

Zand erover

Vier scenario's voor zachte kustverdediging

Martin Baptist & Wim Wiersinga

Onder invloed van klimaatverandering en zeespiegelstijging is het thema 'kustveiligheid' en de aanpak van onze kustverdediging weer actueel. De vraag rijst of met de voorspelde zeespiegelstijging veel meer zand op de kust gesuppleerd moet worden en zo ja op welke manier en wat zullen de effecten daarvan zijn? Voor de Natuurverkenning 2011 zijn daarom vier scenario's voor de kustverdediging ontwikkeld. Voor ieder scenario is op basis van expert judgement uitgewerkt hoe de natuur van de kustzee er in 2040 uit kan zien. Met een model voor de omvang van de suppleties, de herhaalperiode van de suppleties en de hersteltijden van de kustzee is aangegeven welke aanpak ecologisch duurzaam is.

De zandige kustzee

De Nederlandse kust (fig. 1) is ongeveer 430 km lang, waarvan 350 km bestaat uit een zandige kust (Janssen & Mulder, 2004). De zandige ondiepe kustzee is een dynamisch morfologisch systeem bestaande uit zandbanken, troggen (de diepten tussen de banken) en muiën (de geulen tussen zandbanken waardoor het water naar zee stroomt), die gevormd worden door de getijstrooming en golfwerking. De golven en het getij zorgen voor de aanvoer van sediment voor de kustopbouw, van nutriënten en van (vis)larven en eieren van een groot aantal soorten ongewervelde dieren. Dankzij de hoge primaire productie in de ondiepe kustzee komen hier hoge dichtheden vissen en ongewervelden voor. Van 18 vissoorten is bekend dat ze alleen voorkomen in ondiepe gedeelten van de Noordzee en voor Kabeljauw (*Gadus morhua*), Wijting (*Merlangius merlangus*), Steenbolke (*Trisopterus luscus*) en verschillende platvissoorten is de kustzee een belangrijke kinderkamer (van Berkel et al., 2002). De kustzee is een belangrijk foerageergebied voor de Aalscholver (*Phalacrocorax carbo*), verschillende soorten sterns, meeuwen en zeehonden en voor grote aantallen overwinterende en doortrekkende Roodkeelduikers (*Gavia stellata*), Zwarte zee-eenden (*Melanitta nigra*), Eider-

eenden (*Somateria mollissima*), Futen (*Podiceps cristatus*), Dwergmeeuwen (*Hydrocoloeus minutus*), sterns en jagers (Leopold et al., 2011). De ondiepe kustzee is hierdoor een belangrijk biotoop; de Zuidwestelijke Delta, de Hollandse kust ten noorden van Bergen en de Waddenzee zijn aangewezen als speciale beschermingszone voor Natura 2000 (fig. 1).

De bodemfauna

De bodemfauna vormt de schakel tussen de primaire productie en de hogere trofische niveaus. De bodemorganismen van de ondiepe kustzee zijn ingesteld op het dynamische milieu waarbij de bovenste laag van het zand regelmatig

wordt omgewoeld door golfwerking en waar organisch materiaal slechts sporadisch tot bezinking komt. Deze fauna wordt echter wel beïnvloed door kustverdediging met zandsuppleties, omdat het aanbrengen van een laag zand lokaal al het bodemleven zal begraven. De soortdiversiteit van de bodemfauna is gerelateerd aan de diepte (fig. 2; Brown & McLachlan, 1990; van Dalen, 2007; Janssen & Mulder, 2004). Tot een diepte van zo'n 12 m onder NAP kan als stelregel worden gehanteerd 'hoe verder van de kust hoe hoger de soortdiversiteit'. In de wat rustiger troggen tussen de zandbanken, waar meer aanbod van organisch materiaal is, is de dichtheid en soortdiversiteit hoger. Hier kunnen grote aantallen van habitatstructurerende soorten als Schelpkokerworm worden aangetroffen. Over het algemeen wordt de bodemgemeenschap van de ondiepe kustzee gekarakteriseerd als relatief soortenarm met een lage dichtheid. Desalniettemin worden er zo'n 80 soorten aangetroffen (Wijsman & Verduin, 2011). De fauna in het sediment wordt gedomineerd door wormen als de Gemshoornworm (*Scololepis squamata*) en de Schelpkokerworm (*Janicea conchilega*). Daarnaast vinden we tweekleppigen zoals Amerikaanse zwaardschede (*Ensis directus*), strandschelpen (*Spisula* sp.) en Witte dun-schaal (*Abra alba*), alsmede kreeftachtigen als Zandvlokreeft (*Haustorius arenarius*) en Knipsprietkreeftje (*Bathyporeia* sp.). De epifauna (dieren die leven op het sediment) wordt gedomineerd door Gewone garnaal (*Crangon crangon*), Strandkrab (*Carcinus maenas*), Gewone slangster (*Ophiura ophiura*) en Zeeklit (*Echinocardium cordatum*) (Janssen & Mulder, 2004).

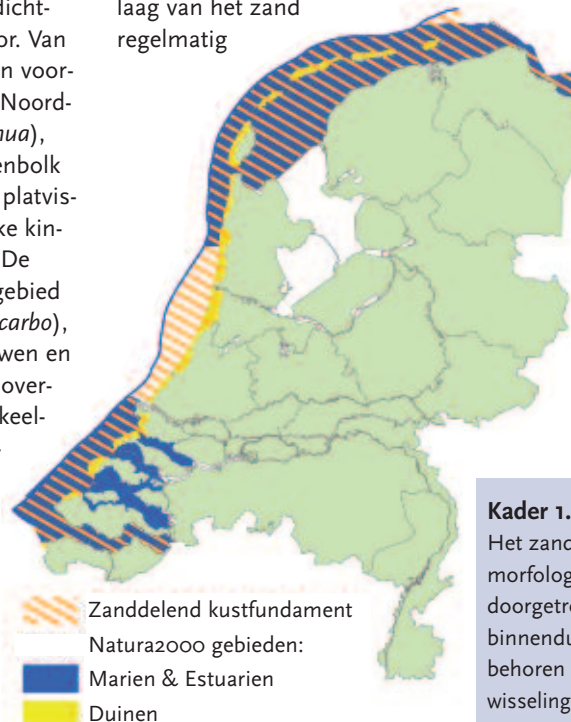


Fig. 1. De Nederlandse kust met het kustfundament en de Natura 2000 gebieden.

Kader 1. Zanddelend kustfundament

Het zanddelend kustfundament bevat al het (bij stormen) morfologisch actieve zand en is in zee begrensd door de doorgetrokken -20 m NAP lijn en op het land door de binnenduinrand. De Westerschelde en de Waddenzee behoren tot het zanddelend kustfundament, omdat uitwisseling van sediment met de Noordzee plaatsvindt (fig.1).



Foto 1. Bij een strandsuppletie wordt met bulldozers het opgespoten zand over het strand verdeeld (foto: Martin Baptist, IMARES).

Zachte kustverdediging

De erosie van onze kust is met de stijgende zeespiegel al duizenden jaren een natuurlijk gegeven. Sinds de eerste Kustnota van 1990 wordt de achteruitgang van de kustlijn bestreden met 'zachte' maatregelen door middel van zandsuppleties (Janssen & Rozemeijer, 2009). Het kustverdedigingsbeleid is gebaseerd op het principe 'dynamisch handhaven' om met zand uit zee de 'basiskustlijn' (BKL) op zijn plaats te houden. Vanaf 2001 is het beleid om ook het zogenoemde 'zanddelend kustfundament' (kader 1) te laten meegroeien met de zeespiegelstijging.

Alleen in het uiterste geval wordt de kust met harde constructies vastgelegd, omdat gebleken is dat harde verdedigingen zeer kostbaar zijn, want tot hoge onderhoudskosten leiden.

Sinds 2001 wordt gemiddeld 12 miljoen m³ zand per jaar gesuppleerd. In het begin van de jaren '90 vonden meestal strandsuppleties plaats (foto 1), maar deze zijn relatief duur en leverden overlast op voor recreanten. Daarom wordt tegenwoordig het zand in zee op de vooroever van het bedreigde kustvak gesuppleerd (foto 2).

Het zand wordt aangebracht op de zee-waartse helling van de buitenste zandbank, op een afstand van 500 tot 1000 m van de kust en een diepte van ongeveer -5 tot -8 m NAP (de Ronde, 2008). Hierdoor worden de aanrollende golven gebroken en is het zand beschikbaar voor de opbouw van strand en duinen. Deze methode, gebaseerd op natuurlijke processen van wind, stroming en golven, is bij uitstek geschikt voor 'adaptief beheer': door monitoring van de ligging van de kustlijn en de mate van zeespiegelstijging kan flexibel worden ingespeeld op veranderende omstandigheden door de locaties, volumes en methoden op maat aan te passen. Het beleid van de afgelopen decennia heeft erin geresulteerd dat het aantal overschrijdingen van de basiskustlijn aanzienlijk is gereduceerd (fig. 3). De aanpak past ook goed bij de natuur van de droge kust die gebaat is bij een regelmatige verjonging door afslag en aangroei van de kust. Recent is een nieuw type suppletie ontwikkeld: 'de megasuppletie'. De aanleiding is te onderzoeken of kustsuppleties duurzamer en natuurlijker kunnen worden uitgevoerd. De Zandmotor voor de kust van Ter Heijde is een eerste experiment (www.dezandmotor.nl). Als de voordelen terecht blijken te zijn, is het te verwachten

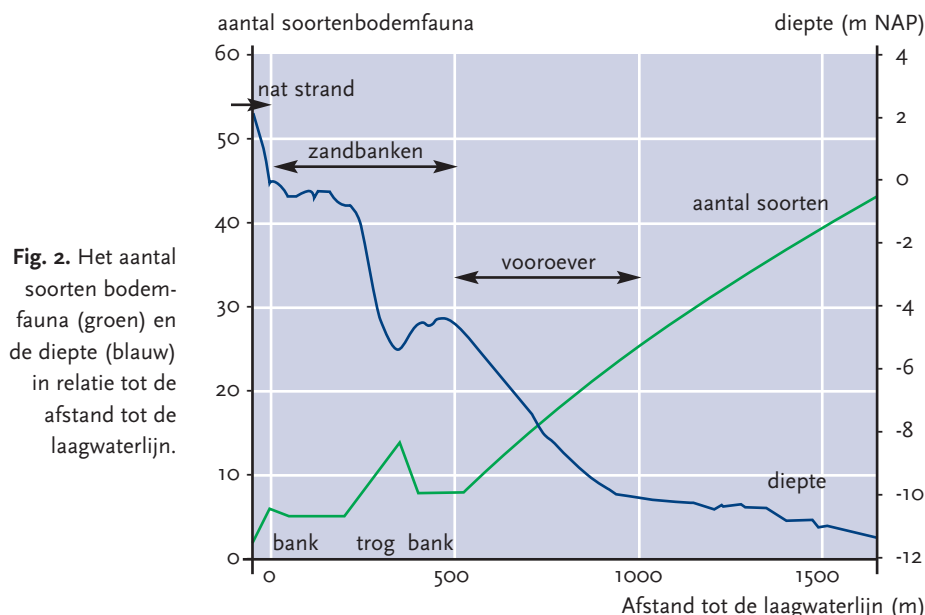
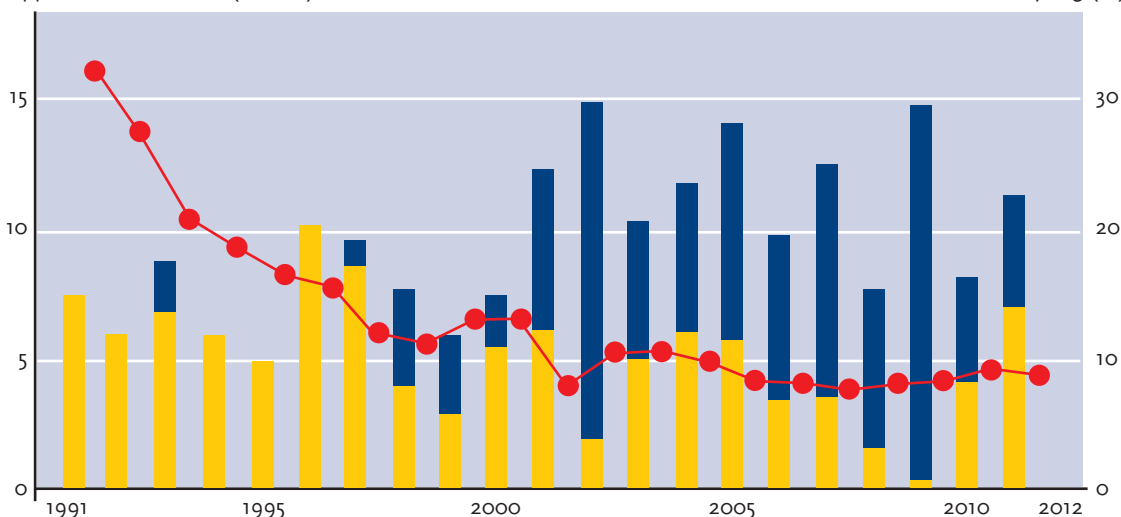


Fig. 2. Het aantal soorten bodemfauna (groen) en de diepte (blauw) in relatie tot de afstand tot de laagwaterlijn.

Fig. 3. Volume aan suppleties langs de Nederlandse kust en percentage overschrijdingen van de basiskustlijn (BKL).
*Verwachte realisatie t/m december 2011.
Exclusief Zandmotor.
(Rijkswaterstaat, 2011).



dat megasuppleties in de toekomst vaker zullen worden toegepast. In tabel 1 zijn op hoofdlijnen de verschillen aangegeven tussen een vooroeversuppletie en een 'megasuppletie'. Het volume van een megasuppletie is veel groter, maar dit volume wordt op een veel kleiner oppervlak van de kust aangebracht. Het gesuppleerde zand zal in een periode van meer dan 20 jaar geleidelijk door natuurlijke processen op de kust worden gebracht. Op de locatie van de megasuppletie is door de verandering van een ondiepe kustzee naar strand en duin het directe effect op de bodemfauna weliswaar groot, maar de hypothese is dat er minder effect optreedt elders in de kustzee.

Aanbevelingen Deltacommissie

De zeespiegelstijging bedroeg de afgelopen decennia ongeveer 2-3 mm/jaar. Voor iedere millimeter zeespiegelstijging is 7 miljoen m^3 zand nodig om het 7000 km^2 grote zanddelend kustfundament mee te laten groeien en dus is jaarlijks 14 tot 21 Mm^3 zand nodig om deze zeespiegelstijging bij te houden. In 2008 heeft de 'Deltacommissie' onder leiding van Cees Veerman een advies uitgebracht over de gevolgen van de zeespiegelstijging voor onze kustveiligheid en de toekomst van de kustverdediging (Commissie Veerman, 2008). De commissie gaat uit van aannemen die leiden tot een versnelde zeespiegelstijging met 6 - 12 mm/jaar en dat ver-

eist dus 40 - 85 Mm^3 zand/jaar. De Deltacommissie beveelt aan om tot 2050 uit te gaan van het maximale scenario voor zeespiegelstijging (12 mm/jaar) en derhalve moet het huidige suppletievolume fors omhoog naar 85 Mm^3 /jaar om het kustfundament met de zeespiegel te laten meestijgen. Dit zand zal ook bijdragen aan het meegroeien van de zeebodem in het Waddengebied. In aanvulling doet de Deltacommissie de suggestie om jaarlijks 40 Mm^3 extra te suppleren, zodat de Deltakust en de Hollandse kust over 100 jaar ongeveer 1 kilometer zijn verbreed (Commissie Veerman, 2008, p.53).

Scenario's voor zachte kustverdediging

De zachte kustverdediging door zandsuppleties mag dan succesvol zijn, dat betekent niet dat voor de toekomstige aanpak met een stijgende zeespiegel geen keuzen te maken zijn over de omvang, locaties en aard van de suppleties. Ook de mogelijke consequenties voor de natuur kunnen de beleidskeuzen beïnvloeden.

Voor de Natuurverkenning 2011 (Oostenbrugge et al., 2010) zijn vier scenario's ontwikkeld (tabel 2). Twee 'gematigde' scenario's gaan uit van de huidige suppletieomvang van 12 Mm^3 /jaar respectievelijk 20 Mm^3 /jaar om met een rijzende zeespiegel het kustfundament bij te houden. Twee 'extreme' scenario's gaan naar aanleiding van de aanbevelingen van de Deltacom-

missie uit van 85 Mm^3 /jaar respectievelijk 125 Mm^3 /jaar om ook kustuitbreiding te realiseren. Voor ieder scenario is op basis van expert judgement uitgewerkt hoe de kustzee er in 2040 uit kan zien (Baptist, 2011).

SCENARIO 1: 'VOEDT WAAR HET MOET, AFSLAG WAAR HET MAG'.

Dit scenario gaat uit van het huidige volume kustsuppletie (12 Mm^3 /jaar) in de vorm van vooroeversuppleties die alleen worden toegepast waar het noodzakelijk is voor de kustbescherming. Voor de overige delen prevaleren natuurlijke processen. Dit volume is niet afdoende om de basiskustlijn en het kustfundament bij de verwachte zeespiegelstijging te handhaven tot in 2040. In 2040 heeft de kust zich als gevolg van dit suppletiebeleid grillig ontwikkeld; hier en daar is duinafslag, zijn sluffers en doorbraken. Ook de morfologie van de ondiepe kustzee is grillig en hierdoor is een grote diversiteit aan habitatcondities ontstaan. In de troggen tussen de zandbanken vinden we uitgebreide velden van Schelpkokerwormen. De Waddeneilanden kennen wash-overs leidend tot verjonging van de kwelders. Ten noorden van de Waddeneilanden komen Zwarte zee-eenden in groten getale overwinteren, omdat er dichte schelpdierbanken liggen voor de kust. De Voordelta is een soortenrijk gebied. Juveniele vis groeit op in het ondiepe water en dit trekt grote hoeveelheden visetende vogels.

SCENARIO 2: 'VOEDT ZODAT DE BASIS VOLDOET'.

Dit scenario is gebaseerd op het uitgangspunt om het kustfundament te laten meegroeien met de zeespiegelstijging en de zandhonger van de estuaria te compenseren. In dit scenario wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van het natuurlijke sedimenttransport. Het blijkt dat een verho-

Tabel 1. Kenmerken van een reguliere vooroeversuppletie en een megasuppletie.

Parameter	Vooroeversuppletie	Megasuppletie
Volume (Mm^3)	12	20
Intensiteit (Mm^3/km)	0,4	10
Strookbreedte (km)	0,5	1
Kustlengte (km)	30	2
Bedekkingsoppervlakte (ha)	1500	200
Dikte van de laag (m)	0,80	10,0
Dieptezone	-5 tot -8 m	0 tot -10 m
Levensduur	2 - 8 jaar	20-30 jaar

ging van het suppletievolume nodig is naar 20 Mm³/jaar (de Ronde, 2008), waarbij 16 Mm³/jaar wordt gesuppleerd met vooroeversuppleties en iedere vijf jaar wordt een megasuppletie (20 Mm³) toegepast.

In 2040 is aan de kust niet erg veel verandering te zien, omdat de kustlijn in evenwicht blijft met de stijgende zeespiegel. Door een gericht suppletiebeleid en monitoring zijn de schelpdierbanken ten noorden van de Waddeneilanden behouden. De suppleties hebben niet geleid tot veranderingen van de bestanden van juveniele vis en visetende vogels. Megasuppleties langs de Hollandse kust hebben gezorgd voor extra ligplaatsen van zeehonden die tussen de Wadden en de Delta migreren.

SCENARIO 3: 'VOEDT OP DE ZEESPIEGELSTIJGING VOORUIT EN BREIDT DE KUSTBELEVING UIT'.

In dit scenario wordt de aanbeveling van de Deltacommissie opgevolgd om jaarlijks 85 Mm³ te suppleren rekening houdend met een maximale zeespiegelstijging, zodat voldoende zandbuffer in het kuststelsel is opgebouwd. Ieder jaar wordt een megasuppletie van 20 Mm³ aangebracht ten behoeve van het toerisme en worden aanvullend suppleties op maat toegepast met een totaal volume van 65 Mm³/jaar. In 2040 bestaat de Hollandse kust geheel uit zandige stranden van minimaal 200 m breed, plaatselijk wel 500 m. Door de frequente suppleties in en vlak buiten de zandbankenzone is het bodemleven verdwenen en het onderwaterprofiel van de Hollandse kust is versteild. Hierdoor is de ondiepe kustzee, het areaal aan kinderkamer voor juveniele vis, verkleind. Enkele megasuppleties zijn in de vorm van eilanden uitgevoerd. Ze bieden broedbiotoop aan plevieren, sterns en meeuwen en er rusten groepen zeehonden. In de Delta is veel suppletiezand weer afgeslagen en in de Voordelta en op de Vlakte van de Raan terecht gekomen, zodat hier grote droogvallende platen zijn ontstaan.

SCENARIO 4: 'VOEDT MET EEN OVERMAAT AAN ZAND EN CREEËR EXTRA LAND'.

In dit scenario wordt gekozen voor een geleidelijke zeewaartse kustuitbreiding met 1 km in 100 jaar conform het voorstel van de Deltacommissie door uit te gaan van een maximale zeespiegelstijging en het aanbrengen van een overmaat aan zand (125 Mm³/jaar). Twee keer per jaar wordt een megasuppletie uitgevoerd en worden aanvullend reguliere vooroeversuppleties toegepast.

In 2040 heeft de kustuitbouw erin geresulteerd dat het zandbankensysteem op de meeste plaatsen is veranderd in strand. Vóór het strand is een steil aflopend profiel naar dieper water. Schelpenbanken voor de kust van de Waddeneilanden worden telkens weer bedolven onder nieuwe suppleties. Ook is er een vergroot transport van zand in de kustzee vanuit de buitendelta's die aan het verstikken waren onder een dikke laag zand. Op verscheidene plaatsen is het sediment in de Waddenzee grover van samenstelling geworden. 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.

Model voor de effecten van zachte kustverdediging op de bodemfauna

Van groot belang voor de ecologische duurzaamheid van de kustverdediging zijn de effecten van de kustsuppleties op de bodemfauna in de ondiepe kustzee. Naast de hoeveelheden zand is ook de uitvoeringswijze als vooroever- of megasuppleties (tabel 1) bepalend voor de effecten. Het oppervlak van een even groot volume vooroeversuppleties is fors groter dan van een megasuppletie. Daarnaast is de herhaalperiode van een vooroeversuppletie veel korter dan van een megasuppletie. De

herhaalperiode is de periode die verstrijkt, voordat dezelfde locatie opnieuw gesuppleerd moet worden. Deze herhaalperiode is van belang in verband met de herstelduur van de levensgemeenschap van bodemorganismen.

Het model in figuur 4 geeft met gekleurde banden de relatie weer tussen de omvang van de twee typen suppleties, de vooroeversuppleties in blauw en de megasuppleties in groen, en de gemiddelde herhaalperiode van de suppleties. De herhaalperiode van de suppleties wordt vergeleken met de biologische respectievelijk morfologische herstelperiode van de ondiepe kustzee. Hiermee wordt aangegeven welke volumes en uitvoeringswijzen ecologisch inpasbaar zijn zonder overschrijding van de herstelduur en dus aantasting van de bodemfauna.

Onderzoek dat is uitgevoerd naar de rekolonisatie van de bodemfauna bij vooroeversuppleties wijst op een biologische herstelperiode van 4 tot 6 jaar (Rozemeijer, 2009). Het gesuppleerde sediment vormt een nieuw substraat dat begint met een kolonisatie van wormen. Daarna volgen de larven van de overige soorten die deel uitmaken van een complete levensgemeenschap. De daarop volgende jaren herstelt de biomassa en vervolgens de leeftijdsopbouw.

In figuur 4 is met gekleurde stippen ook de omvang en de gemiddelde herhaalperiode van de vooroever- en megasuppleties aangegeven voor de vier scenario's. Hieruit is af te leiden dat de scenario's 1 en 2 de biologische herstelduur niet zullen overschrijden. Maar het aanbrengen van grotere hoeveelheden zand door middel van vooroeversuppleties, zoals in scenario 3 en 4, leidt iedere twee jaar tot bedekking van de bodemfauna, hetgeen vaker is dan de biologische herstelduur. Bij vooroeversuppleties moet men dus vaak suppleren over een groot oppervlakte, maar daar staat tegenover dat slechts een strook met een breedte van maximaal 500 m wordt bedekt met zand. Bij een frequent bezoek

Scenario / Parameter	S1: 12 Mm³	S2: 20 Mm³	S3: 85 Mm³	S4: 125 Mm³			
	Vooroever	Vooroever	Mega	Vooroever	Mega	Vooroever	Mega
Totaal volume (Mm³/jr)	12	16	4	65	20	85	40
Volume per suppletie (Mm³)	1 – 6	1 – 6	20	2 – 10	20	2 – 10	20
Aantal suppleties/jr	2 – 5	3 – 5	0,2	5 – 10	1	5 – 10	2
Suppletie-intensiteit (Mm³/km)	0,2 – 0,6	0,2 – 0,6	5 - 15	0,2 – 0,6	5 - 15	0,2 – 0,6	5 - 15
Beïnvloede kustlengte (km/jr)	30	40	2	162	2	212	4
Strookbreedte (km)	0,5	0,5	1	0,5	1	0,5	1
Oppervlakte (km²)	15	20	2	81	2	106	4
Herhaalperiode (jaar)	11,7	8,8	875	2,2	175	1,7	87,5

Tabel 2. Kenmerken van de vier scenario's met toenemende suppletievolumes, aantallen suppleties en oppervlakten.

van hetzelfde stuk kust zou er voor gewaakt kunnen worden om niet steeds hetzelfde deel te bedekken om zo de bodemfauna tijd te geven te herstellen. Bij een megasuppletie wordt de herstelperiode van de bodemfauna niet door biologische maar door morfologische processen bepaald. Ter plaatse van de megasuppletie wordt de ondiepe kustzee immers veranderd in een strand- en duinlandschap en pas over 20-30 jaar wanneer de megasuppletie onder water verdwijnt, kan de bodemdiergemeenschap zich herstellen. In de nabijheid van de megasuppletie zal een groter sedimenttransport optreden in vergelijking met de natuurlijke omstandigheden. De hypothese dat dit de bodemdiergemeenschap in de kustzee niet zal aantasten wordt onder andere bij de monitoring van de Zandmotor onderzocht (Deltares/IMARES, 2011).

Conclusies

De huidige aanpak van de zachte kustverdediging door middel van suppleties is succesvol uit oogpunt van veiligheid en past bovendien goed in de natuurlijke kustdynamiek. De aanpak is flexibel waarbij door monitoring van de toestand van de kustzee de kustverdediging is bij te sturen ('adaptief management'). De huidige omvang van de suppleties (scenario 1) lijkt op basis van de herhaalperiode niet te leiden tot overschrijding van de biologische herstelperiode. Een vergroting van het suppletievolume vanwege de zeespiegelstijging zoals in scenario 2 is ecologisch ook inpasbaar. Maar ons model laat zien dat wanneer volumes groter dan 50 Mm³/jaar door middel van vooroeversuppleties worden aangebracht deze leiden tot een herhaalperiode die wél korter is dan de biologische herstelduur van het bodemleven. Voor het ecosysteem van de ondiepe kustzee is dit bedreigend. Megasuppleties zijn mogelijk een oplossing, maar ook deze kennen een limiet bepaald door de morfologische herstelduur van de kustzee. Monitoring van de Zandmotor zal inzichten moeten opleveren voordat deze aanpak algemene toepassing kan krijgen in alle lokale situaties. Op basis van ons model lijken suppletievolumes groter dan 100 Mm³/jaar, zoals in scenario 4, niet uitgevoerd te kunnen worden zonder grootschalige gevolgen voor de kustzee, zelfs niet in de vorm van megasuppleties. Een aanpak van onze kustverdediging gericht op kustuitbreiding door vele grootschalige suppleties zou in 2040 leiden tot ongewis

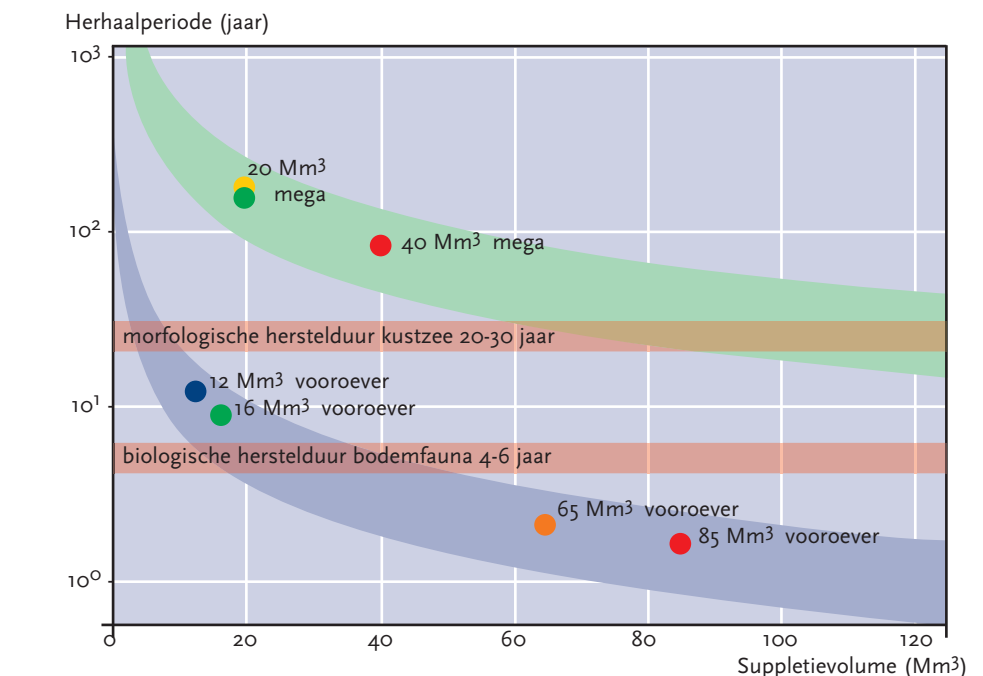


Fig. 4. Herhaalperioden van suppleties als functie van het totale jaarlijks suppletievolume. Het blauwe interval omvat vooroeversuppleties, het groene interval megasuppleties. De rode intervallen geven de biologische herstelduur van de bodemfauna en de morfologische herstelduur van de kustzee. De gekleurde stippen geven de gemiddelde herhaalperiode van de suppleties voor ieder van de vier scenario's.

Voor het berekenen van de herhaalperiode is uitgegaan van een lengte van 350 km zandige kust. Wanneer 12 Mm³ zand met vooroeversuppleties wordt aangebracht, wordt jaarlijks 30 km kust bezocht en is iedere 11,7 jaar (350/30) een suppletie op dezelfde locatie nodig. Met een megasuppletie van 20 Mm³ wordt 2 km kust aangevuld met zand. Wanneer deze megasuppleties aangebracht worden langs de gehele kust, is theoretisch pas na 175 jaar (350/2) een nieuwe suppletie nodig op dezelfde locatie. Beide typen suppleties kennen een bandbreedte van herhaalperioden, doordat de aangebrachte hoeveelheid zand per km kustlengte verschilt (suppletie-intensiteit; zie tabel 2).

- S1: 12 Mm³/jr vooroeversuppletie
- S2: 16 Mm³/jr vooroeversuppletie + 20 Mm³ / 5 jr mega
- S3: 65 Mm³/jr vooroeversuppletie + 20 Mm³/jr mega
- S4: 85 Mm³/jr vooroeversuppletie + 2 x 20 Mm³/jr mega

grote gevolgen voor de kustzee. Het kabinet heeft er goed aan gedaan om grootschalige kustuitbreiding geen onderdeel meer te laten uitmaken van het Deltaprogramma (Min. I&M en Min. EL&I, 2011, p.42).

Literatuur

- Baptist, M.J., 2011.** Zachte kustverdediging in Nederland; scenario's voor 2040. Achtergrond-document bij Natuurverkenning 2011. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-werkdocument 260.
- Berkel, C. van, A.R. Boon & W.A. Wiersinga, 2002.** Natuurwaardenkaart Noordzee. Expertise-centrum LNV, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij. Rapport EC-LNV nr. 2002/115. Ede/ Wageningen.
- Brown A.C. & A. McLachlan, 1990.** Ecology of sandy shores. Amsterdam, Elsevier, 328 p.
- Commissie Veerman, 2008.** Samen werken met water; Een land dat leeft, bouwt aan zijn toekomst. Bevindingen van de Deltacommissie 2008.
- Dalfsen, J.A. van, 2007.** Inventarisatie brandingszone. Wageningen IMARES rapport C138/07.
- Deltares/IMARES, 2011.** Uitvoeringsprogramma Monitoring en Evaluatie Pilot Zand-

motor. Rapport Deltares 1203519-000-ZKS-0035 / IMARES C172/10, maart 2011.

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

Janssen, G. & M. Rozemeijer, 2009. Zandwinning en kustsuppleties: het samengaan van kustverdediging en natuurbescherming. De Levende Natuur 110 (6): 280-283.

Leopold M.F., R.S.A. van Bemmelen & S.C.V. Geelhoed, 2011. Zeevogels op de Noordzee.

Achtergrond-document bij Natuurverkenning 2011. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-werkdocument 257.

Min. I&M en Min. EL&I, 2011. Deltaprogramma 2012; Werk aan de Delta. Den Haag, september 2011.

Nota Ruimte, 2004. Nota Ruimte: Ruimte voor ontwikkeling. Interdepartementaal Project Nota Ruimte. Vastgesteld in de Ministerraad d.d. 23 april 2004.

Oostenbrugge, R. van, P.M. van Egmond & I.T.M. Jorritsma, 2010. Natuur als luxe of noodzaak: natuurbeleid in beweging. De Levende Natuur 111 (5): 208 - 210.



Zelf kijken

Breng een bezoek aan de Zandmotor bij Delfland in Kijkduin
<http://www.dezandmotor.nl/nl-NL/bezoekers/route-naar-de-zandmotor>

Rijkswaterstaat, 2011. Kustlijn-kaarten 2012. Rijkswaterstaat, december 2011.
Ronde, J. de, 2008. Toekomstige langjarige suppletiebehoefte. Deltares rapport Z4582.24.
Rozemeijer, M.J.C., 2009. Rekolonisatie van de zeebodem na zandwinning en suppletie: een review. Visie voor een onderzoeksaanpak als onderdeel van het MEP zandwinning RWS & LaMER. Memo RWS-Waterdienst NWOB/MJCR-2009.01.
Wijsman, J.W.M. & E. Verduin, 2011. To monitoring Zandmotor Delflandse kust: benthos ondiepe kustzone en natte strand. IMARES & Grontmij. IMARES Rapport Co39/11.

Summary

'Cover up': four scenarios for soft coastal defence in The Netherlands

Under the influence of climate change and sea level rise, coastal defence has a new urgency in the low-lying delta of The Netherlands. These topics were therefore part of The Nature Outlook 2011, in which a number of possible future directions for nature and landscape in

the year 2040 were established, responding to developments in society and climate change. The preferred coastal defence strategy for The Netherlands is to "cover up" the sandy shore with sand nourishments. This soft strategy fits in well with the sandy coast of the Netherlands and the dynamic nature of its coastal zone, beach, dunes and salt marshes. The strategy is a form of adaptive management: monitoring makes it possible to respond to rising sea levels and current developments. The strategy has been successful because the number of exceedances of the basic coast line is significantly reduced.

As part of the Nature Outlook 2011, four scenarios for soft coastal defence until the year 2040 were assessed. The results present how the nature of the shallow coastal sea in 2040 may look as a result of sand nourishment strategies. A conceptual model is presented in which return periods of nourishments along the 350 km sandy Dutch coast are compared to biological as well as morphological recovery

times, indicating what nourishment volumes are feasible and sustainable. Two types of nourishments are distinguished, i.e. foreshore nourishments, which are smaller in size but have to be applied more frequently, and mega nourishments, which are larger in size, and have to be applied less frequent. The model results show that for future nourishment volumes exceeding 50 Mm³/yr, mega nourishments have to be applied, otherwise the biological system cannot recover from the frequent impacts. Yet, even the application of mega nourishments is limited to a volume of 100 Mm³/yr. by the recovery of the morphological system.

Dr. Ir. M.J. Baptist
 IMARES, Wageningen UR
 Landsdiep 4, 1797 SZ Den Hoorn-Texel
 Martin.Baptist@wur.nl

Drs. W.A. Wiersinga
 IMARES, Wageningen UR
 Hollandseweg 1, 6706 KN Wageningen
 Wim.Wiersinga@wur.nl

Foto 2. Bij een voor-oerversuppletie wordt het zand vaak door middel van 'rain-bowen' aangebracht. De dode bodemfauna en vissen van de zeebodem trekken meeuwen en zeehonden aan (foto: Hans Verdaat, IMARES).

