nabij Petten op een plaats waar een stormvloed in de Middeleeuwen door de oorspronkelijke duinen is doorgebroken. Bij de Hondsbosche Zeewering spelen meerdere problemen. Toenemende erosie brengt de stabiliteit van de voet van de dijk in gevaar. Daarnaast neemt de kans toe op golfoverslag. Door de erosie van de zandige kust aan beide uiteinden steekt de dijk zo'n honderdvijftig meter uit in zee. Dit bemoeilijkt de vrije uitwisseling van zand langs de kust.

Centrale onderzoeksvraag m.b.t. veiligheid:

- Wat is het effect van een megasuppletie op de veiligheid van de harde koring de Hondsbosche Zeewering en in hoeverre draagt deze suppletie bij aan het reduceren van golfoploop en overslag over de zeewering?

Waddenkust

Voor de Waddenkust kunnen worden onderscheiden de Noord-Hollandse kust plus Texel en de eigenlijke Waddenkust.

Noord-Hollandse kust

De Noord-Hollandse kust en op Texel wordt sinds 1990 veelvuldig gesuppleerd, waarbij vooral Egmond/Bergen opvalt als een gebied waar een omslag in het erosiegedrag is waargenomen. De Kop van Noord-Holland (ten noorden van de Hondsbosche Zeewering) wordt gekenmerkt door een smalle duinenrij. Daarnaast grenzen de kusten van Noord-Holland en Texel het aan een van de grootste getij-inlaatsystemen van de Nederlandse Wadden, het Marsdiep. De enorme zandhonger van het achterliggende gebied en de diepe uitschuring van (eb-delta) geulen leidt tot forse beheerproblemen en kan –indien niet zorgvuldig wordt ingegrepen– tot veiligheidsproblemen leiden. Echter, de complexe fysica is nog niet goed begrepen in dit gebied en modellen voorspellen het gedrag nog slecht.

Centrale onderzoeksvragen m.b.t. veiligheid:

- Waarom wordt het gedrag van deze kust nog zo slecht voorspeld door procesgebaseerde modellen? Welke fysica of (schematisatie van) forcering ontbreekt, en hoe kan dit verbeterd worden?
- Wat is het effect van een megasuppletie in dit gebied op de veiligheid op diverse tijd- en ruimtschalen? Wat kan geleerd worden van de ontwikkeling van Zuid-west Texel?
- Wat kan de bijdrage aan de zandhonger van de Waddenzee zijn van een megasuppletie en wat heeft dit voor het Noordzeegebied en de Waddenzee weer voor effect op de veiligheid (dus ook meenemen dijkveiligheid)?

Waddengebied

Het probleem van de verdrinking van het intergetijdegebied van de Waddenzee door extreme zeespiegelrijzing kan voorkomen worden door ophoging van het plaatareaal. Het belang van het plaatareaal en de hoogte van de bodem van de Waddenzee voor de kustveiligheid is dat de golfhoogte aan de teen van de waterkeringen in dit gebied voornamelijk bepaald wordt door de totale waterdiepte (bodemhoogte en waterstand ten opzichte van NAP). Dit zou via een megasuppletie in de Waddenzee zelf, in het getij-inlaatsysteem, op de eiland(koppen) of naastgelegen kustvakken kunnen geschieden, zie ook "Beantwoording kennisvragen Deltacommissie" p. 17.

Centrale onderzoeksvragen m.b.t. veiligheid:

- Draagt plaatophoging bij tot een verhoging van de (lange termijn) veiligheid van het gebied? Met als onderliggende vragen:
 - Indien ja: wat is de meest effectieve manier van megasuppleren met als doel het ophogen van het plaatareaal in de Waddenzee?
 - Waar moet gesuppleerd worden (in de Waddenzee, getij-inlaat, op de eilanden)?
 - Wanneer moet worden begonnen met suppleren om verdrinking tegen te gaan (m.a.w. bij welke geconstateerde zeespiegelrijzing)?
 - Hoe snel en over welk oppervlak past de zeebodem zich aan na het aanbrengen van een suppletie?
 - Wat zijn de veiligheidseffecten van suppleties op de dijkingen van de Waddeneilanden, en op het vasteland?
 - In hoeverre kan een megasuppletie aan een eilandkop of -staart nog zorgen voor een vermindering van de zandonttrekking in het (bewoonde) centrale Noordzeekust-deel van de eilanden? Met als belangrijke onderliggende vragen:
 - Wat kan geleerd worden van natuurlijke aanzandingen aan eilandkoppen of staarten en hun morfologisch gedrag en de effecten ervan op de veiligheid?
 - In hoeverre kan een megasuppletie nog leiden tot duinvoetaantasting middels geulvorming?
 - In hoeverre wordt erosie van het middendeel van de Noordzeekust van de eilanden tegengegaan (aldaar lagere suppletie-inspanning nodig) en wordt "kromtrekken" van het eiland voorkomen?
 - Wat is het effect op de veiligheid van een mega-suppletie in het front van de Afsluitdijk of de Lauwersmeerdijk?

5.5.3 Monitoren en data-analyse van gedrag van megasuppleties

Om inzicht te krijgen in het morfodynamische gedrag van megasuppleties en de respons van het aanpalende kuststelsel is een goede, procesgeoriënteerde monitoring essentieel. Tevens levert dit waardevolle data om (procesgebaseerde) modellen te valideren en verder te ontwikkelen. Voordat megasuppleties frequent uitgevoerd gaan worden, zou er tenminste eenmaal zo'n uitgebreide meetcampagne

uitgevoerd moeten worden. De volgende aspecten dienen hierbij in de gaten gehouden te worden.

- Niet alleen bodemmetingen, maar ook procesmetingen (golfhoogte, stroomsnelheid, zandconcentraties, e.d.).
- Naast het gesuppleerde gebied, moeten ook de aanpalende gebieden bemeten worden.
- De T0 (beginsituatie, zowel hydodynamisch als morfologisch) moet goed bekend zijn.
- Er moet frequent en over een langere periode (jaren) gemeten worden.
- De verkregen data moet in een permanente, gecentraliseerde database gevat worden en met goed-gevalideerde technieken geanalyseerd worden.
- De ruwe data moet bewaard worden.

5.5.4 Modelleren van gedrag van megasuppleties

Het gedrag van megasuppleties moet op verschillende tijd- en ruimteschalen voorspeld kunnen worden. Omdat de aanwezigheid van een megasuppletie een nog niet bestaande situatie betreft kan het gedrag niet vooraf uit veldmetingen worden afgeleid. Het is daarom nodig om de processen te modelleren, hetzij numeriek, hetzij in een fysisch model (laboratorium).

Grootschalige en langetermijnprocessen kunnen (vanwege afmetingen en tijdsduur) niet in een laboratorium worden gemodelleerd. Hiervoor is de doorontwikkeling van lange-termijn numerieke morfodynamische modellen als Delft3D nodig.

Kleinschalige en korte-termijnprocessen (bijv. duinerosie) kunnen in principe wel onderzocht worden in een laboratoriumfaciliteit, mits de schaal niet te klein wordt. De Deltagoot is een bij uitstek geschikte faciliteit voor kustdwarse processen. Daarnaast kunnen deze processen (gevalideerd met veld- en laboratoriummetingen) ook numeriek gemodelleerd worden, met bijvoorbeeld pakketten als Delft3D-surfbeat of Xbeach, waarmee stormerosie processen en lange golven gesimuleerd kunnen worden.

- Welke fysica ontbreekt in procesgebaseerde modellen om de vragen goed te kunnen beantwoorden? Hoe kunnen we die toevoegen?
- Wat is de beste modelleerstrategie?
 - Bijv. simpele modellen met gedetailleerde aandrijving of geheel procesgebaseerde modellen met geschematiseerde aandrijving?
 - deterministische vs. probabilistische modellering.
- Hoe kan de interactie tussen ruimtelijke en tijdschalen in een continue formulering worden gevat?
- Welke schalen zijn relevant en welke tonen de grootste interactie?
- Moeten modellen gekoppeld worden of moet een groot "super" model gemaakt worden?

5.6 Onderzoeksvragen voor ecologie

Zonder een locatiespecifieke MER, of Passende Beoordeling voor de ecologische effecten van megasuppleties uit te voeren zijn er derhalve twee onderzoeksrichtingen te onderscheiden:

- 1 Het beschrijven van de meest optimale variant voor een megasuppletie zodanig dat maximale natuurontwikkeling wordt bereikt. Hoe kun je zoveel mogelijk waardevolle natuur creëren?
- 2 Vaststellen van de kantelpunten voor 'wezenlijke aantasting' van instandhoudingsdoelstellingen van de SBZ's die beïnvloed worden, met inachtneming van cumulatieve effecten van andere activiteiten. Bij welke hoeveelheden, voor welke uitvoeringswijzen en met welke herhalingsfrequentie treden er significante negatieve effecten op en worden de Natura2000 doelen niet meer bereikt?

De beantwoording van deze vragen vindt plaats door het onderzoeken van verschillende suppletie varianten met hoeveelheden tussen 6 en $84 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ per jaar en aangelegd onder- of bovenwater voor de drie deelgebieden. Onderstaande geeft een eerste aanzet van de dilemma's die uit deze opgaven voortkomen.

5.6.1 Ecologisch dilemma van megasuppleties

Op hoofdlijnen is onderscheid te maken tussen de kustgebieden uit de habitatrictlijn die onder en boven water liggen. Het onderwater habitat zijn de 'Permanent met zeeewater van geringe diepte overstromde zandbanken' H1110, en het boven water habitat zijn de stranden en duinen welke meer specifiek bestaan uit:

- H1140 Slik- en zandplaten
- H1310 Eenjarige pioniersvegetaties van slik- en zandgebieden met *Salicornia* spp. en andere zoutminnende soorten
- H1320 Schorren met slijkgrasvegetatie (*Spartinion maritimae*)
- H1330 Atlantische schorren (*Glauco Puccinellietalia maritimae*)
- H2110 Embryonale wandelende duinen
- H2120 Wandelende duinen op de strandwal met *Ammophila arenaria* ("witte duinen")
- H2190 Vochtige duinvalleien

Daarnaast is onderscheid te maken tussen twee typen vogels van de Vogelrichtlijn, te weten soorten die vooral aan zee zijn gebonden en soorten die vooral aan de kust gebieden zijn. Zeegebonden soorten zijn soorten die in Nederland vooral op zee foerageren en rusten. Kustgebonden soorten zijn soorten die in Nederland vooral op of aan de kust foerageren en rusten. Deze indeling is enigszins kunstmatig, maar megasuppleties kunnen een effect hebben op de 'mariene natuur', de zeebodem en het zeeleven en op de 'terrestrische natuur', de intergetijdegebieden, stranden en duinen. Beide vogelsoorten worden hierdoor op verschillende wijze beïnvloed.

Vooral aan zee gebonden vogels:	Vooral aan de kust gebonden vogels:
A001 Roodkeelduiker - (n)	A034 Lepelaar - n
A002 Parelduiker - n	A043 Grauwe Gans - n
A005 Fuut - n	A048 Bergeend - n
A007 Kuifduiker - n	A050 Smient - n
A017 Aalscholver - n	A051 Krakeend - n
A062 Topper - n	A052 Wintertaling - n

A063 Eider - n	A054 Pijlstaart - n
A065 Zwarte zee-eend – n	A056 Slobeend – n
A067 Briksduiker - n	A069 Middelste Zaagbek - n
	A130 Scholekster – n
	A132 Kluut – n
	A137 Bontbekplevier – b, n
	A138 Strandplevier – b
	A141 Zilverplevier - n
	A143 Kanoet - n
	A144 Drieteenstrandloper – n
	A149 Bonte strandloper - n
	A157 Rosse grutto – n
	A160 Wulp – n
	A162 Tureluur - n
	A169 Steenloper – n
	A177 Dwergmeeuw – n
	A191 Grote Stern – n
	A193 Visdief – n
	A195 Dwergster - b

NB. broedvogel (b), niet broedvogel (n)

Kansen voor versterking van de natuurwaarden van de Nederlandse kust worden gezien in het verbreden van stranden en duinen en het stimuleren van processen voor vorming van pionierduinen, groene stranden, primaire duinvaleien en sluffers. Het aanbrengen van megasuppleties is een uitvoeringswijze die deze processen op gang kan brengen.

Megasuppleties die worden uitgevoerd in de kustzee zullen positieve en negatieve gevolgen kunnen hebben voor de aanwezige natuurwaarden. In algemene termen gesproken is het dilemma dat er voornamelijk een voordeel is voor de 'terrestrische natuurwaarden', terwijl er voornamelijk een nadeel is voor de 'mariene natuurwaarden'. Vertaald naar twee kenmerkende termen is er sprake van een gang 'van duikers naar duinen'. 'Duikers' staat hierbij voor de soortgroepen duikers en zee-eenden, de vogelsoorten die vooral aan zee zijn gebonden. 'Duinen' staat hierbij voor natuurtypen als groene stranden, sluffers en primaire duinen.

5.6.2 Verschillende suppletievormen, verschillende effecten

- 1 Een megasuppletie kan geheel onderwater worden uitgevoerd, waarna morfologische processen een kustwaarts transport van zand zullen bewerkstelligen, leidend tot verbreding van het strand en opstuiwen van primaire duinen door eolisch transport.
- 2 Een megasuppletie kan ook zodanig worden uitgevoerd dat zand in zee wordt aangebracht leidend tot een bovenwater uitkomende vorm. Deze vorm kan los dan wel vast van het strand worden aangebracht. Op het bovenwater gedeelte kan primaire duinvorming optreden, of wanneer het lager en luwer gelegen is, ook groene strandvorming. De gehele vorm zal zich in de loop van tientallen jaren verplaatsen en veranderen als gevolg van hydrodynamisch en eolisch transport van zand.
- 3 Een laatste uitvoeringswijze is het aanbrengen van een megasuppletie op het strand, bv. het aanbrengen van een nieuwe duinregel met een strand ervoor.

Ad 1. Een megasuppletie die onder water wordt uitgevoerd zal de kwaliteit van H1110, permanent onderwater gelegen zandbanken, aantasten. De kwantiteit blijft in stand, immers, het aangebrachte sediment bevindt zich onder de laagwaterlijn. Echter, als gevolg van morfologische processen zal een aanpassing van de bathymetrie het gevolg zijn. Dit zal leiden tot uitbreiding van het strand. Strikt genomen zal hierdoor het areaal H1110 afnemen. Een tweede mogelijk gevolg van morfologische aanpassing is dat brekerbanken kunnen ontstaan die bij laagwater droogvallen. Deze horen dan per definitie tijdelijk niet tot het areaal H1110, totdat ze weer onderwater zijn verdwenen.

De kwaliteit van H1110 wordt, zoalsboven gesteld, aangetast. Dit kan (tijdelijke) gevolgen hebben voor de habitats van benthische soorten en vissen. Bijvoorbeeld het voorkomen van schelpdierbanken, waarvan Zwarte Zee-eenden afhankelijk zijn, kan hierdoor beïnvloed worden. Ook kunnen er effecten optreden op visetende vogels als de Roodkeelduiker, bijvoorbeeld via hun dieet, maar ook door verstoring.

Aan de strandzijde zal een verbreding optreden. Hier zullen waardevolle habitattypen kunnen ontstaan, zoals groene stranden en embryonale duinen. Anderzijds kunnen effecten op bestaande duingebieden als gevolg van een verminderde saltspray, of een wijziging in de grondwaterstand optreden. Met het ontstaan van bredere stranden en uitbreiding van duingebieden worden mogelijk kansen gecreëerd voor vogelsoorten die voornamelijk aan de kust zijn gebonden, zoals bijvoorbeeld de grondbroeders Bontbekplevier, Strandplevier en Dwergster. Bredere (maar ook rustige!) stranden geven tevens rustmogelijkheden voor andere 'kustvogels'.

Ad 2. Een megasuppletie die boven water uitsteekt zal een deel van het habitat H1110 bedekken en leiden tot een kwantitatieve areaalafname. Als gevolg van morfologische aanpassing zal een dergelijke suppletie zich verplaatsen en voor een deel eroderen tot onder de laagwaterlijn. Hierbij komt H1110 (deels) terug, op een termijn van 5 tot 15 jaar, mits niet een nieuwe megasuppletie wordt uitgevoerd. Effecten van habitatverandering en verstoring van soorten speelt hierbij eenzelfde rol als bovenstaand.

Ad 3. Strandsuppleties worden uitgevoerd op het strand (voornamelijk, maar niet uitgesloten tot, boven de laagwaterlijn). Zij hebben direct effect op H1140, droogvallende zandplaten, en op soorten die op het strand leven, zoals de Gemshoornworm en de hierop foeragerende Drieteenstrandloper. De onderwater mariene natuur, evenals de 'zeevogels', hebben van strandsuppleties weer minder te lijden.

5.6.3 Ecologisch onderzoeksprogramma

Uit de eerste verkenning naar ecologische gevolgen van megasuppleties op de kustzee (hst 4) volgen een aantal onderzoeksvragen die kennisleemtes moeten aanvullen, zodat de hoofdvragen voor ecologie kunnen worden beantwoord. In dit document wordt de nadruk gelegd op kennisvragen in de kustzee. Vanzelfsprekend zal ook onderzoek moeten worden gedaan naar processen van duinvorming, maar dit is al in andere kaders beschreven.

Voor ieder van de drie deelgebieden Zeeuwse kust, Hollandse kust en Wadden moet via een participatieve aanpak, zoals beschreven in eerste paragrafen van dit hoofdstuk, een optimaal ontwerp gemaakt worden voor zowel een bovenwater als een onderwater variant. Om niet in een subjectieve discussie terecht te komen over 'waardevolle natuur', zal aansluiting gezocht moeten worden bij de Europese richtlijnen die

kaderscheppend zijn: de Vogel- en Habitatrichtlijnen, alsmede de Kaderrichtlijn Water en de Kaderrichtlijn Mariene Strategie.

Kustzee van de Zeeuwse kust, Hollandse kust en Waddenkust

Voor de ecologie van de kustzee is van belang in hoeverre megasuppleties de verspreiding beïnvloeden van stoffen en biota. We sturen aan op een onderzoeksstrategie gericht op te verwachten vragen vanuit toekomstige ingrepen in de kustzee zoals megasuppleties waarbij invloeden van externe autonome trends zoals klimaatverandering en zeespiegelstijging worden meegenomen. Het geheel moet worden ondersteund door monitoring, modellering en waar nodig laboratorium studies zodat het een stevige basis levert voor voorspellend effect-onderzoek in de toekomst. Deze aanpak completeert en organiseert de informatie geleverd door geïsoleerde probleemgerichte studies zoals die tot nu toe vooral worden uitgevoerd. Deze aanpak beoogt ook door een beter begrip van ecosysteemfunctioneren de vraagformulering voor lokale ingrepen langs de kust van een beter onderbouwde basis te voorzien. Een samenhangende en in grote mate hiërarchische fysisch-chemisch-biologische onderzoekspanning op de schaal van de gehele kustzee wordt voorgesteld, dat een raamwerk biedt voor langjarig kust-ecologisch onderzoek.

De bodem

Uit recente studies komt de rol van bentische organismen naar voren als stabilisator of destabilisator van sediment. De sterkte van deze relaties is dusdanig dat wordt verwacht dat morfologie van de zeebodem in enige mate wordt beïnvloed door voorkomen of verdwijnen van bepaalde benthos-soorten. Voor de kustzee zou dit kunnen inhouden dat zandtransport maar ook slibtransport door soorten wordt beïnvloed en dat natuurlijke variaties in dichtheden of soortensamenstelling van bodemdieren, lokale en regionale effecten op het sedimenttransport, doorzicht en eventueel suppleties kan veroorzaken.

Om een goed beeld te krijgen van de bodem en de processen die daar spelen is het van belang om de morfologie, bodemsamenstelling, dichtheid en soortvoorkomen van de benthosleutelsoorten die habitats karakteriseren en die voedselaanbod voor hogere soorten bepalen, te monitoren in tijd en ruimte met voldoende detail om informatie over sturende processen (o.a. interacterende biogeomorfologische relaties) te verzamelen. Wellicht in een aantal geselecteerde proeflocaties van voldoende schaal.

Het water

Monitoren en modelleren van transportprocessen van nutriënten, slib, algen en juveniele stadia van schelpdier en vissoorten met voldoende detail om informatie over sturende processen (o.a. interacties met bodemmorfologie en -samenstelling) te verzamelen. Wellicht in een aantal geselecteerde proeflocaties van voldoende schaal. Belangrijke onderwerpen zijn:

- Koppeling van stofstromen en transport en migratie van (levensstadia van) soorten tussen delen van de kustzee, zoals de Zeeuwse kust, Maasmond, de Hollandse kust en de Wadden.
- Effect van megasuppleties op het stromingspatroon van zoet water welke sterk doorwerkt op het stromingspatroon van de kust. In de Nederlandse kustzone wordt tot 50 km uit de kust de reststroom en de getijdenstroom in dominante mate bepaald door de aanwezigheid van een relatief laag percentage zoet water. De verdeling van het zoete water in de kustzone bepaalt daarom in sterke mate de verspreiding van opgeloste stoffen: nutriënten, biota, zware metalen, organische gifstoffen en slib. Als megasuppleties de kustdwarse verdeling van zoet water

veranderen, heeft dat via veranderde rest- en getijdenstromen direct effect op de verspreiding van stoffen en biota. Dat effect kan, afhankelijk van de vormgeving van de suppletie, van dezelfde grootte zijn als het effect van de uitbreiding van de Maasvlakte, de aanleg van windmolenparken, het winnen van zand etc. (zie ook Bijlage 3).

VHR

De volgende prioritaire onderzoeksvragen van belang zijn voor de soorten en gebieden vallend onder de VHR zijn:

- Een megasuppletie heeft effect op het benthos in de kustzee. De aanwezige benthische soorten zijn echter ook in staat om snel te herstellen van een suppletie. Op basis van het huidige suppletiebeleid wordt uitgegaan van een gemiddelde herstelduur van 2-5 jaar. De **herstelsnelheden en rekolonisatie van bentische gemeenschappen** bij een megasuppletie zijn nog onbekend en hangen samen met de hoeveelheid, locatie en frequentie van de megasuppletie. Monitoring kan hier meer inzicht in bewerkstelligen.
- De kustzee vormt een belangrijke habitat voor beschermde zee-eenden. Deze zijn afhankelijk van de beschikbaarheid van schelpdierbanken (*Spisula*, *Ensis* en *Lutraria*) om op te foerageren. Het is onwaarschijnlijk dat het huidige suppletiebeleid heeft geleid tot het nagenoeg verdwijnen van *Spisula* uit de kustzee, maar het is niet duidelijk of megasuppleties kunnen leiden tot nadelige effecten op *Ensis* en *Lutraria*. De monitoring van de **verspreiding, biomassa en grootteverdeling van schelpdieren in de kustzee** zou hierin meer inzicht kunnen geven. De **ontwikkeling van waarneemmethoden voor het gebiedsdekkend karteren** (bv multibeam of MEDUSA) van schelpdierbanken is aanbevolen.
- De mogelijke effecten van **bedekking of verstikking van schelpdierbanken**, gelegen offshore van een megasuppletie zijn nog onbekend. Monitoring biedt hier uitkomst.
- *Lutraria* is een nieuwe soort voor de kustzee. De volwassen schelpen zijn groot (>10 cm) en niet consumeerbaar door Zwarte Zee-eenden. Onderzoek naar het **dieet van de Zwarte Zee-eend** zal zich moeten richten op de maximale consumptiegrootte, hanteerbaarheid, calorische waarde en andere relevante parameters van *Lutraria*.
- Een grote kennislacune bestaat over de **habitatfactoren van pelagische en demersale vis in de ondiepe kustzee** (met name in de brekerbankenzone). Algemeen bekend is dat de kustzee een kraamkamer voor juveniele vis vormt, maar meer specifieke informatie over de (micro)habitats ontbreekt. Het slibrijke water in de ondiepe kustzone vormt zowel een voordeel voor vissen (lastig te vangen door predatoren) als een nadeel (mogelijke effecten op zuurstofgehalte, beschikbaarheid van toxicanten, effecten op foerageren en ademhaling). Kennis over bijvoorbeeld het belang voor vis van de troggen tussen de brekerbanken ontbreekt. Dit maakt het buitengewoon lastig om uitspraken te doen over de gevolgen en kansen van megasuppleties op voor het ecosysteem belangrijke vissoorten als Haring, Sprot, Schol, Tong en Zandspiering, of op Habitatrichtlijnsoorten als Elft, Fint, Zeeprieken Rivierprik, of op Tarbot, Griet en grondels. Kennis over deze soorten is belangrijk voor zowel de beroepsvisserij (commerciële vissoorten) als voor natuurbescherming. Een gerichte monitoring van vis in de brekerbankenzone is aanbevolen, al dan niet in combinatie met de uitvoering van een suppletie.

- Een belangrijke samenhang bestaat tussen de aanwezigheid van populaties pelagische vissen en de beschikbaarheid als prooi voor sterna's zoals de Grote Stern, Vissdief en Dwergstern. Hierbij foerageert de Dwergstern aan de laagwaterlijn, de Vissdief in iets dieper water en de Grote Stern in water tussen de 3 en 6 m diep. Kennis over het limiterende doorzicht is voor de Grote Stern voorhanden, voor de Vissdief en Dwergstern niet. Aannemelijk is dat niet alleen het doorzicht, maar vooral de beschikbaarheid van vis een belangrijke rol speelt. Onderzoek naar de **beschikbaarheid van vis als prooi voor sterna's**, en de reactie van vissen op suppleties is aanbevolen.
- Enkele beschermde vogelsoorten van de kustzee bevinden zich doorgaans buiten de brekerbankenzone en foerageren op vis. Dit betreft futen en duikers. Effecten op deze soorten via hun dieet zijn nog moeilijk in te schatten. Wel is bekend dat deze soorten gevoelig zijn voor verstoring. Het is aanbevolen om onderzoek uit te voeren naar **verstoring van futen en duikers rond baggerschepen**.
- Zeehonden (Gewone en Grijze) en Bruinvissen zijn algemeen in de kustzee. Zeehonden bevinden zich ook in de brekerbankenzone. Effecten op deze soorten via hun dieet zijn nog moeilijk in te schatten. Wel is bekend dat deze soorten **gevoelig zijn voor verstoring** door bijvoorbeeld baggerschepen. Onderzoek kan door het uitvoeren van geostatistisch onderzoek naar habitatpreferenties van zeehonden aan de hand van de zendergegevens (van IMARES) en omgevingsfactoren. Wanneer een preferente habitatkaart is gegenereerd kan door het maken van een overlay van suppletie-activiteiten bekeken worden of er een afwijking optreedt in de verspreiding van zeehonden. Hieraan kan een geluidsmodel van sleephopperzuigers worden gekoppeld aan de hand van de metingen die bij de aanleg van de Tweede Maasvlakte worden uitgevoerd. Hierdoor wordt een kwantitatief beeld verkregen van de verstoring van suppletie-activiteiten op zeehonden via het onderwatergeluid.
- Het is belangrijk **cumulatieve effecten** van ingrepen in de kustzee op het ecosysteem functioneren te identificeren en te kwantificeren. Er wordt hierbij gedacht aan mogelijke cumulatieve effecten van suppleties in combinatie met andere infrastructurele werken op de Noordzee en kustzone, zoals bijvoorbeeld windmolenparken, de 2^e Maasvlakte, de opening van de Haringvlietsluizen, een eiland op de Noordzee (bv. offshore haveneiland). Ook mogelijke (veranderingen in) gebruiksfuncties van de Noordzee moeten worden beoordeeld, zoals scheepvaart, visserij, recreatie, kustverdediging, landwinning, vervuilende stoffen, etc.

Waddenzee

Voor de Waddenzee is een aantal aanvullende vragen van belang:

- Hoe zullen suppleties langs de Nederlandse kust het slobtransport langs de kust beïnvloeden en hiermee de slobbalans in de Waddenzee?
- Hoe zal de korrelgrootte-samenstelling in de Waddenzee veranderen als gevolg van suppleties?
- Hoe verloopt de micro-schaal morfologische aanpassing van wadplaten? Eerst is een beetje verdrinking noodzakelijk om zand aan te kunnen trekken. Dit leidt tot vervlaking van de plaat, verdwijnen van microstructuren als prielen en homogenisering van de sediment-samenstelling. Vervolgens groeit de plaat, voortdurend achterlopend op de zeespiegelstijging weer aan: hoe ziet de morfologie van zo'n plaat er dan uit? Dit vereist hydromorfologische modellering en voorspelling van zand/slobmengsel op een schaalniveau kleiner dan de platen

en dat is nieuw en moeilijk, maar de Oosterschelde geeft een (semi-) natuurlijke referentie voor plaatverdrinking.

- Welke consequenties heeft verdrinking van wadplaten voor de Natura2000 habitattypen (inclusief kwelders) en (vogel)soorten in de Waddenzee?
 - Als mogelijke oplossingsrichting voor de verdrinking van de platen wordt suppletie van de eilanden, de getij-inlaat of de Waddenzee zelf voorgesteld. Suppletie is waarschijnlijk de meest duurzame methode.
 - Het stimuleren van de groei van schelpdierriffen op de plaatranden is een mogelijke alternatieve maatregel om zodoende plaatranderosie tegen te gaan en sedimentatie op de plaat te bevorderen. Dit concept wordt in de Oosterschelde onderzocht en is misschien exporteerbaar naar de Waddenzee.

5.7 Onderzoeksvragen voor socio-economie

Er ligt een grote voorraad aan bruikbaar zand op de zeebodem dat valt te benutten voor kustuitbreiding¹⁰. Extra zandsuppleties in de vorm van megasuppleties kunnen, geholpen door de beweging van getij en wind, zorgen voor een natuurlijke aangroei van duinen en stranden. Dat levert geleidelijk aan terreinwinst op en meer veiligheid. Maar is dat maatschappelijk rendabel?

Er zijn verschillende aanleidingen om 'dynamisch handhaven van de kustlijn' op te schalen. Diverse actoren willen een proactieve benadering bij het handhaven van de kustveiligheid (Deltacommissie (2008)). Voortschrijdende inzichten in de kustlijn zorg vragen om een verhoging van het volume aan zandsuppleties om het kustfundament¹¹ te laten meegroeien met de zeespiegelstijging. En er zijn veel wensen tot kustuitbreidingen om extra ruimte te creëren (Stronkhorst, J. & Loffler M., 2008). De belangrijkste actoren en hun belang zijn in Tabel 4 samengevat.

Tabel 4: Belangen bij grootschalige suppleties langs de kust

Actor	Belang
Deltacommissie, Rijk	Proactieve aanpak kustveiligheid, stimuleren economische mogelijkheden en natuurontwikkeling aan de kust
Provincie	Verbeteren ruimtelijke kwaliteit en recreatiemogelijkheden langs de kust
Rijkswaterstaat	Optimalisatie lange termijn kustbeheer
Bedrijfsleven	Thuismarkt voor innovatieve zandwinning en suppleties; Creëren van aantrekkelijke kust voor recreatie, waterfrontontwikkeling
Kennis instellingen	Kennisontwikkeling over 'Bouwen met de Natuur' (morfologie, ecologie, economie.)
Natuurorganisatie	Aangroei van (nieuwe) duinen

5.7.1 Kustverbreding

Een versnelde kustaanwas kan vooral interessant zijn langs de Hollandse kust waar het achterland dicht bevolkt is. De Zeeuwse kust leent zich minder vanwege de lagere ruimtedrukken omdat getijdegeulen dicht langs de eilanden lopen en kustuitbreiding dus gepaard gaat met sterke erosie. In het Waddengebied zijn de natuurwaarden meer gebaat bij een natuurlijke morfologische dynamiek.

Geleidelijke aangroei door mega-suppleties

Geleidelijke aangroei door de maximale benutting van de natuurlijke kustaanwas kan door een overmaat aan zand aan te brengen in de ondiepe kustzone, dat vervolgens door golf- en getijdebeweging en windactie naar de duinen en stranden wordt verplaatst. Deze overmaat is nu geschat op ca. 225 m³/m/jaar (van Vessèem e.a. 2007). Natuurlijke processen in de kustzone zijn waarschijnlijk niet in staat om meer zand te herverdelen. Langs de Hollandse kust komt dit neer op ongeveer 14 miljoen kuub zand per jaar extra. De getallen zijn slechts een indicatie en moeten nog verder uitgezocht worden. Het geeft wel aan dat het om grote hoeveelheden zand gaat dat bovenop op de reguliere hoeveelheid komt. Dit kan als megasuppleties op strategische plekken aangebracht worden.

¹⁰ Zandwinning vindt plaats buiten het kustfundament, voorbij de -20 m NAP lijn. In de zone tussen de -20 m NAP en 12 mijlslijn is een zandvoorraad aanwezig van 66 miljard m³ zand bij winning tot 10 meter diepte.

¹¹ De zone tussen de binnenduinrand en de -20m NAP dieptelijn op zee.

In een eerste economische verkenning (Zijlstra e.a., 2007) zijn de kosten en baten van dergelijke extra suppleties in beeld gebracht. Daarbij is uitgegaan van een schaalvoordeel bij het suppleren wat zich uit een lage prijs per kuub gesuppleerd zand, namelijk €2,- / m³.

Areaalwinst

De kustlijn (overgang land en water) kan zich sneller zeewaarts verplaatsen dan de duinen. Hoe snel de duinen zich zeewaarts kunnen verleggen is niet precies bekend. Mogelijk zal de zeewaartse verplaatsing van de duinenrij in de orde van 1 m/j bedragen. Dit tempo bepaalt de groei van het areaal 'achter de duinenrij'. Indien de kustlijn zich sneller zeewaarts verlegt dan de duinen dan zullen aan de zeezijde van de duinen nieuwe jonge duinen ontstaan en neemt de breedte van het strand toe. Megasuppleties van 14 miljoen kuub zand per jaar leveren in 50 jaar tijd naar schatting 1900 ha extra duin en strand op. De kustlijn schuift dan naar het westen op met gemiddeld 4 meter per jaar. De ontstaande ruimte is te benutten voor recreatie, natuur en landschap. Wanneer na enige tijd het duinareaal aan zeezijde voldoende is toegenomen kan de beschermde duinzone (Natura2000 gebied) en de reserveringszone achter de waterkering (vastgelegd in de legger van de waterschappen) zeewaarts opschuiven. Zo ontstaat een kleine maar waardevolle strook ruimte aan landzijde van de duinen, die gebruikt kan worden voor woningbouw, land- en tuinbouw, natuur en recreatie. Op basis van een (aangenomen) maximale zeewaartse verplaatsing van 1 meter per jaar, zou deze strook ongeveer 525 hectare bedragen (Zijlstra e.a., 2007).

Kosten en baten

De prijs van de grond die ontstaat met extra suppleties van 14 miljoen kuub zand per jaar komt uit op €75/m². Dit komt overeen met de geschatte kostprijs van nieuw land volgens een plan van Royal Haskoning en Van Oord voor het aanleggen van een brede kuststrook (plan voor 3 km brede kuststrook tussen Den Helder en Hoek van Holland; grondprijs van €80/m²) en van de zandmotor Delfland (een pilotproject in voorbereiding voor een megasuppletie in 2010 van 20 miljoen m³ voor de kust bij Delfland die, naast extra kustveiligheid ook zo'n 75 hectare aan strand en duin oplevert tegen een investering van ongeveer M€ 55; grondprijs van €75/m²).

De baten van extra areaalwinst zijn, voor de hele Hollandse kuststrook over een periode van een halve eeuw, geschat op M€ 103 (contante waarde tegen discontovoet van 2,5%). Deze baten zitten voor de helft in de invulling van de strook achter de duinen met andere functies. Indien deze strook het landgebruik overneemt van het huidige gebied direct achter de duinenrij. Eéndertig van de baten is toe te rekenen aan een betere bescherming van buitendijkse delen van kustplaatsen tegen overstroming. Omdat het land achter de duinen nu al goed beschermd is tegen overstroming, levert de kustaanwas weinig extra veiligheidsbaten voor het achterland. De overige baten zitten in milieueffecten van duinnatuur, betere bescherming van het achterland en de uitbreiding van mogelijkheden tot toekomstige drinkwaterfiltering in de duinen.

De veiligheidsbaten zijn dus beperkt omdat de overstromingskans langs de zandige Nederlandse kust zeer gering is; extra kustverbreding levert daarom niet veel meer 'vermede schade' op.

De uitkomsten van de verkenning zijn samengevat in Tabel 5; het toont aan dat over een periode van een halve eeuw de kosten niet opwegen tegen de baten. Er zijn politieke en lange termijn overwegingen om het verschil te overbruggen.

Tabel 5: Fysieke aspecten van een zeewaartse strategie met extra zandsuppleties langs de Hollandse kust ten opzichte van de huidige strategie en de netto contante waarde (NCW) van het verschil tussen beide strategieën over een periode van 50 jaar (naar Zijlstra e.a., 2007).

	Huidige strategie ¹	Zeewaartse strategie ¹	Verskil in NCW ²
<i>Kosten</i>			
Zandsuppleties	11,1 miljoen m ³ /j	25,4 miljoen m ³ /j	759 M€
<i>Baten</i>			
Veiligheid tegen overstromen achterland	kans 1:100.000	kans 1:500.000	3 M€
Veiligheid buitendijkse delen kustplaatsen	kans 1:250	kans 1:400	33 M€
Milieueffecten extra duinnatuur	5 ha	1379 ha	9 M€
Gebruikfuncties in strookachter de duinen	0 ha	525 ha	56 M€
Gevoels- en imago effecten			+?
Saldo			-656 M€ +?

¹Er is uitgegaan zeespiegelstijging van 60 cm/eeuw (Min. V&W, 2001).

²Er is een risicovrije reële discontovoet van 2.5% toegepast (Min. Financiën, 2007). Prijspeil 2007. +? Staat voor onbekend positieve bijdrage door bijvoorbeeld imago-effect

Een strategie van geleidelijke aangroei kan rekenen op bestuurlijk draagvlakken is makkelijker implementeren en bij te sturen. Bovendien zijn de lasten draagbaar en eenvoudiger te financieren dan een eenmalige uitvoering van een grote kustuitbreiding. Dit past wel in de historische rol van Rijkswaterstaat, namelijk de geregelde en belangenloze bestiering van de fysieke existentie dezes landes, zoals inspecteur-generaal van de Waterstaat Jan Blanken 200 jaar geleden zei. Het creëren van een klimaatbestendig kust kan op de kortere termijn winst opleveren aan het natuuremaal (duinen) langs de kust.

5.7.2 Strandrecreatie

Met zandsuppleties wordt de intrinsieke waarde van de Nederlandse kust beschermd; het is goed voor de kustveiligheid, de natuurwaarde van de duinen en voor de strandrecreatie. Recreatie is een belangrijke economische sector voor de kustprovincies. Een voldoende breed, schoon en veilig strand en duingebied zijn dan ook belangrijke eisen. De jaarlijkse zandsuppleties sinds 1990 hebben voor een geleidelijke aangroei van de duinen gezorgd. De strandbreedte vertoont weinig verandering (Deltares, unpublished results JARKUS)

Wanneer een megasuppletie zo wordt aangelegd dat er extra strand ontstaat vormt het een recreatieve trekpleister. Zo kan de megasuppletie bij Delfland in principe de aantrekkelijkheid van de Zuid Hollandse kust vergroten; dat vergt dan wel het juiste ontwerp en ook een voldoende goede ontsluiting van de kust ter plaatse.

Een strand moet ook veilig zijn. Niet allen het water maar ook het zand kan risico's voor de recreant met zich meebrengen (WHO 2002), zowel wanneer er gesuppleerd wordt als wanneer het er eenmaal ligt (zie intermezzo).

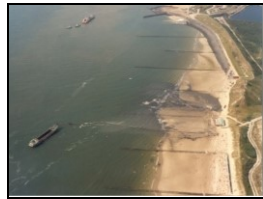
Zandsuppleties worden uitgevoerd buiten het toeristenseizoen om hinder te voorkomen. De vraag is echter of het zand zodanig is neergelegd dat het ook veilig is (steil talud, drijfzand). Zeker bij het opschalen van de suppletievolumes is het van belang om hier aandacht voor te hebben.

Intermezzo. Strandincidenten zomer 2007

De zandsuppletie bij Hoek van Holland in het voorjaar van 2007 veroorzaakte later die zomer problemen; bij het badstrand ontstond een diepe geul met loszand. De extra golfslag en risico op wegglijden in het water was aanleiding om een zwemverbod in te stellen; de veiligheid van de badgasten kon door RWS en de strandwacht niet langer worden gegarandeerd (PCZ 13-7-2007). Mogelijke oorzaken zijn de grote hoeveelheid, de zandsamenstelling en de ligging van de suppletie. Om het probleem op te lossen werden de aangebrachte zandsuppleties door RWS weer in zee teruggeschoven.

In het voorjaar 2007 is bij het Scheveningen Zuiderstrand het badstrand verbreed met een strandsuppletie. Ter hoogte van de strandpaviljoens zijn hier extra verhoogde zandtaluds aangebracht om voldoende terrasomvang en kustbescherming te creëren. Later die zomer was er een noodlottig ongeval op het aangebrachte zandtalud; een kind stikte toen een door haar zelf gegraven gat instortte (AD 13-07-2007). Het is niet de eerste keer dat er mensen omkomen in zelfgegraven kuilen. Volgens een medicus in Atlanta, VS zijn "kuilen gevaarlijker dan haaien" (PZC 22-6-2007).

Op het strand bij Zoutelande, Zeeland ontstonden er in de zomer van 2007 vloedgolven door een combinatie van de onderwaterzandsuppletie en passerende schepen in de nabijgelegen vaargeul. Hierdoor werd een meisje dat aan de vloedlijn speelde plotseling in zee gespoeld en kon ternauwernood aan de verdrinking ontsnappen (PZC 13-6-2007). Computersimulaties hebben uitgewezen dat de vloedgolf kon ontstaan doordat aan landzijde 2,5 miljoen kuub zand op de wand van de vaargeul is gestort, waarbij de helling is verflauwd en de diepgang vermindert. Wanneer een schip dicht bij de geulwand passeert, en sneller vaart dan 12 knopen, ontstaan voor en achter hoge golven. Die raken en versterken elkaar, met als gevolg een vloedgolf. Rijkswaterstaat heeft het gevaar inmiddels bezworen door de boeien 50 meter verder in zee te leggen en de scheepsbegeleiding over de situatie is geïnformeerd.

**5.7.3 Economische afwegingen bij kustbeheer**

Het vergroten van de suppletiehoeveelheden vergt een opschaling in de uitvoering. Het klappen van zand op de vooroever bij ca. -8m NAP is de goedkoopste manier van suppleren, daarna volgt rainbowen en persen. De kosten van brandstof nemen steeds verder toe en maken nu ca. 18% (jumbo hopperzuigers) tot 30% (kleine baggerschepen) van de totale kosten uit.

Verwacht wordt dat een opschaling van 12 naar 20-25 Mm³/j langs de Nederlandse kust een thuismarkt creëert voor de jumbo hopperzuigers die nu vooral ingezet worden bij grote projecten in Azië. Dit, evenals het op de markt zetten van langjarige contracten (PPS), levert kostenbesparing op.

De kosten en baten dienen op een lange tijdschaal beschouwd te worden, dat wil zeggen over een langere periode dan de 50 jaar in de gangbare kosten-baten analyses

Immers, het gaat om een afweging tussen de kosten die nu gemaakt worden en de lange termijn baten van het onderhoud aan het Nederlands kustfundament en het 'afkopen' van onzekerheden in zeespiegelstijging worden.

De voordelen van een megasuppletie volgens het principe van building with nature heeft eveneens een belangrijk financieel motief (kosten effectief) dat nog onvoldoende geaccepteerd is. De pilot studie bij Delfland (Zandmotor) biedt hiervoor een goede leerschool. Bovendien moet er duidelijkheid ontstaan over de benutting van het extra areaal dat ontstaat. Wordt dit beschouwd als extra sluitlaag tegen kusterosie of krijgt het een permanent karakter en verschuift de BasisKust Lijn (BKL) zeewaarts op, zodat het gewonnen natuur- en recreatieterrein onderhouden wordt.

Een voorbeeld

Een badplaats als Zandvoort zou graag extra strandsuppleties hebben maar kan de kosten niet dragen. Het gaat om relatief weinig zand dat nodig is voor strandverbreding. De hoeveelheid kan opgenomen kan worden in het reguliere programma van kustlijn zorg van Rijkswaterstaat. De gemeente moet dan wel de meerkosten betalen van de strandsuppletie t.o.v. een (goedkopere) vooroever-suppletie. Als alternatief zou een megasuppletie het zand voorbij de -20 m NAP lijn in de brandingszone kunnen aanbrengen. Zo'n grote zandvoorraad op een strategische plek zou gebruikt moeten kunnen worden door (kleinere) aannemers die in opdracht van gemeenten de gewenste strandsuppleties uitvoeren.

5.7.4 Socio-economisch onderzoeksprogramma

Op welke wijze kan een grootschalige suppletie optimaal bijdragen aan sociaal economische ontwikkeling van de kust? En aan welke aspecten moet je hierbij dan denken? Voorbeelden van sub-vragen die daarbij aan de orde komen zijn:

- Welke vorm en welke fasering moet een kustverbreding hebben om sociaal economisch rendement op te leveren?
- Welke vorm en fasering moet een megasuppletie hebben om een optimaal recreatiestrand te creëren?
- Welke vorm en fasering moet een megasuppletie hebben om het kustonderhoud economisch te optimaliseren?

Bij socio-economische aspecten denk je vooral aan:

- Wat zijn de economische ontwikkelingsmogelijkheden?
- Hoe verandert de beleving van het landschap, van de natuur en hoe wordt de rust ervaren? Wat is dus de invloed op de belevingswaarde?
- En wat verandert er voor de recreatie? Worden de mogelijkheden wellicht uitgebreid of komen er andere mogelijkheden? Wat is dus de invloed op de gebruikswaarde?

Sociaal-economische aspecten van kustverbreding

- Identiteit van de kust: Is het maatschappelijk acceptabel om de 'traditionele' Hollandse kust een ander gezicht te geven? In welke mate accepteren huidige bewoners van de kustzone grootschalige veranderingen in het landschap? Welke economische en cultuur-historische waarden gaan bij kustverbreding verloren en welke waarden komen er voor in de plaats?
- Economische onderbouwing: Welke economische instrumenten kunnen zinvol worden ingezet bij het bepalen van het nut en de noodzaak van kustverbreding en gebiedsontwikkelingen aan de kust? Hoe kunnen KBA bij kustontwikkelingen ook de lange termijn effecten in beschouwing nemen?

-
- Inspelen op dynamisch karakter: Het eenmaal gewonnen areaal is een dynamisch gebied dat lagere veiligheidsniveaus kent dan binnendijks. Hoe kan een 'tijdelijke' inrichting/gebruik vorm gegeven worden?
 - Benut Pilot Delfland om de kosten en baten van megasuppleties in kaart te brengen. Analyseer case studies op succes en faal factoren van kustontwikkelingen in Europa.
 - Hoe kan de investeringsbereidheid voor kustuitbreiding worden benut?

Recreatie

- Welke (potentiële) risico's voor recreanten van grootschalige zandsuppleties kunnen optreden? Welke omstandigheden bij (strand-)suppleties hebben in het verleden tot (bijna) ongevallen geleid? Had dit ook kunnen gebeuren met natuurlijk aanwezig strandzand?
- Welke technische maatregelen dienen genomen te worden om de veiligheid van onder- en bovenwaterzandsuppleties voor badstrandrecreatie te vergroten? Bestaat er noodzaak dat de overheid strandgasten informeert over de risico's van gesuppleerd zand?

Economische optimalisatie bij kustbeheer

- Wat is een transparante strategie voor kustbeheer die ruimte biedt voor het meekoppelen van economische ontwikkelingen of die recht doet aan de ecologische waarden in de kustzone?
- Wat zijn de economische voordelen van opschaling van zandsuppleties (groter materieel, diepere zandwinning...)? Welke tijd-en ruimteschaal is hierbij het meest geschikt vanuit financieel oogpunt (ook in relatie tot contractvormen)?
- Is proactief kustbeheer kosten-effectief?
- Welke uitdagingen liggen er voor de Nederlandse baggeraars/aannemerij om in te spelen op de megasuppletie benadering en wat zijn de kosten en baten van deze ontwikkeling?
- Onderzoeksmogelijkheden van kostenbesparing door vanuit RWS grootschalige en langjarige contractvormen op de markt te zetten.

6 Literatuur

- Adviescommissie voor de Zuid-Hollandse Kust, 2006. Kustboekje. Groeien naar kwaliteit - Advies aan Gedeputeerde Dwarshuis. Provincie Zuid-Holland.
- Arts F.A. & Berrevoets C.M. 2006. Midwintertelling van zee-eenden in de Waddenzee en de Nederlandse kustwateren, januari 2006. Rapport RIKZ/6006.006, 21 p.
- Baptist, M.J. & M.F. Leopold (2007). De relatie tussen zichtdiepte en vangstsucces van de Grote Sterns van De Petten, Texel. Wageningen IMARES Rapport 097/07.
- Baptist H.J.M. & Wolf P.A. 1993. Atlas van de vogels van het Nederlands Continentaal Plat. Rapport DGW-93.013, Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, Middelburg, 168p.
- Baptist, M.J. & M.F. Leopold (2007). De relatie tussen zichtdiepte en vangstsucces van de Grote Sterns van De Petten, Texel. Wageningen IMARES Rapport 097/07.
- Bijlsma R.G., Hustings F. & Camphuysen C.J. 2001. Avifauna van Nederland II - Algemene en schaarse vogels van Nederland. GMB Uitgeverij/KNNV, Haarlem/Utrecht.
- Briere, C. and Walstra. D.J.R., 2006. Modelling of bar dynamics. WL | Delft Hydraulics report Z4099
- Brown A.C., A. McLachlan, 1990. Ecology of sandy shores. Amsterdam, Elsevier, 328p.
- Bruens, A., A. Cohen, L. van Rijn, P-K. Thonnon, J. Mulder, M.J. Baptist & S. Aaminkhof, 2007. Globaal Voorontwerp Zandmotor. Delft, WL | Delft Hydraulics, Wageningen IMARES & VBKO. Rapport Z4459, 78 p.
- Camphuysen C.J. & Derks P.J.T. 1989. Voorkomen en sterfte van de Fuut *Podiceps cristatus* voor de Nederlandse kust 1974-86. *Limosa* 62: 57-62.
- Camphuysen C.J. & Leopold M.F. 1994. Atlas of seabirds in the southern North Sea. IBN Research report 94/6, NIOZ Report 1994-8, Institute for Forestry and Nature Research, Netherlands Institute for Sea Research and Dutch Seabird Group, Texel.
- Camphuysen C.J., Berrevoets C.M., Cremers H.J.W.M., Dekinga A., Dekker R., Ens B.J., van der Have T.M., Kats R.K.H., Kuiken T. & Leopold M.F. 2002. Mass mortality of common eiders (*Somateria mollissima*) in the Dutch Wadden Sea, winter 1999/2000: starvation in a commercially exploited wetland of international importance. *Biological Conservation* 106(3): 303-317.
- Camphuysen C.J. 2004. Buitengewone aantallen bruinvissen, duikers, futen, zeekoeten en foeragerende (kleine) meeuwen voor de hollandse kust, december 2004. *Nieuwsbrief Nederlandse Zeevogelgroep* 6(1): 6-7.
- Camphuysen C.J. 2006. Bruinvissen langs de Noord-Hollandse kust. *Tussen Duin & Dijk* 5(1): 4-8.

Craeymeersch, J.A. & J. Perdon, 2005. De Otterschelp *Lutraria* in Nederlandse wateren. *Het Zeepaard*, 65(5): 144-150.

Craeymeersch J.A., 1999. Uitwerking graadmeter 'stapelvoedsel': *Spisula subtruncata* in de Nederlandse kustzone (1993:1997) RIVO rapport C061/99.

Dalfsen van J.A. & Duijts O. 1995. Risk analysis of coastal nourishment techniques (RIACON). The effects on benthic fauna of shoreface-nourishment off the island of Terschelling, The Netherlands. Report 4: Post-Nourishment survey, April 1994. Report RIKZ/OS-95.610x, 35p.

Dalfsen van J.A. & Essink K. 1997. RIACON - Risk Analysis of Coastal Nourishment Techniques, National Evaluation Report (The Netherlands). Report RIKZ-97.022, 98 p.

Dalfsen van J.A. van & Oosterbaan J. 1996. Risk analysis of coastal nourishment techniques (RIACON). The effects on benthic fauna of shoreface-nourishment off the island of Terschelling, The Netherlands. Report 6: Post-Nourishment survey, April 1995. Report RIKZ/OS-96.605x. 34p.

Dalfsen van, J.A., 2007. Inventarisatie brandingszone. Wageningen IMARES rapport C138/07, concept.

De Lange M., van der Vliet R. & van Dijk J. 2005. Spectaculaire aantallen roodkeelduikers, drieteenmeeuwen, zeekoeten, alken en bruinvissen voor de Hollandse kust van december 2004 tot januari 2005. *Nieuwsbrief Nederlandse Zeevogelgroep* 6(3): 5-7.

Deltacommissie, 2008. Samen werken met water.

Derks P. & de Kraker K. 2005. De ontwikkeling van de kolonie grote sterns in het Grevelingenmeer in vergelijking met de rest van Nederland, België en aangrenzend Noord-Frankrijk. *Nieuwsbrief Nederlandse Zeevogelgroep* 6(3): 2-5.

Ens B.J., Borgsteede F.H.M., Camphuysen C.J., Dorrestein G.M., Kats R.K.H. & Leopold M.F. 2002. Eidereendensterfte in de winter 2001/2002. *Alterra Rapport* 521, 113p.

Essink K. 1997. RIACON - Risk Analysis of Coastal Nourishment Techniques, Final Evaluation Report. Report RIKZ-97.031, 41p.

Garthe S., Camphuysen C.J. & Furness R.W. 1996. Amounts of discards by commercial fisheries and their significance as food for seabirds in the North Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 136: 1-11.

Goudswaard, P.C., J.J. Kesteloo, K.J. Perdon & M. Jansen, 2008. Mesheften (*Ensis directus*), halfgeknotte strandschelpen (*Spisula subtruncata*), kokkels (*Cerastoderma edule*) en otterschelpen (*Lutraria lutraria*) in de Nederlandse kustwateren in 2008. IMARES rapport C069/08, 27 p.

Grift R.E., Tulp I., Clarke L., Damm U., McLay A., Reeves S., Vigneau J. & Weber W. 2004. Assessment of the ecological effects of the Plaice Box. Report of the European Commission Expert Working Group to evaluate the Shetland and Plaice Boxes. Brussel, 121p.

Ham van der, N.F. 1987. Zomerkeed Parelduikers *Gavia arctica* voor de Noordhollandse kust. *Sula* 1: 47-48.

Integraal beheersplan Noordzee 2015

Janssen G.M. & Mulder S. 2004. De ecologie van de zandige kust van Nederland. Inventarisatie van het macrobenthos van strand en brandingszone. Rapport Rijkswaterstaat, RWS RIKZ / 2004.033: 103p.

Janssen G.M. 2008. Strand is meer dan zand. Inauguratie rede Gerard Janssen. Universiteit van Amsterdam

Lavaleye, M.S.S., 1999. Infaunal Trophic Index (ITI) van het macrobenthos en structuur macrobenthosgemeenschap (verhouding r- en K-strategen). GONZ rapport, NIOZ, 40p.

Leopold M.F., Maas F.-J. & Hin H. 1986. Elfsteden winter 1986: slachting onder de wadvogels met name de Toppereend. *Skor* 5(3): 70-78, 5(4): 90-96.

Leopold M.F. 1993. *Spisula*'s, zee-eenden en kokkelvisser: een nieuw milieuprobleem op de Noordzee. *Sula* 7(1): 24-28.

Leopold M.F. 2002a. Nulmeting vogels en benthos in de Texelse vooroever (KUSTADV*NH). Alterra-Texel, unpubl. Report.

Leopold M.F. 2002b. T-1 meting benthos en vissen in de Texelse vooroever (KUSTADV*NH), september 2002. Alterra-Texel, unpubl. Report.

Leopold M.F. & Wolf P. 2003. Zee-eenden eten ook *Ensis*. Nieuwsbrief Nederlandse Zeevogelgroep 4(3): 5.

Leopold, M.F., M.R. van Stralen & J. de Vlas, 2008. Zee-eenden en schelpdiervisserij in de Voordelta. IMARES rapport C008/08.

Leopold M.F., 1996. *Spisula subtruncata* als voedselbron voor zee-eenden in Nederland. BEON rapport 96-2.

Leopold, M.F., M.R. van Stralen & J. de Vlas, 2008. Zee-eenden en schelpdiervisserij in de Voordelta. IMARES rapport C008/08.

Min. Financiën, 2007. Actualisatie discontovoet. Brief aan Tweede Kamer 5 maart 2007.

Min. V&W, 2001. Derde kustnota. Den Haag

Mulder S. 2004. Ecologische effecten van een onderwatersuppletie. Monitoring in het kader van toetsing aan de Vogel- en Habitatrichtlijn. Werkdocument RIKZ/OS/2004.602w.

Nederbragt, G. 2005. Zandvoorraden van het kustsysteem. Onderbouwing van een conceptueel model met behulp van trends van de winst- en verliesposten over de periode 1973-1997. Rapport/RIKZ/2005.033. Rijkswaterstaat-RIKZ, Den Haag.

Rijn van, L.C., 2007a. Unified view of sediment transport by currents and waves Part I. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE VOL 133, No 6 (2007).

Rijn van, L.C., 2007b. Unified view of sediment transport by currents and waves Part II. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE VOL 133, No 6 (2007).

Roomen van M., van Winden E., Hustings F., Koffijberg K., Kleefstra R., SOVON Ganzen & zwanenwerkgroep & Soldaat L. 2005. Watervogels in Nederland in 2003/2004. SOVON-monitoringrapport 2005/03, RIZA-rapport BM05.15, SOVON Vogelonderzoek Nederland, Beek-Ubbergen.

Shepard, J.J. & L. Stojkov, 2007. The logistic population model with slowly varying carrying capacity. ANZIAM J. 47 (EMAC2005), pp. C492-C506.

Skov H., Durinck J., Leopold M.F. & Tasker M.L. 1995. Important bird areas in the North Sea, including the Channel and the Kattegat. BirdLife International, Cambridge, 156p.

Sonntag, R.P., H. Benke, A.R. Hiby, R. Lick & D. Adelung, 1999. Identification of the first harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) calving ground in the North Sea. Journal of Sea Research, 41(3): 225-232.

Stronkhorst, J. & Loffler M., 2008. Kust Klimaat Kansen. Inventarisatie van 170 ideeën en plannen voor de Nederlandse kust. Deltares, Delft.

Valk van der, B., 2004. Otterschelpen op de Hollandse kust: een succesvolle kolonisatie in 2002? Zeepaard 64:107-109.

Vessem van P., J. Mulder en R. Spanhoff, 2007. Voorspelling kustlijn en areaalwinst door uitvoering suppletie van circa 60 Mm³. Memo Rijkswaterstaat-RIKZ Den Haag.

Walstra, D.J.R, Cohen, A.B., Aarninkhof, S. and Koningsveld, M., 2006. Onderwater suppleties – Ontwerprichtlijnen. WL | Delft Hydraulics report Z4099

Waterforum online dd 28-8-2008: Van Oord en Royal Haskoning lanceren plan voor aanleg brede kuststrook

WHO (2002), Children's health and environment: A review of evidence, Environmental issue report No 29, pg 137.

Wolf P.A. & Meininger P.L. 2004. Zeeën van zee-eenden bij de Brouwersdam. Nieuwsbrief Nederlandse Zeevogelgroep 5(2): 1-2.

Zijlstra, R., A. Smale, E. Evenhuis & J. Gauderis, 2007. Economische analyse Kustlijnbeleid. Rebelgroup en Witteveen+Bos in opdracht van V&W.

A Vooroeversuppleties in Nederland t/m 2005

Tabel 6. Kenmerken van vooroeversuppleties in Nederland tot en met 2005

Locatie	RijksStrandPaal	Periode (maand/jaar)	Mm ³	Type	Diepte (m NAP)	Opp (ha)	Dikte (m)
Cadzand-west 1990	RSP 13.3-14.3	okt-nov 1990	0.32	Vooroever (incl. strand)	tot ca. -8	84	0.4
Cadzand-west 1988	RSP 13.3-14.3	1988	0.85	Vooroever (incl. strand)	tot ca. -8	87	1.0
Tienhonderdpolder	RSP 10.4-11.1	nov-dec 1990				19	
Groede	RSP 5.3-6.02	sep-nov 1989	0.44	Vooroever (incl. strand)	tot ca. -8	53	0.8
Viissingen 1952	RSP 34-34.4	apr-nov 1952	0.05	Vooroever	-2 tot -3	9	0.6
Viissingen 1966	RSP 34-34.4	jan-mrt 1966	0.032	Vooroever	-2 tot -5	10	0.3
Walcheren, Zuidwest		jan-dec 2005	1.5	Onderwater			
Kop van Schouwen	RSP 13.2-15.6	apr-jun 1987	1.83	Vooroever (incl. strand)	tot -10	182	1.0
Kop van Schouwen	RSP 13.2-15.6	1991	2.67	Vooroever (incl. strand)	tot -10		
Maasvlakte 2000	RSP 6.41-10.54	aug-okt 2000	1.1	Onderwater	-4 tot -8	148	0.7
Maasvlakte 2001	RSP 6-10.02	nov 2001-jan 2002	1	Onderwater		148	0.7
Ter Heijde	RSP 113.15-114.85	aug-nov 1997	1.03	Onderwater	-5 tot -8	169	0.6
Monster	RSP 108-113	jan-dec 2005	1	Onderwater		213	0.5
Kijkduin - Ter Heijde	RSP 107.4-112.5	mrt-nov 2001	3.58	Onderwater		166	2.2
Scheveningen	RSP 97.73-100.5	feb-jun 1999	1.43	Onderwater	-5 tot -8	91	1.6
Wassenaar	RSP 91-97	feb-dec 2002	3	Onderwater		200	1.5
Katwijk	RSP 87.5-89.5	sep 1996-feb 1999	0.75	Onderwater	-5 tot -7	128	0.6
Noordwijk	RSP 80.5-83.5	jan-apr 1998	1.27	Onderwater	-5 tot -7	210	0.6
Noordwijkerhout	RSP 73-80	apr-dec 2002	3	Onderwater		222	1.4
Zandvoort-zuid	RSP 65.75-67.75	okt-dec 2004	0.9	Onderwater		198	0.5
Zandvoort-noord	RSP 62.75-65.75	nov 2004 - jan 2005		Onderwater		152	
Egmond	RSP 96.9-99.1	jun-sep 1999	0.88	Onderwater	-5 tot -8	65	1.4
Egmond	RSP 96.2-40.2	jun-nov 2004	1.6	Onderwater		231	0.7
Bergen aan Zee	RSP 32.25-34.25	apr-aug 2000	1	Onderwater	-5 tot -7	80	1.3
Bergen aan Zee	RSP 31.5-35	jan-dec 2005	1.5	Onderwater		170	0.9
Camperduin	RSP 26.5-30	jun-okt 2002	2	Onderwater		96	2.1
Groote Keeten - Zwanenwater	RSP 10-16	feb-mei 2003	2.57	Onderwater		300	0.9
Callantsog	RSP 11.08-14.01	jun-okt 2001	1.5	Onderwater	-3 tot -6	91	1.6
Groote Keeten	RSP 9.13-9.43	aug 2003	0.012	Onderwater			
Texel-Molengat	RSP 9-11.48	feb-aug 2003	1.2	Geulwandsuppletie	-3 tot -6	61	2.0
Texel-midden	RSP 14-17.5	jan-dec 2005	2.6	Onderwater		110	2.4
Texel-De Koog	RSP 17-23	mrt-nov 2002	5.4	Onderwater	-6 tot -9	340	1.6
Texel-De Sluffer	RSP 25.1-27.9	jun-sep 2004	2.4	Onderwater		154	1.6
Vieland-midden	RSP 46.2-48.5	apr-aug 2001	1	Onderwater	-5 tot -6	155	0.6
Vieland-oost	RSP 48.8-50	jan-dec 2005	1	Onderwater		30	3.3
Terschelling-midden	RSP 13.7-18.1	apr-nov 1993	2	Onderwater	-5 tot -7	213	0.9
Ameland-west 2003	RSP 9.4-13.7	jul-nov 2003	1.43	Onderwater	ondieper dan -5	232	0.6
Ameland-oost 1998	RSP 13-21	apr-sep 1998	2.5	Onderwater	-5 tot -7	369	0.7

B Instandhoudingsdoelen voor de kustzee

Voor de Noordzeekustzone en Voordelta, en voor andere SBZ's, zijn de volgende algemene instandhoudingsdoelen geformuleerd:

- Behoud van de bijdrage van het Natura 2000 gebied aan de biologische diversiteit en aan de gunstige staat van instandhouding van natuurlijke habitatsen soorten binnen de Europese Unie.
- Behoud van de bijdrage van het Natura 2000 gebied aan de ecologische samenhang van het Natura 2000 netwerk zowel binnen Nederland als binnen de Europese Unie.
- Behoud en waar nodig herstel van de ruimtelijke samenhang met de omgeving ten behoeve van de duurzame instandhouding van de in Nederland voorkomende natuurlijke habitatsen soorten.
- Behoud en waar nodig herstel van de natuurlijke kenmerken en van de samenhang van de ecologische structuur en functies van het gehele gebied voor alle habitattypen en soorten waarvoor instandhoudingsdoelen zijn geformuleerd.
- Behoud of herstel van gebiedsspecifieke ecologische vereisten voor de duurzame instandhouding van de habitattypen en soorten waarvoor instandhoudingsdoelen zijn geformuleerd.

B.1 Noordzeekustzone

De speciale beschermingszone (SBZ) Noordzeekustzone zal, op basis van het ontwerp aanwijzingsbesluit, aangewezen worden voor de volgende habitattypen:

- H1110 Permanent met zeewater van geringe diepte overstroomde zandbanken
- H1140 Slik- en zandplaten
- H1310 Eenjarige pioniersvegetaties van slik- en zandgebieden met *Salicornia* spp. en andere zoutminnende soorten
- H1330 Atlantische schorren (*Glauco Puccinellietalia maritimae*)
- H2110 Embryonale wandelende duinen
- H2120 Wandelende duinen op de strandwal met *Ammophila arenaria* ("witte duinen")
- H2190 Vochtige duinvalleien

De SBZ Noordzeekustzone zal, op basis van het ontwerp aanwijzingsbesluit, aangewezen worden voor de volgende Habitat- en Vogelrichtlijnsoorten:

- H1095 Zeeprk
- H1099 Rivierprk
- H1103 Fint
- H1351 Bruinvis
- H1364 Grijze zeehond
- H1365 Gewone zeehond

- A001 Roodkeelduiker - niet broedvogel (n)
- A002 Parelduiker - n
- A017 Aalscholver - n
- A048 Bergeend - n
- A062 Topper - n
- A063 Eider - n
- A065 Zwarte zee-eend - n

A130 Scholekster – n
 A132 Kluut – n
 A137 Bontbekplevier – b, n (zowel broedvogel (b) als niet broedvogel (n))
 A138 Strandplevier – b
 A141 Zilverplevier - n
 A143 Kanoet - n
 A144 Drieteenstrandloper –n
 A149 Bonte strandloper - n
 A157 Rosse grutto – n
 A160 Wulp – n
 A169 Steenloper – n
 A177 Dwergmeeuw - n
 A195 Dwergster - b

Uit deze lijst zijn de eerder aangewezen soorten A021 Roerdomp, A034 Lepelaar, A081 Bruine kiekendief, A082 Blauwe kiekendief, A119 Porseleinhoen, A132 Kluut - b, A176 Zwartkopmeeuw, A183 Kleine mantelmeeuw, A193 Visdief, A222 Velduil en A338 Grauwe klauwier verwijderd.

Specifiek voor dit gebied zijn de volgende kernopgaven geformuleerd:

- Overstroomde zandbanken: Behoud zee-ecosysteem met permanent overstroomde zandbanken (Noordzee-kustzone) H1110_B, als habitat voor Zwarte zee-eend A065, Roodkeelduiker A001, Topper A062 en Eider A063, met bodems van verschillende ouderdom en meer natuurlijke opbouw van vispopulaties.
- Zeezoogdieren: Verbetering kwaliteit leefgebied zeezoogdieren.
- Rust- en foeragegebieden: Behoud slikken en platen voor rustende en foeragerende niet-broedvogels zoals voor Bonte strandloper A149, Rosse grutto A157, Scholekster A130, Kanoet A143, Steenloper A169 en Eider A063 en rustgebieden voor Gewone zeehond H1365 en Grijze zeehond H1364.
- Voortplantingshabitat: Behoud ongestoorde rustplaatsen en optimaal voortplantingshabitat (waaronder embryonale duinen H2110) voor Bontbekplevier A137, Strandplevier A138, Kluut A132, Grote ster A191 en Dwergster A195, Visdief A193 en Grijze zeehond H1364.

Genoemde kernopgaven worden in de aanwijzingsbesluiten per habitattypen en per soort nader gepreciseerd.

B.2 Voordelta

De speciale beschermingszone (SBZ) Voordelta is, op basis van het aanwijzingsbesluit, aangewezen voor de volgende habitattypen:

H1110 Permanent met zeewater van geringe diepte overstroomde zandbanken
 H1140 Bij eb droogvallende slikwadden en zandplaten
 H1310 Eenjarige pioniersvegetaties van slik- en zandgebieden met *Salicornia* spp. en andere zoutminnende planten
 H1320 Schorren met slijkgrasvegetatie (*Spartinion maritimae*)
 H1330 Atlantische schorren (*Glauco Puccinellietalia maritimae*)
 H2110 Embryonale wandelende duinen

De SBZ Voordelta is, op basis van het aanwijzingsbesluit, aangewezen voor de volgende Habitatrictijnsorten:

H1095 Zeeprk *Petromyzon marinus*

H1099 Rivierprik *Lampetra fluviatilis*
H1102 Elft *Alosa alosa*
H1103 Fint *Alosa fallax*
H1364 Grijze zeehond *Halichoerus grypus*
H1365 Gewone zeehond *Phoca vitulina*

Het gebied is aangewezen voor de volgende soorten opgenomen in bijlage I van de Vogelrichtlijn: Roodkeelduiker (A001), Kuifduiker (A007), Lepelaar (A034), Kluut (A132), Rosse grutto (A157), Dwergmeeuw (A177), Grote stern (A191) en Visdief (A193).
Andere trekkende vogelsoorten waarvoor het gebied van betekenis is als voedselgebied, overwinteringsgebied en/of rustplaats (artikel 4.2): Fuut (A005), Aalscholver (A017), Grauwe gans (A043), Bergeend (A048), Smient (A050), Krakeend (A051), Wintertaling (A052), Pijlstaart (A054), Slobeend (A056), Toppereend (A062), Eideereend (A063), Zwarte zee-eend (A065), Brilduiker (A067), Middelste zaagbek (A069), Scholekster (A130), Bontbekplevier (A137), Zilverplevier (A141), Drieteenstrandloper (A144), Bonte strandloper (A149), Wulp (A160), Tureluur (A162) en Steenloper (A169).

C Vogelsoorten in de kust zone

Onderstaande tekst is grotendeels integraal overgenomen uit Leopold & Baptist (2007).

C.1 Zee-eenden

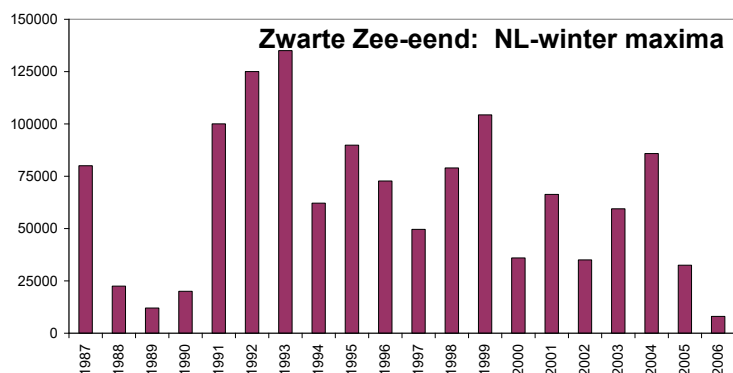
Zwarte Zee-eend en Grote Zee-eend

De zwarte Zee-eend is de meest karakteristieke eendensoort van de Nederlandse Kustzee. Zwarte Zee-eenden komen van oudsher voor in dit gebied, in wisselende, maar vaak in zeer grote aantallen (reconstructie in Leopold et al. 1995). Grote Zee-eenden zijn aanzienlijk schaarser. Voor hen is Nederland een marginaal overwinteringsgebied maar jaarlijks trekken wel aanzienlijke aantallen door van en naar verder zuidwestelijk gelegen overwinteringsgebieden. Afhankelijk van de lokale voedselsituatie blijven wisselende aantallen korte of langere tijd "hangen" in Nederland, waarbij ze zich dan vrijwel altijd aansluiten bij ter plaatse verblijvende groepen Zwarte Zee-eenden. Hier zijn ze meestal moeilijk te tellen tussen de veel grotere aantallen Zwarte Zee-eenden, en vanwege hun vaak relatief kortstondig verblijf worden ze gemakkelijk over het hoofd gezien. Er is dan ook geen goede reeks tellingen van Grote Zee-eenden in Nederland beschikbaar.

Op basis van tellingen die jaarlijks worden uitgevoerd van de Zwarte Zee-eenden zijn vier perioden te onderscheiden: van 1987-90 waren de aantallen meestal laag; van 1991-93 kwamen record-aantallen in Nederland voor, gevolgd door lagere aantallen in 1994-99 en nog lagere aantallen in 2000-06, waarbij de laatste jaren een sterke daling in de waargenomen aantallen laten zien (Figuur 21). De eenden zaten op wisselende plaatsen, al naar gelang het voorkomen van *Spisula subtruncata*.

In 1987 zat de hoofdmacht tussen Zandvoort en Noordwijk. Van 1991-93 zaten de eenden eerst ten noorden van Schiermonnikoog, maar ze schoven geleidelijk op naar Ameland en Terschelling. Hier werd het *Spisula* bestand in februari 1993 intensief bevestigd, met als gevolg dat de eenden vertrokken en neerstreken voor de kust van Noord-Holland, ter hoogte van Camperduin. In de jaren daarop vlogen de eenden heen en weer tussen Ameland/Terschelling en Noord-Holland, maar nu werden beide gebieden bevestigd. In de winters van 1996 en 1997 kregen de eenden te maken met zware ijsgang boven de wadden en met massa-sterfte van *Spisula* boven de Waddeneilanden. De eenden weken daarop opnieuw uit naar Noord-Holland (Leopold et al. 1998). In 1999 bevond zich de rijkste bank van profijtelijke, meerjarige *Spisula* zich bij zuidwest Texel. Ook deze bank werd (zeer) intensief bevestigd, in mei 1999, en herstelde zich nadien niet meer. De eenden concentreerden zich vervolgens in de kustzones van Terschelling en Ameland, vanouds hun voorkeursgebied. Hier komt nog steeds *Spisula* voor in enige aantallen, al is het nog slechts een fractie van wat het was in de jaren 90. Elders is de *Spisula* inmiddels zo goed als verdwenen en is zijn plaats ingenomen door *Ensis americanus*. De eenden hebben geleerd ook deze soort als voedselbron te benutten (Leopold & Wolf 2003; Wolf & Meininger 2004; Leopold et al. ms), maar zijn inmiddels wel sterk in aantal afgenomen, wat suggereert dat deze voedselbron inferieur is in vergelijking met *Spisula*, ondanks de zeer hoge biomassa's die thans in de Kustzee voorkomen.

Waarschijnlijk is de hanteerbaarheid van *Ensis* een probleem voor de zee-eend: de schelpen worden waarschijnlijk per stuk per duik al een degen ingeslikt, terwijl van de *Spisula* meerdere stuks per duik kan worden gegeten.



Figuur 21: Winter maxima van aantallen Zwarte zee-eend in de Nederlandse kustwateren

Eidereend

Eidereenden "horen" traditioneel thuis in de Waddenzee maar moesten dit gebied in de jaren 90 van de vorige eeuw massaal verlaten vanwege voedselgebrek aldaar. Vele tienduizenden Eidereenden namen de wijk naar de aanpalende Noordzeekustzone, waar hun aantallen soms tot 100.000 opliepen. Ook deze eenden sloten zich hier aan bij de residerende Zwarte Zee-eenden, op rijke *Spisula* banken maar de Eiders vertoonden in deze situatie, in tegenstelling tot de Zwarte Zee-eenden een hoge mortaliteit (Leopold 1993; Leopold et al. 2001; Camphuysen et al. 2002; Enset al. 2002).

Toppereend

Toppereenden zijn in hun voorkomen in de Kustzee beperkt tot een vaste groep van enkele duizenden vogels in de monding van het Haringvliet en groepjes doortrekkers op wisselende plaatsen langs de kust (Baptist & Wolf 1993; Camphuysen & Leopold 1994; Arts & Berrevoets 2006). Toppers "horen", evenals Eiders thuis in de Waddenzee en zelfs nog verder landinwaarts, in het IJsselmeer (Van Roomen et al. 2005). In de Noordzee worden alleen relatief hoge aantallen gezien in zeer strenge winters, wanneer IJsselmeer en Waddenzee dichtvriezen (Arts & Berrevoets 2006). Toppers lijken niet goed aangepast aan het leven in de Kustzee. Alleen in de beschutting van de Haringvlietmond komt de soort regelmatig voor. Het is niet goed bekend wat ze hier eten; zowel *Spisula* als kokkels als enkele kleinere bivalven (en tegenwoordig ook *Ensis*) kunnen hier voorkomen maar onderzoek naar het daadwerkelijke dieet van Toppers in de Voordelta is niet gedaan. Elders langs de kust komt de soort onregelmatig voor. Een van de schaarse waarnemingen van grote aantallen op zee was in de winter van 1986 toen mogelijk tienduizenden vogels de bevroren Waddenzee trachten te ontvluchten en uitweken naar de Kustzee bij Texel. Bij die gelegenheid kwamen duizenden Toppers om het leven (Leopold et al. 1986).

C.2 Viseters; overwinterende zeevogels

Roodkeelduiker *Gavia stellata*

Roodkeelduikers zijn in Nederland in hun voorkomen strikt beperkt tot de Kustzee (Skov et al. 1995). Op open zee komen ze nauwelijks voor maar ook verder

landwinwaarts, in de Waddenzee, de Zeeuwse stromen, IJsselmeer of Kleinere zoete wateren zijn ze uitermate schaars. De Roodkeelduiker kan daarom al een kensoort voor de kustzee gezien worden en is goed aangepast aan het troebele water dat hier voorkomt. Toch is de soort geen voedspecialist: maagonderzoek aan meer dan 175 dood gevonden Roodkeelduikers heeft laten zien dat een grote variëteit aan vissoorten en –groottes wordt gegeten (Leopold in prep.). Het seizoenspatroon van de Roodkeelduiker laat zien dat de hoogste aantallen worden geregistreerd van december tot januari.

Parelduiker Gavia arctica

Parelduikers hebben een stabiel wintervoorkomen van november tot februari, maar daarenboven een opvallende doortrekkie in maart/april. In het voorjaar valt de soort extra goed op omdat de vogels dan in zomerkleed zijn (Van der Ham 1987); in de winter zullen veel Parelduikers ongedetermineerd blijven en een trendanalyse is dan ook niet erg zinnig.

Fuut Podiceps cristatus

De Fuut is in Nederland op zee een echte wintergast, die zich van alle zeevogels het meest direct ophoudt in de suppletiezone, namelijk vrijwel alleen in de eerste 1500 meter vanaf het strand, met hoge aantallen direct achter de branding. Het seizoenspatroon laat zien dat er gemiddeld tamelijk stabiele hoge aantallen zijn tussen december en februari. Echter, de soort is erg vorstgevoelig en tijdens strenge vorst kunnen enkele tienduizenden extra Futen het gebied binnenstromen, als in het binnenland het zoete water beviest (Camphuysen & Derks 1989).

Geoorde Fuut Podiceps nigricollis en Kuifduiker Podiceps auritus

Zowel de Geoorde Fuut als de Kuifduiker zijn eigenlijk geen soorten die in belangrijke aantallen op de Noordzee voorkomen: het zijn eerder soorten van de Zeeuwse stromen en de Waddenzee in Nederland (Bijlsma et al. 2001). Daarnaast zijn deze twee kleine futen vaak moeilijk van elkaar te onderscheiden, en om deze redenen worden ze hier gezamenlijk besproken. De twee soorten hebben een min of meer stabiel voorkomen van oktober tot maart, gevolgd door een opvallende voorjaarspiek van doortrekkende Kuifduikers in april. In de periode 1993 tot 2006 laten de Scheveningse data geen trend zien; wel zijn de aantallen in deze periode duidelijk lager dan in de periode rond 1980, maar het beeld is sterk eratisch.

Trends

De trend die bij Roodkeelduikers en in mindere mate bij de Fuut werd geconstateerd, namelijk een plotselinge, zeer sterke toename in de winters 2004/2005 en 2005/2006, al dan niet voorafgegaan door een langer lopende toename, is ook geconstateerd voor een aantal andere viseters voor de Nederlandse kust. Dit geldt voor: Aalscholvers, Drieteenmeeuwen, Zeekoeten, Alken, Bruinvissen, en Gewone en Grijze Zeehonden (Camphuysen 2004; 2006; de Lange et al. 2005). De hoge aantallen, echter, hebben zich in de winters van 2006/2007 en 2007/2008 niet voortgezet.

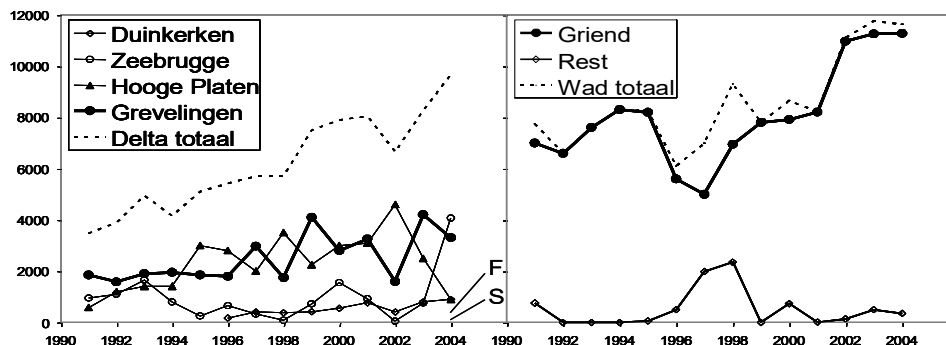
C.3 Viseters; broedvogels

Aalscholver Phalacrocorax carbo

Aalscholverschijn vanouds zomergasten in Nederland die in de winter wegtrokken naar wateren gelegen van NW Frankrijk tot aan de Middellandse Zee. Deze soort heeft echter zowel als broedvogel als als overwinteraar een opvallende ontwikkeling doorgemaakt. Tegenwoordig zijn Aalscholverschijn vrij talrijke wintergasten. Naast een vestiging als wintergast, heeft de Aalscholver zich gevestigd als broedvogel langs de Nederlandse Noordzeekust, en de soort heeft zich hierbij rap over de hele lengte van de kust verspreid. Inmiddels broeden circa 5000 paar in kolonies, verspreid langs de kust en is ook de presentie in de Kustzee in de zomer sterk toegenomen. Aalscholverschijn zijn ware alleskunnere waar het gaat om het vangen en eten van vis: vissen mogen groot of klein zijn, plat of rond en mag bodemvis of pelagische vis zijn (Leopold & Slot in prep.). De sterke toename van de Aalscholver in de Nederlandse kustzee lijkt daarmee niet samen te hangen met de toename van een of andere specifieke vissoort.

Grote Stern Sterna sandvicensis

Ook de Grote Stern is vooral zomergast in Nederland. Grote Sternstrekken echter nog steeds allemaal weg in het najaar en deze soort verschilt verder van de Aalscholver omdat hij (in Nederland) een voedselspecialist is, die vooral haring, sprat en zandspiering eet, die dicht bij het wateroppervlak gevangen wordt. Ook Grote Sterns hebben recent hun aantal kolonies uitgebreid in Nederland, met nieuwe vestigingen op de Slijkplaat (Haringvliet), de Flauwers Inlaag (Schouwen), de zuidpunt van Texel en de Boschplaat (Terschelling) met daarbij af en toe nog vestigingen op Ameland, Schiermonnikoog en Rottumerplaat (Derks & de Kraker 2005). In Noord-Nederland gaat het de soort goed (stijgende aantallen broedvogels sinds 1997 met een bredere verspreiding); in de Delta staan diverse kolonies onder druk door lokale ongunstige ontwikkelingen ter plaatse (verruiging, predatie, verstoring) maar doet de soort het in zijn geheel ook goed (Figuur 22, overgenomen uit Derks & de Kraker 2005).



Figuur 22: Het verloop van het aantal broedparen Grote Sterns in het Grevelingenmeer en in de rest van de Delta, en het nabijgelegen Zeebrugge (België) en Duinkerken (Frankrijk) (links). Flauwers Inlaag (F), en Slijkplaat (S) zijn apart aangegeven; nieuw in 2004. Rechts: aantalsverloop in de Nederlandse Waddenzee, ter vergelijking.

D Effecten megasuppleties op Rijnpluim

Gedachten aangaande effecten van megasuppletie op de Hollandse kust op Rijnpluim
door G.J. de Boer

In de Nederlandse kustzone wordt het stromingspatroon tot 50 km uit de kust in dominante mate bepaald door de aanwezigheid van een relatief laag percentage zoet water. Dat heeft echter wel een groot effect op zowel de reststroom als de getijdenstroom. De verdeling van het zoete water in de kustzone bepaalt daarom in sterke mate de verspreiding van opgeloste stoffen: nutriënten, biota, zware metalen, organische gifstoffen en slib. Als megasuppleties de kustwarse verdeling van zoet water veranderen, heeft dat via veranderde rest- en getijdenstromen direct effect op de verspreiding van stoffen en biota. Dat effect kan, afhankelijk van de vormgeving van de suppletie, van dezelfde grootte zijn als het effect van de uitbreiding van de Maasvlakte, de aanleg van windmolenparken, het winnen van zand etc. Alleen van suppleties die in kustwarse richting kleiner zijn dan enkele km of van één enkele 150 km lange, uniforme suppletie van Hoek van Holland tot Den Helder wordt geen effect verwacht. Van suppleties die lokaal meer dan enkele kilometers uit de kust steken worden wel effecten verwacht.

Het zoete water dat uit de Nieuwe Waterweg en het Haringvliet in zee stroomt, verdeelt zich niet uniform over de zuidelijke Noordzee, maar stroomt netto noordwaarts langs de Nederlandse kust, een gering deel gaat zuidwaarts. Louter door de draaiing van de aarde om haar asen de aanwezigheid van het zoete water zelf zou het zoete water al 'rechtsaf' gaan slaan en met enkele cm/s langs de kust gaan Noordwaarts gaan stromen (zuidwaarts op het zuidelijk halfrond). Deze Noordwaartse reststroom wordt versterkt door de dominante zuidwestenwind. Er ontstaat zodoende aan 20 tot 40 km brede kustrivier, die zich langs de kust tot aan het Skagerrak uitstrekt, haar weg volgend met aan haar rechter zijde het vasteland als 'geleidingsrail'. Dit typische reststroom patroon bepaalde in het verleden waar zich stoffen in de bodem ophoopten, terwijl het heden ten dage het stromingspatroon juist gaat bepalen waar de in de bodem ogehoopte stoffen heen gaan als ze resuspenderen.

Het zoete water in de Nederlandse kustzone kent twee verschijningsvormen. Tijdens springtij en harde wind is het water goed gemengd over de diepte, dat wil zeggen dat er alleen saliniteitsverschillen optreden in horizontale richting. Tijdens doodtij, alser geen krachtige wind is en er voldoende rivierafvoer is geweest, is de kustzone gelaagd, dat wil zeggen dat er dominante verticale verschillen in saliniteit optreden. Deze verticale verschillen ontstaan doordat de horizontale verschillen 'omvallen' waarbij zwaar water nabij de bodem kustwaarts afstroomt, terwijl lichter water in de bovenlaag zeewaartswegstroomt.

In de gelaagde situatie verandert het stromingsbeeld drastisch. De reststroom zal zich gaan concentreren in de bovenlaag, waardoor hier de netto noordwaartse snelheden kunnen oplopen tot 10 cm/s. De getijdenstromingen ondergaan een nog grotere verandering. In de normale, goed gemengde situatie zijn de vloedstromen louter noordwaartsgericht, evenwijdig aan de kust, terwijl de ebstromen louter zuidwaarts gericht zijn, eveneens evenwijdig aan de kust. Alleen zeer nabij het strand zijn eb- en vloed kustdwars gericht, om het strand 'op te kunnen vullen' als de hoogwatergolf op zee van zuid naar noord voorbij komt. Er treden geen kustwarse snelheden op anders dan die door de wind. Tijdens gelaagde toestand treden er echter altijd enorme

kustdwarse snelheden op. Van hoog water en laag water kan de bovenlaag met 50 cm/s richting de kust gaan stromen (zo de helft van de snelheid langs de kust). Dit water drukt nabij het strand het daar aanwezige water naar beneden, waardoor het water op diepe van de kust af gaat stromen. Van laag naar hoogwater stroomt de bovenlaag juist van de kust af, en zuigt zodoende water uit de diepte omhoog nabij het strand, waardoor het water op diepte naar de kust toe gaat stromen. Op satelliet beelden is dit proces van opwelling waargenomen al een 100 km lange en 10 km brede band van koel water. Megasuppleties die lokaal meer dan enkele kilometers uitsteken kunnen dit fenomeen verstoren.

De huidige kennis die we hebben van de Nederlandse kustzone is voornamelijk gebaseerd op de laatste degelijke metingen van Nederlandse hand eind jaren 80, en op metingen die buitenlanders (!) in het kader van twee EU projecten hebben uitgevoerd om de jaren 1990-1994. De huidige twee-wekelijkse oppervlakte metingen zijn onvoldoende om ook maar iets zinnigs over de huidige zoutwaterverdeling te kunnen zeggen, om nog maar niet te spreken van de mogelijke gevolgen van megasuppleties. Ook met geavanceerde modellen kan eigenlijk geen harde uitspraak worden gedaan, omdat er niet voldoende gegevens zijn om de dergelijke modellen wat betreft zoetwaterverdeling te kunnen valideren, en dan met name de verdeling over de diepte. Om bij de aanleg van dergelijke belangrijke infrastructurele werken niet gehinderd te worden door het gebreken aan basale data en de daarop gebaseerde inzichten, is het raadzaam vanaf heden uitgebreid te monitoren via de zogeheten *observational method*. Dezelfde aanpak wordt bijvoorbeeld gebruikt voor de aanleg van de Noord-Zuid lijn in Amsterdam, waar men met soortgelijk gebreken aan data en inzicht te maken heeft, maar dat geen beletsel laat vormen voor de aanleg van de metrolijn. Door grondig te meten kan de 'vinger aan de pols' gehouden worden, bestudeerd worden of er effecten optreden, waarom die optreden, en zo ja of die eigenlijk wel kwalijk zijn. Bij het opzetten van dergelijke grondige metingen moet er uiteraard zorg voor worden gedragen dat dit efficiënt gebeurt. Het verdient aanbeveling om de dure inzet van mensen en schepen zoveel mogelijk te beperken, en in plaats daarvan zoveel mogelijk data automatisch te vergaren. Niet alleen is dat goedkoper, levert het meer data en dus betrouwbaardere uitspraken op, ook het verwerken tot uitspraken kan dan geautomatiseerd en dus goedkoper gedaan worden. De goedkoopste en beste manier om de effecten van megasuppleties op de rijn pluim te onderzoeken is dan ook om zoveel mogelijk data te vergaren vanaf bestaande boeien¹², bestaande meetpalen, en reeds varende veerboten en goederenlijndiensten¹³ en bestaande boorplatformen¹⁴. En deze vervolgens in reeds geplande modelleringsstudies te combineren met bestaande 3D modellen en data van reeds operationele satellieten.

¹² Een mogelijkheid is bijvoorbeeld om wave riders, boeien die golven meten *tbv* kustveiligheid, uit te breiden met zoutsensor, thermometer, OBS en spectroscop.

¹³ A la de TESO metingen van NIOZ (Ridderinkhof) en reeds in gebruik zijnde de ferry boxen.

¹⁴ In de VS is er een wet die de eigenaren van (olie)platforms verplicht sensoren op te nemen *tbv* algemeen gebruik, en in de UK is men nu bezig reeds gemeten data van (olie)platformen van oliemaatschappijen los te weken, nu de olievelden leeg raken en de onderlinge concurrentie van de eigenaren taant.

E De zandmotor

In 2005 heeft de Stichting Duinbehoud het plan opgevat om een superduin voor de Delflandse kust te creëren (zie rapport Zand in Zicht). Het superduin vond zijn inspiratie in het Dune du Pilat (het hoogste duin van Europa in Frankrijk) met een hoogte van meer dan 100 meter. Dit duin vormt een attractie van formaat. Het idee is om in de toekomst de reeks zandsuppleties in het kustvak Hoek van Holland - Kijkduin voor een periode van enige tientallen jaren in één keer uit te voeren op één enkele locatie: tussen de Noorderpier en slag Vluchtenburg. Daar ontstaat dan half in zee een superduin van zo'n 40 meter hoog.

Op 1 september 2006 heeft in Noordwijk het symposium "Kansen aan de kust" plaatsgevonden. Hierin werd door DG-Water het principe van een megasuppletie zoals de zandmotor als volgt uitgelegd: "De kust laten groeien en hiermee tevens het kustonderhoud waarborgen, door het toevoegen van (een overmaat aan) zand aan het kuststelsel, en deze hoeveelheid zand vervolgens door natuurlijke processen te laten herverdelen."

In het Kustboekje: Groeien naar kwaliteit - Advies aan Gedeputeerde Dwarshuis heeft de Provincie Zuid-Holland een uitwerking van het superduin gemaakt waarin deze megasuppletie een 'zandmotor' is genoemd. De 'zandmotor' wordt gezien als een 'Grote secundaire zandbron in de vorm van een groot duin van 20 miljoen m³ die middelseen zanddam van vijf a zes meter boven NAP aan de kust is verankerd. Dit geheel doet denken aan een soort spoiler die tijdelijk aan de kust is gehecht' (Adviescommissie voor de Zuid-Hollandse Kust, 2006).

Naar aanleiding van de plannen voor de Zandmotor is in 2007 in opdracht van Rijkswaterstaat een studie verricht door WL|Delft Hydraulics, Wageningen IMARES en de VBKO naar een "Globaal Voorontwerp Zandmotor" (Bruens et al., 2007). In deze studie is voornamelijk gekeken naar morfologische veranderingen en duinontwikkeling. Vanaf 2008 is de Zandmotor onderdeel van de studies van het programma Building with Nature en zullen aspecten van ontwerp, uitvoering en monitoring nader onderzocht worden.