

Zachte kustverdediging in Nederland; scenario's voor 2040

Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011



Wot
Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu werkdOCUMENTEN

M.J. Baptist

Zachte kustverdediging in Nederland; scenario's voor 2040

De reeks 'Werkdocumenten' bevat tussenresultaten van het onderzoek van de uitvoerende instellingen voor de unit Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu (WOT Natuur & Milieu). De reeks is een intern communicatiemedium en wordt niet buiten de context van de WOT Natuur & Milieu verspreid. De inhoud van dit document is vooral bedoeld als referentiemateriaal voor collega-onderzoekers die onderzoek uitvoeren in opdracht van de WOT Natuur & Milieu. Zodra eindresultaten zijn bereikt, worden deze ook buiten deze reeks gepubliceerd.

Dit werkdocument is gemaakt conform het Kwaliteitshandboek van de WOT Natuur & Milieu.

Zachte kustverdediging in Nederland; scenario's voor 2040

Achtergronddocument bij
Natuurverkenning 2011

M.J. Baptist

Werkdocument 260

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu

Wageningen, september 2011

Referaat

Baptist, M.J. (2011). *Zachte kustverdediging in Nederland; scenario's voor 2040. Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011*. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-werkdocument 260. 60 blz.; 13 fig.; 3 tab.; 37 ref.; 2 bijl.

Deze studie bespreekt vier scenario's voor zachte kustverdediging. In het scenario 'Vitale natuur' wordt 12 Mm³/jaar gesuppleerd. Suppleties worden schaars toegepast en kustafslag is toegestaan waar dat kan. In het scenario 'Functionele natuur' wordt 20 Mm³/jaar gesuppleerd. Het kustfundament wordt zo goed mogelijk in evenwicht gehouden met zeespiegelrijzing. In het scenario 'Beleefbare natuur' wordt 85 Mm³/jaar gesuppleerd. De stranden worden aanzienlijk verbreed en megasuppleties bieden ruimte voor toerisme. In het scenario 'Inpasbare natuur' wordt 125 Mm³/jaar gesuppleerd. Gestreefd wordt naar kustuitbreiding met 1 km voor economische activiteiten. Voor ieder van de scenario's is op basis van expert judgement uitgewerkt hoe de natuur van kust en zee in 2040 er uit zou kunnen zien als gevolg van de suppletievolumes aan de kust.

Trefwoorden: Kustverdediging, suppleties, natuur, kust, zee

Foto's omslag (met de klok mee vanaf linksboven):

Hollandse Hoogte/Jakob Helbig; Hollandse Hoogte/Siebe Swart; Hollandse Hoogte/Goos van der Veen; Hollandse Hoogte/Pieter de Vries.

©2011 **IMARES Wageningen UR**

Postbus 68, 1970 AB IJmuiden

Tel: (0317) 48 09 00; fax: (0317) 48 73 26; e-mail: imares@wur.nl

De reeks WOt-werkdocumenten is een uitgave van de unit Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, onderdeel van Wageningen UR. Dit werkdocument is verkrijgbaar bij het secretariaat. **Het document is ook te downloaden via www.wotnatuurenmilieu.wur.nl.**

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, Postbus 47, 6700 AA Wageningen

Tel: (0317) 48 54 71; Fax: (0317) 41 90 00; e-mail: info.wnm@wur.nl; Internet: www.wotnatuurenmilieu.wur.nl

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Woord vooraf

Dit onderzoek naar scenario's voor zachte kustverdediging is uitgevoerd in opdracht van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) in het kader van de Natuurverkenning 2011. Het uitbrengen van een Natuurverkenning is een wettelijke taak, die onder verantwoordelijkheid valt van het PBL en waaraan Wageningen UR via de WOT Natuur en Milieu een belangrijke bijdrage levert.

De Natuurverkenning heeft tot doel een aantal mogelijke toekomstrichtingen voor natuur en landschap in 2040 te schetsen, waarbij ingespeeld wordt op ontwikkelingen die op de samenleving kunnen afkomen. Naast het schetsen van die mogelijke ontwikkelingen geeft de Natuurverkenning ook handelingsperspectieven voor het beleid op korte en middellange termijn.

Om verschillende redenen staat het huidige natuurbeleid onder druk. Een van die redenen is dat ondanks inspanningen de biodiversiteitsdoelen niet gehaald worden. Daarnaast stuit het beleid op weerstand in de uitvoering ervan en is het beleid mogelijk niet bestand tegen ontwikkelingen als klimaatverandering. Ook groeit de aandacht voor het duurzaam gebruik van natuurlijke hulpbronnen en staan de zogenaamde ecosysteemdiensten in de beleidsdossiers. Vanuit de samenleving klinkt het geluid dat het natuurbeleid toe is aan een herijking. Natuurverkenning 2011 wil hierop inspelen en de maatschappelijke discussie rond het huidige natuurbeleid prikkelen en voeden.

Dit onderzoek richt zich op de ontwikkelingsscenario's voor de zachte kustverdediging in het jaar 2040. Het onderzoek laat zien dat zich grote veranderingen in het kuststelsel kunnen voordoen afhankelijk van beleidskeuzen voor zandsuppleties. Om onze kustveiligheid te handhaven, staan we voor de opgave om toenemende hoeveelheden zand te suppleren. Het is echter de vraag hoeveel zand we op welke uitvoeringswijze en op welke locaties willen aanbrengen. Deze studie maakt inzichtelijk welke consequenties deze beleidskeuzen hebben voor de kustnatuur.

Martin Baptist



Inhoud

Woord vooraf	5
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Algemene kenmerken van de Nederlandse kustzone	13
2.1 De Hollandse kust	13
2.2 De Deltakust	13
2.3 De Waddenkust	14
3 Zandwinning	15
4 Harde kustverdediging	17
5 Zachte kustverdediging	19
5.1 Inleiding	19
5.2 Suppletietypen	21
5.2.1 Geulwandsuppleties	21
5.2.2 Strandsuppleties	21
5.2.3 Vooroeversuppleties	22
5.3 Megasuppleties	23
6 Toekomst van onze kustveiligheid	27
7 Scenario's voor suppletievolumes	29
7.1 Introductie	29
7.2 Kenmerken van de vier scenario's	29
7.3 Vooruitblik naar de natuur in 2040	31
7.3.1 Algemeen	31
7.3.2 Scenario 1: Vitale natuur, 12 Mm ³ /jaar	32
7.3.3 Scenario 2: Functionele natuur, 20 Mm ³ /jaar	33
7.3.4 Scenario 3: Beleefbare natuur, 85 Mm ³ /jaar	34
7.3.5 Scenario 4: Inpasbare natuur, 125 Mm ³ /jaar	36
Literatuur	39
Bijlage 1 Mogelijke effecten van vooroever- en megasuppleties op mariene soorten	43
Bijlage 2 Aanbevelingen voor onderzoek	55

Samenvatting

Deze studie behandelt de effecten van zachte kustverdediging op de kustnatuur in Nederland. Verschillende typen suppleties kunnen worden uitgevoerd, te weten de strandsuppletie, de vooroeversuppletie, de geulwandsuppletie en de megasuppletie. Ieder van deze suppletietypen kent andere gevolgen voor de natuur van kust en zee. Vooral de toekomstige jaarlijks aan te brengen volumes hebben mogelijk grote consequenties voor de natuur.

In deze studie zijn vier scenario's voor natuurverkenningen van zachte kustverdediging onderscheiden, ieder gekenmerkt door verschillende doelstellingen en toenemende suppletievolumes. Voor ieder van de scenario's is op basis van expert judgement uitgewerkt hoe de natuur van kust en zee in 2040 er uit zou kunnen zien als gevolg van de suppletievolumes aan de kust.

Scenario Vitale natuur

In het scenario *Vitale natuur* wordt 12 miljoen m³ per jaar aangebracht onder de slogan "voedt waar het moet, afslag waar het mag". In dit scenario worden suppleties alleen toegepast daar waar het noodzakelijk is voor de kustbescherming. Voor de overige delen prevaleren natuurlijke processen. Het huidige tempo van suppleren (= 12 Mm³/jaar) wordt voortgezet. Dit volume is niet afdoende om de Basiskustlijn (BKL) te handhaven tot in 2040. Ook het kustfundament kan in dit scenario niet worden gehandhaafd. In dit scenario wordt op de huidige wijze gesuppleerd, dat wil zeggen met een paar miljoen kuub per suppletielocatie, bij voorkeur in de vorm van vooroeversuppleties op een diepte van ongeveer -5 tot -7 m NAP. De winning van het zand vindt plaats met zo min mogelijke verstoring van het bodemleven doordat in oppervlakkige stroken wordt gewonnen. In 2040 heeft de kust zich als gevolg van dit suppletiebeleid grillig ontwikkeld; hier en daar is duinafslag, zijn sluffers en doorbraken ontstaan en pioniersoorten als parnassia en strandduizendguldenkruid zijn op vele plaatsen terug in de voorheen statische duingebieden. Onder water, tussen de troggen van de brekerbanken, vinden we uitgebreide velden van schelpkokerwormen en een diversiteit aan benthische soorten. De Waddeneilanden kennen wash-overs leidend tot verjonging van de kwelders. Boven de Waddeneilanden komen zee-eenden in grote getale overwinteren omdat er rijke schelpdierbanken liggen voor de kust. De Voordelta is een ecologisch rijk gebied geworden. Er is zeer weinig bodemberoering in het natuurreservaat omdat er nauwelijks wordt gesuppleerd.

Scenario Functionele natuur

In het scenario *Functionele natuur* wordt gemiddeld 20 miljoen m³ per jaar aangebracht onder de slogan "voedt zodat de basis voldoet". In dit scenario wordt zoveel mogelijk gebruikgemaakt van de 'sedimenttransport dienst van de zee'. Om het kustfundament (het zand van de duinen, het strand, en het onderwaterprofiel tot -20 m NAP) te handhaven bij de huidige snelheid van zeespiegelstijging is jaarlijks 20 Mm³ nodig. In dit scenario wordt met 16 Mm³/jaar gesuppleerd op de huidige wijze, en iedere vijf jaar wordt een megasuppletie toegepast. Vooroeversuppleties, strandsuppleties en geulwandsuppleties worden toegepast waar noodzakelijk. Zand wordt gewonnen in diepe winputten met grootschalig reliëf op geschikte locaties voor visproductie. In 2040 is onder water een steiler kustprofiel ontstaan, maar dit heeft nog niet geleid tot merkbare veranderingen aan de bestanden van juveniele vis, en visetende vogels. Door de frequente suppleties in en vlak buiten de brekerbankzone zijn fragiele bodemorganismen weggebleven. De megasuppleties hebben gezorgd voor extra ligplaatsen van zeehonden die tussen de Wadden en de Delta migreren. Door een gericht suppletiebeleid in combinatie met monitoring, zijn de essentiële schelpdierbanken boven de Waddeneilanden behouden. De ecologisch rijkste delen van de Voordelta zijn onaangetast gebleven.

Scenario Beleefbare natuur

In het scenario *Beleefbare natuur* wordt 85 miljoen m³ per jaar aangebracht onder de slogan "voedt op zeespiegelstijging vooruit en breidt de kustbeleving uit". In dit scenario worden brede stranden en dynamische megasuppleties aangelegd voor toerisme. De aanbeveling van de Deltacommissie wordt opgevolgd om jaarlijks 85 Mm³ te suppleren voor de hoogwaterveiligheid, rekening houdend met een maximale zeespiegelstijging, zodat er voldoende zandbuffer, en strandbreedte, in het kuststelsel is opgebouwd. Ieder jaar wordt een megasuppletie van 20 Mm³ aangebracht en worden aanvullend normale suppleties op maat toegepast met een totaal volume van 65 Mm³/jaar. In de Noordzee worden diepe zandwinputten aangelegd waarna kunstriffen en wrakken worden afgezonken voor sportvisserij en sportduiken. In 2040 is het onderwaterprofiel van de Hollandse kust versteild. Dit is ten koste gegaan van het areaal aan kinderkamer voor juveniele vis. Hiermee is niet alleen het aantal visetende vogels achteruitgegaan, maar ook de visbestanden op de Noordzee. Door zandverstuivingen in de eilandstaarten van de Waddeneilanden is verouderde kweldervegetatie bedekt met zand. Aan de eilandkoppen zijn op grote schaal Groene Stranden en primaire duinvalleien ontstaan. In de Delta is veel van het aangebrachte zand afgeslagen en in de Voordelta en op de Vlakte van de Raan terechtgekomen. Hier heeft het de verondieping versterkt zodat er grote droogvallende platen zijn ontstaan. Deze bieden ruimte aan broedvogels, zeehonden en toeristen. Het areaal aan ondiep water is flink uitgebreid en de gehele Voordelta fungeert als kinderkamer voor juveniele vis.

Scenario Inpasbare natuur

In het scenario *Inpasbare natuur* wordt 125 miljoen m³ per jaar aangebracht onder de slogan "voedt een overmaat aan zand en creëer extra land". In dit scenario wordt gekozen voor zeewaartse kustuitbreiding. Dit wordt geleidelijk, maar zeker, gerealiseerd door uit te gaan van een maximale zeespiegelstijging van 12 mm per jaar en het aanbrengen van een overmaat aan zand. Er wordt jaarlijks 125 Mm³ gesuppleerd zodat er over 100 jaar kustuitbreiding van 1 km heeft plaatsgevonden. De natuur past zich wel aan, landaanwinning voor economische functies (recreatie) is het hoofddoel. In dit scenario wordt twee keer per jaar een megasuppletie van 20 Mm³ aangebracht en worden aanvullend normale suppleties op maat toegepast met een totaal volume van 85 Mm³/jaar. In de Noordzee worden megageulen aangelegd om de windopzet bij noordwesterstorm te verminderen. In 2040 ligt een brede reep stuivende jonge duinen met biestaruwegras, zeeraket en helm voor de oude zeereep. De Kerf tussen Bergen en Schoorl is definitief dichtgegroeid en de vegetatie aldaar heeft zich ontwikkeld tot duinstruweel. Aan de binnenduinstrand van de oude zeereep is het grondwaterniveau omhoog gekomen vanwege de verbreding van de kust. De kustuitbouw heeft erin geresulteerd dat het brekerbankensysteem op de meeste plaatsen is veranderd in strand. Vóór het strand is een steil aflopende profiel naar dieper water. De natuur van de Waddeneilanden is droger geworden. Waar voorheen Groen strand was (zoals op Ameland, Schiermonnikoog en Terschelling) is nu stuwend droog zand. Schelpenbanken voor de kust van de Waddeneilanden werden telkens weer bedolven onder nieuwe suppleties. Ook is er een vergroot transport van zand in de kustzone waargenomen vanuit de buitendelta's die aan het verstikken waren. In de Delta zijn de schorren en slikkige platen aan de randen van Voorne en Goeree onder het zand verdwenen. De stranden zijn steil en lopen direct af in de getijgeulen. Op afgelegen stranden zijn ligplaatsen van zeehonden ontstaan. De Voordelta en de Vlakte van de Raan trekken veel visetende vogels die afkomen op de visrijke ondiepe wateren.

In de bijlagen van dit werkdokument wordt ingegaan op een selectie van ecosysteemcomponenten van de kustzone die direct beïnvloed worden door zandsuppleties. Het betreft benthosdiversiteit, grote schelpdieren en vis. Hogere trofische niveaus zoals vogels en zeezoogdieren worden in andere deelrapporten van Natuurverkenningen behandeld. Vervolgens wordt een beschrijving gegeven van effecten van zandsuppleties op mariene soorten en worden aanbevelingen voor onderzoek gedaan.

1 Inleiding

Achtergrond (beleid voor) kustverdediging

In 1990 is door Rijkswaterstaat het beleid 'dynamisch handhaven' van de kust vastgesteld. Dit beleid is erop gericht om met natuurlijke materialen (zand uit de zee) 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 (de Basiskustlijn, BKL) mag niet worden overschreden. Bovendien is sinds 2001 het beleid om ervoor te zorgen dat het zogenoemde 'kustfundament' meestijgt met de zeespiegelstijging. Het kustfundament is een gebied dat begint in zee, vanaf de doorgaande -20 m NAP-lijn en zich uitstrekt tot de binnenduinrand. Het kustfundament omvat alle duingebieden én alle daarop gelegen harde zeeweringen. De landwaartse grens (binnenduinrand) valt bij smalle duinen en dijken samen met de grens van de waterkering uitgebreid met de ruimtereservering voor tweehonderd jaar zeespiegelstijging en omvat daar waar de duinen breder zijn dan de waterkering het gehele duingebied (Figuur 1). In de praktijk valt de begrenzing dan samen met de grenzen van Natuurbeschermingswetgebieden, de Ecologische Hoofdstructuur en de Vogel- en Habitatrichtlijngebieden (Nota Ruimte, 2004).



Figuur 1. Ligging van het Nederlandse kustfundament en van het Nederlandse kustsysteem. De duinen zijn onderdeel van zowel het kustfundament als van het kustsysteem. Uit: De Ronde (2008).

Om het kustfundament op peil te houden kiest het rijk voor een strategie in drie stappen:

1. Behoud van zand en ongehinderd transport van zand langs en dwars op de kust;
2. Zoveel mogelijk zandige maatregelen als ingrepen noodzakelijk zijn;
3. Alleen in uiterste geval kan zand met harde constructies worden vastgelegd.

Binnen het kuststelsel krijgen wind, water en zand dus in principe vrij spel, maar wanneer de kustlijn ergens te zeer wordt aangetast wordt hierop gereageerd met een zandsuppletie. Hierbij wordt zand gewonnen op een zeewaarts gelegen locatie, buiten de doorgetrokken -20 m 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 aan te brengen, komt er nieuw zand beschikbaar voor de opbouw van strand en duinen en worden aanrollende golven gebroken voor ze (veel) schade aan strand en duinvoet kunnen aanrichten.

Doel achtergronddocument

Voor de toekomstige ontwikkeling van de kustzone, tot 2040, is essentieel welke zandvolumes op welke wijze en op welke locaties langs de kust worden aangebracht. Dit is afhankelijk van beleidskeuzen met betrekking tot het meegroeien met de zeespiegelrijzing, het compenseren voor verliezen in het kuststelsel (door afsluitingen, geulonderhoud, gaswinning etc.) en mogelijke andere wensen zoals zeevaartse uitbreiding. In dit achtergronddocument voor de Natuurverkenning worden voor de toekomstige kustverdediging tot 2040 vier scenario's van toenemende suppletievolumes beschreven. Voor ieder van de scenario's is op basis van expert judgement uitgewerkt hoe de natuur van kust en zee in 2040 eruit zou kunnen zien als gevolg van de suppletievolumes aan de kust.

Relatie met Deltaprogramma

Binnen het Deltaprogramma worden maatregelen voorgesteld voor een duurzame veiligheid van de kust en kustuitbreiding. Veiligheid tegen het water is de belangrijkste opdracht, maar het deelprogramma Kust wil veiligheid en ruimtelijke ordening in samenhang aanpakken om de kwaliteit van de kust te versterken. Uitgangspunten bij de kustversterking zijn het handhaven van de kust en het meegroeien van het kustfundament met de stijging van de zeespiegel. Dit gebeurt door zand uit de Noordzee op de kust te spuiten (zandsuppletie) en gebruik te maken van wind en zee om het te verspreiden.

2 Algemene kenmerken van de Nederlandse kustzone

De Nederlandse kustzone kan worden opgedeeld in drie verschillende delen, te weten:

1. De Hollandse kust;
2. De Deltakust;
3. De Waddenkust.

2.1 De Hollandse kust

Over ca. 120 km strekt de 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 zuidwestelijke richting en de reststroom van de getijdenbeweging. Er is geen (natuurlijke) aanvoer vanuit het zuiden door de barrièrewerking van de Eurogeul. Het getransporteerde zand bezinkt in deze geul. Stormen veroorzaken zeewaarts dwarstransport van grote hoeveelheden zand in korte tijd, waarvan een groot deel onder nastormcondities weer landwaarts naar de kustlijn komt. In een strook evenwijdig aan de Hollandse kust sedimenteert fijnkorrelig materiaal tot aan slib, tijdelijk (tussen getijden in) en/of per seizoen.

De kustzee herbergt veel leven, met name zeewaarts van de brekerbankenzone onder invloed van de relatief rustigere condities die daar heersen (alleen met stormen is het er roerig) en het uit de Rijnpluim uitvallende fijnere sediment dat relatief rijk is aan voedsel. Dit is ook de zone waar de vooroeversuppleties worden uitgevoerd. 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 de kustzee. Dit is afhankelijk van de afvoer van de Rijn in relatie tot de heersende condities van het kustwater.

De zandige Hollandse kust bestaat uit kustwateren, ondiepten en enkele hoger gelegen zandbanken en is van belang als rust- en voedselgebied voor zeehonden, meeuwen, sterns, zeeduikers en zee-eenden. Van oudsher is het tevens een belangrijk broedgebied voor kleine, kustgebonden pleviertjes: bontbekplevier en strandplevier.

Relatief veel van de Hollandse kust is vastgelegd middels (haven-) hoofden, dijken en bestortingen (bijv. Delflandse Hoofden, diverse havenpieren, Hondsbossche Zeewering, Helderse zeewering). Toch zijn er ook uitgebreide duingebieden te vinden waarvan vele onderdeel uitmaken van het Natura 2000-netwerk.

2.2 De Deltakust

De kust van Zeeuws-Vlaanderen tot en met Voorne wordt gevormd door estuaria en afgesloten (voormalige) zeearmen. Kenmerkend is de aanwezigheid van een gesloten deltafront (De Voordelta) 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 getijgedreven transport een zeer belangrijk aandeel in het totale sedimenttransport. Ondiep langs de kusten neemt het relatieve belang van golfwerking toe. Op de kust zijn duingebieden te vinden met de status van Speciale Beschermings Zone (SBZ), zoals Voornes Duin, Duinen Goeree & Kwade Hoek, Kop van Schouwen en

Manteling van Walcheren. De Deltakust bevat derhalve grote delen aan beschermde zandbanken, alsmede waardevolle intergetijde- en duinhabitats.

De Voordelta omhelst het ondiepe zeegedeelte 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 aanleg 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 en ligging van de intergetijdengebieden. Aan de randen van het gebied bij Voorne en Goeree ligt een aantal schorren en meer slikkige platen. Verder horen ook de stranden van de Zeeuwse en Zuid-Hollandse eilanden, waar plaatselijk nieuwe duinvorming optreedt, tot het gebied.

2.3 De Waddenkust

De Waddenkust bestaat uit een reeks barrière-eilanden gescheiden van de vastelandskust door een ondiepe Waddenzee, en is verankerd door de ligging van Texel (pleistocene keileem). De eilanden en de kustzone bevatten relatief kalkarm zand van een fijnere 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 aan bodemdieren dan steile grofkorrelige stranden.

De wateren van de Waddenkust zijn van groot belang als foerageergebied voor zeevogels. Daarbij gaat het enerzijds om viseters, waaronder de roodkeelduiker en de parelduiker, waarvoor locaties waar verschillende watermassa's samenkomen (tussen de eilanden) favoriete visgronden zijn. Anderzijds gaat het om benthoeters, 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. Alle duinen van de Waddeneilanden behoren tot het Natura 2000-netwerk.

3 Zandwinning

Per jaar gebruikt Nederland ongeveer 72 miljoen m³ zand. De helft van dit zand komt uit rijkswateren, zoals de Waddenzee, het Eems-Dollardgebied, het IJsselmeer en de randmeren, de Deltawateren en vooral de Noordzee. De rest van het zand wordt gewonnen uit afgravingen op het land. Het zand wordt gebruikt voor woningbouw, waterstaatkundige werken en wegenbouw. Ook de bollenteelt neemt zand af.

Zandwinning op de Noordzee vindt plaats buiten de -20 m NAP doorgetrokken dieptelijn en bij onderhoudswerkzaamheden aan de IJ-geul en de Euro-Maasgeul. Het zand is bestemd als ophoogzand, beton- en metselzand en zand voor kustonderhoud (Zie bv: <http://www.natuurinformatie.nl/ecomare.devleet/natuurdatabase.nl/i001801.html>.)

Tussen 1992 en 1996 werd zo'n 20 Mm³ zeezand per jaar opgebaggerd. Schattingen voor de volumes te winnen zeezand tussen 2008 en 2017 zijn:

- 12 Mm³/jaar toenemend naar 20 Mm³/jaar regulier suppletiezand (De Ronde, 2008);
- 10 Mm³/jaar zwakke schakels in de kust (De Ronde, 2008);
- 25 Mm³/jaar ophoogzand t.b.v. bouwen op land (Van Duin *et al.*, 2008).

In totaal is er dus ongeveer 47 Mm³ per jaar nodig. Daarnaast zijn er nog eenmalige projecten zoals 300 Mm³ voor de Tweede Maasvlakte, 20 Mm³ voor de eventuele aanleg van de Westerschelde Container Terminal en 21 Mm³ voor de Zandmotor bij de Delflandse kust (2011). Ook is er nog een winbare hoeveelheid van 50 Mm³ beton- en metselzand op de Noordzee (Van Heijst, 2004).

Wet- en regelgeving rond zandwinning is vastgelegd in het Regionaal Ontgrondingenplan Noordzee (RON) en geregeld in de Wet milieubeheer. Op grond van het besluit milieueffectrapportage (mer) uit de Wet milieubeheer moet een mer worden doorlopen voor een ontgroning van 100 hectare of meer, of een aantal winplaatsen die tezamen 100 hectare of meer omvatten en die in elkaars nabijheid liggen. In de Noordzee zijn zeven plangebieden gekozen waarin mogelijkheden voor zandwinning wordt onderzocht (Figuur 2).

De winddiepte was lange tijd maximaal 2 meter, maar voor winningen groter dan 10 miljoen kuub mag dieper worden gewonnen. Bij de zandwinning voor de Maasvlakte wordt tot 20 meter onder de zeebodem gewonnen. Het voordeel is dat een kleiner oppervlak van de zeebodem wordt aangetast, een nadeel kan zijn dat de structuur van de zeebodem duurzaam wordt aangetast.

De winning van zand leidt tot een aantasting van het bodemreliëf en -leven, waarbij de mate van aantasting afhankelijk is van de hoeveelheid en de wijze waarop gewonnen wordt. De directe effecten voor de bodemfauna hangen vooral samen met de grootte van het oppervlak dat aangetast wordt, terwijl de langetermijneffecten vooral samenhangen met de mogelijkheden van herstel en de winddiepte. Inzicht in de effecten van delfstofwinning is voor alle belanghebbenden, maar vooral voor de vergunningverleners (I&M en EL&I), van groot belang om binnen de randvoorwaarden van het RON te kunnen komen tot aanwijzing van geschikte gebieden.

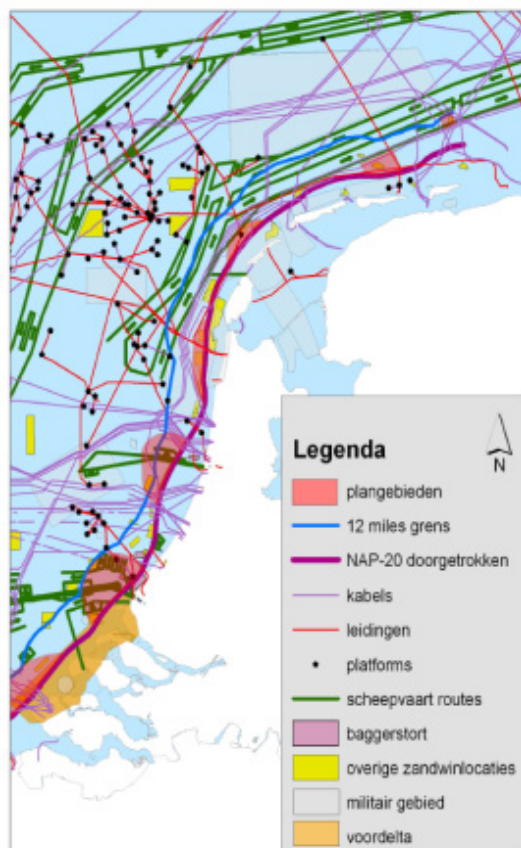
De verspreiding van bodemdieren en hun levensgemeenschappen is niet uniform en hangt onder meer samen met factoren als diepte, stroming, sedimentsamenstelling en morfologie die ook onderlinge relaties hebben. Uit onderzoek door Baptist *et al.* (2006) lijkt de aanwezigheid van lokaal geringe morfologische structuren van invloed te zijn op

de aanwezigheid van bodemorganismen. Plaatselijk verhoogd voedselaanbod als gevolg van het reliëf heeft, tezamen met een beschutting tegen stroming en/of een bepaalde temperatuur, waarschijnlijk ook een positieve invloed op vissen.

Het gericht uitvoeren van onderzoek naar de relatie tussen het aanbrengen van reliëf (morfologie) op de bodem van zandwinputten en het voorkomen van bodemleven is essentieel om toekomstige discussies over het ontwerp van zandwingebieden te kunnen onderbouwen. Binnen het project 'Eco-Dynamisch Ontwerp van Wingebieden (Ecological Landscaping of Extraction Sites)' van het 'Building with Nature' (BwN)-programma wordt dit onderzoek uitgevoerd. Het onderzoek richt zich op de mogelijkheid om door middel van putdimensies en het aanbrengen van reliëf, een positieve invloed uit te oefenen op de ecologische ontwikkeling in een zandwinput.

Het ultieme doel is kennis op te doen die het mogelijk maakt win-win situaties te creëren waarin bepaalde manieren van winningen van delfstoffen kunnen bijdragen aan een verrijking van de habitatcondities en het bodemleven op de Noordzee en in de kustzone. Dit kan mogelijk leiden tot nieuwe vormen / strategieën van delfstofwinning op zee, waarin positieve effecten voor de bodemgerelateerde visserij niet zijn uitgesloten.

Het is de verwachting dat het BwN-onderzoek leidt tot aanbevelingen voor het ontwerp en de inrichting van zandwinputten in de Noordzee op zodanige wijze dat ecologische gevolgen worden gemitigeerd of zelfs zodanig dat diversiteit en/of productie toeneemt.



Figuur 2. Zeven plangebieden voor zandwinning in de Noordzee (Bron: startnotitie mer zandwinning Noordzee).

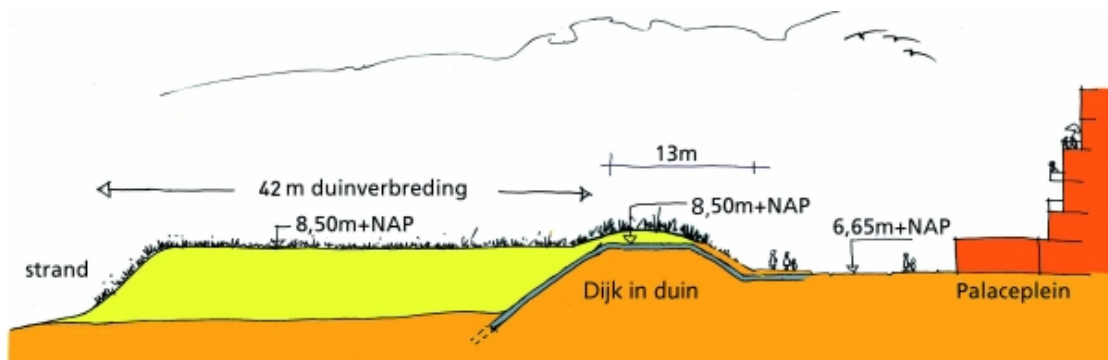
4 Harde kustverdediging

Niet de hele Nederlandse kust is beschermd door stranden en duinen. Op verscheidene plaatsen bevinden zich harde kustverdedigingen. Langs grote delen van de kust bevinden zich stenen, dan wel houten strekdammen, of combinaties daarvan zoals langs de kust van Zeeuws-Vlaanderen (Figuur). Deze dammen hebben als voornaamste functie om getijgeulen op afstand te houden. Grote harde verdedigingswerken bevinden zich bij Breskens, Vlissingen, Maasvlakte, Scheveningen, Petten en Den Helder.

De huidige voorkeur is om de Nederlandse kust met zand te versterken in plaats van met nieuwe harde kustverdediging, omdat is ondervonden dat harde verdedigingen leiden tot hoge onderhoudskosten. Wanneer er harde verdediging noodzakelijk is vanuit kustbescherming, kiest men bij voorkeur voor een uitvoering van 'dijk in duin'. Dit is een dijk die is afgedekt met duin. Toepassingen zijn te vinden bij de boulevard van Scheveningen en het Palaceplein in Noordwijk (Figuur). Eerder is de Veerse Gatdam al geheel bedekt met zand.



Figuur 3. Kruishoofd bij Nieuwvliet Bad, Zeeuws-Vlaanderen, is een oud dijklichaam en een voorbeeld van een combinatie van steen en hout als kustverdediging (Bron: Rijkswaterstaat, www.kustfoto.nl)

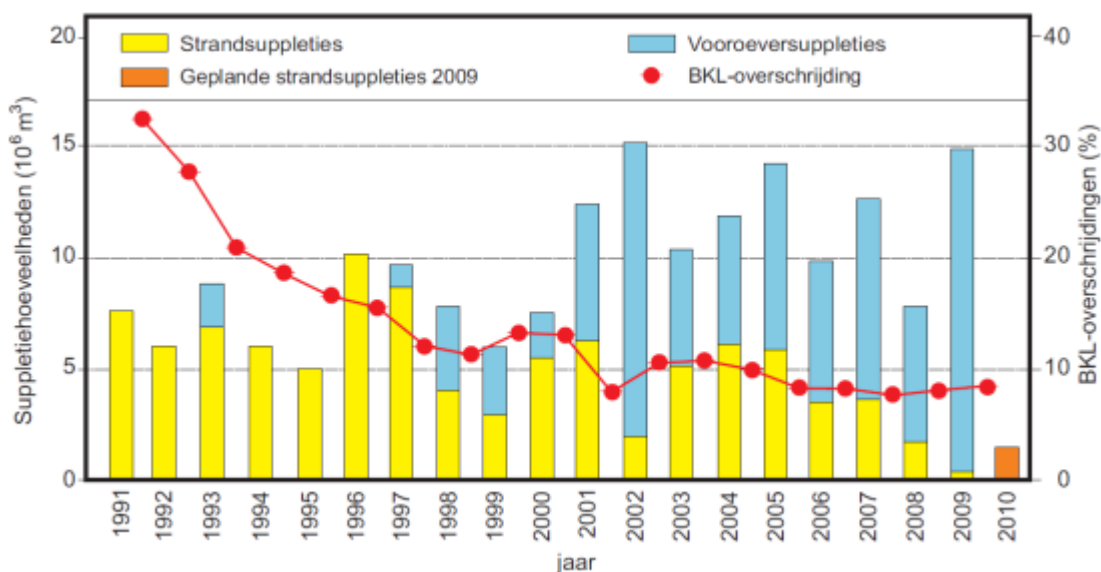


Figuur 4. Ontwerp van dijk in duin, Noordwijk (Bron: Hoogheemraadschap van Rijnland).

5 Zachte kustverdediging

5.1 Inleiding

Sinds 2001 suppleren we in Nederland gemiddeld 12 miljoen kubieke meter zand per jaar (De Ronde, 2008). Deze methode om de kustlijn op zijn plaats te houden sluit goed aan bij de natuurlijke dynamiek van een zandige kust zoals de Nederlandse. Bovendien kunnen we door middel van zandsuppleties meegroeien met de zeespiegelrijzing. Het is bij uitstek een flexibele en adaptieve methode van kustverdediging. Het beleid van de afgelopen decennia heeft erin geresulteerd dat het aantal BKL-overschrijdingen aanzienlijk is gereduceerd (Figuur 5).

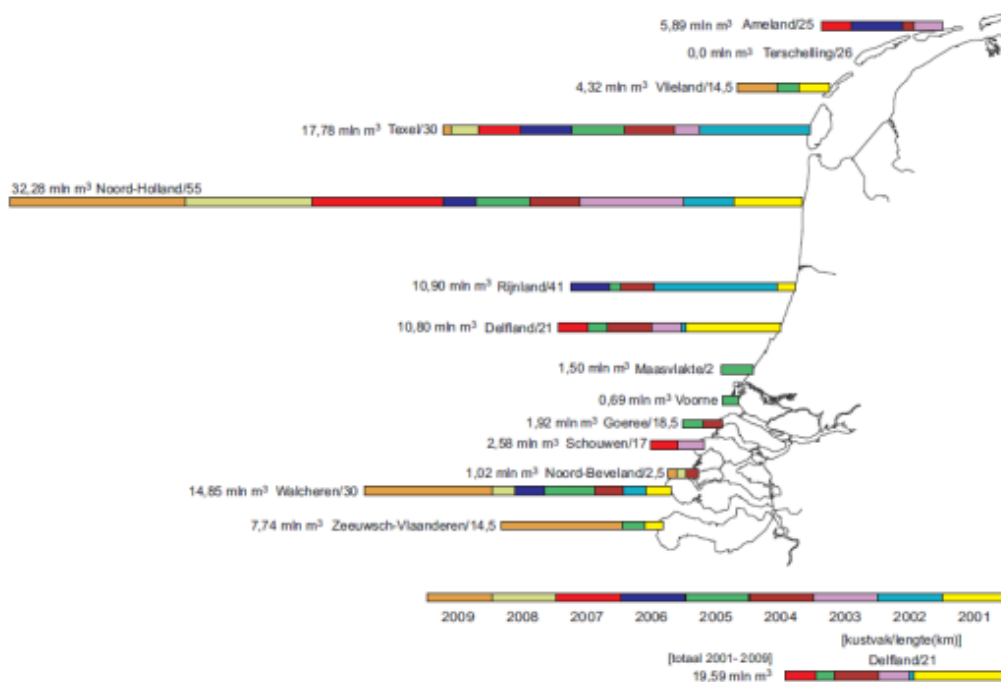


Figuur 5. Volume suppleties langs de Nederlandse kust
(Bron: <http://www.rijkswaterstaat.nl/>).

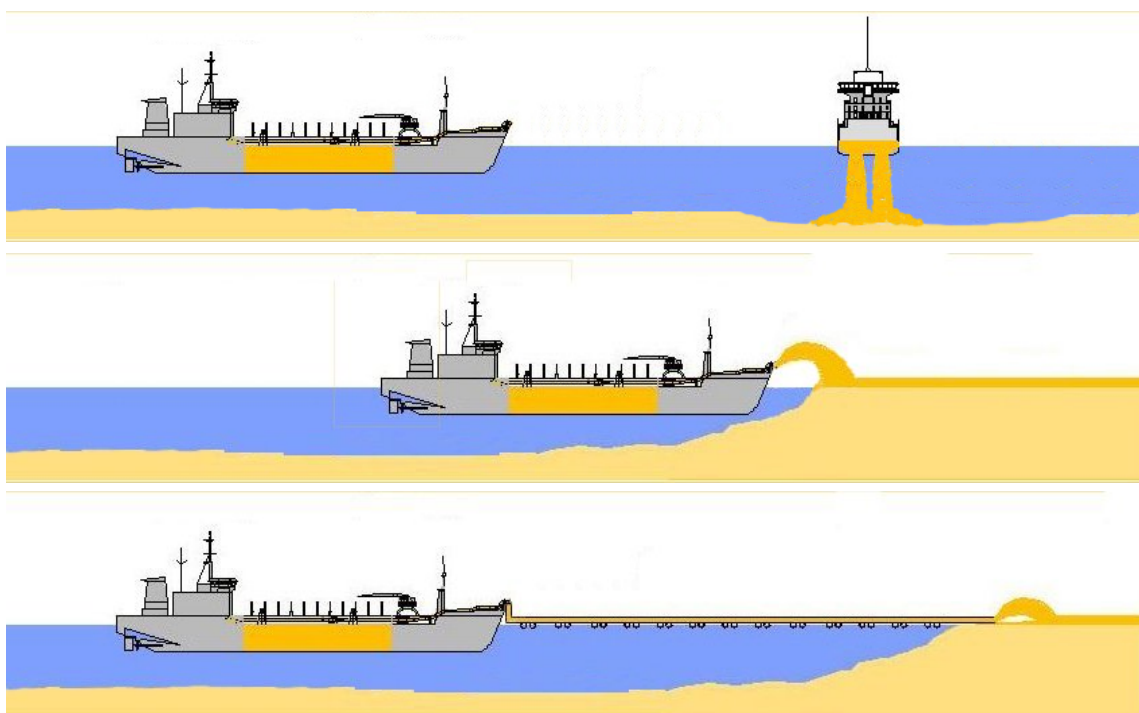
In de periode 1990-2007 is er gemiddeld 9,5 Mm³ zand per jaar gesuppleerd in het Nederlandse kuststelsel. Het merendeel, 5,5 Mm³, werd op het strand gelegd; 3,8 Mm³ werd onder water gelegd en 0,2 Mm³ elders. Er is een toename zichtbaar in het suppletievolume vanaf 2000, omdat sindsdien niet alleen de BKL wordt onderhouden maar ook het kustfundament. Dat heeft ook tot gevolg dat er meer en meer onder water werd gesuppleerd. Voor de jaren 2000-2007 is het totale suppletievolume toegenomen tot 12 Mm³/jaar; waarvan 7,3 Mm³ onder water, 4,6 Mm³ op het strand en 0,1 Mm³ elders, zoals geulwandsuppleties (zie ook Figuur 6).

Voor zandsuppleties geldt geen mer.-plicht. Wel voert Rijkswaterstaat een NB-wet procedure uit bij zandsuppleties in NB-wet gebieden.

Suppleties kunnen traditioneel in drie typen worden onderscheiden: geulwand-suppleties, strandsuppleties en vooroeversuppleties. Recent is er een vierde type bij gekomen: de megasuppletie. Het is te verwachten dat megasuppleties in de toekomst vaker zullen worden toegepast. De kosten van een zandsuppletie zijn afhankelijk van de gekozen methode(n) (Figuur 7). Het klappen van zand is het goedkoopst (enkele euro's per kuub), gevolgd door rainbowen. Het walpersen (aan land pompen van zand en ter plaatse in profiel brengen met bulldozers) is het duurst, om en nabij 10 euro per kuub.



Figuur 6. Totale hoeveelheid (geplande) zandsuppleties voor onderhoud van de kustlijn in de periode 2001-2009, per kustvak (Bron: <http://www.rijkswaterstaat.nl/>)



Figuur 7. Drie uitvoeringstechnieken voor zandsuppleties, klappen (boven), rainbowen (midden) en walpersen (onder) (Bron: Boskalis).

5.2 Suppletietypen

5.2.1 Geulwandsuppleties

Geulwandsuppleties zijn suppleties die onder water worden uitgevoerd om het talud van een getijgeul die te dicht tegen de kust aanligt met zand aan te vullen. Deze suppleties staan alle direct in het teken van de veiligheid en vinden alle plaats in Zeeland waar de geulen zich vaak vlak aan de kust bevinden. De eerste geulwandsuppleties 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, een relatief grote geulwandsuppletie van 1,83 Mm³ werd uitgevoerd, voor de Kop van Schouwen. In 1988, 1989 en 1990 werden jaarlijks in Zeeuws-Vlaanderen meest kleine geulwandsuppleties uitgevoerd. In 2009 vond een zeer grote geulwandsuppletie plaats in het Oostgat, tussen Zoutelande en Westkapelle. Hier werd 6,2 Mm³ aangebracht. Daarnaast is ter hoogte van Nieuwe Sluis in Zeeuws-Vlaanderen in 2009 ook gebruik gemaakt van de geulwandsuppletietechniek. In dit werk is in 2009 netto circa 2,7 Mm³ zand aangebracht.

5.2.2 Strandsuppleties

Bij een strandsuppletie pompt een sleeppopperzuiger het zand uit het schip naar het strand via een pijpleiding die op de zeebodem en het strand is neergelegd. Deze techniek heet walpersen, Figuur 7. Het zand wordt over het strand verdeeld door bulldozers. Meestal wordt een profiel aangebracht vanaf +3 m NAP tegen het duin aan (de duinvoet), flauw aflopend naar zee. Het voordeel is dat het strand direct hoger en breder wordt. Een nadeel is dat de kosten per kubieke meter hoger zijn dan bij andere typen van suppleties. Nadeel van de strandsuppletie is de verstoring van recreatie en natuur op het strand.



Figuur 8. Bij een strandsuppletie wordt met bulldozers het opgespoten zand over het strand verdeeld (Foto: Martin Baptist, IMARES).

5.2.3 Vooroeversuppleties

Bij een vooroeversuppletie stort een sleehopperzuiger een lading zand vlak voor de kust op de zeebodem in de vorm van een zandbank. Dat gebeurt door het zand onder uit het schip op de zeebodem te laten vallen ('klappen') of door zand met een boog uit het schip te spuiten ('rainbowen') (Figuur 9). De ontstane zandbank breekt de golven en 'beweegt' het zand langzaam richting de kust.

In 1993 werd de eerste echte vooroeversuppletie uitgevoerd. Deze suppletie vond plaats voor de kust van Terschelling, en ging gepaard met een monitoring van de effecten op het bodemleven (Van Dalen & Essink, 1997). Hieruit kwam naar voren dat het bodemleven ter plaatse van de suppletie werd bedekt en verstikt, maar dat deze zich na enige jaren wel weer herstelde. Vanaf 1997 werd er jaarlijks op deze wijze gesuppleerd, op wisselende locaties langs de hele Nederlandse kust. Hierbij nam de totale jaarlijkse hoeveelheid gesuppleerd zand op de onderwateroever toe.

In het kader van een studie door Baptist & Leopold (2007) is uitgerekend welk oppervlakte van de zeebodem is bedekt door vooroeversuppleties. De gegevens hiervoor zijn weergegeven in Tabel 1. Per suppletielocatie is het bedekte oppervlak bepaald door in een GIS-analyse de lengte van de betreffende kustsectie te vermenigvuldigen met de lokale 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. Uit deze gegevens en het totale gestorte volume is ook de geschatte dikte van de gesuppleerde laag afgeleid.

Uit Tabel 1 blijkt dat er gemiddeld over een strookbreedte van 500 meter wordt gesuppleerd bij vooroeversuppleties. In totaal is er in de Nederlandse kust over een oppervlakte van zo'n 54 km² van de vooroever een suppletie aangebracht tot en met 2005.



Figuur 9. Bij een vooroeversuppletie wordt het zand vaak door middel van 'rainbowen' aangebracht. De dode bodemfauna en vissen van de zeebodem trekken meeuwen en zeehonden aan (Foto: Hans Verdaat, IMARES).

Tabel 1. Kenmerken van geulwand- en 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 1998-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
Noordwijkkerhout	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 36.9-39.1	jun-sep 1999	0.88	Onderwater	-5 tot -8	65	1.4
Egmond	RSP 36.2-40.2	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
Callantsoog	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 Slufter	RSP 25.1-27.9	jun-sep 2004	2.4	Onderwater		154	1.6
Vlieland-midden	RSP 46.2-48.5	apr-aug 2001	1	Onderwater	-5 tot -6	155	0.6
Vlieland-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

5.3 Megasuppleties

In 2005 kwam de Stichting Duinbehoud in hun rapport Zand in Zicht met het plan om een superduin voor de Delflandse kust te creëren (Van den Broek, 2005). 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 was 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. Dit idee vormt de basis voor een megasuppletie.

Op 1 september 2006 vond in Noordwijk het symposium 'Kansen aan de kust' plaats. Hierin werd door DG-Water het principe van een megasuppletie als volgt uitgelegd:

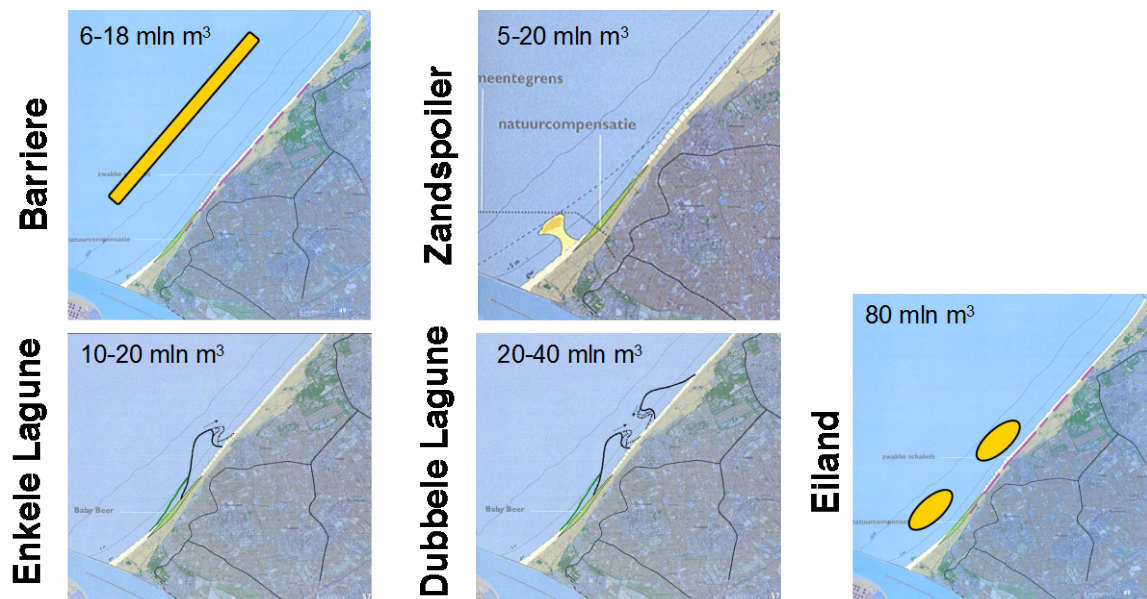
"De kust laten groeien en hiermee tevens het kustonderhoud waarborgen, door het toevoegen van (een overmaat aan) zand aan het kustsysteem, en deze hoeveelheid zand vervolgens door natuurlijke processen te laten herverdelen."

De Provincie Zuid-Holland maakt in 2006 in hun Kustboekje 'Groeien naar kwaliteit' (Advies aan Gedeputeerde Dwarshuis) een uitwerking van het superduin, waarin deze megasuppletie een 'zandmotor' werd genoemd:

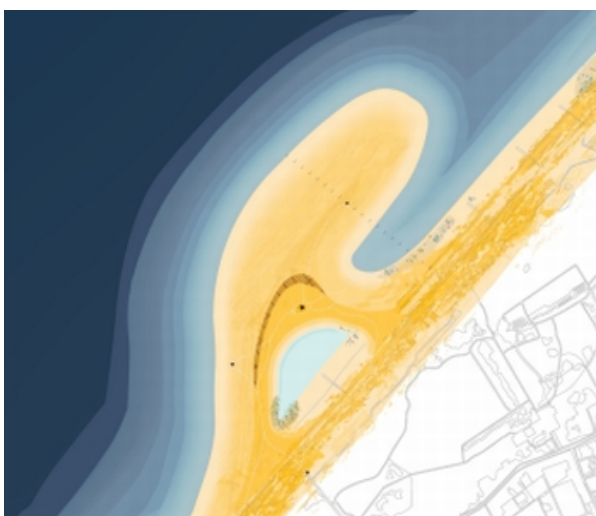
'Een grote secundaire zandbron in de vorm van een groot duin van 20 miljoen m³ die middels een zanddam van vijf a zes meter + NAP aan de kust is verankerd. Dit geheel doet denken aan een spoiler die tijdelijk aan de kust is gehecht' (Adviescommissie voor de Zuid-Hollandse Kust, 2006).

Naar aanleiding van de plannen voor de Zandmotor is in 2007 in opdracht van Rijkswaterstaat een studie verricht door WL/Delft Hydraulics, 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 worden aspecten van ontwerp, uitvoering en monitoring nader onderzocht.

Een megasuppletie is op vele wijzen uit te voeren. In de studie van Bruens *et al.* (2007) is een aantal hoofdvormen onderscheiden, zie Figuur 10. Een belangrijk onderscheid is dat het ontwerp 'Barrière' geheel onder water 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 10. Mogelijke uitvoeringswijzen voor een megasuppletie voor de Delflandse kust (Bron: Provincie Zuid-Holland).



Figuur 11. Ontwerp Zandmotor voor de Delflandse kust (Bron: projectbureau Zandmotor).

Het uiteindelijke ontwerp voor de Zandmotor is van het type 'Enkele Lagune' (Figuur 11) en is een zandhaak die één kilometer de zee in steekt en een basis heeft van 2 km. Binnenin de Zandmotor wordt een duinmeer aangelegd en aan de noordoostzijde bevindt zich een lagune. Vanwege de kustdynamiek zal deze strandhaak langzaam verhelten met de kust zodat er weer een aaneengesloten kustboog ontstaat.

De Zandmotor is een vorm van 'Bouwen met de Natuur'. Dit betreft een concept voor de ontwikkeling van (natte) infrastructuur:

- voor meerdere functies en ecosysteemdiensten;
- in harmonie met de natuurlijke omgeving;
- nuttig gebruik makend van natuurlijke dynamiek;
- nieuwe kansen creërend voor natuur;
- met inachtneming van de maatschappij en besluitvorming (governance).

In het geval van de Zandmotor betreft dit:

- *Primaire functie*: zand op de kust t.b.v. hoogwaterveiligheid;
- *Andere functies*: recreatie (strand, zwemmen, surfen), grondwater, habitats voor bodemdieren, vis, zeevogels en zeezoogdieren, vegetatie-ontwikkeling;
- *Natuurlijke omgeving*: wind, water, golven, zand en vastleggende vegetatie;
- *Natuurlijke dynamiek*: golven, wind en stroming verspreiden zand langs de kust, vegetatie legt het vast;
- *Kansen voor natuur*: pioniervegetatie op de haak, strandlagune voor bodemdieren en juveniele vis (kraamkamerfunctie), rustplaats voor zeehonden, foerageerplek voor zeevogels, embryonale duinvorming leidend tot duinaanwas;
- *Governance*: samenwerking tussen de Provincie ZH, Dunea, Rijkswaterstaat, baggersector, etc., inclusief participatieve besluitvorming.

De Zandmotor is een pilotproject, onder andere om te bezien of het verstandiger is vanuit de natuurfunctie om vaak kleine hoeveelheden te suppleren (effect klein, maar frequentie hoog), of soms een grote hoeveelheid (effect groot, maar frequentie laag). Er is een lange termijn monitoringprogramma gekoppeld aan de aanleg van de Zandmotor om de effectiviteit en de effecten in kaart te brengen.

In Tabel 2 zijn op hoofdlijnen de verschillen aangegeven tussen de 'huidige suppleties' van 12 Mm³ per jaar, een typische 'onderwater-megasuppletie' en een typische 'bovenwater-megasuppletie'. Het volume van een megasuppletie is groter, maar kenmerkend is dat dit volume op een kleiner gedeelte van de kust wordt aangebracht.

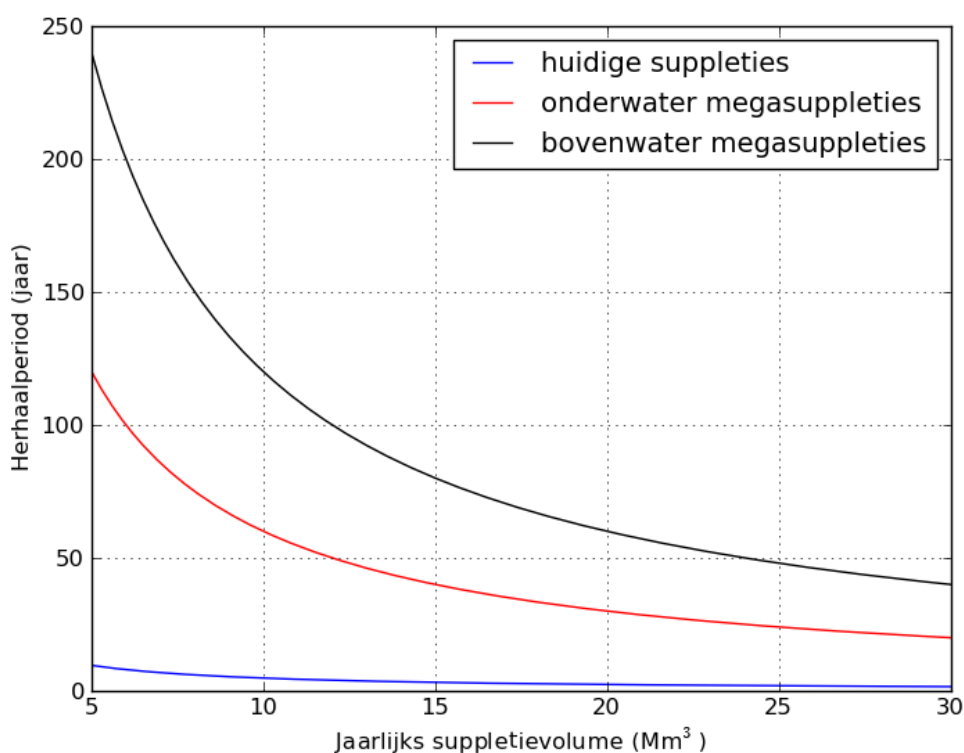
Tabel 2. Kenmerken van een huidige suppletie en twee hypothetische megasuppleties.

Parameter	Huidige suppleties	Onderwater-megasuppletie	Bovenwater-megasuppletie
Volume (Mm ³)	12	20	20
Intensiteit van suppletie (Mm ³ /km)	0,4	5	10
Strookbreedte (km)	0,5	1	1
Kustlengte (km)	30	4	2
Bedekkingsoppervlakte (ha)	1500	400	200
Dikte van de laag (m)	0,80	5,0	10,0
Dieptezone	-5 tot -7 m	0 tot -10 m	0 tot -10 m
Levensduur	2 – 8 jaar	20 jaar	20 jaar

Een belangrijk verschil tussen het huidige suppleren en megasuppleren is het geringe bedekkingsoppervlakte dat de herhaaltijd van de suppletie minder groot is. De herhaaltijd is van belang voor de ecologische effecten. Figuur 12 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 wordt langs de Hollandse kust kan dit theoretisch op drie manieren bereikt worden. Op de wijze van de 'huidige suppleties' wordt bij een intensiteit van $0,4 \text{ Mm}^3/\text{km}$ jaarlijks 25 km kust gesuppleerd. Gemiddeld is iedere $4,8$ jaar ($120/25$) een nieuwe suppletie op eenzelfde locatie nodig. Door het aanbrengen van een (kleine) onderwater-megasuppletie van 10 Mm^3 wordt 2 km kust aangevuld met zand. Wanneer deze megasuppleties aangebracht worden langs de gehele kust, is gemiddeld na 60 jaar ($120/2$) een nieuwe suppletie nodig op dezelfde locatie. Bij een bovenwater-megasuppletie is de intensiteit nog tweemaal hoger zodat de herhaalperiode op 120 jaar komt.

In de praktijk echter zullen meerdere locaties van de (Hollandse) kust vaker van zand moeten worden voorzien en zal naar verwachting een mix van megasuppleties en gewone suppleties worden toegepast. Er zullen lokale verschillen tussen kustsecties optreden door processen van lokale kusterosie en aanzanding.



Figuur 12. Herhaalperiode van drie typen suppleties als functie van de jaarlijkse suppletiehoeveelheid voor de 120 km lange Hollandse kust.

6 Toekomst van onze kustveiligheid

In 2008 heeft een commissie onder leiding van Cees Veerman een advies uitgebracht over de bescherming van de Nederlandse kust en het achterland op de lange termijn. De Deltacommissie (Commissie Veerman) doet belangrijke aanbevelingen met betrekking tot de gevolgen van de zeespiegelstijging voor onze kustveiligheid en de zandsuppleties in Nederland. Het stelt dat zandsuppleties de kern vormen van ons huidige kustbeheer en dat deze methode een goede mogelijkheid biedt om mee te ontwikkelen met het klimaat (Commissie Veerman, 2008). Zandsuppleties zijn een vorm van 'Building with Nature', omdat het aangebrachte zand door natuurlijke processen van wind, stroming en golven wordt getransporteerd naar plaatsen waar het de kust versterkt. Het is bovendien bij uitstek geschikt voor *adaptief beheer*: monitoring van de ligging van de kustlijn en de mate van zeespiegelstijging geeft aan op welke plaatsen, welke hoeveelheden zand dienen te worden aangebracht. Er kan flexibel worden ingespeeld op veranderende omstandigheden door de volumes en methoden op maat toe te passen.

Tussen 2000 en 2007 is jaarlijks zo'n 12 miljoen m³ gesuppleerd. Volgens berekeningen van de Deltacommissie moet dit jaarlijkse volume fors omhoog. Om de Nederlandse kust (van Zeeland tot en met het Waddengebied) met de zeespiegel te laten meestijgen, is 7 Mm³ zand nodig voor iedere millimeter zeespiegelstijging. Een stijging van 6 - 12 millimeter/jaar (dat is 65 - 130 cm in 2100), vereist dan 40 - 85 Mm³/jaar. De Deltacommissie beveelt aan om tot 2050 uit te gaan van het maximale scenario en derhalve 85 Mm³/jaar te suppleren (Aanbeveling 4 - Noordzeekust, zie Tekstbox 1). Dit zand zal ook bijdragen aan het meegroeien van de zeebodem in het Waddengebied (Aanbeveling 5 - Waddengebied, zie Tekstbox 2). En suppleties zullen worden toegewend om de intergetijdengebieden in de Oosterschelde te behouden (Aanbeveling 6 - Zuidwestelijke delta: Oosterschelde, zie Tekstbox 3).

In aanvulling doet de Deltacommissie de suggestie om daarnaast jaarlijks 40 Mm³ extra te suppleren zodat hiermee de Hollandse en Zeeuwse Noordzeekust over 100 jaar ongeveer 1 kilometer richting de Noordzee zijn verbreed (Commissie Veerman, 2008, p.53). In navolging van de suggestie van de Deltacommissie is het Rijk voornemens om samen met regionale overheden de haalbaarheid van uitbouw van de kust te onderzoeken. Eerste prioriteit in deze verkenning zullen de dertien kustplaatsen hebben. Daarbij zal aangesloten worden bij de karakteristieken van het betreffende kustdeel. Er worden verschillende varianten van de kustverbreding meegenomen tussen nul en een km (Nationaal Waterplan, 2009, p.139).

De Deltacommissie stelt dat het voor suppleties benodigde zand op het Nederlands deel van het continentale plat voldoende aanwezig is, hoewel het vanwege het toenemende ruimtegebruik op de Noordzee wel noodzakelijk is de komende jaren de vereiste winlocaties ruimtelijk te reserveren. Ook zal getoetst moeten worden of suppleties zodanig plaatsvinden dat zij de draagkracht van de natuur niet schaden, conform reeds bestaande Nationale en Europese regelgeving.

Een eerste verkenning naar toekomstige suppletievolumes is uitgevoerd voor het Nationaal Waterplan. Hierbij is aandacht gegeven aan de verwachte ontwikkeling van de zeespiegelstijging, zandhonger van de estuaria en beschikbaarheid en winbaarheid van materiaal. Eerste resultaat van deze verkenning is dat, om het hele kustfundament mee te laten groeien met de huidige zeespiegelstijging, een verhoging van het suppletievolume nodig is van 12 naar 20 miljoen m³ per jaar. Hierbij is geen rekening gehouden met een mogelijk toekomstige versnelde zeespiegelrijzing.

Tekstbox 1. Noordzeekust

Aanbeveling 4 Noordzeekust

Tot 2050 *Voor de kust kiest de commissie voor 'bouwen met de natuur'. Voor de zandige kust van Zeeland, Holland en de Waddeneilanden wordt de kustveiligheid op orde gehouden door het suppleren van zand. Waar nodig worden stroomgeulen verlegd. De commissie gaat tot 2050 uit van een hoeveelheid van 85 miljoen m³/jaar en houdt dus tot 2050 rekening met een zeespiegelstijging van 12 mml/jaar.*

Om tegemoet te komen aan maatschappelijke behoeften, adviseert de commissie om de suppleties op zo'n schaal uit te voeren dat de kust de komende eeuw kan aangroeien. Dit levert grote maatschappelijke meerwaarde voor Nederland op.

Op korte termijn moeten zandwinlocaties gereserveerd worden. Tevens moet op korte termijn onderzoek worden gedaan naar hoe deze grote volumes in termen van ecologie, economie en energie zo efficiënt mogelijk kunnen worden gesuppleerd.

Na 2050 *Afhankelijk van de zeespiegelstijging worden de suppleties gehandhaafd of verminderd. Bij een minder grote stijging dan 12 mml/jaar (1,30 m in 2100), draagt een eventueel surplus aan zand op dat moment bij aan extra ruimte voor de kust en biedt veiligheid voor de periode na 2050.*

Tekstbox 2. Waddengebied

Aanbeveling 5 Waddengebied

Het voortbestaan van de Waddenzee zoals wij die nu kennen, is in het licht van de klimaatverandering niet vanzelfsprekend. De zandsuppleties langs de Noordzeekust dragen echter bij aan het meegroeien van het Waddengebied. De ontwikkelingen moeten goed worden geobserveerd en geanalyseerd; de commissie acht het van belang dit in internationale context te doen.

De bescherming van de polders van de Waddeneilanden en de kust van Noord-Nederland moet gewaarborgd blijven.

Tekstbox 3. Zuidwestelijke delta: Oosterschelde

Aanbeveling 6 Zuidwestelijke delta: Oosterschelde

Tot 2050 *In ieder geval tot 2050 voldoet de Oosterscheldekering aan de eisen. De nadelen van de kering (beperking van de getijdenwerking) worden op zo kort mogelijke termijn ondervangen door de verliezen aan intergetijdengebieden met suppleties met zand van buiten (bijvoorbeeld uit de Voordelta) te bestrijden.*

Na 2050 *De levensduur van de Oosterscheldekering wordt verlengd. Dit is mogelijk tot het niveau van een zeespiegelstijging van rond de 1 m. Dit niveau wordt volgens de schattingen van de maximale zeespiegelstijging op zijn vroegst rond 2075 verwacht en zou ook pas rond 2125 kunnen optreden. Daarna moeten maatregelen worden genomen om de veiligheid te waarborgen.*

De commissie ziet goede argumenten om als de Oosterscheldekering niet meer voldoet, de oplossing voor de veiligheid zo in te richten dat de getijdendynamiek weer (bijna) volledig in de Oosterschelde wordt teruggebracht. Hier moeten enkele decennia voordat de levensduur van de kering afloopt keuzes over worden gemaakt, teneinde het volledige palet van oplossingen te kunnen benutten.

7 Scenario's voor suppletievolumes

7.1 Introductie

Het huidige suppletievolume bedraagt 12 miljoen m³ per jaar. De toekomstige langjarige suppletiebehoefte volgens De Ronde (2008) ligt tussen de 15 en 38 Mm³ per jaar met een middenwaarde van 20 Mm³ per jaar. De Deltacommissie houdt tot 2050 rekening met een zeespiegelstijging van 12 mm/jaar en gaat dus tot 2050 uit van een suppletiehoeveelheid van 85 Mm³/jaar. Bovendien stelt ze: "Als deze gangbare praktijk van zandsuppleties geïntensiveerd wordt, door jaarlijks meer te suppleren dan louter nodig is voor de veiligheid, ontstaat een geleidelijke kustuitbreiding. Zo kan bij een extra suppletievolume van 40 Mm³/jaar, de Hollandse en Zeeuwse Noordzeekust over 100 jaar ongeveer 1 kilometer richting de Noordzee zijn verbreed". Dit zou betekenen dat er jaarlijks 125 Mm³ wordt gesuppleerd. Geologisch gezien is dit niet beperkend. Met een winddiepte van 10 meter beslaat dit 12,5 km² per jaar. Als het potentieel geschikte gebied voor zandwinning ongeveer de helft van het Nederlands Continentaal Plat beslaat is dit 0,04% daarvan. Winningskosten en de aanwezigheid van andere functies vormen de echte beperkingen (zie Figuur 2, pag. 16). Daarnaast zullen mogelijke consequenties voor de natuur beleidskeuzen kunnen beïnvloeden. Voor vier natuurverkenningsscenario's, gekoppeld aan bovenstaande suppletievolumes, is uitgewerkt hoe de Nederlandse kustnatuur functioneert in 2040. Tevens is voor ieder van de vier scenario's een mogelijke zandwinstrategie uitgewerkt. Deze uitwerkingen zijn gebaseerd op expert judgement.

7.2 Kenmerken van de vier scenario's

1. **Vitale natuur, 12 Mm³/jaar.** In dit scenario worden suppleties alleen toegepast daar waar het noodzakelijk is voor de kustbescherming. Voor de overige delen prevaleren natuurlijke processen. Het huidige tempo van suppleren (= 12 Mm³/jaar) wordt voortgezet. Dit volume is niet afdoende om de Basiskustlijn te handhaven. Het kustfundament zal ook niet behouden worden. In dit scenario wordt op de huidige wijze gesuppleerd, dat wil zeggen met een paar miljoen kuub per suppletielocatie, bij voorkeur in de vorm van vooroeversuppleties op een diepte van ongeveer -5 tot -7 m NAP. De winning moet gebeuren met zo min mogelijk schade aan het bodemleven van de Noordzee en 'seabed scaping', het aanbrengen van reliëf in het wingebied is verplicht.
2. **Functionele natuur, 20 Mm³/jaar.** In dit scenario wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de 'sedimentatiedienst van de zee'. Om het kustfundament (het zand van de duinen, het strand, en het onderwaterprofiel tot -20 m NAP) te handhaven bij de huidige snelheid van zeespiegelstijging is jaarlijks 20 Mm³ nodig. In dit scenario wordt met 16 Mm³/jaar gesuppleerd op de huidige wijze, en iedere vijf jaar wordt een megasuppletie van 20 Mm³ toegepast. Vooroeversuppleties, strandsuppleties en geulwandsuppleties worden toegepast waar noodzakelijk. Vlak onder de -20 m dieptelijn wordt een langgerekt 2 m diep lint van zand gewonnen langs de gehele Nederlandse kust.
3. **Beleefbare natuur, 85 Mm³/jaar.** In dit scenario worden brede stranden en dynamische megasuppleties aangelegd voor recreatie en toerisme. De aanbeveling van de Deltacommissie wordt opgevolgd om jaarlijks 85 Mm³ te suppleren voor de hoogwaterveiligheid, rekening houdend met een maximale zeespiegelstijging, zodat er voldoende zandbuffer, en strandbreedte, in het kustsysteem is opgebouwd. Ieder jaar wordt een megasuppletie van 20 Mm³ aangebracht en worden aanvullend

normale suppleties op maat toegepast met een totaal volume van 65 Mm³/jaar. In de Noordzee beneden de -20 meter lijn worden diepe zandwinputten met kunstriffen en wrakken aangelegd ten behoeve van sportvisserij en sportduiken.

4. **Inpasbare natuur, 125 Mm³ /jaar.** In dit scenario wordt gekozen voor zeewaartse kustuitbreiding. Dit wordt geleidelijk, maar zeker, gerealiseerd door uit te gaan van een maximale zeespiegelstijging en het aanbrengen van een overmaat aan zand. Er wordt jaarlijks 125 Mm³ gesuppleerd zodat er over 100 jaar kustuitbreiding van 1 km heeft plaatsgevonden. De natuur past zich wel aan, landaanwinning voor economische functies is het hoofddoel. In dit scenario wordt twee keer per jaar een megasuppletie van 20 Mm³ aangebracht en worden aanvullend normale suppleties op maat toegepast met een totaal volume van 85 Mm³/jaar. In de Noordzee worden megageulen aangelegd om de windopzet bij noordwester storm te verminderen.

Tabel 3 beschrijft kenmerkende getallen voor de vier scenario's. Met de huidige wijze van suppleren wordt in een vooroeversuppletie gemiddeld 400.000 m³ en bij een strandsuppletie 200.000 m³ zand per strekkende kilometer kust toegepast. Een vooroeversuppletie wordt doorgaans aangebracht op 5 tot 7 meter waterdiepte over een breedte van gemiddeld 500 m. Een strandsuppletie wordt doorgaans over een breedte van 200 m aangebracht. Vooroever- en strandsuppleties worden soms gecombineerd (zoals in 2010 bij Ameland en Bergen-Egmond) tot een aangesloten geheel. Aangezien de vooroeversuppletie de meest voorkomende vorm is, is in Tabel 3 uitgegaan van deze wijze van suppleren. Voor het berekenen van de herhaalperiode is uitgegaan van een lengte van 350 km zandige kust (82% van de 432 km Nederlandse kust bestaat uit zand).

Tabel 3. Kenmerken van suppleties voor vier scenario's.

Parameter / scenario	12 Mm ³		20 Mm ³		85 Mm ³		125 Mm ³	
	regulier	mega	regulier	mega	regulier	mega	regulier	mega
Totaal volume (Mm ³)	12	20	16	20	65	20	85	40
Volume per suppletie (Mm ³)	1 - 6	20	1 - 6	20	2 - 10	20	2 - 10	20
Aantal suppleties per jaar	2 - 5	0,2	3 - 5	0,2	5 - 10	1	5 - 10	2
Suppletie-intensiteit (Mm ³ /km)	0,4	10	0,4	10	0,4	10	0,4	10
Beïnvloede kustlengte (km)	30	2	40	2	162	2	212	4
Strookbreedte (km)	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1
Bedekkingsoppervlakte (km ²)	15	2	20	2	81	2	106	4
Herhaalperiode (jaar)	11,7	875	8,8	875	2,2	175	1,7	87,5

Bij de huidige wijze van suppleren wordt jaarlijks 15 km² bedekt met zand en wordt *theoretisch* iedere kilometer kust in Nederland eens per 11,7 jaar gesuppleerd. In de praktijk zullen er delen zijn die vaker en delen die minder vaak gesuppleerd worden. In het scenario 20 Mm³/jaar wordt jaarlijks 16 Mm³ in de vorm van vooroeversuppleties aangebracht waarmee 20 km² wordt bedekt met zand en de herhaalperiode 8,8 jaar bedraagt. In dit scenario wordt iedere vijf jaar een megasuppletie aangebracht van 20 Mm³. Wanneer deze, *theoretisch*, langs de gehele kust worden aangebracht, dan wordt ieder stukje kust elke 875 jaar voorzien van een megasuppletie.

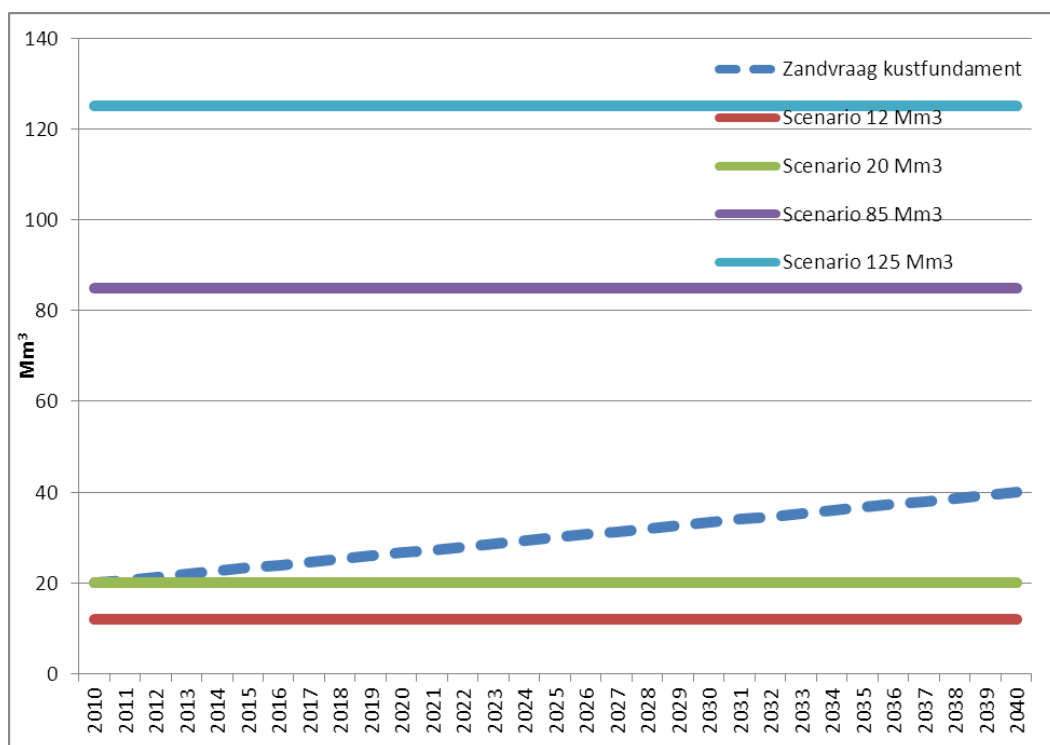
Wanneer het suppletievolume groeit naar 85 Mm³/jaar wordt in dit scenario jaarlijks een megasuppletie aangebracht. Wanneer deze, *theoretisch*, langs de gehele kust worden aangebracht, dan wordt ieder stukje kust elke 175 jaar (350/2) voorzien van een

megasuppletie. De resterende 65 Mm³/jaar leidt tot bedekking van 81 km² kust waarbij bijna de helft van de Nederlandse kust wordt bezocht en iedere strekkende kilometer gemiddeld iedere 2,2 jaar moet worden gesuppleerd. In het maximale scenario van 125 Mm³/jaar worden jaarlijks twee megasuppleties toegepast en de resterende 85 Mm³/jaar leidt tot bedekking van 106 km² kust waarbij meer dan de helft van de Nederlandse kust wordt bezocht en iedere strekkende kilometer gemiddeld iedere 1,7 jaar moet worden gesuppleerd.

7.3 Vooruitblik naar de natuur in 2040

7.3.1 Algemeen

In deze paragraaf wordt een vooruitblik gegeven van de ontwikkelingen in suppletiebeheer en de daaruit voortvloeiende natuurontwikkeling in 2040 voor de vier scenario's. Het is geschreven vanuit een gezichtspunt in 2040, er wordt dus 'teruggekeken' op de periode 2010 tot 2040. Deze vooruitblik is geschreven op basis van expert judgement.



Figuur 13. Verwachte zandvraag kustfundament naast suppletievolumes per scenario.

Voor de onderstaande analyses moet eerst een belangrijke aanname worden gemaakt voor de verwachte zeespiegelstijging. De huidige snelheid is ongeveer 2-3 mm/jaar. De maximale snelheid die de Deltacommissie gebruikt voor hun berekeningen is 12 mm/jaar. Volgens het KNMI'06 *warm* scenario bedraagt de stijging 40 tot 85 cm in 2100 ten opzichte van 1990. Dit komt overeen met afgerond 4 - 8 mm/jaar. De versnelling van de zeespiegelstijging zal niet schoksgewijs, maar vloeiend verlopen en waarschijnlijk niet lineair. Voor alle vier onderstaande scenario's gaan we er van uit dat er in 2010 een snelheid van 3 mm/jaar is die lineair toeneemt naar een versnelde zeespiegelstijging van 6 mm/jaar in 2040. Dit betekent dat er aanvankelijk ongeveer 20 Mm³/jaar, oplopend naar ongeveer 40 Mm³/jaar zand nodig is om de hoeveelheid zand

in het kustfundament op peil te houden, uitgaande van 7 Mm³/jaar per millimeter zeespiegelrijzing. De gesuppleerde hoeveelheden zand in ieder scenario gaan uit van het toepassen van jaarlijks constante volumes vanaf 2010 voor ieder jaar tot en met 2040. Dit betekent dat in sommige scenario's (te) weinig zand wordt gesuppleerd ten opzichte van de zandvraag van het kustfundament en in andere scenario's (te) veel zand wordt gesuppleerd (Figuur 13).

7.3.2 Scenario 1: Vitale natuur, 12 Mm³/jaar

Slogan: "voedt waar het moet, afslag waar het mag".

Hollandse kust

In 2040 kent de kustlijn van de Hollandse kust een grillige ligging. Sommigen vinden dit een natuurlijke ligging, want processen van kustafslag horen nu eenmaal bij zeespiegelstijging. De afgelopen decennia is er alleen gesuppleerd op locaties waar de zwakke schakels liggen en ter bescherming van bebouwing. Maar de 12 Mm³/jaar die begrotingstechnisch ter beschikking was, was te weinig om het kustfundament jaarlijks te laten meegroeien met de zeespiegelstijging die in 2040 is verdubbeld ten opzichte van 2010. Aan de hand van studies naar de veerkracht van het Nederlandse kuststelsel (Marchand *et al.*, 2000) zijn locaties geselecteerd waar afslag geen kwaad kan voor de hoogwaterveiligheid. Het resultaat is dat er op locaties met veerkrachtige duingebieden kustafslag is toegelaten en de Basiskustlijn is losgelaten. Morfologisch gezien heeft er een herverdeling van zand plaatsgevonden van eroderende gedeelten naar aangroeiende gedeelten. Vooral voor de kustbeheerders was het wennen om de strakke kustlijn los te laten en zich te voegen naar de grillen van de natuur. Maar hoewel er een grote mate van onvoorspelbaarheid is van natuurlijke processen kon men verzekeren dat de hoogwaterveiligheid niet in het gedrang is gekomen. In 2040, echter, is de vraag gesteld hoe lang die garantie nog gegeven kan worden.

Het nieuwe beleid, verwoord in de slogan "voedt waar het moet, afslag waar het mag", heeft geresulteerd in een natuurlijker kustlijn. In plaats van een strakke hoge zeereep ziet de kust er grilliger uit. Langs sommige delen bevinden zich spectaculaire afslagprofielen. Hier en daar bevinden zich inhammen in de voorste duinenrij en er zijn zelfs een paar kleine sluffers gevormd. De vergrote dynamiek in de voorste duinenrij heeft ook geleid tot meer stuivend zand. Als gevolg hiervan is de successie in sommige delen van de achterliggende duinen teruggezet, hetgeen een welkome ontwikkeling was. Pioniersoorten als parnassia en strandduizendguldenkruid zijn op vele plaatsen terug in de voorheen statische duingebieden.

De ondiepe kustzee voor de Hollandse kust floreert. Er is weinig verstoring van vogels en zeezoogdieren door suppleties. De morfologie van de ondiepe kustzee is grillig, net als de kust zelf, en hierdoor is er een grote diversiteit aan habitatcondities ontstaan. Tussen de troggen van de brekerbanken vinden we uitgebreide velden van schelpkokerwormen en een diversiteit aan benthische soorten. Juveniele vis groeit op in het ondiepe water en dit trekt grote hoeveelheden visetende vogels.

Waddenkust

Op de Waddeneilanden is in 2040 aanmerkelijke kusterosie opgetreden. De zandhonger in de Waddenzee groeide met de zeespiegelstijging en de Waddenzee nam haar zand van de buitendelta's en de buitenzijde van de Waddeneilanden. Op veel Waddeneilanden is de, voornamelijk recreatieve, bebouwing in gevaar gekomen. Officieel werd het beleid vastgesteld dat de bebouwing die buiten de dijkkringgebieden ligt vogelvrij is, de overheid kan immers niet overal de veiligheid waarborgen. Echter, de economische waarde van recreatie op de Waddeneilanden werd dermate belangrijk dat er een sterke oproep was om de recreatiewoningen en hotels te beschermen.

Door het nieuwe kustbeleid is de natuurontwikkeling op de Waddeneilanden bevorderd. De stuifdijken aan de oostzijde van de eilanden zijn op verschillende plaatsen doorgebroken en er zijn zelfs wash-overs ontstaan. De kwelderstaarten van de eilanden kennen een ruig karakter. Ze zijn doorsneden door zandige geulen met pioniersoorten. Tijdens winterstormen slaat het Noordzeewater de kwelders aan de binnenzijde in. Dit is een gunstige ontwikkeling geweest voor de eilandkwelders. Aan de waddenzijde groeiden deze mee met de zeespiegelstijging en aan de zeezijde groeiden ze aan door zand uit de wash-overs. Dit leidde tevens tot verjonging van de kwelders.

Boven de Waddeneilanden komen zee-eenden in grote getale overwinteren omdat er rijke schelpdierbanken liggen voor de kust. Doordat er slechts mondjesmaat gesuppleerd wordt, worden deze zelden bedekt door zand.

Deltakust

Als gevolg van het kustbeleid sinds 2010 is er langs de Deltakust alleen geulwandsuppletie toegepast. De getijdegeulen die zich dicht tegen de eilandkoppen bevinden zijn de afgelopen dertig jaar goed gemonitord en er is alleen ingegrepen waar het nodig was. De stranden op de eilandkoppen zijn smal geworden en recreanten is opgevallen dat de hoogte van de palen in de palenrijen lijkt toe te nemen. In werkelijkheid, natuurlijk, verdween er steeds meer zand van de stranden. De Voordelta is een ecologisch rijk gebied geworden. Er is zeer weinig bodemberoering in het natuurreservaat omdat visserij is geweerd en omdat er nauwelijks wordt gesuppleerd.

De Noordzeebodem

Voor de winning van zand is gekozen voor zo min mogelijke schade aan het bodemleven in de Noordzee. Als methode werd 'oppervlakkige strokenwinning' voorgesteld: winning in ondiepe langgerekte strekken evenwijdig aan de kust. Wanneer de beun van een sleephopperzuiger vol was werd het zand getransporteerd en gesuppleerd. Bij een jaarlijkse winning van 12 Mm³ werd op deze wijze ieder jaar een strook van 0,5 m diep en 70 m breed over een totale kustlengte van 350 km gewonnen. In 2040 is de strook langs de gehele lengte verdiept tot 2 m en verbreed tot 420 m, een dun lint op schaal van de Noordzee. De effecten op het bodemleven bleken minimaal: door de oppervlakkige winning overleefde een deel van het bodemleven de zandwinning en als gevolg van de winning in een dunne strook vond een snelle rekolonisatie plaats.

7.3.3 Scenario 2: Functionele natuur, 20 Mm³/jaar

Slogan: "voedt zodat de basis voldoet".

Hollandse kust

De Hollandse kust in 2040 wordt gekenmerkt door aangroeiende stranden, ongeveer met 1 m per jaar. Dit betekent dat sinds 2010 de stranden zo'n 30 m breder zijn geworden en er op veel plaatsen voor de zeereep kleine complexen van embryonale duinen liggen. Kustafslag komt niet voor want de Basiskustlijn kon overal gehandhaafd worden. Er werden verschillende megasuppleties toegepast. In 2011 werd de eerste aangelegd, de Zandmotor voor de Delflandse kust. Omdat eerst de resultaten van de monitoring werden afgewacht duurde het tot 2020 voordat de tweede megasuppletie werd aangelegd, maar vervolgens werd iedere vijf jaar gekozen voor deze vorm van suppleren. In 2040 liggen er langs de Hollandse kust vijf megasuppleties die hebben geleid tot lokale kustverbreding en duinvorming op grote schaal.

Hoewel er onvoldoende wordt gesuppleerd om het kustfundament aan te vullen met de huidige snelheid van zeespiegelstijging (in 2040 bedraagt deze 6 mm/jaar), is dit niet te zien aan de status van de Hollandse kust. Echter, er zal in de toekomst meer moeten worden gesuppleerd om de Basiskustlijn vast te kunnen houden.

Er zijn voornamelijk vooroeversuppleties uitgevoerd, waarbij de stranden zijn ontzien. Hierdoor hebben deze hun functie als foerageerhabitat voor de drieteenstrandloper behouden en is dit zelfs uitgebreid. Onder water is er een steiler kustprofiel ontstaan, maar dit heeft nog niet geleid tot merkbare veranderingen aan de bestanden van juveniele vis, en visetende vogels. Door de frequente suppleties in en vlak buiten de brekerbankzone zijn fragiele bodemorganismen weggebleven. De megasuppleties hebben gezorgd voor extra ligplaatsen van zeehonden die tussen de Wadden en de Delta migreren. Ook is er minder hard substraat overgebleven, omdat delen van de kust zijn ingepakt in zand.

Waddenkust

In de periode 2010-2040 is één megasuppletie toegepast bij het Bornrif op Ameland. Naar analogie van de ontwikkeling op Ameland eind jaren negentig van de vorige eeuw, en de aanlanding van de Razende Bol op Texel, is er opnieuw gekozen voor een brede uitbouw van de westzijde van dit Waddeneiland. Deze megasuppletie is aangelegd in de vorm van een duinboogcomplex, passend bij de natuurlijke configuratie van een Waddeneiland. Aan de binnenzijde ontstond een nieuwe primaire duinvallei uit de afsnoering van de zee. Het oostwaarts getransporteerde zand verstevigde de kust van Ameland en liet dynamisch kustbeheer toe.

Er zijn voornamelijk vooroeversuppleties uitgevoerd zodat de kustligging in evenwicht bleef bij de stijgende zeespiegel. Aan de kust is niet veel verandering te zien. Door een gericht suppletiebeleid, en monitoring, zijn de essentiële schelpdierbanken boven de Waddeneilanden behouden.

Deltakust

In 2040 zijn er aan de koppen van de Zeeuwse en Zuid-Hollandse eilanden verscheidene strandsuppleties en enkele geulwandsuppleties toegepast. Al met al heeft dit geleid tot een soort van status quo in de kustontwikkeling: geen kustafslag, maar ook geen grote aangroei. De ecologisch rijkste delen van de Voordelta zijn hiermee onaangetast gebleven.

Noordzeebodem

Voor de winning van zand is gekozen voor diepe winputten met grootschalig reliëf op geschikte locaties voor visproductie. Het is verplicht gesteld om aan 'seabed scaping' te doen en ervoor te zorgen dat de zeebodem productiever wordt.

7.3.4 Scenario 3: Beleefbare natuur, 85 Mm³/jaar

Slogan: "voedt op zeespiegelstijging vooruit en breidt de kustbeleving uit".

Hollandse kust

In 2040 bestaat de Hollandse kust geheel uit zandige stranden van minimaal 200 m breed, plaatselijk wel 500 m. Ook voor de Hondsbossche en Pettemer zeekering ligt strand. De havenhoofden van Scheveningen en IJmuiden zijn aan de buitenzijde ingepakt in zand dat met een boog naar de duinkust loopt. Strandsuppleties zijn niet meer nodig omdat er een overmaat aan zand in het systeem is gebracht. Megasuppleties zijn aangebracht bij Ter Heijde, Kijkduin, Katwijk, Noordwijk, Zandvoort, Wijk aan Zee, Egmond aan zee, Camperduin, Callantsoog, Groote Keeten en Julianadorp. Op grote schaal treedt embryonale duinvorming op tegen de zeereep aan. Afslagprofielen worden niet gevonden in de duinen langs de Hollandse kust. Omdat de reststerkte van de duinen zo groot is, zijn hekken verdwenen en is overal in de duinen recreatie toegestaan.

Enkele megasuppleties zijn in de vorm van eilanden uitgevoerd. Deze eilanden mogen alleen onder begeleiding worden betreden. Ze bieden broedbiotoop aan strandplevieren, dwergsterns, visdieven, noordse sterns en meeuwen. Er rusten groepen gewone en grijze zeehonden. In de winter worden er jongen van de grijze zeehond gezoogd en in de zomer die van de gewone zeehond. Groepen schoolkinderen leren hier over de natuur die vlakbij de Randstad ligt.

Het onderwaterprofiel van de Hollandse kust is versteild. Dit is ten koste gegaan van het areaal aan kinderkamer voor juveniele vis. Hiermee is niet alleen het aantal visetende vogels achteruit gegaan, maar ook de visbestanden op de Noordzee. In 2040 wordt besloten een visherstelprogramma uit te voeren waarbij ondiepe kinderkamers worden aangelegd door middel van gerichte suppleties in de vooroever.

Waddenkust

Een natuurlijke megasuppletie voor de zuidkust van Texel vond plaats vanwege het aanlanden van de Razende Bol waardoor het strand van De Hors met een kilometer in westelijke richting uitbreidde. Dit zand verplaatste zich langzaam naar het noorden langs de kust van Texel. Een nieuwe slufteer, uitmondend in een primaire duinvallei, vormde zich bij Paal 8. Naar analogie van deze natuurlijke megasuppletie en de eerdere ontwikkeling van Bornrif eind twintigste eeuw zijn megasuppleties aangebracht bij de Vliehors op Vlieland, de Noorderhaaks op Terschelling, bij West-Ameland en West-Schiermonnikoog. De laatste suppletie stuitte op grote weerstand, omdat Schiermonnikoog het enige ongerepte strand van Nederland kende, maar de toegenomen erosie van de kust noopte toch tot het nemen van maatregelen. Ook is een pilotproject uitgevoerd naar suppletie in een buitendelta. De strategie is om het zand in de buitendelta aan te brengen, waarna het door natuurlijke processen van wind, golven en stroming zowel naar de binnendelta als langs de kustzijde van de eilanden transporteert. Het zand uit de buitendelta-suppleties volgt een lange weg voordat het in de Waddenzee terecht komt, zodat natuurlijke sorteringsprocessen ervoor zorgen dat zand van de juiste korrelgrootte de Waddenzee voedt.

De brede stranden aan de Waddeneilanden vormen op uitgebreide schaal pionierduinen. Dit heeft het gevoel van veiligheid versterkt, zodat op diverse plaatsen inkepingen in de zeereep zijn toegestaan waarbij het zand weer vrij kan verstuiven. Vrij struinen door de duinen is overal toegestaan. Door zandverstuivingen in de eilandstaarten is verouderde kweldervegetatie bedekt met zand. Ook is op veel plaatsen duindoornstruweel aan de binnenduinstrand ondergestoven. Aan de eilandkoppen zijn op grote schaal Groene Stranden en primaire duinvalleien ontstaan. De strekdammen op Texel-zuid en Vlieland zijn geheel bedolven onder het zand. Het kustprofiel langs de Friese Waddeneilanden, buiten de buitendelta's, is versteild. Het profiel van brekerbanken is minder geprononceerd geworden als gevolg van de suppleties. Dit is ten koste gegaan van de biodiversiteit in de troggen zodat het ondiepe bodemleven een meer eenvormige samenstelling kent.

Deltakust

In 2040 is er een megasuppletie toegepast langs de kust van Zeeuws-Vlaanderen. De karakteristieke palenrijen zijn langs vele kilometers onder het zand verdwenen. Het heeft geleid tot een verbreding van het duingebied, dat hier te smal was. De overige delen van de Zeeuwse en Zuid-Hollandse eilanden zijn 'overmatig onderhouden'. Stranden zijn verbreed, getijgeulen zijn tot stoppen gebracht en ook hier zijn de palenrijen vaak niet meer te zien. De brede Zeeuwse stranden bieden volop vertier. Niet alleen de eilanden zijn ingepakt in zand, maar ook de Brouwersdam is nu geheel zandig uitgevoerd en aangeplant met helmgras.

Veel van het aangebrachte zand is afgeslagen en in de Voordelta en op de Vlake van de Raan terecht gekomen. Hier heeft het de verondieping versterkt zodat er grote droogvallende platen zijn ontstaan. Deze bieden ruimte aan broedvogels, zeehonden en toeristen. Het areaal aan ondiep water is flink uitgebreid en de gehele Voordelta fungeert als kinderkamer voor juveniele vis. Veel visetende vogels als roodkeelduikers, parelduikers en futen overwinteren hier.

Noordzeebodem

Voor de Noordzeebodem is gekozen voor recreatief gebruik van zandwinputten. Er werd voorgesteld om diepe putten te creëren waarin kunstriffen en wrakken werden gelegd. In deze putten is boomkorvisserij niet mogelijk, zodat er een rijke fauna ontstond. De recreatieve zeevisserij op kabeljauw werd een groot succes en ook deep-sea diving in het koele heldere water van de Noordzee werd een rage. Iedereen wilde wel eens een levende dodemansduim zien. In 2040 werden buitengaats de badplaatsen tien putten met een diepte van 20 m onder de huidige zeebodem gerealiseerd, variërend in omvang van 4 km² tot 20 km².

7.3.5 Scenario 4: Inpasbare natuur, 125 Mm³/jaar

Slogan: "voedt een overmaat aan zand en creëer extra land".

Hollandse kust

In 2040 heeft de overmaat aan zand die is aangebracht aan de Hollandse kust geleid tot een kustuitbouw van gemiddeld 300 m, plaatselijk zelfs 1000 m. Op grote schaal zijn er nieuwe duinen ontstaan. Deze ontwikkelingen hebben geleid tot grote aanpassingen in de infrastructuur voor recreatie. Strandpaviljoens verplaatsten iedere vijf jaar een meter of zestig richting de zee, want de badgasten wilden wel dichtbij het water kunnen komen. Om het de recreanten makkelijker te maken werden er strandtreinen ingericht die de bezoekers van de parkeerplaatsen vervoeren naar de zee. Men wilde niet honderden meters door het mulle zand lopen met koelbox, parasol en jengelende peuter.

De duinnatuur van de Hollandse kust is in 2040 nogal eenvormig geworden: een brede reep stuivende jonge duinen met biestarwegras, zeeraket en helm ligt voor de oude zeereep. De Kerf tussen Bergen en Schoorl is definitief dichtgegroeid en de vegetatie aldaar heeft zich ontwikkeld tot duinstruweel. Aan de binnenduintrand van de oude zeereep is het grondwaterniveau omhoog gekomen vanwege de verbreding van de kust. Dit leidde tot het verdrinken van duinvalleien, zodat het nu vooral duinmeren zijn. Alleen aan de marges van de duinmeren worden nog orchideeën gevonden. De combinatie met afnemende saltspray in de duinen heeft dit geleid tot verdere successie naar een climaxstadium van duinbos. Op grote schaal zijn daarom kuddes grazers toegelaten in een poging om nog wat duinverjonging te bewerkstelligen.

De kustuitbouw heeft erin geresulteerd dat het brekerbankensysteem op de meeste plaatsen is veranderd in strand. Vóór het strand is een steil aflopende profiel naar dieper water. De verwachting is dat een nieuw morfologisch evenwicht met ondieptes en brekerbanken zich wel wil vormen, maar daar gaat lange tijd overheen én dan moet er voorlopig gestopt worden met grootschalig suppleren. Het areaal aan ondiep water is afgenomen en hiermee ook de geschiktheid aan kinderkamers voor juveniele vis.

Waddenkust

De Waddeneilanden zijn in 2040 ruim voorzien van zand. De toch al brede stranden zijn aanmerkelijk verbreed. Verscheidene megasuppleties die kort na elkaar zijn uitgevoerd hebben plaatselijk geleid tot strandcomplexen van wel 1 km breed. De buitendelta's van de Waddeneilanden zijn verondiept als gevolg van de grote aanvoer van zand dat ze

niet snel genoeg de Waddenzee in konden krijgen. Op verscheidene plaatsen is het sediment in de binnendelta's grover van samenstelling geworden.

De strandnatuur van de Waddeneilanden is droger geworden. Waar voorheen Groen strand was (op Ameland, Schiermonnikoog en Terschelling bijv.) is nu stuivend droog zand. De Noordsvaarder op Terschelling en de Vliehors op Vlieland lopen allang niet meer onder water bij een normale winterstorm. De zeereep is op verscheidene plaatsen geopend. Dit heeft weliswaar geleid tot meer stuivend zand naar het binnenland, maar de zee is niet bij machte om wash-overs te creëren.

Schelpenbanken voor de kust van de Waddeneilanden werden telkens weer bedolven onder nieuwe suppleties. Ook is er een vergroot transport van zand in de kustzone waargenomen vanuit de buitendelta's die aan het verstikken waren. Als gevolg hiervan zijn de condities voor schelpenbanken ongunstig en is het aantal overwinterende zee-eenden drastisch afgenomen. Daartegenover staat dat het aantal visetende vogels is toegenomen, want in de ondiepe buitendelta's wemelt het van de jonge haring, sprot, zandspiering en opgroeiende platvis. Steeds meer wordt in de winter de witte vacht van jonge grijze zeehonden waargenomen, die op de brede verlaten stranden gezoogd worden.

Deltakust

De stranden op de Zeeuwse en Zuid-Hollandse eilanden zijn in 2040 zeer verbreed. De karakteristieke palenrijen zijn een relict van vroeger. Dit heeft echter ook tot gevaarlijke situaties geleid, omdat de stranden naar de getijgeulen toe zijn gegroeid. Hierdoor zijn er vlak voor het strand hoge stroomsnelheden en grote waterdieptes.

De terrestrische natuur bestaat uit droge stuivende duincomplexen, overgaand in duinlandschappen in een climaxstadium. De schorren en slikkige platen aan de randen van Voorne en Goeree zijn onder het zand verdwenen. De stranden zijn steil en lopen direct af in de getijgeulen. Op afgelegen stranden zijn ligplaatsen van zeehonden ontstaan. Ze liggen graag op het droge zand direct naast een steile rand die afloopt in het diepe water van een getijgeul. Door afslag van de stranden is veel zand naar de Voordelta getransporteerd. Hier is verondieping opgetreden en zijn droogvallende zandplaten ontstaan. De Voordelta en de Vlake van de Raan trekken veel visetende vogels die afkomen op de visrijke ondiepe wateren.

Noordzeebodem

Voor de Noordzeebodem is gekozen voor het creëren van grootschalige geulen die lopen van noordwest naar zuidoost¹. Deze geulen verminderen de windopzet van de Noordzee bij noordwesterstorm en dragen hiermee bij aan de kustbescherming. Om effectief te zijn, moeten deze geulen minimaal 20 m dieper dan de huidige zeebodem worden uitgegraven en minimaal 5 km breed en 100 km lang zijn. Bij een winning van 125 Mm³/jaar kan gemiddeld ieder jaar 1.250 m geul worden gerealiseerd. Eind 2041 is de eerste 35 km van de megageul gerealiseerd. De effecten op het bodemleven werden nooit onderzocht: de natuur past zich wel aan.

¹ Op het idee van de aanleg van megageulen zit een octrooi van Drs. F.C. Groenendijk (persoonlijke titel).

Literatuur

- Baptist, M.J., J. van Dalfts, A. Weber, S. Passchier & S. van Heteren, (2006). The distribution of macrozoobenthos in the Southern North Sea in relation to meso-scale bedforms. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 68(3-4): 538-546.
- 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, M.J., J.E. Tamis, B.W. Borsje, J.J. van der Werf & H. Holzhauer, (2008). Review of the geomorphological, benthic ecological and biogeomorphological effects of nourishments on the shoreface and surf zone of the Dutch coast. Wageningen IMARES report C113/08, Deltares report Z4582.50, 68 p.
- Baptist, M.J. & M.F. Leopold, (2009). The effects of shoreface nourishments on *Spisula* and scoters in The Netherlands. *Marine Environmental Research* 68: 1-11.
- Broek, H. van den, (2005). Zand in zicht; toekomstbeeld voor de Westlandse kust. Stichting Duinbehoud.
- Brown A.C., A. McLachlan, (1990). *Ecology of sandy shores*. Amsterdam, Elsevier, 328 p.
- Bruens, A., A. Cohen, L. van Rijn, P-K. Thonnon, J. Mulder, M.J. Baptist & S. Aarninkhof, (2007). *Globaal Voorontwerp Zandmotor*. Delft, WL | Delft Hydraulics, Wageningen IMARES & VBKO. Rapport Z4459, 78 p.
- Commissie Veerman, (2008). *Samen werken met water; Een land dat leeft, bouwt aan zijn toekomst*. Bevindingen van de Deltacommissie 2008.
- Craeymeersch, J.A. & J. Perdon, (2005). De Otterschelp *Lutraria* in Nederlandse wateren. *Het Zeepaard*, 65(5): 144-150.
- Dalfts van J.A. & Essink K., (1997). RIACON - Risk Analysis of Coastal Nourishment Techniques, National Evaluation Report (The Netherlands). Report RIKZ-97.022, 98p.
- Dalfts, J.A. van, (2007). Inventarisatie brandingszone. Wageningen IMARES rapport C138/07.
- Duin, C.F. van, W. Gotjé, C.J. Jaspers & M. Kreft, (2008). MER winning ophoogzand Noordzee 2008 t/m 2017. Grontmij.
- Duin, W.E. van, P.A. Slim & V. Kuypers (in prep.). *Building with Nature, een verdere uitdieping van de Zandmotor: Slib en natuurontwikkeling*. Stichting EcoShape.
- Eerden, M.R. van & M. Zijlstra, (1995). Recent crash of the IJsselmeer population of Great Cormorants (*Phalacrocorax carbo sinensis*) in the Netherlands. *IWRB Cormorant Research Group Bulletin* 1: 27-32.
- 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., K.J. Perdon, J.J. Kesteloo, J. Jol, C. van Zweeden, E. Hartog, J.M.J. Jansen & K. Troost, (2010). *Schelpdieren in de Nederlandse kustwateren, een kwantitatieve en kwalitatieve bestandsopname in 2010*. IMARES Rapport C099/10.
- 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.
- Eriksson, M.O.G. (1985). Prey detectability for fish-eating birds in relation to fish density and water transparency. *Ornis Scand.* 16(1): 1-7.

- Haney, J.C. & A.E. Stone, (1988). Seabird foraging tactics and water clarity: are plunge divers really in the clear? *Mar. Eco. Prog. Ser.* 49: 1-9.
- Heijst, M.W.I.M van (Ed.), (2004). Beton- en metselzand uit de Noordzee? Eindrapport van de PIA Subwerkgroep Zeezand. Publicatiereeks Grondstoffen 2004/.1
- Henkel, L.A., (2006). Effect of water clarity on the distribution of marine birds in nearshore waters of Monterey Bay, California. *J. Field Ornithol.* 77(2): 151-156.
- Holzhauser, H., Valk, B. v.d., Tonnon, P.-K., Werf, J. v. d., Dongeren, A. v., Stronkhorst, J., Sprengers, C., Oost, A., Mulder, J., Boer, G. d. & Baptist, M.J.,(2009). Megasuppleties langs de Nederlandse kust. *Deltares / IMARES, Delft / Texel.*
- 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.
- 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., (1996). *Spisula subtruncata* als voedselbron voor zee-eenden in Nederland. Technical Report BEON 96-2. IBN-DLO
- Leopold, M.F. & M.J. Baptist, (2007). De effecten van onderwaterzandsuppleties op het habitat van de Kustzee, *Spisula* en enkele beschermde soorten zeevogels. IMARES rapport C014/07.
- Leopold M.F., R.S.A. van Bemmelen & S.C.V. Geelhoed, (2011). Zeevogels op de Noordzee. Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011. WOT Natuur & Milieu, Wageningen, WOt-werkdocument 257.
- Marchand, M., P.J.A. Baan, G. Boot & M.J. Baptist, (2000). Veerkracht in het Nederlandse kustbeleid; Operationalisering en toepassing van de morfologische veerkrachtmeter. WL | Delft Hydraulics rapport Z2684.
- Mulder S., (2004). Ecologische effecten van een onderwatersuppletie. Monitoring in het kader van toetsing aan de Vogel- en Habitatrichtlijn. Werkdocument RIKZ/OS/2004.602w.
- Nationaal Waterplan, (2009). Nationaal Waterplan 1. Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
- Nota Ruimte, (2004). Nota Ruimte : Ruimte voor ontwikkeling. Interdepartementaal Project Nota Ruimte. Vastgesteld in de Ministerraad d.d. 23 april 2004.
- Oosterbaan A., (1991). De grote vijf van de Hollandse kust. *Natura* 88: 86-87.
- Rijn, S.H.M. van & M.R. van Eerden, (2002). Aalscholvers in het IJsselmeergebied: concurrent of graadmeter? RIZA rapport 2001.058, Lelystad
- Ronde, J. de, (2008). Toekomstige langjarige suppletiebehoefte. *Deltares* rapport Z4582.24.
- Slim, P.A. & M.A.M. Löffler, (2007). Kustveiligheid en natuur; een overzicht van kennis en kansen. *Alterra* rapport 1485.
- Teal, L. & O.A. van Keeken, (2011). Habitat use by fish in the Dutch coastal areas: Literature study. IMARES rapport.
- Valk, B. van der, (2004). Otterschelpen op de Hollandse kust: een succesvolle kolonisatie in 2002? *Zeepaard* 64:107-109.

Kwaliteitsborging en Verantwoording

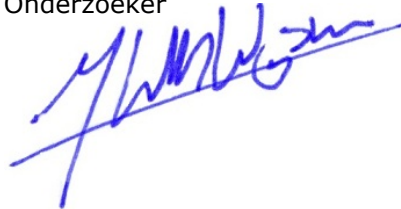
IMARES beschikt over een ISO 9001:2008 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem (certificaatnummer: 57846-2009-AQ-NLD-RvA). Dit certificaat is geldig tot 15 december 2012. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV Certification B.V. Het laatste controlebezoek vond plaats op 22-24 april 2009. Daarnaast beschikt het chemisch laboratorium van de afdeling Milieu over een NEN-EN-ISO/IEC 17025:2005 accreditatie voor testlaboratoria met nummer L097. Deze accreditatie is geldig tot 27 maart 2013 en is voor het eerst verleend op 27 maart 1997; deze accreditatie is verleend door de Raad voor Accreditatie.

WOt-werkdocument 260
Projectnummer: 430.82010.67

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het betreffende afdelingshoofd van IMARES.

Akkoord: Dr. Ir. J.W.M. Wijsman
Onderzoeker

Handtekening:



Datum: September 2011

Akkoord: Drs. F.C. Groenendijk
Afdelingshoofd Ecosystemen

Handtekening:



Datum: September 2011

Bijlage 1 Mogelijke effecten van vooroever- en megasuppleties op mariene soorten

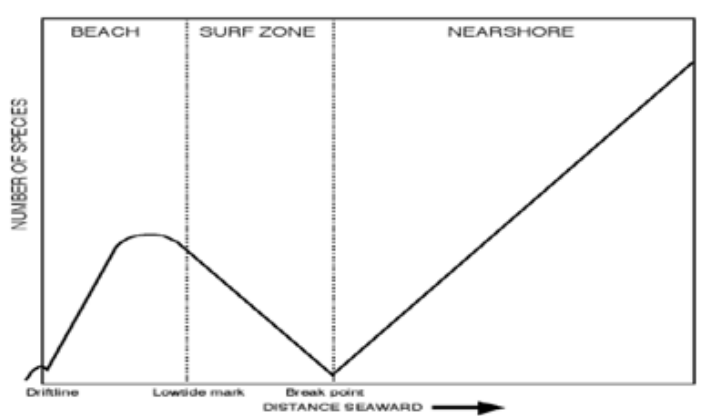
Inleiding

In deze bijlage wordt eerst kort ingegaan op een selectie van ecosysteemcomponenten van de kustzone die direct beïnvloed worden door zandsuppleties. Het betreft benthosdiversiteit, grote schelpdieren en vis. Hogere trofische niveaus zoals vogels en zeezoogdieren worden in andere achtergronddocumenten van de Natuurverkenning 2011 behandeld. Vervolgens wordt een beschrijving gegeven van effecten van zandsuppleties op mariene soorten.

Voor een beschrijving van vegetatie van de kustzone wordt verwezen naar andere rapporten, waaronder Slim & Löffler (2007) en Van Duin *et al.* (in prep.).

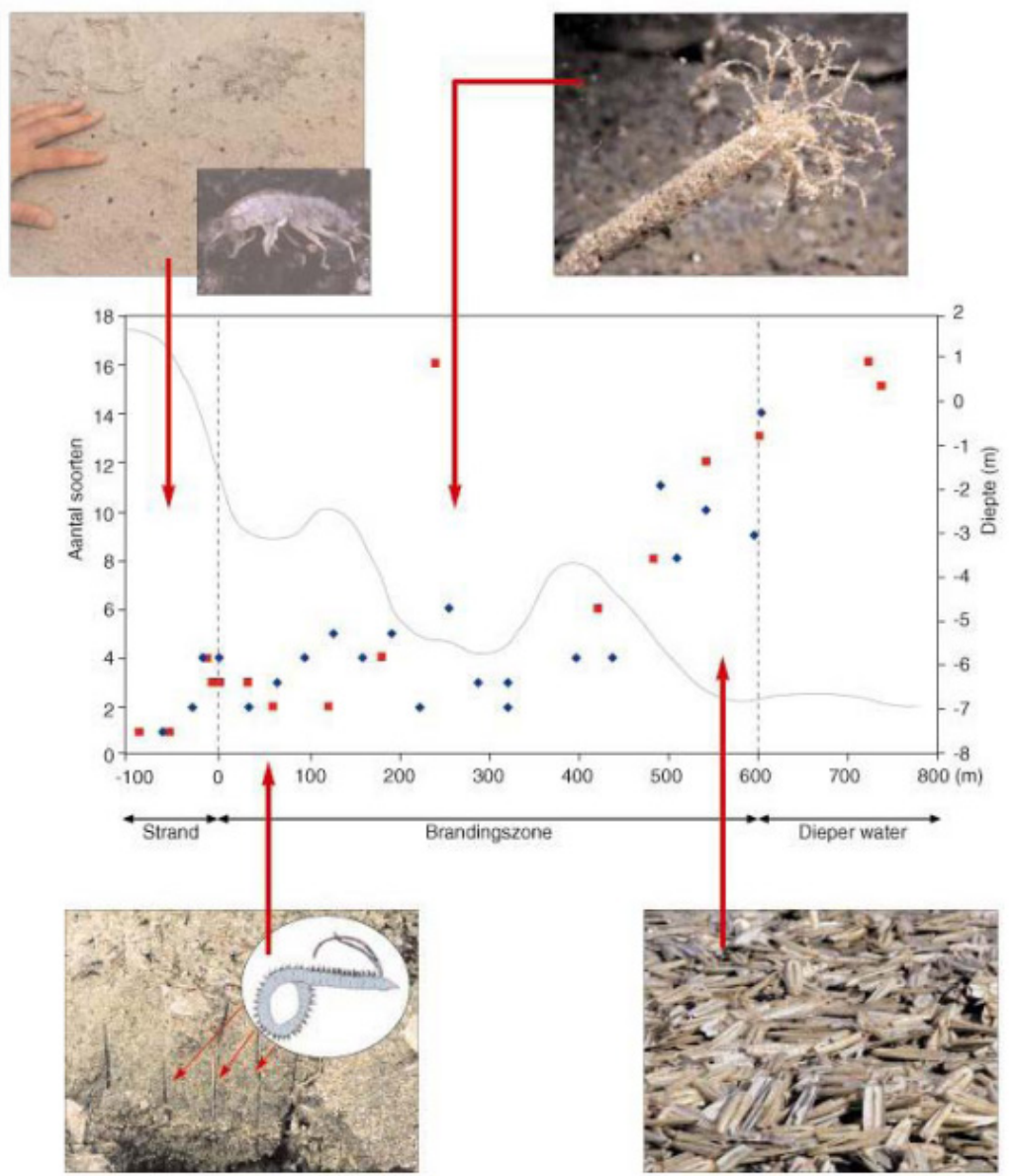
Benthosdiversiteit in de kustzee

Brown & McLachlan (1990) beschreven een gradiënt in het voorkomen van de benthische soortdiversiteit loodrecht op de waterlijn voor een zandige kust (Figuur B1). 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 (Janssen & Mulder, 2004).



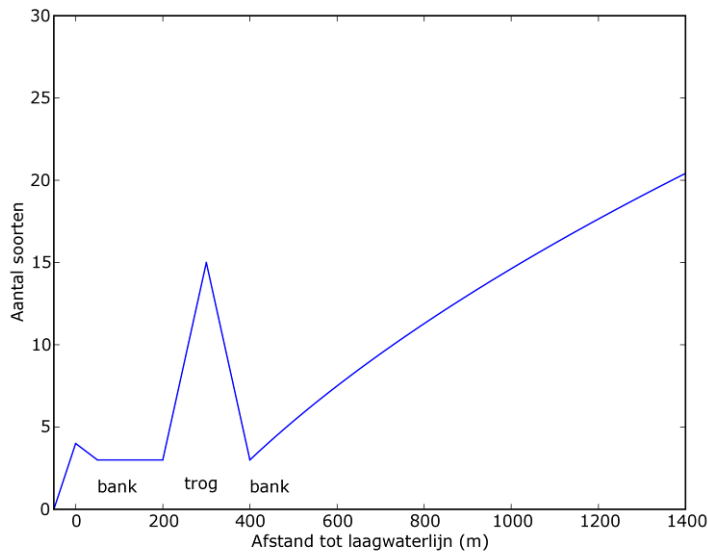
Figuur B1. Relatie tussen het aantal soorten en de afstand vanaf een zandige kust volgens Brown & McLachlan (1990).

Voor de Nederlandse situatie is deze gradiënt ook bepaald voor de locaties Castricum en Egmond door Janssen & Mulder (2004), (Figuur B2). In de trog tussen de brekerbanken in werd alleen in Castricum een hoge diversiteit aan soorten gevonden, maar in beide gevallen een zeer hoge dichtheid aan schelpkokerworm ($>10.000 \text{ m}^{-2}$). In afwijking 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 Dalfsen (2007), die in Ameland een piek in soortdiversiteit en -dichtheid vond in de trog op een waterdiepte van iets meer dan 6 meter. 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 benthos gevonden in dichtheden van zo'n 1.000 per m^2 . Het aantal soorten neemt buiten de buitenste brekerbanken verder toe met de diepte, zoals ook gevonden door Van Dalfsen (2007). Hierbij moet vermeld worden dat deze toename niet blijft doorgaan. Vanaf de -20 m dieptelijn vindt de soortdiversiteit opnieuw een dieptepunt.



Figuur B2. Relatie tussen het aantal soorten en de dichtheid macrobenthos met de diepte op het strand en in de brandingszone nabij Castricum (rode markers) en Egmond (blauwe markers) (0 = laagwaterlijn). Kenmerkende soorten zijn weergegeven: Linksboven: Talitrus saltator – de strandvlo; linksonder: Scolelepis squamata – de gemshoornworm; rechtsboven: Lanice conchilega – de schelpkokerworm; rechtsonder: Ensis directus – de Amerikaanse zwaardschede. Uit: Janssen & Mulder (2004).

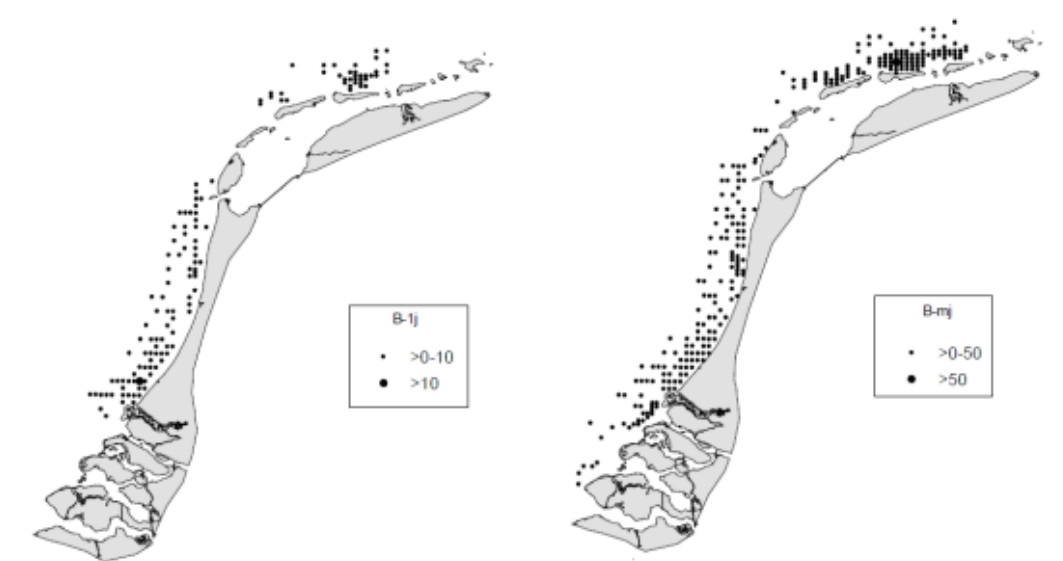
Een generieke curve voor benthische soortdiversiteit gerelateerd aan de afstand tot de laagwaterlijn, tot een afstand van 2 km uit de kust, is afgeleid uit de data van Janssen & Mulder (2004) en Van Dalfts (2007), (Figuur B3). Dit geeft een algemeen beeld voor de Nederlandse kust op plaatsen waar zich brekerbanken bevinden, zoals voor de Hollandse Kust en bij de Waddeneilanden. Het is dus niet geldig voor de Deltakust en ook dient vermeld te worden dat de waarden op de assen (de afstanden en de soortantallen) niet te absoluut genomen moeten worden vanwege lokale verschillen.



Figuur B3. Generieke curve voor soortdiversiteit als functie van afstand van de laagwaterlijn voor delen van de Nederlandse kust met een brekerbankensysteem.

Grote schelpdieren in de kustzee

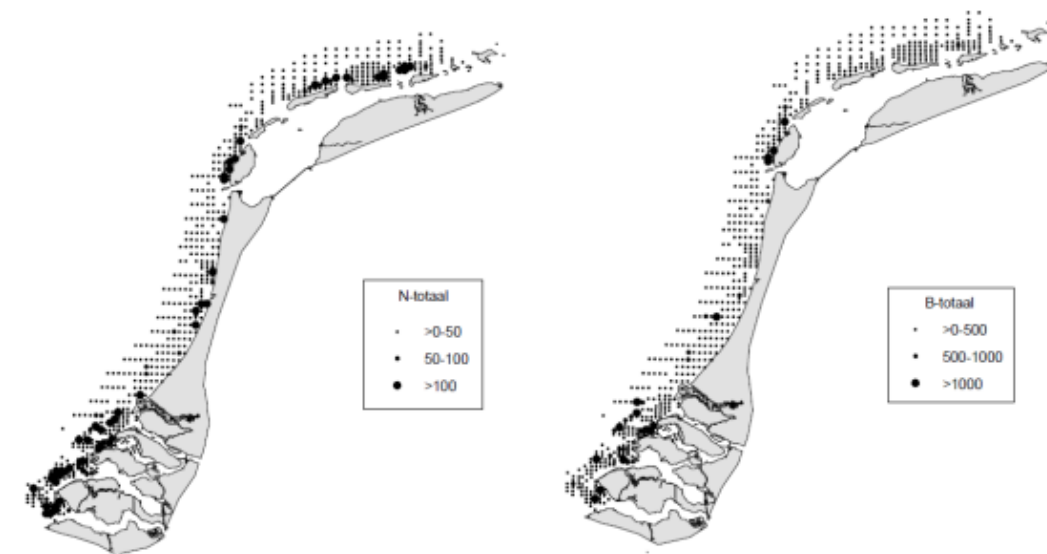
In de Nederlandse kustzee komen verschillende schelpdieren voor. Deze hebben een belangrijke rol in de voedsel生态学 van vissen en vogels. IMARES voert sinds 1995 jaarlijkse schelpdiersurveys uit om de omvang van het bestand te kunnen schatten. Een belangrijk schelpdier was de halfgeknotte strandschelp (*Spisula subtruncata*), dat een belangrijke voedselbron vormt voor o.a. zwarte zee-eenden. Figuur B4 laat de biomassa zien van *Spisula* langs de Nederlandse kust in 2010. Vergeleken met de situatie tussen 1995 en 2001 is de biomassa aan *Spisula* sterk afgenomen. De geschatte totale biomassa in 2010 is 7,7 miljoen kilo versgewicht (Goudswaard *et al.*, 2010). Eind jaren negentig bedroeg het nog enkele honderden miljoenen kilo's. Deze afname is niet het gevolg van de vooroeversuppleties die sinds 2001 intensiever zijn toegepast, maar de exacte oorzaak ervan is nog onbekend (Baptist & Leopold, 2009).



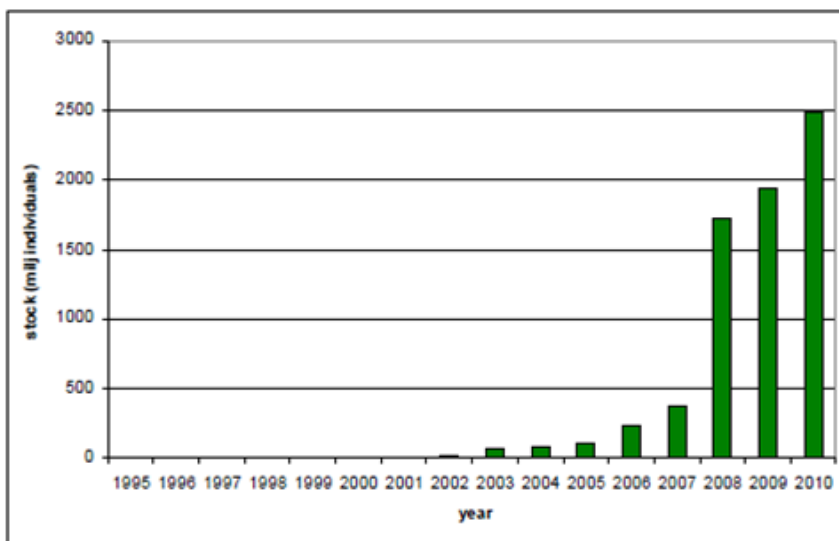
Figuur B4. Biomassa (gram versgewicht per m^2) van 1-jarige *Spisula* (links) en meerjarige *Spisula* (rechts) op de monsterpunten van de jaarlijkse schelpdiersurvey langs de Nederlandse kust in voorjaar 2010. Uit: Goudswaard *et al.*, 2010.

Het belangrijkste schelpdier in de kustzee, in termen van biomassa, is tegenwoordig de *Ensis directus* (Amerikaanse zwaardschede). Figuur B5 toont de dichtheid en biomassa aan *Ensis* langs de Nederlandse kust. Concentratiegebieden voor *Ensis* worden gevonden in de Voordelta en ten noorden van de Waddeneilanden. Het totale bestand aan *Ensis* in 2010 is bepaald op bijna 478,5 miljoen kilogram versgewicht (Goudswaard et al., 2010).

Een soort die sterk in opkomst is, is de otterschelp *Lutraria lutraria*, zie Figuur B6. 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).



Figuur B5. Dichtheid (N - aantal per m^2) en biomassa (B - gram versgewicht per m^2) van *Ensis directus* op de monsterpunten van de jaarlijkse schelpdiersurvey langs de Nederlandse kust in voorjaar 2010. Uit: Goudswaard et al., 2010.



Figuur B6. Het berekende bestand aan Otterschelp (*Lutraria lutraria*) in de Nederlandse kustwateren van 1995 tot 2010. Uit: Goudswaard et al., 2010.

In het kader van kustsuppleties is een relevante vraag wat de dichtheid is aan schelpdieren in de ondiepe kustzee (< 10 m NAP), in de brekerbankenzone. Het onderzoek van Van Dalen (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.

De jaarlijkse schelpdier survey van Wageningen IMARES kent een dertigtal stations die in ondiep water zijn gelegen, in de brekerbankenzone of vlak aan de kustwaartse helling van de buitenste brekerbank. In deze bemonsteringen worden soms hoge dichtheden aangetroffen. Leopold & Baptist (2007) hebben voor hun studie naar de effectketen kustsuppletie → *Spisula* → zee-eenden gekeken naar de dichtheid van *Spisula*-banken in de kustzee. Op basis van vlakdekkende, geïnterpoleerde data concludeerden zij 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 B5) 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 analyse naar de verspreiding van schelpdieren in de kustzee is een aanbeveling voor verder onderzoek.

Vis in de kustzee

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 kinderkamer voor jonge haring, sprot, schol en tong. Vislarven vestigen zich in deze zone en vis groeit in de eerste jaren van hun leven op in het ondiepe water (Teal & Van Keeken, 2011). Uit populatie-dynamische modellen voor platvis is bekend dat er een relatie is tussen het oppervlakte van de kinderkamer en de grootte van de populatie.

De visbestanden in de kustzee worden weliswaar regelmatig bemonsterd door IMARES, maar er is geen zicht op de bestanden van de niet-commerciële soorten zoals grondels of zandspiering, die belangrijke voedselbronnen vormen voor zeevogels. Hetzelfde geldt voor kleine pelagische vis (soorten die (ver) boven de bodem voorkomen zoals jonge haring of sprot). 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 zee-prik.

Effecten van vooroever- en megasuppleties

Een uitgebreide beschouwing van effecten van suppleties is beschreven in Baptist *et al.* (2008) en Holzhauer *et al.* (2009). Onderstaand wordt op enkele deelaspecten nader ingegaan.

Om effecten van suppleties in of nabij Natura 2000-gebieden te schatten dient onderscheid gemaakt te worden tussen habitattypen uit de Habitatrichtlijn die onder en boven water liggen. Het onderwaterhabitat zijn de 'Permanent met zeewater van geringe diepte overstroomde zandbanken' (H1110), en het bovenwaterhabitat 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 gebonden 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 typen vogelsoorten worden hierdoor op verschillende wijze beïnvloed.

Verschillende suppletievormen kennen verschillende effecten voor natuurbeheer:

1. Een megasuppletie kan geheel onder water worden uitgevoerd, waarna morfologische processen een kustwaarts transport van zand zullen bewerkstelligen, leidend tot verbreding van het strand en opstuiven van primaire duinen door eolisch transport.
2. Een megasuppletie kan ook zodanig worden uitgevoerd dat zand in zee wordt aangebracht leidend tot een boven water uitkomende vorm. Deze vorm kan los dan wel vast van het strand worden aangebracht. Op het bovenwatergedeelte 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 onder water 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 permanent onder water zijn verdwenen. De kwaliteit van H1110 wordt, zoals boven gesteld, aangetast. De veranderende morfodynamiek als gevolg van de megasuppletie kan ook de kwaliteit van het habitatype veranderen (positief dan wel negatief). 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 dwergstern. 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 50 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.

Effecten op bodemfauna

Een generieke curve voor soortdiversiteit gerelateerd aan de afstand tot de laagwaterlijn, is gegeven in Figuur B3. Het aanbrengen van een laag zand op de kustwaartse 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. Echter in de ondiepe zone kunnen wel specifieke soorten zitten.

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. De herstelsnelheid van de soortengemeenschap na een ingreep.

Ad 1. Over het algemeen wordt de benthische gemeenschap gekarakteriseerd als relatief soortenarm met een lage dichtheid, gedomineerd door worm-achtigen 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.

Het ecologisch belang van de worm-achtigen in de voedselketen is dat het voedsel vormt voor vissen in de kustzone, bijvoorbeeld voor jonge griet en tarbot, die hier opgroeien.

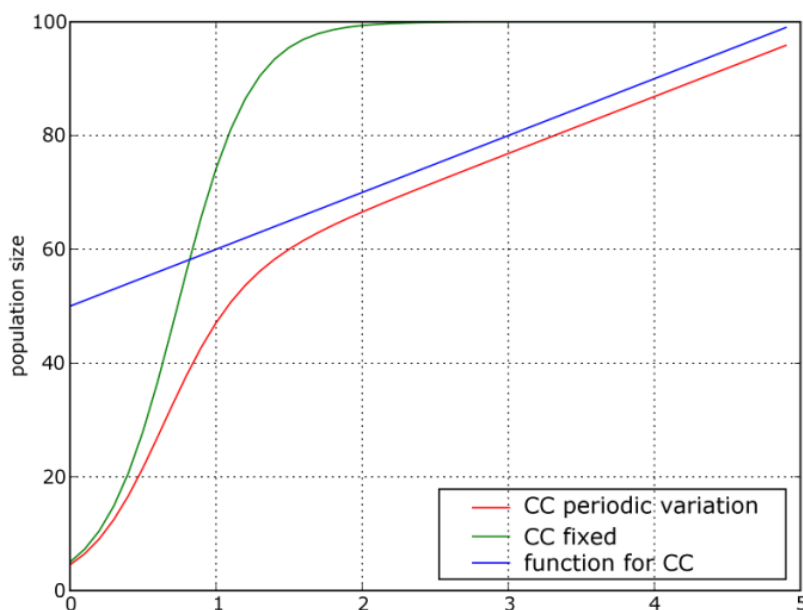
Ad 2. De typische soorten van de ondiepe kustzone worden gekenmerkt als r-strategen. Dit betekent dat ze zich snel voortplanten, niet oud worden en in korte tijd een stabiel populatieniveau vormen dat gelimiteerd wordt door de draagkracht. Populaties van r-strategen worden aangetroffen in dynamische milieus. Hiertegenover staan de K-strategen, die zich langzaam voortplanten en langzamer groeien (maar meestal wel veel groter worden). Bij benthische 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 benthische 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 omdat de omgeving ook eerst moet herstellen.

Met behulp van een eenvoudig model zijn berekeningen uitgevoerd naar het herstel van een populatie na begraving. In geval van een klassieke logistische groeicurve, bij een vaste relatieve specifieke groeisnelheid en draagkracht is de populatie hersteld na twee jaar. In geval van in de tijd verbeterende habitatomstandigheden 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, 2004). Hiermee is echter niet gezegd dat de soortengemeenschap bij megasuppleties na 2 tot 5 jaar weer op het oude niveau (draagkrachtniveau) zit. Het is te verwachten dat de habitatomstandigheden bij megasuppleties drastischer veranderen in vergelijking met de huidige suppleties, zodat de herstelduur toeneemt (Figuur B7).

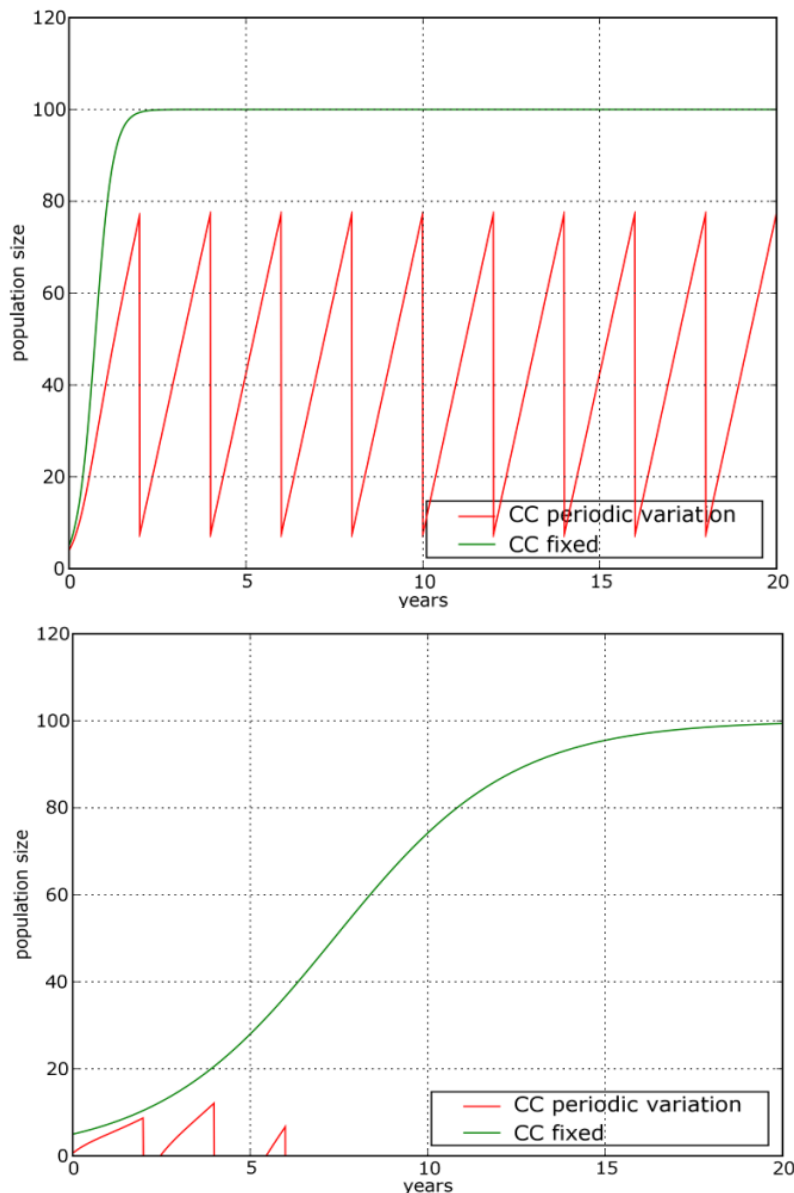


Figuur B7. Groeicurve voor een *r*-strategie bij een stabiele maximale draagkracht (groene lijn) en een in de tijd toenemende draagkracht (rode lijn). De blauwe lijn geeft het niveau van de in de tijd toenemende draagkracht (CC) weer. Populatiegrootte is relatief (procent van de maximale populatiegrootte).

In Figuur 12 (pag. 26) is de herhaalperiode van verschillende typen suppleties weergegeven voor de 120 km lange Hollandse Kust. Bij de huidige wijze van suppleren ligt de herhaalperiode tussen de 2,4 en 10 jaar voor totale volumes tussen 5 en 20 Mm³. 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 Mm³. Wanneer deze hoeveelheid wordt aangebracht als

een onderwater-megasuppletie is de theoretische herhaaltijd hiervan 12 jaar. Echter, de habitatveranderingen bij megasuppleties zijn groter, dus het is niet direct te zeggen dat 12 jaar voldoende is om de soortengemeenschap te laten herstellen. Voor de bovenwater-megasuppletie geldt zelfs dat de oorspronkelijke benthische gemeenschap zich niet herstelt. Immers, er worden nieuwe strandvlakten en duinen aangelegd die boven water uitsteken. Pas wanneer na tientallen jaren de megasuppletie onder water verdwijnt kan herstel van de oorspronkelijke populatie optreden.

In Figuur B8 is weergegeven wat het effect is op een r-strategie en een K-strategie van een tweemaal herhalende kustsuppletie. De r-strategie is niet in staat om tot het maximale niveau te groeien, maar kan het gebied steeds herkoloniseren en toenemen, terwijl de K-strategie verdwijnt.



Figuur B8. Groeicurve voor een r-strategie (boven) en een K-strategie (onder) bij tweemaal herhalende begraving door een suppletie.

Effecten op schelpdieren en zee-eenden

Van groot 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 hoge dichtheden worden gevonden op dieper water buiten de buitenste brekerbank. Waarschijnlijk zijn de uitstralende effecten van een suppletie naar dieper water toe niet groot, dus zolang de suppletie zich op ondiep water (NAP -5 tot -7) bevindt kunnen de effecten meevallen.

Mogelijk dat sommige ontwerpen van megasuppleties in dieper water komen. Dit is potentieel ongunstig voor deze schelpdieren en er zal dus altijd een T0-studie moeten worden uitgevoerd naar de aanwezigheid hiervan. *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. *Lutraria* is sterk in opkomst en bevindt zich voornamelijk bij de Zuid-Hollandse kust. Het verdient aanbeveling de ontwikkeling van *Lutraria* goed te volgen.

Het is niet uitgesloten dat *Spisula* op enig moment in de toekomst weer massaal terugkeert in de Nederlandse kustzone: het bestand heeft ook in het verleden, voor zover kan worden nagegaan, grote schommelingen vertoont. Als daarbij de kustmorfologie en de biologie van *Spisula* niet te zeer verandert, en bovendien de locaties voor suppleties min of meer gelijk blijven aan die van de afgelopen tien jaren, lijkt er weinig risico voor een grote mate van overlap. Wel raken de zones van *Spisula* en suppleties elkaar, dus kleine verschuivingen kunnen in deze relatief grote gevolgen hebben. Daar moet worden bijgevoegd dat ook andere soorten (schelpdieren) 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.

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.

Effecten op vis en visetende vogels

Zandsuppleties kunnen visetende vogels op verschillende manieren beïnvloeden. Lokaal kan een toegenomen troebelheid het foerageersucces beïnvloeden. Vissen, die door het opgespoten zand sterven of tijdelijk gedesoriënteerd 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. Tot slot kan verstoring een rol spelen. Ten aanzien van deze vier mogelijkheden bestaat grote onzekerheid.

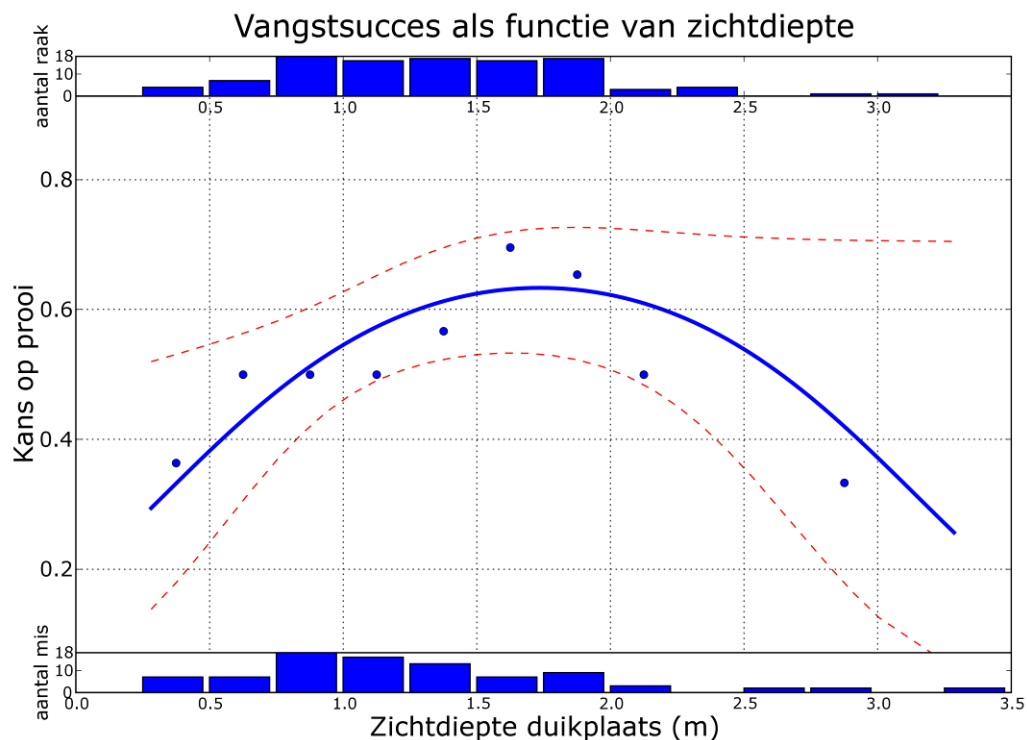
Visgemeenschap

De ondiepe kustzone vervult een belangrijke rol als kinderkamer voor juveniele platvis. Met name de 1-jarigen groeien hier op. Uit populatiedynamische modellen is af te leiden dat de populatiegrootte van platvis schaalt met het oppervlakte van de kinderkamer. Zandsuppleties kunnen bijdragen aan het vergoten van de het geschikte oppervlak. Echter, van de aanwezigheid en de gevoeligheid van vis in de ondiepe kustzee is weinig bekend. Soorten als griet en tarbot voelen zich juist 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 habitatveranderingen en consequenties voor de (juvenile) vispopulaties.

Visetende vogels

Onder de visetende vogels in de Kustzee zijn enkele uitgesproken oogjagers (waarvan de grote stern de meest uitgesproken exponent is), maar ook enkele soorten die uitstekend kunnen vissen in troebel water, zoals de roodkeelduiker. Bij een aantal soorten is minder duidelijk hoe goed ze kunnen omgaan met troebelheid. 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 dezelfde 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) (Figuur B9).



Figuur B9. Vangstsucces als functie van zichtdiepte. De doorgetrokken (blauwe) lijn geeft de vangstsuccescurve gebaseerd op logistische regressie. De gestippelde (rode) lijnen geven het 95% betrouwbaarheidsinterval. De 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).

Aangeslagen vis als makkelijke prooi

Er zijn, voor zover bekend, geen directe waarnemingen van het foerageergedrag van zeevogels tijdens een vooroeverzandsuppletie, zie Figuur 9, pag. 22. Incidentele waarnemingen bij strandsuppleties (Mardik Leopold, IMARES, persoonlijke mededeling) 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.

Verstoring

Met name futen en duikers zijn gevoelig voor verstoring. Wanneer door toenemende suppletiehoeveelheden het aantal sleeppopperzuigers in de Kustzee toeneemt zal deze verstoring een wezenlijke rol kunnen gaan spelen. Er is echter weinig kennis over verstoringafstanden van sleeppopperzuigers.

Bijlage 2 Aanbevelingen voor onderzoek

De volgende onderzoeksvragen zijn van belang voor de soorten en gebieden vallend onder de Vogelrichtlijn en Habitatrichtlijn:

- 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, sprat, schol, tong en zandspiering, of op Habitatrichtlijnsoorten als elft, fint, zeeprik en 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 vis en de beschikbaarheid als prooi voor sterns zoals de grote stern, visdief en dwergstern. Hierbij foerageert de dwergstern aan de laagwaterlijn, de visdief 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 visdief 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 sterns, en de reactie van vis en sterns 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 sleehopperzuigers 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 suppletieactiviteiten op zeehonden via het onderwatergeluid.
- Het is belangrijk cumulatieve effecten van ingrepen in de kustzee op het ecosysteemfunctioneren te identificeren en te kwantificeren. Er wordt hierbij gedacht aan mogelijke cumulatieve effecten van suppleties in combinatie met andere infrastructurale werken op de Noordzee en kustzone, zoals bijvoorbeeld windmolenparken, de 2e Maasvlakte, de opening van de Haringvlietssluis, 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.

Voor de Waddenzee is een aantal aanvullende vragen van belang:

- Hoe zullen suppleties langs de Nederlandse kust het slibtransport langs de kust beïnvloeden en hiermee de slibbalans 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 vervlakking van de plaat, verdwijnen van microstructuren als prielen en homogenisering van de sedimentsamenstelling. 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/slibmengsel 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 Natura 2000-habitattypen (inclusief kwelders) en (vogel)soorten in de Waddenzee?
 - Als mogelijke oplossingsrichting voor het verdrinken van de platen wordt suppletie van de eilanden, de getij-inlaat of de Waddenzee zelf voorgesteld. Suppletie is waarschijnlijk de meest duurzame methode.
 - Stimuleren groei schelpdierriffen op plaatranden is mogelijke alternatieve maatregel om zodoende plaatrand erosie tegen te gaan en sedimentatie op plaat te bevorderen. Dit concept wordt in de Oosterschelde onderzocht en is misschien exporteerbaar naar de Waddenzee.

Verschenen documenten in de reeks Werkdocumenten van de Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu vanaf 2009

Werkdocumenten zijn verkrijgbaar bij het secretariaat van Unit Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, te Wageningen. T 0317 – 48 54 71; F 0317 – 41 90 00; E info.wnm@wur.nl
De werkdocumenten zijn ook te downloaden via de WOt-website www.wotnatuurenmilieu.wur.nl

2009

- 126 *Kamphorst, D.A.* Keuzes in het internationale biodiversiteitsbeleid; Verkenning van de beleids-theorie achter de internationale aspecten van het Beleidsprogramma Biodiversiteit (2008-2011)
- 127 *Dirkx, G.H.P. & F.J.P. van den Bosch.* Quick scan gebruik Catalogus groenblauwe diensten
- 128 *Loeb, R. & P.F.M. Verdonschot.* Complexiteit van nutriëntenlimitaties in oppervlaktewateren
- 129 *Kruit, J. & P.M. Veer.* Herfotografie van landschappen; Landschapsfoto's van de 'Collectie de Boer' als uitgangspunt voor het in beeld brengen van ontwikkelingen in het landschap in de periode 1976-2008
- 130 *Oenema, O., A. Smit & J.W.H. van der Kolk.* Indicatoren Landelijk Gebied; werkwijze en eerste resultaten
- 131 *Agricola, H.J.A.J. van Strien, J.A. Boone, M.A. Dolman, C.M. Goossen, S. de Vries, N.Y. van der Wulp, L.M.G. Groenemeijer, W.F. Lukey & R.J. van Til.* Achtergrond-document Nulmeting Effect-indicatoren Monitor Agenda Vitaal Platteland
- 132 *Jaarrapportage 2008.* WOT-04-001 – Koepel
- 133 *Jaarrapportage 2008.* WOT-04-002 – Onderbouwend Onderzoek
- 134 *Jaarrapportage 2008.* WOT-04-003 – Advisering Natuur & Milieu
- 135 *Jaarrapportage 2008.* WOT-04-005 – M-AVP
- 136 *Jaarrapportage 2008.* WOT-04-006 – Natuurplanbureau functie
- 137 *Jaarrapportage 2008.* WOT-04-007 – Milieuplanbureau functie
- 138 *Jong de, J.J., J. van Os & R.A. Smidt.* Inventarisatie en beheerskosten van landschapselementen
- 139 *Dirkx, G.H.P., R.W. Verburg & P. van der Wielen.* Tegenkrachten Natuur. Korte verkenning van de weerstand tegen aankopen van landbouwgrond voor natuur
- 140 *Annual reports for 2008; Programme WOT-04*
- 141 *Vullings, L.A.E., C. Blok, G. Vonk, M. van Heusden, A. Huisman, J.M. van Linge, S. Keijzer, J. Oldengarm & J.D. Bulens.* Omgaan met digitale nationale beleidskaarten
- 142 *Vreke, J., A.L. Gerritsen, R.P. Kranendonk, M. Pleijte, P.H. Kersten & F.J.P. van den Bosch.* Maatlat Government – Governance
- 143 *Gerritsen, A.L., R.P. Kranendonk, J. Vreke, F.J.P. van den Bosch & M. Pleijte.* Verdrogingsbestrijding in het tijdperk van het Investeringsbudget Landelijk Gebied. Een verslag van casuonderzoek in de provincies Drenthe, Noord-Brabant en Noord-Holland
- 144 *Luesink, H.H., P.W. Blokland, M.W. Hoogeveen & J.H. Wisman.* Ammoniakemissie uit de landbouw in 2006 en 2007
- 145 *Bakker de, H.C.M. & C.S.A. van Koppen.* Draagvlakonderzoek in de steigers. Een voorstudie naar indicatoren om maatschappelijk draagvlak voor natuur en landschap te meten
- 146 *Goossen, C.M.,* Monitoring recreatiegedrag van Nederlanders in landelijke gebieden. Jaar 2006/2007
- 147 *Hoefs, R.M.A., J. van Os & T.J.A. Gies.* Kavelruil en Landschap. Een korte verkenning naar ruimtelijke effecten van kavelruil
- 148 *Klok, T.L., R. Hille Ris Lambers, P. de Vries, J.E. Tamis & J.W.M. Wijsman.* Quick scan model instruments for marine biodiversity policy
- 149 *Spruijt, J., P. Spoorenberg & R. Schreuder.* Milieueffectiviteit en kosten van maatregelen gewasbescherming
- 150 *Ehlert, P.A.I. (rapporteur).* Advies Bemonstering bodem voor differentiatie van fosfaatgebruiksnormen
- 151 *Wulp van der, N.Y.* Storende elementen in het landschap: welke, waar en voor wie? Bijlage bij WOt-paper 1 – Krassen op het landschap
- 152 *Oltmer, K., K.H.M. van Bommel, J. Clement, J.J. de Jong, D.P. Rudrum & E.P.A.G. Schouwenberg.* Kosten voor habitattypen in Natura 2000-gebieden. Toepassing van de methode Kosteneffectiviteit natuurbeleid
- 153 *Adrichem van, M.H.C., F.G. Wortelboer & G.W.W. Wamelink (2010).* MOVE. Model for terrestrial Vegetation. Version 4.0
- 154 *Wamelink, G.W.W., R.M. Winkler & F.G. Wortelboer.* User documentation MOVE4 v 1.0
- 155 *Gies de, T.J.A., L.J.J. Jeurissen, I. Staritsky & A. Bleeker.* Leefomgevingsindicatoren Landelijk gebied. Inventarisatie naar stand van zaken over geurhinder, lichthinder en fijn stof
- 156 *Tamminga, S., A.W. Jongbloed, P. Bikker, L. Sebek, C. van Bruggen & O. Oenema.* Actualisatie excretiecijfers landbouwhuidieren voor forfaits regeling Meststoffenwet
- 157 *Van der Salm, C., L. M. Boumans, G.B.M. Heuvelink & T.C. van Leeuwen.* Protocol voor validatie van het nutriëntenemissiemodel STONE op meetgegevens uit het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid
- 158 *Bouwma, I.M.* Quickscan Natura 2000 en Programma Beheer. Een vergelijking van Programma Beheer met de soorten en habitats van Natura 2000
- 159 *Gerritsen, A.L., D.A. Kamphorst, T.A. Selnes, M. van Veen, F.J.P. van den Bosch, L. van den Broek, M.E.A. Broekmeyer, J.L.M. Donders, R.J. Fontein, S. van Tol, G.W.W. Wamelink & P. van der Wielen.* Dilemma's en barrières in de praktijk van het natuur- en landschapsbeleid; Achtergronddocument bij Natuurbalans 2009
- 160 *Fontein R.J., T.A. de Boer, B. Breman, C.M. Goossen, R.J.H.G. Henkens, J. Luttik & S. de Vries.* Relatie recreatie en natuur; Achtergronddocument bij Natuurbalans 2009
- 161 *Deneer, J.W. & R. Kruijne. (2010).* Atmosferische depositie van gewasbeschermingsmiddelen. Een verkenning van de literatuur verschenen na 2003
- 162 *Verburg, R.W., M.E. Sanders, G.H.P. Dirkx, B. de Knegt & J.W. Kuhlman.* Natuur, landschap en landelijk gebied. Achtergronddocument bij Natuurbalans 2009
- 163 *Doorn van, A.M. & M.P.C.P. Paulissen.* Natuurgericht milieubeleid voor Natura 2000-gebieden in Europees perspectief: een verkenning
- 164 *Smidt, R.A., J. van Os & I. Staritsky.* Samenstellen van landelijke kaarten met landschapselementen, grondeigendom en beheer. Technisch achtergronddocument bij de opgeleverde bestanden

- 165 *Pouwels, R., R.P.B. Foppen, M.F. Wallis de Vries, R. Jochem, M.J.S.M. Reijnen & A. van Kleunen*. Verkenning LARCH: omgaan met kwaliteit binnen ecologische netwerken
- 166 *Born van den, G.J., H.H. Luesink, H.A.C. Verkerk, H.J. Mulder, J.N. Bosma, M.J.C. de Bode & O. Oenema*. Protocol voor monitoring landelijke mestmarkt onder een stelsel van gebruiksnormen, versie 2009
- 167 *Dijk, T.A. van, J.J.M. Driessen, P.A.I. Ehlert, P.H. Hotsma, M.H.M.M. Montforts, S.F. Plessius & O. Oenema*. Protocol beoordeling stoffen Meststoffenwet- Versie 2.1
- 168 *Smits, M.J., M.J. Bogaardt, D. Eaton, A. Karbauskas & P. Roza*. De vermaatschappelijking van het Gemeenschappelijk Landbouwbeleid. Een inventarisatie van visies in Brussel en diverse EU-lidstaten
- 169 *Vreke, J. & I.E. Salverda*. Kwaliteit leefomgeving en stedelijk groen
- 170 *Hengsdijk, H. & J.W.A. Langeveld*. Yield trends and yield gap analysis of major crops in the World
- 171 *Horst, M.M.S. ter & J.G. Groenwold*. Tool to determine the coefficient of variation of DegT50 values of plant protection products in water-sediment systems for different values of the sorption coefficient
- 172 *Boons-Prins, E., P. Leffelaar, L. Bouman & E. Stehfest (2010)*. Grassland simulation with the LPJmL model
- 173 *Smit, A., O. Oenema & J.W.H. van der Kolk*. Indicatoren Kwaliteit Landelijk Gebied
- 2010**
- 174 *Boer de, S., M.J. Bogaardt, P.H. Kersten, F.H. Kistenkas, M.G.G. Neven & M. van der Zouwen*. Zoektocht naar nationale beleidsruimte in de EU-richtlijnen voor het milieu- en natuurbeleid. Een vergelijking van de implementatie van de Vogel- en Habitatrichtlijn, de Kaderrichtlijn Water en de Nitraatrichtlijn in Nederland, Engeland en Noordrijn-Westfalen
- 175 *Jaarrapportage 2009*. WOT-04-001 – Koepel
- 176 *Jaarrapportage 2009*. WOT-04-002 – Onderbouwend Onderzoek
- 177 *Jaarrapportage 2009*. WOT-04-003 – Advisering Natuur & Milieu
- 178 *Jaarrapportage 2009*. WOT-04-005 – M-AVP
- 179 *Jaarrapportage 2009*. WOT-04-006 – Natuurplanbureauafunctie
- 180 *Jaarrapportage 2009*. WOT-04-007 – Milieuplanbureauafunctie
- 181 *Annual reports for 2009*; Programme WOT-04
- 182 *Oenema, O., P. Bikker, J. van Harn, E.A.A. Smolders, L.B. Sebek, M. van den Berg, E. Stehfest & H. Westhoek*. Quickscan opbrengsten en efficiëntie in de gangbare en biologische akkerbouw, melkveehouderij, varkenshouderij en pluimveehouderij. Deelstudie van project 'Duurzame Eiwitvoorziening'
- 183 *Smits, M.J.W., N.B.P. Polman & J. Westerink*. Uitbreidingsmogelijkheden voor groene en blauwe diensten in Nederland; Ervaringen uit het buitenland
- 184 *Dirkx, G.H.P. (red.)*. Quick responsefunctie 2009. Verslag van de werkzaamheden
- 185 *Kuhlman, J.W., J. Luijt, J. van Dijk, A.D. Schouten & M.J. Voskuilen*. Grondprijkskaarten 1998-2008
- 186 *Slangen, L.H.G., R.A. Jongeneel, N.B.P. Polman, E. Lianouridis, H. Leneman & M.P.W. Sonneveld*. Rol en betekenis van commissies voor gebiedsgericht beleid
- 187 *Temme, A.J.A.M. & P.H. Verburg*. Modelling of intensive and extensive farming in CLUE
- 188 *Vreke, J.* Financieringsconstructies voor landschap
- 189 *Slangen, L.H.G.* Economische concepten voor beleidsanalyse van milieu, natuur en landschap
- 190 *Knotters, M., G.B.M. Heuvelink, T. Hoogland & D.J.J. Walvoort*. A disposition of interpolation techniques
- 191 *Hoogeveen, M.W., P.W. Blokland, H. van Kernebeek, H.H. Luesink & J.H. Wisman*. Ammoniakemissie uit de landbouw in 1990 en 2005-2008
- 192 *Beekman, V., A. Pronk & A. de Smet*. De consumptie van dierlijke producten. Ontwikkeling, determinanten, actoren en interventies.
- 193 *Polman, N.B.P., L.H.G. Slangen, A.T. de Blaeij, J. Vader & J. van Dijk*. Baten van de EHS; De locatie van recreatiebedrijven
- 194 *Veeneklaas, F.R. & J. Vader*. Demografie in de Natuurverkenning 2011; Bijlage bij WOT-paper 3
- 195 *Wascher, D.M., M. van Eupen, C.A. Mûcher & I.R. Geijzendorffer*. Biodiversity of European Agricultural landscapes. Enhancing a High Nature Value Farmland Indicator
- 196 *Apeldoorn van, R.C., I.M. Bouwma, A.M. van Doorn, H.S.D. Naeff, R.M.A. Hoefs, B.S. Elbersen & B.J.R. van Rooij*. Natuurgebieden in Europa: bescherming en financiering
- 197 *Brus, D.J., R. Vasat, G. B. M. Heuvelink, M. Knotters, F. de Vries & D. J. J. Walvoort*. Towards a Soil Information System with quantified accuracy; A prototype for mapping continuous soil properties
- 198 *Groot, A.M.E. & A.L. Gerritsen, m.m.v. M.H. Borgstein, E.J. Bos & P. van der Wielen*. Verantwoording van de methodiek Achtergronddocument bij 'Kwalitatieve monitor Systeeminnovaties verduurzaming landbouw'
- 199 *Bos, E.J. & M.H. Borgstein*. Monitoring Gesloten voer-mest kringlopen. Achtergronddocument bij 'Kwalitatieve monitor Systeeminnovaties verduurzaming landbouw'
- 200 *Kennismarkt 27 april 2010*; Van onderbouwend onderzoek Wageningen UR naar producten Planbureau voor de Leefomgeving
- 201 *Wielen van der, P.* Monitoring Integrale duurzame stallen. Achtergronddocument bij 'Kwalitatieve monitor Systeeminnovaties verduurzaming landbouw'
- 202 *Groot, A.M.E. & A.L. Gerritsen*. Monitoring Functionele agrobiodiversiteit. Achtergronddocument bij 'Kwalitatieve monitor Systeeminnovaties verduurzaming landbouw'
- 203 *Jongeneel, R.A. & L. Ge*. Farmers' behavior and the provision of public goods: Towards an analytical framework
- 204 *Vries, S. de, M.H.G. Custers & J. Boers*. Storende elementen in beeld; de impact van menselijke artefacten op de landschapsbeleving nader onderzocht
- 205 *Vader, J. J.L.M. Donders & H.W.B. Bredenoord*. Zicht op natuur- en landschapsorganisaties; Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011
- 206 *Jongeneel, R.A., L.H.G. Slangen & N.B.P. Polman*. Groene en blauwe diensten; Een raamwerk voor de analyse van doelen, maatregelen en instrumenten
- 207 *Letourneau, A.P., P.H. Verburg & E. Stehfest*. Global change of land use systems; IMAGE: a new land allocation module
- 208 *Heer, M. de*. Het Park van de Toekomst. Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011
- 209 *Knotters, M., J. Lahr, A.M. van Oosten-Siedlecka & P.F.M. Verdonschot*. Aggregation of ecological indicators for mapping aquatic nature quality. Overview of existing methods and case studies

- 210 *Verdonschot, P.F.M. & A.M. van Oosten-Siedlecka.* Graadmeters Aquatische natuur. Analyse gegevenskwaliteit Limnodata
- 211 *Linderhof, V.G.M. & H. Leneman.* Quickscan kosteneffectiviteitsanalyse aquatische natuur
- 212 *Leneman, H., V.G.M. Linderhof & R. Michels.* Mogelijkheden voor het inbrengen van informatie uit de 'KRW database' in de 'KE database'
- 213 *Schrijver, R.A.M., A. Corporaal, W.A. Ozinga & D. Rudrum.* Kosteneffectieve natuur in landbouwgebieden; Methode om effecten van maatregelen voor de verhoging van biodiversiteit in landbouwgebieden te bepalen, een test in twee gebieden in Noordost-Twente en West-Zeeuws-Vlaanderen
- 214 *Hoogland, T., R.H. Kemmers, D.G. Cirkel & J. Hunink.* Standplaatsfactoren afgeleid van hydrologische model uitkomsten; Methode-ontwikkeling en toetsing in het Drentse Aa-gebied
- 215 *Agricola, H.J., R.M.A. Hoefs, A.M. van Doorn, R.A. Smidt & J. van Os.* Landschappelijke effecten van ontwikkelingen in de landbouw
- 216 *Kramer, H., J. Oldengarm & L.F.S. Roupioz.* Nederland is groener dan kaarten laten zien; Mogelijkheden om 'groen' beter te inventariseren en monitoren met de automatische classificatie van digitale luchtfoto's
- 217 *Raffe, J.K. van, J.J. de Jong & G.W.W. Wamelink (2011).* Scenario's voor de kosten van natuurbeheer en stikstofdepositie; Kostenmodule v 1.0 voor de Natuurplanner
- 218 *Hazeu, G.W., Kramer, H., J. Clement & W.P. Daamen (2011).* Basiskaart Natuur 1990rev
- 219 *Boer, T.A. de.* Waardering en recreatief gebruik van Nationale Landschappen door haar bewoners
- 220 *Leneman, H., A.D. Schouten & R.W. Verburg.* Varianten van natuurbeleid: voorbereidende kostenberekeningen; Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011
- 221 *Knegt, B. de, J. Clement, P.W. Goedhart, H. Sierdsema, Chr. van Swaay & P. Wiersma.* Natuurkwaliteit van het agrarisch gebied
- 2011**
- 222 *Kamphorst, D.A. & M.M.P. van Oorschot.* Kansen en barrières voor verduurzaming van houtketens
- 223 *Salm, C. van der & O.F. Schoumans.* Langetermijneffecten van verminderde fosfaatgiften
- 224 *Bikker, P., M.M. van Krimpen & G.J. Rimmelink.* Stikstof-verteerbaarheid in voeders voor landbouwhuisdieren; Berekeningen voor de TAN-excretie
- 225 *M.E. Sanders & A.L. Gerritsen (red.).* Het biodiversiteitsbeleid in Nederland werkt. Achtergronddocument bij Balans van de Leefomgeving 2010
- 226 *Bogaart, P.W., G.A.K. van Voorn & L.M.W. Akkermans.* Evenwichtsanalyse modelcomplexiteit; een verkennende studie
- 227 *Kleunen A. van, K. Koffijberg, P. de Boer, J. Nienhuis, C.J. Camphuysen, H. Schekkerman, K.H. Oosterbeek, M.L. de Jong, B. Ens & C.J. Smit (2010).* Broedsucces van kustbroedvogels in de Waddenzee in 2007 en 2008
- 228 *Salm, C. van der, L.J.M. Boumans, D.J. Brus, B. Kempen & T.C van Leeuwen.* Validatie van het nutriëntenemissiemodel STONE met meetgegevens uit het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM) en de Landelijke Steekproef Kaarteenheden (LSK).
- 229 *Dijkema, K.S., W.E. van Duin, E.M. Dijkman, A. Nicolai, H. Jongerius, H. Keegstra, L. van Egmond, H.J. Venema & J.J. Jongsma.* Vijftig jaar monitoring en beheer van de Friese en Groninger kwelderwerken: 1960-2009
- 230 *Jaarrapportage 2010.* WOT-04-001 – Koepel
- 231 *Jaarrapportage 2010.* WOT-04-002 – Onderbouwend Onderzoek
- 232 *Jaarrapportage 2010.* WOT-04-003 – Advisering Natuur & Milieu
- 233 *Jaarrapportage 2010.* WOT-04-005 – M-AVP
- 234 *Jaarrapportage 2010.* WOT-04-006 – Natuurplanbureauafunctie
- 235 *Jaarrapportage 2010.* WOT-04-007 – Milieuplanbureauafunctie
- 236 *Arnouts, R.C.M. & F.H. Kistenkas.* Nederland op slot door Natura 2000: de discussie ontrafeld; Bijlage bij Wot-paper 7 – De deur klemt
- 237 *Harms, B. & M.M.M. Overbeek.* Bedrijven aan de slag met natuur en landschap; relaties tussen bedrijven en natuurorganisaties. Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011
- 238 *Agricola, H.J. & L.A.E. Vullings.* De stand van het platteland 2010. Monitor Agenda Vitaal Platteland; Rapportage Midterm meting Effectindicatoren
- 239 *Klijn, J.A.* Wisselend getij. Omgang met en beleid voor natuur en landschap in verleden en heden; een essayistische beschouwing. Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011
- 240 *Corporaal, A., T. Denters, H.F. van Dobben, S.M. Hennekens, A. Klimkowska, W.A. Ozinga, J.H.J. Schaminée & R.A.M. Schrijver.* Stenoeciteit van de Nederlandse flora. Een nieuwe parameter op grond van ecologische amplitudo's van de Nederlandse plantensoorten en toepassingsmogelijkheden
- 241 *Wamelink, G.W.W., R. Jochem, J. van der Gref, C. Grashof-Bokdam, R.M.A. Wegman, G.J. Franke & A.H. Prins.* Het plantendispersiemodel DIMO. Ter verbetering van de modellering in de Natuurplanner (werktitel)
- 242 *Klimkowska, A., M.H.C. van Adrichem, J.A.M. Jansen & G.W.W. Wamelink.* Bruikbaarheid van WNK-monitoringgegevens voor EC-rapportage voor Natura 2000-gebieden. Eerste fase
- 243 *Goossen, C.M., R.J. Fontein, J.L.M. Donders & R.C.M. Arnouts.* Mass Movement naar recreatieve gebieden; Overzicht van methoden om bezoekersaantallen te meten
- 244 *Spruijt, J., P.M. Spoorenberg, J.A.J.M. Rovers, J.J. Slabbekoorn, S.A.M. de Kool, M.E.T. Vlaswinkel, B. Heijne, J.A. Hiemstra, F. Nouwens & B.J. van der Sluis.* Milieueffecten van maatregelen gewasbescherming
- 245 *Walker, A.N. & G.B. Woltjer.* Forestry in the Magnet model.
- 246 *Hoefnagel, E.W.J., F.C. Buisman, J.A.E. van Oostenbrugge & B.I. de Vos.* Een duurzame toekomst voor de Nederlandse visserij. Toekomstscenario's 2040
- 247 *Buurma, J.S. & S.R.M. Janssens.* Het koor van adviseurs verdient een dirigent. Over kennisverspreiding rond phytophthora in aardappelen
- 248 *Verburg, R.W., A.L. Gerritsen & W. Nieuwenhuizen.* Natuur meekoppelen in ruimtelijke ontwikkeling: een analyse van sturingsstrategieën voor de Natuurverkenning. Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011
- 249 *Kooten, T. van & T.C. Klok.* The Mackinson-Daskalov North Sea EcoSpace model as a simulation tool for spatial planning scenarios
- 250 *Bruggen van, C., C.M. Groenestein, B.J. de Haan, M.W. Hoogeveen, J.F.M. Huijsmans, S.M. van der Sluis & G.L. Velthof.* Ammoniakemissie uit dierlijke mest en kunstmest 1990-2008. Berekend met het Nationaal Emissiemodel voor Ammoniak (NEMA)

- 251 *Bruggen van, C., C.M. Groenestein, B.J. de Haan, M.W. Hoogeveen, J.F.M. Huijsmans, S.M. van der Sluis & G.L. Velthof.* Ammoniakemissie uit dierlijke mest en kunstmest in 2009. Berekend met het Nationaal Emissiemodel voor Ammoniak (NEMA)
- 252 *Randen van, Y., H.L.E. de Groot & L.A.E. Vullings.* Monitor Agenda Vitaal Platteland vastgelegd. Ontwerp en implementatie van een generieke beleidsmonitor
- 253 *Agricola, H.J., R. Reijnen, J.A. Boone, M.A. Dolman, C.M. Goossen, S. de Vries, J. Roos-Klein Lankhorst, L.M.G. Groenmeijer & S.L. Deijl.* Achtergronddocument Midterm meting Monitor Agenda Vitaal Platteland
- 254 *Buiteveld, J. S.J. Hiemstra & B. ten Brink.* Modelling global agrobiodiversity. A fuzzy cognitive mapping approach
- 255 *Hal van R., O.G. Bos & R.G. Jak.* Noordzee: systeemdynamiek, klimaatverandering, natuurtypen en benthos. Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011
- 256 *Teal, L.R..* The North Sea fish community: past, present and future. Background document for the 2011 National Nature Outlook
- 257 *Leopold, M.F., R.S.A. van Bemmelen & S.C.V. Geelhoed.* Zeevogels op de Noordzee. Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011
- 258 *Geelhoed, S.C.V. & T. van Polanen Petel.* Zeezoogdieren op de Noordzee. Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011
- 259 *Kuijs, E.K.M. & J. Steenbergen.* Zoet-zoutovergangen in Nederland; stand van zaken en kansen voor de toekomst. Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011
- 260 *Baptist, M.J.* Zachte kustverdediging in Nederland; scenario's voor 2040. Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011
- 261 *Wiersinga, W.A., R. van Hal, R.G. Jak & F.J. Quirjns.* Duurzame kottervisserij op de Noordzee. Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011
- 262 *Wal J.T. van der & W.A. Wiersinga.* Ruimtegebruik op de Noordzee en de trends tot 2040. Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011
- 263 *Wiersinga, W.A. J.T. van der Wal, R.G. Jak & M.J. Baptist.* Vier kijkrichtingen voor de mariene natuur in 2040. Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011
- 264 *Bolman, B.C. & D.G. Goldsborough.* Marine Governance. Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011
- 265 *Bannink, A.* Methane emissions from enteric fermentation in dairy cows, 1990-2008; Background document on the calculation method and uncertainty analysis for the Dutch National Inventory Report on Greenhouse Gas Emissions
- 266 *Wyngaert, I.J.J. van den, P.J. Kuikman, J.P. Lesschen, C.C. Verwer & H.H.J. Vreuls.* LULUCF values under the Kyoto Protocol; Background document in preparation of the National Inventory Report 2011 (reporting year 2009)