

**Technische mogelijkheden  
voor een dynamische  
kustuitbreiding**

een voorverkenning t.b.v. het Deltaprogramma



# **Technische mogelijkheden voor een dynamische kustuitbreiding**

een voorverkenning t.b.v. het Deltaprogramma

Joost Stronkhorst  
Leo van Rijn  
Hans de Vroeg  
Reimer de Graaff  
Bert van der Valk  
Ad van der Spek  
Jan Mulder  
Albert Oost  
Arjen Luijendijk  
Gualbert Oude Essink

## **Met medewerking van**

Job Dronkers, Alessio Giardino, Annemiek Meertens,  
Rob van der Laag, Eline Keus, Oswald Lagendijk

1201993-004



**Titel**

Technische mogelijkheden voor een dynamische kustuitbreiding

**Project**

1201993-004

**Kenmerk**

1201993-004-VEB-0002

**Pagina's**

86

**Trefwoorden**


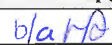
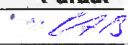
Deltaprogramma, kustuitbreiding, zandsuppleties, morfologie, aanlegkosten, kennisagenda

**Samenvatting**

Zie blz. I t/m XIV

**Referenties**

Zie hoofdstuk 8

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	jul. 2010	J. Stronkhorst e.a.		J. Dronkers		I.L. Ritsema	

**Status**

definitief



## Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>I</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1 De kust	1
1.2 Deltacommissie, Nationaal Waterplan, Deltaprogramma Kust	1
1.3 Vraagstelling	2
1.4 De voorverkenning	3
1.5 Leeswijzer	3
<b>2 Uitgangspunten</b>	<b>5</b>
2.1 Definitie Kustuitbreiding	5
2.2 Definitie Kustfundament	6
2.3 Rijksbeleid t.a.v. zandsuppleties	7
2.4 Doelformulering	7
<b>3 Basisprincipes</b>	<b>9</b>
3.1 Morfologie	9
3.1.1 Algemeen	9
3.1.2 Historische kustontwikkeling	10
3.1.3 Zandbalans	12
3.2 Kustaanwas	14
3.2.1 Bouwen met de Natuur	14
3.2.2 Voorbeelden van kustaanwas langs de Nederlandse kust	15
3.3 Type zandsuppleties	17
3.3.1 Omvang	17
3.3.2 Ervaringen met grote suppleties	17
3.3.3 Suppletieschema's	18
3.4 Kust infrastructuur	18
3.5 Ecologie	20
3.6 Binnendijks-buitendijks	21
3.7 Zoetwatervoorraad	22
3.8 Economie	24
<b>4 Vrije dynamische kustuitbreiding</b>	<b>27</b>
4.1 Aanlegprincipes	27
4.2 Uitvoering	30
4.3 Consequenties voor bestaande functies en kustlijnzorg	32
<b>5 Gestuurde dynamische kustuitbreiding</b>	<b>36</b>
5.1 Aanlegprincipes	36
5.2 Uitvoering	39
5.3 Consequenties voor bestaande functies en kustlijnzorg	42
<b>6 Toepasbaarheid voor de Nederlandse kust</b>	<b>45</b>
6.1 Hollandse kust	45
6.2 Waddenkust	46
6.3 Deltakust	47

6.4	Globale kostenindicatie	48
<b>7</b>	<b>Aanzet tot een onderzoeksagenda</b>	<b>51</b>
7.1	Ongestructureerd probleem vraagt procesaanpak	51
7.2	Onderzoeksvragen	51
7.2.1	Deltares Kustatelier	51
7.2.2	Deltacommissie aanbevelingen	53
7.2.3	Vorbereiden op de praktijk	54
7.2.4	Onderzoekprogramma Building with Nature	55
7.2.5	Ecologie en Kustlijnzorg	56
<b>8</b>	<b>Literatuur</b>	<b>57</b>
 <b>Bijlage(n)</b>		
<b>A</b>	<b>Ervaringen met grote onderwatersuppleties</b>	<b>A-1</b>
<b>B</b>	<b>Zand en risico's voor strandrecreatie</b>	<b>B-1</b>
<b>C</b>	<b>Berekeningswijze zandvolumes voor kustverbreding</b>	<b>C-1</b>

## Samenvatting

### 1. Vraagstelling

De Nederlandse kust (Figuur 0.1) is een zandige kust. Het Deltaprogramma Kust gaat ondermeer verkennen of de verbreding van de Nederlandse kust met zand uit de Noordzee, maatschappelijke meerwaarde heeft. In aanloop naar het deltaprogramma is nu, voorjaar 2010, behoefte aan een document met enkele algemene noties over de technische mogelijkheden en antwoorden op vragen zoals:

- Hoeveel zand is er nodig om de kust te verbreden?
- Wat zijn de morfologische gevolgen en hoe wordt 'bouwen met de natuur' vorm gegeven?
- Hoe ziet een kustuitbreiding er uit, zowel tijdens aanleg als na voltooiing?
- Wat zijn de geschatte kosten?
- Wat zijn de effecten op de omgeving?
- Beschikken we over voldoende kennis?

Dit rapport presenteert technisch-inhoudelijke inzichten over het natuurlijke kuststelsel ten behoeve van keuzes over grootschalige en duurzame verbreding van de Nederlandse kust. Het is een voorverkenning over het creëren van een nieuwe, brede kuststrook als fysieke basislaag; er zal niet expliciet worden ingegaan op de inrichting van het extra landoppervlak en de gebruiksmogelijkheden. De voorverkenning steunt op bestaande inzichten bij Deltares; er zijn geen nieuwe detailstudies uitgevoerd. Het document is geschreven in opdracht van het Ministerie van VROM.



*Figuur 0.1 De Nederlandse kust maakt onderdeel uit van een zandige kustzone die loopt van de Kop van Jutland tot Cap Gris Nez in Frankrijk en bestaat uit de Waddenkust met achterliggende eilanden en inter-getijdengebied, de Hollandse kust met aaneengesloten duinen en de open Deltakust met zeearmen en riviermondingen.*



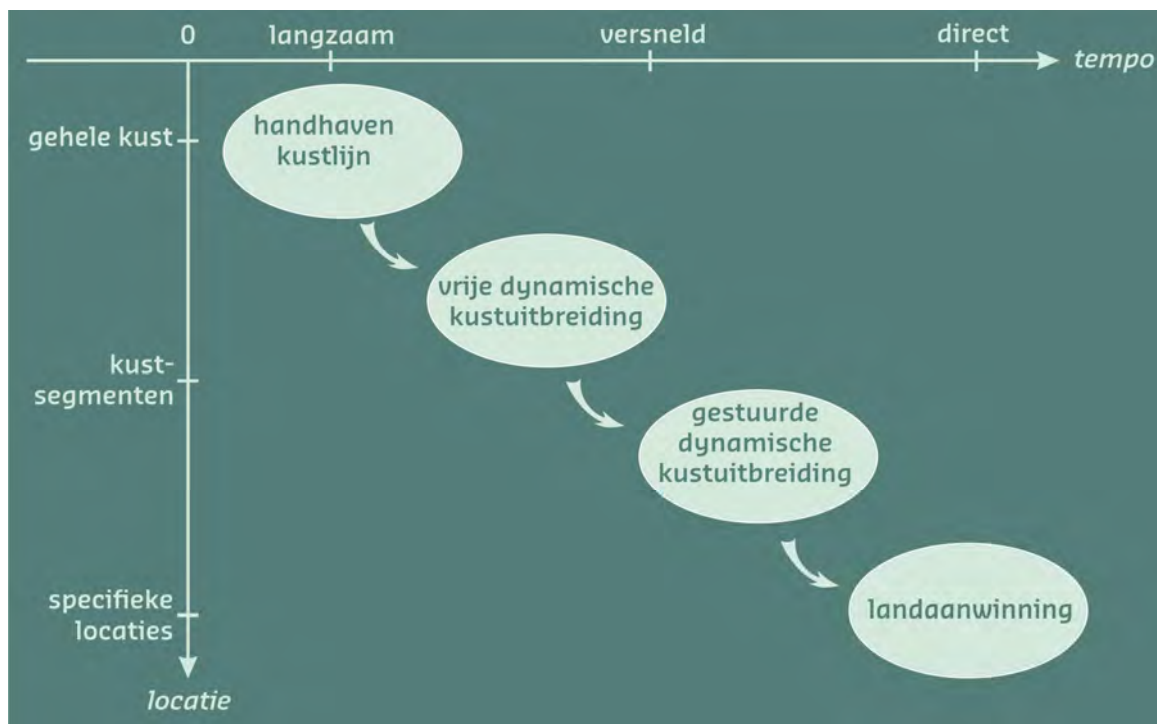
De vraag of kustuitbreiding technisch uitvoerbaar is kan vooraf al bevestigend beantwoord worden. Op diverse plaatsen in de wereld zijn, door het opspuiten van land, al kustuitbreidingen gerealiseerd. De kwestie of en hoe kustuitbreiding uitgevoerd moet worden is vooral een maatschappelijk vraagstuk. Welk doel wordt ermee beoogd? Wie investeert? Wegen de kosten op tegen de baten? Antwoord op deze vragen is alles bepalend voor de strategie, het ontwerp, de fasering en zonering van een kustuitbreiding.

## 2. Definitie Kustuitbreiding

Kustuitbreiding kan op verschillende tijd- en ruimteschalen plaatsvinden (Figuur 0.2). Bij verbreding van de Nederlandse kust wordt niet zozeer gedacht aan een grootschalige landaanwinning door het opspuiten van nieuw land, maar aan een geleidelijke en dynamische kustaanwas door het regelmatig uitvoeren van grote zandsuppleties in de vooroever of op het strand, gedurende vele decennia (Advies Deltacommissie, Nationaal Waterplan).

Onder kustuitbreiding wordt in dit rapport verstaan:

- het uitvoeren van *extra* zandsuppleties (boven op de zandsuppleties die nu al plaats vinden voor het dynamisch handhaven van de kustlijn en het zandvolume in het kustfundament);
- over een (arbitrair gekozen) periode van 50 jaar zodat er voldoende tijd is voor geleidelijke kustaanwas;
- wat resulteren in nieuw land boven water, als permanente strook land of als tijdelijke bufferzone, buitendijks of binnendijks gelegen,
- met een breedte van 50 tot 1000 meter zeewaarts van de huidige kustlijn en
- direct verbonden met de 'oude' kust, langs de Noordzeekust van Holland, Zeeland en Waddeneilanden.



Figuur 0.2 *Typering van het begrip 'kustverbreding' als functie van tijd en ruimte. Dynamische kustuitbreiding is een continuüm tussen kustlijn handhaving en landaanwinning en kan op velerlei wijzen worden uitgevoerd.*

Het uitvoeringsprincipe voor kustverbreding is: 'Bouwen met de Natuur'. Hierbij wordt gebruik gemaakt van natuurlijk materiaal en natuurlijke processen, in dit geval respectievelijk zand en de natuurlijke (zand-)transportcapaciteit van water en wind. Golven en vooral de zogenaamde golfasymmetrie zorgen voor aanwas van de kust. In estuaria zijn getijstromen dé motor achter het opbouwen van zandplaten. Op deze manier groeit de zeereep en het gehele kustfundament mee met de zeespiegel, op voorwaarde dat er voldoende zand in het systeem aanwezig is. Voor een duurzaam beheer van een zandige kust is het essentieel om de golfwerking, de getijdenstroming en de aanwezigheid van een natuurlijke zeereep te 'koesteren'.

Zand en morfologische processen bepalen de vorming van het nieuwe land. De huidige zandsuppleties die met sleepopperzuigers worden uitgevoerd (gemiddeld 12 miljoen kubieke meter zand per jaar) zijn qua volume veel groter dan het natuurlijke zandtransport langs de kust en domineren de zandbalans van het kuststelsel. Het zand wordt gewonnen op de bodem van de diepere Noordzee (> -20 meter NAP) en gestort in de ondiepe kustzone of op het strand. De zandsuppleties zorgen voor een kunstmatig herstel van een morfologisch proces van zandaanvoer dat de afgelopen eeuwen tot stilstand was gekomen.

Door het beleid van dynamische kusthandhaving is sinds 1990 niet alleen voorkomen dat de kustlijn landwaarts erodeerde maar zijn grote delen van de Nederlandse kust zelfs aangegroeid. Dat komt omdat de huidige zandsuppleties niet gelijkmatig over het kustfundament verdeeld wordt maar dicht tegen de kust aan, zodat het kustprofiel steiler wordt en de duinen aangroeien. Door het suppleren van de afgelopen 20 jaar is zodoende de duinvoet met gemiddeld 1 meter per jaar zeewaarts verschoven en het duinareaal met ca. 700 ha gegroeid. Dit kan beschouwd worden als een bufferzone. Na een stormvloed zal het zand over de gehele kuststrook herverdeeld zijn en kan het proces van kustaanwas weer van voor af aan beginnen. Een dergelijk 'herverdeling' heeft de laatste tijd niet plaats gevonden omdat de afgelopen 20 jaar weinig zware stormvloeden zijn geweest langs de Nederlandse kust.

De suppletiestrategie voor extra kustuitbreiding kan op vele wijze worden ingevuld, al naargelang de beoogde doelen en de hydrodynamische omstandigheden. In deze studie zijn twee werkwijzen verkend:

- Vrije dynamische kustuitbreiding langs de gehele kust en
- Gestuurde dynamische kustuitbreiding langs specifieke kustsegmenten.

### 3. Zandsuppleties

Zandsuppleties worden momenteel neergelegd op punten waar veel kusterosie optreedt. Er wordt onderscheid gemaakt tussen suppleties op het strand of onderwater (op de vooroever of tegen een geulwand). Strandsuppleties herstellen kusterosie op plaatsen waar een aanzienlijke achteruitgang van de kustlijn of duinvoet is opgetreden die niet snel via natuurlijke processen herstelt. In andere gevallen verdienen onderwatersuppleties de voorkeur; ze zijn minder kostbaar en geven minder verstoring voor natuur en strandrecreatie. Een suppletieproject heeft doorgaans een omvang van 0,5-2 miljoen kubieke meter zand. Inmiddels is er al enige ervaring met onderwatersuppleties van meer dan 5 miljoen kubieke meter zand. Het zand verspreid zich in de nabije omgeving van de suppleties. Verwacht wordt dat zandsuppleties van ca. 1000 m<sup>3</sup> per strekkende meter kustlijn in ca. tien jaar grotendeels zijn herverdeeld over de dynamische kustzone. Voor kustverbreding is, afhankelijk van de omvang en tempo van de

plannen, een verdere opschaling naar megasuppleties voorzien (orde 20 miljoen kubieke meter zand per keer of een veelvoud ervan).

De kosten van kustverbreding worden hoofdzakelijk bepaald door het uitvoeren van de zandsuppleties. De ontwikkeling in de kostprijs van suppletiezand is onzeker. Enerzijds is een stijging te verwachten omdat de kosten van brandstof verder toenemen, anderzijds zijn op een aantal vlakken schaalvoordelen te behalen die de kostprijs kunnen drukken. Dat laatste kan gebeuren wanneer er permanent grote suppleties nodig zijn. De kostprijs is nu gebaseerd op een zekere inzet van de baggerschepen (ca. 26 weken per jaar), maar bij een opschaling naar bijvoorbeeld 46 weken per jaar zal de kostprijs per kubieke meter zand dalen. Daarnaast is er de mogelijkheid om zeer groot baggermateriaal in te zetten bij het uitvoeren van megasuppleties. Bovendien zijn innovaties denkbaar die de kosten verder verlagen, bijvoorbeeld door continu te suppleren om vaste koppelpunten en de natuur het verdeelwerk te laten doen. In deze voorverkenning is een kostprijs aangehouden voor strand- en vooroeversuppleties van € 7-9/m<sup>3</sup> respectievelijk € 3-4/m<sup>3</sup> (prijspeil 2010).

Rijkswaterstaat is momenteel bezig om een zandstrategie te ontwikkelen. Daarmee wil de organisatie anticiperen op de groei in zandwinning vanuit de verschillende toepassingen voor de komende 50 tot 100 jaar. Hoewel de voorraad zand in de Noordzee zeer groot is (in de orde van honderd kubieke kilometer) en voldoende is om grootschalige zandsuppleties in lengte van jaren uit te voeren, is een zandstrategie nodig om toekomstige conflicten in ruimtegebruik op de Noordzee te voorkomen en afwegingen te maken tussen zandwinning t.b.v. publieke taken zoals het uitvoeringsprogramma Kustlijnzorg van Rijkswaterstaat en commerciële doeleinden. Gedacht wordt aan een zone voor zandwinning tussen de -20 m NAP lijn en de zeewaartse lijn van de 12 mijlszone. Hoe dieper het zand gewonnen kan worden, des te kleiner het oppervlak van de zeebodem dat verstoord wordt.

#### 4. Vrije dynamische kustuitbreiding

##### Principe

*Vrije dynamische kustuitbreiding* staat voor een geleidelijke zeewaartse uitbreiding van de gehele Nederlandse kust door het uitvoeren van grootschalige zandsuppleties in de kuststrook gedurende 50 jaar (Figuur 0.3).



Figuur 0.3 *Dynamische kustuitbreiding speelt in op de natuurlijke dynamiek van het natuurlijke systeem en zorgt voor een geleidelijke kustaanwas in de loop van decennia*

Bij deze werkwijze worden grootschalige vooroeversuppleties of megasuppleties toegepast met een zandvolume van orde 10 - 20 miljoen m<sup>3</sup> of een veelvoud ervan. Dergelijke megasuppleties worden neergelegd op punten in de vooroever waar de kust zonder ingrepen relatief snel achteruit gaat of waar de duinenrij relatief smal is. De herhalingsperiode van megasuppleties in een kustvak kan laag zijn, in de orde van enkele decennia. Er vinden geen menselijke ingrepen plaats anders dan de initiële zandsuppleties. Deze megasuppleties komen bovenop de zandsuppleties voor de huidige strategie (kustlijn zorg). Kleinere suppleties zijn uiteraard ook mogelijk, maar om tot een substantiële kustuitbreiding te komen zal dit minder kosteneffectief zijn en mogelijk meer ecologische verstoring van de kustzone met zich meebrengen.

De verdeling van het zand over de kuststrook (duinen, strand en in ondiep kustwater) wordt overgelaten aan natuurlijke processen zoals de krachten van water en wind. Het zand kan in de loop van decennia verspreiden, waardoor een gevarieerde kuststrook ontstaat: van strandvlakten tot duinen. De nieuwe kuststrook zal uitgroeien tot een dynamisch natuurgebied en biedt ook mogelijkheden voor recreatief gebruik.

*Vrije dynamische kustuitbreiding* bouwt voort op het bestaande kustbeleid van dynamisch handhaven van het kustfundament en van de kustlijn. Het is relatief eenvoudig te implementeren en past in het huidige 'zandige' kustbeleid (motto: 'zacht waar het kan, hard waar het moet'). De werkwijze van vrije geleidelijke kustaanwas wordt gedurende vele decennia doorgezet maar is tegelijkertijd flexibel: er kan besloten worden om tijdelijk minder inspanning te leveren. Aanleidingen daartoe zijn bijvoorbeeld: minder ruimtebehoefte of bezuinigingen op de overheidsbegroting.

#### *Uitvoering*

De hoeveelheid zand dat nodig is voor het creëren van een nieuwe kuststrook is geschat volgens een eenvoudige berekeningswijze; zie bijlage C. De resultaten zijn in Tabel 1 samengevat, evenals de geschatte kosten. Er is uitgegaan van een zeewaartse verschuiving van het kustprofiel tussen een niveau van +5 meter NAP en -10 meter NAP; dit wordt voor een termijn van 50 jaar beschouwd als de actieve zone in de morfologie van de Nederlandse kust. Voor de lengte van de zandige kustlijn van de Wadden, Holland en Deltakust is resp. 96 km, 117 km en 87 km aangehouden en 300 km voor de gehele Nederlandse kust.

Een kustverbreding langs de gehele Nederlandse kust met 50 tot 100 meter levert 1500-3000 ha aan nieuw land op en vergt over een tijdspanne van een halve eeuw 5-9 miljoen kuub per jaar aan extra zand. Deze hoeveelheid ligt binnen de huidige praktijkervaring en zal niet leiden tot onvoorziene morfologische veranderingen.

Voor een kustverbreding van 500 meter is ca. 47 miljoen kubieke meter per jaar aan extra suppleties nodig. Onderzocht zou moeten worden of hier een knikpunt ligt in geomorfologische processen in de vooroever. Een dergelijke hoeveelheid valt ver buiten de huidige praktijkervaring. Deze grote suppletievolumes overstijgen waarschijnlijk de natuurlijke transportcapaciteit om het zand binnen een periode van ca. tien jaar over het kustfundament te herverdelen. Bij een dergelijke opschaling van zandsuppleties kunnen nieuwe morfologische systemen ontstaan met bijvoorbeeld zandbanken, strandhaken en 'zandriffen'. Wordt het zand dicht tegen de kust aangelegd, zoals dat momenteel gebruikelijk is, dan zal het kustprofiel 'steiler' worden. Het effect daarvan op het tempo van kustaanwas is niet eenvoudig te kwantificeren en vraagt om een gedetailleerde morfologische modelstudie.

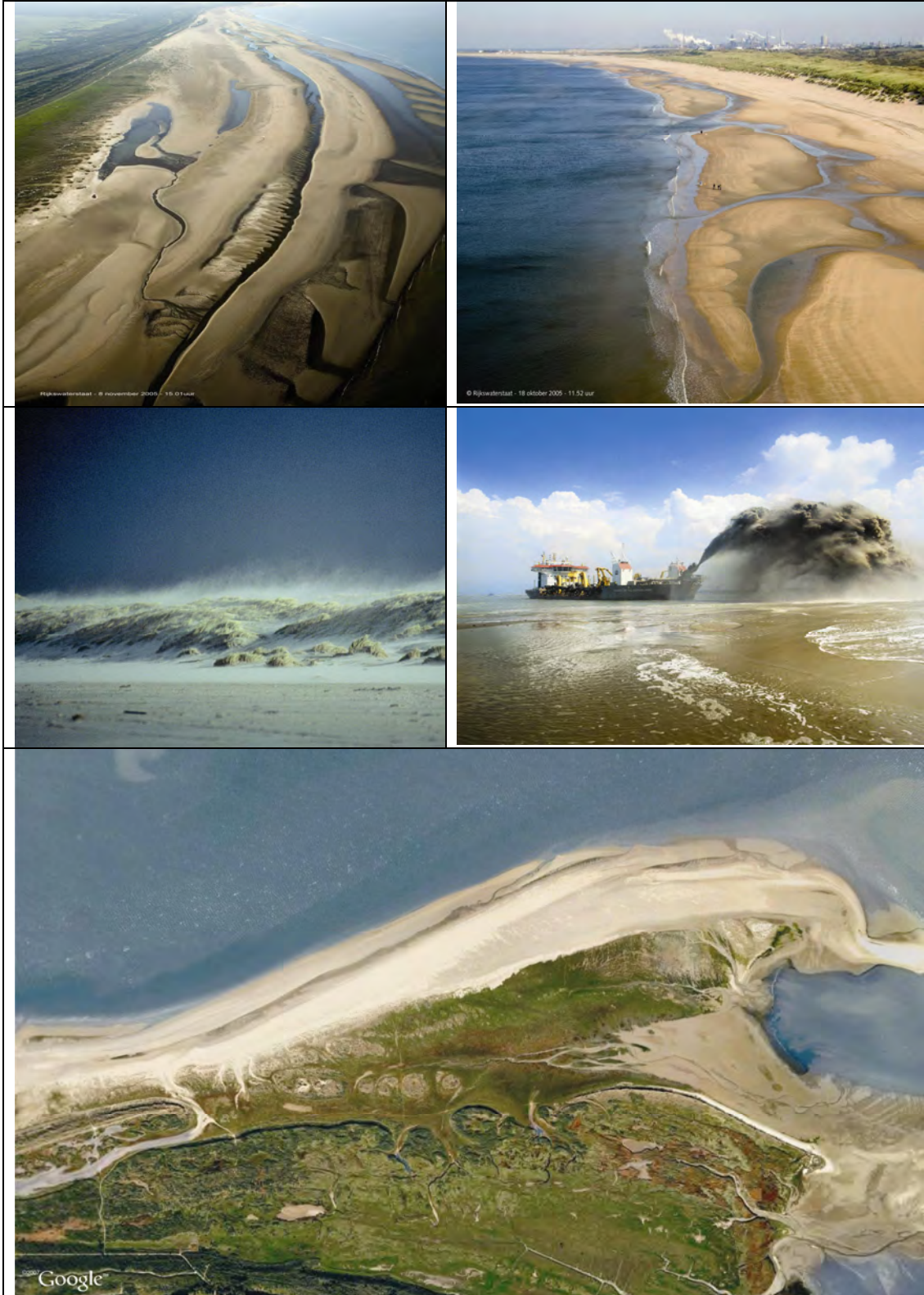
Een kustverbreding van bijvoorbeeld de Hollandse kust van 1 km levert ca. 30.000 ha nieuw land op. Dit vereist naar schatting 1900 miljoen kubieke meter zand, wat overeen komt met bijvoorbeeld 2 megasuppleties van ca. 20 miljoen kubieke meter zand per jaar gedurende 50 jaar. De aanleg van een 1 km brede kustzone langs bijvoorbeeld de Hollandse kust kost naar schatting 6-8 miljard euro.

Tabel 0.1 De geschatte suppletie-inspanning die nodig is om het kustprofiel zeewaarts te verplaatsen met 50 tot 1000 meter. De schatting is uitgedrukt in het totale benodigde zandvolume (A), de jaarlijkse extra zandsuppleties gedurende 50 jaar (B), het totaal benodigde budget (C) en de jaarlijkse extra uitgaven gedurende 50 jaar (D) bij een uitvoering met vooroeversuppleties en prijspeil 2010.

<b>A. Totaal benodigd zandvolume (miljoenen kubieke meters)</b>				
<b>Kust-verbreding</b>	<b>Wadden-kust</b>	<b>Hollandse kust</b>	<b>Delta-kust</b>	<b>Totaal</b>
50 meter	70	90	70	230
100 meter	140	180	130	450
500 meter	745	910	675	2330
1000 meter	1540	1870	1390	4800
<b>B. Jaarlijkse extra zandsuppleties (miljoenen kubieke meters per jaar)</b>				
<b>Kust-verbreding</b>	<b>Wadden-kust</b>	<b>Hollandse kust</b>	<b>Delta-kust</b>	<b>Totaal</b>
50 meter	1,4	1,8	1,3	5
100 meter	2,9	3,5	2,6	9
500 meter	15	18	13	47
1000 meter	31	37	28	96
<b>C. Totaal benodigd budget (miljoen euro's)</b>				
<b>Kust-verbreding</b>	<b>Wadden-kust</b>	<b>Hollandse kust</b>	<b>Delta-kust</b>	<b>Totaal</b>
50 meter	200-300	300-400	200-300	700-900
100 meter	400-600	500-700	400-500	1400-1800
500 meter	2000-3000	3000-4000	2000-3000	7000-10000
1000 meter	5000-6000	6000-8000	4000-6000	15000-20000
<b>D. Jaarlijkse extra uitgaven (miljoenen euro's per jaar)</b>				
<b>Kust-verbreding</b>	<b>Wadden-kust</b>	<b>Hollandse kust</b>	<b>Delta-kust</b>	<b>Totaal</b>
50 meter	4-6	5-7	4-5	13-18
100 meter	9-12	11-14	8-11	28-37
500 meter	45-60	55-75	40-55	140-190
1000 meter	90-125	110-150	85-110	285-385



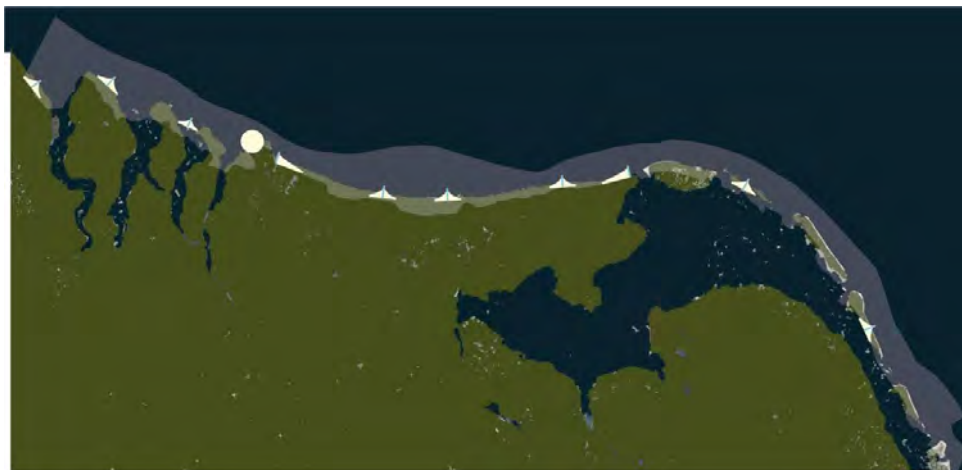
*Beelden van een vrije dynamische kust*



## 5. Gestuurde dynamische kustuitbreiding

### Principe

'Gestuurde dynamische kustuitbreiding' staat voor een zeewaartse uitbreiding van de kust door het uitvoeren van grootschalige zandsuppleties op welgekozen momenten en locaties ten behoeve van gebiedsontwikkelingen en gebruiksfuncties (Figuur 0.4).



*Figuur 0.4 Een gestuurde dynamische kustuitbreiding speelt in op maatschappelijke initiatieven aan de kust waar het creëren van nieuwe ruimte een optie biedt. Deze strategie zorgt voor een versnelde aanwas door de locatiekeuzes van (grote) zandsuppleties en het gebruik van elementen (strekdammen e.d.). Er ontstaat een meer gesegmenteerde kustlijn.*

Versnelling in de kustaanwas wordt mogelijk gemaakt door een meer gecontroleerde (gestuurde) aanzanding dan bij de strategie van vrije dynamische kustuitbreiding waarbij de uitbreiding geheel wordt overgelaten aan natuurlijke processen. Het menselijk ingrijpen kan variëren van een lichte sturing tot een sterke sturing. Er zijn vele alternatieven denkbaar zoals zanddammen, strandhaken, palenrijen, kunstriffen, strekdammen etc.

Zanddammen worden beschouwd als een 'zachte' maatregel en zullen weinig morfologische verstoring met zich meebrengen. Streckdammen van stortsteen zijn echter een 'harde' elementen die in principe zullen leiden tot sterke stromingen en ontgrondingkuilen. Vanwege de combinatie met zandsuppleties worden dergelijke neveneffecten van (harde) elementen voorkomen. Onderwatersuppleties komen te liggen op specifieke plaatsen waar kustaanwas gewenst is voor gebruiksfuncties dan wel om optredende kusterosie als gevolg van de aanleg van een strekdam te compenseren. In de 'oksels' van de strekdammen kunnen zandsuppleties worden aangebracht. Tussen grote (harde) elementen zullen zodoende kustbogen ontstaan.

Met de gestuurde kustuitbreiding zijn nieuwe kuststroken langs de kust of kapen als vooruitgeschoven landpunten in zee te realiseren. Er ontstaat een meer gesegmenteerde kustlijn. De wijze waarop harde en zachte elementen worden ingezet en de wijze van suppleren bepalen in sterke mate hoeveel ruimte er ontstaat voor natuur en tijdelijke of permanent gebruik zoals jachthavens, strandrecreatie en woonmilieus.

Bestaande voorbeelden van lokale kustaanwas langs de Nederlandse kust zijn in Tabel 0.2 weergegeven. In twee gevallen zijn megasuppleties uitgevoerd, in de andere gevallen vond de kustaanwas autonoom plaats met zand dat elders van de kust erodeerde. De Eijerlandse dam staat model voor een *kaap*, de nieuw aangelegde duinen bij Delfland voor een *kuststrook*.

De selectieve uitbreiding resulteert in de vorming van kuststroken of kapen langs de kust. Deze werkwijze is in lijn met diverse bestaande plannen voor jachthavens of kustuitbreiding langs de Hollandse kust (Plan Waterman).

Tabel 0.2 Voorbeelden van locale kustaanwas (strand/duin) langs de Nederlandse kust.

Locatie	Element	Periode	Areaal	Zandbron
N-kust Texel	Eijerlandse dam	1995-heden	40 ha	Kust Texel <sup>b</sup>
kust bij Heemskerk	Havendam IJmuiden Noord	1967-heden	35 ha	Kust omgeving Egmond <sup>b</sup>
Kennemerstrand	Havendam IJmuiden Zuid	1967-heden	125 ha	Kust omgeving Katwijk <sup>b</sup>
Van Dixhoorn driehoek Hoek van Holland	Eenmalige suppletie	1976	100 ha	Megasuppletie: 17 Mm <sup>3</sup>
Duincompensatie bij Delfland <sup>b</sup>	Zanddam en duinen	2008	35 ha	Megasuppletie: 8 Mm <sup>3</sup>
NW-kust Goeree	Doorwerking Deltawerken	1990-heden	9 ha/jaar	Voordelta

<sup>a</sup> nieuw duingebied bij Delfland als compensatiemaatregel voor de aanleg van Maasvlakte 2.

<sup>b</sup> ter plaatsen gecompenseerd door zandsuppleties in het kader van Kustlijnzorg

### Uitvoering

Er is een schatting gemaakt van de hoeveelheid materiaal dat nodig is om kuststroken en kapen aan te leggen volgens de berekeningswijze in bijlage C. Er is een eerste indicatie gegeven van de kosten. De compensatiekosten, inrichtingskosten van het nieuwe land, infrastructurele kosten voor de verbinding met het oude land e.d. zijn buiten beschouwing gelaten. Bij de punt van de kaap zal ontgronding optreden; ook deze kosten ontbreken in de gepresenteerde cijfers.

De resultaten voor een 'standaard' kuststrook zijn samengevat in Tabel 3, waarbij is uitgegaan van een zeewaartse verplaatsing van de kustlijn over een lengte langs de kust van 15 km. Voor een kuststrook van 1x15 km (1500 ha) is naar schatting 240 miljoen kubieke meter zand nodig. Dat is even veel als nodig is voor de aanleg van de Tweede Maasvlakte die nu plaats vindt. De kosten liggen in de orde van 2 miljard euro.

Tabel 0.3 Benodigde hoeveelheid zand (miljoenen kubieke meter zand) en een indicatie van de kosten (miljoenen euro's) voor de aanleg van een 'standaard' kuststrook (1 x 15 km) met een aanleghoogte van 5 m + NAP.

kuststrook	Areaal (ha)	Strandsuppletie (Mm <sup>3</sup> )	Kosten (M€)
50	75	11	80-100
100	150	23	160-200
500	750	116	800-1000
1000	1500	240	1700-2200

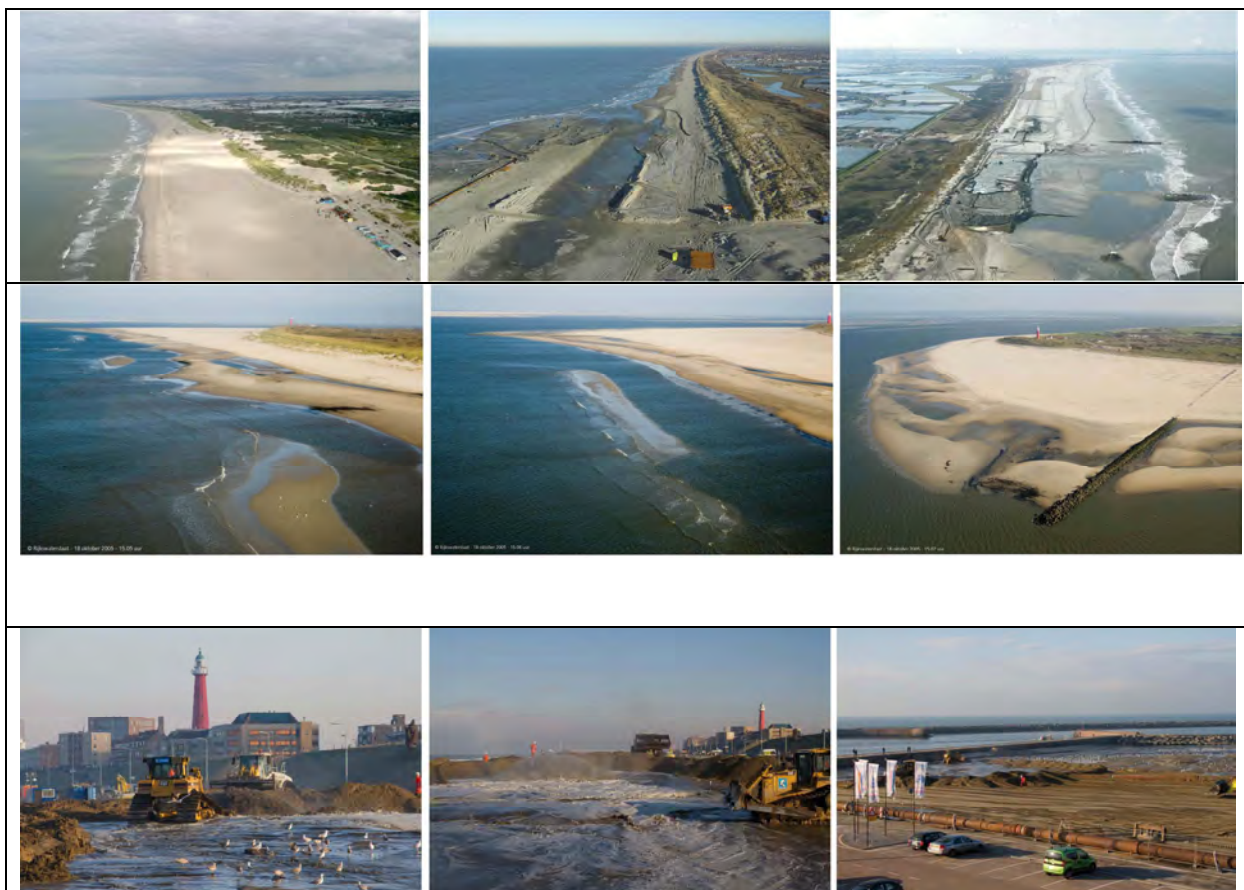


De resultaten voor een 'standaard' kaap zijn samengevat in Tabel 4, waarbij is aangenomen dat de zeewaartse verplaatsing geschied over een lengte langs de kust van en 0,2-4 km. Het benodigde zand zal via strandsuppletie worden aangebracht. Kleine kapen leveren weinig areaalwinst op. Een kaap die 1 km in zee steekt creëert ongeveer 140 ha nieuw areaal. Daarvoor is ca. 22 miljoen kubieke meter zand nodig. Deze hoeveelheid is ongeveer gelijk aan de hoeveelheid die gebruikt is bij de aanleg van de van Dixhoorndriehoek. De kosten liggen rond 200 miljoen euro.

Tabel 0.4 Benodigde hoeveelheid zand, profieloppervlak van een strekdam en een indicatie van de kosten voor een 'standaard' kaap met een aanleghoogte van 5 m + NAP

Kaap (m)	Areaal (ha)	Strandsuppletie (Mm <sup>3</sup> )	Stortsteen (m <sup>2</sup> )	Kosten (M€)
50	0,35	0,1	800	4-4
100	1,4	0,2	1000	5-6
500	35	5,4	3600	55-65
1000	140	22	9000	190-240

### Beelden van een gestuurde dynamische kustuitbreiding



## 6. Consequenties voor bestaande functies

### *Algemeen*

De kust past zich voortdurend aan: op de ene plaats vindt aangroei plaats op de andere plaats erosie. Daarbij spelen natuurlijke factoren, zoals zeespiegelstijging, of menselijke ingrepen zoals de aanleg van dammen een rol. Voorbeelden van grote menselijke ingrepen zijn de Oosterscheldekering, de afsluitdijken van IJsselmeer, Lauwersmeer, de Haringvliet, Grevelingen e.d. Sinds de aanleg ervan zijn de stromingen veranderd en past de morfologie van het kuststelsel zich er nog steeds op aan. Lokaal heeft dit soms tot aanzienlijke morfologische veranderingen geleid, maar op grote schaal bezien zijn er geen grote kustmorfologische problemen ontstaan.

### *Kustplaatsen en open horizon*

Kustplaatsen zijn vanuit het oogpunt van ruimtelijke kwaliteit (en veiligheid) gebaat bij voldoende brede duinen en stranden. Vrije dynamische kustverbreding is echter geen garantie dat er altijd badstranden liggen op de juiste locatie en van de juiste breedte. Grote zandbanken en strandvlakten voor de kust kunnen ontstaan en het karakter van de kustplaatsen schaden, omdat bijvoorbeeld de boulevards niet meer in contact staan met de zee.

De werkwijze van *gestuurde dynamische kustuitbreiding* sluit per definitie aan bij de ruimtelijke opgave van kustplaatsen. De ligging aan zee kan beter benut worden. Echter, deze werkwijze zou afbreuk kunnen doen aan een belangrijke kwaliteit vormt van de Nederlandse kust, namelijk de ononderbroken, open horizon.

### *Aanzanding havens en infrastructurele werken*

Bij een kustverbreding met enkele tientallen meters is de verwachting dat de havens weinig aanzanden en het onderhoudsbaggerwerk weinig toeneemt, maar een kustverbreding van ca. 1000 m lijkt een zeewaartse verlenging van bestaande havendammen onvermijdelijk. Dat geldt ook voor infrastructurele werken zoals riooloverstorten en andere leidingen. De kosten zullen naar schatting honderden miljoen euro's bedragen. Bij gestuurde dynamische kustuitbreiding zal deze waarschijnlijk een orde van grootte lager uitvallen.

### *Ecologie*

Een dynamische kustuitbreiding is op het eerste gezicht een ecologisch interessante werkwijze voor duurzame kustontwikkeling. Er ontstaan nieuwe duingebieden, strandvlaktes en dergelijke. Door gericht te kiezen in de grootte, locatie en frequentie van de zandsuppleties kan de natuurfunctie tot haar recht komen. Daar tegenover staat dat het uitvoeren van suppleties ook verstoring van het mariene milieu tot gevolg kan hebben door het winnen en storten van zand. Zowel de positieve als negatieve effecten zijn momenteel nog omgeven met veel onzekerheden.

De natuurontwikkeling bij kustuitbreiding is dus dynamisch en in zeker mate onvoorspelbaar. Dit staat in contrast met de vastomlijnde natuurdoelen in de huidige Natuurbeschermingswetgeving. Bij dynamische kustuitbreiding vindt, vergeleken met de huidige praktijk, substantieel meer suppletieactiviteit plaats in een zone die valt onder de Europese Vogel- en Habitatrichtlijn en de nationale natuurwetgeving. De wetgeving vereist dat een grootschalig project als kustverbreding uitvoerbaar is als er 'dwingende redenen van groot openbaar belang' zijn en dat eventuele ecologische impacts worden gemitigeerd of gecompenseerd. Het is de vraag welke mitigatie- of compensatiemaatregelen nodig zullen zijn en op welke tijdschaal. Een idee voor mitigatie is bijvoorbeeld het handhaven van de

basiskustlijn met minder maar grotere suppleties. De kustlijn en de duinenrijen zullen zich eerst zeewaarts verleggen met het karakter van een uitbouwende kust, waarna vervolgens afslag wordt toegestaan zodat de kust de karakteristieken van een terugtrekkende kust krijgt. De tijd die nodig is voor de opeenvolgende ontwikkelstadia in de duinen bedraagt decennia tot een eeuw.

#### *Recreatie*

Wanneer een megasuppletie zo wordt aangelegd dat er extra strand ontstaat, vormt het een recreatieve trekpleister. Het proces van kustverbreding kan het recreatieve gebruik echter (tijdelijk) in de weg staan vanwege gevaar voor veiligheid. Aanslibbing van badstranden is een reëel risico bij kustverbreding. Dit zal afhankelijk zijn van het slibgehalte in de kustzee en van de vorm waarin de megasuppletie wordt aangelegd (bijvoorbeeld een luwte gebied bij een strandhaak). Bij de gestuurde dynamische kustverbreding zullen de koppen van kapen circulatiestromingen genereren, wat gevaarlijke situaties kan opleveren voor recreatie en recreatievaart. Bij kustverbreding is het van belang om hier ruim aandacht aan te besteden.

#### *Zoetwater en kwel*

In principe leidt duinverbreding op den duur tot een grotere zoetwaterlens en een groter volume zoetwater onder de duinen. De vorming neemt, afhankelijk van de breedte van de nieuwe kuststrook, een periode van minstens enkele tientallen jaren in beslag en draagt weinig bij aan de zoetwatervoorziening. Het proces van duinverbreding kan landinwaarts leiden tot een versterkte zoute kwel van al in de ondergrond aanwezig brak of zout water.

### *7. Consequenties voor Kustlijnzorg*

Het is de vraag of, indien de nieuwe kustlijn ook in de toekomst gehandhaafd moet blijven, er meer onderhoudsuppleties nodig is dan nu het geval is. Een deel van het berekende zandvolume kan namelijk door watertransport over de -10 meter NAP lijn naar dieper water verplaatsen worden (bijvoorbeeld nabij getijgeulen in Zeeland of koppen van de Waddeneilanden), dan wel via eolisch transport naar de achterliggende duinen stuiven. Aanvullende morfologische berekeningen zijn nodig om deze 'zandverliezen' te bepalen. De inschatting is voorlopig dat over een periode van 50 jaar deze bijdragen over het geheel genomen gering zijn en daarom buiten beschouwing kunnen worden gelaten in deze eerste verkenning.

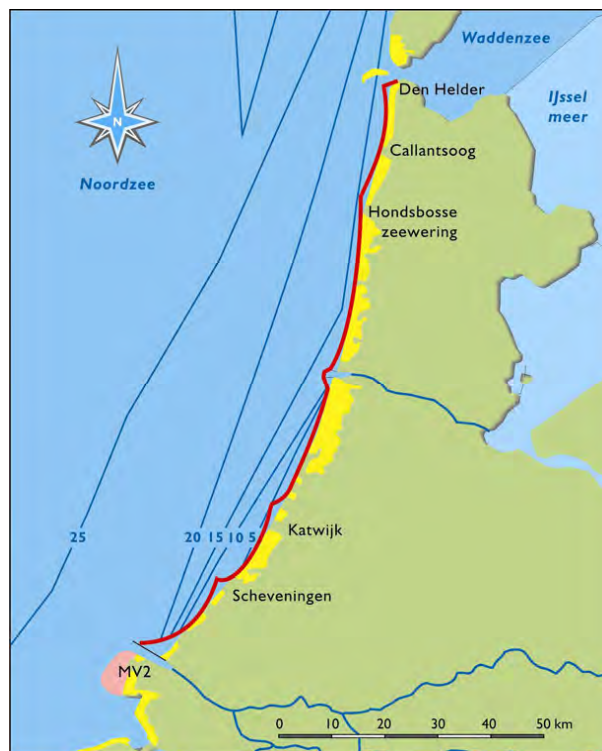
### *8. Toepasbaarheid en kosten*

#### *Toepasbaarheid*

De toepasbaarheid van kustverbreding is het grootst langs de Hollandse kust, gevolgd door de Deltakust en de Waddenkust.

Hollandse Kust: Langs deze gesloten kust is geleidelijke kustaanwas mogelijk volgens het principe van *vrije dynamische kustuitbreiding*. Een maatschappelijke kosten-batenanalyse kan meer inzicht verschaffen of een investering in kustverbreding maatschappelijk rendeert en in welk tempo. Bij het verruimen en versterken van de Hollandse kust kan ook worden gedacht aan verdere segmentatie van de Hollandse kust volgens de werkwijze van *gestuurde dynamische kustuitbreiding* (Figuur 0.5). Het gaat bijvoorbeeld om kapen nabij Katwijk en Petten. Evenzo bestaan er plannen voor een nieuwe kuststrook tussen Hoek van Holland en Scheveningen (Plan Waterman). Dit kan samengaan met bredere en hogere duinen met veel

dynamiek, waardoor in de toekomst een zwakke kustschakel wordt voorkomen. Op vergelijkbare wijze kan er een plan voor de kop van Noord-Holland worden gemaakt. Het vereist de bouw van een lange dam en het regelmatig uitvoeren van onderwatersuppleties. Een zandige uitbouw van 1 km bij Den Helder lijkt in eerste instantie niet realistisch, vanwege de grote zandverliezen naar de Waddenzee. Het vergt een gedegen studie om hier een betrouwbare uitspraak over te kunnen doen.



Figuur 0.5 Een gesegmenteerde Hollandse kust

Deltakust: Deze kust wordt grotendeels gevormd door de eilandkoppen van Goeree, Schouwen en Walcheren en Zeeuws-Vlaamse kust met voorliggende diepe getijstroomgeulen. Een geleidelijke kustaanwas volgens de werkwijze van *vrije dynamische kustuitbreiding* over grote aaneengesloten delen van de Deltakust is daarom beperkt mogelijk. Geschat wordt dat een verbreding van 50 tot 1000 meter in principe haalbaar is langs hooguit een derde deel van de Deltakust zoals aan de Noordwest kust van Walcheren, Goeree en Schouwen.

Voor gebieden met smalle duinen kan een gecombineerde aanpak van verbetering van de veiligheid en vergroting van de beschikbare ruimte worden gekozen. Dit is ook een optie voor bijvoorbeeld de Noordzeekust van Zeeuws-Vlaanderen en de Kwade Hoek op Goeree. Om dit te realiseren zal het noodzakelijk zijn om de nieuwe kust op te 'hangen' aan een aantal harde punten; lange dammen met lengte van orde 1 km, waardoor er een systeem van kustbogen ontstaat met aan de landzijde nieuw aangelegd zandduinen.

Waddenkust: Zandsuppleties langs de Waddenkust kunnen de hoeveelheid aanlandend zand vergroten. Dit kan in principe de natuurlijke ontwikkeling van de eilanden en getijdenbekkens ten goede komen en een grotere buffer creëren om de natuurlijke kusterosie langer op te vangen.

#### *Aanlegprijs*

De aanlegprijs bij vrije dynamische kustverbreding bedraagt €45-€65 per vierkante meter. De aanleg van een kuststrook met strandsuppleties gaat sneller maar is duurder; €110-€140 per vierkante meter. Nieuw land bij een kaap die is aangelegd met strandsuppleties en een strekdam van 500 à 1000 meter is geschat op €140-€180 per vierkante meter; bij kleinere kapen nemen de kosten van de strekdam onevenredig toe.

In Nederland is, ter vergelijking, de grondprijs van agrarische grond in de Randstad ca. € 30-60 per vierkante meter. Medio 2010 liggen de geschatte aanlegprijzen van het nieuwe land bij dynamische kustverbreding dus rond of boven de grondprijs van agrarische grond. Vanuit het oogpunt van investering is daarom het creëren van nieuwe ruimte aan de kust interessant wanneer er een duidelijke meerwaarde is van de ligging aan zee.

In China bedraagt de grondprijs bij landaanwinning langs de kust €25-60 per vierkante meter en is daarmee een goedkoper alternatief voor projectontwikkeling op het oude land.

#### *9. Onderzoeksagenda*

Een discussie over de doelstellingen van kustverbreding speelt zich af tegen een achtergrond van grote onzekerheden in de te verwachte zeespiegelstijging en klimaatrandvoorwaarden, economische ontwikkelingen en demografische ontwikkelingen. Bovendien zijn er nog vele vragen rond de wijze van uitvoering van kustverbreding en de gevolgen voor de omgeving. Al met al hebben we hier dus te maken met een ongestructureerd probleem.

Deze voorverkenning eindigt met een hoofdstuk over de onderzoeksagenda in relatie tot doelstellingen van kustverbreding. Het geeft een overzicht van: i) de uitkomsten van het Deltares Kustatelier 2009, ii) de formuleringen door de Deltacommissie in 2008, iii) de lopende onderzoeken voor kustbeleid en kustbeheer van het Ministerie V&W in 2010 en iv) van de onderzoeksvraagstelling in het programma Building with Nature.

Het is niet alleen van belang vast te stellen *welke* onderzoeksvragen voorliggen, maar evenzeer *hoe* het interactieve leerproces van stakeholders, bestuurders en deskundigen wordt vormgegeven (joint fact finding). Dit is een interessante uitdaging voor alle betrokkenen bij het Deltaprogramma Kust.



# 1 Inleiding

## 1.1 De kust

De Nederlandse kust maakt onderdeel uit van een zandige kustzone die loopt van de Kop van Jutland tot Cap Gris Nez in Frankrijk (Figuur 1.1). Het Nederlandse deel bestaat uit de Waddenkust met achterliggende eilanden en inter-getijdengebied, de Hollandse kust met aaneengesloten duinen en de open Deltakust met zeearmen en riviermondingen.

De kust is een zichtbare grens van Nederland. Je beleeft er de natuur (Figuur 1.2). Het biedt een grote, aangesloten, open ruimte, met uitsluitend onderbrekingen bij estuaria, tussen de eilanden en bij de havens. De stranden zijn openbaar gebied, dus zonder privaat eigendom en worden intensief gebruikt voor recreatie. De bebouwingsgraad van de kustzone is, ondanks de aanwezigheid van ca. 15 kustplaatsen, relatief laag. De kustzone is sterk verankerd in de ruimtelijke ordening. De kust is allereerst gereserveerd als zeewering tegen stormvloed. Waterkeringbeheerders garanderen een robuuste zeewering. Bovendien spelen de duinen een belangrijke rol op het gebied van drinkwatervoorziening en natuur. Het beheer wordt gevoerd door drinkwatermaatschappijen en terreinbeheerders.



Figuur 1.1 De Nederlandse Kust

## 1.2 Deltacommissie, Nationaal Waterplan, Deltaprogramma Kust

Eén van de voorstellen van de Deltacommissie II is om de Noordzeekust te verbreden om zo een extra buffer te creëren tegen de toekomstige zeespiegelstijging (Deltacommissie, 2008). Deze kustverbreding kan versneld worden door veel meer zandsuppleties uit te voeren dan er nu plaatsvinden. Naast een extra bescherming tegen stijging van de zeespiegel biedt een verbrede kust mogelijk nog een aantal andere maatschappelijke voordelen o.a. op het gebied van economie, ecologie en energie. De aanbeveling van de Deltacommissie luidt als volgt: "Tot 2050: Bouwen met de natuur. Voor de kust van Zeeland, Holland en de Waddeneilanden wordt de kustveiligheid op orde gehouden door het suppleren van zand, eventueel met verlegging van de stroomgeulen. De suppleties moeten zodanig worden uitgevoerd dat de

kust de komende eeuw kan aangroeien. Dit levert grote maatschappelijke meerwaarde op. Op korte termijn moeten zandwinlocaties gereserveerd worden. Ook moet onderzocht worden hoe deze grote volumes ecologisch, economisch en energetisch zo efficiënt mogelijk kunnen worden gesuppleerd.

Na 2050: Blijven suppleren - afhankelijk van de zeespiegelstijging met meer of minder zand”.

In reactie op het Advies van de Deltacommissie II kondigt het Rijk in het Nationaal Waterplan aan om de haalbaarheid van uitbouw van de kust te verkennen en een brede afweging te maken voor besluitvorming in de planperiode van het Waterplan (2009-2015) (V&W, 2009). Bovendien is er een uitvoeringsprogramma voor waterbeheer na 2020 in voorbereiding, het zogenaamde Deltaprogramma.

Het deelprogramma Kust van het Deltaprogramma beslaat twee onderwerpen. Het eerste onderwerp is *duurzame veiligheid*, dat eventuele aanpassingen omvat van het zandsuppletieprogramma als gevolg van zeespiegelstijging of verhoging van de veiligheidsnormen. Het tweede onderwerp is *kustuitbreiding* dat is gericht op het ruimtelijke beleid rond het scheppen van extra ruimte aan de kust. Vergroting van de veiligheid kan daarbij een neveneffect zijn. Bij het onderdeel kustuitbreiding wordt een aantal deelonderzoeken onderscheiden:

- de technische mogelijkheden van kustuitbreiding;
- de juridische haalbaarheid van kustuitbreiding;
- een verkenning van de ruimtelijke aspecten en
- een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA).

Het voorliggende rapport is opgesteld als onderdeel van het eerstgenoemde onderzoek.

### 1.3 Vraagstelling

De vraag of kustuitbreiding technisch uitvoerbaar is kan vooraf al bevestigend beantwoord worden. Op diverse plaatsen in de wereld zijn, door het opspuiten van land, al kustuitbreidingen gerealiseerd. De kwestie of en hoe kustuitbreiding uitgevoerd moet worden is vooral een maatschappelijk vraagstuk. Welk doel wordt ermee beoogd? Wie investeert? Wegen de kosten op tegen de baten? Antwoord op deze vragen is alles bepalend voor de strategie, het ontwerp, de fasering en zonering van een kustuitbreiding.

Als aanloop naar een maatschappelijke discussie in het kader van het Deltaprogramma is behoefte aan een document met een aantal algemene antwoorden op vragen over de technische mogelijkheden van kustuitbreiding, zoals:

- Wat is nodig aan zand voor de uitvoering van kustuitbreiding?
- Wat zijn de morfologische consequenties en hoe wordt ‘bouwen met de natuur’ vorm gegeven?
- Hoe ziet de kustuitbreiding er uit, zowel tijdens aanleg als na voltooiing?
- Met welke randvoorwaarden moet rekening gehouden worden?
- Wat zijn de geschatte kosten?
- Wat zijn de effecten op de omgeving?
- Beschikken we over de benodigde kennis?

De ‘technische’ mogelijkheden hebben in dit kader vooral betrekking op de morfologische aspecten van de aanwas langs de zandige kust van Nederland.

#### 1.4 De voorverkenning

Dit rapport presenteert een aantal noties over het natuurlijke kuststelsel ten behoeve van eventuele keuzes over grootschalige verbreding van de Nederlandse kust. Er wordt ingegaan op de duurzame uitvoeringsmogelijkheden volgens 'bouwen met de natuur'. De bijhorende randvoorwaarden, landschappelijke beelden en neveneffecten zijn op hoofdlijnen aangegeven.

De voorverkenning dient als hulpmiddel bij de discussie in het kader van het Deltaprogramma over de wenselijkheid van een kustuitbreiding die in 2010 van start gaat. De rapportage laat zien hoe een nieuwe kuststrook als zandige basislaag to stand kan komen, dat wil zeggen: zou kunnen komen, niet hoe het zou moeten.

##### *Afbakening*

Dit onderzoek is gebaseerd op bestaande inzichten bij Deltares; er zijn geen nieuwe detailstudies uitgevoerd. De voorverkenning richt zich op het creëren van een nieuwe, brede kuststrook als fysieke basislaag; de inrichting van het extra landoppervlak blijft buiten beschouwing, evenals de gebruiksmogelijkheden.

De verkenning heeft geen betrekking op lopende beleidstrajecten aangaande de beschermingsniveaus van kustplaatsen of de eventuele aanpassing in het beheer van de basiskustlijn of het kustfundament.

##### *Uitvoering*

De voorverkenning is uitgevoerd door Deltares in de periode september 2009 - maart 2010 en begeleid door een projectgroep met daarin:

VROM	Kees Vlak,
RWS-Waterdienst	Nicoline van den Heuvel en Deon Slagter,
RWS-Dienst Infrastructuur	Hans Janssen en Marcel v.d. Leemkule,
RWS-Dienst Noordzee	Leo de Vrees en Michael de Bruijn,
Alterra	Alex Schotman en
Deltares	Joost Stronkhorst.

De studie maakt deel uit van het project Gebruiksfuncties Kust en is gefinancierd door DG Water (BOA programma Waterveiligheid).

#### 1.5 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 van dit rapport gaat in op de algemene uitgangspunten van deze studie en presenteert i) de definities van kustverbreding en kustfundament, ii) de historische kustontwikkeling en het huidige kustbeleid- en beheer en iii) gaat kort in op de doelformulering van kustverbreding.

Hoofdstuk 3 bespreekt een aantal basisprincipes van kustverbreding vanuit diverse disciplines waaronder morfologie, ecologie en economie.

In de hoofdstukken 4 en 5 worden twee werkwijzen voor kustverbreding uitgewerkt namelijk i) *vrije dynamische kustuitbreiding* langs de gehele kust en ii) *gestuurde dynamische kustuitbreiding* langs specifieke kustsegmenten. De beschouwingen hebben uitsluitend betrekking op de fysieke basislaag.

Hoofdstuk 6 gaat in op de toepasbaarheid voor de voorgenoemde werkwijzen en maakt daarbij een onderscheid in de Waddenkust, de Hollandse kust en de Deltakust.

Hoofdstuk 7 sluit het rapport af met een beschouwing over de onderzoeksvragen over kustverbreding in relatie tot een interactief leerproces.





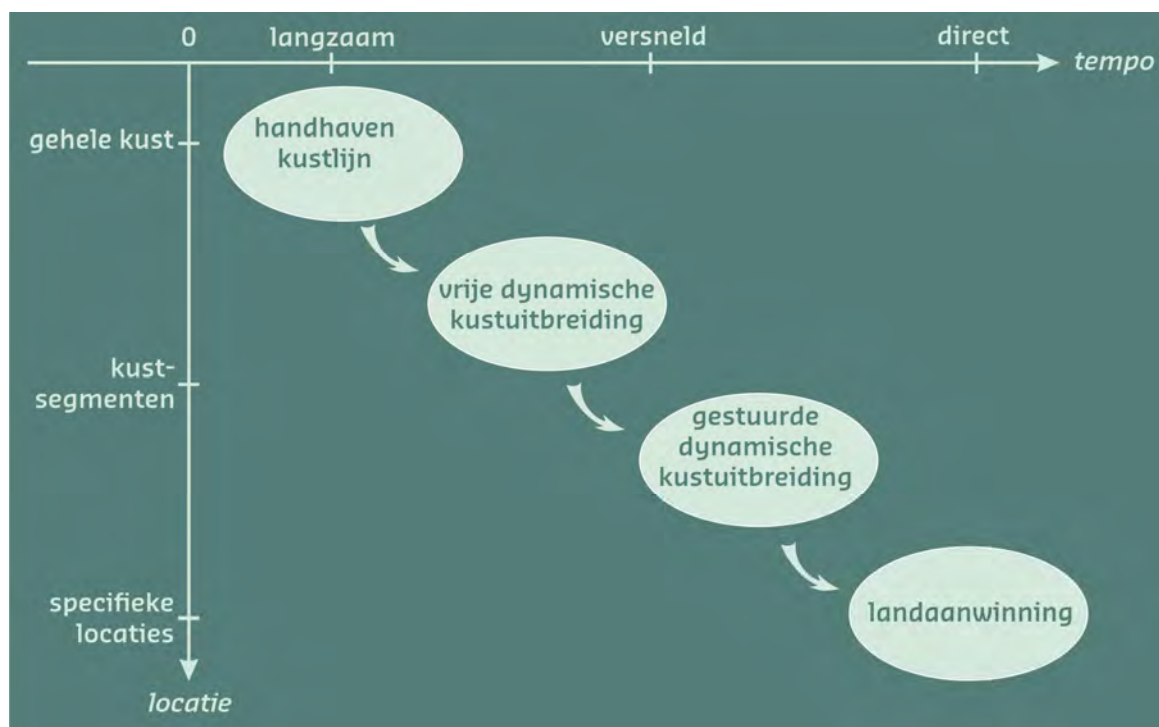
*Figuur 1.2 Een open dynamische kust*

## 2 Uitgangspunten

### 2.1 Definitie Kustuitbreiding

Kustuitbreiding kan op verschillende tijd- en ruimteschalen plaatsvinden (figuur 2.1). Bij verbreding van de Nederlandse kust wordt niet zozeer gedacht aan een grootschalige landaanwinning door het opspuiten van nieuw land, maar aan een geleidelijke dynamische kustaanwas door het regelmatig uitvoeren van grote zandsuppleties in de vooroever of op het strand gedurende vele decennia. Onder kustuitbreiding wordt in dit rapport verstaan:

- Het uitvoeren van *extra* zandsuppleties, boven op de huidige zandsuppleties voor het dynamisch handhaven van de kustlijn en het kustfundament<sup>1</sup>;
- over een (arbitrair gekozen) periode van 50 jaar zodat er voldoende tijd is voor geleidelijke kustaanwas;
- wat resulteren in nieuw land boven water, als permanente strook land of als tijdelijke bufferzone, buitendijks of binnendijks gelegen;
- met een breedte van 50 tot 1000 meter zeewaarts van de huidige kustlijn en
- direct verbonden met de 'oude' kust, langs de Noordzeekust van Holland, Zeeland en Waddeneilanden.



Figuur 2.1 *Typering van het begrip 'kustverbreding' als functie van tijd en ruimte. Dynamische kustuitbreiding is een continuüm tussen kustlijn handhaving en landaanwinning en kan op velerlei wijzen worden uitgevoerd*

1. Het kustfundament wordt zeewaarts begrensd door de doorgaande NAP -20 meterlijn, en aan de landzijde omvat het kustfundament alle duingebieden en de daarop gelegen harde zeeweringen

Deze voorverkenning gaat uit van extra zandsuppleties tot er een kustuitbreiding is ontstaan van maximaal één kilometer zeewaarts<sup>2</sup> in een periode van 50 jaar. Daarna kan besloten worden om de inspanning te continueren, te verhogen of te verlagen. Het uitvoeringsprincipe is: 'Bouwen met de Natuur'. Zand en morfologische processen bepalen de vorming van het nieuwe land. De suppletiestrategie voor kustuitbreiding kan op vele wijze worden ingevuld, al naargelang de beoogde doelen en de hydrodynamische omstandigheden. In deze studie zijn twee werkwijzen verkend:

- Vrije dynamische kustuitbreiding langs de gehele kust en
- Gesteuurde dynamische kustuitbreiding langs specifieke kustsegmenten.

Beide werkwijzen hebben betrekking op de fysieke basislaag. Ze worden in de hoofdstukken 3 en 4 uitgewerkt.

## 2.2 Definitie Kustfundament

Deze studie beschouwt extra zandsuppleties in het kustfundament. Het kustfundament omvat het gehele zandgebied, nat en droog, dat als geheel van belang is als drager van functies in het kustgebied. Het kustfundament wordt zeewaarts begrensd door de doorgaande NAP -20 meter lijn, en aan de landzijde omvat het kustfundament alle duingebieden en de daarop gelegen harde zeeweringen (VROM, 2006). Het zand uit het kustfundament wordt gedeeld met de aangrenzende Waddenzee en de Westerschelde.

Naast de autonome morfologische dynamiek zijn twee belangrijke externe factoren die het kustfundament beïnvloeden: enerzijds de zeespiegelstijging en anderzijds de maatschappelijke vraag naar ruimte en veiligheid (Figuur 2.2). Het eerstgenoemde is typisch een basislaag-fenomeen, gekenmerkt door een grote tijdschaal van eeuwen, terwijl het tweede kenmerkend is voor de occupatielaag met een tijdschaal van decennia.



*Figuur 2.2 Het strand en de duinen, hier ten zuiden van IJmuiden, maken deel uit van het kustfundament dat loopt van de binnenduinstrand tot de -20 meter NAP lijn in zee.*

## 2.3 Rijksbeleid t.a.v. zandsuppleties

### *Staan beleid*

Het kabinet kiest voor het laten meegroeien van de hoogte van het kustfundament met de zeespiegelstijging door toevoegen van zand (nota Ruimte, Nationaal Waterplan). Als vuistregel geldt dat bij een zeespiegelstijging van 2 millimeter per jaar er jaarlijks 7 miljoen kubieke meter zand op de kust moet worden gesuppleerd om achteruitgang van de basiskustlijn tegen te gaan en ongeveer het drievoudige om het zandvolume van het hele kustfundament op peil te houden. Momenteel wordt ca. 12 miljoen m<sup>3</sup> gesuppleerd, deels op het strand en deels op de onderwateroever<sup>3</sup>.

Het staand beleid garandeert dat ook in de toekomst zandsuppleties worden uitgevoerd die de fysieke randvoorwaarden van de kust in stand houden. De bescherming van kustplaatsen en Laag-Nederland tegen stormvloed op zee is wettelijk gewaarborgd door het Hoogwaterbeschermingsprogramma en vastgelegd in de Wet op de Waterkering (1996). Daarin ligt ook vast dat de basiskustlijn wordt gehandhaafd, waarmee tevens de fysieke randvoorwaarden voor natuur, recreatie en andere bestaande functies in de duinen en het strand gewaarborgd is.

### *Kustbeheer*

Suppleren gebeurt daar waar functieverlies in de kustzone optreedt. Suppleties vinden plaats dicht tegen de kustlijn aan, in een hoog dynamische zone. De planning van de uitvoering van suppleties houdt, naast de optredende erosie van de kustlijn, rekening met de tekorten aan zand in het kustfundament. Beide factoren bepalen waar er gesuppleerd wordt. Het zand komt uit de Noordzee buiten de -20 m NAP lijn. Het wordt niet gelijkmatig over het hele kustfundament uitgestrooid maar in een smalle strook langs de kust aangebracht, van -8 m NAP tot de duinvoet op ca. +3 m NAP. Een 'scheve' verdeling dus. De strook waar gesuppleerd wordt is een hoog dynamische zone waar getij en wind voor een natuurlijke herverdeling van het zand zorgen. Het zand verdeelt zich buiten de brandingszone, over het strand en 20-45% stuift via het strand de duinen in (Arens, 2008; Arens et al., 2009).

## 2.4 Doelformulering

Of en hoe kustuitbreiding uitgevoerd moet worden is vooral een maatschappelijk vraagstuk. De Deltacommissie II heeft aangegeven welke doelen beoogd kunnen worden en noemt als maatschappelijke voordelen van kustverbreding, naast de extra bescherming tegen zeespiegelstijging, de volgende punten:

- meer ruimte voor de natuur, en dynamischer leefgebieden voor planten- en diersoorten. Ook komt er geleidelijk meer afwisseling tussen zoet en brakwater. De kwaliteit die de afgelopen 150 jaar aan de kust verloren is gegaan, kan mogelijk worden terug gewonnen;
- meer ruimte voor recreatie;
- nieuw land voor hoogwaardige en hoogwaterbestendige bebouwing zodat bestaande kustplaatsen de voordelen van hun ligging aan zee blijven benutten/hun functie(s) behouden;
- mogelijkheden voor ondergrondse infrastructuur om de kust duurzaam te ontsluiten en de overige infrastructuur te ontlasten en

3. Om de kust met een zeespiegelstijging van 6-12 millimeter/jaar mee te laten stijgen is 40 tot 85 miljoen m<sup>3</sup> per jaar nodig

- een grotere zoetwatervoorraad in de duinen met als bijkomend voordeel het terugdringen van de zoute kwel.

Recent zijn de provinciale structuurvisies van Noord-Holland en Zuid-Holland verschenen. Het concept Provinciale structuurvisie Noord-Holland 2040 streeft een verbreding van de kust na met enkele tientallen meters zodat de Hondsbossche en Pettemer Zeewering weer in een vloeiende kustlijn ligt en er meer ruimte ontstaat voor natuur, recreatie en toerisme. Bovendien wordt onderzoek gedaan naar de aanleg van een haven buitengaats (Provincie Noord-Holland, 2009).

In Zuid-Holland zijn onlangs de doelen voor de verbreding van de Delflandse kust geformuleerd in het integraal ruimtelijk project Delflandse Kust (Provincie Zuid-Holland, 2010). De doelen zijn daar ondermeer:

- 1) een kwaliteitsverbetering van de bestaande duinen;
- 2) het uitvoeren van een megasuppletie;
- 3) de natuurlijke inrichting van de kustversterking.

De doelen voor een expliciete kustuitbreiding in het kader van het Deltaprogramma zijn op dit moment nog niet gespecificeerd. Naast de maatschappelijke wenselijkheid hebben we bij kustuitbreiding te maken met lange termijn onzekerheden in demografie, investeringsklimaat, zeespiegelstijging etc. Kortom, de mogelijkheid die kustuitbreiding voor de Nederlandse maatschappij biedt is vooralsnog een ingewikkeld vraagstuk. De doelen van kustuitbreiding zijn op verschillende niveaus te formuleren, namelijk:

- een strategisch niveau, waarmee het maatschappelijke doel van een uitbreiding van de Nederlandse kust wordt vastgesteld,
- een tactisch niveau dat aangeeft *waar en wanneer* kustuitbreiding plaats moet vinden en
- een operationeel niveau waarbij ingegaan wordt op de keuzes over *hoe* kustuitbreiding met suppleties uitgevoerd gaat worden (bijvoorbeeld als een geleidelijke kustaanwas middels megasuppleties onderwater).

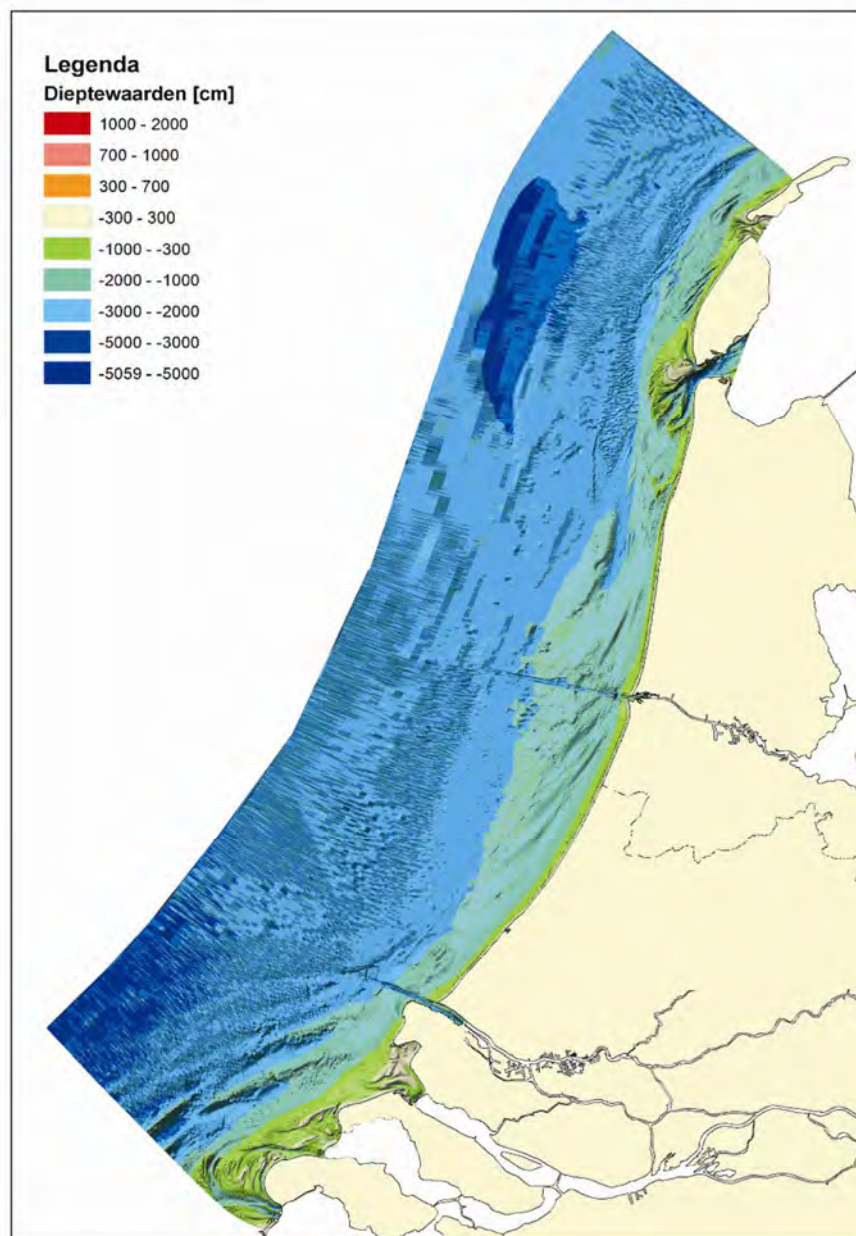


### 3 Basisprincipes

#### 3.1 Morfologie

##### 3.1.1 Algemeen

De Nederlandse kustzone bestaat uit zand (Figuur 3.1). Dat zand is altijd in beweging en maakt het kustfundament daarmee tot een dynamisch geheel. Zand is de drager van de natuur en de sociaaleconomische functies van de kustzone (Van Koningsveld & Mulder, 2004; Mulder, 2009).



Figuur 3.1 Het reliëf van het kustfundament onder de zeespiegel van de Noordzee.

De Noordzee vormt een groot zandreservoir. Het winnen van zand op de diepere Noordzee en het storten daarvan in de ondiepe kustzone of op het land, betekent het kunstmatige herstel van een morfologisch proces van zandaanvoer dat de afgelopen eeuwen tot stilstand is gekomen.

De kust past zich voortdurend aan en groeit op de ene plaats aan en erodeert op andere plekken. Hoeveel zand de zee oppakt, meevoert en weer neerlegt en op welke plekken precies, is telkens weer anders. Daarbij spelen natuurlijke factoren, zoals zeespiegelstijging, of menselijke ingrepen zoals de aanleg van dammen een rol.

Afhankelijk van zandtoevoer en zeespiegelstijging zijn drie soorten kusten mogelijk:

- 1) een terugtrekkende kustlijn, waarbij afslag overheerst. Over het algemeen zal dit een vrij dynamische kust zijn, met duinen die afslaan, doorstuiven en waarin gaten kunnen vallen. Tijdens stormvloed kan het water soms achter de duinen komen te staan. Soms zullen duinen landwaarts migreren. Verjonging van de natuur in het achterliggende gebied door instuivend zand en overstroming met zoutwater is normaal. Infrastructuur en bebouwing moeten voortdurend worden aangepast. Een dergelijke kust was karakteristiek voor het grootste deel van Nederland in de afgelopen eeuwen.
- 2) Een stabiele kustlijn. Over het algemeen is dit een kust die nauwelijks achteruit beweegt omdat afslag (door stormvloed) en aangroei (door voldoende sedimentaanvoer) elkaar in evenwicht houden. Veroudering van het achterliggende duinlandschap zal optreden. Bebouwing en infrastructuur zullen lange tijd gebruikt kunnen worden omdat de dynamiek beperkt is. Een dergelijke kust is karakteristiek geworden voor het grootste deel van Nederland met de invoering van de handhaving van de basiskustlijn in 1990. De voldoende zandaanvoer komt in dit geval door middel van suppleties tot stand.
- 3) Een zeewaarts uitbreidende kustlijn, waarbij aangroei de afslag overheerst. De golven zullen na het bereiken van een bepaalde kustbreedte, geen erosieve werking van betekenis op duinen kunnen uitoefenen. Het eolisch transport zorgt voor nieuwe duin(rij)en. Dit impliceert zowel de vorming van jonge natuur (witte en grijze duinen) als de veroudering van het achterliggende gebied dat afgesneden wordt van de zandaanvoer en zoutspray.

Het al dan niet toepassen van zandsuppleties bepaald in sterke mate of er een terugtrekkende, stabiele dan wel een uitbouwende kust ontstaat, inclusief de daarbij behorende karakteristieke natuur.

### 3.1.2 Historische kustontwikkeling

Sinds de laatste ijstijd, het Holoceen, zijn er enorme hoeveelheden sediment afgezet in de Nederlandse Delta (totaal 275 km<sup>3</sup>; van der Meulen et al., 2006). De fysische processen in deze periode werden in belangrijke mate beheerst door de zeespiegelstijging van ca. 50 m in de laatste 10.000 jaar. Aanvankelijk trok de gehele Nederlandse kust landwaarts terug als gevolg van de snelle stijging van het zeeniveau. Met de afname van de snelheid van stijging van het zeeniveau, omstreeks 6000 jaar voor heden, is de geologische ontwikkeling van de Hollandse kust in gang gezet door de vorming van strand en duinen op barrièreachtige eilanden voor de toenmalige kust.

Onder invloed van het spel van wind, golven en getijstromingen heeft de zandige kust zich aanvankelijk uitgebouwd in zeewaartse richting door aanvoer van sediment uit zee en de Rijn en herverdeling langs de kust door getijstromen.

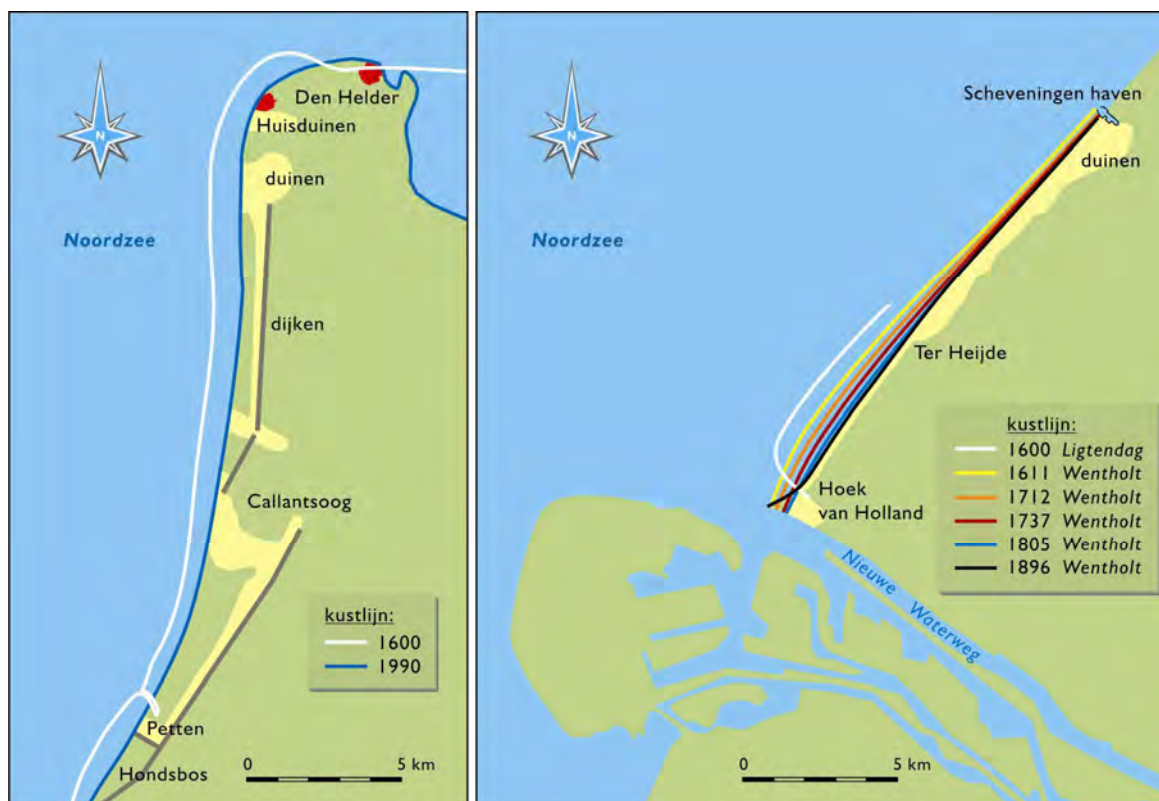
Langs de Wadden- en Zeeuwse kust heeft nooit op deze schaal uitbouw plaatsgevonden. Daarom treffen we daar een open kust met waddengebieden en estuaria aan (Beets et al., 1992, 1994; Beets en Van der Spek, 2000; Cleveringa, 2000).

Vanaf het jaar 1000 heeft de mens zich in toenemende mate te weer gesteld tegen het oprukken van de zee door het bouwen van dijken, het terugwinnen van land en het aanleggen van drainagesystemen (bemaling) in het achterland. De zandaanvoer naar de kust door golfwerking op de vooroever en door zandaanvoer vanuit de rivieren is geleidelijk afgenomen; tegelijkertijd zijn grote hoeveelheden zand vastgelegd in de z.g. jonge duinen. Hierdoor kon kusterosie gaan overheersen.

De Hollandse kust, met zijn holle kustboog in het centrale deel zoals wij die nu kennen, is ontstaan omstreeks 1600, toen de open vlakte tussen Callantsoog, Petten en Huisduinen is afgesloten van de zee door de bouw van een tweetal zanddijken. Sinds 1600 heeft de kusterosie zich in belangrijke mate geconcentreerd op de Zeeuwse eilandkoppen, op de hoek van Zuid-Holland en de kop van Noord-Holland. Deze laatste twee gebieden waren de overgangen van de gesloten Hollandse kust naar de aangrenzende zeegaten (Haringvliet in het zuiden en Marsdiep in het noorden). Tussen 1665 en 1864 is er nabij Egmond aan zee een paar honderd meter strand verloren gegaan. De kerktoren van Egmond is in 1741 in zee verdwenen. De dorpen Petten en Egmond zijn meerdere malen door de zee verzwolgen. De zanddijk zuidelijk van Petten is een flink eind naar binnen verlegd en later vervangen door de Hondsbossche en Pettemer zeewering.

Tussen 1600 en 1800 jaar is er in de kop van Noord-Holland een strook kust van ca 1 km breed afgekald (zie Figuur 3.2), vooral door de combinatie van sterke golf- en getijgedreven stromingen. In totaal is er over 400 jaar ca. 1 miljard m<sup>3</sup> zand verdwenen uit het kustvak tussen Egmond en Den Helder (ca. 5000 grote voetbalstadions vol zand). Waarschijnlijk is een groot deel van dit zand afgezet in de Waddenzee. In Zuid-Holland is kort na 1600 de smalle duinstrook nabij Ter Heijde versterkt door de aanleg van een zanddijk, die meerdere malen is weggeslagen en weer aangelegd op meer landinwaartse locaties. Zuidelijk van Ter Heijde bedroeg de kustafslag circa 0,5 tot 1 km tussen 1600 en 1800. Tijdens de stormvloed van 1791 is de zanddijk bij Ter Heijde grotendeels verwoest. Pas omstreeks 1800 kon de erosie nabij de zeegaten worden gereduceerd door de bouw van stenen strekdammen. Omstreeks 1990 is de kusterosie volledig tot staan gebracht door het introduceren van het beleid van dynamisch handhaven gebaseerd op grootschalige zandsuppleties (van Rijn, 2009).





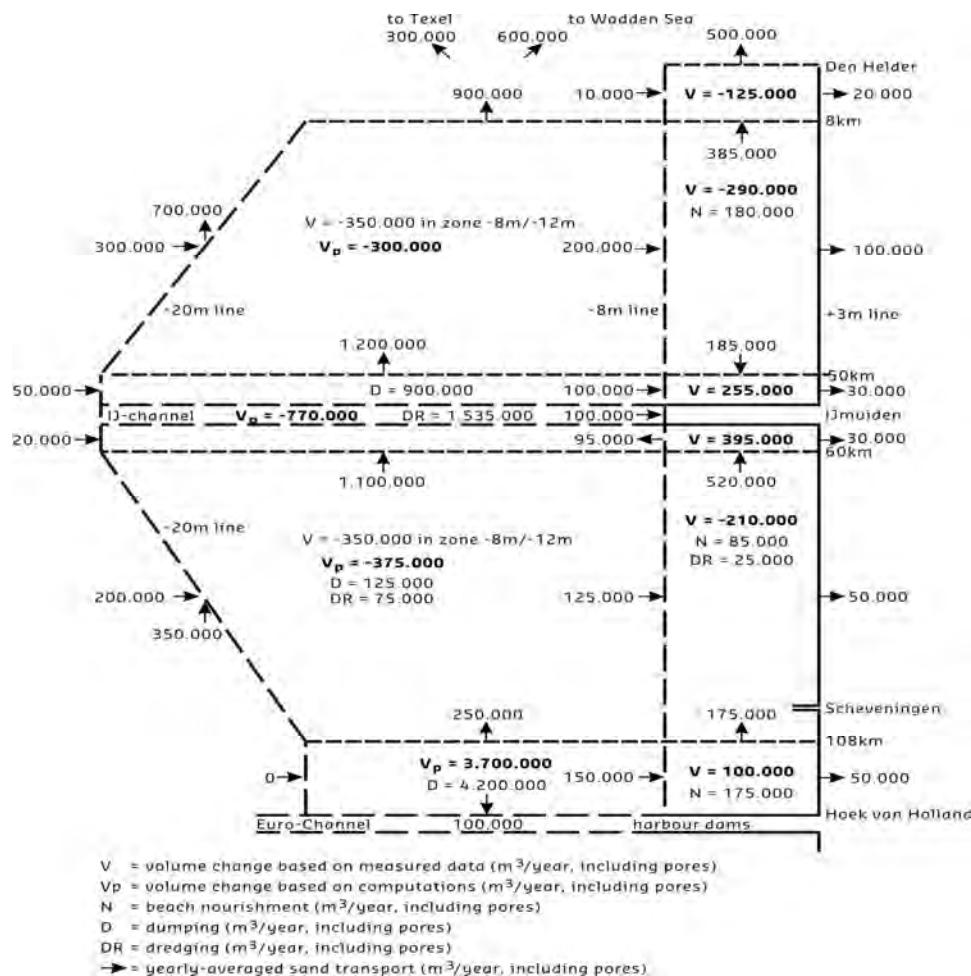
Figuur 3.2 Kusterosie bij Hoek van Holland en de kop van Noord-Holland

Na 1850 is een aantal grote waterbouwkundige werken in gang gezet. Tussen 1860 en 1880 is het Noordzeekanaal aangelegd en is de toegangseul naar de haven van Rotterdam gegraven en beschermd tegen golven door de bouw van lange havendammen loodrecht op de kustlijn. Na 1953 zijn de Deltawerken in de Zuid-Hollandse en Zeeuwse zeegaten uitgevoerd om het overstromingsgevaar door stormvloed en te elimineren met als sluitstuk de bouw van de stormvloedkering in de Oosterschelde (1980-1985) en de Maeslantkering (1990-1995) in de Nieuwe Waterweg. In de periode na de Tweede Wereldoorlog is de Maasvlakte aangelegd om ruimte te scheppen voor de zeevaartheavenuitbreidingen van Rotterdam. Ingrijpende werken in de Waddenregio waren de afsluitingen van de Zuiderzee en de Lauwerszee. Lokaal heeft dit soms tot aanzienlijke morfologische veranderingen geleid, maar op grote schaal gezien heeft de natuur zich niet verzet en zijn er geen grote problemen ontstaan. De zandhuishouding van de Nederlandse kustwateren is grotendeels op orde. Dit geldt ook voor de slibvoorraad. Het fijne slib dat wordt ingevangen in het enorme havencomplex van Rotterdam (ca. 10 miljoen m<sup>3</sup>/jaar) en in mindere mate in de buitenhavens van IJmuiden en Scheveningen, wordt weggebaggerd om de vaardieptes in stand te houden. Dit slib wordt vervolgens weer teruggestort in het kuststelsel.

### 3.1.3 Zandbalans

#### Zandbalans

Voor het verwezenlijken van kustuitbreiding moet een netto zandoverschot op de onderwateroever worden bewerkstelligd. Een bekend voorbeeld van een grootschalige sedimentbalans is gepresenteerd in Figuur 3.3.



Figuur 3.3 Voorbeeld van grootschalige sedimentbalans van de Hollandse kust (Van Rijn, 1995)

Factoren die de sedimentbalans van een gebied bepalen zijn:

- o Gradiënten in het langtransport door golven, getij, wind;
- o Gradiënten in het dwarstransport door golven, getij, wind;
- o Virtueel zandverlies veroorzaakt door zeespiegelstijging.

Menselijke handelingen die de sedimentbalans van een gebied bepalen zijn:

- o Baggerwerkzaamheden waardoor zand uit het kuststelsel kan verdwijnen;
- o De bouw van harde elementen (havendammen, strandhoofden, strekdammen), waardoor gradiënten in langs – en dwarstransport kunnen ontstaan;
- o Zandsuppleties, waarmee zand aan het kuststelsel wordt toegevoegd.

De omvang van deze posten op de sedimentbalans zijn voor de Hollandse kust samengevat in Tabel 3.1.

De bijdrage van harde elementen (bijvoorbeeld de haven van IJmuiden) is niet in de tabel opgenomen omdat de effecten zich binnen het balansgebied (kustzone tot NAP -20 m) afspelen. De schatting van langs- en dwarsgradiënten is gebaseerd op bestaande sedimentbalansen van de Hollandse kust, de schatting van het effect van zeespiegelstijging

op het oppervlak van het Hollandse kustfundament en een zeespiegelstijging van 2 mm per jaar. De grootschalige zandsuppleties zijn beduidend groter dan het netto natuurlijke zandtransport langs de kust.

Tabel 3.1 Bijdragen aan de zandbalans van het Hollandse deel van het kustfundament  
(+ = netto winst van zand, - = netto verlies)

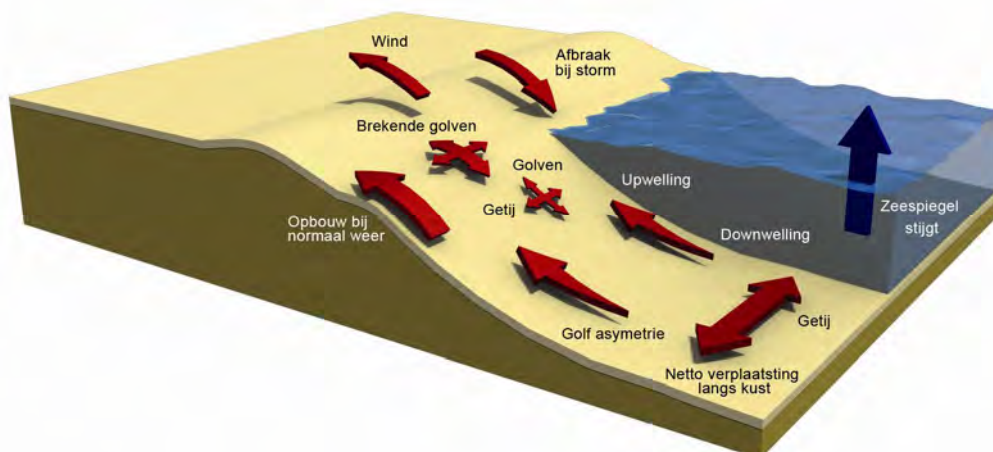
Bijdrage	Miljoen m <sup>3</sup> /jaar
Langs transport Hoek van Holland - Den Helder	0 à -3
Dwars transport naar de duinen	ca. -1
Zeespiegelstijging	-4 à -5
Baggerwerk	0 à -1
Suppleties	+5 à +7

## 3.2 Kustaanwas

### 3.2.1 Bouwen met de Natuur

Bouwen met de Natuur is het principe waarbij gebruik wordt gemaakt van natuurlijke processen en van hetzelfde type materiaal (bv. zand) dat van nature aanwezig is. Verschillende factoren dragen bij aan het opbouwen van de kust. Golven en vooral de zogenaamde golfasymmetrie zorgen voor kustaanwas. Getijstromen zijn de motor achter het opbouwen van zandplaten. Op deze manier groeit de natuurlijke zeereep mee met de zeespiegel (Figuur 3.4). Bijvoorbeeld, van de 55 miljoen m<sup>3</sup> zand die tussen 1997-2008 langs de Hollandse kust is gesuppleerd is ca. 12 miljoen m<sup>3</sup> in de zeereep terecht gekomen (~22 %; Arens, 2008); dat is ca. 10 m<sup>3</sup> per jaar per meter zeereep. Harde constructies langs de kust kunnen de opbouwende kracht van de golfwerking te niet doen.

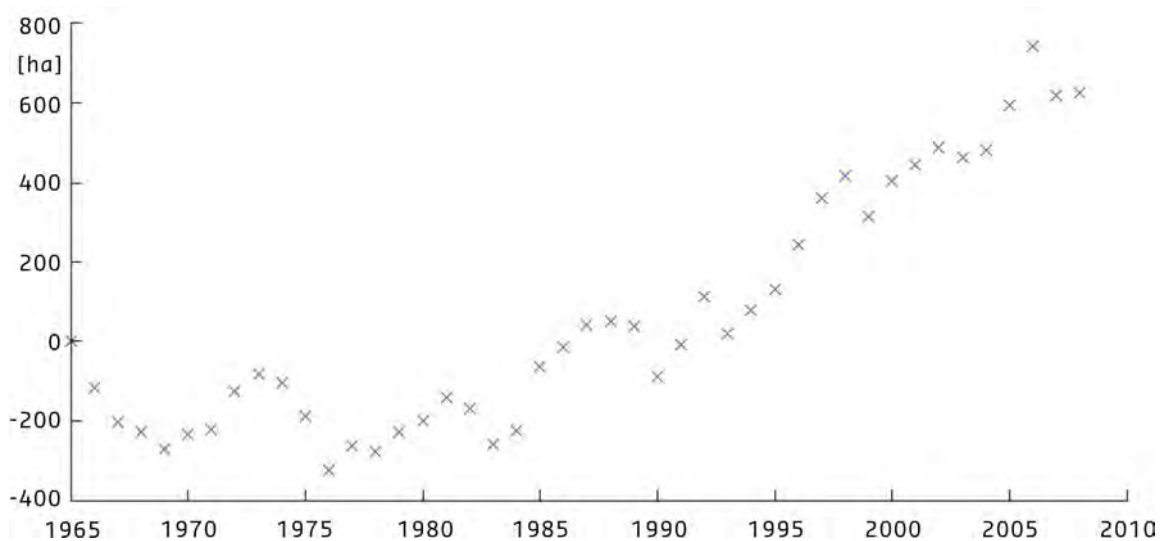
Voor een duurzaam beheer van een zandige kust is het dus essentieel om de golfwerking, de getijdenstroming en de aanwezigheid van een natuurlijke zeereep te 'koesteren'.



Figuur 3.4 Processen die een rol spelen bij kustmorfologie

### 3.2.2 Voorbeelden van kustaanwas langs de Nederlandse kust

Door het beleid van dynamische kusthandhaving is sinds 1990 niet alleen voorkomen dat de kustlijn landwaarts erodeerde maar zijn grote delen van de Nederlandse kust zelfs aangegroeid. Door het suppletiebeleid van de afgelopen 20 jaar is de duinvoet gemiddeld met 20 meter zeewaarts verschoven, of te wel gemiddeld ca. 1 meter per jaar. Tussen 1990 en 2010 is het duinareaal ca. 700 ha gegroeid (Figuur 3.5). Na een stormvloed zal het zand over de gehele kuststrook herverdeeld zijn en kan het proces van kustaanwas weer van voor af aan beginnen. Een dergelijk 'herverdeling' heeft de laatste tijd niet plaats gevonden omdat de afgelopen 20 jaar weinig zware stormvloeden zijn geweest langs de Nederlandse kust. Verwacht wordt dat een suppletie tot ca. 1000 M<sup>3</sup> per stekkende meter kustlijn zich in vijf jaar grotendeels herverdeeld (Van Vessem et al., 2007).



*Figuur 3.5 Trend in de aangroei van duinareaal tussen 1990 en 2009. In de voorafgaande periode was er sprake van kustachteruitgang; de gegevens over deze periode zijn deels via interpolatie tot stand gekomen en daarom minder betrouwbaar.*

Recente voorbeelden van lokale kustaanwas langs de Nederlandse kust zijn in onderstaande tabel weergegeven. Ze passen bij een zeewaartse strategie van 'gestuurde dynamische kustuitbreiding' die in Hoofdstuk 5 wordt besproken. In twee gevallen zijn zandsuppleties uitgevoerd, bij de overige cases vonden autonoom aanzanding plaats met zand dat elders van de kust erodeerde.

Tabel 3.2 Recente voorbeelden van lokale kustaanwas langs de Nederlandse kust.

Regio	Locatie	Element	Periode	Areaal strand/duin	Zandbron
Wadden	N-kust Texel	Eijerlandse dam <sup>4</sup> , 0,7 km lang	1995-heden	40 ha	Kust Texel <sup>c</sup>
Holland	kust bij Heemskerk	Noorder Havendam IJmuiden, 2 km lang	1967-heden	35 ha	Kust omgeving Egmond <sup>c</sup>
Holland	Kennemerstrand	Zuider havendam IJmuiden, 3 km lang	1967-heden	125 ha	Kust omgeving Katwijk <sup>c</sup>
Holland	Hoek van Holland <sup>a</sup>	Eenmalige suppletie	1976	150 ha	Mega-suppletie van 17 Mm <sup>3</sup>
Holland	Delfland <sup>b</sup>	Zanddam en suppletie	2008	35 ha	Mega-suppletie van 10 Mm <sup>3</sup>
Delta	NW-kust Goeree	Doorwerking Deltawerken	1990-heden	Aangroeisnelheid ca. 9ha/jaar	Voordelta

<sup>a</sup> de zg. van Dixhoorn driehoek

<sup>b</sup> nieuw duingebied bij Delfland als compensatiemaatregel voor de aanleg van Maasvlakte 2.

<sup>c</sup> gecompenseerd door zandsuppleties ter plaatsen in het kader van Kustlijn zorg

- 
4. De effecten op de kustlijn en andere morfologische gevolgen van de aanleg van de Eijerlandse dam zijn geëvalueerd, tien jaar na de aanleg in 1995 (De Kok, 2005). De Eijerlandse dam blijkt een goede en kostenefficiënte oplossing te zijn tegen frequente kusterosie van de noordkust van Texel. Dit kan overigens niet veralgemeniseerd worden. Lokale factoren als kustboog, kustprofiel, golfinvloed en getijsnelheden bepalen de werking, aanlegkosten en kosteneffectiviteit van dwarsdammen als oplossing voor eroderende kustgebieden.

### 3.3 Type zandsuppleties

#### 3.3.1 Omvang

Tabel 3.3 geeft een overzicht van de diverse typen zandsuppleties met een indicatie van de omvang.

Tabel 3.3 Overzicht van de diverse typen zandsuppleties en hun omvang (in miljoenen kubieke meter).

Type suppletie	Omvang (Mm3)
Middelgroot, voor handhaving Basiskustlijn	
- vooroever	2
- geulwand	2
- duinversterking	<0.5
- strand	<0.5
- combinatie	2-5
Groot, voor handhaving kustfundament e.d.	
- vooroever	5-7
- geulwand	5-7
- nieuw duin	>20
- verbreed strand	>5
- strandhaak	>5
- buitendelta of in zeegat	5-10
- eiland	>20

#### 3.3.2 Ervaringen met grote suppleties

Binnen het huidige programma Kustlijn­zorg worden suppleties van ca. 1 à 2 miljoen m<sup>3</sup> zand neergelegd op punten waar veel kusterosie optreedt. Er is al enige ervaring met grote suppleties om zandvolume in het Kustfundament aan te vullen.

Op de Zuidwest kust van Walcheren zijn in 2005 en 2009 zandsuppleties van 2,8 resp. 6,2 miljoen m<sup>3</sup> aangebracht. Langs de kust van Noord Holland, tussen Den Helder en Groote Keten, zijn in 2007 en 2009 een combinatie van zandsuppleties uitgevoerd van 6,4 resp. 2,3 miljoen m<sup>3</sup>. Een eerste evaluatie van de suppletie laat zien dat:

- Naar schatting 5% van het aangebrachte volume jaarlijks verspreid over het kustfundament. Het zand 'smeert' weliswaar uit in de directe omgeving van de suppletie (1-2 kilometer), maar een deel van het suppletielichaam zal naar verwachting na 10 jaar nog aanwezig zijn;
- De verdeling in een hoog dynamisch kustvak zoals nabij Marsdiep en het Zeegat van Texel veel sneller verloopt; van de deelsuppleties langs de Kop van Noord Holland is in 2-3 jaar tijd ca. 40% van het zand getransporteerd naar ondermeer de Waddenzee;
- De aangebrachte volumes zand per strekkende meter kustlijn ca. 1000 m<sup>3</sup> is en groter dan bij reguliere onderwatersuppleties (rond 300 m<sup>3</sup>/m'). Met grotere volumina is op dit moment nog geen praktijkervaring.



Bijlage A geeft een meer gedetailleerde bespreking van de praktijkervaring met grote suppleties.

### 3.3.3 Suppletieschema's

Om de zeespiegelstijging bij te kunnen houden, zou het suppletievolume in het begin van de uitvoeringsperiode van het ontwerp Nationaal Waterplan (2010-2015) al opgevoerd moeten worden. Inmiddels is uit onderzoek bekend dat in plaats van 12 miljoen m<sup>3</sup>/jaar er ca. 20 miljoen m<sup>3</sup>/jaar nodig is om het hele kustfundament mee te laten groeien met de huidige zeespiegelstijging (De Ronde, 2008).

Het idee is dat naarmate er meer gesuppleerd wordt, de BKL te allen tijde gehandhaafd is: zodoende zijn er geen relatief kleine suppleties nodig om de kusterosie op specifieke locaties tegen te gaan. Dit vereenvoudigt de uitvoering van het kustbeheer. Daarnaast biedt het economisch voordelen door de inzet van grote sleephopperzuigers. De wijze van suppleren, dat wil zeggen, de 'kustdwars' verdeling en qua vorm, bepaalt hoeveel ruimte er in de bufferzone ontstaat voor natuur (habitats), recreatie en wonen. Keuzes over distributiepunten en de vorm kunnen expliciet gemaakt worden, bijvoorbeeld op basis van een provinciale kustvisie.

## 3.4 Kust infrastructuur

De huidige kustlijn van Nederland wordt onderbroken door enkele havens met verdiepte toegangseuilen en bevat op veel plaatsen strekdammen om erosie van het strand tegen te gaan (Figuur 3.6). Bij de aanleg zijn de locaties en dimensies van dergelijke infrastructurele elementen bepaald op basis van de toenmalige situatie. Een significante ingreep in het kuststelsel, zoals kustverbreding, kan er toe leiden dat strekdammen hun functie verliezen en dat de lengte van havendammen ontoereikend zijn. Dit leidt ondermeer tot meer frequente onderhoudsbaggerwerkzaamheden of de noodzaak om bestaande infrastructuur aan te passen, zoals het verlengen van havendammen of het zeewaarts verplaatsen van strekdammen.



Figuur 3.6 Langs kustplaatsen en bij havens zijn diverse waterbouwkundige elementen aanwezig.

Het is dus zaak om bij kustverbreding de te verwachten impacts op het aanliggende kuststelsel vooraf in kaart te brengen. De volgende zaken zijn hierbij relevant:

- Gebieden met verhoogde erosie of aanzanding,
- Circulatiestromingen (eddies, muien),
- Baggerpluimen.

Hoe groter de ingreep in het kuststelsel des te groter de impact. De impact dient te worden gemitigeerd door een goede fasering in de bouwfase, een goed ontwerp van de infrastructuur (met als voorbeeld de vorm van de tweede Maasvlakte) en door toepassing van bepaalde bagger technieken om verspreiding van baggerpluimen te beperken.

Om te voorkomen dat bestaande infrastructuur zijn functie verliest of herhaaldelijk aangepast dient te worden, moeten ingrepen in het stelsel zoals kustverbreding passen in een lange termijn planning, of een Masterplan.

Als basis van concrete plannen voor kustuitbreiding dienen de geldende hydraulische randvoorwaarden te worden bepaald. Hierbij dienen in de ontwerpfase de volgende aspecten te worden meegenomen:

- veiligheidsniveau van het nieuwe land (afhankelijk van gebruikersfunctie, binnen- of buitendijks gebied);
- horizon van klimaatsverandering (zeespiegelstijging, vaker optreden van zwaardere stormen) en
- plannen voor aanleg of aanpassing van nabijgelegen infrastructuur en/of landaanwinningprojecten.

Het principe van kustverbreding is dat het nieuw aangebrachte zand zich onder de heersende golf- en stromingscondities verspreidt langs de kust. Daar waar bijvoorbeeld havendammen de kustlijn onderbreken, zullen zogenaamde kustbogen ontstaan. Het zal ook mogelijk zijn om stranden aan te leggen onder een andere dan de dominante golf richtingen. Dit vereist dan wel dat het strand vastgelegd wordt door bijvoorbeeld strekdammen en - met enige regelmaat - onderhoudsbaggerwerkzaamheden. In principe zijn dan alle vormen mogelijk (met als voorbeeld de Palm eilanden in Dubai). Ook kan er bij stranden gekozen worden voor een optimale zandfractie voor recreatief gebruik, mogelijk in een laag boven een grovere zandfractie.

Tijdens het proces van kustverbreding zal het doorgaans niet mogelijk zijn om het strand recreatief te gebruiken vanwege gevaar voor veiligheid en het idee van op een bouwplaats te staan. Dit wordt geïllustreerd in onderstaande Figuur 3.7. Strekdammen die in de huidige situatie de functie hebben om zandtransport langs de kust te verminderen, zullen bij kustuitbreiding hun functie verliezen. Hergebruik van materialen kan worden overwogen.



*Figuur 3.7 Het proces van landaanwinning begint met het aanvoeren en vervolgens het verdelen en verdichten van zand.*



### 3.5 Ecologie

De Nederlandse kust heeft veel potentie als het gaat om natuurwaarden, beleving en aantrekkelijkheid. Het verbreden van de kust biedt daarbij nieuwe kansen. De Nederlandse kust is traditioneel een dynamische kust (Figuur 3.8). Die dynamiek is afgenomen, vooral in de laatste paar eeuwen onder invloed van strikt beheer, ten eerste door Rijkswaterstaat en ten tweede door de waterschappen die toezagen op de naleving van de keuren. Sommige waterschappen hebben het onderhoud van de zeereep op gecontroleerde wijze afgeschaft<sup>5</sup> waarbij soms stuifkuilen ontstaan.

Zandsuppleties van de afgelopen twee decennia hebben positieve en negatieve effecten teweeg gebracht. De ecologie van de duinen ondervindt ook effecten van klimaatverandering (i.c. verlenging groeiseizoen als waarschijnlijk belangrijkste factor) en langjarige vermesting vanuit de lucht (aanrijking via met name nitraat-houdende neerslag).

Het is zaak uit te zoeken hoe een eventuele kustuitbreiding met een verwacht hoog niveau van zandaanbod en verschillende samenstelling (korrelgrootte) verder invloed zal uitoefenen op de ecologie van de kust. Daarbij is het nuttig onderscheid te maken in de “natte” kustecologie en de “droge” kustecologie. De scheidslijn is in dit geval de hoogwaterlijn, op zich een dynamische grens.



Figuur 3.8 Zandtransport naar de zeereep

#### “Natte” Kust

De invloed van suppleren op de “natte” ecologie van de kust vindt plaats in een zone die zich ruwweg van de hoogwaterlijn tot aan de -8 à -10m dieptelijn uitstrekt. Dit is de zone van habitat H1110b. Dit habitat, van de brekerbanken en daaronder, is nog slecht gedefinieerd,

5. Bij ongewenste ontwikkelingen zoals te diep uitblazen van een windgang wordt nog steeds ingegrepen.

en dat komt omdat er nog maar weinig morfologisch-ecologisch onderzoek in die zone heeft plaatsgevonden. Zelfs de gevolgen van de huidige uitvoeringspraktijken zijn slecht bekend. Pas in de laatste paar jaar is de aandacht gericht op het invullen van deze witte vlek in onze kennis. De inzichten bij de huidige omvang en wijze van suppleren zijn als volgt samen te vatten: er is een beperkte invloed op de ecologie in de omgeving van de suppletie. Voor zover er sprake is van ecologische invloeden op de zeebodem en de waterkolom is de tijdsduur ervan beperkt.

#### *“Droge” kust*

Door het dynamisch duinbeheer en de wens van steeds meer duinbeheerders om minder strak met de zeereep om te gaan (waar dit kan) verandert de Nederlandse kust geleidelijk weer in de richting van het beeld dat rond 1800 bestond: een hier en daar open kust, met lokaal sluffers, duinverstuingen, wandelende duinen en waaigaten. Op de Waddeneilanden zijn gebieden te vinden waar zeerepen zich op een nog hoger dynamisch niveau bevinden: stormen (golven en wind) hebben vrij spel, wat tijdelijk en plaatselijk tot grote zandverplaatsingen leidt, met de bijbehorende gevolgen voor ecologie, namelijk een voortdurend veranderende morfologie, die daarmee de vegetatie-ontwikkeling voortdurend terugzet en verjongt. Het is aan deze hoge graad van dynamiek te danken dat onze kust de hoge graad van biodiversiteit had. De biodiversiteit staat al enkele decennia onder flinke druk, en neemt af.

#### *Mogelijkheden van extra zandsuppleties*

Door gericht te kiezen in de grootte, locatie en frequentie van de suppletie kan de natuurfunctie tot haar recht komen. Als voorbeeld zou kunnen dienen de keuze om het handhaven van de BKL voort te zetten via megasuppleties waardoor in eerste instantie de kustlijn zich zeewaarts zal verleggen, evenals de duinenrijen. Deze kust zal een tijdlang de kenmerken hebben van een uitbouwende kust. Vervolgens wordt afslag toegestaan, waarbij de kust de karakteristieken zal hebben van een terugtrekkende kust. Er kunnen keuzes in de tijdschaal gemaakt worden.

De tijd die nodig is voor de opeenvolgende ontwikkelstadia in de duinen bedraagt decennia tot een eeuw. Ook zou kunnen gedacht worden aan de tijd die nodig is voor het tot stand komen van een strandbroedvogelkolonie of de ontwikkeling van “volwassen” onderwaterfauna met langlevende soorten zoals Mya of de Wulk met de gewenste instandhouding ervan. Een en ander is dus sterk afhankelijk van het inzicht in het verloop van de ontwikkeling van flora en fauna.

Op ecosysteem-niveau zijn ook keuzes te maken, bijvoorbeeld of de Wadden ‘verdrinken’ en veranderen in een lagune of een estuarium meegroeit met de zeespiegelstijging. De geologische ontwikkeling van waddegebieden en estuaria suggereert dat deze keuzes waarschijnlijk te sturen zijn via suppleties, waarbij opnieuw volumina, frequentie en locatie een bepalende rol zullen spelen. Het ‘verdrinken’ van de wadden gebeurt overigens alleen bij een zeespiegelstijging die aanzienlijk sneller is dan de huidige trend van 2 mm per jaar.

### **3.6 Binnendijks-buitendijks**

De grens tussen het buitendijkse gebied en het binnendijkse gebied (binnen een dijkkring) wordt door de waterkeringbeheerder vastgelegd in een legger. Waterkeringbeheerders houden rekening met het lange termijn gedrag van de kust. De afslagzone van een duingebied onder maatgevende stormomstandigheden wordt berekend uitgaande van het duinprofiel, de zogenaamde Hydraulische Randvoorwaarden (waterstand, golfhoogte, golfperiode), de korreldiameter etc. (Technisch Rapport Duinafslag TRDA2006). Landwaarts van de afslagzone dient een grensprofiel aanwezig te zijn; het gebied landwaarts van het

grensprofiel voldoet aan de veiligheidsnorm en ligt binnendijks. Landwaarts van het grensprofiel ligt ook nog een reservestrook voor het eventueel uitbouwen van de zeewering in de toekomst, waarbij wordt uitgegaan van 200 jaar zeespiegelstijging.

Er is geen eenduidige relatie aan te geven tussen kustverbreding en de ligging van het grensprofiel. Die hangt namelijk af van het gehele kustprofiel (vlak of steil, oriëntatie e.d.) en de wijze waarop het aangebrachte zand zich verdeelt.

Om de beheersinspanning te minimaliseren kan de waterkeringbeheerder, afhankelijk van het ruimtegebruik, een bepaalde zonering toepassen. Voorbeelden zijn: i) een extra brede waterkering bij dynamisch duinbeheer, waardoor het ontstaan van stuifkuilen niet tot compensatiemaatregelen hoeft te leiden, of ii) het landwaarts leggen van de waterkering bij een havengebied (IJmuiden), waardoor voor havenactiviteiten geen vergunningplicht geldt.

### 3.7 Zoetwatervoorraad

Bij zeewaartse uitbreiding van de Nederlandse kust bestaat de mogelijkheid dat zich in het met zand opgespoten gebied een nieuwe zoetwaterlens ontwikkelt, die mogelijk zelfs zich mengt met de al bestaande zoetwaterlens. Het zoete grondwater in deze nieuwe lens zou op termijn een welkome bron van zoetwater kunnen zijn, mede gegeven het feit dat in onze delta in de toekomst zoet water schaarser wordt door zeespiegelstijging, bodemdaling en een verandering in neerslag- en verdampingspatronen. In deze paragraaf wordt aangegeven of een dergelijke ontwikkeling van een nieuwe zoetwatervoorraad realiseerbaar en haalbaar is.

Duinverbreding heeft op den duur drie dingen tot gevolg:

1. vergroting van de zoetwaterlens onder de duinen;
2. een rem van zoutwaterintrusie vanuit de zee (zout zeewater moet een grotere afstand afleggen langs een dikkere zoetwaterlens en moet eventueel door slecht-doorlatende lagen stromen);
3. wellicht een zoete kwel in het achterland, maar pas de (zeer) lange termijn. Zeker is dit niet.

In de duingebieden langs de Nederlandse kust infiltreert al eeuwenlang zoet regenwater. Dit heeft geleid tot diepe zoetwaterlenzen in de ondergrond. Een dergelijke zoetwaterlens vormt een eigen dynamisch stromingssysteem, waarbij het zoete grondwater door dichtheidsverschillen blijft drijven op het brakke tot zoute onderliggende grondwater. Het zoete grondwater zal geleidelijk afstromen naar de uiteinden van de lens, al dan niet gemengd met zout grondwater. De grondwatersnelheid neemt toe naar de uiteinden van de lens en manifesteert zich aan de oppervlakte van het strand als sterke zoete kwel. Onderzoek naar de zoetwaterlens is al een ruime eeuw aan de gang (Badon Ghyben & Drabbe, 1898; Herzberg, 1901; Lebbe, 1983).

In het Hollandse duingebied van de drinkwaterbedrijven DZH, Waternet en PWN zijn de volumes zoet grondwater in de zoetwaterlenzen momenteel goed te beheren. In de jaren 1950 was dat wel anders (Venhuizen, 1971; Stuyfzand, 1993). Destijds werd in het duingebied grote hoeveelheden grondwater onttrokken uit het eerste watervoerend pakket en kwam brak en zout grondwater snel ophoog. Sindsdien is men overgeschakeld op kunstmatige infiltratie in het freatisch watervoerend pakket vanuit oppervlaktewater plassen met voorgezuiverd Rijnwater, en wordt grondwater onttrokken uit het freatische watervoerend pakket. Het eerste watervoerende pakket wordt grotendeels met rust gelaten.

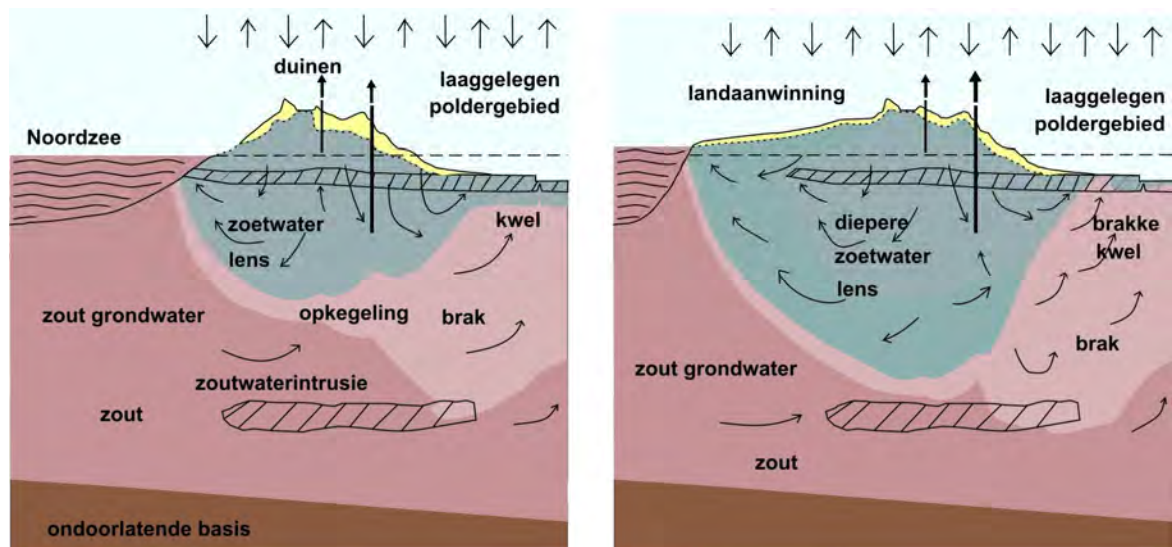
#### *Zoetwaterlensvorming*

Voor een aantal representatieve kustprofielen langs de Nederlandse kust is het effect van landaanwinning op de zoetwatervoorraad onder de duinen gekwantificeerd (Oude Essink,

1996). In principe leidt duinverbreiding op den duur tot een grotere zoetwaterlens en een groter volume zoet water onder de duinen (Figuur 3.9). Er moet dan wel voldaan worden aan de voorwaarde dat het nieuwe duingebied voldoende is opgehoogd en dat dientengevolge de freatische grondwaterstand voldoende kan opbollen: zonder opbolling immers geen dikkere lens (het regenwater stroomt dan immers over de oppervlakte af). De dikte van de zoetwaterlens onder de duinen zou dan 100-120 meter kunnen bedragen, met een opbolling erboven van 2-3 meter. De vorming neemt een periode van minstens enkele tientallen jaren tot enkele eeuwen in beslag.

De snelheid van ontwikkeling en de uiteindelijke dikte is mede afhankelijk van de aanwezigheid en doorlatendheid van weerstandslagen in het kustgebied. Indien significante weerstandslagen aanwezig zijn dan duurt het vormingsproces van de zoetwaterlens langer en kan de lens tevens minder diep geraken. De opbolling van de freatische grondwaterstand kan daarentegen in dat geval vele meters meer bedragen.

In een recente studie naar de gevolgen voor kustverbreiding en klimaatverandering op de duinen wordt geconcludeerd dat kustverbreiding een kleine invloed heeft op ondermeer de kwaliteit van het duindrinkwater (Stuyfzand et al., 2010).



Figuur 3.9 *Effect van landaanwinning op de zoetwatervoorraad onder de duinen; de lens wordt dieper en breder maar tegelijkertijd is een verhoogde kwel en een toename in zoutbelasting in het achterland waarschijnlijk*

Het proces van duinverbreiding kan leiden tot een versterkte zoute kwel landinwaarts van al in de ondergrond aanwezig brak to zout water (Figuur 3.9). Hoe lang dit proces duurt en de mate waarin hangt af van een aantal karakteristieken:

- De totale breedte van het uiteindelijke duingebied. Bij een breder duingebied zal de waterscheiding naar de zee verschuiven, met als direct gevolg dat meer zoet water richting het land afstroomt in de vorm van meer kwel: hoe breder, hoe groter de freatische opbolling, hoe groter de overdruk en hoe groter de kwel;
- Het zoutgehalte in de ondergrond aan de binnenkant van de duinen. Hoe zouter de ondergrond ter plaatse, hoe zouter de grotere kwel; bovendien zal door opkegeling van zouter dieper grondwater de zoutlast extra kunnen toenemen.

- De totale dikte van het watervoerend pakket en de diepteligging van de hydrologische basis. Ligt de hydrologische basis diep dan kan een zoetwaterlens zich voldoende diep ontwikkelen.

Mogelijke remedies tegen zoutere kwel in het achterland zouden kunnen zijn: lokaal peilopzet met zoet tot brak water, dichten van zoute wellen (met bijvoorbeeld Smartsoils/Bentoniet), gescheiden draineren/afvoeren en apart behandelen (eventueel via moderne ontziltingstechnieken).

Bovenstaande kwalificatie kan nauwkeurig gekwantificeerd worden op basis van monitoringscampagnes en modelstudies<sup>6</sup>.

### 3.8 Economie

#### Kosten zandsuppleties

De kosten van kustverbreding worden in eerste instantie bepaald door het uitvoeren van de zandsuppletie. Onderstaande tabel geeft een indicatie van de prijs per kuub zand. Strandsuppelties (Figuur 3.10) zijn ca. 2x zo duur als vooroeversuppleties.

Tabel 3.4 Kosten zandsuppleties<sup>a</sup>.

	Strandsuppletie (€/m <sup>3</sup> )	Vooroeversuppletie (€/m <sup>3</sup> )
Prijspeil 2008	7-9	4 - 6
Bij schaalvoordelen	-	~ 3

<sup>a</sup> incl BTW, bron Rijkswaterstaat



Figuur 3.10 Een strandsuppletie in uitvoering

#### Brandstof en CO<sub>2</sub>

Het transport van het zand van zee naar kustzone vergt een grote hoeveelheid brandstof wat gepaard gaat met ondermeer de uitstoot van CO<sub>2</sub>. De kosten van brandstof maken nu ca. 18% (jumbo hopperzuigers) tot 30% (kleine baggerschepen) van de totale kosten van suppleren uit.

#### Aanlegkosten

6. Er zijn diverse numerieke modellen voor grondwaterstroming ontwikkeld waarmee het effect van kustverbreding van het Nederlandse kustgebied ruimtelijk kan worden gekwantificeerd, waaronder: Deelmodel Hoogheemraadschap van Rijnland: 250\*250m<sup>2</sup>, gekalibreerd; Deelmodel Provincie Zuid-Holland: 250\*250m<sup>2</sup>, gekalibreerd (Minnema et al., 2004, Oude Essink et al., 2008); Deelmodel Zeeland: 100\*100m<sup>2</sup>, gekalibreerd (opgeleverd eind 2009) en Nationaal Hydrologisch Instrumentarium NHI zoet-zout, geheel Nederland (250\*250m<sup>2</sup>, grof gekalibreerd)..



Voor een landaanwinningproject bestaat er een optimum in de kostprijs van het areaal aan nieuw land. Een smalle landaanwinning is relatief duur omdat het gewonnen areaal klein is ten opzichte van de kosten van de zeeerende duinenrij. Voor een brede landaanwinning komt de duinenrij op steeds dieper water te liggen zodat de aanlegkosten onevenredig toenemen. Voor bijvoorbeeld de Hollandse kust met een vlak aflopende vooroever is een kustuitbreiding van 1 à 2 km in zee vermoedelijk het optimum (Waterman, 2008).

De aanlegprijs van nieuw land wordt geschat op  $75 \pm 25 \text{ €/m}^2$  (Stronkhorst et al., 2007; prijspeil 2006). De grondprijs in landelijk gebied in West Nederland ligt op ongeveer  $\text{€}30\text{-}60/\text{m}^2$  (Dienst Landelijke Gebieden, 2009; prijspeil 2008)

#### *Schaalvoordelen*

In de toekomst zullen de kosten van brandstof verder toenemen. Op een aantal vlakken zijn echter schaalvoordelen te behalen die de kostprijs kunnen drukken. Dat kan wanneer er permanent grote suppleties nodig zijn. De kostprijs is nu gebaseerd op een zekere inzet van de baggerschepen (ca. 26 weken per jaar), maar wanneer dat opgeschaald kan worden tot bijvoorbeeld 46 weken per jaar zal de kostprijs per kubieke meter zand dalen.

Daarnaast is er de mogelijkheid van schaalvergroting door het inzetten van zeer groot baggermaterieel bij het uitvoeren megasuppleties. Bovendien zijn innovaties denkbaar die de kosten verder verlagen. Bijvoorbeeld, door continu te suppleren via vaste koppelpunten en de natuur het verdeelwerk te laten doen.

In deze voorverkenning is een kostprijs aangehouden voor strand- en vooroeversuppleties van  $\text{€}7\text{-}9/\text{m}^3$  respectievelijk  $\text{€}3\text{-}4/\text{m}^3$  (prijspeil 2010).





## 4 Vrije dynamische kustuitbreiding

### 4.1 Aanlegprincipes

‘Vrije dynamische kustuitbreiding’ staat voor een geleidelijke zeewaartse uitbreiding van de gehele Nederlandse kust door het uitvoeren van grootschalige zandsuppleties in de kuststrook gedurende 50 jaar of langer (Figuur 4.1; Tabel 4.1).



Figuur 4.1 Dynamische kustuitbreiding speelt in op de natuurlijke dynamiek van het natuurlijke systeem en zorgt voor een geleidelijke kustaanwas in de loop van decennia

De grootschalige zandsuppleties of megasuppleties hebben een zandvolume van orde 20 miljoen m<sup>3</sup> of een veelvoud ervan en worden neergelegd op punten in de vooroever waar de kust zonder ingrepen relatief snel achteruitgaat of waar de duinenrij relatief smal is. De herhalingsfrequentie van megasuppleties in één kustvak is laag en ligt in de orde van enkele decennia. Er vinden geen menselijke ingrepen plaats anders dan de zandsuppleties. Dergelijke megasuppleties komen bovenop de zandsuppleties die in het kader van de huidige strategie (cf. programma Kustlijnzorg) worden aangebracht. Kleinere suppleties zijn uiteraard ook mogelijk, maar om tot een substantiële kustuitbreiding te komen zal dit minder kosteneffectief zijn en frequentere verstoring van de kustzone met zich meebrengen.

De verdeling van het zand over de kuststrook (duinen, strand en in ondiep kustwater) wordt overgelaten aan natuurlijke processen zoals de krachten van water en wind. Het zand verspreidt zich in de loop van decennia waardoor een gevarieerde kuststrook ontstaat van strandvlakten en duinen met variabele hoogten (Figuur 4.2). De nieuwe kuststrook zal uitgroeien tot een dynamisch natuurgebied en biedt ook mogelijkheden voor recreatief gebruik, zoals wordt geïllustreerd in Figuur 4.3.



Figuur 4.2 Dynamische kustverbreding nabij Kwade Hoek aan de Noordwest kust van Goeree-Overflakke

'Vrije dynamische kustuitbreiding' bouwt voort op het bestaande kustbeleid van dynamisch handhaven van het kustfundament en van de kustlijn. Het is relatief eenvoudig te implementeren of bij te sturen en past in het huidige 'zandige' kustbeleid (zacht waar het kan, hard waar het moet). De werkwijze van vrije geleidelijke kustaanwas wordt gedurende vele decennia doorgezet maar is tegelijkertijd flexibel: er kan besloten worden om tijdelijk minder inspanning te leveren. Aanleidingen daartoe zijn bijvoorbeeld: minder ruimtebehoefte of bezuinigingen op de overheidsbegroting.

Het staand beleid ten aanzien van kustlijnzorg zorgt ervoor dat het buitendijkse areaal behouden blijft bij zeespiegelstijging. Maar eventueel kan deze nieuwe kuststrook ook dienen als bufferzone tegen versnelde zeespiegelstijging.

Het nieuwe areaal kan in principe aan een dijkring worden toegevoegd en tot binnendijks gebied worden gemaakt. Daartoe moet de zeereep voldoende zandvolume hebben. Door traditioneel duinbeheer toe te passen, waarbij helmgras wordt ingeplant, zal de zeereep worden gefixeerd en in omvang toenemen. De hoogte van de zeereep zal bijvoorbeeld stijgen tot ruim boven de gemiddelde hoogte onder dynamische omstandigheden (>5 meter).

Tabel 4.1 Typering van 'vrije dynamische kustuitbreiding'.

Werkwijze	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geleidelijk creëren van een extra kuststrook</li> <li>• Door megasuppleties op goed gekozen locaties</li> <li>• Herhalingsfrequentie van enkele decennia</li> </ul>
Vorm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Langgerekte kuststrook over grote aaneengesloten delen, parallel aan de huidige kust.</li> <li>• Strandvlakten, muien, strandhaken, duinwallen, duinvalleien etc.</li> <li>• Buitendijks.</li> </ul>
Mogelijke functies	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extra open ruimte voor natuurontwikkeling,</li> <li>• dagrecreatie, buitendijkse bewoning e.d.</li> <li>• Er ontstaat een robuuste kust, d.w.z. na verloop van tijd ontstaat er een bufferzone die de veiligheid tegen overstromingen door stormvloed op zee vergroot.</li> <li>• De vrije horizon en openheid blijven aanwezig of versterkt.</li> </ul>



Figuur 4.3 Vrije dynamische kustuitbreiding biedt geleidelijk aan mogelijkheden voor gebruik zoals recreatie. Het recreatieve gebruik schuift op met de nieuwe duinenrijen en is tijdelijk van aard.

## 4.2 Uitvoering

### *Benodigde hoeveelheid zand en kosten*

Het zandvolume en budget dat nodig is voor het creëren van ruimte tot een niveau van +5 meter NAP, door het zeewaarts verplaatsen van het kustprofiel met 50 tot 1000 meter, is geschat aan de hand van een eenvoudige berekeningswijze (Bijlage C).

Tabel 4.2 geeft de resultaten weer, uitgedrukt als de totale suppletie-inspanning en jaarlijkse suppletie-inspanning gedurende een periode van 50 jaar. Er wordt vanuit gegaan dat, voor de termijn van 50 jaar, de actieve zone in de morfologie van de Nederlandse kust ligt tussen +5 tot -10 meter NAP. Voor de Waddenkust, Hollandse kust en Deltakust is een lengte van 96 km, 117 km resp. 87 km aangehouden en 300 km voor de gehele Nederlandse kust.

Een kustverbreding langs de gehele Nederlandse kust met 50 tot 100 meter vergt 5-9 miljoen kuub per jaar aan extra zand over een tijdspanne van een halve eeuw.

Voor een kustverbreding van 500 meter zal ca. 47 miljoen kubieke meter per jaar extra gesuppleerd moeten. Een dergelijke hoeveelheid valt ver buiten de huidige praktijkervaring. Deze grote zandvolumes overstijgen waarschijnlijk de natuurlijke transportcapaciteit om het zand binnen een periode van ca. tien jaar over het kustfundament te herverdelen. Bij een dergelijke opschaling van zandsuppleties kunnen nieuwe morfologische systemen ontstaan met bijvoorbeeld zandbanken, strandhaken en 'zandriffen'. Onderzocht zou moeten worden of hier een knikpunt ligt in geomorfologische processen in de vooroever. Wordt het zand dicht tegen de kust aangelegd, zoals dat momenteel gebruikelijk is, dan zal het kustprofiel 'steiler' worden. Het effect daarvan op het tempo van kustaanwas is niet eenvoudig te kwantificeren en vraagt om een gedetailleerde morfologische modelstudie.

Een kustverbreding met vooroeversuppleties langs bijvoorbeeld de Hollandse kust van 1 km vereist ca. 1900 miljoen kubieke meter zand. Dit komt bijvoorbeeld overeen met het, gedurende 50 jaar, jaarlijks aanbrengen van 2 megasuppleties van ca. 20 miljoen kubieke meter zand. De geschatte investering voor 1000 meter kustverbreding langs bijvoorbeeld de Hollandse kust is ongeveer 6-8 miljard euro.

Tabel 4.2 De geschatte extra suppletie-inspanning die nodig is om het kustprofiel zeewaarts te verplaatsen met 50 tot 1000 meter. De schatting is uitgedrukt in het totale benodigde zandvolume (A), de jaarlijkse extra zandsuppleties gedurende 50 jaar (B), het totaal benodigde budget (C) en de jaarlijkse extra uitgaven gedurende 50 jaar (D) bij een uitvoering met vooroeversuppleties. De schatting is gebaseerd op de volumeberekening (bijlage C) en prijspeil 2010.

<b>A. Totaal benodigd zandvolume (miljoenen kubieke meters)</b>				
<b>Kust-verbreding</b>	<b>Wadden-kust</b>	<b>Hollandse kust</b>	<b>Delta-kust</b>	<b>Totaal</b>
50 meter	70	90	70	230
100 meter	140	180	130	450
500 meter	745	910	675	2330
1000 meter	1540	1870 <sup>7</sup>	1390	4800
<b>B. Jaarlijkse extra zandsuppleties (miljoenen kubieke meters per jaar)</b>				
<b>Kust-verbreding</b>	<b>Wadden-kust</b>	<b>Hollandse kust</b>	<b>Delta-kust</b>	<b>Totaal</b>
50 meter	1,4	1,8	1,3	5
100 meter	2,9	3,5	2,6	9
500 meter	15	18	13	47
1000 meter	31	37	28	96
<b>C. Totaal benodigd budget (miljoen euro's)</b>				
<b>Kust-verbreding</b>	<b>Wadden-kust</b>	<b>Hollandse kust</b>	<b>Delta-kust</b>	<b>Totaal</b>
50 meter	200-300	300-400	200-300	700-900
100 meter	400-600	500-700	400-500	1400-1800
500 meter	2000-3000	3000-4000	2000-3000	7000-10000
1000 meter	5000-6000	6000-8000	4000-6000	15000-20000
<b>D. Jaarlijkse extra uitgaven (miljoenen euro's per jaar)</b>				
<b>Kust-verbreding</b>	<b>Wadden-kust</b>	<b>Hollandse kust</b>	<b>Delta-kust</b>	<b>Totaal</b>
50 meter	4-6	5-7	4-5	13-18
100 meter	9-12	11-14	8-11	28-37
500 meter	45-60	55-75	40-55	140-190
1000 meter	90-125	110-150	85-110	285-385 <sup>8</sup>

7. een kustverbreding van 2 km vergt volgens Snijders (2008) 4000 miljoen kubieke meter zand

8. dit overlapt met de raming van de Deltacommissie (2008, blz 73) voor 1 km kustverbreding die uitkwam op 100-300 miljoen euro/jaar gedurende 100 jaar (i.p.v. 50 jaar zoals in deze voorverkenning is aangehouden).





Figuur 4.4 Vooroeversuppleties via het zogenaamde 'rainbowen'

### 4.3 Consequenties voor bestaande functies en kustlijnzorg

#### *Kustplaatsen*

Kustplaatsen zijn vanuit het oogpunt van ruimtelijke kwaliteit en veiligheid gebaat bij duinen en stranden. Wanneer kustplaatsen achter een duinenrij komen te liggen biedt dit in principe ruimte voor nieuwe activiteiten die passen bij het dynamische karakter van deze bufferzone. Een voorbeeld van gebruik is het idee van een meegroeiboulevard (Deltacommissie, 2008, blz 54), waarbij is verondersteld dat er sprake is van een permanente verlegging van de kustlijn in zeewaartse richting. Dergelijk nieuwe, vooruitgeschoven boulevards zullen specifieke eisen aan het programma Kustlijnzorg stellen en past daarom niet direct in een strategie van *vrije dynamische kustverbreding*.

Brede duinen en strandvlakten kunnen het karakter van de kustplaatsen ook schaden, omdat de bestaande boulevards bijvoorbeeld niet meer in contact staan met de zee.

Net zoals bij de huidige kustlijnzorg is vrije dynamische kustverbreding geen garantie dat er altijd badstranden liggen op locaties en van een breedte die gewenst zijn vanuit de recreatiesector.

#### *Aanzanding havens en infrastructurele werken*

Bij een zeewaartse verschuiving van de kust schuift ook de brandingszone zeewaarts op, waardoor er meer zand getransporteerd kan worden langs de havendammen. Het onderhoudsbaggerwerk zal waarschijnlijk toenemen. Bij een kustverbreding met enkele

tientallen meters is de verwachting dat het onderhoudsbaggerwerk weinig toeneemt. Er zijn echter geen detailstudies beschikbaar om dit nader te onderbouwen. Uit kostenoverweging kan ook overwogen worden om de havendammen te verlengen. Bij een kustverbreding van orde 1 km lijkt een zeewaartse verlenging van bestaande havendammen onvermijdelijk (zie Tabel 4.3). Dat geldt ook voor infrastructurele werken zoals riooloverstorten en andere leidingen. De kosten zullen naar schatting honderden miljoen euro's bedragen of te wel enkele procenten van de totale investering die met een grootschalige kustverbreding gemeoid is.

Tabel 4.3 *Havendammen langs de Nederlandse kust welke bij kustverbreding tot 1 km op termijn mogelijk verlengd moeten worden om aanzanding van de vaargeul en haven tegen te gaan.*

Locatie	Lengte (km)
Den Helder	<0,05
IJmuiden	2-3
Scheveningen	0,5
Rijnmond	3,4
Brouwersluis	0,1
Roompotsluis	0,7
Vlissingen	0,1
Breskens	<0,05
Cadzand	<0,05

#### *Strandrecreatie*

Wanneer een megasuppletie zo wordt aangelegd dat er extra strand ontstaat, kan het een recreatieve trekpleister vormen. Zo kan een megasuppletie bij Delfland de aantrekkelijkheid van de Zuid Hollandse kust vergroten; dat vergt dan wel het ontwerp en ook een goede ontsluiting van de kust ter plaatse. Een strand moet ook veilig zijn. Niet alleen het water maar ook het zand kan risico's voor de recreant met zich meebrengen (zie Bijlage B). Zandsuppleties worden momenteel uitgevoerd buiten het toeristenseizoen om hinder te voorkomen. Zeker bij het opschalen van de suppletievolumes is het van belang om hier aandacht voor te hebben.

Aanslibbing van badstranden is een reëel risico bij kustverbreding. Dit is afhankelijk van het slibgehalte in de kustzee en van de vorm waarin de megasuppletie wordt aangelegd (bijvoorbeeld een luwte gebied bij een strandhaak).

#### *Ecologie*

De Europese Vogel- en Habitatrichtlijn en de nationale natuurwetgeving stelt eisen aan projecten zoals kustverbreding in aangewezen natuurgebieden langs de kust. Dergelijke projecten van 'dwingende redenen van groot openbaar belang' kunnen ecologische impacts veroorzaken die voldoende moet worden gemitigeerd of gecompenseerd.

Figuur 4.5 geeft een impressie van de ecologische waarden die langs de kust kunnen ontstaan. Suppleren voor kustuitbreiding kan vergaande ecologische effecten hebben in het zandwingebed, de vooroevers (transportcorridor), op de stranden en in de duinen (depositiegebieden). Grotere suppletievolumes dan de huidige hoeveelheden zand zullen de morfologie en de ecologie aanzienlijk veranderen. Naar verwachting zal een snel proces van begraven en rekolonisatie gaan optreden, zodanig dat levensgemeenschappen zich

moeilijker handhaven. Het is de vraag of dit de draagkracht van de levensgemeenschappen op en in de zeebodem en vogelgemeenschappen te boven gaat. De komende jaren wordt toegepast onderzoek gedaan naar de mogelijke effecten van de huidige suppleties op de onmiddellijk beïnvloede zones. Daaruit kunnen extrapolaties gedaan worden naar effecten van grootschalige en langdurige suppletieactiviteiten.



Figuur 4.5 a, b, c Voorbeelden van natuurlijke kustaanwas

Langs de Deltakust, de Waddenkust en de Kop van de Hollandse kust liggen ondermeer gebieden met brekerbanken die vallen onder Natura 2000. Mogelijk krijgt dit habitattype (H1110b) een verbeteropdracht. Opscaling van suppletieactiviteiten boven de huidige volumes kunnen zodoende ter discussie komen te staan. Een mogelijkheid zou zijn om een verbetering van kwaliteit van Habitat H1110b na te streven, op een wijze vergelijkbaar met die van de compensatieopgave voor de aanleg van de Tweede Maasvlakte.

De huidige harde verdedigingsvakken zullen bij kustverbreding geleidelijk aan onder het zand geraken. Dit betekent de verdwijning van “rijke dijk” assemblages, habitats die in de loop van der tijd (eeuwen) waren opgebouwd. In Zeeland hebben zich al van dit soort verdwijningen voorgedaan nadat daar palenrijen onder het suppletiezand zijn verdwenen.

Het Nederlands continentaal plat bevat een zeer grote voorraad aan zand. De kwaliteit van het zand is een belangrijke ecologische randvoorwaarde, vooral de korrelgrootte aan het bodemoppervlak. Gegevens over de korrelgrootteverdeling in de onderlagen van de zeebodem zijn echter nog maar beperkt voorhanden, terwijl dit een belangrijk gegeven is voor de toepasbaarheid van het zand voor het creëren van gewenste nieuwe habitats. Ook voor

strandbezoekers moet het strandzand goed gesorteerd zijn: niet te fijn en niet te grof, met zo min mogelijk slib en grover materiaal.

Rijkswaterstaat Dienst Noordzee is bezig om een zandstrategie te ontwikkelen. Daarmee wil de organisatie anticiperen op de groei in zandwinning vanuit de verschillende toepassingen voor de komende 50 tot 100 jaar. Hoewel de voorraad zand in de Noordzee zeer groot is en voldoende is om grootschalige zandsuppleties in lengte van jaren uit te voeren, is een zandstrategie nodig om conflicten in ruimtegebruik op de Noordzee te voorkomen en afwegingen te maken tussen zandwinning t.b.v. publieke taken zoals kustlijnzorg en commerciële doeleinden.

Gedacht wordt aan een zone voor zandwinning tussen de -20 m NAP lijn (buiten het kustfundament) en de zeewaartse lijn van de 12 mijlszone. Hoe dieper het zand gewonnen kan worden, des te kleiner het oppervlak van de zeebodem dat verstoord wordt. Indien een verdieping met 10 meter wordt aangehouden ontstaat er op termijn (eeuw) een 'zandwinoog'. Oriënterende modelberekeningen laten zien dat een dergelijke grootschalige zandwinoog het golfklimaat en de kusterosie langs de Hollandse kust met enkele procenten doet toenemen (van der Werf & Giardino, 2009).

#### *Kustlijnzorg*

Er is een duidelijke wisselwerking tussen de zandsuppletie-inspanning voor kustverbreding en het reguliere beheer&onderhoud van de kustlijn zoals dat wordt uitgevoerd in het Rijkswaterstaat programma Kustlijnzorg. Zoals gezegd zorgt Kustlijnzorg nu al voor enige kustaanwas, vanwege het gericht suppleren van 12 miljoen kubiek meter zand in de actieve zone dicht tegen de kust aan. Omdat de suppleties steeds herhaald worden zal de kustaanwas doorzetten tot een stormvloed voor duinafslag zorgt en het zand over de vooroever verdeeld. Omgekeerd zal kustverbreding bijdrage aan het zandvolume in het kustfundament. Kustverbreding zorgt er na verloop van tijd voor dat de BKL nergens meer wordt overschreden. Specifieke BKL suppleties zijn dan niet meer nodig (tenzij besloten wordt om de BKL zeewaarts op te schuiven).

Indien de nieuwe kustlijn ook in de toekomst gehandhaafd moet blijven, is het de vraag of er meer inspanning voor Kustlijnzorg nodig is dan nu het geval is.

Verondersteld zou kunnen worden dat een zeewaartse verschuiving van het kustprofiel tussen +5 meter NAP en -10 meter NAP (zoals in deze verkenning is gedaan) een versteiling impliceert van het gehele kustprofiel tussen +10 meter NAP en -20 meter NAP (de zeewaartse grens van het Kustfundament). Een deel van het berekende zandvolume kan door watertransport over de -10 meter NAP lijn naar dieper water verplaatsen worden (bijvoorbeeld nabij getijgeulen in Zeeland of koppen van de Waddeneilanden), dan wel via eolisch transport naar de achterliggende duinen stuiven. Mogelijk is daarom extra beheer&onderhoud van de kustlijn nodig om het nieuwe areaal te behouden; feitelijk is er dan sprake van 'uitgestelde aanleg'. Dit kan om aanzienlijke extra zandvolumes gaan, afhankelijk van de situatie (aanwezigheid getijgeulen, type duinbeheer e.d.).

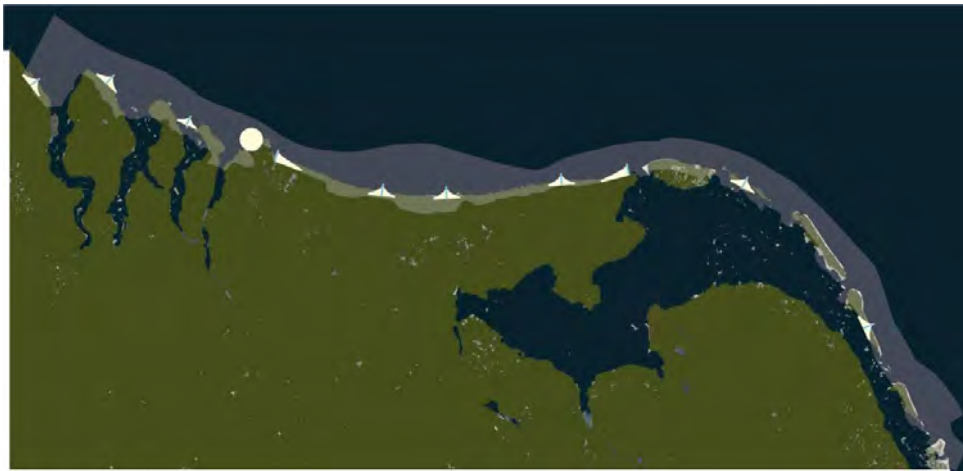
Aanvullende morfologische berekeningen zijn nodig om deze 'zandverliezen' te kwantificeren. Echter, de inschatting is voorlopig dat over een periode van 50 jaar deze bijdragen gering zijn en daarom buiten beschouwing kunnen worden gelaten bij deze eerste verkenning. Een versteiling is moeilijk aantoonbaar (van Rijn en Terwindt, 1997) en hoeft ook niet noodzakelijkerwijs een negatief effect te hebben op de stabiliteit van de kust. Niet de versteiling maar de balans tussen vraag en aanbod van sediment bepaald de morfologische ontwikkeling van de kust (o.a. Nicholls, 1989).



## 5 Gestuurde dynamische kustuitbreiding

### 5.1 Aanlegprincipes

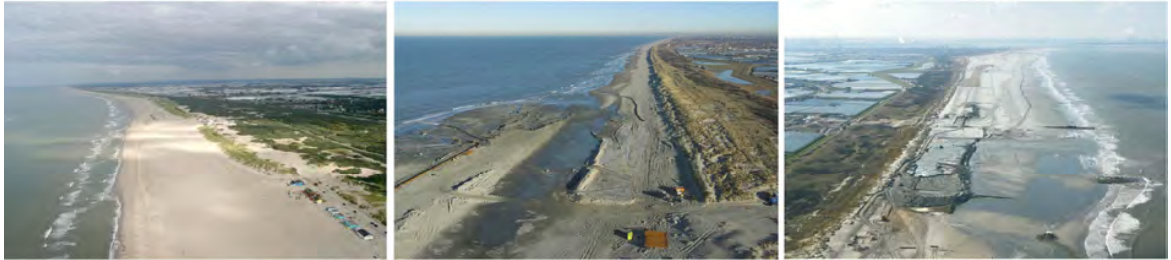
'Gestuurde dynamische kustuitbreiding' staat voor een zeewaartse uitbreiding van de kust door het uitvoeren van grootschalige zandsuppleties op welgekozen momenten en locaties ten behoeve van gebiedsontwikkelingen en gebruiksfuncties (Figuur 5.1; Tabel 5.1).



*Figuur 5.1 Een gestuurde dynamische kustuitbreiding speelt in op maatschappelijke initiatieven aan de kust waar het creëren van nieuwe ruimte een optie biedt. Deze strategie zorgt voor een versnelde aanwas door de locatiekeuzes van (grote) zandsuppleties en het gebruik van elementen (strekdammen e.d.). Er ontstaat een meer gesegmenteerde kustlijn. Het gecreëerde areaal kan dienen voor natuur en tijdelijk of permanent menselijk gebruik.*

Versnelling in de kustaanwas wordt mogelijk gemaakt door een gecontroleerde (gestuurde) aanzanding, meer dan bij de strategie van vrije dynamische kustuitbreiding waarbij de uitbreiding geheel wordt overgelaten aan natuurlijke processen. Het menselijk ingrijpen, kan variëren van een lichte sturing tot een sterke sturing. Voorbeelden zijn:

- het aanbrengen van quasi natuurlijke landschapselementen welke door natuurlijke processen in model gebracht worden. Een voorbeeld is een zanddijk voor de kust, zoals is toegepast bij de Duincompensatie Maasvlakte 2 bij Delfland (Figuur 5.2). De zanddijk zal in de loop der tijd verstuiwen tot een natuurlijk duin. Dit is een vorm van lichte sturing;
- het aanleggen van harde elementen, die voor versnelde aanzanding kunnen zorgen, in combinatie met grootschalige zandsuppleties. Denk aan de eindsituatie na de aanleg van de Eijerlandse Dam op Texel (Figuur 5.3) of het havenhoofd bij IJmuiden (Figuur 5.4). Dit is een vorm van sterke sturing;
- het aanbrengen van grote zandsuppleties in een luwtegebied. Hiermee kan vooruit worden gelopen op de natuurlijke ontwikkeling. Denk daarbij aan de zogenaamde 'van Dixhoordriehoek' die in 1976 ontstond na een suppletie van 17 miljoen m<sup>3</sup> tegen de Noorderstrekdam van de Nieuwe Waterweg bij Hoek van Holland.



*Figuur 5.2 Duincompensatie bij Delfland (aangelegd in 2009)*



*Figuur 5.3 Kustaanwas bij de Eijerlandse dam, Texel (strekdam aangelegd in 1995)*



*Figuur 5.4 Kustaanwas bij het Kennemerstrand ten zuiden van de haven van IJmuiden*



De megasuppleties hebben, om de gedachte te bepalen, een zandvolume van een veelvoud van 20 miljoen m<sup>3</sup>. Het gaat daarbij om strandsuppleties en/of onderwatersuppleties. Strandsuppleties worden aangebracht in de 'oksels' van de strekdammen. Onderwatersuppleties worden neergelegd op punten waar i) geleidelijke kustaanwas gewenst is voor gebruiksfuncties dan wel ii) om optredende kusterosie als gevolg van de aanleg te compenseren.

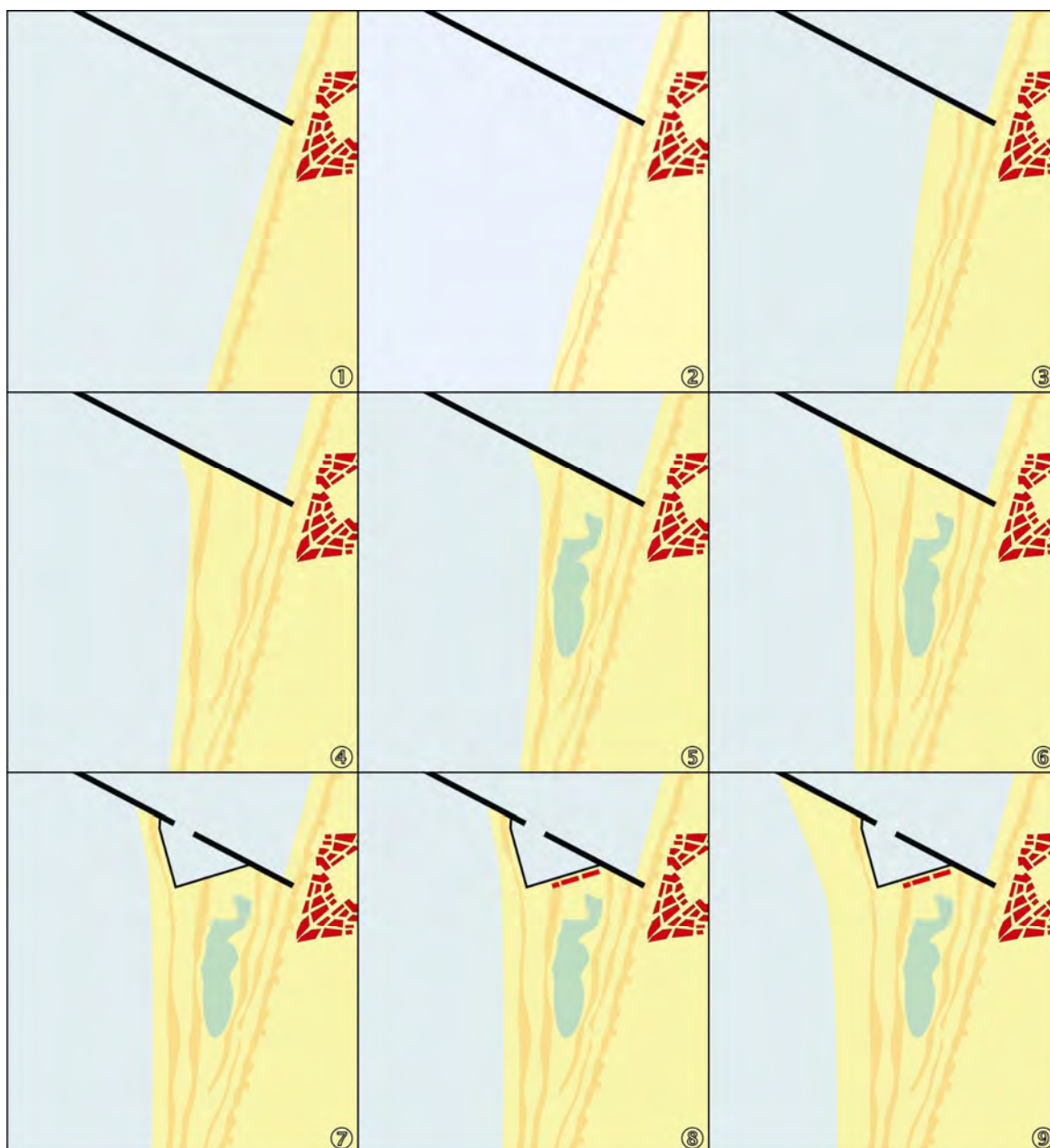
Hoeveel ruimte er ontstaat voor natuur en de tijdelijke dan wel permanente gebruiksfuncties zoals jachthavens, strandrecreatie en woonmilieus (zie ter illustratie Figuur 5.5) is afhankelijk van de wijze waarop de zandsuppleties op de kust worden aangebracht en de wijze waarop (harde) elementen worden ingezet. Dergelijke keuzes zijn expliciet te maken.

De selectieve uitbreiding resulteert in de vorming van kuststroken langs de kust of kapen als vooruitgeschoven landpunten in zee. Deze werkwijze is in lijn met diverse bestaande plannen (zie overzicht in Stronkhorst & Löffler, 2008; Tanis, 2006). Voorbeelden daarvan zijn de jachthavenontwikkeling bij Katwijk en Petten (NZO, 2009) of kustuitbreiding bij Delfland (Plan Waterman; Waterman, 2008).

In de tussengelegen segmenten kan de werkwijze van 'vrije dynamische kustuitbreiding' worden toegepast zodat ook daar kustuitbreiding optreedt, maar dan geleidelijk aan. Vele combinaties van werkwijzen en uitbreidingsvormen zijn mogelijk.

Tabel 5.1 *Typering van de strategie 'gestuurde dynamisch kustuitbreiding'.*

Werkwijze	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Versnelde kustaanwas op welgekozen locaties</li> <li>• Door megasuppleties in combinatie met zachte of harde elementen zoals zanddijken of strekdammen</li> <li>• Binnen enkele decennia</li> </ul>
Vorm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Een gesegmenteerde kust met strandvlakten, strandhaken, duinwallen, duinvalleien etc.</li> <li>• Resultierend in een aantal zandige kapen, nieuwe landstroken of schiereilanden</li> <li>• Buitendijks of binnendijks</li> <li>• Afhankelijk van aanleghoogte en bebouwing wordt de vrije horizon en openheid onderbroken.</li> </ul>
Mogelijke functies	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extra openbare ruimte en privaat terrein voor: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Toerisme en recreatie, bewoning e.d.</li> <li>• Natuurontwikkeling</li> </ul> </li> <li>• Er ontstaat een bufferzone, ook langs de kust met een relatief smalle duinenrij, die de veiligheid tegen overstromingen door stormvloed op zee vergroot.</li> </ul>



Figuur 5.5 Het principe van de ontwikkeling en benutting van een kaap. De strekdam zorgt voor versnelde kustverbreding. Het nieuwe terrein biedt ruimte voor een duinmeer, een jachthaven en bebouwing

## 5.2 Uitvoering

### *Uitvoeringsvormen*

Zoals gezegd kan voor een scala aan uitvoeringsvormen gekozen worden. Megasuppleties tegen de duinen en op het strand resulteren in directe areaalwinst. Megasuppleties in de vooroever leiden tot geleidelijke kustaanwas. Om bij steile oevers de zandverliezen in het nieuwe profiel tegen te gaan zijn oplossingen denkbaar zoals de zogenaamde 'hangende' stranden<sup>9</sup>. Net zo als bij *vrije dynamische kustverbreding* wordt er vanuit gegaan dat, voor de

<sup>9</sup> het concept van een hangend strand bestaat uit twee strekdammen aan de randen van de kust met een onderwaterdam tussen de uiteinden waar tussen een zandprofiel is aangebracht.

termijn van 50 jaar, de actieve zone in de morfologie van de Nederlandse kust ligt tussen +5 tot -10 meter NAP.

Om zand in te vangen dat het langstransport aanvoert kunnen quasinatuurlijke landschapselementen worden aangebracht. Er zijn vele alternatieven denkbaar zoals zanddammen, strandhaken, palenrijen, kunstrippen, paalhoofden, zandworsten, strekdammen etc. Zanddammen worden beschouwd als een 'zachte' maatregel en zullen weinig morfologische verstoring met zich meebrengen. Streckdammen van stortsteen zijn daarentegen een 'harde' maatregel die zullen leiden tot sterke stromingen en ontgrondingskuilen. Nabij grote harde elementen zullen kustbogen ontstaan. Met de gestuurde kustuitbreiding zal aanvankelijk wat meer kustlijnlengthe worden gecreëerd ten opzichte van de huidige lengte.

#### *'Harde' elementen*

De kustuitbouw kan worden gerealiseerd met (strand-)suppleties in de luwte of 'oksels' van harde elementen. Naast het aanleggen van deze strandsuppleties zullen lokale vooroeversuppleties aan de lijzijde en/of loefzijde voor het benodigde zand moeten zorgen. Met dit principe kan relatief stabiel nieuw areaal worden gecreëerd en kan worden voorkomen dat bestaande harde elementen zand aan naastgelegen kustsecties onttrekken wordt. Voor de voorspelling van de langs-herverdeling van het gesuppleerde zand zullen detail studies dienen te worden uitgevoerd.

Type, vorm en dimensies van harde elementen zullen vaak een compromis zijn tussen de wensen van de opdrachtgever/architect en de eisen die aan de robuustheid van de elementen worden gesteld. De vormen en materialen zoals gewenst door een architect zullen hierbij moeten samengaan met de eis om op lange termijn voldoende bescherming te bieden tegen golven en stroming. Het is daarom belangrijk dat in de planningsfase er regelmatig communicatie over en weer is tussen de opdrachtgever, architecten en ingenieurs.

Indien een hard element dat gebouwd wordt aan de kust een permanente gebruiksfunctie dient te hebben, bijvoorbeeld voor het plaatsen van gebouwen op een dam of woningen op een gewonnen stuk land, dan zal het ontwerp moeten voldoen aan specifieke veiligheidseisen. Het gewenste veiligheidsniveau bepaalt de hoogte van de kustuitbreiding en type en dimensies van de zeewering die de bebouwing en infrastructuur beschermen tegen golfaanval<sup>10</sup>.

#### *Ontgroning*

Bij het plaatsen van een kustdwarse strekdam moet er rekening mee worden gehouden dat door stroomcontractie en golfwerking ontgroning zal optreden bij de kop van de dam. De ontgroningdiepte en -oppervlakte dienen vooraf bestudeerd te worden, zodat er adequate bodembescherming kan worden toegepast.

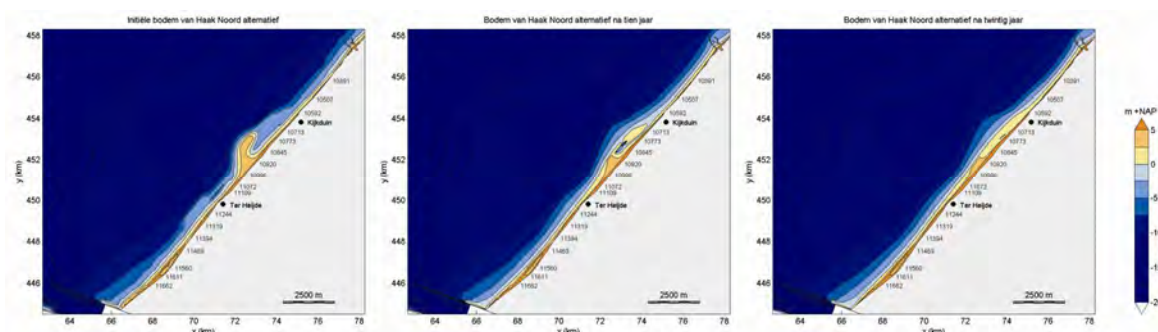
#### *Strandhaak*

Voor een strandhaak (Figuur 5.6) wordt zand tot relatief ver uit de kust geplaatst; de hoofddimensie is dwars op de kust in plaats van langs de kust. Doordat de strandhaak het langstransport onderbreekt (vergelijkbaar met het effect van een havendam) kunnen lokaal ook negatieve lijzijde effecten ontstaan. Er worden aanzienlijke gradiënten in het

---

10. De ontwerphoogte van een landaanwinning wordt o.a. bepaald door de maatgevende waterstanden en de verwachte zeespiegelstijging. Er kan rekening gehouden worden met additionele waterstandopzet als gevolg van golfbreking, zetting van het opgespoten land en een veiligheidsmarge. Dit alles bepaalt de ontwerpfilosofie. Zo is bijvoorbeeld de hoogte van het binnenterrein van de Tweede Maasvlakte gesteld op 5m boven NAP. Voor natuurgebieden is een variabel hoogte van belang zodat ook laaggelegen 'natte' natuur kan ontstaan.

langtransport rond de haak gecreëerd, en de verspreiding langs de kust geschiedt waarschijnlijk ongelijkmatig (via banken). De plek waar het grootste positieve effect is te verwachten is minder goed te voorspellen dan voor andere vormen van suppletie.



Figuur 5.6 Een mega-suppletie in de vorm van een strandhaak (linker kaart). Volgens morfologische modelberekeningen zal de strandhaak in 10 - 20 jaar geleidelijk aan vergroeien met de kustlijn (Deltares, 2009)

De strandhaak verandert het golfklimaat in de directe omgeving van de haak. Hierdoor kunnen (tijdelijk) negatieve (lijzijde) effecten ontstaan, waardoor wellicht extra maatregelen moeten worden getroffen. Een mogelijk probleem is ongewenste aanslibbing in de luwte van de haak. Aangezien de strandhaak zelf dynamisch is en in de tijd van vorm en omvang verandert, zullen ook de lijzijde effecten veranderen. Er moet dus in eerste instantie gedacht worden aan flexibele maatregelen om deze effecten te compenseren, bijvoorbeeld een strandsuppletie in het verwachte probleemgebied.

Indien geen snelle maar juist een langzame herverdeling van het zand uit het suppletiegebied gewenst is kan worden gedacht aan controlerende ingrepen aan de 'downdrift' rand van het suppletiegebied. Dit kan bijvoorbeeld een kort strandhoofd zijn dat een beperkt zand bypass toelaat. De bypass langs het strandhoofd zal in de tijd afnemen. Afhankelijk van de lengte van de constructie zal een deel van het gesuppleerde zand blijvend in het suppletiegebied achter blijven. Er wordt nog onderzoek gedaan naar de effectiviteit voor het creëren van extra strandbreedte.

#### Benodigd materiaal

Voor de aanleg van een grootschalige kuststrook is het benodigde zandvolume berekend volgens bijlage C, waarbij een lengte aangenomen is van 15 km. Verondersteld is dat het zand via strandsuppletie wordt aangebracht ( $\text{€}7\text{-}9/\text{m}^3$ ); zie Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Benodigde hoeveelheid zand (miljoenen kuub zand) en een indicatie van de kosten (miljoenen euro's) voor de aanleg van een 'standaard' kuststrook (1 x 15 km; zie bijlage C) met een aanleghoogte van 5 m + NAP.

kuststrook	Areaal (ha)	Strandsuppletie ( $\text{Mm}^3$ )	Kosten (M€)
50	75	11	80-100
100	150	23	160-200
500	750	116	800-1000
1000	1500	240	1700-2200

Voor wat betreft de 'kopen' is in deze voorverkenning uitgegaan van een 'standaard' kaap: zie Bijlage C. Tabel 5.3 geeft een inschatting van de hoeveelheid materiaal en budget dat nodig is voor het ontwikkelen van een 'standaard' kaap langs een vlakke vooroever.

Er zijn extra kosten om ontgrondingen bij de punt van de kaap tegen te gaan; de kosten daarvan zijn hier buiten beschouwing gelaten. De compensatiekosten, inrichtingskosten van het nieuwe land, infrastructurele kosten voor de verbinding met het oude land e.d. zijn ook buiten beschouwing gelaten.

Tabel 5.3 Benodigde hoeveelheid zand, profieloppervlak van een strekdam en een indicatie van de kosten voor een 'standaard' kaap met een aanleghoogte van 5 m + NAP (zie bijlage C)

Kaap (m)	Areaal (ha)	Strandsuppletie (Mm <sup>3</sup> )	Stortsteen (m <sup>2</sup> )	Kosten (M€)
50	0,35	0,1	800	4-4
100	1,4	0,2	1000	5-6
500	35	5,4	3600	55-65
1000	140	22	9000	190-240

### 5.3 Consequenties voor bestaande functies en kustlijnzorg

#### *Kustplaatsen*

De werkwijze van *gestuurde dynamische kustuitbreiding* sluit per definitie aan bij de ruimtelijke opgave van kustplaatsen.

#### *Onderbroken zandkust*

Een kwaliteit van de Nederlandse zandkust is de ononderbroken, open horizon met stranden en duinen waar wind, golven en stroming nagenoeg vrij spel hebben. Gestuurde dynamische kustuitbreiding zal daar afbreuk aan doen vanwege de segmentatie van de kust en wanneer de kopen en landstroken bebouwd worden.

#### *Aanzanding havens en infrastructurele werken*

Zoals besproken in paragraaf 4.4 wordt verwacht dat bij kustuitbreiding meer zand uit de toegangseulen gebaggerd moet worden. Voor de gestuurde kustuitbreiding rond havens zal dit effect naar verwachting minder sterk zijn dan bij de vrije dynamische kustuitbreiding. De kosten liggen in de orde van tientallen miljoenen euro's. Indien het onderhoudsbaggerwerk aanzienlijk toeneemt, kan een kostenafweging gemaakt worden voor het verlengen van havendammen.

#### *Recreatief gebruik*

Een haven- of strekdam aan de kust heeft een golfkerend of een transport reducerende functie. De kop van een kaap zal circulatiestromingen genereren, wat gevaarlijke situaties kan opleveren voor recreatie en recreatievaart benedenstreams (wisselt van richting als gevolg van getij) van de kaap. Een beperkt recreatief gebruik tijdens normale weerscondities is wel mogelijk maar hiervoor is de kaap doorgaans niet ingericht. Tijdens een storm is, door de brekende golven in combinatie met de harde wind, toegang tot de strekdammen niet mogelijk, of zelfs verboden.

Tenslotte is, zoals beschreven in paragraaf 4.4 en bijlage B, de aanleg van zandsuppleties tegen de kust niet zonder hinder of risico's voor strandrecreatie.

#### *Ecologie*

Vanuit ecologisch oogpunt kunnen de kapen als verjongingsgebieden functioneren, vergelijkbaar met bijvoorbeeld het gebied De Hors op Texel. Dergelijke gebieden komen, ten opzichte van de werkwijze van 'vrije dynamische kustuitbreiding', sneller tot stand maar op een kleinere ruimteschaal. Dynamische ruimte zoals zandplaten en eilanden zijn voor een deel verloren gegaan door afdamming van zeearmen, landaanwinning en fixatie van de kust (Vogelbescherming Nederland, 2008). Kapen kunnen een belangrijke bron van tijdelijke broedgelegenheid voor kustvogels gaan vormen. Daarvoor is wel een lange termijn strategie nodig wat betreft het verschijnen en verdwijnen van de ruimte en het beheer ervan. Voor de andere ecologische aandachtspunten wordt verwezen naar paragraaf 4.3.

#### *Zandwinning*

Net als bij vrije dynamische kustverbreding zal, hoewel in mindere mate, grote hoeveelheden zand moeten worden gewonnen op de Noordzee (zie paragraaf 4.3).

#### *Kustlijnzorg*

Indien de nieuwe kustlijn ook in de toekomst gehandhaafd moet blijven, is het de vraag of er meer inspanning voor Kustlijnzorg nodig is dan nu het geval is. Zoals in paragraaf 4.3 is gesteld, kan een deel van het berekende zandvolume namelijk door watertransport over de -10 meter NAP lijn naar dieper water verplaatsen worden dan wel via eolisch transport naar de achterliggende duinen stuiven. Aanvullende morfologische berekeningen zijn nodig om deze 'zandverliezen' te bepalen. De inschatting is voorlopig dat over een periode van 50 jaar deze bijdragen gering zijn en daarom buiten beschouwing kunnen worden gelaten in deze eerste verkenning.





## 6 Toepasbaarheid voor de Nederlandse kust

Dit hoofdstuk gaat in op de toepasbaarheid van een vrije dynamische kustuitbreiding langs de gehele kust dan wel een gestuurde dynamische kustuitbreiding langs specifieke kustsegmenten langs de Hollandse kust, Waddenkust en de Deltakust. Daarbij worden geen concrete afwegingen gemaakt voor specifieke kustlocaties maar ingegaan op de principes.

### 6.1 Hollandse kust

Een geleidelijke kustaanwas volgens het principe van *vrije dynamische kustuitbreiding* is mogelijk langs de gehele gesloten Hollandse Kust.

Ook kan worden gedacht aan verdere segmentatie van de Hollandse kust volgens de werkwijze van *gestuurde dynamische kustuitbreiding*. Door de aanwezigheid van het Noordzeekanaal bestaat dit stuk kust in feite al uit twee kustdelen: noordelijk en zuidelijk van IJmuiden. Deze trend kan worden doorgetrokken door het maken van harde punten (lange dammen) op relatief zwakke plekken bij ondermeer Den Helder, Petten (noordkant van de Hondsbossche Zeewering) en Katwijk. Op deze wijze ontstaan er diverse segmenten (zie Figuur 6.1). Binnen de segmenten kunnen kustbogen ontstaan, waarbij de boogvorm op den duur de evenwichtsligging benadert en het langstransport van zand wordt geminimaliseerd. De jaarlijks terugkerende suppletiehoeveelheden langs de Hollandse kust kunnen worden benut om eventuele erosie-effecten aan de lijzijden van de harde punten te bestrijden. Onderwatersuppleties nabij Den Helder zijn (vooral in de beginfase) nodig om te voorkomen dat de zandtoevoer naar de Waddeneilanden en de Waddenzee wordt verstoord.

Er bestaan al plannen om de kust van Zuid-Holland tussen Hoek van Holland en Scheveningen naar zee uit te breiden voor natuur, wonen en kleinschalige tuinbouw (ca 1600 ha; Waterman, 2008; Ecorys, 2004). Nieuwe duurzame natuur kan daar samengaan met bredere en hogere duinen met veel dynamiek, waardoor in de toekomst een zwakke kustschakel Monster/Ter Heijde wordt voorkomen.

Aan de noordkant van de Hollandse kust, bij Den Helder, kan in principe een grote dam de erosie tegen gaan en in combinatie met zandsuppleties de oude kustboog doen herstellen (zie bijvoorbeeld Schoorl, 2000). De zandinput naar de Waddenzee wordt daardoor in de aanvangfase zeker beïnvloed. Betwijfeld wordt echter of de aanpak van de Eijerlandse dam herhaald kan worden bij Den Helder. De geulen in de buitendelta van het Zeegat van Texel zijn namelijk groter dan die van het Eijerlandse Gat met mogelijk grotere gevolgen voor de stroming en scheepvaart.

Het terugbrengen van een vermeende historische situatie in de Kop van Noord-Holland wil nog niets zeggen over eventuele stabiliteit van de kustboog. De kust is daar namelijk sinds de middeleeuwen kilometers teruggetrokken. Een inschatting van stabiele hydraulische randvoorwaarden is waarschijnlijk een betere basis voor een grootschalige verandering van de kustoriëntatie in de Kop van Noord-Holland. Het vergt een gedegen studie om hier een betrouwbare uitspraak over te kunnen doen.



Figuur 6.1 De gesegmenteerde Hollandse kust

## 6.2 Waddenkust

De zandplaten aan de westzijde van de Waddeneilanden vertonen een duidelijk cyclisch gedrag van decennia waarbij door natuurlijke aanlanding van platen er korte perioden optreden van sterke kustuitbouw en aangroei, gevolgd door lange perioden van geleidelijke kusterosie.

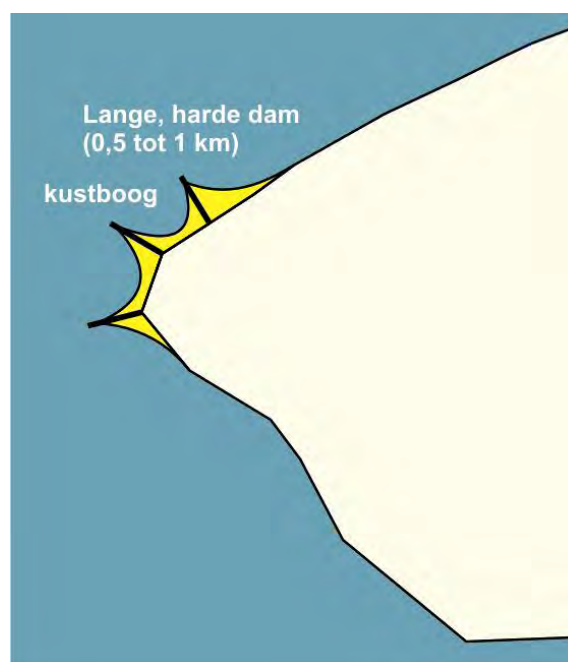
Extra zandsuppleties kunnen de hoeveelheid aanlandend zand vergroten en daarmee de natuurlijke ontwikkeling versterken. Er vormt zich een grotere buffer om de natuurlijke kusterosie langer op te vangen. Een deel van dit zand zal langs de kust worden getransporteerd in noordoostelijke richting en bijdragen aan de duingroei via verstuing over het strand. Op termijn kan dan natuurontwikkeling optreden.

### 6.3 Deltakust

Het kustgebied in de Zeeuwse delta wordt grotendeels gevormd door de eilandkoppen van Goeree, Schouwen en Walcheren en tussenliggende diepe getijstroomgeulen. Een geleidelijke kustaanwas volgens de werkwijze van *vrije dynamische kustuitbreiding* over grote aaneengesloten delen van de Deltakust is daarom beperkt mogelijk. Geschat wordt dat een verbreding van 50 tot 1000 meter in principe haalbaar is langs ongeveer een derde deel van de Deltakust (-30 km) zoals aan de Noordwest kust van Walcheren, Goeree en Schouwen.

#### *Gestuurde dynamische kustuitbreiding*

Op Goeree en Schouwen wordt het kustgebied gekenmerkt door relatief brede duincomplexen, met uitzondering van locaties als bijvoorbeeld het Flaauwe Werk. Op Walcheren zijn brede duincomplexen vrijwel afwezig rondom Westkapelle, waar de zeewering wordt gevormd door een zeedijk. De diepe getijstroomgeul Oostgat ligt hier dicht onder de kust waardoor de golfaanval vanuit zee relatief zwaar is bij stormen uit het zuidwesten. Kustverbreding kan voorkomen dat hier in de toekomst een zwakke schakel in de kustveiligheid ontstaat. Eerder is, onder regie van de provincie Zeeland, al een plan gemaakt waarin het Oostgat fors westwaarts wordt verlegd door zandsuppleties met als gevolg dat er aan de kust veel ruimte beschikbaar komt (plan Balkon van Walcheren). Voor dit gebied kan voor een gecombineerde aanpak van verbetering van de veiligheid en vergroting van de beschikbare ruimte worden gekozen. Dit is ook een optie voor bijvoorbeeld de Noordzeekust van Zeeuws-Vlaanderen en de Kwade Hoek op Goeree. Om dit te realiseren zal het noodzakelijk zijn om de nieuwe kust op te 'hangen' aan een aantal harde punten; lange dammen met lengte van orde 1 km, waardoor er een systeem van kustbogen ontstaat met aan de landzijde nieuw aangelegd zandduin. Het principe is weergegeven in Figuur 6.2.



Figuur 6.2 Aanleggen van kustbogen rond de kop van een eiland.

## 6.4 Globale kostenindicatie

### Aanlegprijs

De aanlegprijs van het 'nieuwe' land geeft, nog afgezien van inrichtingskosten van het nieuwe land, infrastructurele kosten voor de verbinding met het oude land, compensatiekosten e.d., een interessante eerste kostenindicatie. Tabel 6.1 toont de aanlegprijzen die berekend zijn met de gegevens uit Hoofdstukken 3 en 4 (en zonder omrekening naar netto contante waarde of het toepassen van een discontovoet).

De aanlegprijs bij vrije dynamische kustverbreding is afhankelijk van de eenheidsprijs van vooroeversuppleties (€ 3-4/m<sup>3</sup>) en varieert tussen € 45-75 per vierkante meter. Het nieuwe areaal ontstaat geleidelijk aan in enkele decennia.

Een snellere, gestuurde aanleg van een kuststrook met strandsuppleties (à €7-9/m<sup>3</sup>) kost €110-140 per vierkante meter.

De aanlegprijs bij de kapen is hoger, zeker wanneer een kleine strekdam wordt toegepast en relatief veel kosten voor stortsteen moeten worden gemaakt. Bij een lengte van 500 à 1000 meter ligt de aanlegprijs op €140-170 per vierkante meter.

Figuur 6.1 Globale indicatie van aanlegprijzen (€/m<sup>2</sup>) van het 'nieuwe' land bij een werkwijze van vrije en gestuurde dynamische kustuitbreiding (prijspeil 2010).

Kustverbreding (m)	Vrije dynamische kustverbreding	Gestuurde dynamische kustverbreding	
		Kuststrook	Kaap
50	€ 45-65 / m <sup>2</sup>	€ 110- 140 / m <sup>2</sup>	€ 1000-1050 / m <sup>2</sup>
100	„	„	€ 400-420 / m <sup>2</sup>
500	„	„	€ 150-180 / m <sup>2</sup>
1000	„	„	€ 140-170 / m <sup>2</sup>

In Nederland is, ter vergelijking, de grondprijs van agrarische grond in de Randstad ca. €30-60 per vierkante meter (Dienst Landelijk Gebied, 2009). Medio 2010 liggen de geschatte aanlegprijzen van het nieuwe land bij dynamische kustverbreding dus rond of boven de grondprijs van agrarische grond. Vanuit het oogpunt van investering is daarom het creëren van nieuwe ruimte aan de kust alleen interessant wanneer er een duidelijke meerwaarde is van de ligging aan zee.

In China bedraagt de grondprijs bij landaanwinning langs de kust €25-60 per vierkante meter (SOA, 2010) en blijkt daarmee een goedkoper alternatief voor projectontwikkeling dan op het oude land.

### Investering a.h.v. een hypothetische benadering

Een globale indruk van de investering voor kustverbreding langs de Nederlandse kust kan in feite niet worden gemaakt zonder enige vorm van plan en ontwerp. Omdat in dit aanloopstadium van het Deltaprogramma Kust toch enig inzicht te geven over kosten van kustuitbreiding zijn een aantal aannames gedaan.

Voor *vrije dynamische kustuitbreiding* is (hypothetisch) uitgegaan van een uitvoering van:

- 50 tot 1000 m langs de gehele Hollandse kust;

- 50 tot 1000 m langs een derde deel van de Deltakust (~ 30 km).

Tabel 6.2 presenteert de globale kostenindicatie, gebaseerd op de kentallen uit hoofdstuk 4. De minimale variant van vrije dynamische kustuitbreiding is een kustverbreding van 750 ha in 50 jaar tijd tegen een investering van 0,4 Miljard Euro. De bovengrens komt uit op 15000 ha nieuw land tegen een budget van 10 Miljard Euro.

Tabel 6.2 Globale kostenindicatie van de zandsuppleties bij een hypothetische uitvoering van vrije dynamische kustuitbreiding van 50 – 1000 meter langs delen van de Deltakust en de gehele Hollandse kust (prijspeil 2010).

Kustdeel	Lengte (km)	Areaal (ha)	Aanlegkosten (Miljard €)
Holland	120	600-12000	0,3-8
Delta	30	150-3000	0,1-2
Totaal	150	750 -15000	0,4-10

Voor *gestuurde dynamische kustuitbreiding* is, als hypothese, uitgegaan van het ontwikkelen van:

- 1-2 kuststroken van 15 km lengte langs de Hollandse Kust;
- 2-4 kappen van 1 km langs de Hollandse kust en
- 2-4 kappen van 1 km langs de Deltakust.

Tabel 6.3 presenteert een globale kostenindicatie van deze vormen van gestuurde dynamische kustuitbreiding. Er is gebruik gemaakt van de kentallen uit hoofdstuk 5. Het creëren van de 5 tot 10 lokale kustuitbreidingen levert 2100-4200 ha op bij specifieke locaties langs de Zeeuwse en Hollandse kust en vraagt om een investering van 3 tot 6 miljard euro.

Tabel 6.3 Globale kostenindicatie van de zandsuppleties en hypothetische aanleg van een aantal strekdammen bij uitvoering van gestuurde dynamische kustuitbreiding over een periode van enkele decennia (prijspeil 2010).

Vorm	Kustdeel	Aantal	Areaal (ha)	Aanlegkosten (Miljard €)
Kapen	Holland	2-4	300-600	0,4-0,8
	Delta	2-4	300-600	0,4-0,8
Kuststrook	Holland	1-2	1500-3000	2-4
	Delta	-	-	-
Totaal	Nederlandse kust	5-10	2100-4200	3-6





## 7 Aanzet tot een onderzoeksagenda

### 7.1 Ongestructureerd probleem vraagt procesaanpak

In dit hoofdstuk, als aanvulling op de onderzoeksagenda in 'Samen werken met Kennis' (Nederlandse kennisinstituten, 2009) een aanzet gegeven voor een onderzoeksagenda rond 'Kustverbreding'. Daarvoor is gebruik gemaakt van i) de uitkomsten van het Deltares Kustatelier-2009, ii) de formuleringen door de Deltacommissie (2008), iii) de praktijkervaringen met suppleties en kustuitbreidingen, iv) van de onderzoeksvraagstelling in het programma Building with Nature en v) ecologische vraagstukken die bij Kustlijnzorg worden onderzocht.

Het daadwerkelijk vormgeven van de kennisagenda hangt nauw samen met het discussiëren over de doelstellingen van kustverbreding en speelt zich af tegen een achtergrond van onzekerheden in de te verwachten klimaatrandvoorwaarden. Bovendien zijn er nog vele vragen rond de wijze van uitvoering en de gevolgen voor de omgeving. Al met al hebben we hier dus te maken met een ongestructureerd probleem (Nederlandse kennisinstituten, 2009; Deltares, 2008). Om dit probleem te ontrafelen is het niet alleen van belang vast te stellen *welke* onderzoeksvragen voorliggen, maar evenzeer *hoe* het proces wordt vormgegeven. Hoe dit interactieve leerproces tussen stakeholders en deskundigen wordt vormgegeven, vraagt de nodige aandacht (Hommes, 2009) en is een interessante uitdaging voor alle betrokkenen bij het Deltaprogramma Kust, ook voor de kennisinstituten zoals Deltares. Als voorbereiding voor een dergelijke discussie zijn in dit hoofdstuk een aantal onderzoeksvragen op een rij gezet.

### 7.2 Onderzoeksvragen

#### 7.2.1 Deltares Kustatelier

Het Kustatelier werd gehouden in 2009 als onderdeel van strategisch onderzoek intern Deltares en identificeerde een zevental die cruciaal zullen zijn bij de discussies over kustverbreding en die om toegepast onderzoek vragen (Stronkhorst & Lagendijk, 2009). De kwesties zijn:

#### 1. Bescherming van Laag-Nederland tegen overstromingen

Het huidige kustbeleid is ook in de toekomst afdoende voor een goede bescherming van het achterland tegen overstromingen door stormen op zee. De kwestie is of, wanneer *de normen voor waterveiligheid aangescherpt gaan worden*, kustverbreding nodig is *in die kustvakken waar de zeewering smal is*.

#### 2. Duinen

Tijdens het kustatelier kwam naar voren dat het huidige kustbeleid voor de juiste randvoorwaarden zorgt voor de bestaande duinen. De diversiteit van de huidige duinen is karakteristiek voor een afslagkust en wordt hoog gewaardeerd. De waarde zou nog groter zijn wanneer meer dynamiek werd toegelaten maar het ideaalbeeld uit de tijd van Jac. P. Thijsse, toen de duinen schraal waren qua voedingsstoffen, lijkt een gepasseerd station. De vraag is wat de verandering van een afslagkust in een aangroekust voor meerwaarde biedt. Een zeewaartse uitbouw van de kustlijn brengt een omslag naar een andere duinecologie met zich mee. Op een tijdschaal van vele decennia zal dit nieuwe natuur opleveren en is mogelijk

interessant daar waar de duinen nu smal zijn. Tegelijkertijd kan kustverbreiding tot een achteruitgang leiden in de kwaliteit van de bestaande duinen. De landwaarts gelegen duinzones zullen namelijk verruigen en verbossen omdat de dynamische invloed van de zee afneemt. *Kortom, de omslag van een afslagkust in een aangroekust is een cruciale kwestie; een ecologisch referentiebeeld voor nieuwe duingebieden ontbreekt nog.*

### 3. Stedelijke ruimtedruk

De areaalwinst bij kustuitbreiding zal geen antwoord zijn op de stedelijke ruimtedruk in de Randstad. Het kabinet wil geen woningbouw in een verbrede kust; het zit namelijk de gewenste versterking van de steden en binnenstedelijke verdichting in de weg en doet afbreuk aan de landschappelijke kwaliteiten en de natuurwaarden van de kust.

Kustuitbreiding aan de flanken van kustplaatsen biedt wel kansen om de ruimtelijke kwaliteit te vergroten, met mogelijkheden voor bijvoorbeeld recreatie. Maar voor de verdere ontwikkeling van bestaande kustplaatsen is kustuitbreiding mogelijk geen reële optie. Het vooruit schuiven van de kustlijn levert geen meerwaarde voor de kustplaatsen op omdat de oude boulevards hun contact met zee verliezen en verworden tot tweederangs locaties. De beperking in economische ontwikkeling van kustplaatsen wordt voor een deel toegeschreven aan de beperkingen die waterschappen opleggen voor het bouwen in de waterkering. *In plaats van kustuitbreiding is het uitwerken van concepten voor een bewoonde waterkering een belangrijke kwestie.*

### 4. Kustrecreatie en bereikbaarheid

Recreatie is een groeisector. Kustverbreiding biedt mogelijkheden omdat de ruimtelijke ordening recreatieve hotspots kan doen ontstaan. De bestaande infrastructuur voor de bereikbaarheid van de stranden wordt benut, per OV of wegen. *De kwestie is: waar langs de Nederlandse kust wordt ingezet op recreatieve hotspots.*

### 5. Onzekerheden en tijdelijk gebruik.

De onzekerheid over de lange termijn ontwikkelingen in de zeespiegelstijging, de economische groei en demografie van ons land zijn groot en vergroten de investeringsrisico's van kustuitbreiding als gevolg van de natuurlijke aanwas. Hoe kan op de beste manier omgegaan worden met deze onzekerheid? Het gebruik van de bufferzone voor *tijdelijke* (recreatieve) bewoning lijkt een investering die onder verschillende mogelijke toekomstige verantwoord is (robuust). Tijdelijk gebruik (tijdschaal van 1 of meerdere decennia) is bovendien flexibel want er kan gemakkelijk worden ingespeeld op zowel het opschalen van de zeewaartse strategie als het afbouwen ervan.

*De kwestie is of tijdelijk gebruik van de nieuwe bufferzone voor recreatie of bewoning een optie is.*

### 6. Maatschappelijk legitieme (voor-)investering

De zeewaartse strategie is flexibel doordat op elk moment besloten kan worden de kustuitbreiding een permanent karakter te geven of juist te stoppen. Tijdelijke kustuitbreiding door natuurlijke aanwas lijkt vanuit economisch oogpunt een strategie die recht doet aan de optiewaarde die kustuitbreiding heeft. Wanneer in de toekomst meer informatie beschikbaar is over klimaatverandering en, sociaaleconomische ontwikkelingen kan alsnog een definitief besluit genomen worden over het al dan niet permanent uitbreiden en inrichten van de kust.

Technisch gezien lijken er geen beperkingen voor het verbreden van de kust. De aanlegprijs van het nieuwe land ligt soms dicht bij de grondprijs in verstedelijkte gebieden, maar is toch doorgaans hoger dan die in het niet-stedelijke gebied van de Randstad. Het nieuwe areaal bestaat uit nieuw duingebied aan de zeezijde, ligt buitendijks en is slecht bereikbaar vanaf het oude land. Dit maakt investeringen in vastgoed minder aantrekkelijk. Het is de vraag of

kustverbreding een maatschappelijk legitieme (voor) investering is. Uiteraard moet de kostenverdeling een afspiegeling zijn van de verdeling van de baten over de belanghebbenden.

*Voor de financiering van kustverbreding moeten nieuwe concepten worden ontwikkeld.*

## 7. Uitvoeringsstrategie

Kustuitbreiding houdt in dat er langdurig op grote schaal zandwinning plaats vindt in de Noordzee en dat grote volumes zand gesuppleerd worden in de vooroever, duinen of op het strand. Er dient een slimme strategie ontwikkeld te worden om de kosten en de ecologische verstoring zo laag mogelijk te houden. In het kustatelier zijn twee uitvoeringsstrategieën naar voren gekomen die in lijn zijn met het concept van Building with Nature. Het gaat om een strategie van geleidelijke dynamische kustuitbreiding en een strategie van gestuurde dynamische kustuitbreiding.

*De kwesties zijn i) hoe actief het kustbeleid de kustuitbreiding wil sturen om te matchen met maatschappelijke initiatieven en ii) hoe kan een optimum gevonden worden in de ecologische ontwikkelingen in de vooroevers waar gesuppleerd wordt, op land (duinen en stranden) en de zandwinlocaties.*

### 7.2.2 Deltacommissie aanbevelingen

De Deltacommissie (2008) formuleert in haar aanbeveling voor de Noordzeekust als overkoepelende onderzoeksvraag: *... hoe ... grote volumes (tot 85 miljoen m<sup>3</sup> zand per jaar) in termen van ecologie, economie en energie zo efficiënt mogelijk kunnen worden gesuppleerd.* De betekenis van deze vraag wordt duidelijk uit de rest van de aanbeveling.

De vraag komt voort uit het advies

*... voor 'bouwen met de natuur' ... en*

*...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.*

Als verdere toelichting op deze aanbeveling volgt:

*Nadrukkelijk moet dit .. worden uitgevoerd .. op een geleidelijke wijze, die ruimte laat voor ecologische processen en in harmonie met de ruimtelijke ordening kan plaatsvinden.*

De meerwaarde voor verschillende functies komt vervolgens naar voren in:

*Een bredere kust biedt meer ruimte aan de natuur, ..... meer ruimte voor recreatie ..., er kan op dit nieuwe land lokaal hoogwaardige en hoogwaterbestendige bebouwing worden gerealiseerd,..... . bovendien is het zeer wel mogelijk ondergrondse infrastructuur aan te leggen om de kust duurzaam te ontsluiten en de overige infrastructuur te ontlasten. Een ander voordeel van een bredere kust is een grotere zoetwatervoorraad in de duinen.*

Deze functies, samen met kustveiligheid, geven inzicht in de gevraagde invulling van de termen ecologie en economie, genoemd in de overkoepelende onderzoeksvraag. De invulling van de term energie wordt geïllustreerd door verwijzing naar de noodzakelijke zandwinning:

*Ten slotte zouden de toegepaste win- en transportmethoden energiezuiniger en milieuvriendelijker kunnen worden door technologische vernieuwing en grootschalige aanpak,..*

Uitwerking van de overkoepelende onderzoeksvraag leidt tot een serie deelvragen per functie / thema / sector. De vraag daarbij is telkens: wat is de relatie tussen kustverbreeding en de functie in kwestie?

Een cruciale kennisleemte daarbij komt aan het licht, wanneer we de wens in beschouwing nemen om de uitvoering “op een geleidelijke wijze” te laten plaatsvinden door “te bouwen met de natuur”. Denkend aan een geleidelijke ontwikkeling in zowel tijd als ruimte, komen cruciale onderzoeksvragen naar voren, zoals:

- Hoe ontwikkelen zich de relaties tussen de verschillende functies en een verbrede kust in de tijd en in de ruimte, gegeven een “geleidelijke” uitbreiding?
- Hoe brengen we de dynamiek van deze ontwikkeling in beeld en hoe communiceren we dat?
- Hoe brengen we de verschillende tijdschalen welke gelden voor de verschillende functies met elkaar in balans?
- Hoe vergroten we inzicht en begrip voor dit vraagstuk van tijd- en ruimteschalen?
- Hoe geven we een wens voor grootschalige verbreding vorm in haalbare en gedragen, kleine stapjes?
- Hoe past een dynamische ontwikkeling binnen de bestaande regelgeving?

Een andere belangrijke hoofdvraag komt voort uit de relatie tussen de totale suppletiehoeveelheid zoals aanbevolen door de Deltacommissie ( 85 Miljoen m<sup>3</sup>/jaar), en de te verwachten zeespiegelstijging (130 cm in 2100). In principe is de aanbevolen suppletiehoeveelheid noodzakelijk om een zeespiegelstijging van 13 mm/jaar te compenseren. Door al nu, bij een zeespiegelstijging van 2 mm/jaar, te gaan suppleren ter compensatie van 13 mm/jaar, kan een buffer worden opgebouwd. Deze buffer leidt tot kustuitbreiding. Deze kustuitbreiding wordt geleidelijk weer opgesoupeerd, naar mate de zeespiegelstijgsnelheid toeneemt.

Aansluitend op de bovengenoemde cruciale onderzoeksvragen over de dynamische ontwikkeling van de landuitbreiding, vloeit hieruit de vraag voort:

- Hoe is de functieontwikkeling af te stemmen op de klimaatbuffer (= ‘tijdelijke’) karakter van de kustuitbreiding?
- Hoe ‘tijdelijk’ is de kustuitbreiding? of Hoe om te gaan met de onzekere ontwikkeling van het nieuwe kustareaal bij toenemende zeespiegelstijging?

### 7.2.3 Voorbereiden op de praktijk

Sinds 1990 vind er structureel kustonderhoud plaats door zandsuppleties. Criteria voor het verdelen van het suppletiezand in de tijd en in de ruimte, zijn het handhaven van de kustlijn (BKL) en van het kustfundament. De wijze waarop dit de afgelopen jaren heeft plaats gehad, is succesvol gebleken. De BKL-norm is gehandhaafd, terwijl over het algemeen genomen, de gemiddelde laagwaterlijn en de duinvoetpositie enigszins zeewaarts is opgeschoven. Dit beleid heeft binnen een tijdsbestek van 20 jaar al een bescheiden kustuitbreiding opgeleverd. Toch bestaan er nog wel een aantal vragen. De huidige uitvoeringspraktijk van suppleties heeft ervaring met een jaarlijks volume van 12 miljoen m<sup>3</sup>, en gaat ervan uit dat het suppletiezand zich, op langere tijdschaal, herverdeelt over het gehele kustfundament. Vragen zijn:

- Hoe verloopt dit herverdeelp proces in de tijd en in de ruimte?

- Hoe verandert dit proces wanneer de totale suppletiehoeveelheid wordt opgeschaald met een factor 7 ( van 12 naar 85 miljoen m<sup>3</sup>/jaar)?
- Wat is de consequentie van die herverdeling voor de ontwikkeling van een 'kustuitbreiding'?
- Door welke suppletiestrategie kunnen de negatieve aspecten van dit herverdelingsproces worden geminimaliseerd en de positieve gemaximaliseerd? Wat is een optimale suppletiestrategie?

Voor een deel worden deze vragen opgepakt binnen het RWS project Kustlijnzorg, gekoppeld aan een huidig jaarlijks suppletievolume van 12 miljoen m<sup>3</sup>. Aanvullende informatie is af te leiden uit andere projecten langs onze kust.

Ervaringen met grotere zandhoeveelheden in combinatie met ontwerpen gericht op zowel veiligheid tegen overstromen als ruimtelijke kwaliteit, zijn te vinden in de zeewaartse versterkingsopties bij de Zwakke Schakels. Dit geeft antwoorden op de vraag.

- Hoe zijn de hydro-morfologische eisen te combineren met de wensen vanuit verschillende functies, zowel in het ontwerp als in het ontwerpproces?

Een ander voorbeeld in dit opzicht, maar dan expliciet gericht op het scheppen van een dynamische klimaatbuffer van rond de 20 miljoen m<sup>3</sup> zand, wordt geleverd door het Pilot project Zandmotor Delfland. Een vrije dynamische kustuitbreiding met een tijdelijk karakter (tijdschaal 50 jaar) die naast hydramorfologische vragen over de ontwikkeling in de tijd en ruimte van deze buffer, ook vragen kan beantwoorden zoals:

- Hoe kan de hieraan gekoppelde ontwikkeling van gebruiksfuncties gewaardeerd worden?
- Hoe kan in de ruimtelijke planvorming omgegaan worden met deze dynamiek?

De aanleg van Maasvlakte-2, tenslotte, is een voorbeeld van een project gericht op permanente kustuitbreiding. Analyse van dit project, zeker in vergelijking met een project als de zandmotor, kan de verschillen tussen een permanente – en semipermanente (buffer) uitbreiding helderder in beeld brengen.

Indien de nieuwe kustlijn in de toekomst gehandhaafd moet blijven, is het de vraag of er meer inspanning voor Kustlijnzorg nodig is dan nu het geval is of te wel: is er sprake van 'uitgestelde aanleg' (zie paragraaf 4.3). Mogelijk is extra beheer&onderhoud van de kustlijn nodig om het nieuwe areaal te behouden. Aanvullende morfologische berekeningen zijn nodig om deze 'zandverliezen' te kwantificeren.

#### 7.2.4 Onderzoekprogramma Building with Nature

Het Building with Nature onderzoekprogramma, gecoördineerd door de Stichting Ecoshape ([www.ecoshape.nl](http://www.ecoshape.nl)) heeft als missie: laten zien dat (natte) infrastructuur ontwikkeld kan worden en tegelijkertijd kansen creëert voor de natuur. De lange termijn doelstelling is een paradigmaverschuiving, van een gesloten defensieve benadering (beperk de milieueffecten) naar een open, offensieve benadering (maximaliseer de potentie van het systeem).

Tegen deze achtergrond is onder andere een project gestart "Lange termijn duurzame ontwikkeling van de Hollandse kust", met als doelstelling het ontwikkelend kan worden van



hulpmiddelen (tools) en opties voor een lange termijn strategie voor de Hollandse kust, voor wat betreft zowel zandwinning als zandsuppleties, gericht op het optimaliseren van de potenties van de kust qua eco-morfologie en socio-economie.

Met als uitgangspunt de aanbeveling van de Deltacommissie, zijn de belangrijkste bouwstenen in het project: strategieontwikkeling, modelontwikkeling en stakeholdercommunicatie.

In een cyclisch, iteratief proces met stakeholders worden achtereenvolgens de volgende vragen beantwoord:

- Welke strategieën zijn wenselijk en mogelijk?
- Hoe kan ik de effecten van deze strategieën in beeld brengen?
- (modellen, data en expert kennis)
- Wat is het effect van de strategie op een aantal functie-indicatoren?
- Hoe kan de strategie worden bijgesteld? etc.

Bij de waardering van de verschillende strategieën wordt gelet op de drie aspecten zoals genoemd door de Deltacommissie: Economie, Ecologie en Energie.

Dit project loopt van 2010 – 2012. Bij de organisatie van de stakeholderbijeenkomsten wordt zo goed mogelijk aangesloten op de initiatieven vanuit het Deltaprogramma.

## 7.2.5 Ecologie en Kustlijnzorg

Indien langs de gehele kust uitbreiding gaat plaatsvinden dan ontstaan discussies over de handhaving van de zone van de brekerbanken en het gebied er rondom (Habitat en ook over de verbeteropdracht die eraan lijkt te komen). Aangetoond zal moeten worden dat de toegenomen activiteiten en het op grote schaal aanbrengen van zand geen schade zullen veroorzaken. Bovendien zullen, meer dan nu het geval is, vragen gesteld worden over de mogelijke effecten van deze grootschalige suppleties op de Waddenzee. Die vragen zullen vooral betrekking hebben op zand en slib. Naar de consequenties van deze ingrepen op de waterkolom en de voedselketen/voedselwebrelaties met hogere organismen (vissen, vogels) zou aanvullend onderzoek moeten worden gedaan omdat op dit punt nog veel kennisleemtes bestaan.

## 8 Literatuur

Arens B, 2009. Effecten van suppleties op duinontwikkeling: geomorfologie. Rapportage fase 1. Amsterdam, 68 pp., bijlagen.

Arens B, L Geelen, H van der Hagen en R Slings, 2009. Duurzame verstuiving in der Hollandse duinen: kans, droom of nachtmerrie. Eindrapport fase 2. Amsterdam, 108 pp.

Badon Ghijben, W. en J. Drabbe (1889). Nota in verband met de voorgenomen putboring nabij Amsterdam. Tijdschrift van het Koninklijk Instituut voor Ingenieurs 1888-1889: 8-22.

De Kok J, 2005. Morfologische effecten van de Eijerlandse dam: een evaluatie. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Den Haag. Rapport RIKZ 2005.003.

Deltacommissie, 2008. Samen werken met water. Een land dat leeft, bouwt aan zijn toekomst. Bevindingen van de Deltacommissie 2008.

Deltares, 2008. Megasuppleties langs de Nederlandse kust: een verkenning naar de effecten voor de ecologie en een opzet voor een integraal onderzoeksplan voor ecologie, veiligheid en socio-economie. Eds. Holzhauser, H & B. van der Valk.

Deltares, 2009. Morfologische berekeningen MER Zandmotor.

Dienst Landelijke Gebieden, 2009. De grondprijzmonitor 2008. Recente ontwikkelingen in de agrarische grondmarkt.

Ecorys, 2006. Is geluk haalbaar?

Herzberg, A. (1901). Die Wasserversorgung einiger Nordseebaden. Zeitung für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung 44: 815-819 and 842-844.

Hommel S, 2008, Conquering Complexity; dealing with uncertainty and ambiguity in water management. Thesis University of Twente. ISBN 978-90-365-2742-2

Koningsveld M. van, Mulder J.P.M, 2004. Sustainable coastal policy developments in the Netherlands. A systematic approach revealed. Journal of Coastal Research, 20(2), 375

Mulder, J.P.M., A.J.F. van der Spek and M. van der Meulen, 2009. Coastal zones and climate change; a sediment perspective on adaptation, Proc. 31st Int.Conf.Coast.Eng, Hamburg, 4053 – 4064.

Lebbe, L. C. (1983). Mathematical model of the evolution of the fresh-water lens under the dunes and beach with semi-diurnal tides. Proc. 8th Salt Water Intrusion Meeting, Bari, Italy, Geologia Applicata e Idrogeologia, Vol. XVIII, Parte II: 211-226.

Minnema, B., Kuijper, B., & Oude Essink, G.H.P. (2004). Bepaling van de toekomstige verzilting van het grondwater in Zuid-Holland, NITG 04-189-B, 86 p., Utrecht, TNO Bouw en Ondergrond.

Nederlandse kennisinstellingen, 2009. Samen werken met Kennis: de kennisagenda bij de aanbevelingen van de Deltacommissie

Nicholls, M.M., 1989. Sediment accumulation rates and relative sea-level rise in lagoons. *Marine Geology* 88 201-219.

NZO, 2009. Katijk Buiten. Nederlandse Zeejachthaven Ontwikkelingsmaatschappij.

Oude Essink, G.H.P. (1996). Impact of sea level rise on groundwater flow regimes, A sensitivity analysis for the Netherlands, Delft University of Technology, 411 pp. <http://repository.tudelft.nl/file/182852/152470>

Oude Essink, G.H.P., Baaren, E., van en Vliet, M. van (2008). Verkennende studie klimaatverandering en verzilting grondwater in Zuid-Holland, Deltares-rapport 2008-U-R0322/A, 60 p.

Schoorl H, 2000. De Convexe Kustboog Texel - Vlieland - Terschelling / 1 Het westelijk Waddengebied en het eiland Texel tot circa 1550.

SOA, 2010. Annual report Chinese State Oceanic Administration, geciteerd in [http://www.chinadaily.com.cn/china/2010-03/03/content\\_9527822.htm](http://www.chinadaily.com.cn/china/2010-03/03/content_9527822.htm).

Snijders, WJM., 2008. Verkenning kustuitbreiding 2 km zeewaarts. Memo Deltares, Delft.

Stronkhorst, J., Zijlstra, R., Evenhuis, E., 2008. Baten van kustverbreding in beeld gebracht. *Land+Water*, 11, 22-23.

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

Stronkhorst, J., Lagendijk, O., 2009. Deltares' Kustatelier brengt kernvragen over kustuitbreiding in beeld. Interne memo Deltares, Delft.

Stuyfzand, P. J. (1993). Hydrochemistry and hydrology of the coastal dune area of the Western Netherlands. Amsterdam, The Netherlands, Vrije Universiteit: 366.

Stuyfzand et al., 2010. Gevolgen van kustverbreding en klimaatverandering voor duingrondwater, kunstmatig infiltraat, drinkwater en het duinecosysteem. Watercycle Research Institute, rapport KWR09.092.

Tanis, M., 2006. Toekomstvisie Boskalis op Nederlandse kust.

Van Rijn, L.C., 1995. Sand budget and costline changes of the central Dutch coast between Den Helder and Hoek van Holland. Report H2129, Delft Hydraulics, The Netherlands.

Van Rijn L.C., J.H.J. Terwindt, 1997. Versteiling zeebodem kustzone, NCK rapport Fysische

Geografie, Universiteit Utrecht 12pp.

Van Rijn, L.C., 2009. Coastal erosion control based on the concept of sediment cells. EU project CONSCIENCE, Deltares, the Netherlands.

Van Vessem, P., J. Mulder, R. Spanhoff, 2007. Voorspelling kustlijn en areaalwinst door uitvoering suppletie van ca. 60 Mm<sup>3</sup>. Memo Rijksinstituut Kust en Zee, Den Haag

Venhuizen, K.D. (1971). Zoutwaterintrusies ten gevolge van wateronttrekking langs de Nederlandse kust. Stichting Postakademische Vorming Gezondheidstechniek. Cursus Zout Grondwater in Nederland deel II. 1970-1971.

Vogelbescherming Nederland, 2008. Kust, ruimte voor mensen en vogels.

VROM, 2006. Nota Ruimte

VROM, 2008. Structuurvisie Randstad 2040. Naar een duurzame en concurrerende Europese topregio.

V&W, 2009. Nationaal Waterplan 2010-2015.

Waterman, R.E., 2008. Naar een integraal kustbeleid via bouwen met de natuur. ISBN 978-90-805222-2-0

Zijlstra, R., Evenhuis, E, Smale, A., Gauderis, J., 2007. Economische analyses kustlijnbeleid. Rebelgroup, Witteveen+Bos in samenwerking met RIKZ.



## A Ervaringen met grote onderwatersuppleties

In het kader van het programma Kustlijnzorg van Rijkswaterstaat zijn recent op twee locaties, in twee of meer stappen, grote onderwatersuppleties uitgevoerd om zandvolumes in het Kustfundament aan te vullen:

### 1. Zuidwest kust van Walcheren.

In het Oostgat, de getijgeul langs de zuidwest kust van Walcheren is in 2005 een geulwandsuppletie van 2,5 miljoen m<sup>3</sup> aangebracht ter hoogte van Zoutelande. Deze suppletie is in 2006 aangevuld met 0,3 miljoen m<sup>3</sup> zand afkomstig van lokaal onderhoudsbaggerwerk. Het suppletielichaam is in 2009 in noordwestelijke richting uitgebreid tot aan Westkapelle, waarbij nog eens 6,2 miljoen m<sup>3</sup> zand is aangebracht.

Een eerste evaluatie van de suppletie uit 2005 liet zien dat deze suppletie in de eerste twee jaar na aanleg 5 a 10% van het aangebrachte volume verloor, waarbij het suppletielichaam enigszins van vorm veranderde: het zakte als het ware uit.

### 2. Den Helder – Julianadorp – Groote Keten / Noord-Holland

In 2007 is in de getijgeul Nieuwe Schulpengat voor de kust tussen Den Helder en Julianadorp een geulwandsuppletie van 5 miljoen m<sup>3</sup> aangebracht over een lengte van 6,5 km, in combinatie met een strandsuppletie van 1,35 Mm<sup>3</sup>. In 2009 is de geulwandsuppletie 3 km naar het zuiden uitgebreid tot aan Groote Keten. Hierbij werd nog eens 2,3 miljoen m<sup>3</sup> zand aangebracht. Het meest noordelijke deel van de onderwatersuppletie, het dichtst bij het Marsdiep en het Zeegat van Texel gelegen, verloor in de periode 2007-2009 ca. 40% van het in dit deel aangebrachte volume van 1 miljoen m<sup>3</sup>. Het resterende maar tevens grootste deel van de geulwandsuppletie uit 2007 verloor in diezelfde periode slechts ca. 6 % van het aangebrachte volume. Bij de hierboven beschreven suppleties is het aangebrachte volume zand per strekkende meter kustlijn van ca. 1000 m<sup>3</sup> niet wezenlijk groter dan bij reguliere onderwatersuppleties (rond de 1 a 2 miljoen m<sup>3</sup> over ca. 2 km kustlijn). Met grotere volumina is op dit moment nog geen praktijkervaring.

### Morfologische modelberekeningen

Om inzicht te krijgen in het gedrag van grotere suppletievolumes worden modelstudies uitgevoerd, o.a. voor de Zandmotor Delflandse kust en voor de kust van Noord-Holland en het Zeegat van Texel. De resultaten van deze studies laten zien dat suppleties van 20 en 50 miljoen m<sup>3</sup> (respectievelijk voor de Zandmotor en voor Noord-Holland) relatief weinig extra dynamiek opleveren: de kustlijn wordt lokaal in zeewaartse richting verplaatst, waarbij de optredende veranderingen zich beperken tot de directe omgeving (1 à 2 km) van de suppletie.

Modelexercities voor Noord-Holland met herhaalde megasuppleties van ca. 5 miljoen m<sup>3</sup> laten zien dat er weliswaar uitsmering van het aangebrachte zandvolume langs de kust plaatsvindt, maar dat het suppletielichaam na 10 jaar nog steeds aanwezig is. Het effect van een eenmalige suppletie van 50 miljoen m<sup>3</sup> en een jaarlijkse suppletie van 5 miljoen m<sup>3</sup> blijkt over een periode van 10 jaar niet wezenlijk verschillend. Ondanks dat de zandtransporten flink toe kunnen nemen is er geen sprake van extreme dynamiek als gevolg van de aangebrachte megasuppleties.





## B Zand en risico's voor strandrecreatie

Deze bijlage geeft een impressie van enkele incidenten op de Nederlandse stranden zoals die zich in de zomer van 2007 voordeden.

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

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

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



## C Berekeningswijze zandvolumes voor kustverbreding

Om tot een eerste globale inschatting te komen van de benodigde zandvolumes bij A. Vrije dynamische kustuitbreiding en B. Gestuurde dynamische kustuitbreiding is uitgegaan van een schematisatie van het kustprofiel (Figuur C.1) en de volgende berekeningswijze:

### A. Vrije dynamische kustuitbreiding

Het volume zand dat nodig is voor een zeewaartse verplaatsing van de kustlijn is schematisch weergegeven in onderstaand dwarsprofiel. De berekening is vereenvoudigd tot het sommeren van drie deelvolumes, V1, V2 en V3:

$$V1 = L * H1 * K \quad [1a]$$

waarin

V1 = volume zand in deelvolume 1 (m<sup>3</sup>)

L = afstand van de kustverbreding (m)

K = kustlijn lengte (m). Voor de Waddenkust, Hollandse kust en Deltakust is 96 km, 117 km resp. 87 km aangehouden en 300 km voor de gehele Nederlandse kust.

H1 = hoogte (m); een representatieve waarde ligt tussen -7 m en -15 m diepte. Bij de berekening is 10 meter aangehouden, zodat geldt:

$$V1 = 10 L * K \quad [1b]$$

$$V2 = L * H2 * K \quad [2a]$$

waarin

V2 = volume zand boven NAP in deelvolume 2 (m<sup>3</sup>),

H2 = hoogte van de nieuwe kuststrook (m); een representatieve waarde voor H2 is 3 a 7 meter. Bij de berekening is 5 meter aangehouden zodat geldt.

$$V2 = 5 L * K \quad [2b]$$

$$V3 = \frac{1}{2} * L * H3 * K \quad [3a]$$

waarin

V3 = volume zand in deelvolume 3 (m<sup>3</sup>)

H3 = hoogte (m); als representatieve waarde voor de hellingshoek van een vooroever op dieper water is 1:500 aangehouden, zodat geldt:

$$V3 = \frac{1}{2} * K * L * L/500 = K * L^2/1000 \quad [3b]$$

### B. Gestuurde dynamische kustuitbreiding

Voor een 'standaard' kuststrook is een kustlijnlengte K van 15 km aangehouden en het benodigde volume zand berekend met de bovenbeschreven vergelijkingen:

$$Vs = 15000 * (V1 + V2 + V3) \quad [4]$$

waarin

Vs = volume zand in een standaard kuststrook (m<sup>3</sup>).

Het ontwerpuitgangspunt voor een 'standaard' kaap is de aanleg van een strekdam en het aanbrengen van zand. Het zand wordt aangebracht via strandsuppleties, in de 'oksel' waar de dam aansluit bij de waterkering. Vooroever-suppleties dienen als een secundaire zandbron en ter compensatie van kusterosie in de omgeving van de kaap; die is hier buiten beschouwing gelaten. Voor het realiseren van een kustuitbreiding met een lengte  $L$  van 50, 100, 500 of 1000 meter land is een dam nodig is van resp. 55, 110, 550 en 1100 meter. Het profiel en bovenaanzicht van een kaap is in Figuur 1 aangegeven.

Voor de aanleg van een 'standaard' kaap is aangenomen dat:

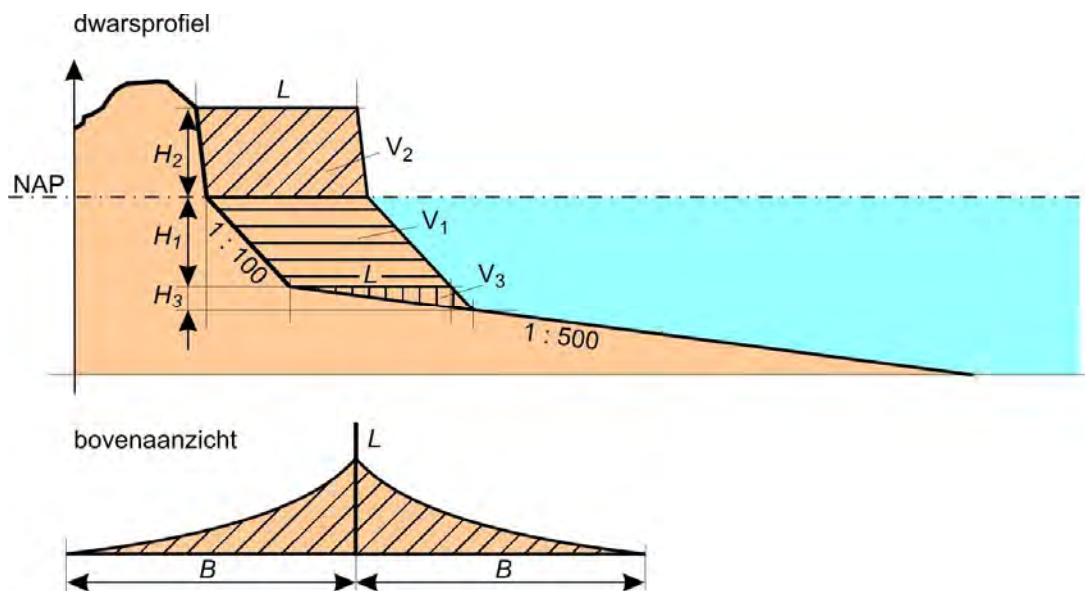
- er een vaste verhouding is tussen afstand van de kustverbreding  $L$  en de eenzijdige breedte  $B$  van de kaap, namelijk  $L : B = 1 : 2$ ;
- er een vaste verhouding is tussen het kustboogvormige oppervlak aan weerszijde van de strekdam en het oppervlak  $L * B$ . Op basis van de situaties bij de Eijerlandse dam en het Kennemerstrand is een verhouding van 0,7 aangenomen;
- de kostprijs van strandsuppleties € 7-9 per  $m^3/m$  is en
- een eenheidsprijs aangehouden van  $k€4/m^2$  strekdam. De kosten van het stortsteen is gebaseerd op de gegevens bij de Dienst Infrastructuur van Rijkswaterstaat (Dhr. W van de Brink) over de aanleg van de Eijerlandse dam op Texel in 1995.

Het benodigde volume zand is berekend als:

$$V_k = 0,7 B * (V_1 + V_2 + V_3) \quad [5]$$

waarin

$V_k$  = volume zand in een standaard kaap ( $m^3$  per strekkende meter kustlijn).



Figuur C.1 Schematisch weergegeven van een zeewaartse verplaatsing van de kustlijn en benodigde volumes zand. Tevens is een bovenaanzicht van een 'standaard' kaap weergegeven. Opmerking: in de tekening moeten  $V_1$  en  $V_2$  nog worden verwisseld