

# *Building with Nature*



## *Inventarisatie optimalisatiemogelijkheden kustversterking HPZ*

*Memorandum: Werkpakket B1, product B1P2*

*Datum: 01 september 2016*

*Auteurs: Jakolien Leenders, Willem Bodde, Marije Smit*

*Status: versie07*



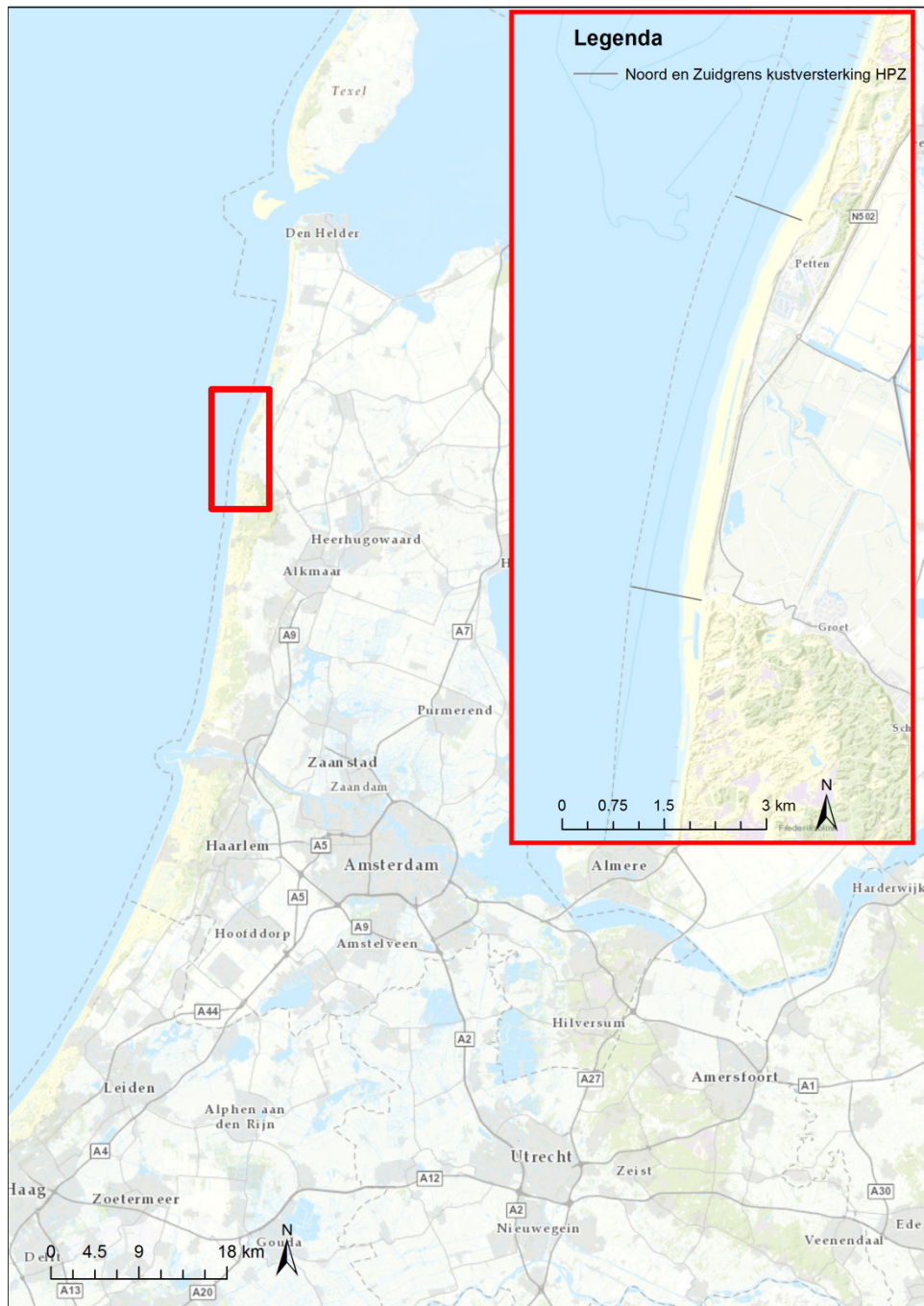
## Inhoudsopgave

1	Inleiding .....	4
1.1	Leeswijzer .....	5
2	Eolische processen bij kust .....	6
2.1	Inleiding.....	6
2.2	Kustlangs transport .....	7
2.3	Kustdwars transport .....	7
2.4	Volume inschattingen eolisch zandtransport .....	8
2.4.1	Volume inschatting eolisch verlies ten opzichte van totaal verlies en aanlegvolume	9
3	Onderzoeksrichtingen optimalisatiemogelijkheden ontwerp kustversterking HPZ .....	11
3.1	Effect eolisch transport op veiligheid.....	11
3.2	Compensatie bij aanleg voor zeespiegelstijging en bodemdaling en zetting.....	12
3.3	Inzet en functioneren van maatregelen.....	13
a.	Ontwikkeling duin .....	14
a.	Profielvormen .....	14
b.	Verstuiving beperkende maatregelen.....	14
3.4	Suppletie- en onderhoudsmomenten in de tijd.....	15
4	Conclusies verkenning onderzoeksrichting themalijn B. ....	18
5	Referenties .....	19
	Bijlage A: Begrippenlijst.....	20
A.1	Referenties bijlage A.....	22
	Bijlage B: Verkenning effect eolisch transport op veiligheid .....	23
B.1	Inleiding.....	23
B.2	Hypothese .....	23
B.3	Aanpak.....	23
B.4	Resultaten .....	25
B.5	Discussie .....	27
B.6	Conclusies .....	28
B.7	Aanbevelingen.....	29
B.8	Referenties bijlage B.....	29
	Bijlage C: Toetsingskader waterveiligheid zandige kering.....	30
C.1.	Inleiding.....	30
C.2.	Toetsspoor: Duinafslag.....	31

C.3.	Toetsspoor: Winderosie.....	33
C.4	Referenties bijlage C.....	33
Bijlage D:	Rekeninstrumentarium DUROS+.....	34
D.1.	Rekeninstrumentarium DUROS+ .....	34

# 1 Inleiding

De Hondsbossche en Pettemer Zeewering (HPZ) is gelegen tussen Camperduin en Petten aan de Noord Hollandse Kust (Zie Figuur 1-1). In de tweede toetsronde is gebleken dat de HPZ een zwakke schakel in de Noord Hollands Kust was. Voor de kustversterking is gekozen voor het aanleggen van een zandige kustversterking. De producteisen die hierbij golden voor kustversterking en ruimtelijke inpassing zijn opgenomen in een vraagspecificatie producteisen [VSE, 2013]<sup>1</sup>. Bij het ontwerp is de kustversterking als primair doel gesteld, en is gestreefd om maximale condities te scheppen voor natuur en ruimtelijke beleving.



Figuur 1-1: Locatie Hondsbossche en Pettemerzeewering.

<sup>1</sup> De producteisen zijn opgenomen in document P1B1, Inventarisatie maatregelen HPZ, binnen themalijn B.

In januari 2016 is de kustversterking HPZ gerealiseerd. Binnen themalijn B van het Ecoshape project, dat loopt tot september 2018, wordt de ontwikkeling van de HPZ met betrekking tot natuur- en duinontwikkeling gemonitord. Er wordt onderzocht hoe de HPZ zich de eerste jaren na aanleg ontwikkelt, of deze ontwikkeling overeenkomt met de verwachtingen die bij het ontwerp zijn opgesteld en of er op basis van het monitoren van de actuele situatie en de actuele processen optimalisatiemogelijkheden zijn te definiëren. Hierbij kijken we naar het effect van duinvorm, duinlengte en breedte, het effect hiervan op eolische processen van aanvoer, depositie en verlies en het effect van maatregelen op de eolische processen. Doel is om de opgedane kennis aan de hand van de HPZ in te kunnen zetten in andere projecten van kustversterking en/of dynamische duinontwikkeling.

Vanuit de Building with Nature gedachte is het interessant na te gaan of er door gebruik te maken van het natuurlijke proces van eolisch transport bij beheer en onderhouden en waterveiligheid, kansen liggen voor de dynamische ontwikkeling van duinen. En of er optimalisatiemogelijkheden zijn voor het ontwerp van nieuw aan te leggen duinen. Immers, als een duin jaarlijks aangroeit, is het dan bijvoorbeeld nodig om bij aanleg van het duin een veiligheidsprofiel op te nemen dat rekening houdt met klimaatverandering voor over 50 jaar? Of kan het natuurlijk proces van de aangroei van duinen de waterstandstijging en de bodemdaling over de komende 50 jaar voldoende compenseren? Is het bijvoorbeeld mogelijk om de verwachte aangroei mee te nemen in het ontwerp en in beheer en onderhoud?

Dit document is een inventarisatie naar kansen voor dynamische duinontwikkeling en optimalisatie in het ontwerp van de kustversterking Hondsbossche en Pettemer Zeewering (HPZ) door het benutten van eolische processen. De inventarisatie wordt uitgevoerd in het kader van het Ecoshape project van de HPZ, binnen themalijn B: 'Optimalisatie Ontwerp'. Het document betreft een vervolg op de inventarisatie die is uitgevoerd naar het ontwerp en aanleg van de HPZ, [product B1P1, Ecoshape-HPZ, 2016] De onderzoeksrichtingen die in dit document zijn benoemd, zijn gebaseerd op documenten en gegevens die beschikbaar zijn gesteld door de aannemer (van Oord & Boskalis), de inventarisatie naar maatregelen [product B1P1, Ecoshape-HPZ, 2016] en gesprekken met aannemer en projectteam.

## **1.1 Leeswijzer**

Hoofdstuk 2 geeft een inleiding op de eolische processen en daarmee een begrippenkader van termen en processen die in het document worden gehanteerd. In Bijlage A is ook een begrippenlijst opgenomen. In Hoofdstuk 3 verkennen we vier onderzoeksrichtingen voor duinontwikkeling en optimalisatiemogelijkheden in het ontwerp. Deze onderzoeksrichtingen zijn geïdentificeerd, naar aanleiding van analyse van ontwerpmemo's, overlegmomenten in het projectteam en ervaring van de aannemer bij de aanleg van de HPZ. Hoofdstuk 4 geeft de conclusies en een voorstel voor nader uit te werken onderzoeksrichtingen binnen themalijn B. In hoofdstuk 5 zijn de referenties opgenomen. Tot slot is in de bijlagen een begrippenlijst opgenomen (Bijlage A) en een verkennende analyse naar het effect van eolisch transport op de veiligheid (Bijlage B). Een beschrijving van het toetsingskader en toetsinstrumentarium zijn opgenomen in respectievelijk Bijlage C en Bijlage D.

## 2 Eolische processen bij kust

### 2.1 Inleiding

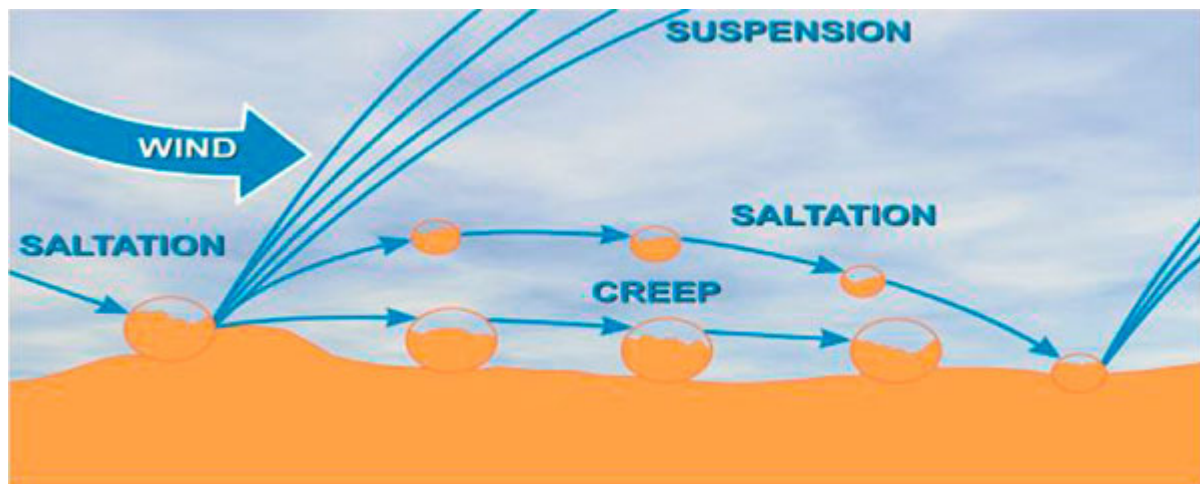
Langs de kust beweegt zand ten gevolge van mariene en eolische processen. Een eolisch proces is een (geo)morfologisch proces waarbij landschapsvormen ontstaan door de werking van wind. In een marien proces ontstaan de landschapsvormen door de werking van de zee. In het Ecoshape project van de kustversterking HPZ staan de eolische processen centraal.

Eolisch zandtransport bestaat uit drie verschillende fasen [Bagnold, 1937]:

- 1) de initiatie van transport (erosie)
- 2) de verplaatsing van zand (het daadwerkelijke transport)
- 3) depositie van zand (depositie).

Het transport zelf kent 3 mechanismen waarop het zand zich verplaatst [Shao, 2000](Figuur 2-1):

- Saltatie: transport van zandkorrels met een diameter tussen 70 -1000  $\mu\text{m}$ . In dit mechanisme 'springt' een zandkorrel een aantal mm tot een aantal meters over het oppervlak. Het neerslaan van de zandkorrel aan het eind van een sprong initieert andere zandkorrels voor transport.
- Suspensie: transport van zandkorrels met een diameter kleiner dan 70  $\mu\text{m}$ . Eenmaal in suspensie kunnen deeltjes zich over grote afstanden verplaatsen.
- Kruip: relatief grote korrels (meer dan 1000  $\mu\text{m}$ ) zijn meestal te zwaar om te worden 'opgetild' door de wind, maar ze worden door wind of salterende deeltjes geduwd en rollen en schuiven over het oppervlak. Dit is gewoonlijk over korte afstanden.



Figuur 2-1: Transport van zand door wind (bron: interne)<sup>2</sup>,

Eolisch zandtransport gebeurt zowel in kustlangse als in kustdwarse richting. In de volgende paragrafen geven we een korte systeembeschrijving van deze processen. In paragraaf 2.4 gaan we daarbij kort in op de inschattingen, die bij het ontwerp zijn gemaakt, van volumes van aanvoer, depositie en verlies bij de kustversterking van de HPZ. In document B1P1 is hier ook nader op ingegaan [product B1P1, Ecoshape-HPZ, 2016].

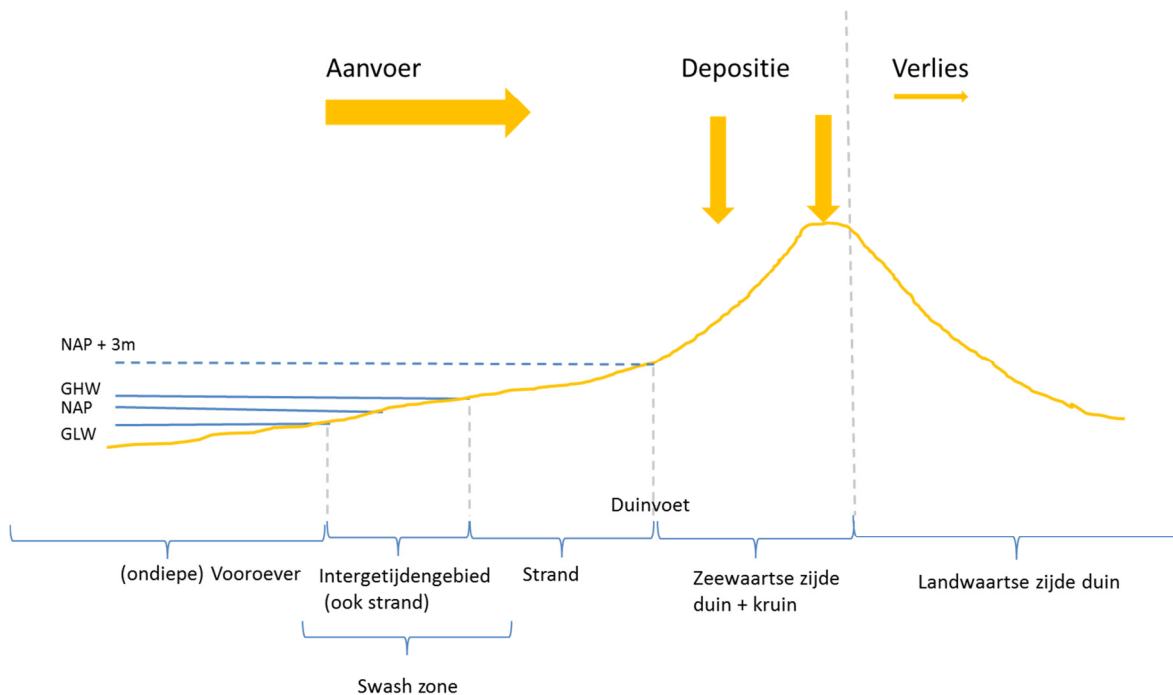
<sup>2</sup> origineel Jaramillo, I., Miranda, A., 2003.

## 2.2 Kustlangs transport

De kustlijn van Noord Holland, met de kustversterking HPZ, is Noord-Zuid georiënteerd. De kustlijn van de kustversterking HPZ heeft een gestroomlijnde vorm. Kustlangs transport voor de HPZ is hiermee te vertalen als het transport in de richting Noord-Zuid. Bij het ontwerp van de kustversterking HPZ is verwacht dat kustlangs geen netto depositie of verlies ontstaat. Er is daarom geen prognose gemaakt van eolische verliezen in een kustlangse richting bij het ontwerp van de HPZ [Ontwerpnota eolische verliezen, 2013].

## 2.3 Kustdwars transport

Kustdwars transport betreft het transport in de dwarsrichting van zee naar duin. Kustdwars transport voor de HPZ is hiermee te vertalen als het transport in de richting West-Oost. In Figuur 2-2 is dit transport schematisch weergegeven.



Figuur 2-2: Kustdwars transport

Het intergetijdengebied (zone van het strand tussen hoogwater en laagwater) is een belangrijke leverancier voor zandtransport. Het zandtransport bij een volledig ontwikkeld kustprofiel vindt voornamelijk plaats in het intergetijdengebied en de “swash-zone” (zone van golfloop en golfafloop) op het strand en de ondiepe vooroever. Tijdens hoogwater woelen de golven het zand om. Deze omwoeling brengt een nieuwe fractie erodeerbaar materiaal in de toplaag. Bij laagwater droogt de toplaag op en kan de zandfractie (onder invloed van wind) worden getransporteerd. In het intergetijdengebied wordt de laag sediment door mariene processen telkens omgewoeld (en aangevuld), waardoor fijn sediment beschikbaar is zodra het waterniveau laag genoeg is om de toplaag voldoende droog te laten worden. De fijne korrels worden dan opnieuw opgepikt en kunnen verstuiven.

In de strandzone boven het intergetijdengebied en de “swash-zone”, wordt de toplaag zelden omgewoeld. De fractie door wind erodeerbaar materiaal in de toplaag is na enige tijd reeds verstoven, waardoor de toplaag alleen nog bestaat uit moeilijk erodeerbaar materiaal: de afpleister laag. Alleen bij stormopzet wordt deze laag opnieuw omgewoeld en komt weer sediment beschikbaar voor verstuiving [Ontwerpmemo inventarisatie verstuiving en antiverstuivingsmaatregelen, 2013 en Ontwerpnota eolische verliezen, 2013].

Depositie van zand vindt vooral plaats in het duin vanaf de duinvoet (NAP +3 m). Er wordt opgemerkt dat volumeveranderingen van het duin niet alleen worden veroorzaakt door eolisch transport. Het zeewaartse talud van het duin wordt ook beïnvloed door effecten van mariene processen, voornamelijk afslag ten gevolge van stormoploop.

Eolisch verlies is voor de HPZ gedefinieerd als transport van zand dat over het de grens van het profiel plaats vindt. In Figuur 2-2 is dit schematisch weergegeven met de stippellijn bij de landwaartse zijde van het duin.

## 2.4 Volume inschattingen eolisch zandtransport

In literatuur is gesteld dat de gemiddelde netto groei (inclusief effect duinafslag) van duinen aan de Noord-Hollandse kust door eolisch transport 8,7 m<sup>3</sup>/m/jaar is. Deze aangroei van duinen vindt voornamelijk plaats op het buitentalud en de kruin van het duin. [De Vries [2012] en van der Wal [2004], Uit: Ontwerpmemo, inventarisatie verstuiving en antiverstuivingsmaatregelen, 2013 en Ontwerpnota eolische verliezen, 2013]. Hierbij is naar duinen gekeken vanaf de NAP+3 m lijn (duinvoet) en een ontwikkelde zeekering. Bij de duinen bij Castricum is een gemiddelde groei van 10 m<sup>3</sup>/m/jaar bepaald, op basis van 17 jarkusraaien, over een periode van 19 jaar. [Ontwerpnota eolische verliezen, 2013].

Ervaringen bij de Maasvlakte 2 en Vlugtenburg hebben laten zien dat in de eerste 3 jaren na aanleg er doorgaans meer eolisch transport is [Ontwerpnota eolische verliezen, 2013].

In de verwachtingen van aanvoer van stuifzand die bij het ontwerp van de HPZ zijn gemaakt, is aangenomen dat de aanvoer van zand 10 m<sup>3</sup>/m/jaar bedraagt. Dit is gebaseerd op de metingen bij Castricum, een kustdeel zonder strandhoofden en zonder frequente suppleties, op basis van 15 jaar JARKUS profielmetingen. In de eerste 3 jaar is rekening gehouden met een grotere aanvoer van zand (op basis van de ervaringen bij de Maasvlakte 2 en Vlugtenburg, die in de eerste jaren na aanleg meer zandtransport constateren) (Zie ook Tabel 2-1). In Tabel 2-1 is 22 jaar opgenomen, omdat de aanleg van de kustversterking ca 2 jaar duurt en de periode van onderhoud binnen het contract van de aannemer is gesteld op 20 jaar.

Uit surveys bij de HPZ is gebleken dat in het eerste jaar na aanleg het duin met een volume van 30-60 m<sup>3</sup>/m is aangegroeid<sup>3</sup>.

Jaar	50% overschrijdingswaarde [m <sup>3</sup> /m/jaar]	10% overschrijdingswaarde [m <sup>3</sup> /m/jaar]
1	35	49
2	30	43
3	25	33
4 t/m 22	10	23

Tabel 2-1: Hoeveelheden aanvoer van stuifzand in m<sup>3</sup>/m/jaar  
[Bron: Ontwerpnota eolische verliezen, 2013].

Over een periode van 20 jaar na acceptatie van de aanleg<sup>4</sup>, kan op basis van Tabel 2-1 worden berekend dat dit een volume betreft van 280 m<sup>3</sup>/m, bij een 50% overschrijdingswaarde. Bij een lengte van de HPZ van 6750 m is dit een totaal volume van bijna 2 miljoen m<sup>3</sup> (2Mm<sup>3</sup>).

<sup>3</sup> E-mail Peter Brandenburg (Van Oord), d.d. 22-06-2016



Bij het ontwerp van de kustversterking van de HPZ is voor verschillende profieltypes van de HPZ een inschatting gemaakt van de verwachte depositie in verschillende zones van het profiel [Ontwerpnota eolische verliezen, 2013]. In product B1P1, [Ecoshape-HPZ, 2016] is de verwachte profielontwikkeling in de tijd per profieltype uitgewerkt. Het eolisch verlies bij de HPZ is ingeschat op 0,2 Mm<sup>3</sup> over 20 jaar na acceptatie van de aanleg. Dit is dus ca 10% van de aanvoer van het stuifzand [Ontwerpnota eolische verliezen, 2013].

Voor het eolisch verlies geldt dat deze in de periode van aanleg groter is verondersteld, dan in de periode na acceptatie van de aanleg [Ontwerpnota eolische verliezen, 2013]. Tijdens de periode van aanleg is deze groter verondersteld vanwege:

- Direct na aanleg is de hoeveelheid verstuijfbare fractie van het zand het grootst;
- Tijdens de aanleg is er een periode waarin nog niet alle anti-verstuivingsmaatregelen zijn genomen, waardoor een groter deel van de aanvoer van stuifzand als eolisch verlies geldt;
- Na aanleg van de anti-verstuivingsmaatregelen zal het enige tijd duren totdat deze volledig functioneren, waardoor een groter deel van de aanvoer van stuifzand als eolisch verlies geldt.

Het eolisch verlies in de periode van aanleg is verondersteld 52% te zijn van het totaal ingeschat eolisch verlies (0,2 Mm<sup>3</sup>).

#### 2.4.1 Volume inschatting eolisch verlies ten opzichte van totaal verlies en aanlegvolume

De bij het ontwerp ingeschatte eolische verliezen zijn ca. 1-2% van het totale (voorspelde) volumeverlies die bij het ontwerp van de kustversterking HPZ zijn berekend (Tabel 2-2). Verliezen door langtransport (hydraulische verliezen) bedragen ca 84% en volumeverlies door zettingen (zetting van de ondergrond), 15%.<sup>5</sup>

Type verlies	Percentage
Hydraulisch verlies	84%
Eolisch verlies	1%
Zettingen	15%
Totaal	100%

Tabel 2-2: Aandeel hydraulisch verlies, eolisch verlies en volumeverlies door zetting ten opzichte van totaal (Bron: E-mail Peter Brandenburg (Van Oord), d.d. 22-06-2016)

Bij aanleg van de kustversterking HPZ is het ingeschatte volumeverlies door eolisch zandtransport over de periode tot 20 jaar na Acceptatie gecompenseerd. Dat wil zeggen dat dit volume van 0,2 Mm<sup>3</sup> bij aanleg extra is aangebracht. Dit geldt ook voor het volumeverlies door zetting en voor een deel voor het volume van hydraulische verlies. Om te compenseren voor de hydraulisch verliezen zijn namelijk ook onderhoudsmomenten voorzien.

Tabel 2-3 geeft een overzicht van de aanlegvolumes zoals ingeschat tijdens het ontwerp van de kustversterking HPZ. In het volume voor kustveiligheid van 26,1 Mm<sup>3</sup>, is een volume opgenomen ter compensatie van zeespiegelstijging (0,3 m) en bodemdaling (0,1 m), voor de komende 50 jaar (zie ook VSE, 2013 en product B1P1 [Ecoshape-HPZ, 2016]). Uitgaande van een droog profiel van 750 m breed en een lengte van de HPZ van 6750 m lengte betekent dit 2,0 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> zand (2Mm<sup>3</sup>).

<sup>4</sup> In de vraagspecificatie eisen is opgenomen dat de kustversterking vanaf 1 januari 2016 de vereiste veiligheid dient te bieden tegen overstroming. [VSE, 2013]. Hiermee is geïnterpreteerd dat acceptatie van de aanleg 1 januari 2016 is.

<sup>5</sup> E-mail Peter Brandenburg (Van Oord), d.d. 22-06-2016

Over een periode van 20 jaar (40% van 50 jaar), uitgaande van een uniforme bodemdaling en zeespiegelstijging, is dit 40% van 2Mm<sup>3</sup>, dus 0,8 Mm<sup>3</sup>.

<b>Aanlegvolume Ontwerp</b>	<b>Volume inschatting ontwerp [Mm<sup>3</sup>]</b>
Volume voor Kustveiligheid [Mm <sup>3</sup> ]	26,1
Volume ter compensatie van eolische verliezen [Mm <sup>3</sup> ]	0,2
Volume ter compensatie van zetting [Mm <sup>3</sup> ]	2,0
Volume ter compensatie van hydraulische verliezen [Mm <sup>3</sup> ]	7,0
Volume t.b.v. ruimtelijke kwaliteit [Mm <sup>3</sup> ]	0,3
<b>Totaal Initieel aanlegvolume</b>	<b>35,6</b>

*Tabel 2-3: Aanlegvolumes kustversterking HPZ (Bron: E-mail Paul Olijslager dd 26 juni 2015).*

### 3 Onderzoeksrichtingen optimalisatiemogelijkheden ontwerp kustversterking HPZ

Eolisch zandtransport heeft effect op de kust. Er kan door zandtransport sprake zijn van duinaangroei en ecologische veranderingen. Door te onderzoeken of en hoe eolische processen kunnen worden benut voor natuurontwikkeling en een dynamisch duinontwikkeling kunnen we deze kennis inzetten in andere gebieden en projecten. Binnen themalijn A van het Ecoshape project van de HPZ wordt het aspect van de natuurontwikkeling en ecologische veranderingen onderzocht. Binnen themalijn B kijken we naar het effect van eolisch transport op duinaangroei en op het effect van maatregelen die dit proces beïnvloeden.

Op basis van het literatuuronderzoek en gesprekken met experts identificeren we hiervoor 4 onderzoeksrichtingen, die in dit hoofdstuk worden verkend.

De onderzoeksrichtingen betreffen:

1. Effect eolisch transport op veiligheid duin: Bij deze onderzoeksrichting staat de vraag centraal of eolisch zandtransport ook benut kan worden ten behoeve van waterveiligheid. Beïnvloedt eolisch zandtransport van het strand naar het duin de veiligheid van het duin?
2. Compensatie bij aanleg voor verschillende volumes: Zoals in Hoofdstuk 2 is beschreven, zijn bij aanleg van de kustversterking HPZ volumes aangebracht die compenseren voor zetting, maar ook voor zeespiegelstijging en bodemdaling over 50 jaar. We inventariseren de hypothese dat deze compensatie niet of niet volledig nodig was geweest als rekening was gehouden met eolische transporten. De optimalisatie die hier mogelijk te vinden is, is dat er bij aanleg mogelijk minder zand aangebracht had hoeven te worden, wat een kostenbesparing betekent.
3. Inzet/functioneren van maatregelen. We inventariseren de hypothese of bepaalde type maatregelen een groter effect hebben op eolisch transport dan andere maatregelen. Onderzoeksvragen die hierbij spelen zijn: Zijn maatregelen op een bepaalde locatie effectiever dan op een andere locatie, is er een optimalisatie in de samenstelling of combinatie van maatregelen te identificeren? Wat is de rol van de vorm van het dwarsprofiel op de effectiviteit van maatregelen?
4. Suppletie en onderhoudsmomenten in de tijd: We inventariseren de hypothesen of 1) er een kostenbesparing is te identificeren door het uitstellen van maatregelen in de tijd en 2) of er een optimalisatie in de verwachte onderhoudsmomenten kan worden voorzien als rekening wordt gehouden met eolisch zandtransport.

De volgende paragrafen betreffen een verkenning van deze onderzoeksrichtingen.

#### 3.1 Effect eolisch transport op veiligheid

Door eolisch transport verplaatst het zand zich binnen het veiligheidsprofiel zoals beschreven in Hoofdstuk 2). In deze onderzoeksrichting verkennen we of de locatie van zandvolumes binnen het dwarsprofiel van het duin effect hebben op de veiligheid. We verkennen de vraag of zand in het duin een groter effect heeft op de veiligheid dan zand op het strand en de vooroever. Bij bevestiging van deze hypothese zijn er verschillende optimalisaties te identificeren:

- a) initieel eventueel minder zand aanbrengen, om nu en in de toekomst gesteld te kunnen staan voor het borgen van de waterveiligheid.
- b) Het beïnvloeden van depositie op plekken waar deze bijdragen aan de waterveiligheid door het toepassen van verschillende duinprofielen.
- c) Het beïnvloeden van depositie op plekken waar deze bijdragen aan de waterveiligheid door het toepassen van maatregelen als wilgenschermen, helmbepanting, luwe laagten etc.

Deze optimalisaties zijn vervolg onderzoeksvragen. In Bijlage B is een verkennende analyse opgenomen die voor de inventarisatie van dit document is uitgevoerd.

De analyse van het effect van het verplaatsen van een volume binnen het dwarsprofiel op de veiligheid is uitgevoerd met het instrumentarium DUROS+ (voorgeschreven Wettelijk Toetsinstrumentarium, WTI)<sup>6</sup> en XBeach (met de WTI-instellingen zoals bepaald door Deltares [2015]).

Uit de verkennende analyse van Bijlage B blijkt dat in DUROS+ de locatie van zand binnen het dwarsprofiel geen effect heeft op de berekende kustveiligheid. Bij berekeningen met XBeach is er wel een effect zichtbaar; er treedt minder afslag op en de maatgevende afslaglengte van de kruin is kleiner bij een verplaatsing van volume van het strand naar het duin. Hiermee is er potentieel een optimalisatie van het ontwerp mogelijk. De constatering dat de locatie van het volume van zand in het duin de veiligheid kan beïnvloeden roept verschillende onderzoeksvragen op:

- Is dit effect voor meerdere dwarsprofielen zichtbaar? Zijn er verschillen tussen dwarsprofielen? Wat is effect van een lange tijdreeks op dit proces?
- Wat is het effect van maatregelen op eolische processen als erosie en depositie in het plangebied?
- Kunnen we door combinaties van profielvormen en inzet van maatregelen dit proces beïnvloeden? En zo ja, in welke mate?
- Zijn er profieltypes en maatregelen denkbaar waar optimaal gebruik wordt gemaakt van dit proces?

We merken op dat de analyse van Bijlage B een eerste verkenning betreft en nader onderzocht moet worden om bovenstaande conclusie te kunnen valideren. Op basis van de verkennende analyse van Bijlage B identificeren we deze onderzoeksrichting wel als kansrijk en interessant om nader te onderzoeken binnen themalijn B van het Ecoshape-HPZ project.

### **3.2 Compensatie bij aanleg voor zeespiegelstijging en bodemdaling en zetting**

Een tweede onderzoeksrichting betreft extra aangebrachte volumes ter compensatie van zeespiegelstijging, bodemdaling en zetting. In deze paragraaf verkennen we de hypothese of deze bij aanleg niet gecompenseerd hadden hoeven worden, als er sprake is van duinaangroei door eolische processen. Het betreft:

1. Zeespiegelstijging en bodemdaling over 50 jaar: Het dwarsprofiel van de HPZ is ontworpen met een eis voor waterveiligheid voor de komende 20 jaar. Hierbij is bij aanleg rekening gehouden met zeespiegelstijging en bodemdaling voor een verwachting van 50 jaar. Bij aanleg is een compensatievolume aangebracht van 0,3 m voor zeespiegelstijging en 0,1 m voor bodemdaling. Dit is totaal 0,4 m. Uitgaande van een uniforme zeespiegelstijging en bodemdaling over de komende 50 jaar en een droog profiel van 750 m breed, betekent dit een volume van 6 m<sup>3</sup>/m/jaar (0,4 m \* 750 m/ 50 jaar). Als er sprake is van duinaangroei van ca 10 m<sup>3</sup>/m jaar na acceptatie van aanleg<sup>7</sup>, lijkt het niet noodzakelijk dat dit volume reeds bij aanleg moet worden aangebracht.
2. Eolisch verlies: Bij aanleg van de kustversterking is het totaal eolisch verlies dat over de periode van aanleg tot 20 jaar na Acceptatie is verwacht gecompenseerd door dit volume

<sup>6</sup> Vanaf 1 januari 2017 is er het Wettelijk Beoordelingskader (WBI).

<sup>7</sup> De veiligheid (zoals opgenomen in VSE [2013]) moest vanaf 1 januari 2016 gewaarborgd zijn.

direct aan te brengen. Het totaal volume eolisch verlies dat is gecompenseerd is  $0,2 \text{ Mm}^3$  zand. Gemiddeld over 20 jaar betekent dit een gemiddeld volume van  $1,35 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ . ( $0,2\text{Mm}^3/6750 \text{ m}(\text{lengte})/20 \text{ jaar}=1,35 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ ). Als er sprake is van duinaangroei van ca  $10 \text{ m}^3/\text{m}$  jaar na acceptatie van aanleg, lijkt het niet noodzakelijk dat dit volume reeds bij aanleg moet worden aangebracht.

3. Volumeverlies door zetting: Bij aanleg van de kustversterking HPZ is een compensatievolume aangebracht voor het volumeverlies aan zetting van  $2 \text{ Mm}^3$  (Tabel 2-3). Als we veronderstellen dat deze zetting binnen 1 tot 2 jaar na aanleg plaatsvindt, betekent dit een gemiddeld volume van  $148 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ . ( $2\text{Mm}^3/6750 \text{ m}/2 \text{ jaar}=148 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ ). Dit is een factor 15 groter dan de verwachte duinaangroei van ca  $10 \text{ m}^3/\text{m}$  jaar na Acceptatie. Als we kijken naar de geschatte aanvoeren van zand in de eerste 2 jaar na Aanleg ( $35 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$  en  $30 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$  (Zie Tabel 2-1)) is de aanvoer van zand nog altijd een factor 5 kleiner dan de benodigde hoeveelheid zand. Het volumeverlies door zetting lijkt hiermee niet te kunnen worden gecompenseerd door duinaangroei. Het compenseren van dit volumeverlies bij aanleg is dan ook een logische stap.

Op basis van bovengenoemde vergelijkingen concluderen we dat punt 1 en 2 kansrijke optimalisatie en onderzoeksrichtingen betreffen. Dit geldt niet voor punt 3.

### 3.3 Inzet en functioneren van maatregelen

In deze derde onderzoeksrichting onderzoeken we de ontwikkeling van het duin en het effect van verschillende profieltypes en maatregelen op het eolisch transport. Hoe en in welke mate ontwikkelt het duin zich? Hoe beïnvloedt de vorm van een dwarsprofielen en inzet van maatregelen het eolisch proces? Is het mogelijk om door inzet van maatregelen en het creëren van bepaalde dwarsprofielen, invloed uit te oefenen op het eolisch proces en de dynamiek van duinvorming?

In deze paragraaf zijn een aantal onderzoeksvragen benoemd. In de vragen is onderscheid gemaakt in de dynamiek van eolische processen en de ontwikkeling van het duinprofiel. Met de dynamiek wordt bedoeld de mate van verstuiving en aanzanding **binnen** het duinprofiel. Dit is een verschil met werkpakket C, dat gericht is op het eolisch verlies.

Onder de ontwikkeling van het duinprofiel wordt verstaan de ontwikkeling van het dwarsprofiel in de tijd. Hierbij wordt het effect van de maatregelen meegenomen. Waarbij in onderzoeksrichting 1 (paragraaf 3.1) vooral veiligheidsaspecten centraal staan, staan in deze onderzoeksrichting meer beheersaspecten centraal: kunnen maatregelen zo worden ingezet dat we het proces van eolisch transport kunnen 'sturen'?

In het vervolg van deze paragraaf zijn voor 3 onderwerpen binnen deze onderzoeksrichting onderzoeksvragen gedefinieerd (Tabel 3-1):

- a. ontwikkeling van het duin;
- b. profielvormen;
- c. verstuiting beperkende maatregelen.

In hoofdstuk 4 doen we op basis van de bevindingen van de andere onderzoeksrichtingen een voorstel voor te onderzoeken onderwerpen binnen themalijn B.

## **a. Ontwikkeling duin**

### 2. Monitoring van duinontwikkeling:

- a. Hoe ontwikkelt het duin zich in de tijd? Op welke zones vindt er accumulatie of erosie plaats?. Kan dit worden gekwantificeerd? (NB: aandachtspunt hierbij is dat we vanwege de scope van de studie geen onderscheid kunnen maken in het effect van mariene en eolische processen. Dit is wel een aandachtspunt, zoals ook aangegeven in de verkennende analyse van Bijlage B).
- b. Wat zijn de effecten van verschillende profielvormen en maatregelen?
- c. Hoe verhoudt hoeveelheid erosie en depositie van zand zich tot strandbreedte<sup>8</sup>?
- d. Op basis waarvan kan de ontwikkeling van het duin verklaard worden? Wat zijn de componenten die hier meest aan bijdragen?
- e. Ontwikkelt zich op de landwaartse zijde van het duin vitale begroeiing?
- f. Op welke locaties is er sprake van stuifhinder?
- g. Blijft het fietspad voldoende schoon? Zo nee, is er een optimalisatie denkbaar waardoor dit wel schoon blijft?

## **a. Profielvormen**

### 3. Onderzoek naar relatie tussen aspecten van profiel en accumulatie van zand.

- a. Is er een verband tussen talud en lengte van zeewaartse helling en accumulatie van zand
- b. Is er een verband tussen kruinhoogte en accumulatie van zand?
- c. Is er een verband tussen kruinbreedte en accumulatie van zand?
- d. Is er een verband tussen aanwezigheid voorduin en accumulatie van zand?
- e. Wat is een optimaal duinprofiel, gezien vanuit
  - Accumulatie van zand
  - Duinontwikkeling
  - Ontwikkeling vegetatie

## **b. Verstuiving beperkende maatregelen**

### 4. Wat is het effect van maatregelen op de ontwikkeling van het duinprofiel?.

1. Kloppen de verwachtingen van eolisch verlies en daarmee de ontwerpprincipes van de verschillende maatregelen en profielen?
2. Onderzoeksvragen per maatregel met een verwacht effect op verstuiving:
  - Schapenhekken/rijshouten dammen:
    - i. Zijn de rijshouten schermen op het strand goed geplaatst, zou een andere locatie effectiever zijn?
    - ii. Is er verschil in effect van de maatregelen tussen de profieltypes? Vangt de duinvallei slechts een deel van het zand, of is er op het landwaarts gelegen duin geen stuvend zand vanaf het strand te zien?
  - Helm:
    - i. Wat is effect van helm op eolisch proces in het bijzonder instuiving zand? Wat is effect van grootte van de oppervlakte helmbeplanting op het invangen van zand?
    - ii. Wat is effect van dichtheid van helm op eolisch proces. (er is geen verschil in dichtheid van beplanting aangebracht, dus deze vraag kan niet worden beantwoord).

<sup>8</sup> NB: Op basis van literatuur is er een relatie tussen de strandbreedte (te vertalen als hoeveelheid beschikbaar materiaal) en hoeveelheid depositie in duin.

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Struweel: Vermindert de struweel de stuifhinder, of had deze voor wat betreft het verminderen van stuifhinder ook niet geplaatst hoeven worden?</li> <li>• Variatie in inplant: <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Zorgt variabel inplanten en luwe laagtes voor lokale verstuiving en daarmee vitalere helm dan wanneer dit niet wordt gedaan?</li> <li>ii. Kunnen hogere delen best pal naast lagere onbeplante delen liggen, of juist alleen laagtes in vlakke toppen?</li> </ul> </li> <li>• luwe laagtes: <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Beperken luwe laagtes de landwaartse doorstuif van zand?</li> <li>ii. Wat is optimale geometrie van luwe laagtes m.b.t. vasthouden zand, stimuleren van lokale verstuiving?</li> <li>iii. Wat is effect van grootte, spreiding, diepte en locatie dynamiek van eolisch proces en ontwikkeling van het duinprofiel?</li> <li>iv. Wat is effect van locatie van maatregel op duinprofiel?</li> <li>v. Is er verschil in effect van luwe laagtes tussen de profieltypes?</li> </ul> </li> <li>• Strobalen: Zorgen de strobalen voor invangen van zand en verminderen ze daarmee de stuifhinder? Of had het zand dat ze invangen anders door de achterliggende oude kering van de HPZ worden ingevangen?.</li> </ul> <p>3. Combinatie van maatregelen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Is er een optimalere verdeling/inzet van maatregelen denkbaar dan die nu is toegepast op de HPZ?</li> </ul>
---

Tabel 3-1: Onderzoeksvragen onderzoeksrichting inzet en functioneren van maatregelen

### 3.4 Suppletie- en onderhoudsmomenten in de tijd

In deze onderzoeksrichting onderzoeken we de hypothese of er door rekening te houden met eolische processen optimalisatiekansen liggen voor de inzet van maatregelen en of beheer en onderhoud. We verkennen hierbij 2 hypothesen:

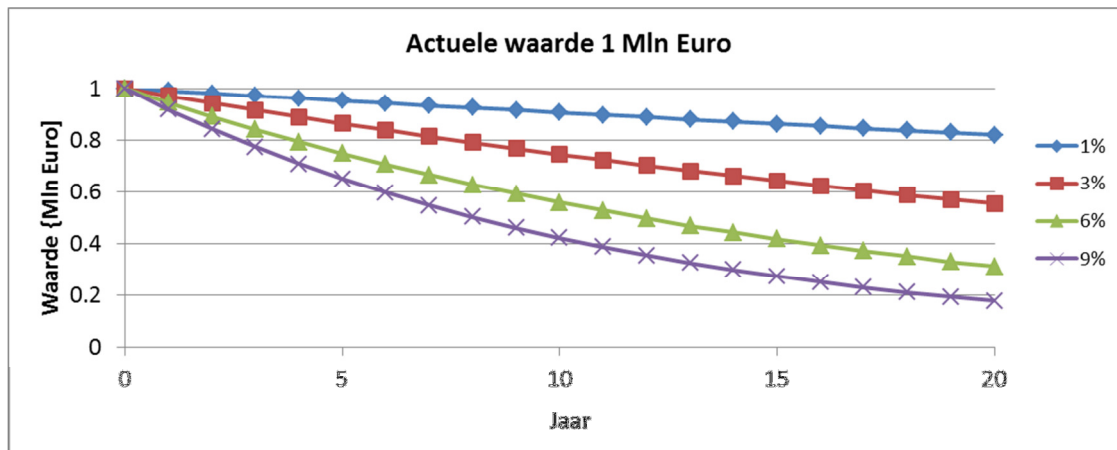
1. Is het goedkoper om robuust te ontwerpen en bij aanleg een robuuste versterking neer te leggen, of als alternatief minder robuust te ontwerpen, met in de toekomst wellicht het uitvoeren van meer onderhoud?
2. Tijdens het ontwerp van de HPZ in de tenderfase zijn inschattingen gemaakt van de verwachte onderhoudsmomenten ten behoeve van de kostenraming. Is bij het vaststellen van deze onderhoudsmomenten rekening gehouden met het eolisch transport van zand vanuit het intergetijdengebied naar het duin? Zo nee, is er een optimalisatie te identificeren door dit wel te doen?

#### *Hypothese 1*

Een vorm van optimalisatie, vanuit oogpunt van waterveiligheid kan betreffen dat een deel van de kosten niet bij aanleg worden gemaakt, maar op een later moment. Dit betekent dat niet al het geld initieel hoeft te worden uitgegeven. Bij bijvoorbeeld een jaarlijkse toetsing op veiligheid, is er een monitoring en ontwikkeling van waterveiligheid en is er ook nog handelingsperspectief voor het treffen van maatregelen, zoals suppleren. Bij voldoende duinaangroei hoeven kosten helemaal niet te worden gemaakt (totale kostenbesparing). Bij onvoldoende duinaangroei kan/moet suppletie worden uitgevoerd, maar op later moment is dit misschien goedkoper, dan als dit allemaal bij aanleg al gebeurt (Zie Figuur 3-1 waarin de actuele waarde van 1 miljoen euro is aangegeven over een periode van 20 jaar bij verschillende rentepercentages). Hiervoor is de volgende formule gebruikt:

$$CW = \frac{HW}{(1+i)^t}$$

CW = Contante waarde  
 HW = huidige waarde  
 t = periode in jaren  
 i = rentevoet.



Figuur 3-1: Actuele waarde van 1 miljoen euro van 0 tot 20 jaar bij verschillende rentepercentages.

Of het toepassen van een investering nu of over een x-aantal jaar goedkoper is hangt van meer factoren af dan de in Figuur 3-1 aangegeven actuele waarde van een investering.

De actuele prijzen voor het uitvoeren van het onderhoud spelen hierbij ook een rol. Het is de vraag of uitstellen van een maatregel werkelijk een kostenbesparing oplevert. Dit kan worden verkend met een MKBA. In dit document verkennen we eerst of eolisch transport ook een rol speelt in het vaststellen van het onderhoudsmoment (Hypothese 2).

### Hypothese 2

Om een uitspraak te kunnen doen over het mogelijke effect van eolisch transport van het strand naar het duin op de onderhoudsmomenten, is het van belang om te weten wat de trigger is voor het uitvoeren van onderhoud. Is dat het handhaven van de kustveiligheid of een ander aspect zoals het handhaven van de basiskustlijn bijvoorbeeld voor recreatieve functies. Beide worden op verschillende wijze getoetst, waarbij de locatie van een volume zand in het dwarsprofiel het resultaat kan beïnvloeden.

De kustveiligheid wordt getoetst door middel van een afslagberekening met DUROS+ waarbij het er puur om gaat dat het dwarsprofiel veilig is. Bij andere aspecten zoals de basiskustlijn gaat het erom dat er een wettelijk bepaald volume aanwezig is in een dwarsprofiel zodat de positie van de kustlijn wordt gegarandeerd. Dit is van belang voor kustbeheer maar bijvoorbeeld ook voor functies van de kust zoals recreatie.

Uit contact met de aannemers (van Oord & Boskalis) blijkt dat er bij het vaststellen van de onderhoudsmomenten in de tenderfase wel rekening is gehouden met het eolisch transport naar het duin en de bijbehorende toename van het duinvolume. Daarbij is aangenomen dat er ook duinafslag optreedt, wat juist leidt tot een afname van het duinvolume. De eolische aanvoer en de duinafslag zijn gelijk verondersteld<sup>9</sup>. Dit lijkt een conservatieve aanname, aangezien in literatuur is gesteld dat de gemiddelde netto groei (inclusief effect duinafslag) van het duin door

<sup>9</sup> Mail Peter Brandenburg (Van Oord), dd 7 juni 2016



eolisch transport  $8,7 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$  is [De Vries [2012] en van der Wal [2004], Uit: Ontwerpmemo inventarisatie verstuiving en antiverstuivingsmaatregelen, 2013 en Ontwerpnota eolische verliezen, 2013]. Ervaringen bij de Maasvlakte 2 en Vlughtenburg hebben laten zien dat in de eerste 3 jaren na aanleg er doorgaans meer eolisch transport is [Ontwerpnota eolische verliezen, 2013].

Hoewel dit een conservatieve aanname is, wordt opgemerkt dat deze aanname is gedaan voor de prognose van de onderhoudsmomenten tijdens de ontwerpfase van de kustversterking HPZ. In de prognose van onderhoudsmomenten zijn vooral de inschatting van de hydraulische verliezen van belang. Zoals in paragraaf 2.4.1 aangegeven zijn de hydraulische verliezen vele malen groter dan de geraamde eolische verliezen.

Bij de ontwerpfase is geschat dat de eerste onderhoudsfase in 2023 plaatsvindt, met een volume van  $1,6 \text{ Mm}^3$ , een tweede in 2026 met een volume van  $1,5 \text{ Mm}^3$  en een derde in 2030 met een volume van  $1,1 \text{ Mm}^3$ <sup>[10]</sup>. In de praktijk wordt op basis van de veiligheid van het duin (afslagberekening) en een minimale strandbreedte bepaald wanneer er daadwerkelijk onderhoud moet worden uitgevoerd. Dit is gebaseerd op de actuele situatie van het duin, en wordt jaarlijks getoetst.

#### *Conclusie*

Aangezien in de praktijk jaarlijks wordt getoetst of onderhoud noodzakelijk is en de verhouding van het eolisch transport ten opzichte van het marien transport klein is, identificeren we deze onderzoeksrichting niet als interessante onderzoeksrichting voor nader onderzoek binnen themalijn B van het Ecoshape HPZ project.

---

<sup>10</sup> E-mail Paul Olijslager dd 26 juni 2015

## 4 Conclusies verkenning onderzoeksrichting themalijn B.

In dit document zijn 4 onderzoeksrichtingen verkend voor analyse binnen themalijn B van het Ecoshape-HPZ project. In dit project onderzoeken we of er door gebruik te maken van het natuurlijke proces van eolisch transport kansen liggen voor de dynamische ontwikkeling van duinen, en of er optimalisatiemogelijkheden zijn voor het ontwerp van nieuw aan te leggen duinen.

De vier verkende onderzoeksrichtingen betreffen:

1. Effect eolisch transport op veiligheid;
2. Compensatie bij aanleg voor zeespiegelstijging en bodemdaling en zetting;
  - a. Compensatie zeespiegelstijging
  - b. Compensatie bodemdaling
  - c. Compensatie zetting
3. Inzet functioneren van maatregelen waarbij onderscheid is gemaakt in ontwikkeling van
  - a. het duin;
  - b. profieltypes;
  - c. maatregelen stuifhinder.
4. Suppletie en onderhoudsmomenten in de tijd.

Van deze vier onderzoeksrichtingen wordt op basis van deze verkenning geconcludeerd dat er voor onderzoeksrichting 2c en 4 er minder mogelijkheden liggen voor optimalisatie. Voor de overige onderzoeksrichtingen concluderen we dat er mogelijkheden liggen voor optimalisatie.

Op basis van deze verkenning wordt voorgesteld om in werkpakket B van het Ecoshape HPZ project de volgende onderzoeksrichtingen verder uit te diepen:

1. De analyse naar effect van eolisch transport op de veiligheid nader uit te werken voor verschillende profieltypes.
2. Monitoring van de profielontwikkeling en identificeren of eolische depositie voldoende is om voor zeespiegelstijging en bodemdaling over periode van 20 of 50 jaar te compenseren.
3. Monitoring van duinontwikkeling te focussen op profielontwikkeling en accumulatie in verschillende zones, aangezien deze effect lijken te hebben op waterveiligheid. Met behulp van XBeach kwantificeren wat effect op veiligheid van accumulatie van zand is.
4. Drie maatregelen ter beperking van stuifhinder nader te analyseren. Voorgesteld wordt een analyse uit te voeren voor luwe laagtes, wilgenschermen (in ontwerp schapenhekken/rijshouten hekken) en helm.

De onderzoeksvragen worden in Q3 verder gedefinieerd en afgestemd.

## 5 Referenties

[Bagnold, 1937]

Bagnold. R.A. 1937. The transport of sand by wind. Geographical Journal 89: 409-438.

[Deltares, 2015]

XBeach 1D - Probabilistic model - ADIS, Settings, Mode uncertainty and Graphical User Interface, Deltares, 2015

[De Vries, 2012]

Dune behavior and Aeolian transport on decadal timescales, S. de Vries, H.N. Southgate, W. Kanning en R. Ranasinghe, Coastal Engineering, Vol 67, p41-53, 2012

[Ontwerpmemo inventarisatie verstuiving en antiverstuivingsmaatregelen, 2013].

Zwakke Schakels Noord-Holland, inventarisatie verstuiving en antiverstuivingsmaatregelen. Documentnummer VB-ZNSH-76-MS-OME-03. 08-02-2013, 19 pp

[Ontwerpnota Initieel aanlegprofiel, verstuivingbeperkende duinvormgeving en maatregelen, 2013]

Zwakke Schakels Noord-Holland, versterking en Onderhoud. Kustdeel RSP17.00 – RSP28.32 Initieel Aanlegprofiel. Verstuivingbeperkende duinvormgeving en maatregelen. Documentnummer VB-ZSNH-76-MS-ONO-01 , versie 3.0, 19-08-2013, 18 pp.

[Ontwerpnota eolische verliezen, 2013]

Zwakke Schakels Noord-Holland, versterking en Onderhoud. Kustdeel RSP17.00 – RSP28.32. Initieel Aanlegprofiel. Prognose van eolisch zandverlies. Documentnummer VB-ZSNH-76-MS-ONO-01 versie 3.0 21 -08-2013. 21 pp

[Product B1P1, Ecoshape-HPZ, 2016]

Product B1P1, Ecoshape-HPZ, 2016, Leenders, J.K. en M. Smit: Inventarisatie maatregelen ontwerp HPZ, memorandum product B1P1, Ecoshape HPZ. Concept 05, 40 pp.

[Shao, 2000]

Shao, Y. 2000: Physics and modelling of wind erosion. Atmospheric and Oceanographic Sciences Library, Vol 23. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 393 pp.

[Van der Wal, 2004]

Beach-Dune interactions in nourishment areas along the Dutch coast, D. van der Wal, Journal of Coastal Research, vol. 20 1, p317-325, 2004.

[VSE, 2013]

Vraagspecificatie eisen, Beschrijving van producteisen. Registratienummer 13.0001492, Versie C, 25 april 2013, 34 pp

## Bijlage A: Begrippenlijst

<b>A</b>	Afslag	Het afslaan van zand van een duin door verhoogde waterstand en golfwerking.
	Afslaglengte	Lengte op kruin van duin dat afslaat door verhoogde waterstand en golfwerking.
	Afslagprofiel	1. Resterend evenwichtsprofiel van een duin na een maatgevende storm. 2. Resterende profiel van een hoog voorland, inclusief dijk, na aanzienlijke buitendijkse erosie.
	Afslagpunt	Snijpunt van het afgeslagen duinfront met het Rekenpeil. Het kritieke afslagpunt geeft die mate van duinafslag aan waarbij nog juist geen doorbreken optreedt.
<b>D</b>	Decimeringhoogte	Absolute verschil in hoogte tussen het Toetspeil en een waterstand met een overschrijdingsfrequentie, die een factor 10 hoger of lager is dan die van het Toetspeil.
	Duinvoet	Overgang van strand naar duin. De positie van de duinvoet in een dwarsprofiel wordt door veel beheerders gedefinieerd met behulp van een in de tijd constante hoogtelijn (bijvoorbeeld NAP +3 m) (Voor de berekening van de Basiskustlijn is de duinvoet vastgesteld op NAP + 3 meter).
	Droog strand	Strook zand tussen gemiddeld hoogwater en de duinvoet.
<b>E</b>	Eolische processen	Processen ten gevolge van de wind.
	Eeolisch verlies	Volume verlies dat optreedt door werking van wind. In het geval van de HPZ is dit gedefinieerd als transport in landwaartse richting van zand over de grens van het profiel van het duin.
<b>G</b>	Geomorfologie	Leer en beschrijving van de bodemligging van o.a. zee, zeearmen, meren en rivieren.
	Golfafloop	Het tegen het talud aflopen van golven
	Golfoploop	De hoogte van de golven boven de waterstand, die tegen het talud oplopen.
	Grensprofiel	Profiel dat na duinafslag tijdens maatgevende omstandigheden nog minimaal als waterkering aanwezig moet zijn om een bres te voorkomen.
<b>H</b>	(gemiddeld) Hoogwater	Door inwerking van aantrekkingskracht van zon en maan rijst en daalt het zeewaterniveau (getij). Hoogwater is het moment dat het zeeniveau het hoogst is door deze werking.
	Hydraulisch verlies	Volume verlies dat optreedt door werking van water en golven. (waterstanden, stroming, golfhoogten en golflengten). Dit betreft vooral kustlangs transport.
<b>I</b>	Intergetijdengebied	Dit is het gebied in de kustzone dat bij laag water droog komt te liggen en bij hoogwater overstroomt.
<b>J</b>	Jarkusraai	In het kader van het JARKUS programma worden jaarlijks

		langs de jarkusraaien hoogte en dieptemetingen verricht. Deze metingen dienen als input voor onder andere onderzoek en toetsing basiskustlijnpositie. (dwarsprofielen)
<b>L</b>	(gemiddeld) Laagwater	Door inwerking van aantrekkingskracht van zon en maan rijst en daalt het zeewaterniveau. Laagwater is het moment dat het zeeniveau het laagst is door deze werking.(ook wel eb genoemd).
	Langstransport	Sedimenttransport evenwijdig aan de kustlijn.
<b>M</b>	Mariene processen	Morfologische en hydrodynamische processen in de zee.
<b>N</b>	Natuurzone	Het gedeelte van de kustlijn met nevenfunctie natuur.
<b>O</b>	Ontwerppeil	Een waterstand met een bepaalde kans van overschrijden vermeerderd met de verwachte waterstandstijging (inclusief NAP-daling) tot aan het eind van de ontwerplevensduur (planperiode).
<b>R</b>	Recreatiezone	Het gedeelte van de kustlijn met nevenfunctie recreatie
	Rekenpeil	Toetspeil voor duinen vermeerderd met het tweederde deel van de decimeringshoogte.
	Rijksstrandpalen	Langs de gehele kust geplaatste palen voor meetraaien (hoofdraai).
<b>S</b>	Significante golfhoogte	Gemiddelde golfhoogte van het hoogste 1/3 deel van de golven.
	Stormoploop	De hoogte van de waterstand en golven die tegen het talud oplopen ten gevolge van een storm.
	Stormopzet	Lokale waterstandverhoging als gevolg van de door de wind op een watermassa uitgeoefende kracht.
	Swash zone	zone van golfoploop en golfafloop
<b>T</b>	Talud	Gedeelte van een dwarsprofiel met een helling tussen 1:1 en 1:10.
	Talud landzijde	Hellend vlak van het duin aan de landzijde van het duin.
	Talud zeezijde	Hellend vlak van het duin aan de zeezijde van het duin.
	Toetspeil	Waterstand, die wordt gebruikt voor het beoordelen van de toestand van de waterkeringen, met een overschrijdingsfrequentie conform Bijlage II en IIA bij de Waterwet. In het Toetspeil is de verwachte waterstandstijging (inclusief NAP-daling) tot en met de peildatum verwerkt. De Toetspeilen voor duinen zijn gegeven op de NAP - 20 m dieptelijn.
	Tweede toetsronde	Periodieke toetsing waarin de primaire keringen worden getoetst of deze aan de veiligheidsnormen voldoen. De periodieke toetsing wordt uitgevoerd sinds 1996. De tweede toetsronde vond plaats van 2001-2006. De derde toetsronde vond plaats van 2006-2011.
<b>V</b>	Veiligheidsnorm	Eis waaraan een primaire waterkering moet voldoen, aangegeven als de gemiddelde overschrijdingskans - per jaar - van de hoogste hoogwaterstand waarop de tot directe

		kering van het buitenwater bestemde primaire waterkering moet zijn berekend, mede gelet op overige het waterkerend vermogen bepalende factoren.
	(ondiepe) Vooroever	Gedeelte van de kuststrook zeewaarts van de laagwaterlijn tot de zeebodem, ook wel onderwateroever genoemd.
<b>Z</b>	Zetting	Verticale vervorming van grondlagen, hoofdzakelijk als gevolg van een bovenbelasting, de eigen massa en/of het uittreden van water.

### **A.1 Referenties bijlage A**

[VTV, 2006]

Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen, september 2007, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 476 pp.

[RWS en STOWA, 2016]

Waterveiligheid. Begrippen begrijpen 2.0. Ontwikkeling beleid en uitleg begrippen. Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Milieu en STOWA, januari 2016, 96 pp.

# Bijlage B: Verkenning effect eolisch transport op veiligheid

## B.1 Inleiding

Het is de vraag of een aangroei van het duin een vergroting van de veiligheid betekent, of dat dit niet het geval is aangezien aangroei van het duin het verplaatsen van zand van elders binnen het veiligheidsprofiel betreft. Om dit te onderzoeken voeren we een verkennende analyse uit naar het effect van depositie van zand op het duin op de veiligheid.

## B.2 Hypothese

We testen de hypothese dat het bij een gelijkblijvend volume in het dwarsprofiel voor de maatgevende afslaglengte van het duin geen verschil maakt of een volume zand in het intergetijdengebied ligt of op het duin. Omdat het veiligheidseffect van een dergelijk extra volume zand mogelijk anders is bij gebruik van een proces gebaseerd model (XBeach) dan bij een empirische berekening volgens het Wettelijk Toets Instrumentarium (WTI) met DUROS+, wordt de hypothese getoetst met zowel XBeach als DUROS+. In Bijlage C en Bijlage D is een beschrijving opgenomen van het toetsingskader en het toetsinstrumentarium DUROS+.

De hypothese wordt getoetst in 2 stappen:

- i. Is duin veiliger bij verplaatsing van zand naar hoger in het profiel (te bepalen met XBeach en DUROS+)?
- ii. Is een eventueel verschil in resultaat tussen beide modellen te verklaren vanuit de meegenomen processen/empirie in de modellen?

## B.3 Aanpak

De netto aangroei van duinen is volgens literatuur gemiddeld ongeveer  $8,7 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$  [De Vries [2012] en van der Wal [2004], Uit: Ontwerpmemo inventarisatie verstuiwing en antiverstuiwingsmaatregelen, 2013 en Ontwerpnota eolische verliezen, 2013]. Ervaringen in de eerste jaren na aanleg van een suppletie is dat het zandtransport hoger is [Ontwerpmemo, eolisch verlies, 2013]. In het geval van de HPZ is de hoeveelheid zandtransport in het eerste jaar na aanleg op basis van metingen geschat op  $30\text{-}60 \text{ m}^3/\text{m}$ .

Om het effect van duinaangroei op de kustveiligheid te beoordelen worden twee scenario's onderzocht<sup>11</sup>:

1. In scenario 1 is aangenomen dat in de eerste vier jaar het duin aangroeit met een volume van  $50 \text{ m}^3/\text{m}$ .
2. In scenario 2 is aangenomen dat in de eerste vier jaar het duin aangroeit met een volume van  $120 \text{ m}^3/\text{m}$ .

Voor beide scenario's onderzoeken we 3 varianten van duinaangroei ten opzichte van het referentieprofiel. Het volume van het intergetijdengebied en strand wordt volgens 3 varianten verplaatst:

- A. verplaatsing volume naar duinvoet (ca. 2-6 m + NAP);
- B. verplaatsing volume naar volledig buitentalud duin (ca. 2-11 m + NAP);
- C. verplaatsing volume naar duintalud en -kruin (ca. 2-12 m + NAP).

Het referentieprofiel wordt aangegeven met  $t_0$ .

Hiermee testen we het effect van de locatie van depositie in het duin.

De overige parameters (korrelgrootte, golfhoogte, golfperiode, waterstand) zijn gelijk gehouden. Het effect van deze duinaangroei wordt berekend voor Jarkusraai 2083 ter plaatse van de HPZ. (Figuur B-1). We beschouwen de hydraulische randvoorwaarden 2006 voor deze locatie: Rekenpeil (RP) is 5,1 m + NAP, Golfhoogte ( $H_{m0}$ ) is 10,15 m en piekperiode ( $T_p$ ) is 16,2 s. De D50 van de korreldiameter is 233  $\mu\text{m}$  [TRD, In Figuur B-2 is het dwarsprofiel van deze raai en de volumeverplaatsing te zien.

Om het effect van het verplaatsen van een volume binnen het dwarsprofiel te bepalen zijn berekeningen uitgevoerd met DUROS+ (WTI) en XBeach met de WTI-instellingen zoals bepaald door Deltares (2015).

XBeach (zie kader) berekent in tegenstelling tot DUROS+ de morfologische ontwikkeling van het duin in de tijd. Daarom moet een representatief verloop van de storm worden geschematiseerd, waarbij de piek overeenkomt met de ontwerpcondities waarmee ook in DUROS+ wordt gerekend. Dit stormverloop is opgezet conform de Leidraad Zee- en Meerdijken [TAW, 1999] voor een stormduur van 45 uur. Een beschrijving van Duros+ is opgenomen in document B1P1[Ecochape-HPZ, 2013].

#### XBeach

XBeach (eXtreme Beach) is een proces-gebaseerd, morfologisch model dat de ontwikkeling van een duin onder extreme condities berekent in de tijd. Het model is gemiddeld over een golfgroep en berekent de variatie van de waterstand op de tijdschaal van de golfgroepen, ook wel 'surf beat' genoemd. Surf beat bestaat uit zeer lange (infragravity) golven die een belangrijke rol spelen bij duinerosie, -overslag en overwash.

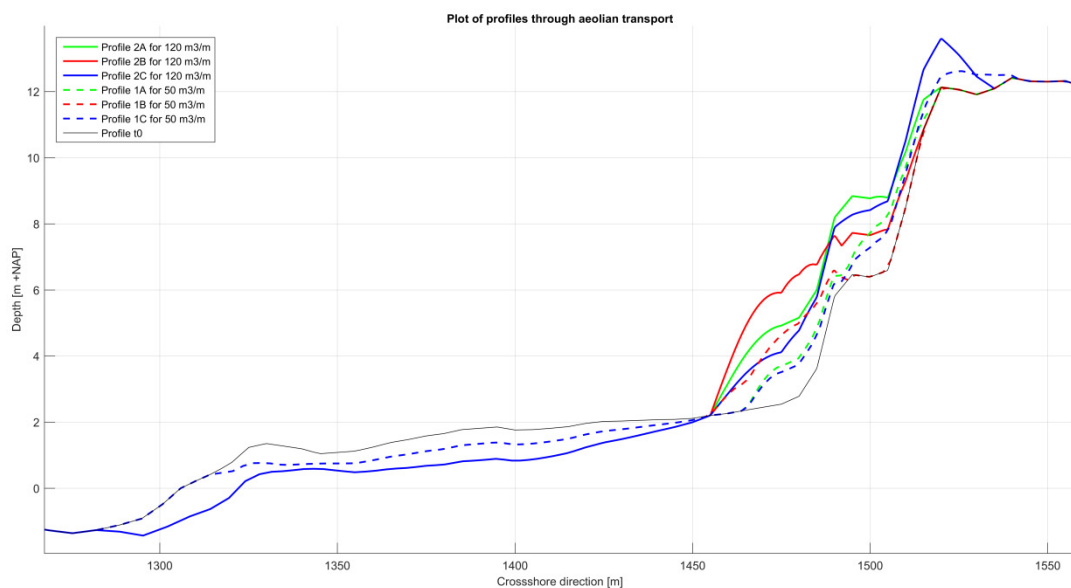
Het model is in eerste instantie ontwikkeld om duinafslag tijdens stormen te berekenen en is daarom zeer geschikt om de gevolgen van extreme gebeurtenissen te modelleren. Daarnaast is XBeach toepasbaar voor andere situaties waar kustdwarse processen en lange golven belangrijk zijn.

Het model is ontwikkeld door een consortium van UNESCO-IHE, Deltares, TU Delft en University of Miami en is beschikbaar als open source. Voor meer info: [www.xbeach.org](http://www.xbeach.org). [Deltares, 2015]



Figuur B-1: Jarkusraaien HPZ





Figuur B-2: Varianten volumeverplaatsing voor Jarkusraai 2083

## B.4 Resultaten

Uit de berekeningen met DUROS+ en XBeach volgt een afslagprofiel op basis waarvan de veiligheid van het duin kan worden beoordeeld. De resultaten van alle berekeningen zijn voor scenario 1 samengevat in Figuur B-3 en voor scenario 2 in Figuur B-4 .

### DUROS+

De afslagprofielen zoals bepaald met DUROS+ zijn vrijwel gelijk. Hiervoor kan worden geconcludeerd dat de verplaatsing van zand van het strand naar het duin geen effect heeft op de kustveiligheid volgens het huidige toetsinstrumentarium van Duros+

### XBeach

De afslagprofielen uit XBeach liggen bij een verplaatsing 50 m<sup>3</sup>/m dicht bij het afslagprofiel zonder verplaatsing (t<sub>0</sub>). Bij een verplaatsing van 120 m<sup>3</sup> neemt het verschil toe. Voor het beoordelen van deze verschillen zijn deze gekwantificeerd en gepresenteerd in Tabel B-5-1. Daarin wordt het afslagvolume boven het Rekenpeil en de afslaglengte van het duin vergeleken voor de varianten ten opzichte van het referentieprofiel.

De afslaglengte is een belangrijke maat voor de kustveiligheid. Een kleinere afslaglengte betekent dat het duin smaller kan worden aangelegd en minder zandvolume nodig is.

De absolute waarden van de afslagvolumes in de berekeningen met de verplaatsing zijn groter, maar laten niet zien dat er een groter duinvolume resteert na de storm. Daarom zijn in de tabel de afslagvolumes weergegeven in relatie tot het initiële profiel zonder verplaatsing van zand.

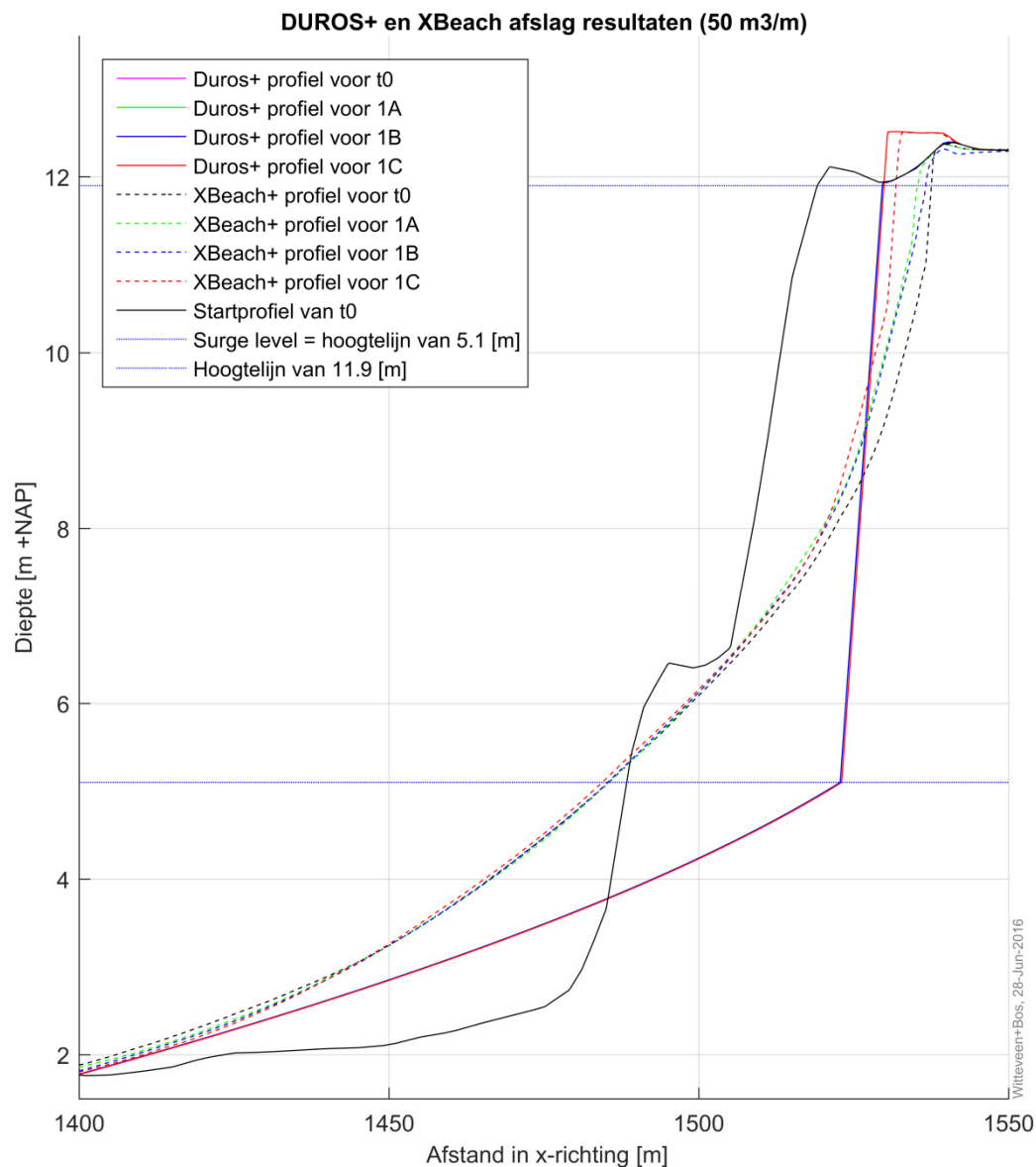
Een verplaatsing van zand van het strand naar het duin leidt volgens XBeach in alle gevallen tot een kleiner afslagvolume van het initiële profiel, minimaal 12% bij een verplaatsing van 50 m<sup>3</sup> en maximaal 38% bij een verplaatsing van 120 m<sup>3</sup>. Daarnaast is de afslaglengte kleiner (5-52%).

Bij een verplaatsing van 120 m<sup>3</sup>/m zijn de afslagvolumes voor alle varianten vrijwel gelijk. Dit heeft waarschijnlijk te maken met het feit dat de varianten bij dit volume meer op elkaar lijken, omdat er een groot volume over een relatief klein deel van het dwarsprofiel wordt verspreid (Figuur B-2). Er is wel een verschil in de afslaglengte op de kruin, in variant C waarbij zand hoog

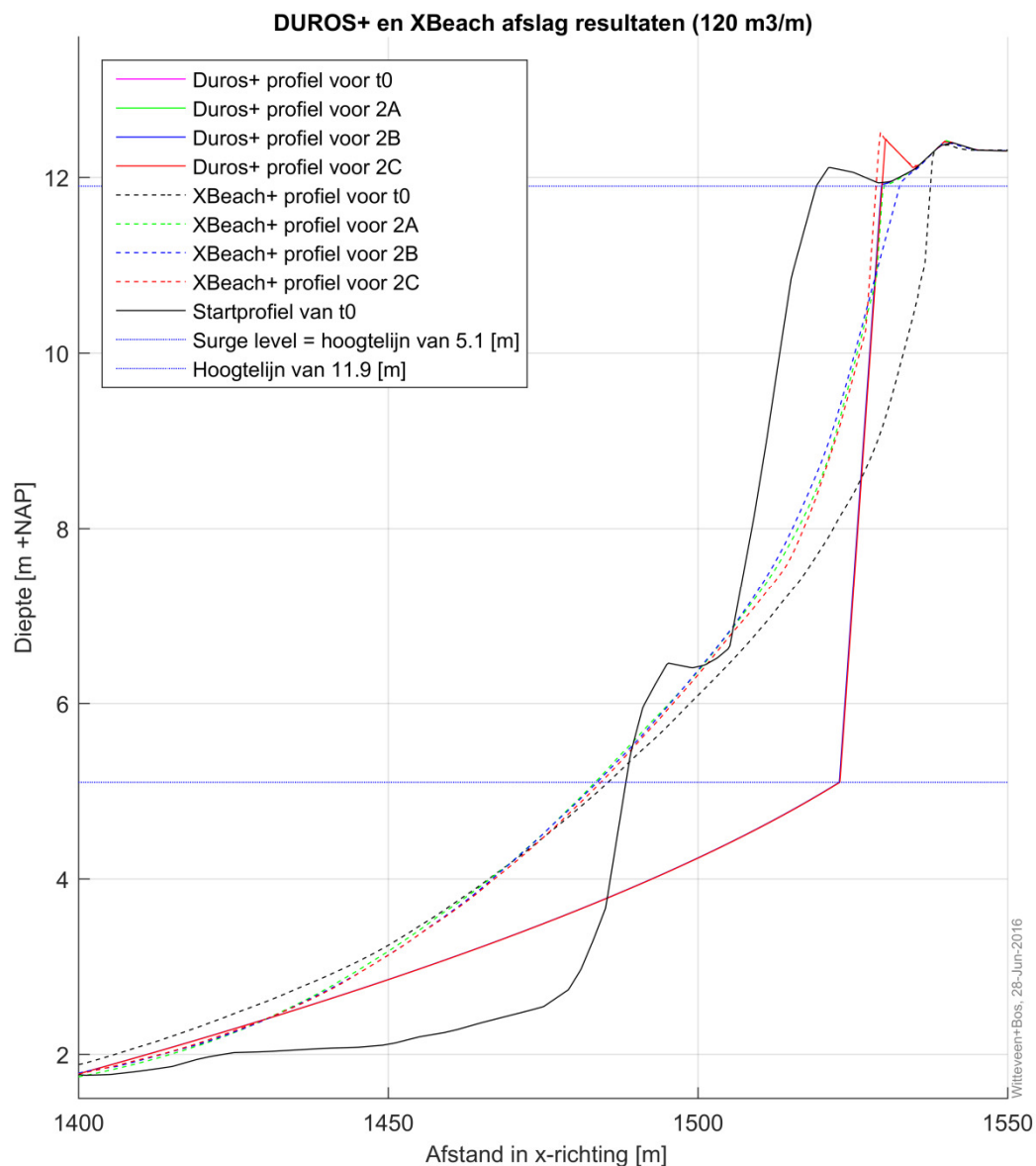
op de kruin wordt aangebracht, is de afslaglengte kleiner dan in variant A en B waarbij het extra volume van zand op de duinvoet en het buitentalud is aangebracht.

Profiel	Verplaatst volume [m <sup>3</sup> /m]	Locatie verplaatst volume	Afslagvolume initiële profiel boven Rekenpeil [m <sup>3</sup> /m]	verschil met t0 [%]	maatgevende afslaglengte tov initiële profiel m+NAP [m]	verschil met t0 [%]
referentie (t0)	-	-	94,1	-	18,4	-
1A	50	duinvoet	79,8	-15%	16,2	-12%
1B	50	volledig buitentalud duin	82,5	-12%	17,4	-5%
1C	50	Duintalud en kruin	72,5	-23%	12,7	-31%
2A	120	duinvoet	58,4	-38%	10,9	-45%
2B	120	volledig buitentalud duin	58,1	-38%	13,4	-32%
2C	120	Duintalud en kruin	59,8	-36%	9,6	-51%

Tabel B-5-1: Vergelijking XBeach resultaten bij een verplaatsing van 50 en 120 m<sup>3</sup> voor 3 varianten.



Figuur B-3: Overzicht afslagberekeningen resultaten XBeach en DUROS+ bij 50 m<sup>3</sup> verplaatst zand



Figuur B-4: Overzicht afslagberekeningen resultaten XBeach en DUROS+ bij 120 m<sup>3</sup> verplaatst zand

## B.5 Discussie

De berekeningen met DUROS+ en XBeach leiden tot andere resultaten. In DUROS+ heeft de verplaatsing van het volume zand van het strand naar het duin nauwelijks effect op het berekende profiel en daarmee op de veiligheid. In XBeach heeft de verplaatsing van het volume zand wel effect op de berekeningsresultaten: de afslaglengte wordt kleiner, naarmate de hoeveelheid volume in het duin groter is.

Dat de verplaatsing van zand nauwelijks effect heeft in DUROS+ wordt verklaard doordat DUROS+ een balans-model is. Aan de hand van de randvoorwaarden wordt een afslagprofiel bepaald, dat zodanig wordt ingepast dat het afslagvolume gelijk is aan het aanzandingsvolume lager in het dwarsprofiel. Een verplaatsing van volume door eolisch transport, betekent dus dat er lager in het profiel meer aanzanding moet plaatsvinden om het afslagprofiel in te passen. Omdat het afslagvolume gelijk moet zijn aan het aanzandingsvolume, is er meer afslag hoger in het profiel, waardoor de verplaatsing netto geen effect heeft op het resultaat.

In een proces-gebaseerd model als XBeach beïnvloedt de verplaatsing het resultaat wel. Het proces van duinafslag vindt hoog in het dwarsprofiel plaats en de aanwezigheid van extra volume op die hoogte, leidt ertoe dat de kruin van het duin minder ver achteruitgaat. Met name de situatie waarin het duin extra hoog is op de kruin is daarbij gunstig (variant C).

Doordat het strand lager ligt, treedt minder demping op van de golven die richting het duin voortplanten. Daardoor kan mogelijk meer afslag optreden. Dit effect is in deze berekening kleiner dan het gunstige effect van de aanwezigheid van extra volume hoog in het profiel. Dit is mogelijk te verklaren vanuit het feit dat voor duinafslag de lange golven dominant zijn. Deze worden niet of minder gedempt in ondiep water dan de korte golven, zodat de lange golfenergie die het duin bereikt vrijwel gelijk blijft.

Deze berekeningen geven een inschatting van het mogelijke effect van het aangroeien van het duin door eolisch transport voor één specifiek geval op basis van het XBeach model. Om hierover meer zekerheid te verkrijgen is het aan te bevelen om dit nader te onderzoeken voor andere dwarsprofielen en randvoorwaarden.(of 2D simulaties)

Deze beschouwing richt zich enkel op de afslag tijdens een individuele storm. Waar nog geen rekening mee gehouden wordt is dat eolisch transport op een heel andere tijdschaal plaatsvindt. Door eolisch transport vanaf het strand is er weer meer ruimte voor aanvulling van zand vanaf dieper water.

Onderzoek naar aanvoer van sediment vanaf dieper water is geen onderdeel van de scope van dit project, maar het is wel van belang om dit effect in het achterhoofd te houden. Mogelijk bieden de metingen boven de laagwaterlijn in het kader van dit project hier wel enig inzicht in.

## B.6 Conclusies

De hypothese stelt dat de verplaatsing van een volume zand van het strand naar het duin geen effect heeft op de kustveiligheid. Bij het gebruik van een proces-gebaseerd model (XBeach) is dit mogelijk anders dan bij een empirisch afslagformule als voorgeschreven in het WTI (DUROS+).

De hypothese is getoetst en blijkt juist te zijn; in DUROS+ heeft de verplaatsing van zand geen effect op de berekende kustveiligheid, terwijl er in XBeach wel een effect zichtbaar is waarbij er minder afslag en minder achteruitgang van de kruin optreedt bij een groter volume in het duin.

Potentieel is er daarmee een optimalisatie van het ontwerp mogelijk waarbij initieel een slanker duin wordt aangelegd met als uitgangspunt dat het duin aangroeit door eolisch transport en de bijbehorende toegenomen veiligheid van het dwarsprofiel. Ook is hier een potentiële optimalisatie voor de inzet van maatregelen. Kunnen maatregelen zo worden ingezet dat aanzanding op de kruin wordt bevorderd?

In de praktijk zijn hierbij kanttekeningen te plaatsen waardoor de mogelijkheden voor een dergelijke optimalisatie beperkt zullen zijn:

- **Huidig WTI** - volgens het huidige WTI (DUROS+) is er geen effect op de kustveiligheid
- **Overige eisen ontwerp en onderhoud** - in het geval van de HPZ worden de onderhoudsmomenten onder andere bepaald door een minimale strandbreedte. Door eolisch transport gaat strandbreedte verloren, waardoor wellicht ook eerder onderhoud noodzakelijk is.
- **Onzekerheden** - de grootte van het eolisch transport en de (verhouding tot de) mariene verliezen is onzeker. Het is mogelijk dat de optimalisatie zodanig klein is, dat deze wegvalt ten opzichte van de onzekerheden in het ontwerp en de randvoorwaarden.

## **B.7 Aanbevelingen**

Het proces-gebaseerde model XBeach laat zien dat het gunstig is voor de kustveiligheid wanneer zand binnen een kustdwarsprofiel van het strand naar het duin wordt verplaatst. Het verdient aanbeveling om gedurende dit project deze mogelijke optimalisatie nader te onderzoeken en de bovengenoemde onzekerheden te verkleinen op basis van de gemeten data in de tijd.

Deze beschouwing richt zich enkel op de afslag tijdens een individuele storm. Waar nog geen rekening mee gehouden wordt is dat eolisch transport op een heel andere tijdschaal plaatsvindt. Door eolisch transport vanaf het strand is er weer meer ruimte voor aanvulling van zand vanaf dieper water.

Onderzoek naar aanvoer van sediment vanaf dieper water is geen onderdeel van de scope van dit project, maar het is wel van belang om dit mogelijke effect in het achterhoofd te houden. Mogelijk bieden de metingen boven de laagwaterlijn in het kader van dit project hier wel enig inzicht in.

Deze analyse is uitgevoerd op basis van verschillende aannames/uitgangspunten. Een belangrijke aanname is dat in de eerste vier jaar na aanleg het duin met ongeveer 50-120 m<sup>3</sup> zal aangroeien door eolisch transport. Indien gedurende dit project blijkt dat dit veel meer of minder is, is het aan te bevelen deze analyse te herzien op basis van de dan beschikbare gegevens.

## **B.8 Referenties bijlage B**

[Deltares, 2015]

XBeach 1D - Probabilistic model - ADIS, Settings, Mode uncertainty and Graphical User Interface, Deltares, 2015

[ENW, 2007]

Duinafslag, Technisch Rapport, ENW, mei 2007

[Ontwerpnota eolische verliezen, 2013]

Zwakke Schakels Noord-Holland, versterking en Onderhoud. Kustdeel RSP17.00 – RSP28.32. Initieel Aanlegprofiel. Prognose van eolisch zandverlies. Documentnummer VB-ZSNH-76-MS-ONO-01 versie 3.0 21 -08-2013. 21 pp

[Ontwerpmemo inventarisatie verstuiving en antiverstuivingsmaatregelen, 2013].

Zwakke Schakels Noord-Holland, inventarisatie verstuiving en antiverstuivingsmaatregelen. Documentnummer VB-ZNSH-76-MS-OME-03. 08-02-2013, 19 pp

[TAW, 1999]

Leidraad Zee- en Meerdijken - Basisrapport. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (1999)

## Bijlage C: Toetsingskader waterveiligheid zandige kering

### C.1. Inleiding

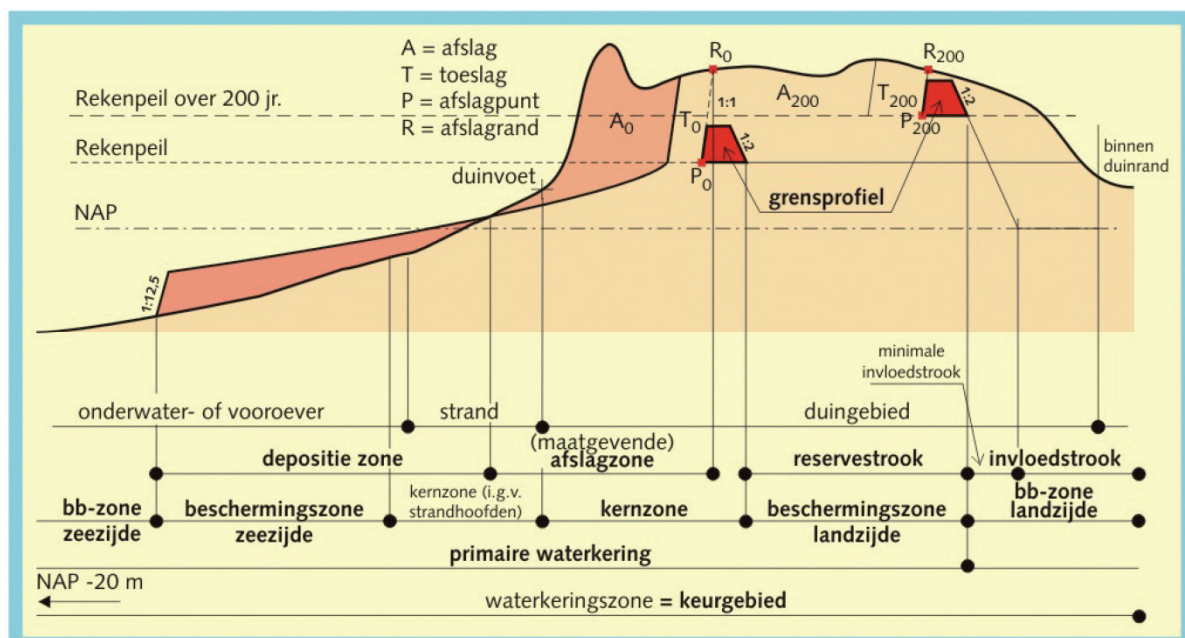
Duinen als primaire waterkering ontleen hun sterkte aan de hoeveelheid zand waaruit ze zijn opgebouwd, korrelgrootte en aan hun geometrie. De sterkte van de duinen wordt mede bepaald door het voorliggend strand en de onderwateroever. Het totale zandvolume in duinen, strand en vooroever is de belangrijkste sterkteparameter. Sinds de jaren '80 van de vorige eeuw wordt vanuit dit besef het kustprofiel vaak versterkt met zandsuppleties, soms tegen het duin aan, maar vooral op het strand (strandsuppletie) of de vooroever (vooroeversuppletie) (VTV, 2006).

Figuur C-1 geeft een definitieschets van een kustprofiel. In deze definitieschets zijn de terminologieën van zones samengevoegd, die worden gehanteerd bij een beschouwing van het kustprofiel in fysisch geografische (onderwater- of vooroever, strand, duingebied), waterkeringstechnische (depositiezone, afslagzone, reservestrook, invloedstrook) en de juridische zone, die wordt ingegeven door het beheer van de waterkering (buitenbeschermingszone(bb)-zone zeezijde tot buitenbeschermingszone landzijde). (VTV2006).

De toetsing van duinen vindt plaats volgens drie toetssporen:

- Duinafslag
- Winderosie
- Niet-waterkerende objecten (NWO)

In het kader van dit project zijn de toetssporen Duinafslag en Winderosie van belang. Deze worden hieronder nader toegelicht.



Figuur C-1: Definitieschets kustprofiel (uit VTV, 2006 en Leidraad Zandige Kust)

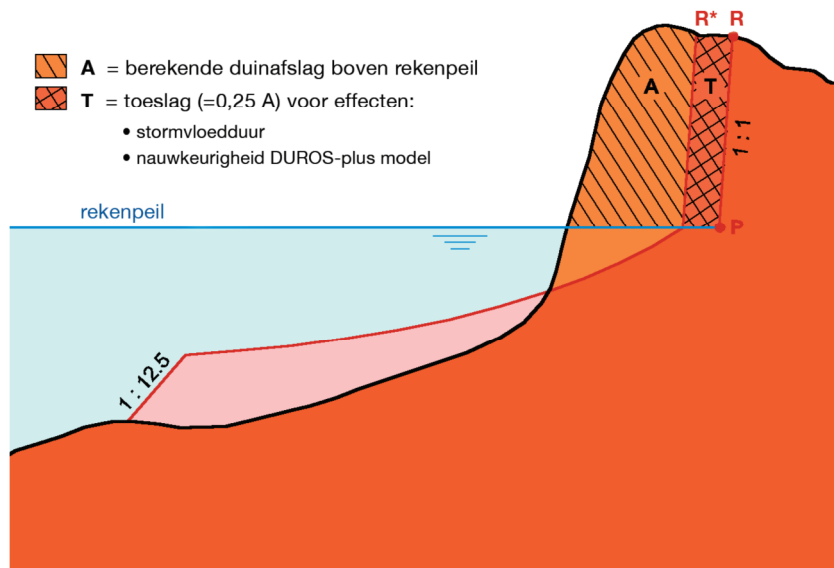
## C.2. Toetspoor: Duinafslag

Voor de beoordeling van de zandige waterkering is vooral de positie van het afslagpunt (punt P, Figuur C-1) en de afslagrand (Punt R, Figuur C-2) van belang. Punt P valt daarbij samen met het snijpunt van het Rekenpeil met het afslagprofiel. Punt R betreft de doorsnijding van het nieuwe duinfront en het oorspronkelijke maaiveld (talud 1:1) (VTV2006).

Een duin faalt (volgens de definities in de toetsing) als de berekende positie van het afslagpunt verder landinwaarts ligt dan de kritieke positie van het afslagpunt. Het kritieke afslagpunt wordt bepaald op basis van het grensvolume zand dat nog net aanwezig dient te zijn om een doorbraak te voorkomen, het Grensprofiel. In het Technisch Rapport Duinafslag wordt aangenomen dat er een doorbraak van het duin zal optreden als het afslagpunt landwaarts van het kritieke afslagpunt komt te liggen (Technisch Rapport Duinafslag).

In het huidig toetsingskader wordt het DUROS+ model gebruikt om het duin te toetsen volgens het toetspoor Duinafslag. DUROS+ is een empirisch balansmodel waarbij het afslagprofiel wordt berekend aan de hand van het dwarsprofiel, de golfhoogte, de piekperiode van de golven (beide bepaald op relatief diep water, namelijk NAP -20 m), de waterstand en de korreldiameter (Rapportage Kustlijnzorg, 2011).

De positie van dit berekende profiel wordt zo gekozen dat het afgeslagen volume gelijk is aan het depositievolume, zoals te zien is in Figuur C-2. Voor de toetsing wordt hierbij rekening gehouden met een toeslag (T) op het afslagvolume boven Rekenpeil (A). Deze toeslag betreft een toeslag voor het mogelijke effect van de onzekerheid van de duur van een hoogwaterpiek en de onnauwkeurigheid van het DUROS+ model op het berekeningsresultaat. Het afslagprofiel na deze toeslag bepaalt de positie van het afslagpunt P en de afslagrand R.



Figuur C-2: Definitieschets kustprofiel [uit VTV, 2006].

Er zijn 7 parameters (A,B,C) en een aanvullend effect (D) die de mate van duinafslag bepalen die van belang is voor de veiligheidstoets. Deze zijn in vier groepen te verdelen (zie onderstaande Tabel) (Bron: Technisch rapport duinafslag, brondocument 7).

	Parameter
A	Maximum stormvloedpeil Significante golfhoogte op diep water (NAP-20m) Piekperiode Korrel diameter duinmateriaal
B	Tijdsduur hoogwaterpiek (deze is in toetsing stationair, dus niet van toepassing) Onnauwkeurigheid van het DUROS+ model
C	Invloed ligging kustprofiel juist voor de stormvloed en invloed strandsuppleties (deze worden als 1 effect gezien)
D	Effect gradiënt in het langstransport

Tabel C-1: Parameters die mate van duinafslag bepalen [VTV, 2006].

Het minimale duinprofiel dat na een storm moet resteren om een bres te voorkomen wordt het Grensprofiel genoemd. De afmetingen van het grensprofiel worden als volgt bepaald (TAW, 2007):

#### Minimale kruinhoogte $h_0$

$$h_0 = RP + 0,12 T_p \sqrt{H_{0s}}$$

Waarbij:

$RP$ : het Rekenpeil in m boven NAP

$T_p$ : De piekperiode van het golfspectrum (s)

$H_{0s}$ : Deverwachtingswaarde van de significante golfhoogte (m) behorende bij het Rekenpeil

De waarde van  $h_0$  moet minimaal  $RP + 2,5$  m bedragen volgens [TRDA, 2006].

Er wordt opgemerkt dat bij het ontwerp van de kustversterking HPZ een alternatief grensprofiel is gehanteerd, van minimaal 1 m boven het Rekenpeil.

#### Minimale kruinbreedte ( $b_{kruin}$ )

- De breedte  $b_{kruin}$  van het grensprofiel is 3 m.

#### Helling binnentalud

De helling van het binnentalud (landzijde) van het grensprofiel moet flauwer zijn dan of gelijk zijn aan 1.2. De helling van het talud aan de zeezijde van het grensprofiel is 1:1.



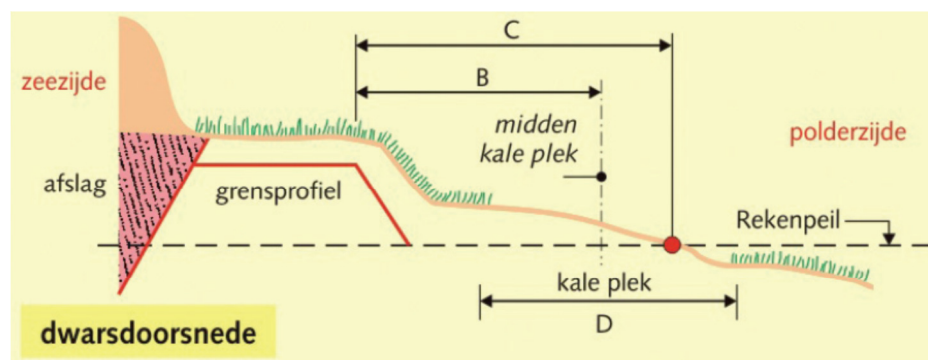
Het toepassen van de formules voor de HPZ voor de HR2006 en de situatie waarbij rekening gehouden is met het middenscenario voor klimaatsverandering van 0,3 m en 0,1 m bodemdaling is weergegeven in Tabel C-2.

Jarkusraai	Locatie	Rekenpeil	H <sub>m0</sub>	T <sub>p</sub>	Zeespiegelstijging (= verhoging dwarsprofiel) Planperiode 50 jaar	Bodem daling (50 jaar)	h <sub>0</sub> HR2006	h <sub>0</sub> Klimaat En bodemdali ng
Van - tot		[m+NAP]	[m]	[s]	[m]	[m]	[m+NAP]	[m+NAP]
2041 – 2200	Pettemer Zeewering	5,1	10,15	16,2	0,3	0,1	11,29	11,69
2200 – 2400	Hondsbosche Zeewering – Noord	5,2	10,0	16,2	0,3	0,1	11,35	11,75
2400 - 2600	Hondsbosche Zeewering – Zuid	5,3	9,9	16,2	0,3	0,1	11,42	11,82

Tabel C-2: Bepaling minimale kruinhoogte voor grensprofiel HPZ voor HR2006 en situatie met klimaat.

### C.3. Toetspoot: Winderosie

Het tweede relevante toetspoot voor duinen volgens VTV2006 is het toetspoot winderosie. Dit toetspoot gaat mogelijk vervallen in de toekomst<sup>12</sup>, maar is bij het ontwerp van de kustversterking HPZ nog actueel. Dit toetspoot schrijft voor dat de achterzijde van het duin moet zijn bedekt met doorgaande, vitale begroeiing, tenzij de afstand tot het Grensprofiel meer dan 50 m is. Open plekken zijn toegestaan, mits de diameter daarvan kleiner is dan de afstand van het midden van de open plek tot de 'binnenkruinlijn' van het Grensprofiel, zie ook Figuur C-2



Figuur C-2: Begroeiingscriterium Winderosie [Bron: VTV2006].

### C.4 Referenties bijlage C

[TRDA,2006].

Technisch rapport Duinafslag, mei 2007, ENW, 62 pp.

[VTV, 2006]

Voorschrift Toetsen op Veiligheid primaire waterkeringen, september 2007, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 476 pp.

<sup>12</sup> Persoonlijke communicatie d.d. maart 2016, Marien Boers, HWBP/Deltares: dit toetspoot wordt al niet meer beschouwd in het Technisch Rapport Duinwaterkeringen en Hybride keringen 2011. Dit rapport heeft echter geen officiële status.

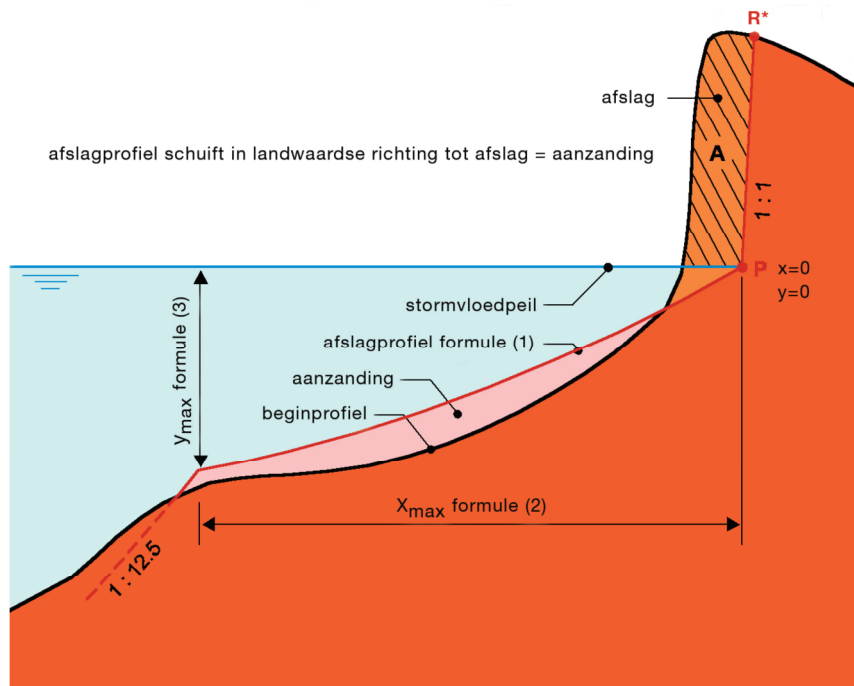
# Bijlage D: Rekeninstrumentarium DUROS+

## D.1. Rekeninstrumentarium DUROS+

DUROS+ is het rekeninstrumentarium voor de veiligheidstoetsing van duinen in Nederland.

DUROS+ is een empirisch balansmodel.

Het model berekent op empirische wijze een parabolisch afslagprofiel als functie van de significante golfhoogte ( $H_s$ ), piekperiode ( $T_p$ ) op diep water (-20 m+NAP) en de korreldiameter  $D_{50}$ . Dit profiel wordt ingepast zodanig dat de afslag gelijk is aan de aanzanding in het dwarsprofiel (Figuur D-1).



Figuur D-1: DUROS+ model

Hierin worden expliciet of impliciet de volgende parameters meegenomen die relevant zijn voor de mate van duinafslag:

- waterstand (Rekenpeil)
- golfhoogte
- golfperiode
- korreldiameter
- geometrie beginprofiel
- stormduur (niet variabel)

Deze parameters worden volgens empirisch bepaalde relaties meegenomen in de berekening van de duinafslag voor een dwarsprofiel. Effecten en processen die niet worden berekend in het DUROS+ model zijn:

- ontwikkeling duinafslag in de tijd
- stormverloop in de tijd
- golfvoortplanting en -transformatie van diep naar ondiep water als functie van de geometrie
- 2D effecten zoals langstransport